「太陽エネルギー技術研究開発／
太陽光発電システム次世代高性能技術の開発・
有機系太陽電池実用化先導技術開発」
事後評価報告書

平成２８年３月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

研究評価委員会

平成２８年３月

国立研究開発法人新エネルギー･産業技術総合開発機構
　理事長　古川　一夫　殿

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会 委員長　　小林　直人

ＮＥＤＯ技術委員・技術委員会等規程第３３条の規定に基づき、別添のとおり評価結果について報告します。

「太陽エネルギー技術研究開発／
太陽光発電システム次世代高性能技術の開発・
有機系太陽電池実用化先導技術開発」
事後評価報告書

平成２８年３月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

研究評価委員会

目　次

はじめに　1
審議経過　2
分科会委員名簿　3
評価概要　4
研究評価委員会委員名簿　8
研究評価委員会コメント　9

第１章　評価
１．総合評価　1-1
２．　各論
２．１　事業の位置付け・必要性について
２．２　研究開発マネジメントについて
２．３　研究開発成果について
２．４　実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて
３．評点結果　1-26

第２章　評価対象事業に係る資料
１．事業原簿　2-1
２．分科会公開資料　2-2

参考資料１　分科会議事録　参考資料 1-1
参考資料２　評価の実施方法　参考資料 2-1

はじめに

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される研究評価分科会を研究評価委員会によって設置し、同分科会にて被評価対象プロジェクトの研究評価を行い、評価報告書案を策定の上、研究評価委員会において確定している。

本書は、「太陽エネルギー技術研究開発／太陽光発電システム次世代高性能技術の開発・有機系太陽電池実用化先導技術開発」の事後評価報告書であり、ＮＥＤＯ技術委員・技術委員会等規程第３１条に基づき、研究評価委員会において設置された「太陽エネルギー技術研究開発／太陽光発電システム次世代高性能技術の開発・有機系太陽電池実用化先導技術開発」（事後評価）研究評価分科会において評価報告書案を策定し、第４７回研究評価委員会（平成２８年３月１５日）に諮り、確定されたものである。

平成２８年３月
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

審議経過

● 分科会（平成２７年１１月３０日、１２月１日）

公開セッション

１．開会、資料の確認
２．分科会の設置について
３．分科会の公開について
４．評価の実施方法について
５．プロジェクトの概要説明

非公開セッション

６．プロジェクトの詳細説明および実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み

公開セッション

７．まとめ・講評
８．今後の予定、その他
９．閉会

● 第４７回研究評価委員会（平成２８年3月１５日）

「太陽エネルギー技術研究開発／太陽光発電システム次世代高性能技術の開発・有機系太陽電池実用化先導技術開発」

事後評価分科会委員名簿

（平成２７年１２月現在）

	氏名	所属、役職
分科会長	庭野（にわの）　道夫（みちお）	東北大学　電気通信研究所　教授
分科会長代理	工藤（くどう）　一浩（かずひろ）	千葉大学 大学院工学研究科　人工システム科学専攻　教授
委員	宇佐美（うさみ）　章（あきら）	一般財団法人電力中央研究所　材料科学研究所　上席研究員
	垣内（かきうち）　弘章（ひろあき）	大阪大学　大学院工学研究科　精密科学・応用物理学専攻　准教授
	田中（たなか）　良（りょう）	株式会社 NTT ファシリティーズ　ソーラープロジェクト本部　部長
	西尾（にしお）　光弘（みつひろ）	佐賀大学　大学院工学系研究科　電気電子工学専攻　教授
	廣瀬（ひろせ）　文彦（ふみひこ）	山形大学　大学院理工学研究科　教授

敬称略、五十音順

評価概要

１．　総合評価

再生可能エネルギーとして最重要である太陽光発電に対して、産学官連携の下で基礎から実用化までの研究開発を進めた本プロジェクトは、日本の産業力を高める上で、また今後の日本のエネルギー問題を解決する上でも意義が大きい。太陽電池のロードマップに示された発電コストの低減化にむけて、太陽光発電システム次世代高性能技術の開発・有機系太陽電池実用化先導技術開発の二つの事業において、数多くの開発項目を効果的に分類して、体系的に研究開発を行った。太陽光発電システム次世代高性能技術の開発では 2010 年度から 2014 年度の 5 年間研究開発を実施し、素子やモジュール単体の性能だけでなく、周辺技術や共通基盤技術も含めた総合的な開発の取り組みがなされた。世界最高水準の成果が得られているなど、全体としては順調に進展したと評価できる。特に結晶シリコン太陽電池及び CIS 等化合物系太陽電池で顕著な成果が示されており、今後の実用化への進展が期待される。共通基盤技術においても、太陽電池の普及を支える技術開発で顕著な成果が見られる。

一方、実用化のためには、変換効率の向上もさることながら、コストの評価も必要不可欠である。コストは技術の進展・普及度や社会情勢によって大きく変動する可能性があるにしても、コスト面からの評価は都度厳しく行っていく必要がある。また、薄膜シリコン太陽電池の開発においては、コストと性能のトレードオフにおいて大きな壁があると認識され、さらなるブレークスルーが必要と感じた。旧来の研究機関の枠にとらわれず、新しい研究者の参加を得て、真のオールジャパンでの取り組みが必要と思われる。

本事業は、薄膜シリコン太陽電池から CIS 等化合物系、有機薄膜まで含め、研究開発テーマが多岐にわたっており、どの技術が実用化に近いか、将来どの技術を伸ばしていくかを柔軟に決めていく必要がある。現在、実用化には遠くても、将来技術のブレークスルーによって大きく進展する技術もあるため、技術の多様性を確保しておくことも重要である。また、国際競争の激しい電子技術などの科学技術の進歩には、有能な人材の育成が不可欠である。さらに、社会インフラとして、エネルギーを有効利用するためのシステムの構築が急務であり、太陽電池をそのシステムの中でどのように位置づけるかを今後真剣に検討する必要がある。エネルギーを如何に効率よく作り出すかばかりでなく、どのように供給し、どのように蓄積するかといったことも含めたトータルシステムを具体化することが今後の大きな課題であろう。

２．各論

２．１　事業の位置付け・必要性について

太陽光は環境破壊につながらないクリーンエネルギーであり、石油などの資源の乏しい我が国にとってエネルギーの安定確保が重要である点から、その技術開発は、国が率先して取り組むべきテーマである。現在、太陽光発電には発電コストが高いこと等解決すべき課題があるが、その解決を目指した開発は一つの研究機関、大学、企業のみで実施するにはリスク

が大きく、また、各所の技術を活かせない事象が生じる恐れがある。NEDO が関係機関をまとめる事により、開発技術の目標を確実に達成出来るよう調査・調整が可能となることから、NEDO の関与が必要である。また、有機系太陽電池実用化先導技術開発は、実使用環境下で具体的な課題抽出を試みた初めてのプロジェクトであり、その意義は極めて大きいと言える。

２．２　研究開発マネジメントについて

各種太陽電池の効率向上、シリコン製造や加工、新規部材や従来部材の代替化の共通基盤など多岐にわたる技術の開発について、戦略的かつ明確な開発目標が設定されている点は評価できる。それぞれの実施グループには事業化能力を有する企業が入っており、大学で培われたシーズ研究を実用につなげていくという産学連携体制も機能したと認められる。成果の実用化・事業化や知財に関する計画も概ね明確に示されており、NEDO およびプロジェクトリーダーによるマネジメントが十分に行われていると判断される。また、本事業期間中に太陽光発電の普及が大きく進んだことを受け、2014 年 9 月に「太陽光発電開発戦略」が NEDO で策定されており、情勢変化に対して充分な対応をとっている。

一方、変換効率は目標値としてわかり易く、研究推進の際のメルクマールとなることは理解できるが、実際にはコスト、プロセスの簡便性、既存の製造技術との互換性など、実用化や産業化の局面において検討すべき事項は多々ある。変換効率ばかりでなく、開発すべき技術を多面的に捉えていくことも必要である。また、社会状況が大きく変わる中で、開発目標の設定方法や研究開発の進め方をより一層柔軟に変えていく必要があると思われる。結晶シリコン系と、より低コストで製造可能な薄膜シリコン系を、変換効率の面だけで比較するのみでなく、用途や応用分野の棲み分けについて検討することも必要ではないか。

今後、継続プロジェクトや新規プロジェクトに向けて、得られた技術蓄積を無駄なく活用できる体制を期待する。また長期的視点から、基礎となる基盤技術とデータ収集が必要な項目を精査し、少ない予算でも継続的な技術開発を推進することが重要と思われる。

２．３　研究開発成果について

全体的に、当初設定した目標は概ね達成されたと認められる。

太陽光発電システム次世代高性能技術の開発では、特に結晶シリコン系と CIS 等化合物系に関して著しい成果が挙がっている。世界最高効率を達成した技術も多く、重要な基盤技術が確立されるなど、良好な成果が得られている。また、目標値まで達していないものであっても、問題点が抽出され解決策が明確になっており、評価できる。知財戦略に関しても、多くの研究テーマで多数の特許出願をしており、妥当である。また、実用化研究である点を考慮すれば、論文、講演等の件数も妥当である。すべての研究テーマで展示、新聞等を通して、成果の発信が積極的に行われている。

有機系太陽電池実用化先導技術開発に関しては、屋内・屋外を含めてかなりの規模で実証実験を進め、長期間の日射量、温度に対する変換効率、電流密度、開放電圧の変化など有益なデータが得られており、具体的な事業化、製品化へとつながる実りある成果が今後期待で

きる。

一方、世界初の成果や高い水準に達し得る成果もあるが、それらの成果が世界的にみてどの位のレベルに位置づけられるか、また、どのようなインパクトがあるかについて、必ずしも明確ではない。それぞれの成果の意義について明確にしておく必要がある。また、目標を達成したからよしとするのではなく、その成果を今後さらにどのように活用し、どのように発展させるかについての展望についても明確にしておく必要がある。

有機系太陽電池はまだ開発途中であり、ライフタイムが短いので材料の選定を含めてシーリング等の開発を継続し、寿命と効率の向上に努めることが必要である。

本事業の成果を無駄にしないために、今後も開発の継続が望まれる。太陽光発電を取り巻く情勢は流動的であるが、電力システム内での持続的な普及に必要な施策を、より広い視野から適切に設定することが重要である。また、有機薄膜系太陽電池は安価に作製でき、軽量化や大面積化も可能であるなど、長所は多々あり、それらの長所を活かした更なる技術発展に期待したい。

２．４　実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

各開発項目において、競合技術と比較しての性能面・コスト面を含んだ優位性が示されている。また、産業技術としての見極めと課題解決の方針がほぼ明確となり、実用化・事業化への見通しがついている。特に結晶シリコンとCIS等化合物電池の実用化の可能性が高い。また、シリコン加工や封止材などの新規部材や電極部材の代替化などは、幅広い用途の産業技術となり得るので、成長性が期待できる。さらに、多くのテーマにおいて、大学の参加などを通じて、人材育成にも貢献している。

有機系太陽電池についても産業応用技術としての見極めとその課題解決の方針がほぼ明確となり、他の無機系太陽電池とは異なる実用化・事業化へ向けた応用展開が見いだされている。

一方、事業化に伴う費用対効果については、やや不明確な印象を受ける。大量普及が重要な太陽電池としては、事業化を推進する上で費用対効果の明確化が重要であり、市場動向を勘案して早急に検討すべきである。利益の社会還元の観点から、事業化の見通しの立たないテーマについても、要素技術として他の太陽電池への応用や、波及効果も含めた成果の展開を積極的に行うことが望まれる。

有機系太陽電池では様々な用途や使用環境を想定した検討が加えられているが、それらの用途や環境が要求する太陽電池としての仕様について、より具体的な検討が必要なものがある。特に屋外用途に関しては、有機系全般に封止や材料自体の安定性などの問題がネックになっており、太陽電池としての耐久性の実証データも不十分である。したがって、共通基盤技術として別途開発が進められている封止技術も最大限活用しつつ、耐久性向上に関する取り組みを重点的に継続して欲しい。

太陽光発電は今後10年、20年続く、長期の研究開発である。現在、プロジェクトを実施している研究者、技術者の多くは、近い将来に第一線から退くことになる。したがって、今後の研究開発では次の時代を担う若手研究者や技術者、学生・大学院生の育成が重要となる。

今後もNEDO事業として若手研究者や学生に、太陽電池の素晴らしさを示す機会を数多くつくってほしい。また、今後の技術革新を考えると、開発項目の多様性も重要な要素と考える。実用にはやや遠いと思われる研究テーマも国として幅広く支援していくことが重要と考える。NEDOには多様性も考慮した事業の立案をお願いしたい。

研究評価委員会

委員名簿（敬称略、五十音順）

職　位	氏　名	所属、役職
委員長	小林　直人	早稲田大学　研究戦略センター　副所長／教授
委員	浅野　浩志	一般財団法人電力中央研究所　社会経済研究所　副研究参事
	安宅　龍明	国立研究開発法人産業技術総合研究所　イノベーション推進本部　上席イノベーションコーディネータ
	稲葉　陽二	日本大学　法学部／大学院　法学研究科　教授
	亀山　秀雄	東京農工大学　名誉教授／シニア教授
	佐久間一郎	東京大学大学院　工学系研究科　附属医療福祉工学開発評価研究センター　センター長／教授
	佐藤　了平	大阪大学　産学連携本部　名誉教授／特任教授
	菅野　純夫	東京大学大学院新領域創成科学研究科　メディカル情報生命専攻　教授
	丸山　正明	技術ジャーナリスト
	宮島　　篤	東京大学　分子細胞生物学研究所　教授
	吉川　典彦	名古屋大学　大学院工学研究科　マイクロ・ナノシステム工学専攻　教授

研究評価委員会コメント

第４７回研究評価委員会（平成２８年３月１５日開催）に諮り、以下のコメントを評価報告書へ附記することで確定した。

- 太陽光発電は既に多結晶シリコンで実用化し普及している。変換効率が向上しても、既存製品の代替は容易ではないことを念頭に置き、応用面の開拓など今後の特徴ある研究開発の検討を行っていただきたい。

第１章　　評価

この章では、分科会の総意である評価結果を枠内に掲載している。なお、枠の下の箇条書きは、評価委員の主な指摘事項を、参考として掲載したものである。

１．総合評価

再生可能エネルギーとして最重要である太陽光発電に対して、産学官連携の下で基礎から実用化までの研究開発を進めた本プロジェクトは、日本の産業力を高める上で、また今後の日本のエネルギー問題を解決する上でも意義が大きい。太陽電池のロードマップに示された発電コストの低減化にむけて、太陽光発電システム次世代高性能技術の開発・有機系太陽電池実用化先導技術開発の二つの事業において、数多くの開発項目を効果的に分類して、体系的に研究開発を行った。太陽光発電システム次世代高性能技術の開発では 2010 年度から 2014 年度の 5 年間研究開発を実施し、素子やモジュール単体の性能だけでなく、周辺技術や共通基盤技術も含めた総合的な開発の取り組みがなされた。世界最高水準の成果が得られているなど、全体としては順調に進展したと評価できる。特に結晶シリコン太陽電池及び CIS 等化合物系太陽電池で顕著な成果が示されており、今後の実用化への進展が期待される。共通基盤技術においても、太陽電池の普及を支える技術開発で顕著な成果が見られる。

一方、実用化のためには、変換効率の向上もさることながら、コストの評価も必要不可欠である。コストは技術の進展・普及度や社会情勢によって大きく変動する可能性があるにしても、コスト面からの評価は都度厳しく行っていく必要がある。また、薄膜シリコン太陽電池の開発においては、コストと性能のトレードオフにおいて大きな壁があると認識され、さらなるブレークスルーが必要と感じた。旧来の研究機関の枠にとらわれず、新しい研究者の参加を得て、真のオールジャパンでの取り組みが必要と思われる。

本事業は、薄膜シリコン太陽電池から CIS 等化合物系、有機薄膜まで含め、研究開発テーマが多岐にわたっており、どの技術が実用化に近いか、将来どの技術を伸ばしていくかを柔軟に決めていく必要がある。現在、実用化には遠くても、将来技術のブレークスルーによって大きく進展する技術もあるため、技術の多様性を確保しておくことも重要である。また、国際競争の激しい電子技術などの科学技術の進歩には、有能な人材の育成が不可欠である。さらに、社会インフラとして、エネルギーを有効利用するためのシステムの構築が急務であり、太陽電池をそのシステムの中でどのように位置づけるかを今後真剣に検討する必要がある。エネルギーを如何に効率よく作り出すかばかりでなく、どのように供給し、どのように蓄積するかといったことも含めたトータルシステムを具体化することが今後の大きな課題であろう。

〈肯定的意見〉

・ 再生可能エネルギーに対する期待が大きい中で、再生可能エネルギーとして最右翼に位置づけられる太陽光発電について、基礎から実用化まで、産学官連携の下に研究開発を進めている点は、日本の産業力を高める上で、また、今後の日本のエネルギー問題を解決する上でもこの事業の意義は大きい。これまでの研究成果・実績をみると、本事業で大きく進展した技術、またこれから発展すると期待できる技術も多々あり、それらの成果を活用して、今後も引き続き太陽光発電の技術を進展させることが強く望まれる。

・ 大規模かつ少し質の異なる太陽電池の開発プロジェクトで、高性能・高効率を目指す目的と、異なる素子をそろえて、どれが低コスト化・実用化に適しているかを見極める個別設定目標は適切であり、概ね良好な成果が得られている。また、国内外での情勢が大きく変化している中で、プロジェクトリーダーの指導のもとにいろいろ見直されたというのは、高く評価できる。
・ 近年、太陽光発電は急速に普及が進んでいる。この最大の要因が固定価格買取制度であることは間違いないが、その背後には、これまで太陽電池を始めとする太陽光発電システムの開発を継続的に進め、発電性能やコストの改善を行ってきたことも無視できない。本事業でも、太陽電池効率において世界最高を達成したテーマが多く、本事業における成果の技術水準は非常に高いと考える。特に、大学や公的研究機関と企業のコンソーシアムが組織され、これらの連携により単独機関では成し得ない成果が得られたことが高く評価できる。
・ NEDO による本プロジェクトは、日本の太陽電池産業の発展・強化のためには必要不可欠なものである。太陽電池のタイプ毎にクリアすべき課題のフェーズは異なるが、素子やモジュールの性能だけでなく、周辺技術や共通基盤技術も含めた総合的な開発の取り組みがなされており、全体としては順調に世界最高水準の成果が得られていると評価できる。中間評価段階で不明確であったコスト面の試算もなされており、今後のプロジェクトで引き続き精力的な研究開発が推進されれば、ロードマップに掲げられた発電コスト目標が達成されることが大いに期待できる。
・ 太陽光発電次世代高性能技術の開発・有機系太陽電池実用先導技術開発において、小項目を入れると 26 種類にのぼり、それらを効果的に分類して体系的に研究開発を進めていることは日本の将来展望として期待が持てる。その基本は 2010 年度～2014 年度の 5 年間（一部追加公募で 3 年間）の長期にわたって研究開発を実施してきたが、目標は 2020 年～2050 年であり、変換効率も 40%強と高い目標に位置付けられて、今後、本研究を具体的に実行するとともに応用分野の開発も期待される。そのためには NEDO が中心となって包括的に進める世界に誇れる開発方法の継続が最適である。
・ 今回の事業は、太陽電池のロードマップに示された発電コストの低減化にむけて、各種太陽電池の効率向上、シリコン製造や加工等、新規部材や従来部材の代替化等、その他の共通基盤等と多岐にわたってオールジャパンで技術開発を行うもので、資源のない日本にとって、かつての「太陽電池生産世界一」、「電子立国日本」の姿を取り戻し「科学技術立国日本の衰退」から脱却し世界をリードするモノ創りを進める上で非常に重要である。本事業のほぼ全研究テーマで、高い目標を掲げ、ほぼ目標が達成されている。また、具体的な事業化、製品化のイメージが出来上がっているものが多いことから、研究開発実施者の高い能力が裏付けられており、更には事業体制のマネージメントもしっかりしていると思われ、大いに評価できる。多くは世界トップのデータを挙げており、開発レベルの高さが伺われ、更には特許、新聞、講演、論文等を通して効果の普及などについても評価できる。具体的には、シリコン系では連携がうまくとって進められている印象があり、今後の展開も大いに期待できる。CIS の開発も

順調で非常に有望との印象を受けたが、新規にこれに取り組む意欲のある企業にとっては思いもよらない課題といったハードルの高さを感じた。CZTS は In の問題がないので、日本にとってまた新しい材料が開かれてくるので大変魅力的であり、世界レベルの効率が得られているので大いに評価できる。しかし、4 元系といった複雑な半導体系のため材料の基礎研究による補強が必要と感じた。色素と有機系についても効率は見劣りするものの世界トップの成果をあげており、効率の面で優れたペロブスカイト系が登場しているものの鉛が入っているとかいった問題もあり、この分野も今後も動かしておいた方が良いとの印象をもった。

・ Si 結晶系及び CIS 化合物電池で顕著な成果が示されており、今後の実用化への進展が期待される。共通基盤技術において、太陽電池の普及を支える技術開発で顕著な成果が見られる。

〈改善すべき点〉

・ 本事業は、実用化が大きな目標の一つである。目標を達成するには、変換効率の向上もさることながら、コストの評価も必要不可欠である。コストは、技術の進展・普及度や社会情勢によって大きく変動するなどの点があるにしても、コスト面の評価をその都度厳しく行っていく必要がある。また、この分野の世界の技術開発情勢や社会情勢が大きく変化している中で、状況の変化に応じた開発目標や開発項目の見直しも適宜行っていくべきであろう。
・ 目標を達成できなかった課題点、解決方針や今後の実用化への実現見込みが不十分な部分について、オールジャパン体制（実施者間の連携体制等）が有効に活かされたか、国内外の情勢変化への対応など、やや不明確な部分も見受けられた。
・ 太陽電池部材と太陽電池本体、異なる太陽電池系など、要素技術間の連携が進んでいると感じられたが、高い技術を相互に活かすために、今後一層の連携を進めて欲しい。例えば、ヘテロ接合型シリコン太陽電池の開発のために、薄膜シリコン太陽電池で培った基礎技術の活用や開発の推進など、要素技術を集めたボトムアップではなく、高性能な太陽電池開発に必要な技術を割り振るトップダウンの視点から、より一層の NEDO のリーダーシップを期待したい。
・ 特に結晶 Si 系においてはコンソーシアム形成による有機的連携の効果がかなり出ているが、全体としてはまだ十分とはいえない。民間企業が参画しているので知財等の難しい面はもちろんあるが、NEDO が積極的にマネジメントするなどして、さらなる研究開発の高度化と投入予算の効率化を進めてほしい。
・ 色素増感太陽電池や有機太陽電池については、低照度での発電特性や低コスト性等の特徴を活かした研究開発の結果、世界レベルの優れた成果が得られていると評価できるが、使用される有機材料の構造の不安定性に加え、依然として封止の問題で耐久性に難があるように思われる。実用化・事業化のためには、有機材料やセル構造に関する基礎的な研究とともに、共通基盤技術として開発が進められた封止技術を有効に利用するなど、耐久性の大幅向上に向けた取り組みが不可欠である。

・ 産総研をはじめ、多くの開発項目に対して、同じ企業が複数加わっているが、社内でリソースが適正に分けられているのか明確にする必要がある。
・ 薄膜系電池の開発においては、コストと性能のトレードオフにおいて大きな壁があると認識され、さらなるブレークスルーが必要と感じた。旧来の研究機関の枠にとらわれず、新しい研究者の参加を得て、真のオールジャパンでの取り組みが必要であった。

〈今後に対する提言〉
・ 今後、社会インフラとしてのエネルギーを有効利用するためのシステムの構築が急務であり、太陽電池をそのシステムの中でどのように位置づけるかを今後真剣に検討する必要がある。エネルギーは如何に効率よく作り出すかばかりでなく、どのように供給し、どのように蓄積するかといったことも含めたトータルシステムを具体化することが今後の大きな課題であろう。
・ 本事業は、シリコン系薄膜太陽電池から化合物系、有機薄膜系まで含め、研究開発テーマが多岐にわたっている。将来どの技術が実用化に近いか、どの技術を伸ばしていくかを柔軟に決めていく必要がある。その一方で、技術の多様性を確保しておくことも重要である。現在実用化には遠くても、将来技術のブレークスルーによって大きく進展する技術もある。遅れているから完全に開発をやめることなく、幅広く開発研究を進めていくことも肝要と考える。
・ 今回得られた有益な成果において、文書だけが残ってほこりが積もることがなく、今後スタートできるときには一歩もおくれずに有効活用でき、すぐキャッチアップできる技術開発体制作りに期待する。
・ 太陽電池を始めとする太陽光発電システムの日本の技術水準は非常に高く、電力システムの中での適正な活用を一層推進することが重要である。太陽光発電の日本における持続的な普及に対する制約条件は発電コストの高さであり、太陽電池を中心とする太陽光発電システムの性能向上による発電コストの低下を目指して開発を継続することが必要である。一方、近年の太陽光発電の急速な普及に伴い、発電コスト以外の制約条件が無視できなくなっている。そのため、太陽電池を中心とする太陽光発電システムの開発についても、電力系統内での適正な利用の観点を取り入れてゆくことが必要である。本事業において複数機関の連携が大きな成果を生んだように、より広範囲な技術分野で協力をすすめることが重要である。
・ 今後のプロジェクトにおいて、太陽電池の高性能化・低価格化とともに、さらなる世界市場の獲得に向けて、より一層努力してほしい。何十年もすれば現在開発に携わっている多くの研究者・技術者は退いているであろうが、幸いにも大学に入学してくる学生の多くは太陽電池に強い興味を持っていることは間違いなく、彼らの一部は将来太陽電池分野で仕事をする人材になるであろう。大学１年生の時点から、将来高性能な太陽電池開発の研究をしたいと公言する学生もいる。彼らのモチベーションを高めるためにも、太陽電池のいい面だけでなく、抱えている問題点や課題も含め、一般向けの広報活動に力を入れてほしい。

- 研究開発内容について基盤技術が類似しているような開発については、開発企業間で連携をする必要があるのでは？（経費の効率化の観点で）開発目標の 7 円/kWh 未満は非常にハードルが高い。従って、開発に携わる企業のコスト意識を徹底的に再認識してもらう必要がある。
- 国際競争の激しい電子技術などの科学技術の進歩には、有能な人材の育成や研究開発資金の確保、多岐にわたる基礎研究が不可欠であり、国の強力でかつ継続的な後押しが必要であると感じる。かつて国際的に優位な立場にあった太陽電池に関しても、資源の少ない日本にとっては重要で、国が総力を挙げて継続的な支援が必要であると考える。
- 今後さらなる低コスト化に向けて、国内外の斬新なアイデアを広く取り入れていくことが必要である。今回のプロジェクトで明らかになった課題を広く発信されて、次世代の研究者にも広く目標を与えてほしい。

２．　各論

２．１　事業の位置付け・必要性について

太陽光は環境破壊につながらないクリーンエネルギーであり、石油などの資源の乏しい我が国にとってエネルギーの安定確保が重要である点から、その技術開発は、国が率先して取り組むべきテーマである。現在、太陽光発電には発電コストが高いこと等解決すべき課題があるが、その解決を目指した開発は一つの研究機関、大学、企業のみで実施するにはリスクが大きく、また、各所の技術を活かせない事象が生じる恐れがある。NEDO が関係機関をまとめる事により、開発技術の目標を確実に達成出来るよう調査・調整が可能となることから、NEDO の関与が必要である。また、有機系太陽電池実用化先導技術開発は、実使用環境下で具体的な課題抽出を試みた初めてのプロジェクトであり、その意義は極めて大きいと言える。

〈肯定的意見〉

- 再生可能エネルギーに対する国民の期待が高まっている中で、本事業によって進めた太陽光発電の開発研究の意義は極めて大きく、今後も産官学連携を強めて研究を加速する必要がある。そのための国の恒常的な支援は今後も必須である。また、日本の産業の国際競争力を高めるため、また、エネルギーという社会インフラを整備するためにも太陽光発電開発研究に対する国の支援は引き続き必要と考える。
- 太陽光発電の技術開発を行い、将来の産業技術へ繋げることは、我が国にとって必要不可欠であるとともに、個別の研究では実現が難しいテーマと位置づけられる。この観点から、本プロジェクトを NEDO の事業として取り上げて推進したことは、太陽光発電に関する環境・エネルギー施策・制度の目標達成のために十分寄与していると思われる。
- 再生可能エネルギーは重要な低炭素の国産エネルギー源として普及が期待される。特に潜在的なエネルギー量の大きい太陽光発電の普及は極めて重要である。しかし、太陽光発電は発電コストが高いこと等の課題がある。これらの課題の解決のためには、大学とメーカ、部材メーカと太陽電池メーカ、太陽電池メーカ間の連携が効果的であり、それをマネジメントできる NEDO 事業としての実施は妥当である。また、共通基盤技術などは単独企業での実施が難しいため、NEDO 事業としての実施が必要である。
- 再生可能エネルギーへの期待が高まっている中で、本プロジェクトは非常に重要である。単一の企業や機関では実力的にも予算的にも取り組めない課題も多々あることから、産官学が連携（コンソーシアムを形成）して能率的に研究開発を推進する必要があり、そのための国によるマネジメントや経済的支援は必要不可欠といえる。本プロジェクトで投じられた予算を活用した研究開発の結果、一部で数値目標が未達のテーマがあるものの、要素技術開発や実用化・事業化に向けた検討において非常にハイレベルな成果が得られており、NEDO の事業として妥当といえる。
- 将来性を考慮した場合、一つの研究機関、大学、企業だけで実施するにはリスクが大きく、開発が困難な場合が多く、また、各社の技術を活かせない事象が生じるおそれ

がある。NEDO がそれらをまとめる事により、開発技術の目標を確実に達成出来るように調査・調整が可能である。そのための NEDO の存在と責任は重要である。特に、実際に開発される設定目標時期が 2050 年と長く、どう進めていくのかは非常に重要な要素である。

- 太陽光発電技術は、環境破壊につながらないクリーンエネルギー技術である点、石油などの資源の乏しい我が国にとってエネルギー需給の安定確保が重要である点、科学技術に対する国際競争力の継続的に確保する点で、国が第一に取り組むべき課題であると思う。本事業の太陽電池システムの低コスト化につながる多岐にわたる技術開発は、産学官の強力な連携と国の後押が不可欠である。また、太陽光発電自体の市場規模が今後益々大きく発展することが期待されるので、本事業のような低コスト化技術は我が国の国際競争力を高める上で極めて重要である。これらのことから、NEDO の関与は適切であり、おおいに評価できる。本事業の多くは世界トップと素晴らしい成果をあげると共に、太陽電池試作環境の整備や各種の太陽電池、部材等の試作、評価技術の開発、解決すべき問題点の抽出など今後の展開がおおいに期待できる成果もあげており、いずれも製品化、事業化につながるの出口が明確となっているので、NEDO の支援は十分効果的であったと判断される。
- 今回のプロジェクトは、多くの研究機関の参加を得た、オールジャパンのネットワークを生かした開発であり、NEDO の枠組みでネットワークを醸成することに大変意味がある。
- 有機系太陽電池は結晶シリコンや化合物地用電池と比べると開発の歴史は浅く、現在発展段階の技術である。この技術を実用化する上でどのような課題があるかについて様々検討されてきた中で、この「実用化先導技術開発」事業は、実際の使用環境下で具体的な課題抽出を試みた初めてのプロジェクトであり、その意義は極めて大きいと言える。

〈改善すべき点〉

- 太陽光発電の研究動向は世界的に見て大きく変動している。また、エネルギー産業も大きく変化している。変換効率の向上もさることながら、日本のエネルギー需給システムの中での太陽光発電の立ち位置を定めていくことが必要であろう。技術の高さばかりでなく、社会の中に太陽光発電をどのように取り込んでいくか、今後の新しいシステム構築が喫緊の課題である。その点で、「共通基盤技術」のテーマとしてエネルギー需給システムの研究が取り上げられたら、より開発目標が明確になったのではないかと思われる。
- 東日本大震災によりかつて経験したことのない大きな原発事故が起こり、日本のエネルギー問題は新しい局面に入ったと言える。これまで地球温暖化、CO_2 削減問題など大きな課題があったが、大震災により今後の日本のエネルギー問題が根本から問われていると言える。本事業は、この 5 年間で太陽光発電技術を大きく進展させたと言えるが、このような社会情勢の中で、日本のエネルギー需給システムの中での太陽光発

電技術の位置づけしっかりと定めていくことも必要である。また、現在の日本の産業は危機的な状況にあることも念頭に入れて、日本の産業をどのように支えるかについても検討する必要がある。エネルギーを効率よく供給することにより、省エネルギー型の産業構造につくり変えていくことが必要になるであろう。

- 一つの研究開発に対して、多くの研究機関、企業等が参加しているが、その場合の先導企業の明確化と各社のノウハウの共有化にもう一工夫が必要で有ると思われる。また、NEDO の開発グループの位置づけを常に明確にすることが必要である。

２．２　研究開発マネジメントについて

各種太陽電池の効率向上、シリコン製造や加工、新規部材や従来部材の代替化の共通基盤など多岐にわたる技術の開発について、戦略的かつ明確な開発目標が設定されている点は評価できる。それぞれの実施グループには事業化能力を有する企業が入っており、大学で培われたシーズ研究を実用につなげていくという産学連携体制も機能したと認められる。成果の実用化・事業化や知財に関する計画も概ね明確に示されており、NEDO およびプロジェクトリーダーによるマネジメントが十分に行われていると判断される。また、本事業期間中に太陽光発電の普及が大きく進んだことを受け、2014 年 9 月に「太陽光発電開発戦略」が NEDO で策定されており、情勢変化に対して充分な対応をとっている。

一方、変換効率は目標値としてわかり易く、研究推進の際のメルクマールとなることは理解できるが、実際にはコスト、プロセスの簡便性、既存の製造技術との互換性など、実用化や産業化の局面において検討すべき事項は多々ある。変換効率ばかりでなく、開発すべき技術を多面的に捉えていくことも必要である。また、社会状況が大きく変わる中で、開発目標の設定方法や研究開発の進め方をより一層柔軟に変えていく必要があると思われる。結晶シリコン系と、より低コストで製造可能な薄膜シリコン系を、変換効率の面だけで比較するのみでなく、用途や応用分野の棲み分けについて検討することも必要ではないか。

今後、継続プロジェクトや新規プロジェクトに向けて、得られた技術蓄積を無駄なく活用できる体制を期待する。また長期的視点から、基礎となる基盤技術とデータ収集が必要な項目を精査し、少ない予算でも継続的な技術開発を推進することが重要と思われる。

（１）研究開発目標の妥当性

〈肯定的意見〉

- 開発目標や計画は、どの個別テーマについても、概ね妥当と思われる。中間評価の段階から研究を大きく進展させ、目標を上回る成果を上げたテーマもある点はマネジメントが成功したことを示しており高く評価できる。
- 戦略的かつ明確な開発目標が設定され、実施者として技術力と事業化能力を有する企業、研究所、大学などが選定されている。また、社会・経済の情勢の変化や政策・技術動向等に対し、NEDO、プロジェクトリーダーの指導のもと、ほぼ適切に見直されていると思われる。
- 市場動向等を踏まえて、それぞれのタイプの太陽電池毎に定量的な開発目標を設定している。また、中間評価段階と比較すると、結晶 Si 太陽電池において特に顕著に見られるように、コンソーシアム形成によるオールジャパン的な体制作りに努力の跡が見られる。
- シリコン系と有機系では目標は同じであるが、開発計画に差があるのでどのように進展するかを調整した方が、開発目標がより明確になる。
- 各種太陽電池の効率向上、シリコン製造や加工など、新規部材や従来部材の代替化などの共通基盤といった多岐にわたる技術開発について、各々戦略をもって実施されて

いる点、開発すべき要素技術が明確にされている点、世界トップレベルまたはそれをこえる高い数値目標を掲げている点などは評価できる。
・ 「実用化先導技術開発」事業では、どの課題も的確な目標設定を行い、概ね目標を達成したと認められる。得られた成果に基づいて、更なる技術開発に取り組むべきである。

〈改善すべき点〉
・ 開発が行き詰った研究テーマについては、どこに問題があったか、これまでに得られた知見や培った技術を他の分野などにどのように活用すべきかなど、前向きな検討や研究の総括が必要である。
・ 変換効率は、目標値の設定としてはわかり易く、研究推進の際のメルクマールとなることは理解できるが、実際の技術は、コスト、プロセスの簡便性、また既存の製造技術との互換性など、実用化や産業化において検討すべき事項は多々ある。変換効率ばかりでなく、開発すべき技術を多面的に捉えていくことも必要である。そのような検討を経て生き残るのが、役に立つ、使える技術であろう。変換効率競争だけを煽るのは、今後の太陽光発電技術を進める上で得策ではないと考える。
・ 類似する研究において、テーマ毎に目標値が異なっているケースがある。また、同一の委託先が複数の類似する研究テーマの委託先となっているケースも見受けられる。個々のケースについてはそれぞれ適切な理由があり問題はないと思われるが、無用な誤解を生まないよう配慮することを望む。
・ 強いてあげれば、要素技術の中で世界最高をはるかにこえる数値目標は適切かどうか疑問が残る。

〈今後に対する提言〉
・ 目標達成度を測定・判断するための指標として、変換効率が第一に挙げられているが、この変換効率の妥当性については十分吟味する必要がある。先ず、多くの研究テーマにおいて、変換効率の値が示されているが、その数値の誤差について検討が必要である。もちろん、実用化デバイスにおいては、動けば良いということもあるが、変換効率を目標値として設定する場合には、ばらつきの問題は回避できない。例えば、ばらつきが 10%の場合に、1%の変換効率の向上が認められたといった場合、その数値の信頼性・再現性を示すべきであろう。もう一点は、歩留まりである。最高の変換効率が得られた時、その値を示すセルあるいはモジュールはどの程度の歩留まりであるかを示さないと実用化の程度を正しく評価できない。シリコンの技術開発の歴史は歩留まりとの戦いであったと言っても過言ではない。今後太陽電池発電を普及させるためには、これらの点の検討が必要不可欠であると考える。上述のように、変換効率競争だけを推し進めるのは、今後の太陽光発電技術の開発を進める上で得策ではないと考える。
・ 研究開発目標は、開発する側の事情ではなく、利用者のニーズに合わせて設定される

べきであり、研究開発のロードマップによる目標の設定は妥当である。そのため、研究開発目標は安易に低く設定されるべきではない。一方で、世界最高性能を達成したにも関わらず事業目標を達成できなかったテーマが散見された。このうちの多くは、目標は達成していないが、達成の度合いから見て充分なものであったと考える。そのため、単純な目標の達成の有無だけで今後の研究継続を判断しないように望む。

- 現状では SOG（ソーラーグレード）-Si 原料不足の問題は解消されており、今後益々結晶 Si 太陽電池の導入量が増大していくと考えられるが、今の状況の単なる延長では、2030 年や 2050 年といった将来において SOG-Si の供給不足の問題が再燃する可能性がないとはいえない。Si 原料消費量に関してメリットのある薄膜 Si 太陽電池の変換効率の大幅向上に向けた研究開発を引き続き推進してほしい。
- 基幹エネルギー源としての太陽光発電の重要性を明確にする必要がある。有機系太陽電池のように、それぞれの開発電池の適用領域を明確にする必要がある。 社会情勢の変化、地球環境の変化、化石エネルギー環境の変化等を常に意識し、場合によっては開発目標を変更することも重要である。
- 薄膜系太陽電池は古くから低コスト電池として期待が大きいが、しかし未だにおおきなブレークスルーを必要としている。NEDO の枠組みではなく、科研費や JST などの基礎研究的な資金でじっくりと技術創成をすべきと考えられる。

（２）研究開発計画の妥当性

〈肯定的意見〉

- 研究開発の計画、妥当性や開発成果の進捗、事業化に向けたマネジメントは概ね計画通りであるが、2020 年、2030 年の社会環境の変化に、本開発成果がどのように活かされるのか、活用しなければならないかを、もう少し明確に提示すべきである。

〈改善すべき点〉

- 薄膜系電池の開発においては、現状と目標に著しい解離があり、開発計画に無理があったと感じる。課題に対して、解決のアイデア、実行計画が適切に検討されて、計画申請をすべきであったと考える。

（３）研究開発実施の事業体制の妥当性

〈肯定的意見〉

- 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携については、課題毎にコンソーシアムを設けて、この 5 年間で着実に進展させてきた点も高く評価できる。それぞれの実施グループには事業化能力を有する企業を入っており、大学で培われたシーズ研究を実用につなげていくという産学連携体制も機能したと認められる。
- 複数機関からなるコンソーシアムなどにおいてシナジー効果が発揮された結果として技術が大きく進歩した点が評価できる。世界最高性能を達成している技術が多く、現在の技術水準からみて、適切な委託先が選定されている。

・ GL 制度は全体の研究の進捗管理と調整が図れるので、非常に効果的である。但し、これらはGLの力量によるところが大きいので誰を選定するかが重要であるが、山口 PL、黒川 PL は適任である。
・ 更に、プロジェクトリーダーが全体を掌握し、多数の研究機関が参加しているにも関わらずうまく連携がとれていることから、適切なマネージメントがなされていると判断される。また、すべての研究開発実施者は、事業化に向けた技術開発を行うにふさわしい高い能力をもっており、評価できる。一部の研究テーマは実地試験を通した見直しをも進めており、一貫性があり適切である。

〈改善すべき点〉
・ 開発に携わる企業の体制も年々、社会情勢により変化することが必須であることから、NEDO、GL と企業間で常に情報を共有することが望まれる。

〈今後に対する提言〉
・ 今後、継続プロジェクトや新規プロジェクトに向けて、得られた技術蓄積を時間遅れ、無駄なく活用できる体制を期待する。また長期的視点から、基礎となる基盤技術とデータ収集が必要な項目を精査し、少ない予算でも、継続的な技術開発を推進することが重要と思われる。

（4）研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性
〈肯定的意見〉
・ 成果の実用化・事業化や知財に関する計画も概ね明確に示されており、NEDO およびプロジェクトリーダーによるマネジメントが十分に行われていると判断される。
・ 結晶系および CIS 化合物、共通技術で著しい成果をあげており、マネジメントが適切になされたものと考えられる。

（5）情勢変化への対応等
〈肯定的意見〉
・ また、社会・経済の情勢の変化や政策・技術動向等に対し、NEDO、プロジェクトリーダーの指導のもと、ほぼ適切に見直されていると思われる。
・ 本事業期間中に太陽光発電の普及が大きく進んだことを受け、2014 年 9 月に「太陽光発電開発戦略」が NEDO で策定されており、情勢変化に対して充分な対応をとっている。

〈改善すべき点〉
・ 太陽光発電技術の研究動向は世界的に大きく変化している。また、日本の社会的状況も東日本大震災を契機にこれまでに経験したことのないような変化も見られる。このような状況の中で、開発目標の設定や研究の進め方も柔軟に変えていく必要があろう。

- 国内外の情勢変化への対応や今後の実用化への見込みが不十分な（または諸事情で断念した）部分について、NEDO プロジェクト、およびオールジャパン開発体制として、今後の戦略を早急に確立できることを望む。
- 社会状況が大きく変わった中で、開発目標の設定や研究開発の進め方をより一層柔軟に変えていく必要があると思われる。特に、薄膜 Si 太陽電池に関しては、目標値の設定にかなり無理な面があったと感じられる。技術的に非常に高いレベルにあることは確かなので、そこで培った技術を他のタイプの太陽電池開発に可能な限り活かしていくようマネジメントすることが重要である。また、結晶 Si 系と、より低コストで製造可能な薄膜 Si 系を、単に変換効率の面だけで比較するのではなく、用途や応用分野の棲み分けの検討も必要ではないか。

２．３　研究開発成果について

全体的に、当初設定した目標は概ね達成されたと認められる。

太陽光発電システム次世代高性能技術の開発では、特に結晶シリコン系と CIS 等化合物系に関して著しい成果が挙がっている。世界最高効率を達成した技術も多く、重要な基盤技術が確立されるなど、良好な成果が得られている。また、目標値まで達していないものであっても、問題点が抽出され解決策が明確になっており、評価できる。知財戦略に関しても、多くの研究テーマで多数の特許出願をしており、妥当である。また、実用化研究である点を考慮すれば、論文、講演等の件数も妥当である。すべての研究テーマで展示、新聞等を通して、成果の発信が積極的に行われている。

有機系太陽電池実用化先導技術開発に関しては、屋内・屋外を含めてかなりの規模で実証実験を進め、長期間の日射量、温度に対する変換効率、電流密度、開放電圧の変化など有益なデータが得られており、具体的な事業化、製品化へとつながる実りある成果が今後期待できる。

一方、世界初の成果や高い水準に達し得る成果もあるが、それらの成果が世界的にみてどの位のレベルに位置づけられるか、また、どのようなインパクトがあるかについて、必ずしも明確ではない。それぞれの成果の意義について明確にしておく必要がある。また、目標を達成したからよしとするのではなく、その成果を今後さらにどのように活用し、どのように発展させるかについての展望についても明確にしておく必要がある。

有機系太陽電池はまだ開発途中であり、ライフタイムが短いので材料の選定を含めてシーリング等の開発を継続し、寿命と効率の向上に努めることが必要である。

本事業の成果を無駄にしないために、今後も開発の継続が望まれる。太陽光発電を取り巻く情勢は流動的であるが、電力システム内での持続的な普及に必要な施策を、より広い視野から適切に設定することが重要である。また、有機薄膜系太陽電池は安価に作製でき、軽量化や大面積化も可能であるなど、長所は多々あり、それらの長所を活かした更なる技術発展に期待したい。

（１）　目標の達成度と成果の意義

〈肯定的意見〉

＜全体及び太陽光発電システム次世代高性能技術の開発＞

- 全体的に概ね当初設定した目標は達成されたと認められる。成果の中には世界最高水準のもの、また、この事業が始まってから急速に研究が進展したものも多数あり、高く評価できる。今後、この事業の成果や連携体制を活用し、太陽電池発電開発における産学連携が更に大きく進展することに期待したい。
- 各項目は太陽電池の基礎技術と産業化に向けて重要な項目であり、世界最高水準の数値や重要な基盤技術が確立されたことなど、概ね良好な成果が得られている。また、有機系素子は室内用、意匠性を活かした応用面を示唆する方向性も見出されており、室外以外の用途や携帯、自立型電源などの産業応用に期待が持てる。
- 世界最高効率を達成した技術が多く、成果の技術的水準は非常に高いと考える。当初

の開発目標を達成したテーマが大半であり、目標の達成度は充分である。また、目標を達成していないものについても、現在の世界的な技術水準と比較して遜色なく、さらに、目標達成に向けた見込みが得られているため妥当である。

・ 大学や公的研究機関と企業のコンソーシアムでのシナジー効果が発揮されたテーマが多く、これらの連携が効果的に行われたことが評価できる。

・ 全体的に、概ね当初設定した目標を達成しているし、成果は適切に管理されており、投入予算の明らかな無駄は無いように思われる。特に結晶 Si 系と CIS 系に関しては、著しい成果があがっていると認められる。一部で数値目標が未達のテーマがあるが、細かな数字だけで過度に評価するべきではなく、実際、どのタイプの太陽電池についても本質的な研究開発の進捗は大いに認められる。

・ 成果によっては世界最高水準のデータが得られているものも存在し、開発が順調に進んでいると思われるが、残念ながらこれらの大部分はセルレベルの開発成果でありモジュール、システムでのデータではないので、セル開発とともにシステム化技術の開発にも重点をおいて欲しい。また、研究項目により進捗の進展度合いに差も見受けられることから、これらの調整を図ることが重要である。

・ 本事業のほぼ全研究テーマで、目標が達成されており、開発レベルの高さが伺える。多くは世界最高のデータを挙げており、他の競合技術よりも優位に立てるという印象をもった。また、目標まで達していないものであっても、問題点の抽出と解決策が明確になっており、評価できる。産官学連携は非常にうまく機能していたと思われ、プロセス技術、新材料開発、物性評価、評価技術開発などを通して大学や産総研が強力な学術的なサポートを行ってきたことが大きな成果へとつながったとの印象をもった。

・ Si 結晶系及び CIS 化合物電池の開発において、顕著な成果が示されており、今後の実用化の進展が期待される。共通基盤技術としての今後の太陽電池の普及を支える基盤技術においても顕著な成果が見られる。

＜有機系太陽電池実用化先導技術開発＞

・ 有機系太陽電池は結晶シリコンや化合物地用電池と比べると開発の歴史は浅く、現在発展段階の技術である。この技術を実用化する上でどのような課題があるかについて様々検討されてきた中で、この「実用化先導技術開発」事業は、実際の使用環境下で具体的な課題抽出を試みた初めてのプロジェクトであり、その意義は極めて大きいと言える。どの課題も的確な目標設定を行い、概ね目標を達成したと認められる。得られた成果に基づいて、更なる技術開発に取り組むべきである。

・ 有機系素子は従来、寿命、安定性の問題点が指摘されていたが、色素増感太陽電池では新しい色素や電解液の開発による発電効率、耐久性の改善が見られており、今後材料、製造プロセスの改良による特性向上が期待される。また、長期間の日射量、温度に対する変換効率、電流密度、開放電圧の変化など有益な実証実験データが得られている。一方、実用化の課題点、室内用、意匠性を活かした応用面を示唆する方向性も見出されており、これらの蓄積データを活用した展開に期待が持てる。

・ 有機系太陽電池の特長を活かした用途の多様化などは実用化の観点から重要であり、

将来的な市場の拡大につながる成果が得られたと評価できる。

- どのテーマについても、概ね当初設定した目標を達成しているし、発電性能に関しても現段階で十分と考えられる効率が達成されており、投入予算の明らかな無駄は無いと考えられる。有機系ならではの低照度での発電性や低コスト性、デザイン性などを前面に出した開発により、屋内設置用途に関しては実用化できるレベルに達していると思われる。
- 有機系太陽電池は将来的にはコスト、安全性、信頼性の点から期待されており、今回、それらを実現すべく開発されている。将来シリコン系と同様の技術レベルに達すると想定されており途中段階ではあるが今回の開発結果は十分に成果がでており将来の実現性が高い。
- 軽量を活かした特殊用途に向け、使用用途に応じた個別対応の実証試験などはほぼ達成されおり、評価できる。また、幾つかのテーマでは封止性、耐久性などに関わる具体的問題点も把握されており、今後の展開が期待できる。また、テーマの中には屋内・屋内を含めてかなりの規模で実証試験を進めており具体的な事業化、製品化へとつながる実りある成果が今後期待できる。
- 進展は極めて著しく、今後の向上が期待できる。

〈改善すべき点〉

＜全体及び太陽光発電システム次世代高性能技術の開発＞

- 世界初や世界的水準に達し得る成果もあるが、それらの成果が世界的にみてどの位のレベルに位置づけられるか、また、どのようなインパクトがあるかについて、必ずしも明確ではない。成果がどのような意義があるかについて明確にしておく必要がある。また、目標を達成したからよしとするのではなく、その成果を今後さらにどのように活用し、どのように発展させるかについての展望を今後明確にしておく必要がある。一方、目標未達、あるいは、その手前にある課題については、具体的な解決の道筋を明らかにするとともに、これまでに得られた結果を総括し、事業全体で共有できるような仕組みが必要である。
- 未達成の部分において、その原因までは明確となりながら、その課題解決の方針がやや不明確な部分が見られる（主にセル性能の数値目標で×△記入部分）。
- 有機系の太陽電池については、Si 系に比べて低照度での発電特性や低コスト性、軽量性等の優位点を活かしたターゲット設定による研究開発の結果、世界レベルの優れた成果は得られているものの、使用される有機材料の構造の不安定性に加え、依然として封止の問題で耐久性に難があると思われる。耐久性向上に向けた研究開発が引き続き必要である。
- トップデータに踊ることなく、あくまで実用化されて意味が有るので、実用化に是非とも重点を置く必要がある。そのうえでの課題の抽出と解決を実施する。

＜有機系太陽電池実用化先導技術開発＞

- 色素増感太陽電池と有機薄膜太陽電池ともに、今後の実用化に向けての第一の課題は

寿命である。それぞれの課題ごとに解決策についての取り組みは行われているが、具体的な解決策を早めに策定しておく必要がある。例えば、色素増感太陽電池では電解液の固体化が一つの長寿命化の解決策の一つと思われる。変換効率の向上もさることながら、結晶シリコン太陽電池の寿命とは行かないまでも、実用に耐えるある程度の長寿命化を実現する必要があろう。

- 製造プロセスや材料に依存した初期動作の安定性、耐久性など、素子性能とその本質的な原因が明確になったとは言い難く、この課題解決が実用化への大きな障害になっていると思われる。特に安定性、耐久性に関与すると思われるトラップ解析などはシミュレーションのみではなく実デバイスでの実測、経時変化の本質となる解析結果が乏しく、大学、研究所と強く連携してフィードバックする取り組みがあっても良かったと思われる。
- 結晶シリコン太陽電池と比較すると有意な差があるものの、有機系太陽電池の変換効率や耐久性はこれまでの研究で着実に改善している。特に、日本の技術レベルはこの点で高く、この高い技術の十分な活用に一層の重点を置くことが重要である。
- 有機系太陽電池の場合、長期に渡る耐久性が常々問題とされるが、特に屋外での用途を想定した場合には、実環境でのモジュールの耐久性や信頼性の点で難があると言わざるを得ない。現段階では発電性能維持のための方策に関する具体的な見通しは無いように見受けられ、封止技術の改善を含めた今後の重点的な検討に期待したい。
- まだ、開発途中であり、ライフタイムが短いので材料の選定を含めてシーリング等の開発を継続し、寿命と効率の向上に努める事が必要である。
- プラスティック基板 DSC については想定アプリケーションと他の電池との優位性の明確化が必要。

〈今後に対する提言〉

＜全体及び太陽光発電システム次世代高性能技術の開発

- 性能面、コスト面以外に、将来我が国が目指す新規市場の拡大や創造につながる展開部分については、今後の新規課題として議論すべき部分であろう。
- 本事業の研究成果は高く評価したい。本事業の成果を無駄にしないために、今後も開発が継続されることを望む。太陽光発電を取り巻く情勢は流動的であるが、電力システム内での持続的な普及に必要な施策を、より広い視野から適切に設定することが重要である。
- CIS 系太陽電池は原料にインジウムを使用している点がネックであり、将来的な製造量の増大には限度がある。そのため、CZTS 系へのシフトを推し進めることは不可欠である。現状では CZTS 系の変換効率はまだまだ低く、クリアするべき難しい課題があるが、今後のプロジェクトにおいて、変換効率の向上に向けた集中的な研究開発が行われることに期待したい。
- CZTS は新しい材料の道が開かれるので大変魅力的であるが、材料の特徴を有効に活用するために CZTS 単結晶の成長と結晶特性の評価などの基礎研究による補強が必

要と感じた。

＜有機系太陽電池実用化先導技術開発＞

- この事業では、具体的な課題抽出を行うために、使用される用途や環境など、検討された項目は多岐にわたっている。この事業において、どの課題が克服できたかが判明し、また、用途として有望と思われるものも明らかになったと思われる。今後は、それらの課題を整理し、かつ、どのような用途にどのような仕様で臨むべきかを明確にして、今後の技術開発を行うべきである。有機系太陽電池には、安価に作製でき、軽量化や大面積化も可能であるなど、長所は多々ある。それらの長所を活かした更なる技術発展に期待したい。
- 製造プロセスや材料に依存する部分が多いが、無機デバイスや有機 EL などで培われた材料物性評価、デバイス性能評価をもっと取り入れた連携型基礎研究に向けた新たな展開を探っていただきたい。
- 太陽光発電は未利用の設置場所も多く、設置場所や用途の拡大の努力が継続されることを望む。
- シリコン系、ペロブスカイト系と有機系との三本柱になれるように開発を加速することが期待されている。
- 効率の面で優れたペロブスカイト系が登場しているものの鉛が入っているといった問題もあり、この分野も今後も動かしておいた方が良いとの印象をもった。

（2） 知的財産権等の取得及び標準化の取組

〈肯定的意見〉

＜全体及び太陽光発電システム次世代高性能技術の開発＞

- 知財に関しては、産学で共同出願した特許もあり、コンソーシアムの機能など、産学官連携体制が功を奏したと認められる。
- 多くの研究テーマで多数の特許出願をしており、妥当である。
- 各プロジェクトにおいて知財の取得も高いレベルにあると考えられる。

〈改善すべき点〉

＜全体及び太陽光発電システム次世代高性能技術の開発＞

- 特許、論文、発表の成果において、各担当の事情に依存する部分ではあるが、各開発項目ごとの差が大きく、ノウハウの流出が理由か、成果があまり得られなかったか、判断しかねる部分もある（件数が 0-2 の項目）。

〈今後に対する提言〉

＜全体及び太陽光発電システム次世代高性能技術の開発＞

- 研究開発は重要であるが、研究のための研究でなく、実際に世の中にどのように受け入れられるのかにも重点をおいて進めるべきである。日本でトップレベルの開発をしても数年以内に諸外国で類似のものが開発されるのは必須のことである。そのため工

業所有権等はしっかりと取得しておくことが必要である。また、世界の開発状況を常に情報収集し、遅れが生じないようにする工夫が必要。

（３） 成果の普及

〈肯定的意見〉

＜全体及び太陽光発電システム次世代高性能技術の開発＞

・ 新聞報道や学会での発表など、成果の普及に努めている。
・ 成果の普及や知財の管理についても、個々の実施者・企業でスタンスの違いが見られるものの、特に問題はない。
・ 実用化研究である点を考慮すれば、論文、講演等の件数はテーマによって異なるが、全体的には妥当である。すべての研究テーマで展示、新聞等を通して、成果の発信を積極的に行っており、具体的な事業化、製品化へとつながる実りある成果が今後期待できる。

＜有機系太陽電池実用化先導技術開発＞

・ すべての研究テーマで展示、新聞等を通して、成果の発信を積極的に行っており、特殊な市場となってしまうがアプリケーション次第で新規の事業展開が期待できる好印象をもった。

〈改善すべき点〉

＜全体及び太陽光発電システム次世代高性能技術の開発＞

・ 論文発表やプレスリリースは適切に行われていると認められるが、この種の大型事業に関しては、発表内容の質にも十分留意すべきと思われる。世界最高、世界初という発表も大事であるが、その発表が自己満足的なものではなく、実際に重要な成果であるということについては、丁寧に発信していく必要がある。

２．４　実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

各開発項目において、競合技術と比較しての性能面・コスト面を含んだ優位性が示されている。また、産業技術としての見極めと課題解決の方針がほぼ明確となり、実用化・事業化への見通しがついている。特に結晶シリコンと CIS 等化合物電池の実用化の可能性が高い。また、シリコン加工や封止材などの新規部材や電極部材の代替化などは、幅広い用途の産業技術となり得るので、成長性が期待できる。さらに、多くのテーマにおいて、大学の参加などを通じて、人材育成にも貢献している。

有機系太陽電池についても産業応用技術としての見極めとその課題解決の方針がほぼ明確となり、他の無機系太陽電池とは異なる実用化・事業化へ向けた応用展開が見いだされている。

一方、事業化に伴う費用対効果については、やや不明確な印象を受ける。大量普及が重要な太陽電池としては、事業化を推進する上で費用対効果の明確化が重要であり、市場動向を勘案して早急に検討すべきである。利益の社会還元の観点から、事業化の見通しの立たないテーマについても、要素技術として他の太陽電池への応用や、波及効果も含めた成果の展開を積極的に行うことが望まれる。

有機系太陽電池では様々な用途や使用環境を想定した検討が加えられているが、それらの用途や環境が要求する太陽電池としての仕様について、より具体的な検討が必要なものがある。特に屋外用途に関しては、有機系全般に封止や材料自体の安定性などの問題がネックになっており、太陽電池としての耐久性の実証データも不十分である。したがって、共通基盤技術として別途開発が進められている封止技術も最大限活用しつつ、耐久性向上に関する取り組みを重点的に継続して欲しい。

太陽光発電は今後 10 年、20 年続く、長期の研究開発である。現在、プロジェクトを実施している研究者、技術者の多くは、近い将来に第一線から退くことになる。したがって、今後の研究開発では次の時代を担う若手研究者や技術者、学生・大学院生の育成が重要となる。今後も NEDO 事業として若手研究者や学生に、太陽電池の素晴らしさを示す機会を数多くつくってほしい。また、今後の技術革新を考えると、開発項目の多様性も重要な要素と考える。実用にはやや遠いと思われる研究テーマも国として幅広く支援していくことが重要と考える。NEDO には多様性も考慮した事業の立案をお願いしたい。

〈肯定的意見〉

＜全体及び太陽光発電システム次世代高性能技術の開発＞

- それぞれの個別テーマについては、実用化に向けての目標設定や研究計画が立案され、概ね達成されたと認められる。いくつかのテーマについては本事業によって実用化に向けて大きく研究が促進されたと認められる。特に、CIS 系太陽電池や有機系太陽電池は実用化に向けた取り組みが大きく進展したと判断できる。これらの技術については、引き続き国の支援で開発研究を進めることが望まれる。
- 概ね各項目において、競合技術と比較した性能面、コスト面を含んだ優位性が示されている。また、産業技術としての見極めとその課題解決の方針がほぼ明確となり、実

用化・事業化への見通しが見いだされている。

- 太陽光発電は普及段階に達した技術であり、性能の改善はコスト低減につながるため、本事業の実用化・事業化への貢献度は高い。多くのテーマにおいて、大学の参加などを通じて、人材育成に貢献している。
- 結晶 Si 系や CIS 系などでは、これから実用化に向けて開発を進めようとしているテーマ以外に既に実用化に向けた取り組みが進んでいるテーマも見られ、どのテーマにおいても実用化に向けての目標設定や開発計画が明らかであり、事業化の可能性が大いに感じられる。中間評価段階ではまだ基礎研究の段階という印象が強かった有機太陽電池や色素増感太陽電池に関しても、結晶 Si 系などと用途が棲み分けされ、実用化に向けたシナリオが明確化されていると評価できる。
- それぞれ目標を持って研究開発を進めている。実用化のためには、信頼性、効率、寿命、コストを常に意識して開発を進める必要があり、各開発状況は概ね順調である。
- 本事業のほぼ全研究テーマで、成果の実用化、事業化の見通しをたてており、評価できる。また、多くの研究テーマが性能面、コスト面を含み優位性は確保される見通しで製品化やその実地試験、事業化などを進めているので、将来企業売り上げに貢献できると期待される。特に、シリコン加工、封止材などの新規部材や電極部材の代替化などは、幅広い用途の産業技術となりうるので、成長性が期待できる。また、今後、効率、劣化が改善されれば、軽量、フレキシブルを活かした薄膜太陽電池も意匠性の活用分野、建材分野、農業分野など市場の創造が期待でき、実際に用途拡大に向けて積極的に取り組んでいる姿は称賛される。
- 各テーマにおいて、将来の実用化に向けて達成されている点と残された課題を明確にしており、適切なマネジメントがなされたと考えられる。特に結晶 Si、化合物電池での実用化の可能性が高い。共通技術の成果は、太陽電池に限らず、フレキシブルエレクトロニクスなどの分野への波及も期待される。

＜有機系太陽電池実用化先導技術開発＞

- 実用化に向けての課題は明確になりつつあると思われる。特に、本事業においては、実際の使用環境を想定した特性の評価や解決すべき課題の抽出を行っており、実用化や事業化に向けて大きく前進したと認められる。想定した使用環境や用途も実現性の高いものも見受けられ、今後の技術の発展が大いに期待できる。
- 有機系太陽電池の産業応用技術としての見極めとその課題解決の方針がほぼ明確となり、他の無機系太陽電池とは異なる実用化・事業化へ向けた応用展開が見いだされている。特に、農業、ビル窓、緊急時の自立型電源用途や室内用、携帯機器用などの産業応用に期待が持てる。
- 利用者のニーズを汲み取る努力が見られ、将来的な実用化・事業化に向けて着実に前進していると評価できる。
- どのテーマにおいても実用化に向けて十分な取り組みがなされており、屋内設置用途における見通しは明るいと思われる。また、色素増感太陽電池に比べ、有機薄膜太陽電池は紫外線に対する耐久性が高いと思われる。特に高温での電解液漏れの心配がな

いという利点があるため、屋外用途であれば有機薄膜太陽電池の方が適していると思われる。いずれにしても、他タイプの太陽電池と明確に差別化した有機系ならではの多様な用途・設置場所・利用形態が種々検討されており、付加価値増加に向けた技術開発も含め、計画や構想に沿って積極的に実用化を進めていって欲しい。

- 実用化には今回の報告で効率の向上、超寿命化の達成と課題が明確になっており、これらを確立することにより、十分に市場に適用可能とおもわれる。
- 全研究テーマで、成果の実用化、事業化の見通しをたてており、評価できる。応用が小規模分野で用途開拓中との印象を受けるが、コスト面の優位性や軽量、フレキシブルを活かして意匠性の活用分野、建材分野、農業分野など新市場への展開は期待でき、実際に用途拡大に向けて実証試験に積極的に取り組んでいる姿は称賛される。
- 進展が著しく今後も着実な成果が期待できる。

〈改善すべき点〉

＜全体及び太陽光発電システム次世代高性能技術の開発＞

- コストダウンや事業化、経済効果等の見通しについては、全体的に状況の把握が若干不足している感がある。太陽光発電は現在世界的に大きな研究課題になっており、研究開発動向はここ数年大きく変化している。これまで、ナンバー1 の地位を保っていた日本の技術も、既にその地位から陥落し、危機的な状況にある。このような状況の中で、当初の目標も含めて、研究計画の変更や修正も必要であったと思われる。一度スタートした事業の目標設定を変えることは、困難ではあるとは思うが、実用化を目標とする本事業については、世界情勢を睨みながらの柔軟な対応ができる仕組みの構築が必要であろう。このことは、事業の実施者だけでなく、NEDO 推進部も真剣に検討する必要がある。
- 一部の実用化・事業化への見込みが不十分な（または諸事情で断念した）部分や国内外の情勢変化への対応した見直しや変更した部分についても、新しい視点からの実用化・事業化へ向けた見込みを明確にする必要がある。
- いくつか事業化の見通しの立たないテーマが存在した。これらについては技術的には成果が得られたものもあるが、事業化については、研究開発による技術的な優位性の確保はもとより、収益性の見通しが必要であることから、本事業の開始時点と終了時での市場動向の変化など、止むを得ない事情もある。しかし、公的資金を用いているため、利益の社会への還元の観点から、一定の事業化に対する責任が生ずると考える。そのため、事業化の見通しの立たないテーマについても、要素技術の他の太陽電池への利用や波及効果も含めた成果の社会への還元を積極的に行うことを望む。
- 事業化に伴うコスト効果については、やや不明確な印象を受ける。大量普及が重要な太陽電池としては、事業化を推進する上でコスト効果の明確化が重要であり、市場動向を勘案して早急に検討すべきである。
- 具体的な適用領域を明確にし、開発ターゲットを明確にすることが重要。特に有機系においては、その重要性、将来性を加味して進める必要がある。

・ 強いてあげれば、バルク型太陽電池、CIS 系太陽電池以外の薄膜太陽電池ではどのように対抗して優位性を確保するかといったことに多少不安に感じた。
・ 薄膜系電池においては、将来実用化を担う民間の研究グループの撤退もみられ、実用化への取り組み計画やマイルストーンの再考は必要である。

＜有機系太陽電池実用化先導技術開発＞

・ 様々な用途や使用環境を想定した検討が加えられているが、それらの用途や環境に要求される太陽電池としての仕様について、より具体的な検討が必要なものがある。特に、実現性の高い用途については、必要とされる耐久性（寿命）などについての詳細な検討が必要であろう。
・ 効率、寿命などにおいて実用化・事業化への見込みが不十分な部分や見直しや変更した部分についても、新しい視点からの実用化・事業化へ向けた見通しを明確にする必要がある。また、有機系太陽電池の優位性を活かした産業技術と経済的・社会的波及効果をより明確とする必要があると思われる。
・ 特に屋外用途に関しては、有機系全般的に封止や材料そのものの安定性などの問題がネックになっており、太陽電池としての耐久性の実証データもまだ不十分である。したがって、共通基盤技術として別途開発が進められている封止技術も最大限活用しつつ、耐久性向上に関する取り組みを重点的に継続して欲しい。発電性能や製造コスト面でのさらなる検討も必要と思われる。
・ 量産化技術の確立がコストと密接に絡み合っており、この分野の確立を早急に図る必要がある。
・ 有機電池においてはモジュール効率の点でさらなる改良が必要。プラスティック上色素増感は、これでないと成り立たない独占的な優位性のあるアプリを開拓するとよいと思う。

〈今後に対する提言〉

＜全体及び太陽光発電システム次世代高性能技術の開発＞

・ 太陽光発電はこの先 10 年、20 年と続く、息の長い研究開発である。現在、プロジェクトの実施者、特にリーダークラスの研究者、技術者はいずれ近い将来に第一線から退くことになる。「2030 年」には殆どの研究者はリタイヤしているであろう。したがって、今後の研究開発で重要なことは、次の時代を担う若手研究者や技術者、大学においては学生・大学院生の育成である。昨今の若者はモノづくりにあまり興味を示さなくなったと言われ、特に、太陽電池の開発研究はモノづくり研究の最右翼と行って過言ではないため、この先が懸念されるところではある。しかし、若者はモノづくりを嫌いで敬遠している訳ではなく、モノづくりの将来が不透明であるために敬遠していると思われる。本事業のように、産学連携で研究を進めるプロジェクトは、学生や若手研究者が開発研究に大いに関わるため、若手に研究の素晴らしさを示せる非常に貴重な機会を提供している。今、日本の産業構造は大きく変化して、この先不透明であるが、この危機的な状況を打破できるのはやはり若者である。その意味で、若手研

究者や学生に、太陽電池の素晴らしさを示す機会を今後数多くつくって頂きたい。

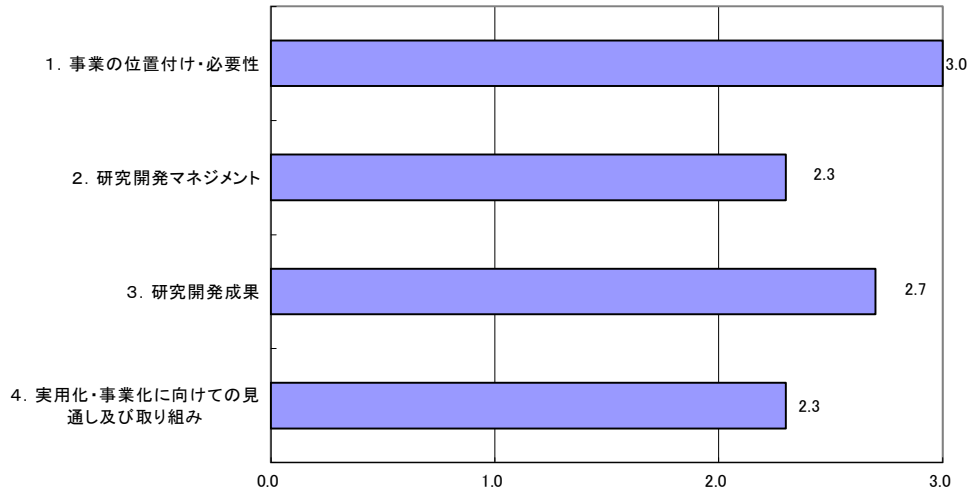
- 本事業で遂行された研究テーマは、実用に近いものから、かなり基礎的なものまで幅が広い。実用化を考えると、できるだけ実用に近いものを推進する「選択と集中」が必要である。しかし、その一方で、今後の技術革新を考えると、実用にはやや遠いと思われる研究テーマも国として幅広く支援していくことが重要と考える。国の事業として実用化研究を進展させるためには、開発研究の多様性も重要な要素と考える。NEDO 推進部には多様性も考慮した事業の立案をお願いしたい。
- プロジェクト終了後に諸事情で事業化が見込めない部分について、根本的対策や今後別方向での展開等をぜひ探っていただきたい。
- 公的資金の投資の社会への還元のために、開発技術の実用化・事業化は重要である。しかし、実用化を急ぐあまり低い技術水準でも可能な事業に安易に手を出すべきでなく、開発技術の最大限の活用を重要視して欲しい。
- 共通基盤技術として開発が進められた封止技術は、どのタイプの太陽電池にとっても長期間に渡る性能維持に大きく貢献する技術といえる。特に有機系太陽電池にとっては耐久性向上が非常に重要な課題であるため、速やかに個々の太陽電池に導入し、今後のプロジェクトにおける研究開発の効率化・高度化を図って欲しい。
- 開発の目標、成果が見えてきたところで、広報を進めるとともに、実際のフィールドでの実証試験を行い、開発成果の妥当性と新たに生じた課題の解決を図っていくことが重要。
- 20 年以上の耐久性を持たせるためには多くの課題が生じる。特に有機系の長寿命化は最も難しい課題で有ると思われる。
- 本事業で得られた成果の実用化、事業化の見込みがあるものが多いので、更なる低コスト化や高い信頼性が達成されることを期待する。

＜有機系太陽電池実用化先導技術開発＞

- 有機太陽電池は結晶Ｓｉ系や化合物系に比べてその性能が劣っている点もあるが、変換効率にだけ固執することなく、安価に作製できることや、その意匠性が高いなどの特徴を活かした用途について、的を絞った開発を行うべきであろう。耐久性については今後の課題であるが、用途によっては短時間でも、例えば１年でも問題ないものもあると思われる。そのような用途に特化して、開発を進めるのも有効な一策と思われる。
- 性能面、コスト面以外に、将来我が国が目指す新規市場の拡大や新しい商品の創造につながる展開部分については、今後の新規課題として議論すべき部分であろう。また、プロジェクト終了後に諸事情で事業化が見込めない部分について、根本的対策や今後別方向での展開等をぜひ探っていただきたい。
- 情報化の進展に伴い、微弱で動作可能な用途に対するモバイルやディスポーザブルな電源のニーズなどが今後考えられる。開発次第で有機系太陽電池の意匠性をこれらに活かすことも可能であり、多様な技術分野と連携を図ることが有機系太陽電池の事業化には有望である。

- 世界に先駆けた開発をしているとの自負を持って開発を進めること。また、その体制をしっかり築くことが事業化を左右すると思われるので今後の開発体制の構築が重要である。
- 更なる高い信頼性、高効率化が達成されることを期待する。

３．評点結果〔太陽光発電システム次世代高性能技術の開発〕



平均値

評価項目	平均値	素点（注）						
１．事業の位置付け・必要性について	3.0	A	A	A	A	A	A	A
２．研究開発マネジメントについて	2.3	B	B	B	B	B	A	A
３．研究開発成果について	2.7	A	B	A	A	A	A	B
４．実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて	2.3	B	B	B	B	A	A	B

（注）素点：各委員の評価。平均値は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算し算出。

〈判定基準〉

１．事業の位置付け・必要性について

・非常に重要　→A
・重要　→B
・概ね妥当　→C
・妥当性がない、又は失われた　→D

２．研究開発マネジメントについて

・非常によい　→A
・よい　→B
・概ね適切　→C
・適切とはいえない　→D

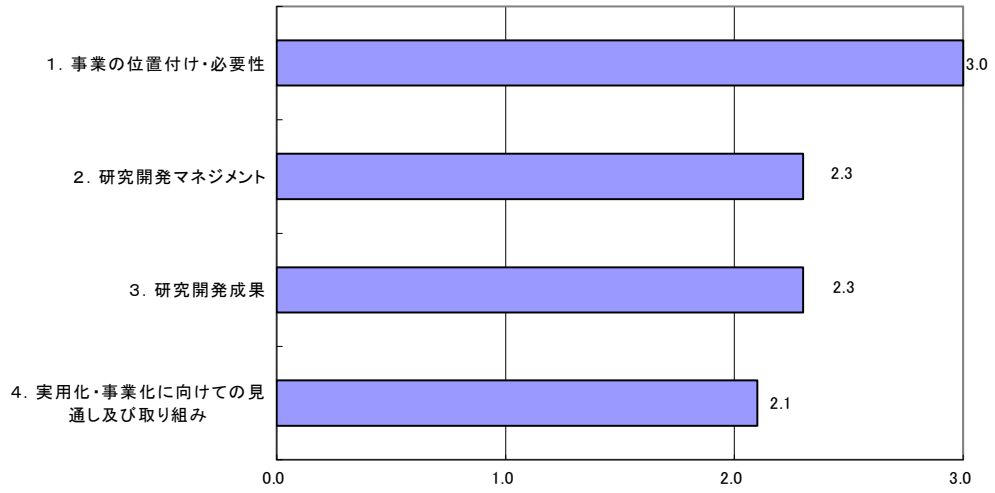
３．研究開発成果について

・非常によい　→A
・よい　→B
・概ね妥当　→C
・妥当とはいえない　→D

４．実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

・明確　→A
・妥当　→B
・概ね妥当　→C
・見通しが不明　→D

評点結果〔有機系太陽電池実用化先導技術開発〕



平均値

評価項目	平均値	素点（注）						
１．事業の位置付け・必要性について	3.0	A	A	A	A	A	A	A
２．研究開発マネジメントについて	2.3	B	B	B	B	B	A	A
３．研究開発成果について	2.3	A	B	B	B	C	A	A
４．実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて	2.1	B	C	B	A	B	A	B

（注）素点：各委員の評価。平均値は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算し算出。

〈判定基準〉

１．事業の位置付け・必要性について

・非常に重要　→A
・重要　→B
・概ね妥当　→C
・妥当性がない、又は失われた　→D

２．研究開発マネジメントについて

・非常によい　→A
・よい　→B
・概ね適切　→C
・適切とはいえない　→D

３．研究開発成果について

・非常によい　→A
・よい　→B
・概ね妥当　→C
・妥当とはいえない　→D

４．実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

・明確　→A
・妥当　→B
・概ね妥当　→C
・見通しが不明　→D

第２章　　評価対象事業に係る資料

１．事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

資料 5-1

「太陽エネルギー技術研究開発／太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」

事業原簿
【公開】

担当部	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー部

—目次—

概　要
プロジェクト用語集

Ⅰ. 事業の位置付け・必要性について
1.　NEDOの関与の必要性・制度への適合性・・Ⅰ-1[1]
　1.1　NEDOが関与することの意義
　1.2　実施の効果（費用対効果）
2.　事業の背景・目的・位置づけ・・・Ⅰ-2 [1]

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて
1.　事業の目標・・Ⅱ-1 [1]
2.　事業の計画内容・・・Ⅱ-2 [1]
　2.1 研究開発の内容
　2.2 研究開発の実施体制
　2.3 研究の運営管理
　2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性
3.　情勢変化への対応・・Ⅱ-3 [1]
4.　中間評価結果への対応・・Ⅱ-4 [1]
5.　評価に関する事項・・・Ⅱ-5 [1]

Ⅲ. 委託テーマの成果詳細と実用化・事業化見通し
1. 事業全体の成果
（イ） 結晶シリコン太陽電池・・・Ⅲ-1-（イ） [1]
（ロ） 薄膜シリコン太陽電池・・・Ⅲ-1-（ロ） [1]
（ハ） CIS・化合物系太陽電池・・Ⅲ-1-（ハ） [1]
（ニ） 色素増感太陽電池・・・Ⅲ-1-（ニ） [1]
（ホ） 有機薄膜太陽電池・・・Ⅲ-1-（ホ） [1]
（ヘ） 共通基盤技術・・Ⅲ-1-（ヘ） [1]
2. 研究開発項目毎の成果と実用化・事業化見通し
（イ） 結晶シリコン太陽電池
　A 極限シリコン結晶太陽電池の研究開発
　　1. 成果詳細・・Ⅲ-2-（イ）-A-1 [1]
　　2. 実用化・事業化見通し・・・Ⅲ-2-（イ）-A-2 [1]
　　3. 波及効果・・Ⅲ-2-（イ）-A-3 [1]
　　4. 今後の展開・・・Ⅲ-2-（イ）-A-4 [1]
　　5. 特許論文リスト・・Ⅲ-2-（イ）-A-5 [1]
　B マルチワイヤーソーによるシリコンウエハ切断技術の研究開発
　　1. 成果詳細・・Ⅲ-2-（イ）-B-1 [1]
　　2. 実用化・事業化見通し・・・Ⅲ-2-（イ）-B-2 [1]
　　3. 波及効果・・Ⅲ-2-（イ）-B-3 [1]

4. 今後の展開・・・Ⅲ−2−(イ)−B−4 [1]
5. 特許論文リスト・・Ⅲ−2−(イ)−B−5 [1]
C 太陽電池用ポリシリコンのシリコン原料転換の研究開発
1. 成果詳細・・Ⅲ−2−(イ)−C−1 [1]
2. 実用化・事業化見通し・・・Ⅲ−2−(イ)−C−2 [1]
3. 波及効果・・Ⅲ−2−(イ)−C−3 [1]
4. 今後の展開・・・Ⅲ−2−(イ)−C−4 [1]
5. 特許論文リスト・・Ⅲ−2−(イ)−C−5 [1]
D 太陽電池用シリコンの革新的プロセスの研究開発
1. 成果詳細・・Ⅲ−2−(イ)−D−1 [1]
2. 実用化・事業化見通し・・・Ⅲ−2−(イ)−D−2 [1]
3. 波及効果・・Ⅲ−2−(イ)−D−3 [1]
4. 今後の展開・・・Ⅲ−2−(イ)−D−4 [1]
5. 特許論文リスト・・Ⅲ−2−(イ)−D−5 [1]
E 赤外線 FZ 法による N 型四角形状シリコン単結晶育成方法の研究開発
1. 成果詳細・・Ⅲ−2−(イ)−E−1 [1]
2. 実用化・事業化見通し・・・Ⅲ−2−(イ)−E−2 [1]
3. 波及効果・・Ⅲ−2−(イ)−E−3 [1]
4. 今後の展開・・・Ⅲ−2−(イ)−E−4 [1]
5. 特許論文リスト・・Ⅲ−2−(イ)−E−5 [1]
F 銅ペースト量産化技術と試験・評価方法に関する研究開発
1. 成果詳細・・Ⅲ−2−(イ)−F−1 [1]
2. 実用化・事業化見通し・・・Ⅲ−2−(イ)−F−2 [1]
3. 波及効果・・Ⅲ−2−(イ)−F−3 [1]
4. 今後の展開・・・Ⅲ−2−(イ)−F−4 [1]
5. 特許論文リスト・・Ⅲ−2−(イ)−F−5 [1]
G 超低コスト高効率 Ag フリーヘテロ接合太陽電池モジュールの研究開発
1. 成果詳細・・Ⅲ−2−(イ)−G−1 [1]
2. 実用化・事業化見通し・・・Ⅲ−2−(イ)−G−2 [1]
3. 波及効果・・Ⅲ−2−(イ)−G−3 [1]
4. 今後の展開・・・Ⅲ−2−(イ)−G−4 [1]
5. 特許論文リスト・・Ⅲ−2−(イ)−G−5 [1]
(ロ) 薄膜シリコン太陽電池
A 次世代多接合薄膜シリコン太陽電池の産学官協力体制による研究開発
1. 成果詳細・・Ⅲ−2−(ロ)−A−1 [1]
2. 実用化・事業化見通し・・・Ⅲ−2−(ロ)−A−2 [1]
3. 波及効果・・Ⅲ−2−(ロ)−A−3 [1]
4. 今後の展開・・・Ⅲ−2−(ロ)−A−4 [1]
5. 特許論文リスト・・Ⅲ−2−(ロ)−A−5 [1]

B 高度構造制御薄膜シリコン太陽電池の研究開発
1. 成果詳細・・・Ⅲ-2-(ロ)-B-1 [1]
2. 実用化・事業化見通し・・・Ⅲ-2-(ロ)-B-2 [1]
3. 波及効果・・・Ⅲ-2-(ロ)-B-3 [1]
4. 今後の展開・・・Ⅲ-2-(ロ)-B-4 [1]
5. 特許論文リスト・・Ⅲ-2-(ロ)-B-5 [1]
C 薄膜シリコンフィルム太陽電池の高速製膜技術の研究開発
1. 成果詳細・・・Ⅲ-2-(ロ)-C-1 [1]
2. 実用化・事業化見通し・・・Ⅲ-2-(ロ)-C-2 [1]
3. 波及効果・・・Ⅲ-2-(ロ)-C-3 [1]
4. 今後の展開・・・Ⅲ-2-(ロ)-C-3 [1]
5. 特許論文リスト・・Ⅲ-2-(ロ)-C-5 [1]
（ハ） CIS・化合物系太陽電池
A CIS 系薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発
1. 成果詳細・・・Ⅲ-2-(ハ)-A-1 [1]
2. 実用化・事業化見通し・・・Ⅲ-2-(ハ)-A-2 [1]
3. 波及効果・・・Ⅲ-2-(ハ)-A-3 [1]
4. 今後の展開・・・Ⅲ-2-(ハ)-A-4 [1]
5. 特許論文リスト・・Ⅲ-2-(ハ)-A-5 [1]
B CZTS 薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発
1. 成果詳細・・・Ⅲ-2-(ハ)-B-1 [1]
2. 実用化・事業化見通し・・・Ⅲ-2-(ハ)-B-2 [1]
3. 波及効果・・・Ⅲ-2-(ハ)-B-3 [1]
4. 今後の展開・・・Ⅲ-2-(ハ)-B-4 [1]
5. 特許論文リスト・・Ⅲ-2-(ハ)-B-5 [1]
C フレキシブル CIGS 太陽電池モジュール高効率化研究
1. 成果詳細・・・Ⅲ-2-(ハ)-C-1 [1]
2. 実用化・事業化見通し・・・Ⅲ-2-(ハ)-C-2 [1]
3. 波及効果・・・Ⅲ-2-(ハ)-C-3 [1]
4. 今後の展開・・・Ⅲ-2-(ハ)-C-4 [1]
5. 特許論文リスト・・Ⅲ-2-(ハ)-C-5 [1]
D CIGS 薄膜太陽電池モジュールにおける低コスト化技術の開発
1. 成果詳細・・・Ⅲ-2-(ハ)-D-1 [1]
2. 実用化・事業化見通し・・・Ⅲ-2-(ハ)-D-2 [1]
3. 波及効果・・・Ⅲ-2-(ハ)-D-3 [1]
4. 今後の展開・・・Ⅲ-2-(ハ)-D-4 [1]
5. 特許論文リスト・・Ⅲ-2-(ハ)-D-5 [1]
E 反射式集光型太陽光発電システムの研究開発
1. 成果詳細・・・Ⅲ-2-(ハ)-E-1 [1]

2. 実用化・事業化見通し・・Ⅲ-2-(ハ)-E-2 [1]
3. 波及効果・・Ⅲ-2-(ハ)-E-3 [1]
4. 今後の展開・・・Ⅲ-2-(ハ)-E-4 [1]
5. 特許論文リスト・・Ⅲ-2-(ハ)-E-5 [1]

(ニ) 色素増感太陽電池

A ガラス基板型色素増感太陽電池(電圧型)の研究開発

1. 成果詳細・・Ⅲ-2-(ニ)-A-1 [1]
2. 実用化・事業化見通し・・Ⅲ-2-(ニ)-A-2 [1]
3. 波及効果・・Ⅲ-2-(ニ)-A-3 [1]
4. 今後の展開・・・Ⅲ-2-(ニ)-A-4 [1]
5. 特許論文リスト・・Ⅲ-2-(ニ)-A-5 [1]

B ガラス基板型色素増感太陽電池(電流型)の研究開発

1. 成果詳細・・Ⅲ-2-(ニ)-B-1 [1]
2. 実用化・事業化見通し・・Ⅲ-2-(ニ)-B-2 [1]
3. 波及効果・・Ⅲ-2-(ニ)-B-3 [1]
4. 今後の展開・・・Ⅲ-2-(ニ)-B-4 [1]
5. 特許論文リスト・・Ⅲ-2-(ニ)-B-5 [1]

C プラスチック基板型色素増感太陽電池の研究開発

1. 成果詳細・・Ⅲ-2-(ニ)-C-1 [1]
2. 実用化・事業化見通し・・Ⅲ-2-(ニ)-C-2 [1]
3. 波及効果・・Ⅲ-2-(ニ)-C-3 [1]
4. 今後の展開・・・Ⅲ-2-(ニ)-C-4 [1]
5. 特許論文リスト・・Ⅲ-2-(ニ)-C-5 [1]

(ホ) 有機薄膜太陽電池

A 汎用型有機薄膜太陽電池の研究開発

1. 成果詳細・・Ⅲ-2-(ホ)-A-1 [1]
2. 実用化・事業化見通し・・Ⅲ-2-(ホ)-A-2 [1]
3. 波及効果・・Ⅲ-2-(ホ)-A-3 [1]
4. 今後の展開・・・Ⅲ-2-(ホ)-A-4 [1]
5. 特許論文リスト・・Ⅲ-2-(ホ)-A-5 [1]

B 蓄電機能付有機薄膜太陽電池の研究開発

1. 成果詳細・・Ⅲ-2-(ホ)-B-1 [1]
2. 実用化・事業化見通し・・Ⅲ-2-(ホ)-B-2 [1]
3. 波及効果・・Ⅲ-2-(ホ)-B-3 [1]
4. 今後の展開・・・Ⅲ-2-(ホ)-B-4 [1]
5. 特許論文リスト・・Ⅲ-2-(ホ)-B-5 [1]

(ヘ) 共通基盤技術

A 超ハイガスバリア太陽電池部材の研究開発

1. 成果詳細・・・Ⅲ−2−(へ)−A−1 [1]
2. 実用化・事業化見通し・・Ⅲ−2−(へ)−A−2 [1]
3. 波及効果・・・Ⅲ−2−(へ)−A−3 [1]
4. 今後の展開・・・Ⅲ−2−(へ)−A−4 [1]
5. 特許論文リスト・・・Ⅲ−2−(へ)−A−5 [1]

B ロールツーロールプロセスを可能とする封止材一体型保護シートの研究開発

1. 成果詳細・・・Ⅲ−2−(へ)−B−1 [1]
2. 実用化・事業化見通し・・Ⅲ−2−(へ)−B−2 [1]
3. 波及効果・・・Ⅲ−2−(へ)−B−3 [1]
4. 今後の展開・・・Ⅲ−2−(へ)−B−4 [1]
5. 特許論文リスト・・・Ⅲ−2−(へ)−B−5 [1]

C 太陽光発電システムの据付工程簡便化に関する研究開発

1. 成果詳細・・・Ⅲ−2−(へ)−C−1 [1]
2. 実用化・事業化見通し・・Ⅲ−2−(へ)−C−2 [1]
3. 波及効果・・・Ⅲ−2−(へ)−C−3 [1]
4. 今後の展開・・・Ⅲ−2−(へ)−C−4 [1]
5. 特許論文リスト・・・Ⅲ−2−(へ)−C−5 [1]

D 発電量評価技術等の開発及び信頼性及び寿命評価技術の開発

1. 成果詳細・・・Ⅲ−2−(へ)−D−1 [1]
2. 実用化・事業化見通し・・Ⅲ−2−(へ)−D−2 [1]
3. 波及効果・・・Ⅲ−2−(へ)−D−3 [1]
4. 今後の展開・・・Ⅲ−2−(へ)−D−4 [1]
5. 特許論文リスト・・・Ⅲ−2−(へ)−D−5 [1]

E PV システム汎用リサイクル処理手法に関する研究開発

1. 成果詳細・・・Ⅲ−2−(へ)−E−1 [1]
2. 実用化・事業化見通し・・Ⅲ−2−(へ)−E−2 [1]
3. 波及効果・・・Ⅲ−2−(へ)−E−3 [1]
4. 今後の展開・・・Ⅲ−2−(へ)−E−4 [1]
5. 特許論文リスト・・・Ⅲ−2−(へ)−E−5 [1]

F 太陽光発電技術開発動向等の調査

1. 成果詳細・・・Ⅲ−2−(へ)−F−1 [1]
2. 実用化・事業化見通し・・Ⅲ−2−(へ)−F−2 [1]
3. 波及効果・・・Ⅲ−2−(へ)−F−3 [1]
4. 今後の展開・・・Ⅲ−2−(へ)−F−4 [1]
5. 特許論文リスト・・・Ⅲ−2−(へ)−F−5 [1]

G 次世代長寿命太陽電池モジュールの研究開発

1. 成果詳細・・・Ⅲ−2−(へ)−G−1 [1]
2. 実用化・事業化見通し・・Ⅲ−2−(へ)−G−2 [1]
3. 波及効果・・・Ⅲ−2−(へ)−G−3 [1]

4. 今後の展開‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥Ⅲ−2−（へ）−G−4 [1]
5. 特許論文リスト‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥Ⅲ−2−（へ）−G−5 [1]
H ドレスト光子利用太陽電池技術の研究開発
1. 成果詳細‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥Ⅲ−2−（へ）−H−1 [1]
2. 実用化・事業化見通し‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥Ⅲ−2−（へ）−H−2 [1]
3. 波及効果‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥Ⅲ−2−（へ）−H−3 [1]
4. 今後の展開‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥Ⅲ−2−（へ）−H−4 [1]
5. 特許論文リスト‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥Ⅲ−2−（へ）−H−5 [1]

（添付資料）
・プロジェクト基本計画
・事前評価関連資料（事前評価書、パブリックコメント募集の結果）

概　要

最終更新日	平成 27 年 12 月 25 日

プログラム名	エネルギーイノベーションプログラム		
ﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄ名	太陽エネルギー技術研究開発 太陽光発電システム次世代高性能技術の開発	ﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄ番号	P07015
担当推進部	新エネルギー部		
O. 事業の概要	本事業では、低炭素社会の実現のため我が国政府が打ち出した目標（2009 年 4 月 9 日内閣総理大臣講演）（太陽光発電の導入規模を 2020 年に現状の 20 倍（26GW）、2030 年に 40 倍（53GW）にする）の達成に資する研究開発として、モジュール高効率化及びコスト低減の観点から、各種太陽電池の変換効率の向上、原材料・各種部材の高機能化、モジュール長寿命化、評価技術等の共通基盤技術等の開発を行う。具体的には以下のテーマを実施する。 （イ）結晶シリコン太陽電池のコスト低減技術、高効率化技術 （ロ）薄膜シリコン太陽電池の高効率化技術、製造コスト低減技術 （ハ）CIS・化合物系太陽電池の高効率化技術、製造プロセスの開発、集光型太陽電池の低コスト化開発 （ニ）色素増感太陽電池の高効率化技術、モジュール化技術・耐久性向上技術開発 （ホ）有機薄膜太陽電池の高効率化技術、モジュール化技術・耐久性向上技術開発 （ヘ）共通基盤技術の発電量評価技術、信頼性及び寿命評価技術、リサイクル・リユース技術、共通材料・部材・機器及びシステム関連技術、標準化支援事業及び IEA 国際協力事業等		
Ⅰ．事業の位置付け・必要性について	環境と調和した健全な経済産業活動と安全・安心な国民生活の実現を図るため、クリーンエネルギーである太陽光発電の更なる普及が待望されている。太陽光発電の更なる普及を実現するためには、これまでに蓄積した技術の更なる高効率化、共通基盤技術の発展及び低コスト化を可能とする革新的技術の開発が不可欠である。本プロジェクトは、経済性・出力安定性といった課題を克服し、新エネルギー等の自律的普及を目標とするエネルギーイノベーションプログラムの一環として実施する。 太陽光発電の急速な普及を背景に、海外においては、太陽光発電技術の開発が精力的に取り組まれている。一方、我が国では太陽光発電ロードマップ（PV2030+）で示された技術課題の解決を通した太陽光発電の普及拡大に邁進しており、まさに、グローバルな開発競争となっている。我が国は太陽光発電の技術開発及びその導入量・生産量において長らく世界一を誇っていたが、欧州を中心に行われている導入普及政策により、市場の中心は欧州へと移っており、当該分野における我が国の競争力再建のためには、これまで以上の技術開発が必要となっている。このため、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）は、産学の科学的知見を結集して太陽光発電の技術開発を行い、これを産業技術へ繋げていく。また、社会の共通基盤として太陽光発電に係る情報の整備・提供を通じて、行政・産業界・地域社会等の関係各界で科学的知見に基づく認識の醸成を図ることを目的に、本プロジェクトを実施する。		

Ⅱ．研究開発マネジメントについて

事業の目標	太陽光発電ロードマップ（PV2030+）に記載の発電コスト目標：14 円/kWh　（2020 年）、モジュール製造コスト目標：75 円/W、モジュール変換効率目標：20%（2015～2020 年時点）の実現に資する各種太陽電池の高効率化、低コスト化に係る技術を確立することを目標とする（太陽電池種類毎の具体的な達成目標は後述）。							
事業の計画内容	主な実施事項	H22fy	H23fy	H24fy	H25fy	H26fy		
	結晶シリコン太陽電池	←				→		
	薄膜シリコン太陽電池	←				→		
	CIS・化合物系太陽電池	←				→		
	色素増感太陽電池	←				→		
	有機薄膜太陽電池	←				→		
	共通基盤技術	←				→		
開発予算 （会計・勘定別に事業費の実績額を記載）（単位：百万円） 契約種類： 委託（100％）、共	会計・勘定	H22fy	H23fy	H24fy	H25fy	H26fy	総額	
	一般会計	―	―	―	―	―	―	
	特別会計(需給勘定)	2,932	3,979	7,477	5,596	4,191	24,175	
	増額予算	1,389	2,287	－	－	―	3,676	

	同研究(2/3)	総予算額	4,321	6,266	7,477	5,596	4,191	27,851
		(委託)	3,595	5,030	6,200	4,539	3,441	22,805
		(共同研究) :負担率 2/3	726	1,236	1,276	1,058	750	5,046
	開発体制	経産省担当原課	資源エネルギー庁　省エネルギー・新エネルギー部　新エネルギー対策課					
		プロジェクトリーダー	山口真史(豊田工業大学大学院工学研究科特任教授)(担当:下記以外)および黒川浩助(東京工業大学統合研究院特任教授) (担当:共通基盤技術の発電量評価技術、信頼性及び寿命評価技術、リサイクル・リユース技術、標準化支援事業及び IEA 国際協力事業)					
		委託先・共同研究先	豊田工業大学、新日本ソーラーシリコン(株)、京都大学、東北大学、(株)SUMCO、九州大学、(独)物質・材料研究機構、コマツ NTC(株)、兵庫県立大学、(独)産業技術総合研究所、奈良先端科学技術大学院大学、東京工業大学、岐阜大学、シャープ(株)、三菱電機(株)、京セラ(株)、明治大学、(株)コベルコ科研、太平洋セメント(株)、弘前大学、東京大学、名古屋大学、(株)クリスタルシステム、ナミックス(株)、太陽光発電技術研究組合、(株)カネカ、富士電機(株)、ソーラーフロンティア(株)、(独)産業技術総合研究所、富士フイルム (株)、(株)アルバック、鹿児島大学、筑波大学、龍谷大学、(株)ホンダソルテック、豊橋技術科学大学、三井造船(株)、九州工業大学、信州大学、新日鐵化学(株)、住友大阪セメント (株)、メルク(株)、山形大学、桐蔭横浜大学、グンゼ(株)、(株)フジクラ、東京理科大学、住友化学(株)、出光興産(株)、(株)東芝、パナソニック電工(株)、早稲田大学、三菱樹脂(株)、積水化学工業(株)、デュポン(株)、(財)日本気象協会、(財)北九州産業学術推進機構、(株) 資源総合システム、みずほ情報総研(株)、日清紡ホールディングス(株)、ポリプラスチックス(株)、三菱化学(株)、(特非)ナノフォトニクス工学推進機構 (注)名称に変更があった場合は、契約期間中最終時の名称を記載。					
	情勢変化への対応	事業開始後の太陽光発電関連産業の事業環境の変化を踏まえ、研究開発目標、計画の見直しを柔軟に実施した。また、研究開発の進捗に応じ、事業の加速、中止も実施した。 さらに、太陽光発電システムの市場競争力を高めるため、新たな着想、方式、材料等を用いた太陽電池モジュールの低コスト化、高効率化、長寿命化に資する研究開発テーマの強化を狙い、平成 24 年度には、追加公募を実施し、実施テーマの拡充を図った。						
	中間評価結果への対応	事業実施者との間で、コストに関する情報交換、議論を強化。開発目標がコスト低減に及ぼす効果を精査し、可能な限り実施計画に反映した。 また、実用化等、成果の最大化が期待できるテーマの加速(増額)、実用化の見通しが立たないテーマは中止する等、平成 25 年度以降のマネジメントに反映した。						
	評価に関する事項	事前評価	事前評価　平成 21 年度　担当部　新エネルギー技術開発部					
		中間評価	中間評価　平成 24 年度　担当部　新エネルギー部					
		事後評価	事後評価　平成 27 年度　担当部　新エネルギー部					
Ⅲ. 研究開発成果について		豊田工業大学　大学院工学研究科特任教授　山口　真史氏を基本計画の研究項目ごとに設定した下記のテーマ(イ)～(ホ)および(ヘ)の共通部材のプロジェクトリーダー、東京工業大学　ソリューション研究機構　特任教授　黒川　浩助氏をテーマ(ヘ)の発電量・寿命評価およびリサイクル技術のプロジェクトリーダーとし、その下で各研究開発の効率化を図りながら、太陽電池の種類ごとに研究分科会(後に進捗報告会に名称変更)を設け、プロジェクトリーダー及び実施者間での情報交換等により進捗状況の把握、研究方針のチェックと指導を行った。分野別に、成果概要を以下に示す。 (イ)結晶シリコン太陽電池 結晶シリコン太陽電池の高効率化技術及び低コスト化に資する技術の開発を目的として研究開発を行った。「極限シリコン結晶太陽電池の研究開発(次世代超薄型結晶シリコン太陽電池の低コスト・高効率化プロセス開発)(委託先シャープ株式会社)」においては、ヘテロ接合バックコンタクト太陽電池セルの開発により、世界最高レベルの変換効率 25.1%を達成した。また、「極限シリコン結晶太陽電池の研究開発(太陽電池向け 100 μm ウエハの高効率加工技術の構築)(委託先コマツ NTC 株式会社)」では、細線ワイヤによる切断条件を改良し、ウエハ厚さ 100 μm、カーフロス 75 μm を達成した。「超低コスト高効率 Ag フリーヘテロ接合太陽電池モジュールの研究開発(共同研究先						

	株式会社カネカ）」においては、銅メッキ法による電極形成技術やヘテロ接合技術により、6 インチ基板で世界最高記録となる変換効率 24.5%を達成した。更に両面電極としては世界最高記録となる25.1%の変換効率も達成した。 （ロ）薄膜シリコン太陽電池 薄膜シリコン太陽電池について、高効率化と製造コスト低減の開発を目的として、研究開発を行った。「次世多接合薄膜シリコン太陽電池の産学官協力体制による研究開発」（委託先：太陽光発電技術研究組合）においては、小面積のトリプルセルにおいて、光劣化抑制技術、光閉じ込め技術などを開発しました。これらの要素技術の融合により、世界最高変換効率である安定化効率 13.6%（AIST 高精度評価）を得た。また製造コスト低減の開発として、大面積（G5 サイズ：1.4m×1.1m）プラズマCVD装置をベースにした高生産製造装置の開発し、μc-Si 製膜において±8.56%の膜厚均一性を得た。「高度構造制御薄膜シリコン太陽電池の研究開発」（共同研究先：株式会社カネカ）においては、世界で初めて中間層を有する大面積 3 接合モジュール(a-Si/中間層/a-SiGe/中間層/ μc-Si)を作成し、1420×1100mm：初期 184W（AIST 認証）を達成した。「薄膜シリコンフィルム太陽電池の高速製膜技術の研究開発」（共同研究先：富士電機株式会社）においては、フィルム基板上にアモルファスシリコン（a-Si:H）と微結晶シリコン（μc-Si:H）のセルを積層した多接合太陽電池において、3 接合太陽電池で初期効率 12.6%、安定化効率 11.6%を得た。 （ハ）CIS 等化合物系太陽電池 CIS 系薄膜太陽電池の高効率化技術及び軽量基板上への太陽電池の形成技術の開発を目的として研究開発を行った。「CIS 系薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発」（共同研究先：ソーラーフロンティア株式会社）においては、セレン化硫化法による光吸収層の改良と透明導電膜の高性能化により、カドミウム（Cd）を含まない CIS 太陽電池の 2014 年当時世界最高効率を更新する変換効率 20.9%を達成した。「CZTS 系薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発」（委託先：ソーラーフロンティア株式会社、国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人鹿児島大学、国立大学法人筑波大学、学校法人龍谷大学）においては、CZTS セルからサブモジュールへの大面積化に成功し、サブモジュール効率 11.8%を達成した。本研究成果はサブモジュールで小面積セルの世界最高効率に迫るものである。 （ニ）色素増感太陽電池 色素増感太陽電池の高効率化・高耐久化およびモジュール開発を目的として、研究開発を行った。「三層協調界面構築による高効率・低コスト・量産型色素増感太陽電池の研究開発」（委託先：シャープ株式会社、住友大阪セメント株式会社、富士フイルム株式会社、メルク株式会社、新日鐵化学株式会社、国立大学法人九州工業大学、国立大学法人信州大学）においては、色素増感太陽電池の主となる三要素（TiO_2 電極、色素、電解液）についてそれぞれ最適な材料を開発することにより、1cm 角の色素増感太陽電池セルで世界最高となる変換効率 11.9%を達成した。また、低コスト化が可能な構造のモジュール化技術を開発し、5cm 角サブモジュールにおいても世界最高となる変換効率 10.7%を達成した。「高効率・高耐久性色素増感太陽電池モジュールの研究開発」（委託先：株式会社フジクラ、学校法人東京理科大学）は、1cm 角セルで世界第二位となる 11.8%を達成するとともに、自社測定では最大で 12.45%の光電変換効率を確認した。また、単一ガラス基板サブモジュールとしては 5 cm 角セルで 10.0 %を達成した。 （ホ）有機薄膜太陽電池 有機薄膜太陽電池の高効率化・高耐久化およびモジュール開発を目的として、研究開発を行った。「有機薄膜太陽電池モジュール創製に関する研究開発」（委託先：株式会社東芝、住友化学株式会社、出光興産株式会社、国立大学法人京都大学）においては、長波長吸収効率の高い有機薄膜材料とそれに適した構造（逆構造）を開発することにより有機薄膜太陽電池セルで世界最高となる変換効率 11.0%を達成した。また、簡単なプロセスで均一な膜を形成できるメニスカス塗布法を開発することによりサブモジュールにおいても世界最高となる変換効率 9.7%（5cm 角）、モジュールにおいても 8.7%（30cm 角）を達成した。「光電化分離ゲルによる屋内用有機太陽電池の研究開発」（委託先：パナソニック株式会社、早稲田大学）では 200Lx下で変換効率 20.2%を達成するとともに、発電蓄電一体化では変換効率 19.8%と蓄電容量 1.3mWh の両立を実現した。また、同じくパナソニック株式会社、早稲田大学においては 2014 年度より新たな追加項目としてペロブスカイト太陽電池の検討を開始し、環境制御（ドライ）により再現性あるプロセス構築した。 （ヘ）共通基盤技術 発電量評価技術、信頼性および寿命評価技術、PV システム汎用リサイクル処理手法、共通材料・部材の開発、技術動向の調査を目的として、研究開発を行った。「発電量評価技術等の開発・信頼性および寿命評価技術の開発」（委託先：独立行政法人産業技術総合研究所他）においては、気象データから結晶 Si 太陽電池の発電量を±3%以内の精度で推定する測定法及び算出法や、太

	陽光発電システムの分散発電量予測及び広域発電量予測モデルについて高精度化を図り、電力会社の運用を想定したケーススタディにおいて全数計測ケースと比較して、サンプリング手法、全量把握ケース、日射予測からの推定ケースについて RMES で 0.05kW/m^2 以下に抑えることができた。また、新規加速試験技術の開発では、モジュールへの紫外光照射と機械式曲げ荷重試験等を含んだ複合試験の有効性確認と、下限が 10^{-5} g/m^2day 台の浸入水蒸気量を定量化するモジュール内水蒸気進入経路調査方法等を開発し、水蒸気バリア性を高めることよりも、モジュール内に酢酸を滞留させないことが信頼性向上に重要であるとの知見を得た。 「広域対象の PV システム汎用リサイクル処理手法に関する研究開発」(委託先:公益財団法人北九州産業学術推進機構)においては主要プロセス装置とモジュールの移動に同期して各装置を作動させるシステム制御装置から成る低コスト汎用リサイクル処理技術を開発し、各種モジュールを用いた多数枚連続処理試験を実施し、取得した基礎データから処理システムの安定性・信頼性及び処理コストを評価し、処理コスト目標「5 円/W@年間 200MW 処理」の実現妥当性を確認した。 「超ハイガスバリア太陽電池部材の研究開発」(委託先:三菱樹脂株式会社)においては、水蒸気透過度 10^{-6}g/m^2day、85℃×85%RH 1700hr での水蒸気透過度 10^{-5}g/m^2day 以下、耐候性試験機 3000hr での水蒸気透過度 10^{-5}g/m^2day 以下である、Cat-CVD とシリカ蒸着の複合膜による超ハイガスバリアフィルムのロール to ロールプロセスでの作成に成功。「ロールツーロールプロセスを可能とする封止材一体型保護シートの研究開発」(委託先:積水化学工業株式会社)においては、厚み精度±4%、接着速度 3m/分で一体成形、接着強度 20N/10mm、全光線透過率 93%の透明性、バリア性 1.8g/m^2day の薄膜シリコン太陽電池向け一体型保護シートの実現と同技術のリジッド太陽電池用封止材への展開可能を確認。「太陽光発電システムの据付工程簡便化に関する研究開発」(委託先:デュポン株式会社)においては、ボルトナット不要で部品点数を 60%削減、据付作業に必要な人員を 33%削減、施工時間 45%削減を実現できる据付部品プロトタイプを開発。また、アイオノマー樹脂と薄板ガラスの組み合わせで、従来型構造と比較し約 50%の軽量化と、IEC61215、IEC61730 準拠の各種試験に合格する耐久性を持つ新規モジュール構造を実現した。 「次世代長寿命太陽電池モジュールの研究開発」(委託先:日清紡ホールディングス株式会社、ポリプラスチックス株式会社)においては、PID 防止フィルム及び、本フィルムを用いたモジュールを開発し、85℃ 85%RH −1000v 1000hr で発電劣化がないことを確認した。「ドレスト光子利用太陽電池技術の研究開発」(委託先:東京大学、特定非営利活動法人ナノフォトニクス工学推進機構、三菱化学株式会社)においては、太陽電池の変換効率を向上させるドレスト光子フロントフィルムを開発し、本フィルムを実装した 156mm 角の結晶シリコン太陽電池(効率 η=18.1%)にて変換効率 $\Delta\eta$ = +2.1%を達成した。	
(特許・論文等について件数を記載)	H22-H26 年度(2 月末まで)において 特許出願 681 件、論文(査読付)360 件、研究発表・講演 1,554 件	
Ⅳ. 実用化の見通しについて	本事業で確立した要素技術は、漸次担当企業で実用化されていく。また要素技術として確立しても、実用化までにもう一段の研究が必要とされるものは、2017 年以降に実用化を行い、2020 年における発電コスト 14 円/kWh、2030 年における発電コスト 7 円/kWh の目標達成を目指す。	
Ⅴ. 基本計画に関する事項	作成時期	平成 22 年 3 月制定
	変更履歴	(1)平成 23 年 3 月、研究開発項目①「革新的太陽光発電技術研究開発(革新型太陽電池国際研究拠点整備事業)」の 4. 達成目標の中間目標(平成 24 年度末)の追記及び最終目標(平成 26 年度末)を修正。 (2)平成 24 年 3 月、新規研究開発項目「有機系太陽電池実用化先導技術開発」を新たに制定したこと等による修正。 (3)平成 25 年 3 月、研究開発項目①「革新的太陽光発電技術研究開発(革新型太陽電池国際研究拠点整備事業)」の 4. 達成目標の最終目標(平成 26 年度末)を修正。 (4)平成 25 年 6 月、研究開発項目①「革新的太陽光発電技術研究開発(革新型太陽電池国際研究拠点整備事業)」の 4. 達成目標の(2)高度秩序構造を有する薄膜多接合太陽電池の研究開発のグループリーダーの変更に伴う修正。

プロジェクト用語集

用語（日本語）	用語（英語）	説明
1sun	1sun	AM1.5 の太陽光スペクトルにて入射光強度が 1000 W/m^{2}の条件を指す
3 段階法	Three-stage process	第 1 段階で In、Ga、Se、第 2 段階で Cu、Se、第 3 段階で In、Ga、Se を蒸着する Cu(In,Ga)Se_2製膜法で、2 重傾斜禁制帯の形成が可能
ASTL 法	ASTL method	CIGS に対する Na 供給技術の一種。Mo 薄膜を成膜する前に SLG の薄膜を成膜する。Na は Mo を通して CIGS へ供給される。
BDTAR	Beam Down TAR	上記集光装置の 2 次集光部で下方へ再度反射集光させて集光倍率をあげた集光装置。
BIPV(建材一体型太陽光発電)	Building-integrated photovoltaics	太陽電池モジュールが建物の一部分を構成して、従来の建築材料の機能を担っていること。
CCA	Concentrator cell assembly	太陽電池を基板に実装したもの。構成部品は，太陽電池、基板、ショットキーダイオード、コネクターなど
CIGS	CIGS	$CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$という化合物半導体
CIS 系太陽電池	Copper Indium Selenium Cell	銅、インジウム、セレン他による化合物を光吸収層とした太陽電池
COC 樹脂	Cyclo Olefin Co-polymer resin	環状オレフィン構造を有する非晶性の透明樹脂。
CZTS	CZTS	Cu_2ZnSnS_4という化合物半導体
CZTS 系太陽電池	Copper Zinc Tin Sulfide-based Cell	銅、亜鉛、スズ、イオウ他による化合物を光吸収層とした太陽電池
CZ 法	Czochralski method	結晶の素材を石英製などのるつぼに入れ、抵抗加熱などによって材料を溶かして融点よりも少し高い温度に保っておき、それに単結晶の種子結晶をひたして十分になじませたのち、ゆっくり引き上げて種子結晶の方位配列をもった大きな円柱状の単結晶を成長する方法。
D-π-A 色素	D-π-A dye	電子密度が高く電子供与性の性質を有するドナー部位(D)と電子密度が低く電子吸引性の性質を有するアクセプター部位(A)がπ共役部位を介して結合した構造をもつ色素
EBIC	EBIC	電子線照射によって試料に誘起される電流
EMC	EMC	Electro Magnetic Casting(電磁鋳造)の略称
EVA 樹脂	Ethylene-vinyl ーacetate Copolymer	太陽電池モジュールの封止に使用される樹脂材料の一つ
FZ 法	Flating zone melting method	単結晶の材料となる多結晶棒を垂直に置いて、上下をクランプし、途中を高周波や電子ビームなどで部分的に加熱溶融し、その溶融ゾーンを下から上または上から下に移動させることによって単結晶を成長する方法。
G5 G8.5	G5 G8.5	ガラス基板サイズの呼称。Gは世代（Generation ）を表す。通常 G5 は 1.1×1.3m^2, G8.5 は 2.2×2.5m^{2}を指すが、本開発では 1.1×1.4m^{2}も G5 と呼んでいる。
haze	haze	曇り度。
HOMO	HighestOccupied Molecular Orbital	基底状態において電子をみたされている軌道（占有軌道）の内、エネルギーの最も高い電子軌道。
Hα	Hα	水素原子の線スペクトルの中で、波長：656.28nm のもの。
IPCE	Incident photons to current conversion efficiency	ある波長において、入射したうちの電子へ変換された光子数の割合を百分率（%）で表したもの。
JIS 規格 C8938 の環境試験、耐久性試験	Environmental and endurance test methods for amorphous solar cell modules	アモルファス太陽電池モジュールの環境、耐久性試験に関する JIS 規格。 本研究開発では下記 3 項目の試験を適用し、変換効率の低下を評価する。 温湿度サイクル（A2）：温度範囲：-40℃～85℃85%RH、 サイクル数 10cycle 光照射（A5）：照度 255W/m^2 波長：300－700nm 500 時間 耐湿性（B2）：85℃85%RH 1000 時間

用語（日本語）	用語（英語）	説明
LPI 社	Light Prescriptions Innovators, LLC	LPI 社は 1999 年に設立され、自動車のランプ、LED ライト、集光型太陽光等の製品に、非結像及び結像光学の技術を使って、革新的なシリューションを提供している先進的な技術者集団の会社である。特に、LPI ヨーロッパは、マドリッド工科大学と良好な関係を構築して、共同して先進的な技術開発を進めている。
LUMO	Lowest Unoccupied Molecular Orbital	基底状態において電子を満たしていない（否占有軌道）の内、エネルギーの最も低い未占有の軌道。
MOCVD 法	Metal Organic Chemical Vapor Deposition	有機金属を原料とした化学的気相製膜法である。主に窓層製膜に用いるが、プラズマを用いないため pn 接合界面にダメージを与えることなく製膜できるものである。
ｎ型分子	n-type molecule	電子受容性の高い分子
OES	OES	被測定物を高温のプラズマにより蒸発・気化させ、発生する発光スペクトルを分光して、その波長から元素を特定し、発光強度から定量する分析方法のこと。英語を略して「OES」とも呼ぶ。
Off-axisXR	Off-axisXR	軸外し反射屈折集光器（長岡技術大学設計）
Off-axisXR-Köhler	Off-axisXR-Köhler	軸外しｹｰﾗｰ光学反射屈折集光器（LPI 社+ﾏﾄﾞﾘｯﾄﾞ工科大学設計）
OVC 相	Ordered Vacancy Compound Phase	CIS 系半導体層の異相あり、CIS 組成比が膜中のそれとはことなる。
PERC	PERC	Passivated Emitter and Rear Cell の略。結晶シリコン太陽電池セルにおいて、裏面電極とシリコン基板との間にパッシベーション層が形成され、そこに部分的に設けられた開口部を介して裏面電極とシリコン基板が接触していることを特徴とするセル構造
PCBM	PCBM	フラーレン誘導体の１種類で、フェニル酪酸メチルエステル体のことである。フラーレンの炭素数により、PC60BM、PC70BM と表記する。
PEDOT:PPS	PEDOT:PSS	導電性ポリマーの１種類であり、導電性をコントロールすることが可能であることから、正孔輸送層や透明導電層に用いられる。PEDOT は、含硫黄複素環化合物の一種であるチオフェン誘導体のポリマーである。また、PSS はポリスチレンスルホン酸塩の略称である。
PID	Potential Induced Degradation	太陽電池モジュール回路内に形成される電位差によってフレームとモジュール間に漏れ電流が発生するため、ガラス中のナトリウムイオンがセル表面に蓄積されて発電力が低下する現象。
Pmax	Pmax	太陽電池の動作曲線上において，電力が最も大きくなる点での電力.
POE	Primary Optical Element	一次集光装置
PTB7	PTB7	導電性高分子の１種であり、P 型材料の代表的材料。PTB シリーズは、thieno[3,4-b]thiophene がキノリド構造を安定化することで低バンドギャップを実現した一連のポリマー群を指す。PTB7 は、エステル部位とベンゾジチオフェン部位両方に枝分かれの側鎖を導入することで溶剤に対する溶解性を高めている。
RP	Recycle Point	回収した PV システムをリサイクルする場所
RPD 法	RPD method	薄膜堆積技術の一種。反応性プラズマ堆積法（reactive plasma deposition）と呼ばれる。TCO 薄膜の成膜に利用される。
Ru 色素(Ru 錯体色素)	Ruthenium complex dye	ルテニウム元素を構成元素として含む色素
R ワイヤ	R-wire	鋼線に樹脂をコーティングしたソーワイヤの総称
R ワイヤウエハ	R-wired wafer	R ワイヤでスライスした低ダメージウエハ
SiON	SiON	シリコン酸窒化物
SLG	SLG	青板ガラス、ソーダ石灰ガラス
SOE	Secondary Optical Element	二次集光装置
SY	Stock Yard	回収した PV システムを一時的に保管する場所
TAR	Trans Axial Reflector CPV	1 軸で上方に直線状に集光し、2 次集光装置で直交方向にさらに集光して集光倍率を高めた直交型の反射式集光装置

用語（日本語）	用語（英語）	説明
TCO	Transparent Conductibe Oxide	透明導電膜と呼ばれる。フッ素添加された酸化錫や酸化インジウム錫、酸化亜鉛などが良く用いられる。太陽電池の光入射側に用いて光を透過させながら電流を外部に取り出すのに必要な材料である。
VHF	optical emission spectroscopy	Very High Frequency（超短波）の略。一般的に 30MHz～300MHz の周波数の電磁波を指す。
ΔG（自由エネルギー差）	free energy difference	異なる材料における電子のエネルギーの差。 異なる材料を移動する時にこのエネルギー差を熱として失うためにΔG が小さい方が望ましい。一方経験的法則としてΔG が 0.6eV よりも小さい場合、短絡電流値が下がる。
π共役部位	π conjugated moiety	π共役系を持つ部位。π共役系（きょうやくけい）は、化合物中に交互に位置する単結合および多重結合に非局在化電子を持つ結合 p 軌道系である。共役系は一般的に、分子全体のエネルギーを低下させ、安定性を高める。
π電子	π-electron	分子内の隣り合った原子同士の電子軌道の重なりによってできる結合をπ結合といい、構成している電子の名称。
アイオノマー樹脂	Ionomer Resin	イオンによる擬似架橋構造を有する樹脂。高い水分バリア性を有し、架橋樹脂の強靭さを保持しつつ、溶融成型が可能な点で太陽電池封止材へ展開されている。
アパーチャーエリア	Aperture Area	太陽電池モジュールにおいて発電部外周を囲った領域を示す。
アモルファスシリコン	Amorphous silicon	シリコンを主成分とし，原子配列に結晶性を持たない固体半導体．真空蒸着法などにより非常に薄い半導体膜を形成可能．半導体膜形成時の条件を変えることで pn 接合を作製することができる．
アモルファスシリコンゲルマニウム	Amorphous silicon-germanium	シリコンとゲルマニウムの合金を主成分とし，原子配列に結晶性を持たない固体半導体．アモルファスシリコンと比較するとバンドギャプが狭い特徴がある．
アレイ	array	ストリングを並列接続したもの。
イオン液体	Ionic liquid	室温付近で液体を呈すイオンのみからなる溶融塩のことであり、極低蒸気圧、不揮発性、不燃性、低熱膨張係数の特徴があることから液体を含むデバイスである色素増感太陽電池の信頼性向上の切り札として期待されている。
エアマス	Air mass (AM)	地球大気に入射した太陽光直達光が通過した路程の長さ。標準状態の大気圧(標準気圧:1013hPa)に垂直に 入射した太陽直達光が通過した路程の長さを AM1.0 として、それに対する倍率で表す。
エネルギーハーベスティング(環境発電)	Energy harvesting	光・電波・温度など周りの環境から微小なエネルギーを「収穫（ハーベスティング）」して、発電する技術
エネルギー分散型 X 線分光法(EDX)	Energy dispersive X-ray spectrometry	電子線照射により発生する特性 X 線をエネルギーで分光することによって検出し、元素分析や組成分析を行う分析法。
エリプソメトリ	ellipsometry	物質の表面で光が反射するときの偏光状態の変化（入射と反射）を観測し、そこから物質の膜厚や屈折率、消衰係数を計測する方法
エンジニアリングプラスチック	Engineering Plastic	耐熱性・強度に優れるプラスチックの総称。
オートクレーブ	autoclave	内部を高圧力にすることが可能な耐圧性の装置や容器，あるいはその装置を用いて行う処理のこと。医療分野では滅菌処理に，工学分野ではコンクリート製品の促進養生に使用されている。
オレフィンゴム	Olefin	耐熱性、耐寒性、耐候性、耐オゾン性で、防水シートやパッキン、チューブに用いられる素材。
カーフ	kerf	一般的には切り口、あるいは切り口の幅、として使われているが、ここでは、シリコンのインゴットを板状（ウエハー状）にスライスする際に発生する切削屑（シリコンの微粉末）を指す。
カクテル吸着セル	Cocktail cell	吸収波長の異なる複数の色素を混合（カクテル）し、複数の色素の吸収領域を合わせ持つようにチタニアに色素が吸着されたセル
カソードルミネッセンス	cathodoluminescence	電子線照射によって生じる発光

用語（日本語）	用語（英語）	説明
カットオフ状態	Cutoff frequency	物理学や電気工学に於けるシステム応答の限界であり、それを超えると入力されたエネルギーは減衰したり反射したりする。 導波管で伝送可能な最低周波数（或いは最大波長）。
カバーガラス	cover glass	太陽電池モジュールの受光面側に用いる厚さ数 mm 程度のガラス。一般的には白板強化ガラスを用いる。
ガラス/ガラス モジュール	Glass/Glass module	ガラス/封止材/セル/封止材/ガラス という構成からなる太陽電池モジュール。
ガラス/バックシート モジュール	Glass/Backsheet module	ガラス/封止材/セル/封止材/バックシート という構成からなる太陽電池モジュール。
カルーセルタイプ	Carousel Type	メリーゴーランド状の回転系にアレイを搭載し、太陽方位に対しては回転系が追尾し、太陽高度に対しては各モジュールを傾斜させる（傾転）太陽光追尾装置。
カルバゾール系有機色素	organic dye having carbazole group	カルバゾール基を有する有機色素
キセノンウェザーメーター	XeWM	耐候性試験機の一つ。光照射を Xe ランプ発光で行う。
ギブズエネルギー	Gibbs free energy	熱力学や電気化学などで用いられ、エネルギーの次元をもつ示量性状態量である。通常 G と表記され、等温等圧条件下で仕事として取り出し可能なエネルギー量である
キャスト	cast	融液を容器に注入し凝固する方法
吸収スペクトル	Absorption spectrum	縦軸にどれくらい光を吸収したかを表す吸光度をとり、横軸に検出する光の波長をとったグラフ。
クーラント	coolant	冷却液。インゴットスライス中、摩擦によりインゴットおよびワイヤー温度が上昇するのを抑制するために用いられる。
グリッド・パリティ	Grid Parity	太陽光発電システムの発電コストが、既存の電力系統の電気料金と同等になること。
蛍光スペクトル	Fluorescence spectrum	励起光の波長を固定して、縦軸に蛍光強度をとり横軸に測定した波長をとったグラフ。
コプレーナー	Coplanar Waveguide	信号パターン及びグランド導体が同一平面上にある伝送線路の構造。信号を伝送する回路パターンとグランドプレーンとの間隔が一定となる様に広いグランド導体にスリットを入れた形状である。
コンビナトリアル手法	Combinatorial method	反応プロセスを最適化するときに、反応条件（温度、圧力、組成など）を変化させたライブラリを作製して評価することによって、系統的なデータを迅速に得ることが出来る手法。
サイクル数	wire running cycle	ソーワイヤを往復させるサイクル、単位は回/分
サブストレート型太陽電池	substrate type solar cell	太陽光を基板を通さずに入射させるタイプの太陽電池
サブモジュール	Submodule	集積構造を備えているがカバーガラス等による封止がされていない太陽電池、サーキット（Circuit）とも言う
サンシャインウェザーオメーター	SWOM	耐候性試験機の一つ。
シードキャスト	Seed cast	結晶シリコン太陽電池用高品質インゴットの製造方法の一つ。通常は多結晶インゴットの製造に用いられるキャスト法において、るつぼ底辺に種結晶（シード）を敷き、そこから単結晶成長させることによって、多結晶並みの低コストで単結晶並みの高品質インゴットを製造する方法。
シーメンス法	Siemens process	高純度ポリシリコンを生産する製法の一つで、現在主流の生産方法である。半導体に用いるポリシリコンの生産も可能な製法。
ジェットミル	Jet mill	物体を粉末状に粉砕する装置の中でも、ノズルから噴射される高圧の空気・あるいは蒸気を超高速ジェットとして粒子に衝突させ、粒子どうしの衝撃によって数ミクロンのレベルの微粒子にまで粉砕する装置のことである。噴射される空気・蒸気は音速前後に達する。

用語（日本語）	用語（英語）	説明
システムオンフィルム	System on film	成型、印刷、接合によってフィルム基板に機能素子を集積、個片化して電子デバイスを作製する製造方式。薄いフィルム基板を使用しているため、薄く、軽く、曲げられるといった特長を有する。また、従来のリソグラフィに比べ工程数が少ないことから、生産性が高く、製造コストを大幅に下げられる。
シリカ	Silica	二酸化珪素または主として二酸化珪素によって構成される天然鉱石、珪石、珪砂の総称。
シリカ塩化(反応)	Silica-Chlorination	直接塩化反応のこと
スーパーストレート型太陽電池	superstrate type solar cell	ガラス基板などの透光性基板上に、透明導電膜、シリコン層、裏面電極の順に製膜され、光は透光性基板と透明導電膜層を通して、光活性であるシリコン層に入射させるタイプの太陽電池。
スクリーン印刷	screen printing	スクリーン版（印刷製版）にコーティングされた乳剤の必要な部分に孔をあけて、その孔を通過してインクを被印刷物に転写する印刷方式のこと。
ストリング	string	モジュールを複数直列接続したもの。
スピンコート	Spin coating	塗布プロセスの１種類であり、平滑な基材を高速回転させる事により遠心力で薄膜を製膜する方式を言う。用いる装置は、スピンコーターと呼ぶ。
セムス（CEMS）	Community energy management system	太陽光発電所や風力発電所を含む発電所での電力供給量と地域内での電力需要の管理を行うエネルギー管理システム
セル評価	test production of PV cell for wafer evaluation	太陽電池セルを試作してウエハの評価を行うこと
セレン化法	Selenization method	プリカーサーをセレン（Se）含有雰囲気中で熱処理することにより CIS 系光吸収層を作製する方法
セレン化硫化法	Selenization / Sulfrization	セレン化法の後に硫黄（S）含有雰囲気中で熱慮理することにより表面を硫化して CIS 系光吸収層を作製する方法、本研究では SAS 法（Sulfrization after Selenization）と呼んでいる
ゾーン加熱	Zone heating	炉を加熱するときに、複数の熱源を用いることによって、場所によって反応温度を変える。副反応に応じて最適な反応温度を設定することができる。
ターピリジン系 Ru 色素	Ruthenium complex dye with terpyridine ligands	ターピリジン基を配位子のひとつとして有する Ru 色素
ターンキー・ソリューション	Turnkey solution	スイッチを入れれば調整など不要で、すぐに利用可能なシステムのこと。新興国が日欧米の製造装置メーカーから、ターンキー・ソリューションを調達し、最先端の製造ラインを構築している事例が増えている。
ダブルガラスモジュール	double-glass module	受光面側のみならず、裏面材にもバックシートではなくガラスを用いた太陽電池モジュール。
ダブルテクスチャー ZnO	W-textured ZnO	数ミクロンサイズの凹凸の上に、数 100nm のサイズの凹凸が形成された透明導電膜 ZnO。大きさの異なる凹凸構造を複合化することにより、非常に広い波長範囲でヘイズ率が高くなることを特徴とする。
ダブルリッジ型導波管	Double ridge waveguide	方形導波管の一部 H 型の断面を持った導波管。
タンデム型セル	Tandem cell	短波長を吸収するセルを光の入射側、その後ろに長波長側を吸収するセルを直列になるように構成されたセル
テクスチャ/テクスチャー	texture	凹凸のこと。光を凹凸によって散乱させることで光の吸収長を長くとり、光をより効果的に半導体で吸収させるのに用いられる。薄膜シリコン太陽電池では必須技術である。
デンドライト結晶	Dendrite crystal	樹枝状の形態を示す結晶で、過冷却度などの成長条件が適度に制御された状態で発現する。シリコンのデンドライト結晶は特定の優先成長面を持つため結晶組織の制御に活用できる。
トライオード型プラズマ CVD	Triode-PECVD	通常の平行平板型プラズマ CVD（ダイオード型）において、2 つの電極間にメッシュ電極を挿入し、SiH_4-H_2 プラズマを基板から空間的に離す製膜法。これにより、光劣化の要因として考えられる高次シラン系ラジカルの膜への取り込みを抑制することができる。

用語（日本語）	用語（英語）	説明
ドレスト光子(DP)	Dressed photon	ナノ物質中で光子と電子が結合して発生する準粒子で、光子がエネルギーの衣を纏っている。この DP はナノ物質表面に局在しフォノン(結晶格子振動)のエネルギーの衣も纏う。
ドレスト光子フォノン援用アニール	Dressed photon phonon anneal	ドレスト光子の原理を用いたアニール方法。ドーパント(不純物微粒子)をドレスト光子との発生源として、希望する波長と同等の波長の光を照射しつつ電流を印加してアニールする。
ドレスト光子利用光子エネルギー下方変換	Energy upper conversion using Dressed photon	ドレスト光子の原理を用いたエネルギー移動方法。太陽電池の下方変換では、短波長を長波長に波長変換する。
ドレスト光子利用光子エネルギー上方変換	Energy lower conversion using Dressed photon	ドレスト光子の原理を用いたエネルギー移動方法。太陽電池の上方変換では、長波長を短波長に波長変換する。
ナノインプリント	Nano-imprint	被転写体に金型を押し付けナノメートルサイズの表面凹凸形状を転写，その後加熱または UV 照射により被転写体を硬化させる表面形状転写方法．転写の際に光を使わないので，フォトリソグラフィーで問題となる光の回折限界の制限を受けず，微細構造を転写することができる．
ナノ粒子	nanoparticle	ここでは a-Si 成膜に用いるシラン CVD プラズマ中で発生する直径が 10nm 程度以下のナノ粒子．膜に取り込まれ光安定性を悪くする．100nm 以上のいわゆるダストと区別するためにクラスターと呼ばれることもある．
ネッキング（ダッシュネック）	necking (Dash’s neck)	種子結晶に存在していた転位が伝播しないように、結晶を細く長く成長させ、転位を結晶表面に逃がすこと、成長方向に伝播する転位を必然的に切断することにより無転位化する方法。
バソキュプロイン（略号　BCP)	Bathocuproine	2，9－ジメチル－4，7－ジフェニル－1，10－ フェナンスロリン。電子輸送材料として利用されている。
バックシート	back sheet	太陽電池モジュールの裏面側に用いる高分子系シート。ポリエチレンテレフタレート（PET）をベースフイルムとするものが多く、PET フイルムをフッ素系の樹脂ではさんだものや、アルミニウム箔を PET フイルムではさんだものなどが用いられる。
バッファ層	Buffer layer	CIGS 層と TCO 層の境界面に挿入する薄膜層。通常は CdS を用いる。光生成電子の流れをスムーズにし、表面 n 型層形成に関わる。
バリア性	barrier property	物質の透過を阻止する能力。ここでは、水蒸気の透過を阻止する能力を指しており、水蒸気透過率が低いほど、バリア性が高い。
バルクヘテロ接合	Bulk hetero junction	互いに溶け合わない p 型材料と n 型材料を混合し製膜することにより、積層による接合ではなく膜面の横方向に接合ができるようにした製膜方法。厚膜化が可能で、光吸収には有利である。また、接合は横方向の近いところにあるため、励起状態から電荷分離されやすくなる。塗布および蒸着両プロセスで製膜が可能である。但し蒸着の場合には、「バルクヘテロ接合」ではなく「i 層」という表現が使われる。
バンドギャップ	Band gap	固体中の電子が定常状態でとり得るエネルギー値の差．電子がエネルギーを受けて低エネルギー状態から高エネルギー状態へ遷移する際，バンドギャップ以下のエネルギーでは遷移できない．
パッシベーション	Passivation	半導体基板表面または基板内部の欠陥（原子の未結合手など）を不活性化、安定化させてキャリア（電子および正孔）再結合損失を低減する処理
ヒート・ライト・ソーキング	Heat light-soaking	加熱しながら光照射すること
ビピリジン系 Ru 色素	Ruthenium complex dye with bipyridine ligands	ビピリジン基を配位子のひとつとして有する Ru 色素
フィード同期	synchronous Si feed mode	ソーワイヤの線速の早い時のみにシリコンを動かす切断方法
フタロシアニン系色素	Phthalocyanine dye	フタロシアニン骨格を有する色素。フタロシアニン環の中心が水素である有機物と金属が配位した錯体型色素がある。

用語（日本語）	用語（英語）	説明
フラーレン	Fullerene	最小の構造が多数の炭素原子で構成されるクラスターの総称である。フラーレン（あるいはその誘導体）がｎ型材料に用いられるようになり、有機薄膜太陽電池の変換効率が向上した。専ら、炭素数 60、70 のフラーレンあるいはその誘導体が利用されている。
プラズマ CVD	plasma-enhanced chemical vapor deposition	高周波などを印加することで原料ガスをプラズマ化させることを特徴とする化学気相成長
プラズマパラメーター	Plasma parameter	電子密度や電子温度、プラズマ電位等プラズマの特性を表す指標の総称。
フラックス処理	flux treatment	酸化物やハロゲン化物の混合物を金属（粗シリコンなどを含む）相と接触溶融させて金属相から不純物をすること。
プリカーサー	Precursor	Cu、In 等の CIS 系光吸収層を構成する元素が積層されたもの
プローブラマン	Probe raman	ラマン分光装置を使って遠方のものを測定するために使用するプローブ付きのラマン測定ヘッド。
ペースト	Paste	結晶シリコン太陽電池における電極材料。銀などの導電性微粒子とガラス微粒子、有機樹脂および有機溶媒などを混合した高粘度の液状物で、これをスクリーン印刷によりシリコン基板上に印刷し、焼成することによって電極を形成する。
ペデスタル	Pedestal	1 本の支柱に 2 軸駆動系を持たせて、アレイ全体を太陽に正対するように追尾させる太陽光追尾装置。アレイを平板状に保持する場合が多く、横方向の大骨と支柱で T 字の骨組みを構成する構造を総称する。
ヘテロ接合結晶系太陽電池	heterojunction crystalline silicon solar cell	結晶シリコンとアモルファスシリコンで pn 接合を形成した結晶シリコン系太陽電池。高い電圧が得られて高性能が実現する。実用化されたものとしては、三洋電機が開発した HIT 太陽電池が代表例である。一般的な結晶系に比べれば、水蒸気浸入に弱いとされている。
ヘムス（HEMS）	Home energy management system	センサーや IT の技術を活用して家庭内のエネルギー管理を行うためのシステム
ポリエステル	Polyester	ジカルボン酸とジオールのモノマーを重合して得られるエステル結合でつながった高分子の総称。
ポリシリコン	Polysilicon	半導体用、太陽電池用に用いられる高純度シリコン。主としてシーメンス法で生産される。
ポルフィリン系色素	Porphyrin dye	ポルフィリン骨格を有する色素。ポルフィリン環の中心が水素である有機物と金属が配位した錯体型色素がある。
マルチロッド電極	multi-rods electrode	金属製の棒で構成され電力の伝搬方向を棒状電極に沿った一次元方向にすることで、電極両端からの供給する電力の位相差を制御可能とする構造とした電極
マルチワイヤソー	Multi-Wire Saw	角柱あるいは円柱状のインゴットから薄板上のウエハ（またはウェーハ、ウエハーともいう）を切り出す装置。結晶シリコン太陽電池用ウエハ製造において一般に広く用いられている。
メディエータ	Mediator	対極表面で電子を受け取り、色素に電子を渡す役割を担う物質
モールド	Mold	ナノインプリントで表面形状を転写するために被転写体に押し当てる金型.
モジュール	Module	光入入射側はカバーガラス等を用いて封止された太陽電池
モジュール変換効率	module efficiency, η_{module}	モジュールの受光面に入った太陽光と発電された電力の割合
モノリシックモジュール	Monolithic module	１枚の基板上に太陽電池構成材料を層状に積層して作製したモジュール
モルフォロジー	Morphology	互いに溶け合わない材料を混合したときに、それぞれの成分の混ざり方を意味する。バルクヘテロ接合ではモルフォロジーが変換効率に大きな影響を与える。 高分子材料に対して用いられる表現で、本事業原簿では、低分子材料の場合に「ナノ構造」という表現を使っている。
モル吸光係数	molar extinction coefficient	光がある媒質に入射したとき、その媒質がどれくらいの光を吸収するのかを示す定数であり、溶液の単位モル濃度で規格化した値をモル吸光係数と呼び記号 ε が用いられる。

用語（日本語）	用語（英語）	説明
ライフタイム	Lifetime	半導体内に生成した過剰少数キャリア（電子または正孔）が再結合して消滅するまでの寿命。太陽電池セルにおいてはライフタイムが高いほど、少数キャリアを電流として取り出しやすくなるため変換効率が向上する。
ラジカルポリマー	Radical polymer	ラジカル部位を持つ高分子
ラマン蛍光強度比	Raman ratio of fluorescence intensity	ラマン光を当てた際に SP 構造を有する結合をもったものは蛍光を発生する。これの強度の比較。
レーザードーピング	Laser Doping	レーザー光を用いてシリコンを局所的に瞬時に溶融し不純物を添加する技術。基板は室温に保たれている。
レオロジー	rheology	流動学。物体の物理的、力学的挙動を解析し、物質を構成する要素との関連を明らかにする学問。
ロールツーロールプロセス	Roll to Roll Process	材料フィルムをロールからロールへと連続的に供給し、印刷やラミネートを行うプロセス
亜鉛還元法	Zinc Reduction Method	四塩化珪素と亜鉛を原料として用いて、気相状態で反応させ、結晶シリコンを得るポリシリコン製造方法で、塩化(反応)、還元(反応)、電解(反応)の組合せのプロセスとなる
安定化効率	stabilizing efficiency	アモルファス Si 太陽電池は光にあたると出力が低下するが、光を照射して出力が安定になったときの変換効率
位相変調法	phase modulation method	電極両端から供給される高周波の位相差を変調することにより電極上に時間平均的に均一なプラズマを生成する方法
塩化（反応）	Chlorination (reaction)	亜鉛還元反応法において、四塩化珪素を製造・精製する工程（反応）。
塩化コバルト	cobalt chloride	コバルトと塩素の化合物。青色であるが、吸湿性を有し水蒸気との反応で薄紅色となる。
塩化生産性	Chlorination Productivity	塩化炉の内断面積あたりの四塩化珪素生産速度 単位：トン $SiCl_4/m^2/h$
塩化反応炉	Chlorination reactor	直接塩化反応を行う反応炉のこと
温度サイクル試験	Thermal Cycle Test	本稿では IEC61215 に定められた、85℃と-45℃の温度変化を一定周期で一定回数与える試験。試験後の出力低下 5%以下であれば合格。
化学熱力学	Thermochemistry	化学反応を熱力学的に扱う学問であり，溶液反応の pH と平衡定数は反応に関わる物質の化学ポテンシャルから求まる。
可視光下	Under visible light	照度 200Lx（光波長範囲 400～700nm での光エネルギー57.7μ W/cm^2）環境下
加水分解	Hydrolysis	反応物に水が反応し、分解生成物が得られる反応のことで、エステル結合の場合は、カルボン酸とアルコールに分解される。
過渡吸収分光	Transient absorption spectroscopy	パルスレーザーで試料を瞬間的に光照射することで、 種々の短寿命活性種を瞬間的に生成させ、それらによる光吸収を別のレーザーやランプで測定する分光手法である。
開放電圧	Open circuit voltage	太陽電池セル・モジュールの出力端子を開放した時の両端子間の電圧。
拡散反射率	diffuse reflectance	光の反射成分の内、直線的に反射する成分を除いた反射の割合
還元(反応)	Reduction (reaction)	亜鉛還元反応法において、ポリシリコンを製造する工程。
還元脱 P（リン）	reductive dephosphorization	目的物質（ここではシリコン）の方がリンより酸化しやすい場合に、フラックス中にリンを酸化除去することは原理的に困難であるが、還元条件にしてリン化物イオンとして除去することで、目的物質を酸化させずに脱 P すること。高合金の精錬プロセスとして開発された手法。
基準状態	Standard test condition	太陽電池セル・モジュールの特性を測定する際の基準。（セル温度：25℃、分光分布：基準太陽光、放射照度 $1000W/m^2$）
基準太陽光	Standard sunlight	太陽電池セル・モジュールの出力特性を共通の条件で表現するために放射照度および分光放射照度を規定した仮想的太陽光。

用語（日本語）	用語（英語）	説明
基準太陽電池セル	Reference solar cell	太陽電池セル・モジュールの測定にあたって、測定用光源の放射照度を基準太陽光換算で決定するために使用される、基準セル・モジュールと相対的に同じ分光感度を持った太陽電池セル。
幾何学的集光倍率	geometrical concentration, *Cg*	集光装置の受光面積と太陽電池面積の比
許容角度	acceptance angle, α,	設計された太陽入射角での出力を 1 として、入射角がずれていった時に 0.9 まで出力が落ちる角度。
強色増感	Supersensitization	増感色素に別の化合物(強色増感剤)を加えることで感度が向上する現象のこと。
凝固精製	solidification refining	液相から固相を析出する際に、偏析係数の小さい元素は固相中にとりこまれにくく液相に排出され、純度の高い物質が析出する。この特徴を活かして金属やシリコンを精製する手法。シリコンの場合、Fe や Ti などはこの方法で容易に除去できるが、偏析係数の大きい P や B の除去効果は小さい。
禁制帯プロファイル	Bandgap profile	膜厚に対する禁制帯幅の変化
原子層堆積法	Atomic layer deposition	原料ガスとパージ用ガスを交互に加熱基板面に照射し、薄膜を形成する方法
固定砥粒方式	fixed diamond abrasive method	Ni メッキにより鋼線に固定されたダイヤ砥粒によるスライス方式
光閉じ込め	optical confinement	太陽電池において透明電極や裏面電極で光を乱反射させ、発電層に光を閉じ込めること
高圧枯渇法	High Pressure Depletion SiH4 method	（独）産業技術総合と三菱重工で開発された微結晶 Si の製膜方法。従来よりも製膜圧力を高く（数百 Pa）して，かつ電極と基板間隔を狭くして高パワーを投入する。
高温高湿試験	damp heat (DH) test	太陽電池モジュールの信頼性試験の一つ。一般的な条件は温度 85 ℃、湿度 85%である。認証試験では、1000 時間の試験後の性能低下が初期値の 5%以内であることを要件としている。
高周波誘導加熱	high-frequency induction heating	電気伝導性のある銅やカーボンに高周波を印加すると渦電流が発生してそのジュール熱で加熱できる。対象物を短時間で効率良く加熱できる
高耐光性処方	High light stability formulation	光に対する高い耐性を施す処方。
高分子メディエータ	Polymer mediator	高分子体からなるメディエータ
固液界面	interface between solid and melt	融液から結晶を成長するときの液相と固相の境界面。
固化率	solodification ratio	融液から結晶を成長したとき、最初の融液の重量と結晶になった質量の比。
最大電力	Maximum power	太陽電池セル。モジュールの電流電圧特性曲線上で電流と電圧の積が最大になる点での電力
最適架橋密度	Optimum crosslink density	ポリマー同士を化学的に結合させることを架橋という。その最適な密度。
三塩化珪素	Trichlorosilane	$SiHCl_3$、粗金属シリコンがら生産される。現状、主としてポリシリコン用の原料として用いられる。トリクロロシラン、TCS も同意。
散乱角	Scattering angle	入射光と散乱光との進行方向の差を表す角度.
酸リーチング	acid leaching	酸を用いて、不純物が濃化した目的物質の結晶粒界（結晶間にある別の相）を溶解して不純物を除去する手法。
四塩化珪素	Silicon Tetrachloride	$SiCl_4$ 粗金属シリコンがら生産される。現状、主として光ファイバー用の原料として用いられる。4CS も同意。
四重極型質量分析計	quadrupol mass spectrometer	4 本の円柱状電極からなり、これに正弦波をかけることよって、特定の質量数/電荷のイオンのみを通過できるようにできる。これをスキャンすることによって、採取ガス中のガス種を質量数を調べることができる。Q マス(QMS)またはマスフィルタとも呼ばれる。
集光効率	optical efficiency, η	集光装置の受光面に入った太陽光の内、太陽電池まで届いた光の割合

用語（日本語）	用語（英語）	説明
集光倍率	Condensing magnification	太陽光強度を 1（SUN）とした時に集光装置で太陽電池に集められた太陽光強度（SUN）
焼成	sintering	固体粉末の集合体が、融点よりも低い温度で加熱することにより、密度の高い結合体になる現象のこと。
色素増感太陽電池	Dye sensitized solar cell	多孔質酸化チタン（TiO_2）膜に増感色素が吸着した光電極、ヨウ素を含む電解液、対極から構成される太陽電池であり、増感色素の光吸収励起から開始される電気化学的反応によって発電する。
種子結晶	seed crystal	ある結晶方位を有する単結晶を成長させるときに種子として用いる単結晶。
晶癖	crystal habit	同一の結晶で、同一指数面の発達の程度が違うことによって生ずる外形の変化。
触媒分解気相成膜法	Cat-CVD	加熱触媒体にて原料ガスを分解し、気相成膜を行う手法。
真空精製	vacuum refining	金属を真空下で溶融することにより、蒸気圧の高い不純物元素を表面から蒸発除去し精製する手法。
人工光合成	Artificial Photosynthesis	光合成を人為的に行う技術。
水蒸気透過率／水蒸気透過度	water vapor transmission rate (WVTR)	単位面積・単位時間あたりフイルムから水蒸気が透過する量。一般的な単位としては、g/m^2day が用いられる。
据付システム	Installation System	モジュールを屋根等に取り付けるシステムを指す。
正孔輸送層	Hole transport layer	有機エレクトロルミネッセンス　参照
精製／精錬	refining	鉱石や鉱物から熱や化学的エネルギーを利用して目的の粗金属を取り出すこと。太陽電池においては、シリカから本テーマの対象不純物であるホウ素及びリンを除去すること。
赤外分光	infrared spectroscopy	分子構造を赤外域の吸収スペクトルから観測する方法。
接合界面	Interface of junction	同種あるいは異種材料の境界面
折板屋根	Folded‐plate roof	金属屋根の代表的な屋根工法。
粗 $SiCl_4$	Crude $SiCl_4$	塩化反応で生成した、四塩化珪素
走査型静電容量顕微鏡法(SCM)	Scanning capacitance microscopy	導電性コーティングされた探針を用いて半導体表面を走査し、キャリア分布を二次的に可視化する分析法。
粗金属シリコン	Metallic silicon	珪石をアーク炉を用いて還元して生成した珪素。純度として 95-98%程度のものを用いる。
造粒	Pelletization	直接塩化反応において、反応性お呼び歩留まりを高めるために、原料となるシリカと炭材を混練して適当な粒径に成形すること。
種結晶	seed crystal	結晶の情報を成長結晶に伝えるもとになる結晶
多孔質集電極	Porous electrode	nm～サブμｍオーダーの導電性粒子から構成した多数の空隙を持つ電極
多接合太陽電池	multi-junction solar cell	光の利用波長領域が異なる太陽電池を複数積層した太陽電池
太陽光発電	Photovoltaic (PV)	太陽光のエネルギーを直接電気エネルギーに変換する発電方式。光電効果を利用した太陽電池を用いるのが一般的である。
太陽電池セル	Photovoltaic cell (Solar cell)	太陽光発電に用いる太陽電池の構成要素最小単位。
太陽電池モジュール	photovoltaic module	配線材を用いて複数の太陽電池セルを直列に接続し、ガラスや高分子部材を用いて封止したもの。太陽電池パネルともいう。
脱 B（ボロン）	boron removal	目的物質から不純物であるボロンを除去すること。ボロンの除去を必要とするシリコンの精製で用いられる用語。
脱 P（リン）	dephosphorization	目的物質から不純物であるリンを除去すること。鉄鋼精錬では重要なプロセスの一つで、フラックス中にリン酸塩として酸化除去される。

用語（日本語）	用語（英語）	説明
炭化珪素	silicon carbide	珪素と炭素の 1:1 の化合物で，化学式：SiC で表される無機化合物。耐熱性，耐摩耗性，硬度，強度に優れることから研磨材や構造部材，耐熱材料として広く普及してきた。また，最近では，電気特性がシリコンよりも優れることから,次世代のパワー半導体の材料として注目されている。
炭材	Carbon Material	シリカの塩化反応に使用する還元剤としての炭素成分を主成分とする材料。本試験では石油系コークスを用いた。
短絡電流	Short circuit current	太陽電池セル・モジュールの出力端子を短絡した時の両端子間に流れる電流。
窒化珪素	silicon nitride	ケイ素の窒化物で，化学式：Si_3N_4 で表される無機化合物。非酸化物セラミックスの代表的な物質。Si-N の結合は共有結合であるため，高温高強度，耐摩耗性，耐薬品性及び耐熱衝撃性等の機械的特性に優れることから，エンジニアリングセラミックスに幅広く利用されている。
直接塩化反応	Chlorination	シリカを原料として塩素を直接反応させ、直接四塩化珪素を生成させる反応。還元剤として炭材を使用する。
直列接続	series-connection	複数の太陽電池を電気的に直列につなぐこと
定在波	standing wave	進行方向が互いに逆向きの 2 つの波が重なりあうことによってできるその場に止まって振動しているように見える波動のこと。
転位	dislocation	線状欠陥／結晶の塑性変形を担う
伝導帯オフセット	Conduction band offset	異種半導体を接合した時の伝導帯底のエネルギー差
電解（反応）	Electrolysis (reaction)	亜鉛還元反応法において、副生する塩化亜鉛を電気分解する工程
電解液	electrolyte	電気化学的活物質を含む液体であり、不揮発性・不燃性などを極力抑え、他の部材との相性の良い材料を開発する必要がある。本プロジェクトの主題、三層界面のうちの一つを構成するものである。
電子輸送層	Electron transport layer	有機エレクトロルミネッセンス　参照
透明導電膜	Transparent condutive layer	透光性（透過率：%T）と導電性（シート抵抗：Ω/□）とを兼ね備えた膜
同軸－導波管変換器	Coaxial-to-waveguide mode converter (Coaxial-to-waveguide transducer)	電磁波の伝播モードをケーブル等を伝播する同軸モードから方形導波管を伝播する導波管モードに変換する変換器。
導波管	Waveguide	電磁波の伝送に用いられる方形や円形の断面を持った金属製の管。電磁波は、導波管の断面形状や寸法、電磁波の波長（周波数）に応じた電磁界分布（伝播モード）を形成しながら管の中を伝播する。
熱力学計算	thermodynamic calculation	ギブスエネルギーを計算することによって、反応式において左右どちらの向きに進行するかを知ることができる。
薄膜系太陽電池	thin-film solar cell	数μｍの光吸収層を用いた太陽電池であり、省資源・低コスト化が期待される。シリコンを用いたものと銅-インジウム-ガリウム-セレン化合物を用いたものが実用化されている。結晶系に比べて水蒸気浸入に弱いとされている。
反応性スパッタ	reactive sputtering	スパッタで薄膜を形成する際に、酸素や窒素などの反応性のガスを導入してターゲット材料の成分とガスの反応物質を製膜する技術
微結晶シリコン	microcrystalline silicon	シリコンを主成分とし，非常に狭い領域内でのみ原子配列が結晶性を示す固体半導体．アモルファスシリコンより狭いバンドギャップを持つ．
不純物	impurity	結晶中に混入している微量元素

用語（日本語）	用語（英語）	説明
浮遊キャスト法	Floating cast method	太陽電池用高品質シリコンインゴットの製造技術として研究開発を進めている手法。ルツボ内の融液を表面から凝固させ、ルツボと強く接触しないように（理想的には融液に浮遊させて）インゴットを成長させる。結晶組織、欠陥、不純物、歪みが制御された高品質な結晶の成長が期待される。
封止材	Encapsulant	太陽電池モジュールにおいてセルを封止し保護する役割をもつ樹脂材料。
分光感度	Spectral response	太陽電池出力の入射光波長依存性を表した特性で、短絡電流の入射単色光入力に対する比。 なお、単位は A/W または相対値（相対分光感度）で表す。
分光放射照度	Spectral irradiance	放射照度農地の特定の波長成分だけを分離して示す波長幅当たりの放射照度
分子量分布	Molecular weight distribution	合成高分子は同一組成だが、分子量は異なる分子の混合物である。分子量の広がりを分子量分布と呼ぶ。
平滑電極	Flat electrode	スパッタ製膜した Ra<3nm の平滑性をもった膜からなる電極
偏析係数	segregation coefficient	物質の固相と液相が平衡している状態で、微量に含まれる元素の固相中での濃度に対する液相中での濃度の比。シリコン中での多くの不純物についてはこの値が非常に小さいため、凝固時に不純物が除去されやすい。
変換効率	Efficiency	最大電力を太陽電池セル・モジュール面積と放射照度との積で除した値。
放射照度・日射強度	Irradiance	表面の単位面積あたりに太陽光または人工光源から単位時間に入射する放射エネルギー。
放電プラズマ焼結	spark plasma sintering	ホットプレス焼結(HP)などと同じ、固体圧縮焼結法の一種であり、特殊な ON-OFF 直流パルス電圧・電流を焼結型+材料に直接印加して焼結させる。加圧ならびに急速昇温により、粒成長を抑制した緻密な焼結体の作製が可能である。
有機エレクトロルミネッセンス（有機 EL）	Organic electro-luminescence	有機化合物から成る発光ダイオードで、有機化合物中に注入された電子と正孔の再結合によって生じた励起子によって発光する。発光現象およびその現象を利用した一連の製品を指す。素子の構成は、陽極／正孔輸送層／発光層／電子輸送層／陰極となっており、有機薄膜太陽電池と類似である。違いは、有機ＥＬが通電し光を取り出すのに対し、有機薄膜太陽電池は光を当て電気を取り出しており、逆の機能となっている。
有機系太陽電池	organic solar cell	有機半導体で pn 接合を形成する太陽電池。最近では効率も 10%を超え、早期の実用化が期待されているが、水蒸気浸入に弱いとの欠点もある。
有機色素	organic dye	色素分子を構成する元素が主に炭素からなり、かつ金属元素を含まない色素
四探針法	four point probe method	一直線に並べられた４本の梁の外側２本から電流を流し、内部２本の針間に生ずる電位差を測定する方法。
遊離砥粒方式	SiC loose abrasive method	SiC 遊離砥粒によるスライス方式
裏面材	back material	太陽電池モジュールの裏面に用いる部材。一般的にはバックシートを用いる。
励起スペクトル	Excitation spectrum	検出する蛍光波長を固定し、励起光の波長を走査して蛍光強度を測定したグラフ。
硫化度	Sulfurization degree	硫化プロセスにおける温度、時間、ガス濃度からなる指標で、値が大きくなるほど「強い」硫化となる
粒界	Grain boundary	面欠陥／多結晶における結晶粒同士の境界面
励起スペクトル	Excitation spectrum	検出する蛍光波長を固定し、励起光の波長を走査して蛍光強度を測定したグラフ。

Ⅰ．事業の位置づけ・必要性について

１．NEDOの関与の必要性・制度への適合性

1.1　NEDOが関与することの意義

世界的にこれまでにないほど、環境に対する意識が高まっている。そうした中で、2009 年 4 月の麻生総理のスピーチ「新たな成長に向けて」においては、太陽電池の導入量を 2020 年までに 20 倍、2030 年までに 40 倍とする目標が示されるなど、太陽電池に対する期待が高まっている。

一方で、日本は太陽光発電システムの導入量・生産量において長らく世界一を誇っていたが、欧州を中心に行われている導入普及政策により、市場の中心は欧州へ移り、生産量においても中国・台湾等の新興メーカの台頭が顕著で日本の地位は相対的に低下している。

政策面における太陽光発電の普及拡大の要請と、同産業分野の近年の競争力低下に鑑み、太陽光発電の性能の飛躍的な向上と大幅な低コスト化を狙った研究開発が求められている。それにより、住宅や商用施設等での導入促進や、未利用地等での大規模発電等、太陽光発電の適用可能域を大幅に拡大し、さらに海外の砂漠など全地球的な視点での太陽光発電の利用も可能とするなど、グローバルな展開も期待される。

しかしながら、太陽光発電技術を飛躍的に向上させるためには、従来技術の延長線上にない研究開発における新たな取り組みや、世界最先端の材料技術等の統合が必須であり、企業などが自主的に実施することは困難である。NEDO は、設立以来、太陽光発電技術の開発を推進、多くの成果をあげてきた。また、同分野の技術開発ロードマップを策定する等、最新の情勢も把握している。さらには産学官の力を結集して技術開発を推進するための機能と経験を有する。そこで、世界的に熾烈な開発競争を展開している太陽光発電分野において、高度な専門技術を有する多様な企業、大学、研究機関の参画を得て、より広い知見を結集し、NEDO 事業として行う意義は大きい。

1.2　実施の効果(費用対効果)

ロードマップ PV2030+では 2020 年の目標として、発電コスト 14 円/kWh、モジュールコスト 75 円/W が設定された。これらを実現するために「太陽エネルギー技術研究開発　太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」においては、太陽光発電システムの上流である製造原料から下流である施工方法まで、幅広い分野を対象に技術開発を行うこととした。また太陽光発電システムの価格と発電コストの内訳を考慮した上で、研究開発テーマを設定している。具体的には、セル・モジュールの高効率化・低コスト化だけではなく、施工方法も含めた技術開発を行っている。さらに、太陽光発電システムが大量に導入された際に不可欠となる発電量予測技術の開発も行っている。このため当該事業を遂行することで、モジュールコストの低減だけでなく、太陽光発電システムの 2020 年の導入量、発電コストの目標達成に貢献できると考えられる。

２．事業の背景・目的・位置づけ

2006 年 3 月に閣議決定された「第３期科学技術基本計画」において、太陽光発電が戦略重点科学技術の一つとして選定された。

また、2007 年 4 月資源エネルギー庁公表の「エネルギー技術戦略（技術戦略マップ 2007)」においては、新エネルギーの開発・導入促進に寄与する技術の中でも特に政策目標への寄与が大きいと思われる技術に位置付けられている。

2009 年 4 月 9 日の麻生内閣総理大臣スピーチ（新たな成長に向けて）では、「太陽電池の導入量を 2020 年までに 20 倍、2030 年までに 40 倍とする目標」が示され、同年 12 月に閣議決定された新成長戦略（基本方針）～輝きのある日本へ～では、「グリーン・イノベーションによる成長とそれを支える資源確保の推進」において、電力の固定価格買取制度の拡充等による再生可能エネルギー（太陽光、風力、小水力、バイオマス、地熱等）の普及拡大支援策や、低炭素投融資の促進、情報通信技術の活用等を通じて日本の経済社会を低炭素型に革新する事が示されている。

さらに、2010 年 6 月に閣議決定された「エネルギー基本計画」においては、自立した環境適合的なエネルギー需給構造を実現するため、太陽光発電をはじめとする新エネルギーの着実な導入拡大を図ることが挙げられている。「基本的視点と目標」として、 第 1 章と第 2 章では下記が述べられている。

・エネルギーの安定供給確保（energy security）、環境への適合(environment)、市場機能(economic efficiency)の 3E の実現を図ることである。
・2030 年に向け中長期的な視点で、エネルギー自給率を大幅向上（約 18%→約 4 割）、エネルギー起源の CO_2 の 30%削減を目指す。
・エネルギー製品等の国際市場で、我が国企業群がトップクラスのシェアを獲得する。

加えて、第 3 章 第 2 節 1. 再生可能エネルギーの導入拡大、に記されている「目標実現のための取組」では、太陽光発電は今後、大幅な発電コストの低下が期待され、住宅・非住宅とも潜在的な導入量が大きく、産業の裾野が広い。一方、現状では発電コストが他の発電方式に比べて高いという課題がある、とされている。

本事業は、2020 年の導入量、発電コストの目標達成に貢献できる研究開発テーマに取り組んでおり、本事業で研究開発を行う高性能で低コストな太陽電池開発は、NEDO が 2009 年 6 月に公表した「太陽光発電ロードマップ（PV2030+)」においても中心的な研究開発課題として位置づけられている。また、共通部材、共通基盤技術の開発は高性能で低コストな太陽電池の開発及び太陽電池の普及拡大に寄与するもので、上記の各政策及び「太陽光発電ロードマップ（PV2030+)」の目標達成に資する。

プロジェクトの企画立案に際し、太陽光発電システムのシリコン原料からシステムインテグレート等に至るまで、100 社超の事業者からヒアリングを実施。PV2030+において、2020 年 14 円/kWh を実現するための変換効率 20%、製造コスト 75 円/W を、中国台湾との競争に鑑みて、その実現時期を更に 3 年前倒し、2014 年に達成する基本計画を策定した。

また、その過程において、太陽光発電システムの川上から川下までバリューチェーン全体で競争力を発掘・強化すること、産学連携により基盤的知見増進をシステム開発につなげることの重要性を認識し、実施体制の構築に反映することとなった。

Ⅱ．研究開発マネジメントについて

１．事業の目標

(1) 研究開発の目的

NEDO は、太陽光発電の更なる普及拡大を目指し、太陽光発電ロードマップ PV2030+を作成し、そこに掲げた技術課題の解決に向け、太陽光発電の技術開発を推進している。

他方、近年の世界の太陽光発電市場の急拡大に伴い、太陽光発電に関する技術開発の取り組みについてもまさに世界規模で熾烈な開発競争が繰り広げられている。我が国は太陽電池の生産量・導入量において長らく世界一を誇っていたが、欧州を中心に進められている導入普及政策により、市場の中心は欧州に移り、生産量においても中国・台湾等の新興企業の台頭が著しく、日本の地位は相対的に低下している。

このような背景を踏まえ、本研究開発は太陽電池の導入量を 2020 年に現状の 20 倍に増加させることに寄与し、現下の世界競争に打ち勝っていくための競争力を高めるため、結晶シリコン、薄膜シリコン、CIS・化合物系、色素増感型、有機薄膜型といった太陽電池の更なる高効率化・低コスト化に加え、発電量・信頼性等を評価する技術、太陽電池に係る新たな部材の開発等に取り組むことを目的とする。

(2) 研究開発の目標

太陽光発電ロードマップ（PV2030+）に記載の発電コスト目標：14 円/kWh（2020 年）、モジュール製造コスト目標：75 円/W、モジュール変換効率目標：20%（2015～2020 年時点）の実現に資する各種太陽電池の高効率化、低コスト化に係る技術を確立することを目標とする。

２．事業の計画内容

2.1　研究開発の内容

2.1.1　研究開発分野

上記目標を達成するため、下記開発分野について研究開発を実施する。

（イ）結晶シリコン太陽電池
（ロ）薄膜シリコン太陽電池
（ハ）CIS・化合物系太陽電池
（ニ）色素増感太陽電池
（ホ）有機薄膜太陽電池
（ヘ）共通基盤技術

2.1.2　研究開発テーマ

各研究開発分野で実施する研究開発テーマは、公募により選定した。採択にあたっては、公募時に策定、公表した審査項目・基準に基づいて候補を決定し、外部専門家による採択審査委員会、NEDO 内の契約・助成審査委員会を経て最終決定した。

（1）平成 22 年度：「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」に関する公募

公募の結果、41 件の提案の中から、セル・モジュール自体の高効率化・低コスト化のみならず、原料シリコンの高品位・低コスト製造、モジュールの生産性向上、設置・施工コスト低減等に資する取り組み 21 件を採択した。

・公募期間：平成 22 年 4 月 2 日～平成 22 年 5 月 17 日
・審査項目・基準
　1）開発の最終目標は、本事業の目標値に対応して妥当かつ明確であるか。
　2）開発計画は、中間目標・最終目標まで実現可能なスケジュールであるか。また提案の要件を満たす計画となっているか。
　3）開発内容は、技術的に優れたものであるか。また新規性があるか。
　4）開発内容は、実現したときのインパクトが大きいか。
　5）実施体制は、効果的な開発が期待できるか。
・審査委員会委員（敬称略）：
　山本　晶勇（福井大学教授）、石原　好之（同志社大学教授）、勝本信吾（東京大学教授）、工藤　一浩（千葉大学教授）、瀬川　浩司（東京大学教授）
・応募件数：41 件
・採択件数：21 件

（2）平成 24 年度：「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」に関する追加公募

追加公募対象は、基本計画に掲げる目標の実現に資する研究開発であって、上記の研究開発テーマ以外の新たな着想、方式、材料等を用いた太陽光発電システムの低コスト化、変換効率向上、長寿命化等の研究開発であり、2020 年までに実用化・事業化を見込む即効的な研究開発とした。追加公募では、特に下記の研究開発に重点をおいた。

○ 太陽光発電システムの市場競争力を高めるため、新たな着想、方式、材料等を用いた太陽電池モジュールの低コスト化、高効率化、長寿命化に資する研究開発
○ 太陽光発電システムの周辺機器、施工・工法、共通部材等の低コスト化・長寿命化に資する研究開発（モジュール価格の低下により、太陽光発電システムの周辺機器、施工・工法、共通部材等のコストの割合が大きくなっており、この分野での低コスト化の取り組みが十分進んでいないため）

・公募期間：平成 24 年 4 月 20 日から 5 月 29 日

・審査項目・基準
（実施中のテーマ領域の重複、開発の経済性、経営基盤なども考慮した上で）
1）提案内容が基本計画の目的、目標に合致しているか。
2）提案された方法に新規性・独創性があり、技術の経済的優位性や競争力があるか。
3）共同提案の場合、各者の提案が相互補完的であるか。
4）提案内容・研究計画は実現可能か（技術的可能性、計画の妥当性等）
5）応募者は本研究開発を遂行するための高い能力を有するか。
6）応募者が当該研究開発を行うことにより国民生活や経済社会への波及効果は期待できるか
7）プロジェクト終了後の事業性が具体的な提案となっているか。
・審査委員会委員（敬称略）：
山本　暠勇（福井大学名誉教授）、工藤　一浩（千葉大学教授）、小野塚　恭彦（国際協力銀行　審議役）、渡辺　憲治（株式会社東芝　部長）
・応募件数：23 件
・採択件数： 7 件

なお研究開発は、①実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術」に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施する事業、または②試験・評価方法、基準・プラットフォームの提案等、「公共財の研究開発」事業は、原則、委託事業として実施する。ただし①については、民間企業単独、民間企業のみでの連携、産学官連携とならないものは、共同研究事業（NEDO 負担率:2/3）として実施する。

2.1.3 研究開発予算の推移
年度ごとの研究開発予算（実績）の推移を表１に示す。

表１．研究開発予算（実績）の推移（単位：億円）

分野＼年度	H22	H23	H24	H25	H26	総額
結晶シリコン太陽電池	10.3	15.4	21.4	18.7	12.6	78.4
薄膜シリコン太陽電池	8.3	13.4	9.7	5.3	4.5	41.2
CIS・化合物系太陽電池	4.1	8.9	11.2	7.9	5.7	37.7
色素増感太陽電池	5.9	6.1	11.4	5.0	3.4	31.8
有機薄膜太陽電池	5.5	6.6	4.9	5.2	5.6	27.8
共通基盤技術	9.2	12.4	16.2	13.8	10.1	61.7
計　特別会計(需給勘定)	43.2	62.7	74.8	56.0	41.9	278.5

2.1.4 研究開発内容（分野毎）

（イ）結晶シリコン太陽電池

1．研究開発の必要性
結晶シリコン太陽電池は変換効率の高さの点で、今後も太陽電池の普及において中心的役割を果たすことが期待されており、普及拡大のためにはコスト低減と高効率化を同時に実現することが必須である。
結晶シリコン太陽電池は、従来厚さ200μm程度の結晶シリコン基板を用いており、シリコン材料のコストが太陽電池全体のコストに占める割合が大きく、低コスト化を阻害している。また、近年の結晶シリコン太陽電池の生産規模の急激な拡大はシリコン原料の需給逼迫を招き、今後の結晶シリコン太陽電池の普及拡大を制約することが懸念されている。また、シリコン基板の超薄型化に伴う効率低下させずに、モジュール変換効率20%の水準を目指すことが重要である。

これら課題を解決するため、低コストシリコン原料の製造技術、100μm程度の超薄型シリコン基板スライス技術、100μm程度の超薄型セル高効率化技術の開発が重要である。

2. 研究開発の具体的内容

結晶シリコン太陽電池において、コスト低減と変換効率の向上を図るため、以下の研究開発を実施した。

ⅰ）コスト低減

・ソーラーグレードの原料シリコンを安価に製造する技術、結晶シリコンを安価に製造する結晶成長技術等の開発を行った。

・厚さ100μm程度のセルに対して反り、割れ等が生じない電極形成工程、スライス技術の最適化、カーフの回収・再利用技術等の開発を行った。

ⅱ）高効率化

ｲ）モジュール変換効率向上に資する太陽電池形成プロセス（光及びキャリア閉じ込め、接合形成、パッシベーション等）の手法・条件の抜本的な見直しと、ヘテロ接合等新規構造・新規手法の開発を行った。

ﾛ）高品位な結晶シリコンを製造する結晶成長技術の開発を行った。

3. 達成目標

ⅰ）コスト低減

・結晶シリコンを安価に製造する技術を開発し、シリコン製造コスト等を試算する。達成目標（中間目標を含む）は設定した製造規模でのシリコン製造コストで表し、その値は各研究テーマ毎に設定し実施計画書に記載する。

・カーフロス120μm未満、又はカーフを生じない新たな製法等を確立する。

ⅱ）高効率化

ｲ)モジュール

＜中間目標＞

・厚さ100μm程度、15cm角程度のセルにおいて変換効率20%以上、モジュールでの変換効率18%以上を達成する。

＜最終目標＞

・厚さ100μm程度、15cm角のセルにおいて、変換効率25%以上、モジュールの変換効率20%以上を達成する。

ﾛ)高品位シリコン製造技術

15cm角程度のセルにおいて、以下の目標値を達成する。

＜中間目標＞

・キャリア寿命：100μsec（拡散長 約1mm）以上

・シリコン純度：6N以上

＜最終目標＞

・キャリア寿命：400μsec（拡散長 約2mm）以上

・シリコン純度：7N以上

(ロ) 薄膜シリコン太陽電池

1. 研究開発の必要性

厚さ数μmのシリコン系薄膜により構成される薄膜シリコン太陽電池は、現在市場の主流である結晶シリコン太陽電池に比較して発電コストの大幅な低減が見込まれ、ロードマップの目標コストを達成し得る有望技術の一つとして期待されている。また、軽量基板上への太陽電池形成が可能であることから、多用途化にも適している。しかしながら、モジュール変換効率14%の水準を実現するためには、より一層の改善が必要であり、また、更なる低コスト

化のためには、製造プロセス及び生産性改善等による製造コストの低減等が必要である。
本研究開発は、以上の背景に基づき、薄膜シリコン太陽電池の変換効率向上及び製造コスト低減を目指して実施した。

2．研究開発の具体的内容
モジュール高効率化及び生産性向上を図るため、以下の研究開発を実施した。

ⅰ）高効率化
光マネジメントとして入射光の反射・屈折の制御等による光閉じ込め技術の高度化、高品質（低欠陥密度、低抵抗、高透明度）な透明導電膜の開発等を行った。
多接合化として光劣化抑制技術、界面へのバッファ層導入や粒界制御による開放電圧 向上、欠陥密度の低減と価電子制御技術、バンドギャップ設計と材料高品質化、高効率化のためのパッシベーション技術、各薄膜と透明電極及び裏面金属電極との接合界面並びに各薄膜間の接合界面の高品質化の開発等を行った。

ⅱ）製造コスト低減
新概念を導入した製膜装置の開発による高速製膜技術の開発、大面積基板（ガラス、フィルム基板等）に高品質な薄膜を高スループットで製膜し得る製膜技術及び製膜装置・プロセスの開発等を行った。

3．達成目標
ⅰ）高効率化
＜中間目標＞
・30×40cm程度の基板に製膜した２接合以上の多接合薄膜シリコン太陽電池においてモジュール変換効率13%以上（安定化効率）を達成する。
＜最終目標＞
・30×40cm基板に製膜した２接合以上の多接合薄膜シリコン太陽電池においてモジュール変換効率14%以上（安定化効率）を達成する。

ⅱ）製造コスト低減
＜中間目標＞
・装置の設計・作製と条件出しを完了し、任意サイズの基板において製膜速度1.0nm/sec 以上を達成する。
＜最終目標＞
・幅１ｍ以上の基板において製膜速度2.5nm/sec 以上、膜厚分布±5%以下を達成する。

(ハ) CIS・化合物系太陽電池

1．研究開発の必要性
CIS系薄膜太陽電池は、結晶シリコン太陽電池、薄膜シリコン太陽電池に続いて市場投入された太陽電池であるが、現在CdTe太陽電池等との激しい価格競争の中にあり、高い経済性が求められている。
CIS系薄膜太陽電池は、結晶シリコン太陽電池に匹敵する高い変換効率を実現できる可能性があり、また、軽量基板上への太陽電池形成が可能であることから多用途化にも適している。更に、最近では、従来と異なる新規なプロセスを開発して低コスト製造を実現しようとする試みが見られるようになってきた。
しかし、プロジェクト開始時点では、変換効率は30cm角モジュールで13から16%程度で、この太陽電池に期待されるレベル（結晶シリコン太陽電池並み）に到達しておらず、また、軽量基板上での製造技術や新規な低コスト製造プロセスも実用化までには今一歩のところにあった。
また、海外では集光型太陽電池で一定規模の市場がすでに形成されており、日本がこの市場に遅れることなく参入するためには、集光型太陽電池システムの低コスト化が早急に必要

とされるところであった。

2. 研究開発の具体的内容

CIS系薄膜太陽電池では、実用化規模の大面積及び材料のポテンシャルを引き出すために小面積モジュールでそれぞれ高効率化を図った。また、軽量基板上での製造技術や新規な低コスト製造プロセスの実用化に向けた開発を実施した。
集光型太陽電池では、システム全体としてのコストダウンを目指し、太陽電池セル以外に光学系や追尾架台等の低コスト化開発を実施した。

ⅰ）CIS系高効率化

光吸収層の高品質化、接合界面特性の改善、集積化技術、ワイドギャップ材料の高品質化技術（欠陥密度低減等）等の開発を行う。

ⅱ）CIS系製造プロセスの開発

軽量基板を用いた低コスト製造プロセス、従来の製造法と異なるCIS太陽電池の低コスト製造プロセス（非真空プロセス等）等の開発を行う。

ⅲ）集光型太陽電池の低コスト化開発

Ⅲ-Ⅴ族化合物／Siモノリシックタンデム等低コスト集光型太陽電池、低コスト集光系・ミラー・レンズ、低コスト架台・システム等の開発を行う。

3. 達成目標

ⅰ）CIS系高効率化

＜中間目標＞

・サブモジュール（30cm角程度）で変換効率17%以上を達成する。
・小面積セル（1cm角程度）で変換効率22%以上を達成する。

＜最終目標＞

・サブモジュール（30cm角程度）で変換効率18%以上を達成する。
・小面積セル（1cm角程度）で変換効率25%以上を達成する。

ⅱ）CIS系製造プロセスの開発

軽量基板上での製造技術や、新規な低コスト製造プロセス等により製造したサンプルを供試する。達成目標（中間目標を含む）は単位出力当たりの製造コスト等(円/W)で表し、その値は各研究テーマ毎に設定し実施計画書に記載する。

ⅲ）集光型太陽電池の低コスト化開発

開発した光学系や追尾架台等を用いたモデルシステムを実際に建設し、そのコストを基にプラント建設コストを算出する。達成目標（中間目標を含む）は例えば単位面積当たりの建設コストで表し、その値は各研究テーマ毎に設定し実施計画書に記載する。

（ニ） 色素増感太陽電池

1. 研究開発の必要性

色素増感太陽電池はコストの点でシリコン材料を用いないので高純度シリコン価格高騰の影響を受けない。また、高真空プロセスを用いず、スクリーン印刷・Roll to Roll等の工程で製造が可能なので低コスト化が期待されている。機能面の点では光入射角度依存性が小さく、発電出力の温度依存性が小さいため、夏季でも発電特性が落ち込まない等の利点がある。

課題は変換効率が低いことであり、プロジェクト開始当時、環境試験・耐久性試験で相対効率低下10%以内をクリアしているセルでは変換効率は3%程度であった。また、信頼性においても水分の進入等による劣化等の問題があった。

コスト面、性能面での色素増感型太陽電池のメリットを生かし実用化を実現するためには、変換効率及び信頼性の向上が必要であった。

2.研究開発の具体的内容
高効率化と耐久性向上を図り、以下のモジュール製造プロセスの研究開発を実施した。

ⅰ）高効率化
・新規色素（長波長応答色素）、高性能半導体電極、タンデム構造色素太陽電池の開発等を行った。

ⅱ）モジュール化技術開発・耐久性向上
・封止構造形成技術、不揮発性電解質の開発、スクリーン印刷・Roll to Roll等のプロセス技術の導入による量産化検討、半導体電極の低温形成技術の開発等を行った。
・劣化メカニズムの解明及び耐久性向上のための技術開発を行った。

3.達成目標
高効率かつ耐久性に優れたモジュールを開発する。モジュールは以下の効率と耐久性を同時に満たすことを目標とした。

ⅰ）高効率化
＜中間目標＞
・セル変換効率（安定化効率）　11%（1cm角程度）以上
・モジュール変換効率（安定化効率）　7%（30cm角程度）以上
＜最終目標＞
・セル変換効率（安定化効率）　15%（1cm角程度）以上
・モジュール変換効率（安定化効率）　10%（30cm角程度）以上

ⅱ）モジュール化・耐久性向上
＜中間目標＞
・JIS規格C8938の環境試験・耐久性試験（温湿度サイクル、耐熱性試験、耐湿性、温度サイクル、光照射の各試験）において相対効率低下10%以内
＜最終目標＞
・JIS規格C8938の環境試験・耐久性試験（温湿度サイクル、耐熱性、耐湿性、温度サイクル、光照射の各試験）において相対効率低下10%以内

（ホ）有機薄膜太陽電池

1.研究開発の必要性
有機薄膜太陽電池はコストの点でシリコン材料を用いないので高純度シリコン価格高騰の影響を受けない。また、高真空プロセスを用いず、スクリーン印刷・Roll to Roll等の工程で製造が可能なので低コスト化が期待されている。機能面の点では光入射角度依存性が小さく、発電出力の温度依存性が小さいため、夏季でも発電特性が落ち込まない等の利点がある。
課題は変換効率が低いことであり、プロジェクト開始当時セルで6%程度であった。また、信頼性においても水分の進入等による劣化等の問題があった。
コスト面、性能面での有機薄膜太陽電池のメリットを生かし、実用化を実現するためには、変換効率と信頼性の向上が必要であった。

2.研究開発の具体的内容
高効率化と耐久性向上を図り、以下のモジュール製造プロセスの技術開発を実施した。

ⅰ）高効率化
・有機半導体（特にp型）、電子・ホール輸送層等の材料探索、短絡電流向上のための光電変換部分の増大（バルクヘテロ接合）、新デバイス構造構築、積層化に係る技術開発等を行った。

ⅱ）モジュール化技術開発・耐久性向上
・スクリーン印刷・Roll to Roll等のプロセス技術の導入による量産化検討、劣化メカニズムの解明及び耐久性向上のための技術確立等を行った。

3. 達成目標
高効率かつ耐久性に優れたモジュールを開発する。モジュールは以下の効率と耐久性を同時に満たすことを目標とした。

ⅰ）高効率化
＜中間目標＞
・セル変換効率（安定化効率）　8%（1cm角程度）以上
・モジュール変換効率（安定化効率）　6%（30cm角程度）以上
＜最終目標＞
・セル変換効率（安定化効率）　12%（1cm角程度）以上
・モジュール変換効率（安定化効率）　10%（30cm角程度）以上

ⅱ）モジュール化技術開発・耐久性向上
＜中間目標＞
・JIS規格C8938の環境試験・耐久性試験（温湿度サイクル試験、耐熱性試験、耐湿性試験、温度サイクル試験、光照射試験）において相対効率低下10%以内
＜最終目標＞
・JIS規格C8938の環境試験・耐久性試験（温湿度サイクル試験、耐熱性試験、耐湿性試験、温度サイクル試験、光照射試験）において相対効率低下10%以内

（へ）共通基盤技術

1. 研究開発の必要性
太陽光発電システムの利用拡大や技術発展のためには、システムを構成するモジュール等の性能、耐久性、安全性、システムとしての発電量算定評価や信頼性評価等の各種評価方法の確立、国際的な規格化・標準化、システムの認証、リサイクル・リユースの技術開発等の産業基盤の整備が必要である。また、各電池に共通した部材の高機能化、長寿命化を図る必要がある。さらに、先進国に対しては諸外国の研究機関との連携、国際エネルギー機関（IEA）への参画等による戦略的な活動は、産業競争力の確保と国際貢献の双方を意識した国の活動として重要である。

2. 研究開発の具体的内容
以下の研究開発項目を実施した。

ⅰ）発電量評価技術等の開発
ⅱ）信頼性及び寿命評価技術の開発
ⅲ）リサイクル・リユース技術の開発
ⅳ）共通材料・部材・機器及びシステム関連技術開発
ⅴ）標準化支援事業及びIEA国際協力事業等

ⅰ）発電量評価技術の開発
㈠発電量評価
発電量評価技術として、きめ細かい範囲でのスペクトルを含めた日射量のデータベースを構築し、測定した当日の日射量・気象データから特定地域の翌日の発電量を推定する技術を開発した。

㈡太陽電池の性能評価

太陽電池評価技術として、光照射効果を考慮した実効性性能評価技術を開発する。また、高精度屋外性能評価を開発する。さらに、新材料・新技術に対応した新型太陽電池の評価技術を開発した。

基準太陽電池校正技術の研究開発として、高精度型絶対放射計とその校正技術の開発を行った。また、絶対分光感度法による一次基準セルの校正技術を開発する。さらに、二次基準モジュールの校正精度の向上を図った。

ⅱ）信頼性及び寿命評価技術の開発

信頼性評価技術として、太陽電池モジュールや太陽光発電システムの屋外曝露試験データを取得・分析評価し、劣化要因を抽出した。また、これと併せてモジュール、封止材等の長寿命化技術の開発及び試作モジュール等も用いた劣化メカニズムを解明し屋内での部材も含めた寿命評価試験方法を開発し、規格化を推進した。

更に、太陽光発電システムの長寿命化等に寄与する可能性がある各電池に共通した高機能材料の寿命試験方法を確立した。

ⅲ）リサイクル・リユース技術の開発

新たな種類の太陽電池や破損・粉砕された太陽電池モジュール等のリサイクル等の関連技術の開発を行った。また、リユース及び補修回収技術の開発並びに安全性等評価を行い、そのための基準を定めた。更に、LCA評価として、これまでの評価の見直しとリサイクル等の廃棄処理まで考慮した評価を実施した。

なお、必要に応じ環境関連技術、低コスト化技術、高効率化技術等について問題抽出や課題解決のための方向性検討・調査等を行った。

ⅳ）共通材料・部材・機器及びシステム関連技術開発

結晶シリコン、薄膜シリコン、CIS・化合物系太陽電池等の各種太陽電池に適用でき、コスト低減（省プロセス化、信頼性向上）、高効率化が見込める共通材料、部材・機器及びシステム関連技術の開発を行った。

ⅴ）標準化支援事業及びIEA国際協力事業等

標準化調査研究において、太陽電池の性能評価及び太陽光発電システムに関する国内外の標準策定に向けた活動を行った。

諸外国の技術開発動向や政策動向等について、IEA活動等から調査・分析し、諸外国の動向等を把握し、技術開発の方向性や分析・評価手法等について検討した。

3. 達成目標

ⅰ）発電量評価技術の開発

㈠発電量評価

・スペクトルを含めた日射量のデータベースを構築する。

・地域の日射量・気象データから発電量を推定する技術を開発する。

㈡太陽電池の評価技術

・実効性性能評価技術：光照射効果（1年以上）を考慮した実効性性能評価技術を確立する。

・高精度屋外性能評価の開発：測定再現性2%以内の評価方法を確立する。

・各種新型太陽電池評価技術：NEDOの開発成果も含めて基礎データを収集、分析、評価し、必要に応じ規格化を図りつつ基本的評価手法を確立する。

・基準太陽電池校正技術：WRRファクター　0.5%以内の構成技術を確立する。

・絶対分光感度法による一次基準セルの校正技術：校正の不確かさ　0.5%以内の構成技術を確立する。

・二次基準モジュールの校正精度：校正の不確かさ　1.0%以内を達成する。

ⅱ）信頼性及び寿命評価技術の開発

20～30年の屋外曝露に相当する屋内での寿命評価試験方法等について、モジュール及び

システムとして基本的な評価技術を開発し、規格化に向けた技術要件を整理する。
また、工程管理で信頼性確保を判定できる方法を確立し、簡易に寿命を判定できる方法を確立する。
さらに、モジュールやシステムの屋外曝露試験を行い、電気的物理的な劣化状況に関するデータを収集、分析、評価等を行うとともに、システムも含めた劣化要因について抽出する。

ⅲ）リサイクル・リユース技術の開発
新たな種類の太陽電池にも対応したリサイクル関連技術を確立する。
また、リユース及び補修回収技術の開発並びに安全性等の評価を行い、そのための基準を定める。
さらに、LCA評価の見直しを行い、新型太陽電池の廃棄を含めたLCA評価を完了する。

ⅳ）共通材料・部材・機器及びシステム関連技術開発
具体的な開発目標及び実施内容は、採択テーマごとにNEDOと実施者との間で協議の上個別に設定することとする。

ⅴ）IEA国際協力事業及び標準化支援事業等
・IEC・JISに係る標準化活動を行う。
・諸外国の技術動向や政策動向等を調査・分析し、諸外国の動向を把握した上で、技術開発の方向性や、分析・評価手法の開発方針等を明確にする。

2.1.5研究開発内容（実施機関毎）

研究開発テーマ、開発目標、研究内容は以下のとおり。

表. 2　（イ）結晶シリコン太陽電池

No.	開発期間	テーマ名	委託先	テーマ概要	最終目標	その他
①極限シリコン結晶太陽電池の研究開発（コンソーシアム）						
1	H22～H26	産業開発プラットフォームの構築（太陽電池試作ライン）	豊田工業大学	結晶シリコン太陽電池について原料の製造から太陽電池セルまで一貫した研究開発テーマを遂行することで、低コストで高効率な世界最高レベルの競争力を有する結晶シリコン太陽電池の実現を目指す。	・試作ラインの構築 太陽電池試作を通じて、参画機関の技術開発を支援する。 ・原料・結晶の評価 試作評価を通じて、原料・結晶の高品質化に貢献する。 ・プロセスの評価 高効率・低コスト太陽電池製造用要素技術を開発する。 ・ヘテロ技術の評価 裏面ヘテロ接合型の太陽電池の変換効率向上に貢献する。 ・高効率・低コストセルの評価 新材料や新プロセスなどを新規高効率・低コスト太陽電池製造に適用した場合の課題を総合的な観点から検討し、各機関の研究開発を支援する。	
2	H22～H26	革新的太陽電池用単結晶成長法の研究開発	九州大学	①高効率単結晶育成炉の温度分布解析シミュレータ構築 結晶育成炉の設計が可能な温度分布解析シミュレータ構築の構築を行う。 ②高効率単結晶育成炉の不純物除去解析シミュレータ構築 ガス整流装置の最適化を、不純物除去解析シミュレータにより最適化し、実験により実証する。 ③ 高効率単結晶育成炉の転位除去解析シミュレータ構築 結晶の冷却過程の最適化アルゴリズムを構築し転位密度が 1×10^4 cm^{-2} 以下の結晶育成を実証する。	･高効率単結晶育成炉の温度分布解析シミュレータ構築 ･高効率単結晶成長炉の不純物除去解析シミュレータ構築 ･高効率単結晶育成炉の低転位化および低残留応力化が可能な解析シミュレータ構築	
3	H22～H26	太陽電池用低価格単結晶シリコン成長法の研究開発	物質・材料研究機構	太陽電池用低価格単結晶シリコン成長法の研究開発 単種結晶を用いた鋳造単結晶シリコン製造法（seed cast 法）と次世代太陽電池用矩形単結晶 Si 製造法を開発し、安価かつ高品質な単結晶育成	・少数キャリアライフタイム 400μsec 以上	

				技術を確立させる。		
4	H22 ～ H26	浮遊キャスト成長法による高品質Ｓｉ多結晶インゴットの結晶成長技術	名古屋大学	･浮遊キャスト成長法により作製した結晶の評価と高品質化メカニズムの解明 ･結晶組織や結晶欠陥、電気的特性の分布の評価を行う。 ･太陽電池による結晶品質の評価および高効率化の検討	・不純物、結晶組織、結晶欠陥を制御した 15.6cm 角の高品質ウェハーが取得可能なブロックを、複数切り出すことができる高品質インゴットを実現することで、量産技術としての有用性を実証するとともに、実用装置への課題と解決法を把握する。 ・15.6cm 角の結晶で 400μsec 程度のライフタイムを実現する。	
5	H22 ～ H26	スライス時のカーフの回収・再利用	兵庫県立大学	スライス時のカーフの回収・再利用 ①カーフ／不純物の分離技術の開発 ②原料再生技術の開発	・カーフ／不純物の分離技術の開発：回分式でシリコン回収率 60%以上、純度 80%以上 ・カーフ／不純物の分離技術の開発：連続式でシリコン回収率 90%以上、純度 95%以上 ・原料再生技術の開発 原料中の酸素含有量 70ppma 以下 ・原料再生技術の開発：結晶ライフタイム 30μsec 以上	
6	H22 ～ H26	太陽電池向け 100μｍウェーハの効率的加工技術の構築	コマツＮＴＣ	太陽電池向け 100μm ウェーハの効率的加工技術の構築 ①薄板ウェーハの高歩留まり生産技術の確立 ②カーフロス量の最少化に向けた細線ワイヤが使用できる生産設備の確立	・100μｍウェーハを歩留り 95%以上で加工可能なこと ・カーフロス 100μmで加工可能なこと（固定砥粒ワイヤーを使用） ・ウェーハ品質と発電効率の関係性の明確化	
7	H22 ～ H26	次世代超薄型高効率結晶シリコン太陽電池	京セラ	次世代超薄型高効率結晶シリコン太陽電池 高効率・低コストセルの研究開発 ①高効率化技術開発 ②原料・結晶の研究開発で得られた基板のセル化評価	･高効率多結晶シリコン量産プロセス技術確立（太陽電池セル変換効率 20%、モジュールでの変換効率 18%） ･プロセス目標：新結晶成長プロセスにおいて１５６ｍｍ角セルで１５０枚／ｈ以上	
8	H22 ～ H26	微細レーザ加工技術による高効率化研究開発	三菱電機	微細レーザー加工技術による高効率化研究開発 ① 効率セル製造プロセス技術 ② 微細レーザ加工技術 ③ 評価	拡散系結晶シリコン太陽電池で変換効率 22%を達成するとともに、タクトを短くする量産適用技術を開発する。 電極形成コスト低減が可能な Cu めっき電極形成技術を構築する。 微細レーザー加工技術を応用した受光面、裏面開口プロセスの構築を行い、早期実用化を目指	

					す。 R ワイヤスライスによる低ダメージで切断した基板を評価し、従来の固定砥粒方式による基板との比較を行う。	
9	H22 ～ H26	次世代超薄型結晶シリコン太陽電池の低コスト・高効率化プロセス開発	シャープ	次世代超薄型高効率単結晶シリコン太陽電池の開発 バックコンタクト（裏面電極型）セル構造開発 ①光閉じ込め技術開発 ②表面パッシベーション技術開発 ④高品位ｐｎ接合形成技術開発 超薄型多結晶シリコン太陽電池の低コスト・高効率化プロセス開発 超薄型多結晶シリコン太陽電池の低コスト・高効率化プロセス開発 ⑤低コスト裏面パッシベーション構造形成技術開発 ⑥基板の評価	セル変換効率 25%（単結晶シリコン基板：厚さ 100μm以下、サイズ 150mm角）、モジュールでの変換効率 20%を達成する。	
10	H22 ～ H26	ナノ表面・界面制御による超薄型シリコン・ヘテロ接合太陽電池	東京工業大学	ヘテロ技術の研究開発 ①ナノ界面制御によるアモルファス酸化アルミニウムパッシベーション膜の技術開発 ②超薄型シリコンヘテロ接合太陽電池の開発	・ナノ表面・界面制御による超薄型シリコン・ヘテロ接合太陽電池の高効率化に関する研究 開発） ・厚さ 150-200μm のセルで 1cm^2 において変換効率 20%以上を達成する。	
11	H22 ～ H26	次世代ヘテロ接合シリコン結晶太陽電池の接合評価	岐阜大学	次世代ヘテロ接合シリコン結晶太陽電池の接合評価 ①結晶 Si 太陽電池用の光起電力顕微鏡の開発 a. 光起電力顕微鏡用基礎技術の開発 b. 結晶 Si 太陽電池用の光起電力顕微鏡装置の開発 開発項目②ヘテロ接合単結晶 Si 太陽電池の作製と光起電力顕微鏡によるヘテロ接合特性の評価	ヘテロ接合結晶 Si 太陽電池に於いて、東京工業大学と共同で変換効率２０%以上を達成するための要素技術を確立する。 （１）結晶 Si 太陽電池用の光起電力顕微鏡の開発 （２）HIT 型単結晶 Si 太陽電池ヘテロ接合特性の評価	
12	H22 ～ H26	銅ペーストの研究開発	産業技術総合研究所	①実験設備の設置 結晶 Si 太陽電池に形成する銅配線の抵抗率の精密評価、および Si 基板と銅配線の接触抵抗の評価を行う。そのための、微小抵抗計測システムを構築する。 ②ペースト調整 結晶 Si 太陽電池に印刷で微細銅配線を形成するための印刷用銅ペーストの開発を行う。 ③印刷試験 結晶Si太陽電池に印刷によ	・現行銀ペーストのコスト 1/2 以下の銅ペースト開発に貢献する ・従来型結晶シリコン太陽電池へ応用のための技術構築	

				り微細銅配線を形成する技術の開発を行う。印刷法としては、特にスクリーン印刷での配線・電極パターンの形成を検討する。 ④印刷刷細線電気特性解析 結晶Si太陽電池に印刷により形成した微細銅配線の電気特性を解析する。		
13	H22 ～ H26	室温レーザードーピングプロセスの研究開発	奈良先端科学技術大学院大学	室温レーザードーピング技術の開発 ①ドーピング濃度ならびに深さ制御技術の開発 ③局所領域へのドーピング技術の開発	・ドーピング濃度ならびに深さ制御技術の開発 適切な波長のレーザービームを選択し、照射強度をレーザーパワーならびに形状や基板走査速度を変えて制御し高濃度ドーピングを目指す。新規ドーピングプレカーサー層や堆積前の Si 基板表面処理による界面制御効果を確認する。 高品位電子物性を有する 1×E20cm^{-3}以上の、n 型、p 型の高濃度ドーピングを実現する。 ・局所領域へのドーピング技術の開発 極細レーザービームの走査により、局所領域へのドーピングを実施する。 整形された極細ビームによる照射強度の精密な制御を実現し空間的濃度の再現性を確保する。 選択エミッタ構造やバックコンタクト構造など、次世代高効率構造素子の作製プロセスへ適用する。	
14	H22 ～ H26	産業開発プラットフォームの構築（物性評価）	明治大学	産業開発プラットフォームの構築 ① セルプロセス評価 ② 原料・結晶の評価 ③ 低コスト単結晶の評価	・低品位原料を“使いこなす”ための技術開発を支援 ・少数キャリアライフタイム 400μsec 以上の達成に貢献 ・変換効率 25%を達成するための要素技術開発	
15	H22 ～ H24	ソーラーグレード原料シリコンの分析評価に係る研究開発	新日本ソーラーシリコン	①シリコン原料性状特定 ・評価技術 ・ポリシリコン製造プロセスおよびそこで得られる中間原料の特性評価 ② シリコン原料評価の要素技術 ・ポリシリコン製造プロセスのシリコン原料とシリコン原料を塩化することにより得られるクロロシランについて必要な化学分析を行う。	・原料性状分析に必要な装置の選定と導入 ・原料分析技術の確立 ・原料性状特定に必要な試料の収集と分析 ・亜鉛還元 Si 試料提供 適合原料特定 原料性状特定	

16	H22 ～ H24	浮遊キャスト成長法による高品質Ｓｉ多結晶インゴットの結晶成長技術	京都大学	・浮遊キャスト成長法によるインゴットの高品質化のための成長技術の基礎検討 ・浮遊キャスト成長法によるインゴットの高品質化のための成長技術の基礎検討 ・太陽電池による結晶品質の評価および高効率化の検討	・大型インゴット成長が可能であることを実証 ・従来のキャスト法に比較して結晶品質に優れるメカニズムを明確にする 100 ㎜ 角の結晶で 200μm 程度の拡散長を実現 キャスト成長法による結晶を上回る変換効率	
17	H22 ～ H24	高効率、低価格ＥＭＣ多結晶ソーラーシリコン製造技術確立	ＳＵＭＣＯ	①既存ｎタイプ多結晶の品質確認と課題抽出 既存ｎタイプ多結晶の品質(金属不純物濃度、抵抗率、酸素濃度、炭素濃度)とライフタイム、変換効率との関係を調べる。品質評価、ライフタイム評価は社内評価で行い、変換効率は外注で実施する。 ②鋳造テスト・評価(抵抗率の最適化) ｐタイプ多結晶の変換効率を上回るレベルの結晶品質を作りこむ。(抵抗率の適正化) ③　ボロン拡散の最適化 変換効率向上策としてボロン拡散の最適条件を開発する。	・平成 24 年度中間目標 ライフタイムの値(リン拡散後)を 200μsec ・平成 26 年度最終目標 ライフタイムの値(リン拡散後)を 400μsec	
②太陽電池用シリコンの革新的プロセス研究開発（コンソーシアム）						
18	H22 ～ H24	高純度原料の開発	太平洋セメント	高純度原料の開発 ①シリカ原料の調合技術の開発 ②シリカの高純度化技術の開発 ③カーボン原料の高純度化検討 ④コスト低減の検討（薬剤費、処理条件の最適化） ⑤カーボンの低コスト化検討 ⑥粉砕・混合方法および装置の調査・検討 ⑦カーボンの粉砕方法の検討	シリカ及びカーボン原料の高純度化(B, P<1ppm)	
19	H22 ～ H24	シリカの直接還元プロセスの開発	弘前大学	シリカの直接還元プロセスの開発 ・微粒炭素（カーボン）とシリカ(SiO_2)の粉体混合素材の高温下での直接還元プロセスを研究開発し、新しい太陽電池用 Si 素材の高純度化、低コストかつ量産化プロセスの基礎技術を開発する。 ・高純度 Si 製造プロセスを開発する。	①シリカ・炭素の混練材最適化 ②ハイブリット加熱法の確立 ③Si 純度(B<1ppm)	
20	H22 ～ H24	Ｓｉ精製プロセスの開発	東京大学	Si 精製プロセスの開発 テーマで得られたシリコンを太陽電池級に精製するプロセ	脱 P 炉地 98%以上および脱 B フラックス組成の最適化	

				スを確立する。		
③赤外線 FZ 法による N 型四角形状シリコン単結晶育成方法の研究開発（コンソーシアム）						
21	H24 ～ H26	育成方法および装置の開発	クリスタルシステム	赤外線 FZ 法による大口径四角断面形状シリコン単結晶育成方法および装置の開発	・直径 200mm、長さ 500mm の丸形シリコン単結晶育成方法確立 ・対角線長さ 60mm、長さ 100mm の四角形状のシリコン単結晶育成方法開発 ・単結晶であり、導電型は n-型および p-型であること ・中心比抵抗 15Ωcm で、比抵抗分布が長手方向に 15%、面内 12%の範囲に制御できること ・ライフタイム 1msec 以上 （比抵抗 15Ωcm） ・酸素成分濃度 1×10^{17} atoms/cm^3 以下 ・炭素成分濃度 2×10^{16} atoms/cm^3 以下 ・転位密度 0ヶ／cm^2 ・従来引上げ法に比べて、コストが 40%以下（p 型並み）となること	
22	H24 ～ H26	物性評価	山梨大学	赤外線 FZ 法により製造された大型シリコン単結晶の特性評価を行う。	・赤外線 FZ 法で製造されたシリコン単結晶の特性評価方法を確立する。 ・特性評価に基づき、高品質単結晶育成条件へのフィードバックを行う。	
④銅ペースト量産化技術と試験・評価方法に関する研究開発（コンソーシアム）						
23	H24 ～ H26	銅ペーストと量産化技術の開発	ナミックス	結晶シリコン太陽電池電極用、銅ペーストの開発	焼成型 処理条件窒素雰囲気 900°C 以下 電気的特性目標 FF>0.7 半田付け強度>2 N コスト目標 銀ペーストの 1/2 熱硬化型 処理条件 200°C 30 min 電気的特性目標 比抵抗値 5 ~ 10 × 10-5 Ω cm 電気的特性目標 FF>0.78 （同一セル構造にて銀配線と遜色ないこと） 半田付け強度>1.5 N コスト目標 銀ペーストの 1/2	
24	H24 ～ H26	銅ペーストの印刷技術試験・評価方法の開発	産業技術総合研究所	銅ペーストを用いたセルの評価手法検討	。①既存熱硬化型銀ペーストと同等以上の性能であることを確認する。②ライン抵抗率：５～１０×１０－6Ω・ｃｍ、接触抵抗率：＜1 mΩ・cm2 を達成する。③開発した評価方法をもとに、ナミックス株式会社の事業化を支援する。	

⑤単独案件						
25	H22 ～ H26	マルチワイヤーソーによるシリコンウエハ切断技術の研究開発	コベルコ科研	マルチワイヤーソーによるシリコンウエハ切断技術の研究開発 ①切断メカニズムの解析と他の切断方式との比較 ②マルチワイヤーソーおよび関連設備の設置 ③ダメージ層の評価 ④加工油の選定 ⑤砥粒径、砥粒濃度、樹脂厚みの最適化 ⑥スラリーノズルの選定とスラリー供給方法の最適化 ⑦接着剤の選定 ⑧数値解析によるスラリー挙動の解明	・ウエハ厚さ；多結晶0.18mm、単結晶0.13mm ・カーフロス；120μm未満 ・ダメージ層深さ；5μm以下 ・表面粗さ（Ra）：0.5μm以下 ・切断速度；0.3 mm/min以上 ・ピアノ線に比較したワイヤ寿命；2倍以上 ・GC 砥粒を用いた従来の遊離砥粒方式に比較した切断変動費のコストダウン率；15%以上	
26	H22 ～ H24	太陽電池用ポリシリコンのシリコン原料転換の研究開発	新日本ソーラーシリコン	太陽電池用ポリシリコンのシリコン原料転換の研究開発」 シリコン原料転換の技術開発 ①原料の調査・評価 ②高効率反応技術の開発 ③粗 SiCl4 の蒸溜・品質評価 シリカ塩化反応技術の開発 ①塩化反応基礎試験(ラボ試験) ②原料前処理技術の開発 ③塩化反応技術の開発	・シリカ塩化の生産性 0.7 トン-SiCl4/m2/h 以上 ・四塩化珪素の品質 純度 6N 以上 ・シリコン単結晶の品質 10Ω・ｃｍ以上	
27	H24 ～ H26	超低コスト高効率 Agフリーヘテロ接合太陽電池モジュールの研究開発	カネカ	Ａｇフリーヘテロ接合太陽電池セル及びそのモジュールに対する量産化技術を開発する。 ① 超低コスト高効率Ａｇフリーヘテロ接合太陽電池セルの開発 ②新世代Ａｇフリーヘテロ接合太陽電池モジュールの開発	①６インチ角超薄型Ａｇフリーヘテロ接合太陽電池セルにて変換効率２４％ ②Ａｇフリーヘテロ接合太陽電池モジュールにて変換効率２２．５％	

表．３　（ロ）薄膜シリコン太陽電池

No.	開発期間	テーマ名	委託先	テーマ概要	最終目標	その他
1	H22～H26	次世代多接合薄膜シリコン太陽電池の産学官協力体制による研究開発	太陽光発電技術研究組合	各社・機関・大学が分散保有していた優れた個別要素技術を融合することで、単独機関では対応困難な共通課題を少ない投資で効率的かつ迅速な解決を図り、より競争力のある高いレベルの統合化技術を創生して、2020 年あたりを目途に現状の事業用電力コストとされる発電コスト 7 円/kWh の実現に資する技術を確立する。	30×40cm2 基板上に 2 接合でモジュール安定化効率 14%を達成し得る要素技術を開発する。	
2	H22～H26	高度構造制御薄膜シリコン太陽電池の研究開発	カネカ	薄膜シリコン太陽電池の高効率化を目指し、光閉じ込め構造のさらなる強化を目的に透明電極の凹凸形状において光散乱に指向性を有する事を特徴とする新規低空間指向性光閉じ込め構造の開発を行う。合わせてモジュールへの適用を目指した検討を実施するものとする。また、多接合型薄膜シリコン太陽電池の高性能化においてキーとなるミドル層の高性能化を目的に、サブサーフェス制御製膜法による新規バンドギャップ制御シリコン系材料の開発を行い、高効率化を実現する。	・実用化サイズモジュール（モジュールサイズ１４２０×１１００ｍｍ）にて安定化後２００Ｗ（安定化効率１３．６％） ・モジュールコスト　５０円／Wに資する技術開発として、変換効率同等で発電層の膜厚を半減する技術の開発	
3	H22～H24	薄膜シリコンフィルム太陽電池の高速製膜技術の研究開発	富士電機	薄膜シリコン太陽電池であるフレキシブル太陽電池について、その高効率化を図ると共に、その薄膜シリコンを高速で製膜する技術を開発する。 １）薄膜シリコン太陽電池の高速製膜技術 ２）太陽電池モジュール作製技術	・μc-Si:H セルで変換効率 9.5%（製膜速度 2.2nm/s） ・3 接合太陽電池で初期効率 12.6%、製膜速度はμc-Si：2.2nm/s、a-Si：0.83nm/s ・a)直列接続による出力低下：20% b)高温高湿通電試験での出力低下：4%	

表. 4　（ハ）ＣＩＳ・化合物系太陽電池

No.	開発期間	テーマ名	委託先	テーマ概要	最終目標	その他
①フレキシブルＣＩＧＳ太陽電池モジュールの高効率化研究（コンソーシアム）						
1	H22～H26	フレキシブルＣＩＧＳ太陽電池モジュールの高効率化研究	富士フイルム	フレキシブル CIGS 太陽電池の高速製膜・高性能化プロセスを開発する。 フレキシブル CIGS 太陽電池のロール・トゥ・ロール製膜装置(CIGS 層、Na 供給層、裏面電極)の基本仕様設計と、基本仕様によるアルバック社作製装置の評価により、高効率化可能な装置技術を開発する。	・フレキシブル CIGS 太陽電池の高効率化 （10×10cm サイズにて効率 17%） （30×30cm サイズにて効率 16%）	
2	H22～H26	装置開発	アルバック	フレキシブル CIGS 太陽電池のロール・トゥ・ロール製膜装置を開発（CIGS 層、Na 供給層、裏面電極層）する。	・フレキシブル CIGS 太陽電池製造技術の構築 （CIGS 工程までをロール・トゥ・ロールプロセス化、CIGS 光吸収層の高速成膜技術の構築）	
3	H22～H26	電子構造評価によるデバイス特性向上技術の開発	鹿児島大学	ワイドギャップ CIGS に適合する新規バッファ層の電子構造およびバッファ層／CIGS 界面の伝導帯・価電子帯の適正な接続条件を明らかにし、デバイス作成技術にフィードバックする。	・フレキシブル CIGS 太陽電池の高効率化 （10×10cm サイズにて効率 17%） （30×30cm サイズにて効率 16%）	
4	H22～H26	結晶欠陥の検出・同定、欠陥低減化技術開発支援	筑波大学	CIGS 光吸収層の中および界面での結晶欠陥を検出、同定して欠陥の性質を明らかにし、さらに欠陥低減化技術開発を支援してデバイス特性の向上を図る。	・フレキシブル CIGS 太陽電池の高効率化 （10×10cm サイズにて効率 17%） （30×30cm サイズにて効率 16%）	
5	H22～H26	新規バッファ層の開発	豊橋技科大学	ワイドギャップ CIGS に適合する新規バッファ層の材料とその成形技術、およびバンドギャップチューニング技術の開発を行い、ワイドギャップ CIGS 太陽電池の高効率化を図る。	・フレキシブル CIGS 太陽電池の高効率化 （10×10cm サイズにて効率 17%） （30×30cm サイズにて効率 16%）	
② CZTS 薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発						
6	H24～H26	CZTS 薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発	ソーラーフロンティア株式会社	2020 年における発電コスト目標（14 円/kWh）達成に向け、原料が安く、高効率化が可能な潜在性を秘めている CZTS 太陽電池の高効率化及び製造技術の開発を行う。	30cm 角程度のサブモジュールにおいて変換効率 13%、1cm 角程度の小面積セルにおいて変換効率 15％の達成を目標とする。	
7	H24～H26	小面積セルでの高効率化およびデバイス評価技術の研究開発	国立研究開発法人産業技術総合研究所	CIGS 太陽電池で高効率化を実現可能にした手法を CZTS 太陽電池に対して適用し、その有効性を検証する。	１ｃｍ角程度の小面積セルで変換効率１５％	
8	H24～	機能層・セル内界	国立大学法人	CZTS 光吸収層・新規材料を含むバッファ層バルク及び	・バッファ/CZTS 界面電子接続のプロセス依存性、粒界・セル	

	H26	面の電子構造評価・最適化に関する研究開発	鹿児島大学	界面のバンド端位置、バンド接続状態等の電池特性に直結する電子状態を解明し、電子状態と作成プロセスの関連データに基づき最適組成を決定するとともにプロセス改善指針を導出する。	内電位プロファイルの解明 ・実測データに基づく最適な界面・内部電界・粒界状態の実現のためのプロセス制御指針の導出・フィードバック	
9	H24 ～ H26	CZTS の結晶欠陥に関する研究開発	国立大学法人筑波大学	光吸収層である CZTS の結晶品質はデバイス特性を左右する重要な要因となっている。CZTS 中及び表面、界面の結晶欠陥の検出と同定から欠陥の性質を明らかにし、欠陥低減化技術を開発することでデバイス特性の向上を図る。	相の検出、欠陥の検出から得られた知見をベースに相制御技術、欠陥低減化法に関する提案を行い膜質の高品質化を実現する。	
10	H24 ～ H26	計算科学を用いた材料・プロセス設計とモデル実証研究	学校法人龍谷大学	第一原理計算を用いて CZTS 系化合物のドーピングとそれによる欠陥構造や CZTS 太陽電池の界面状態を解析し、得られた結果を現在実用化されている CIS 系化合物と比較することで CZTS 系化合物の特徴を明らかにし、CZTS 系薄膜太陽電池の材料設計・プロセス設計の指針を明らかにし、CZTS 系薄膜太陽電池の性能向上に貢献する。	CZTS 系薄膜太陽電池の高効率化の材料設計およびプロセス設計の指針を構築する。	
③独案件						
11	H22 ～ H26	CIS 系薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発	ソーラーフロンティア株式会社	2020 年における発電コスト目標（14 円/kWh）達成に向け、CIS 系薄膜太陽電池の高効率化技術研究開発を行う。	30cm 角程度のサブモジュールにおいて変換効率 18%、1cm 角程度の小面積セルにおいて変換効率 25%の達成を目標とする。	
12	H24 ～ H25	CIGS 薄膜太陽電池モジュールにおける低コスト化技術の開発	ホンダソルテック	2020 年に発電コスト 14 円/kWh（モジュール製造コスト換算 75 円/W）の実現に資する技術の確立を目標とし、CIGS 薄膜太陽電池モジュールにおける低コスト化技術の開発として、5 つの施策（Se 化技術開発、バッファ層成膜技術開発、吸収層薄膜化技術開発、TCO 薄膜化技術開発、Mod 構造開発）を実施する。	・CIGS 薄膜太陽電池モジュールの製造コスト：87 円（W 単価） ※90cm 角程度の CIGS 薄膜太陽電池モジュールの変換効率：13.8%（P2,P3 レーザー化による性能向上による効果も見込む） ※フル稼働生産（27.5MW）した場合の製造コスト	平成 26 年 1 月に事業中止
13	H22 ～ H24	反射式集光型太陽光発電システムの研究開発	三井造船	反射を使用した集光型発電（CPV）システムの開発を実施（New TAR(Trans Axial Reflector)方式)。レンズ方式より低コストかつ同等以上の性能を狙う。また、直達光の多いサンベルト地域等を主市場として見込む。	・集光技術 集光倍率>500 倍、 光学効率>70%、 モジュール効率＞25%、 許容角>±1° 放熱技術 機構技術 ・実証データ取得 ・コスト試算	

表．５　（ニ）色素増感太陽電池

No.	開発期間	テーマ名	委託先	テーマ概要	最終目標	その他
①三層協調界面構築による高効率・低コスト・量産型色素増感太陽電池の研究開発（コンソーシアム）						
1	H22～H26	高効率タンデム化技術に関する研究開発	国立大学法人　九州工業大学	吸収長波長化による高効率タンデム・カクテル色素技術開発	セル変換効率 15%（1cm 角）	
2	H22～H26	高効率・高耐久性モジュールに関する研究開発	シャープ株式会社	・高効率セル化技術開発 ・材料開発、光電変換現象・劣化機構の解析および高信頼性化技術開発	・モジュール変換効率 10%（30cm 角相当） ・JIS C8938 試験（A-2,A-5,B-2）後の相対効率低下 10%以下	
3	H22～H26	高効率化技術及びメカニズム解析に関する研究開発	国立大学法人　信州大学	色素増感太陽電池の三層（酸化物半導体、色素、電解質）間のエネルギーロス（ΔG）減少による高効率化	・セル変換効率 15%（1cm 角） ・色素酸化電位-酸化還元電位間エネルギー＜300mV でのセル動作実証	
4	H22～H26	高効率タンデム用色素材料の研究開発	新日鉄住金化学株式会社	吸収長波長化による高効率タンデム・カクテル色素技術開発	セル変換効率 15%（1cm 角）	
5	H22～H26	高効率・高耐久性モジュール材料の研究開発	住友大阪セメント株式会社	・電極設計による開放電圧向上技術開発 ・全積層セル用材料開発と高効率化技術開発 ・低コスト電極作製プロセス技術開発	・開放電圧改善＞0.1V ・全積層セルにおいて変換効率 10% ・目標電極材料コスト 8¥/W	
6	H22～H26	高効率・高耐久性色素材料の研究開発	富士フイルム株式会社	・高吸光係数化および吸収長波長化による高効率色素技術開発 ・高信頼性色素開発	・セル変換効率 15%（1cm 角） ・JIS C8938 試験（A-2,A-5,B-2）後の相対効率低下 10%以下を達成する色素開発	
7	H22～H26	高効率・高耐久性電解質材料の研究開発	メルク株式会社	・電解質設計による高効率化技術開発	・開放電圧改善＞1.0V	
②高効率・高耐久性色素増感太陽電池モジュールの研究開発（コンソーシアム）						
1	H22～H26	色素増感太陽電池モジュール化技術と高耐久性化研究開発	フジクラ	屋外利用可能かつ高効率な色素増感太陽電池モジュールの技術開発 ①大面積・高耐久性色素増感太陽電池モジュールの研究開発 ②色素増感太陽電池モジュールの屋外耐久性実証 ③高耐久性色素増感太陽電池モジュールの高効率化技術開発 ④色素増感太陽電池モジュールの低照度高性能化技術開発	・30 cm 角 DSC モジュールで変換効率 9 %以上かつ JIS 規格 C8938 の耐久性試験における相対効率低下 5 %以内の達成 ・1 m^2 程度の色素増感太陽電池パネルにおいて連続屋外安定動作 1 年程度を実証 ・変換効率 10 %程度の高耐久性色素増感太陽電池モジュールの開発 ・0.1 sun 程度の低照度条件にて、変換効率 12 %のモジュール開発	－
2	H22～	高効率・高耐久性色素	東京理科大	チタニア光電極の光閉じ込め効果や新規調製法による最適	1cm 角セルで 11%、10cm 角サブモジュール耐久性試	－

	H26	増感太陽電池の基盤的研究		化、高性能色素の開発、電解質溶液の最適化、対極の最適化検討および太陽電池の性能支配因子の明確化	験での相対効率低下 10%以内の達成 Pt 代替対極 1cm 角セルで 10%、非 FTO セルで 8%の変換効率実現	
③フィルム型軽量低価格色素増感太陽電池の研究開発（コンソーシアム）						
	H22 ～ H26	フィルム型モジュールの研究開発	グンゼ	フィルム型モジュールの研究開発 ①フィルム型モジュールの試作と高効率化・耐久性向上、 ②RolltoRoll プロセスによる高スループット太陽電池製造技術開発	高効率化技術の開発 ・ 1000cm^2 フィルムモジュールで変換効率 10% モジュール製造技術開発 ・効率的な生産を見据えたモジュール製造技術の開発 耐久性向上技術の開発 ・JIS 規格C8938 において、初期効率低下 10%以内 実証試験の実施 ・実用化に向けた課題抽出	
	H22 ～ H26	高性能色素及び電極の研究開発とセル性能総合評価	岐阜大学 → 山形大	高性能部材の研究開発 有機増感色素の開発と多孔質酸化物光電極の低温製膜法の開発	酸化亜鉛電極低温製膜技術の開発 ・フィルム基板において効率耐久性に優れた製膜法開発 酸化亜鉛用高効率高耐久増感色素の開発 ・高効率化と高耐久化を同時に達成する色素の開発	
	H22 ～ H26	低温製膜印刷材料を用いるフイルム型色素増感太陽電池の開発	桐蔭横浜大学	低温製膜印刷材料を用いるフィルム型色素増感太陽電池の開発	印刷法による酸化チタンフィルム光電極の作製 対極と高性能部材の開発 ・高性能フィルム対極の作製 ・高耐久非ヨウ素電解液の開発 モジュール設計評価技術の開発 ・1000cm^2 フィルムモジュールで変換効率 10% ・実証試験と実用性評価	

表．６　（ホ）有機薄膜太陽電池

No.	開発期間	テーマ名	委託先	テーマ概要	最終目標	その他
① 有機薄膜太陽電池モジュール創製に関する研究開発（コンソーシアム）						
1	H22～H26	新構造モジュールの研究開発	東芝	①高効率化技術：新構造モジュールの提案 ②モジュール化技術：新構造モジュールの作製技術を確立 ③耐久性向上:JIS 規格 C8938 に基づく評価を実施	①②セル効率 12%、モジュール効率 10% ③JIS 規格 C8938 に基づく評価において、相対効率低下 10%以下	
2	H22～H26	高分子系有機薄膜太陽電池モジュールの研究開発	住友化学	①高効率化技術：高分子系の高効率発電組成を開発し、周辺材料を最適化 ②モジュール化技術：フレキシブル基板上でのモジュール化技術を開発 ③耐久性向上:JIS 規格 C8938 に基づく評価を実施	①②セル効率 12%、モジュール効率 10% ③JIS 規格 C8938 に基づく評価において、相対効率低下 10%以下	
3	H22～H26	低分子系有機薄膜太陽電池モジュールの研究開発	出光興産	①高効率化技術：低分子系新材料を開発し、セル構造を最適化・制御 ②モジュール化技術:蒸着法でのモジュール試作検討 ③耐久性向上：ＪＩＳ規格Ｃ８９３８に基づく評価の実施	①②セル効率 12%、モジュール効率 10% ③JIS 規格 C8938 に基づく評価において、相対効率低下 10%以下	
4	H22～H26	材料・構造最適化技術の研究開発	京都大学	①新材料・新構造技術：設計指針を提案し、新材料・新構造を創製 ②機構解明：物性・素子特性などを測定し光電変換機構を解明 ③最適化技術：評価環境を整備し、セルの最適化を実現	材料・構造最適化技術の研究開発	
② 光電電荷分離ゲルによる屋内用有機太陽電池の研究開発（コンソーシアム）						
	H22～H26	光電荷分離ゲル材料の有機太陽電池デバイス化技術開発	パナソニック	①変換効率向上：デバイス構造・電解液組成設計技術開発 ②耐久性向上：色素脱離抑制技術開発 ③低コスト化：塗布製膜透明導電膜基板での高変換効率および高耐久性技術開発 ④蓄電機能付与：発電デバイスへの蓄電付与技術開発	①可視光下（400-700nm、57.7μW）で変換効率20% ②JIS C8938試験での相対効率低下10%以内 ③塗布工法での透明導電膜基板（80%T,10 Ω／□）・空隙率80%以上の多孔質集電電極の作製技術開発 ④1.26mWh の蓄電機能実現のための材料技術開発	無し
	H22～H26	光電荷分離ゲル材料技術開発及びゲル劣化因子の把握・改善	早稲田大学	①変換効率向上：ゲル材料技術開発 ②耐久性向上：ゲル劣化因子の把握および改善） ④蓄電機能付与：蓄電機能発現のためのゲル材料技術開発	①可視光下（400-700nm、57.7μW）で変換効率20% ②JIS C8938試験での相対効率低下10%以内 ④1.26mWh の蓄電機能実現のための材料技術開発	無し

表．7　（へ）共通基盤技術

No.	開発期間	テーマ名	委託先	テーマ概要	最終目標	その他
①発電量評価技術等の開発及び信頼性及び寿命評価技術の開発（コンソーシアム）						
1	H22～H26	Ⅰ）発電量評価技術の開発 ①太陽電池性能評価・校正技術 a.太陽電池性能評価技術	AIST	・光照射効果を考慮した実効性性能評価技術を開発する。 ・高精度屋外性能評価技術を開発する。 ・新材料・新技術に対応した新型太陽電池の評価技術を開発する。	・光照射効果（１年以上）を考慮した実効性能評価技術を確立する。 ・（屋外性能評価）：測定再現性２％以内の評価方法を確立する ・（新型太陽電池性能評価技術）：ＮＥＤＯの開発成果も含めて基礎データを収集、分析、評価し、必要に応じ規格化を図りつつ基本的評価手法を確立する。	
		b.基準太陽電池校正技術	AIST	・放射照度測定の国際整合性を維持しつつ、その測定の不確かさを改善する。 ・絶対分光感度法による一次基準セルの校正技術実現の為の基礎検討を行う。	・（基準太陽電池校正技術）：ＷＲＲファクター0.5%以内の精密構造型絶対放射計および超高温定点黒体炉を用いた校正技術を確立する。 ・絶対分光感度法による一次校正の基本技術を開発し、その校正の不確かさを明らかにする。	
2	H22～H26	②発電量推定と予測技術 a.発電量定格技術 (i)発電量定格方式の開発 (ⅱ)射スペクトルデータの全国整備に関する研究開発 (ⅲ)有機系太陽電池実用化先導技術開発	AIST JWA AIST	・標準試験条件（STC）を補完する発電量定格の技術を開発する。 ・日射特性が異なる５地域において分光日射等の精密観測を実施し、データベースを構築する。観測データを用いて日射スペクトルを推定するモデルを開発し、全国の日射スペクトルデータを整備する。 ・各種有機系太陽電池の屋外発電量評価技術を開発する	・地域の日射量・気象データから新型太陽電池モジュールを含む各種太陽電池モジュールの発電量を推定する技術を開発する。 ・気象庁の日射観測地点を対象に日射スペクトルデータの全国整備を行う。また、月平均の日射データを収録したMONSOLA、毎時の気象データを収録したMETPVらと関連付けたデータベースとして整備を行う。さらに計測データをデータベース化し，表示・検索ソフトウエアと併せて公開する。 ・各種有機系太陽電池の屋外発電量評価を系統的に実施するとともに、有機系太陽電池の屋外発電量の日射量依存性や季節推移、角度依存性等に関する特有の現象を抽出する。	
		b.発電量予測技術 （ｉ）分散・広域発電量推定技術の研究開発	AIST	・分散発電量予測及び広域発電量予測モデルの検証を行い、高精度化を図ると共に、UTと共同してこのモデルの予測結果を電力会社の運用計画へ反映させる方法を検討す	・分散発電量予測及び広域発電量予測モデルの検証を行い、高精度化を図るとともに、UTと共同してこのモデルの予測結果を電力会社の運用計画へ	

				る。	反映させる方法を検討する。	
		(ⅱ)気象パラメータ予測技術の研究開発	MRI	・発電量予測モデル及び日射量予測モデルの高精度化に必要な、気象パラメータ予測モデルの通年評価を２度実施して精度向上を図る。また、翌日の日射量予測と観測データとの比較を再度行い、その予測精度を向上させる。	・発電量予測モデル及び日射量予測モデルの高精度化に必要な、気象パラメータ予測モデルの通年評価を２度実施して精度向上を図る。また、翌日の日射量予測と観測データとの比較を再度行い、その予測精度を向上させる。	
		(ⅲ)分散日射量予測技術の研究開発	GU	・周辺地形による直達日射遮蔽の影響なども考慮した高精度・高空間分解能を有する直達・散乱日射強度予測を任意の地点・時刻において提供できる予測システムを構築し試験運用する。	・周辺地形による直達日射遮蔽の影響なども考慮した高精度・高空間分解能を有する直達・散乱日射強度予測を任意の地点・時刻において提供できる予測システムを構築し試験運用する.	
		(ⅳ)広域日射量予測技術の研究開発	JWA	・5km メッシュで全国を対象とする全天日射量の予測モデルについて検証を行い、モデルパラメータの改善を実施する。開発成果を基に、実用化に向けた広域予測システムのプロトタイプを作成する	・5km メッシュで全国を対象とする全天日射量の予測モデルについて検証を行い、モデルパラメータの改善を実施する。開発成果を基に、実用化に向けた広域予測システムのプロトタイプを作成する。	
		(ⅴ)分散・広域発電量応用評価技術の研究開発	UT	・発電量予測技術法の評価、PV システム発電量のモニタリング手法の仕様策定	・発電量予測技術法の評価、PV システム発電量のモニタリング手法の仕様策定	
3	H22～H26	Ⅱ）信頼性評価技術と長寿命化技術の開発 ①モジュール・機器耐久性評価技術 a.高信頼性モジュールの認証試験技術	PVTEC（JET）	信頼性評価技術として、太陽電池モジュールや太陽光発電システムの屋外曝露試験データを取得・分析評価し、劣化要因を抽出する。	・暴露試験，システム調査，文献調査の継続，紫外線強度試験，温度サイクル試験を繰り返し，紫外線、温度サイクルによる劣化要因の不変性を確認する。導電部の腐食現象の発生要因となった海塩粒子に対する検討として塩水噴霧試験，薄膜 Si 系モジュールの出力低下の要因となった高日射・低気温に対する検討として明暗冷サイクル試験を実施し、前段に示す以外の劣化要因を推定する。	
		b.新規信頼性試験方法の開発 （ⅰ)新加速試験技術の研究開発	AIST PVTEC	信頼性評価技術として、太陽電池モジュールの屋内寿命評価試験方法を開発し、規格化を推進する。	・フルサイズ（1.0m×1.1m 程度）モジュールで、サイクリック試験の結果、スケールアップに伴う技術要件（電源、発振防止回路、制御回路など電子・電気回路的要件）が抽出・解決され、サイクリック加速試験を	

					実施し、EVA 変色、気泡、電極周辺のこげなどが再現できるかを確認する。新規加速試験方法については、中間目標での結果を踏まえて、例示した方式を含めて１種以上について、ミニモジュール（３セル～４セル）で、加速試験を実施し、実用可能性を判断する。	
		（ⅱ）モジュール内水蒸気浸入経路調査方法の研究開発	AIST PVTEC	太陽電池モジュールの劣化要因であるモジュール内への水蒸気の浸入経路を、無機系ならびに有機系太陽電池において明確化する。	・透過率に換算して 10-5 g/m2day までの水蒸気の浸入を検出可能なモジュール内水蒸気浸入経路調査方法を確立し、水蒸気の浸入に対して脆弱な色素増感太陽電池ならびに有機薄膜太陽電池に当該調査方法を適用する。	
		②システム点検技術 a.オンサイト発電性能点検技術	AIST	ＰＶシステムの発電データ収集および分析をおこない、オンサイト点検におけるＩＶカーブ計測を利用した発電性能低下を検出する。	・オンサイト点検において気象センサを利用しないで発電性能 10%低下を検出可能な手法の開発を行う。	
		b.発電データ分析技術	PVTEC （JET）	住宅用 PV システムの計測を継続し、不具合 DB や要因分析を実施すると共に出力低下傾向があるサイトの現地調査の実施、計測項目と検出可能な不具合等項目との関係について明確にする。	・発電データ分析手法において測定可能な計測項目と検出可能な不具合項目との関係について明確にする。	
		③リユースモジュール健全性試験技術	PVTEC （JET）	リユースモジュールに要求される性能のうち絶縁性能を決定したガイドライン案の策定に必要なデータを提供する。	・リユースモジュールに要求される性能の最も基本的な要求である絶縁性能，ある程度の誤差を許容した出力表示に必要な安価で容易な測定方法の提案を含めたガイドライン案の策定に必要なデータを提供する。	
4	H22 ～ H24	Ⅲ）次世代太陽光発電システムに向けた基盤技術開発の調査	PVTEC	PV モジュールの主要な劣化要因を分類解析。PV システムの高信頼・長寿命を目指し、有るべき姿を策定するための基本情報収集を行う。	・PV モジュールの信頼性及び耐久性データの調査・解析を行い、PV モジュールの主要な劣化要因を特定する。また 2050 年の PV システムのあるべき姿を策定するための基本情報を収集する。	
②ドレスト光子利用太陽電池技術の研究開発						
5	H24 ～ H26	1. ドレスト光子フロントフィルムの研究開発 1.a ドレスト光子フロントフィルム技術開発	東京大学	1.ドレスト光子利用光子エネルギー下方変換により紫外線を可視光に変換して、結晶シリコン太陽電池、有機薄膜太陽電池等の変換効率をプラス 1.0%以上向上させる 200 mm 角以上のドレスト光子フロントフィルムの技術開発に取り組む。	1.結晶シリコン太陽電池、有機薄膜太陽電池等の変換効率（η）をプラス 1.0%以上向上させる 200 mm 角以上のドレスト光子フロントフィルムを試作（効率 18%以上の結晶シリコン太陽電池を用いて検証）	

		3. ドレスト光子利用太陽電池評価技術の研究開発 4. ドレスト光子による結晶シリコン太陽電池の高効率化に関する調査研究		3. ドレスト光子フロントフィルムとドレスト光子部材利用太陽電池に対応したドレスト光子利用光子エネルギー下方／上方変換を評価する効率評価技術や、耐候性、耐紫外線特性を評価する信頼性評価技術の開発に取り組む。 4. ドレスト光子を介した自己組織的な形状制御を結晶シリコン太陽電池に応用し、赤外光の利用効率向上による高効率化に関する調査研究に取り組む。	3. ドレスト光子フロントフィルム実装太陽電池の耐候性、耐紫外線特性についての信頼性評価技術を確立、20 年以上の耐候性、耐紫外線特性を確保 4. シリコン太陽電池の各製造工程途中の素子に対してアニーリング処理を実施し、性能試験を行うことで、シリコン太陽電池高効率化のための指針を明確化	
6	H24 ～ H26	1. ドレスト光子フロントフィルムの研究開発 1.b 結晶シリコン太陽電池メーカー等での成果の適用検討の促進活動	ナノフォトニクス工学推進機構	1. 結晶シリコン太陽電池メーカー等でのドレスト光子フロントフィルムの適用検討を促進する活動に取り組む。	1. 事業化に対応した結晶シリコン太陽電池等へのフィルム実装方法の課題解決手段を明確化	
7	H24 ～ H26	1. ドレスト光子フロントフィルムの研究開発 1.c 有機薄膜太陽電池用ドレスト光子フロントフィルムの実装技術の研究開発 2. 有機薄膜太陽電池の赤外光変換効率向上技術の研究開発	三菱化学	1. 有機薄膜太陽電池へのドレスト光子フロントフィルムの実装技術の技術開発に取り組む。 2. ドレスト光子利用光子エネルギー上方変換により、有機薄膜太陽電池の変換効率をプラス 2%以上向上させる 100 ㎜ 角以上の赤外光変換効率向上技術の技術開発に取り組む。	1. 事業化に対応した有機薄膜太陽電池へのフィルム実装方法の課題解決手段を明確化 2. 変換効率を 2%以上向上させる、事業化に対応した 100 ㎜ 角以上の有機薄膜太陽電池の電極を試作	

③次世代長寿命太陽電池モジュールの研究開発						
8	H24 ～ H25	次世代長寿命太陽電池モジュールの研究開発	日清紡ホールディングス	①太陽電池発電所を想定した、高電圧下で、発電劣化し難い太陽電池モジュールを開発するためのモジュールの新設計と新材料を開発する。 ②併せて、「PID 発生メカニズム」及び「発電劣化メカニズム」の　解明を検討し、実フィールド 20 年間に対応する、予見精度の高い「ラボ加速試験条件」を提案する。	・温水浸漬試験(90℃、168h)処理後、オレフィン系ゴムと COC 樹脂シートとの接着強度の接着強度保持率が 80%以上。 ・適切な溶融粘度と厚みを保持が可能なレオロジー特性を発現する加工条件を見出し、シート化する。 ・収縮率試験(130℃、24h)で、溶融せず、形状変化がない耐 PID(85℃85％RH、-1000V、1000h、劣化 5%未満)の達成 ・20 年以上の実環境に対する試験条件を検討する。	
9	H24 ～ H25		ポリプラスチックス	①COC 樹脂の耐光性や耐湿熱性の改善 ②COC 樹脂の靭性と架橋プレス性の改善	・厚さ 2mm のプレートを用い、サンシャインウェザーメーター(Xenon)500 時間照射して、ΔYI が 4 以下。 ・厚さ 2mm のプレートを用い、85℃、85%RH と-40℃を繰り返す結露凍結試験を 10 回行った後の haze 増加が 2％以下。 ・厚さ 100μm のフィルムをモジュール内に設置して、85℃、80%RH と-40℃を繰り返す結露凍結試験を 200 回行い、クラック無し。	
④単独案件						
10	H22 ～ H26	広域対象の PV システム汎用リサイクル処理手法に関する研究開発	北九州産業学術推進機構	PV システムのリサイクル処理手法の確立 ①低コスト汎用リサイクル処理技術の基本技術を開発 ②LCA 評価 ③広域対象の PV システム汎用リサイクル処理に必要な社会システムの提案	①年間 200MW 処理時のコスト５円／W」を達成できる低コスト・汎用リサイクル処理技術の開発 ②LCA 評価の見直しを行い、新型太陽電池の廃棄を含めた LCA 評価を完了する ③広域対象の PV システム汎用リサイクル処理に必要な社会システム整備に関する必須事項を専門委員会で議論できていること	
11	H22 ～ H26	超ハイガスバリア太陽電池部材の研究開発	三菱樹脂	超ハイガスバリア太陽電池部材の研究開発 ①シリカ蒸着複合膜による超ハイガスバリアフィルムの加工技術開発 ②高耐候性超ハイガスバリアシート、高耐熱性超ハイガス	①・幅 1m,長さ 1000m 以上、WVTR10^{-6}g/(m^2・d)以下 ・85℃85%,3000hr 後の WVTR10^{-5}g/(m^2・d)以下 ②・幅 1m x 1000m 以上 XeWM3000hr 後の WVTR10^{-}	

				バリアフィルムの加工技術開発 ③部材・生産コストの低減	^{5}g/(m^{2}・d)以下 ・200℃の線熱膨張係数20ppm 以下,熱収縮率 0.1%以下 ③・WVTR10^{-6}g/(m^{2}・d)超ハイガスバリアフィルムのコストが 2012 年度 10^{-4}g/(m^{2}・d)ハイガスバリア比 80%以下	
12	H22 ～ H26	ロールツーロールプロセスを可能とする封止材一体型保護シートの研究開発	積水化学	ロールツーロールプロセスに対応可能な封止材一体型保護シートの開発 ①封止材の開発 ②保護シートの開発 ③封止材／保護層の一体化 ④ラミネート封止技術の検討 ⑤リジッド太陽電池用の封止材の開発 ⑥コスト低減に資する検討	化合物太陽電池・有機系太陽電池用一体型シート品質 ・バリア性：10^{-5}g/(m^{2}・d) ・厚み精度：±5%以下 ・接着性：5N/10㎜以上 ・一体化：バリア性保護材と封止材との一体化 ・透明性：全光線透過率＞90%以上 ・信頼性：高温高湿試験 3000hr 合格 リジッド太陽電池用封止材品質 ・ラミネート適正：現行モジュールにて合格 ・長期信頼性：高温高湿試験 3000hr 合格 ・耐熱性：ＥＶＡ封止材と類似の熱変形挙動 コスト低減に資する検討 ・材料コストの低減：2 割削減 ・製造コストの低減：ロール封止速度 6m/分 ・変換効率アップ：耐久試験後の変換効率を従来品より 5%分向上	
13	H22 ～ H26	太陽光発電システムの据付工程簡便化に関する研究開発	デュポン	据付工程簡便化に関する研究開発 ①機能複合化した据付部品のデザイン、材料選択および耐久性の検証 ②太陽電池モジュールの機械的強度／環境耐久性および保持方法の検証	①・複合化による部品点数削減率 50%以上、据付作業に必要な人員、時間の 20%削減を達成・実証する。 ・機能複合化部品、および、モジュール構成を組み合わせた太陽光発電システムとして 20 年相当以上の耐久性（IEC61215,IEC61730 準拠）を達成する。 ②・簡便施工太陽電池システムで使用される樹脂部材の耐久性および樹脂部材を用いた太陽光発電システムの耐久性を評価する手法を確立し、その手法をもとに 20 年相当以上の耐久性を実証する。	

2.2 研究開発の実施体制

本研究開発を実施するための基本計画・実施方針については、平成 22 年 2 月に外部有識者による太陽光発電技術委員会においてその方向性を審議し、平成 22 年 4 月に策定された。

本研究開発は、NEDO が選定する企業、大学、民間研究機関、あるいは独立行政法人等（以下、「委託先」という。）が、NEDO と委託研究契約を締結し実施している。

(1) 平成 22 年度：「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」に関する公募

プロジェクトの企画立案に際し、太陽光発電システムのシリコン原料からシステムインテグレート等に至るまで、１００社超の事業者からヒアリングを実施。ＰＶ２０３０＋において、２０２０年１４円／ｋＷｈを実現するための変換効率２０％、製造コスト７５円／Ｗを、中国台湾との競争に鑑みて、その実現時期を更に３年前倒し、２０１４年に達成する基本計画を策定した。

その結果、太陽光発電システムの川上から川下までバリューチェーン全体で競争力を発掘・強化すること、産学連携により基盤的知見増進をシステム開発につなげることの重要性を把握。

公募の結果、４１件の提案の中から、セル・モジュール自体の高効率化・低コスト化のみならず、原料シリコンの高品位・低コスト製造、モジュールの生産性向上、設置・施工コスト低減等に資する取り組み２１件を採択した。

・公募期間：平成 22 年 4 月 2 日～平成 22 年 5 月 17 日
・審査項目・基準
  1) 開発の最終目標は、本事業の目標値に対応して妥当かつ明確であるか。
  2) 開発計画は、中間目標・最終目標まで実現可能なスケジュールであるか。また提案の要件を満たす計画となっているか。
  3) 開発内容は、技術的に優れたものであるか。また新規性があるか。
  4) 開発内容は、実現したときのインパクトが大きいか。
  5) 実施体制は、効果的な開発が期待できるか。
・審査委員会委員（敬称略）：
  山本　暠勇（福井大学教授）、石原　好之（同志社大学教授）、勝本信吾（東京大学教授）、工藤　一浩（千葉大学教授）、瀬川　浩司（東京大学教授）
・応募件数：41 件
・採択件数：21 件

(2) 平成 24 年度：「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」に関する追加公募

追加公募対象は、基本計画に掲げる目標の実現に資する研究開発であって、上記の研究開発テーマ以外の新たな着想、方式、材料等を用いた太陽光発電システムの低コスト化、変換効率向上、長寿命化等の研究開発であり、２０２０年までに実用化・事業化を見込む即効的な研究開発とした。追加公募では、特に下記の研究開発に重点をおいた。

○ 太陽光発電システムの市場競争力を高めるため、新たな着想、方式、材料等を用いた太陽電池モジュールの低コスト化、高効率化、長寿命化に資する研究開発
1
○ 太陽光発電システムの周辺機器、施工・工法、共通部材等の低コスト化・長寿命化に資する研究開発（モジュール価格の低下により、太陽光発電システムの周辺機器、施工・工法、共通部材等のコストの割合が大きくなっており、この分野での低コスト化の取り組みが十分進んでいないため）

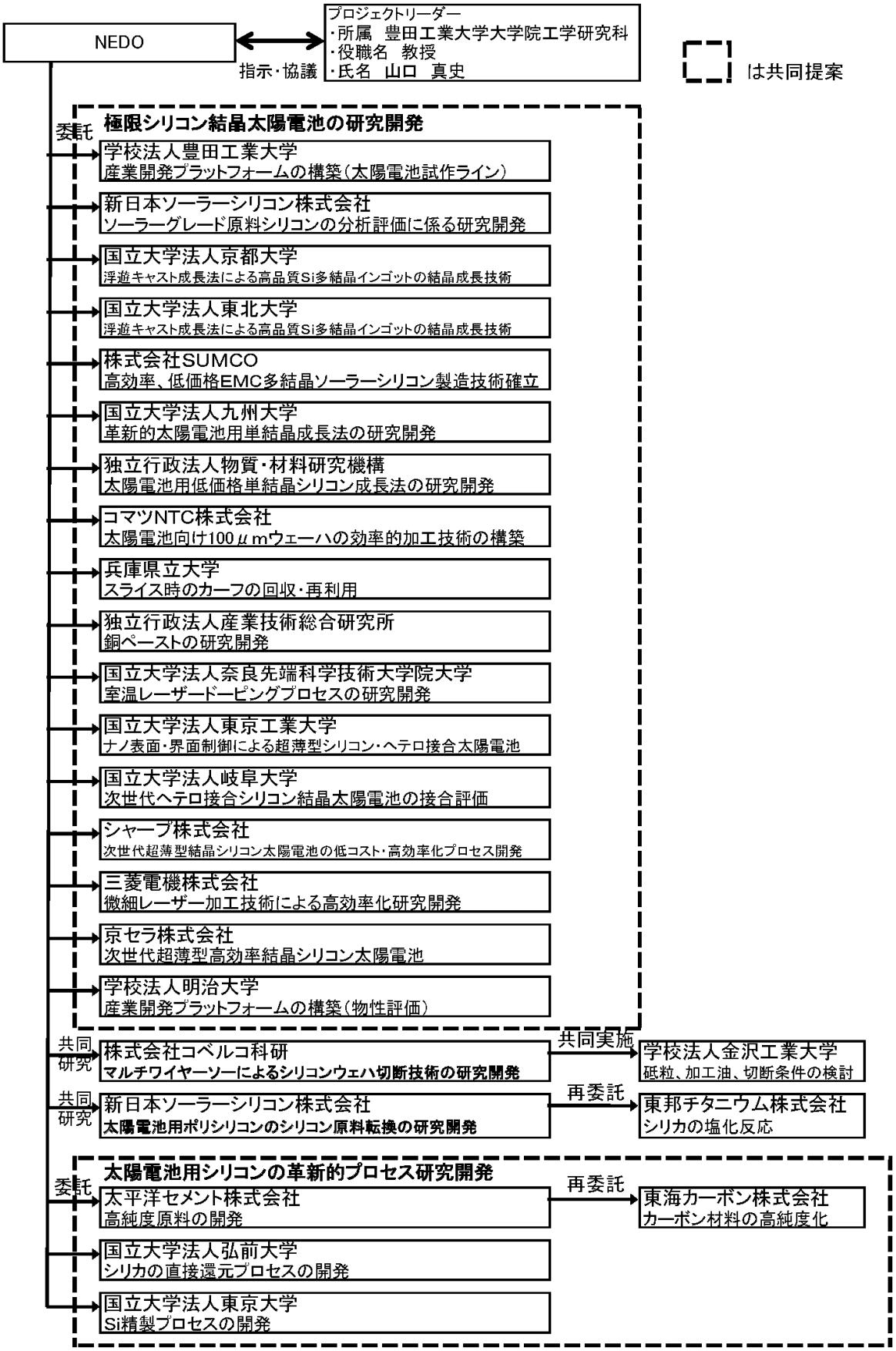
・公募期間：平成 24 年 4 月 20 日から 5 月 29 日
・審査項目・基準
  （実施中のテーマ領域の重複、開発の経済性、経営基盤なども考慮した上で）
  １）提案内容が基本計画の目的、目標に合致しているか。
  ２）提案された方法に新規性・独創性があり、技術の経済的優位性や競争力があるか。
  ３）共同提案の場合、各者の提案が相互補完的であるか。

４）提案内容・研究計画は実現可能か（技術的可能性、計画の妥当性等）
５）応募者は本研究開発を遂行するための高い能力を有するか。
６）応募者が当該研究開発を行うことにより国民生活や経済社会への波及効果は期待できるか
７）プロジェクト終了後の事業性が具体的な提案となっているか。

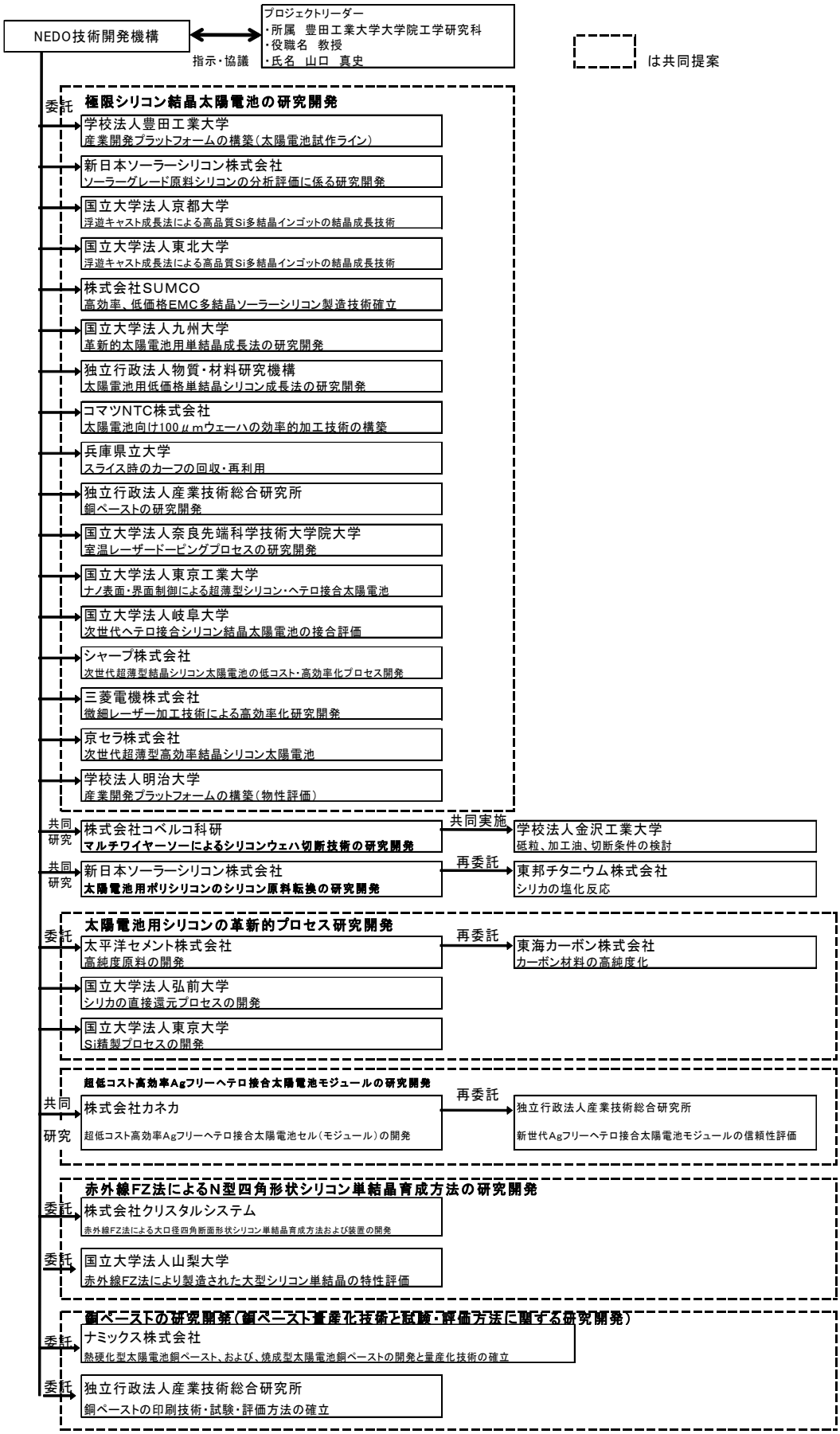
・審査委員会委員（敬称略）：
山本　暠勇（福井大学名誉教授）、工藤　一浩（千葉大学教授）、小野塚　恭彦（国際協力銀行　審議役）、渡辺　憲治（株式会社東芝　部長）
・応募件数：23 件

研究開発の実施体制を以下に示す。

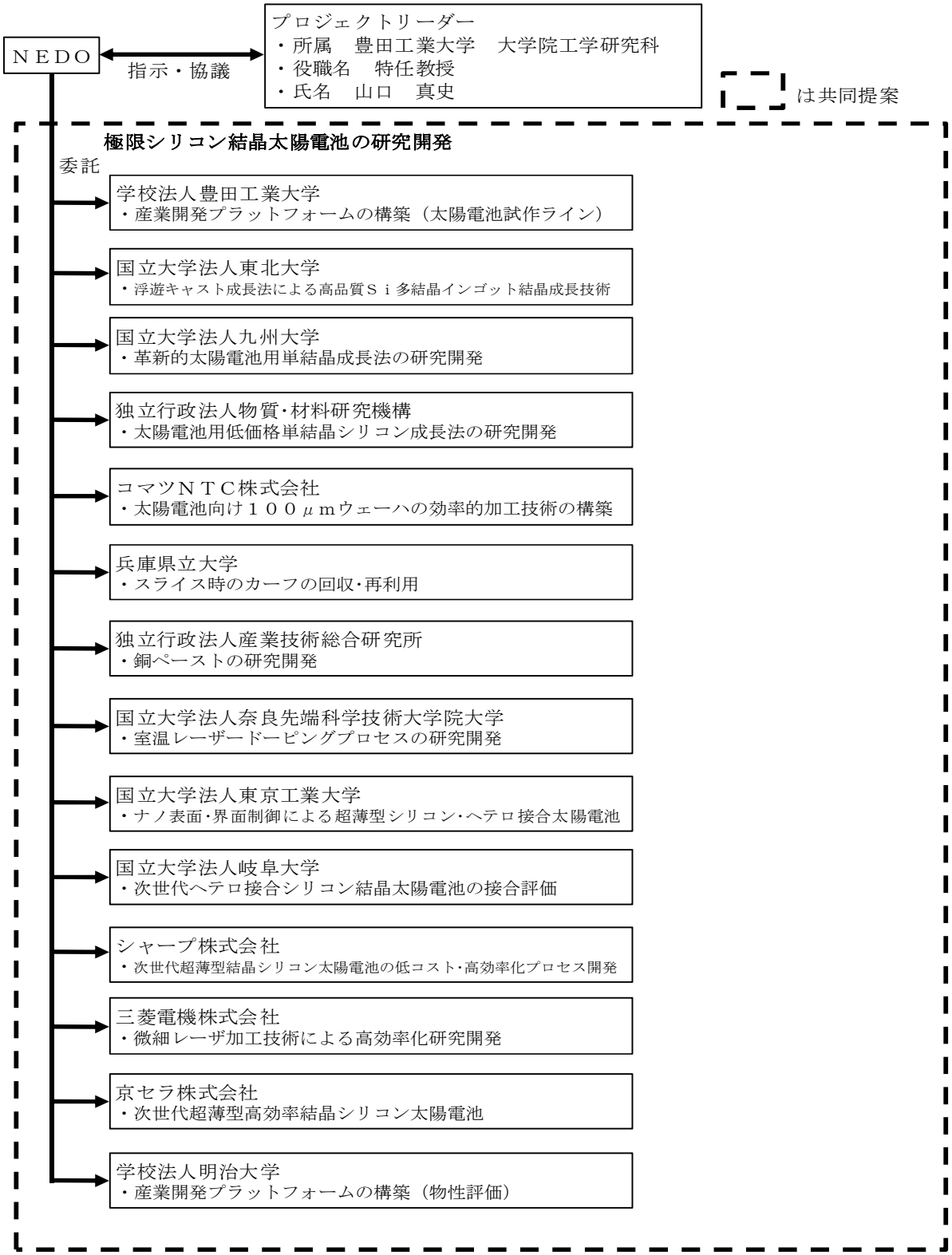
研究開発項目（イ）結晶シリコン太陽電池（平成 22 年度～平成 23 年度）



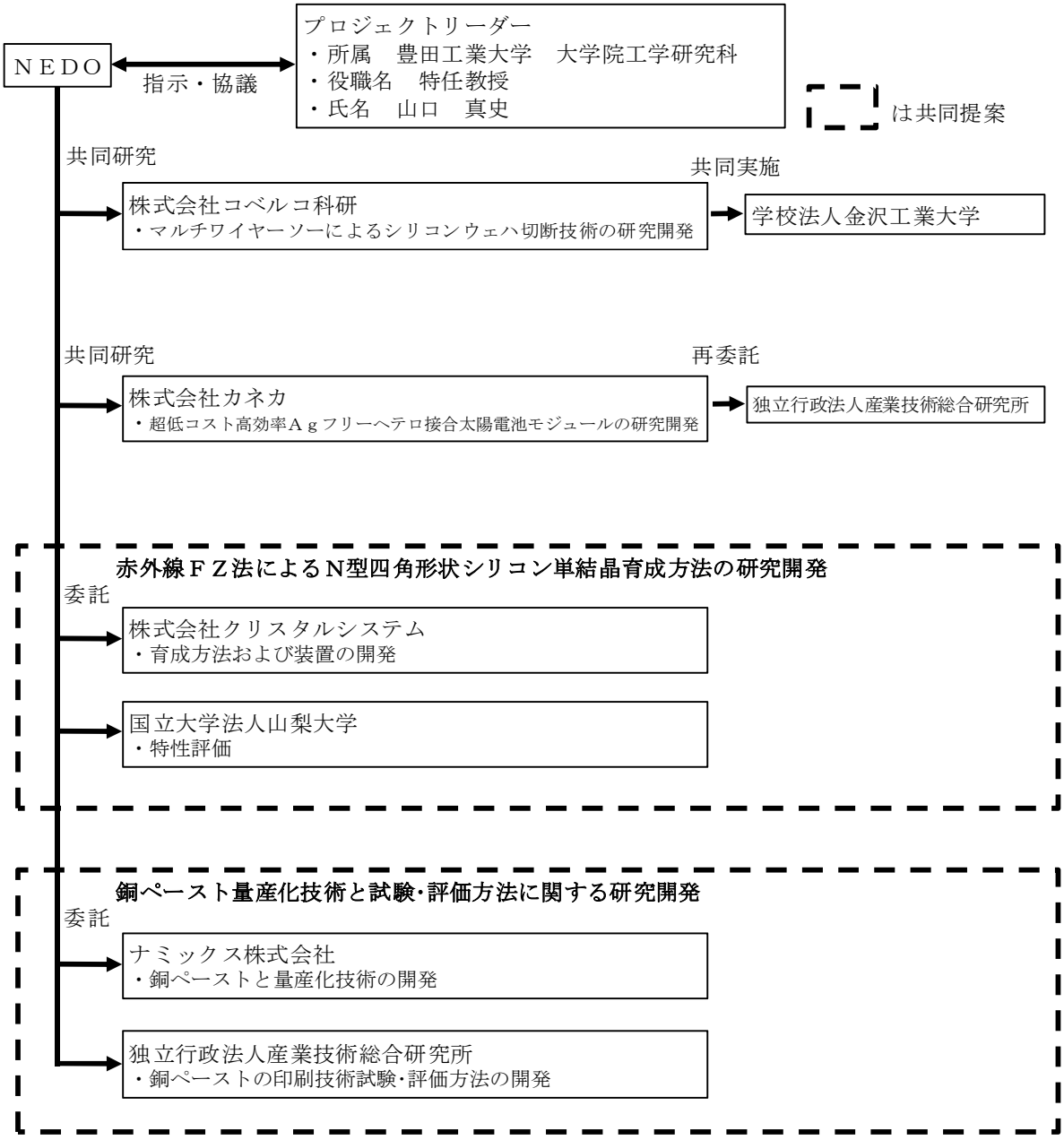
研究開発項目（イ）結晶シリコン太陽電池（平成 24 年度）



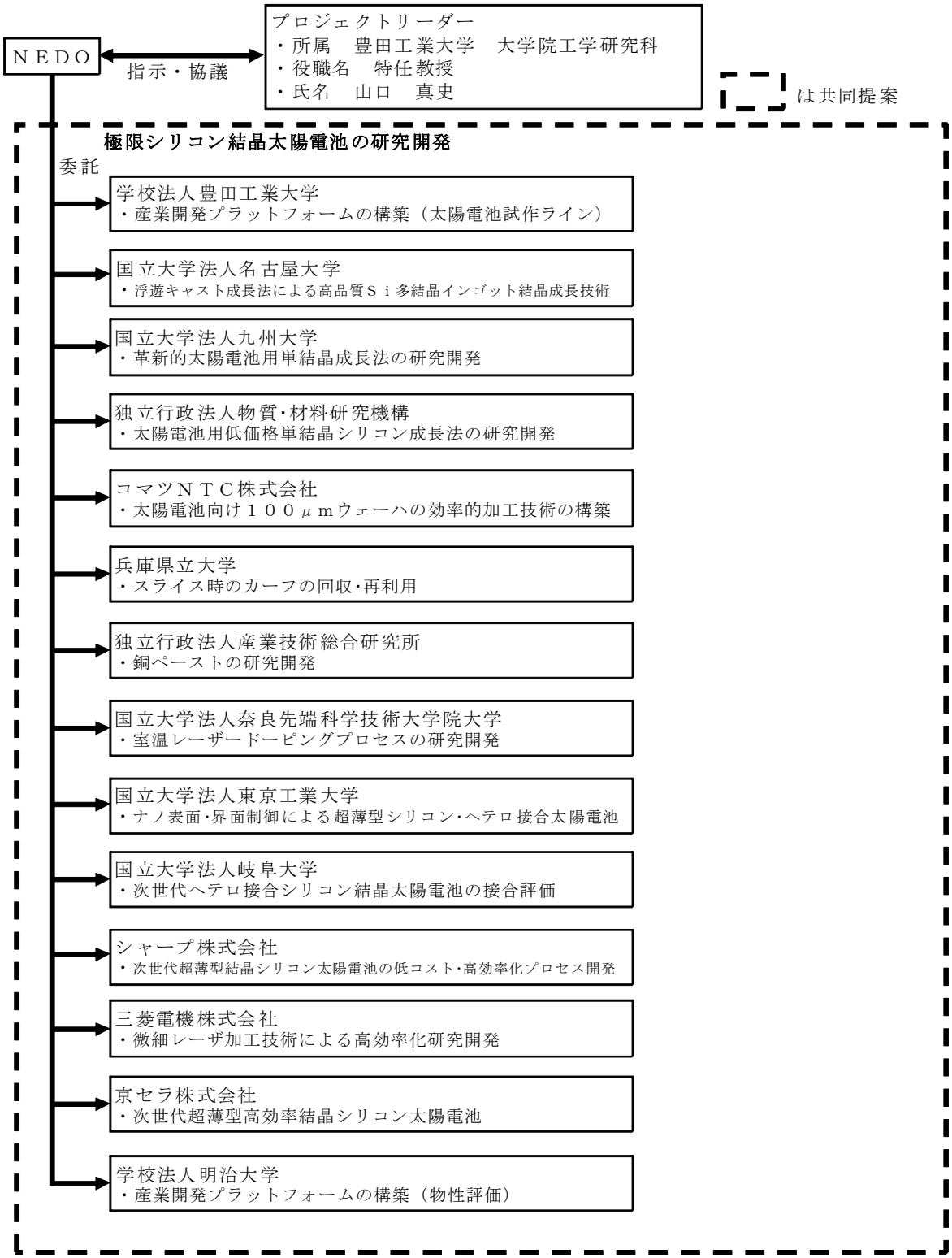
研究開発項目（イ）結晶シリコン太陽電池①（平成 25 年度）



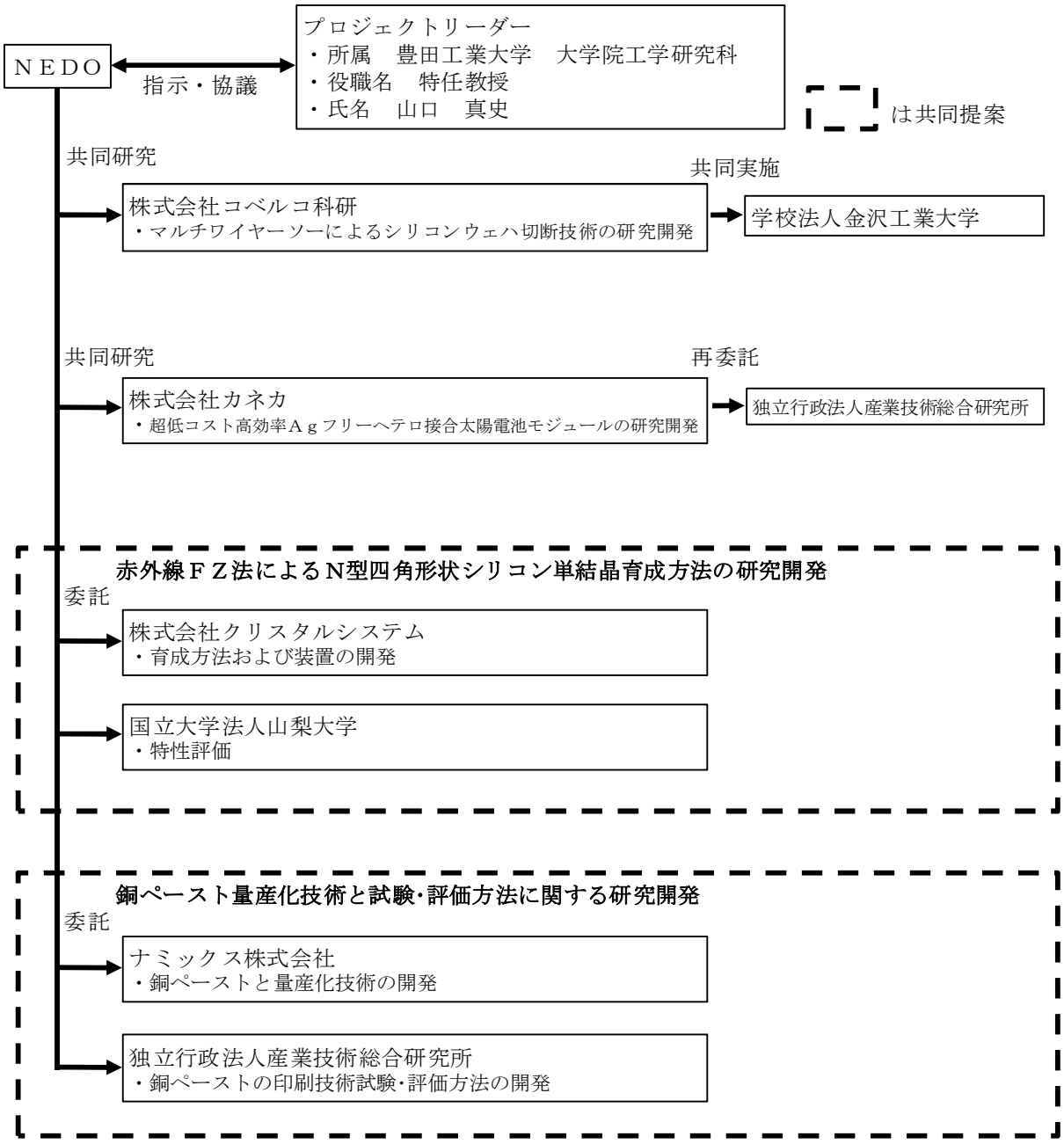
研究開発項目（イ）結晶シリコン太陽電池②（平成 25 年度）



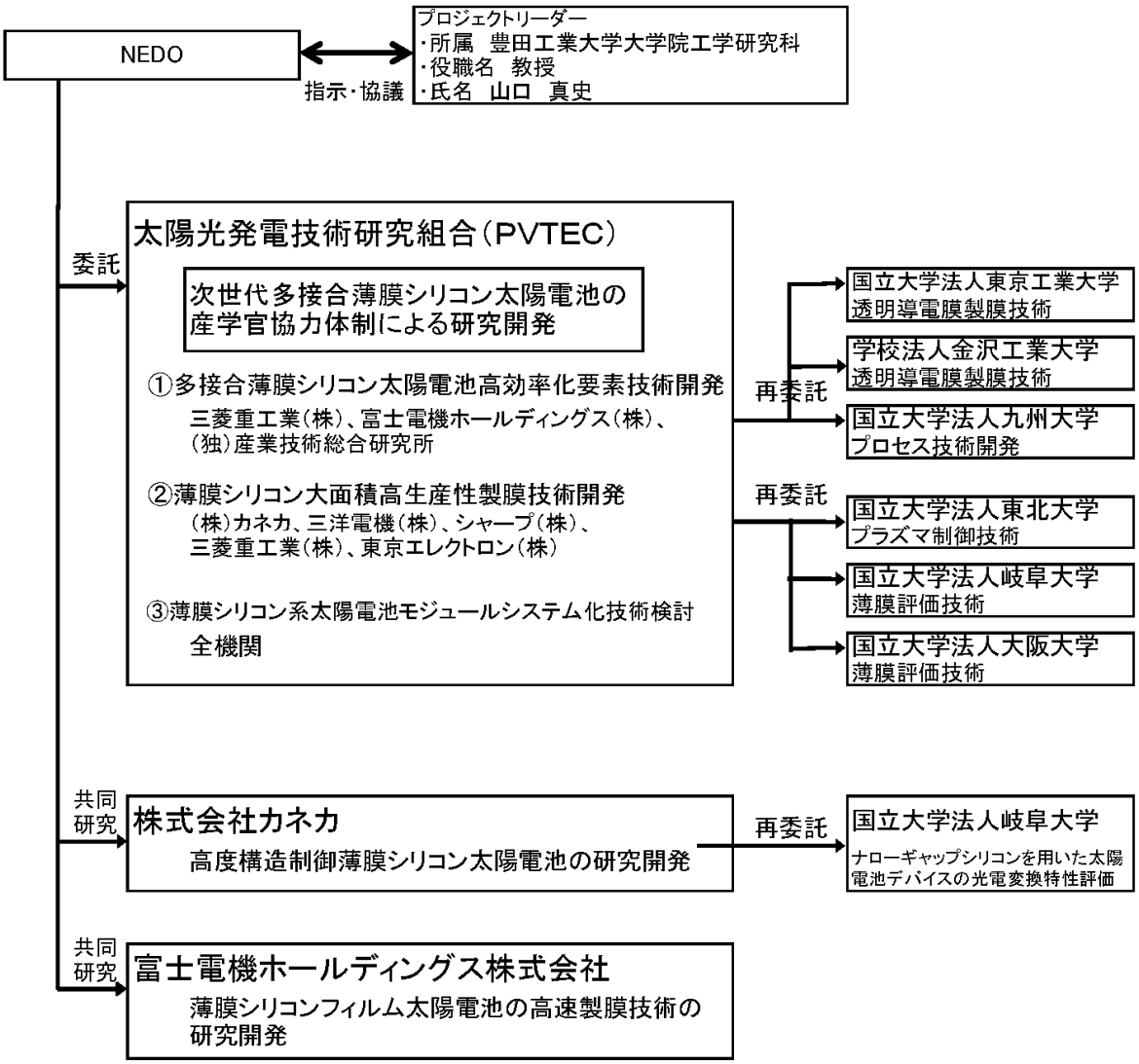
研究開発項目（イ）結晶シリコン太陽電池①（平成 26 年度）



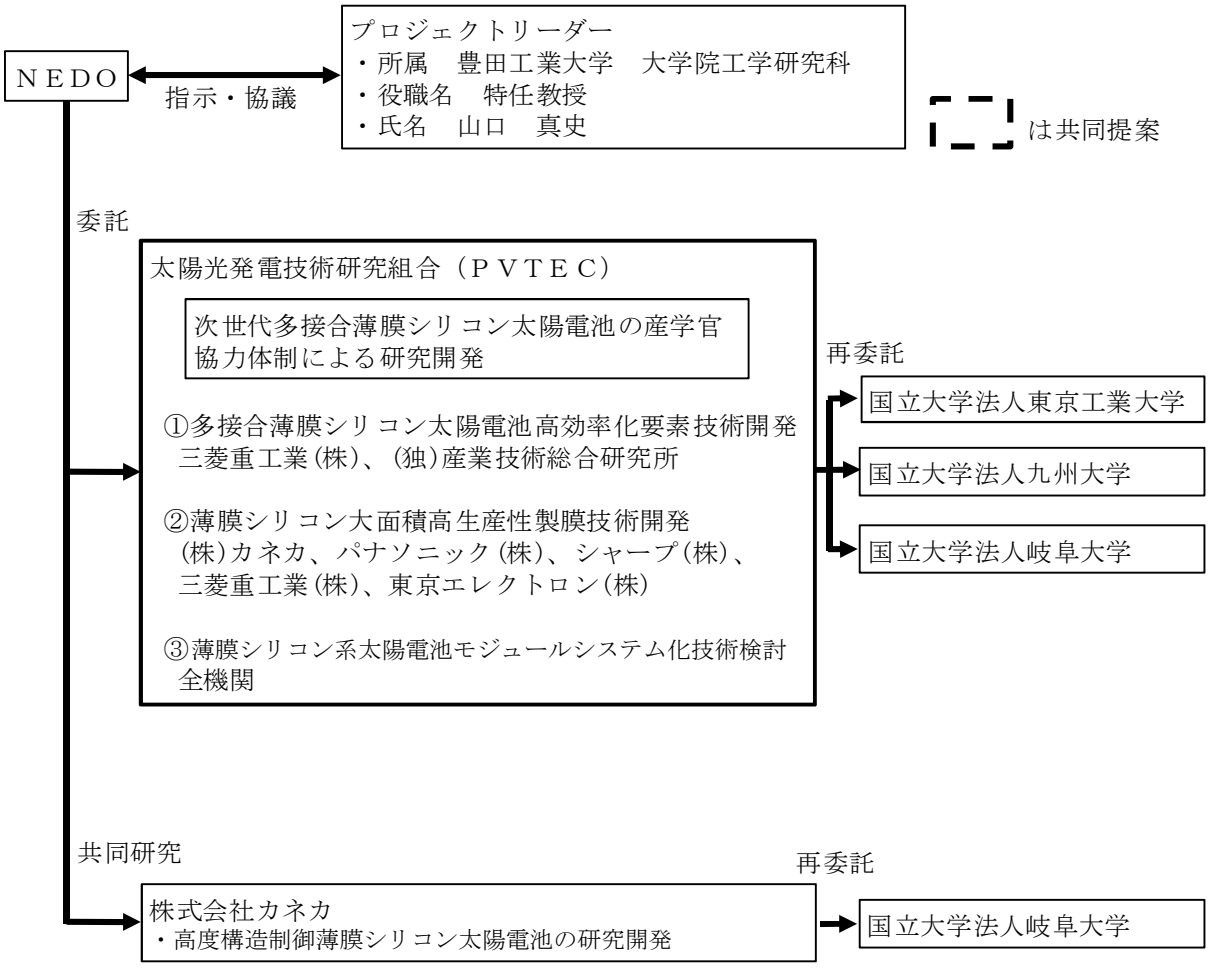
研究開発項目（イ）結晶シリコン太陽電池②（平成 26 年度）



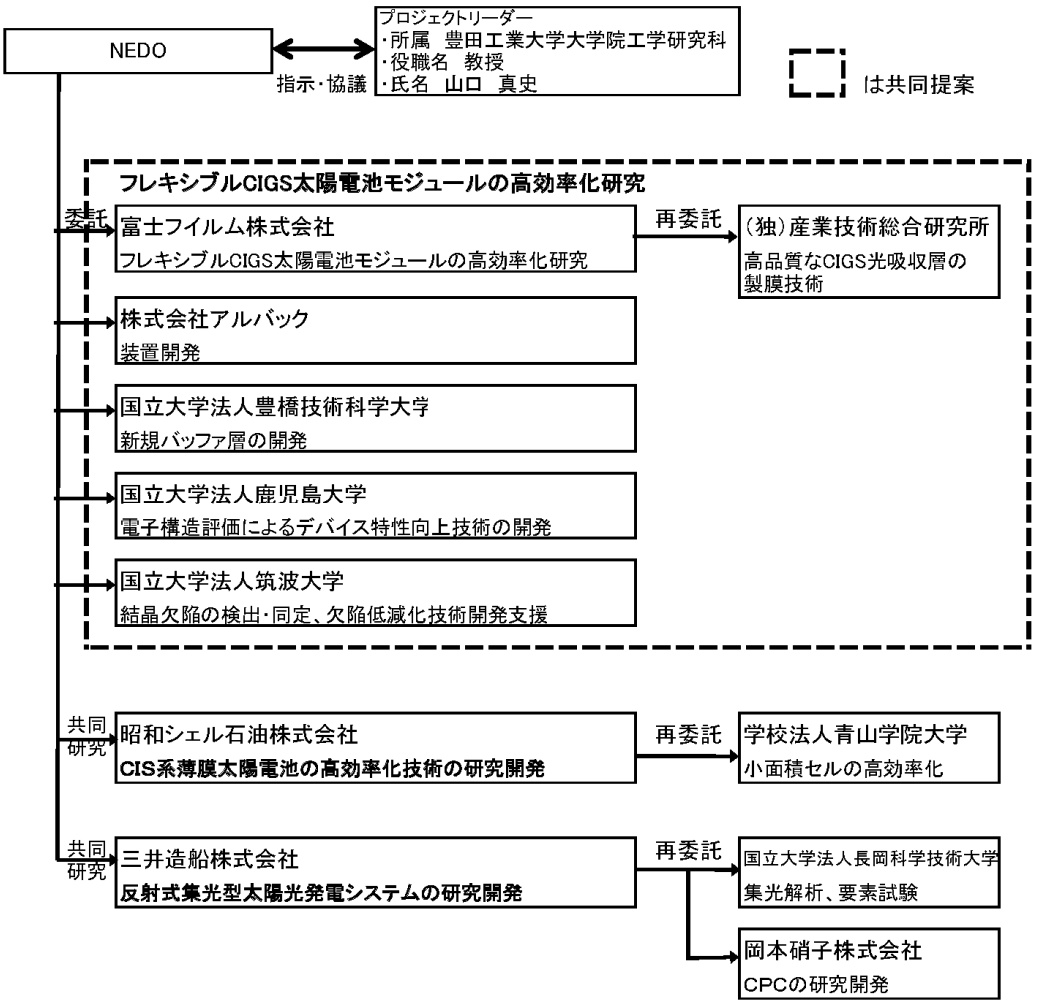
研究開発項目（ロ）薄膜シリコン太陽電池（平成 22 年度～平成 24 年度）



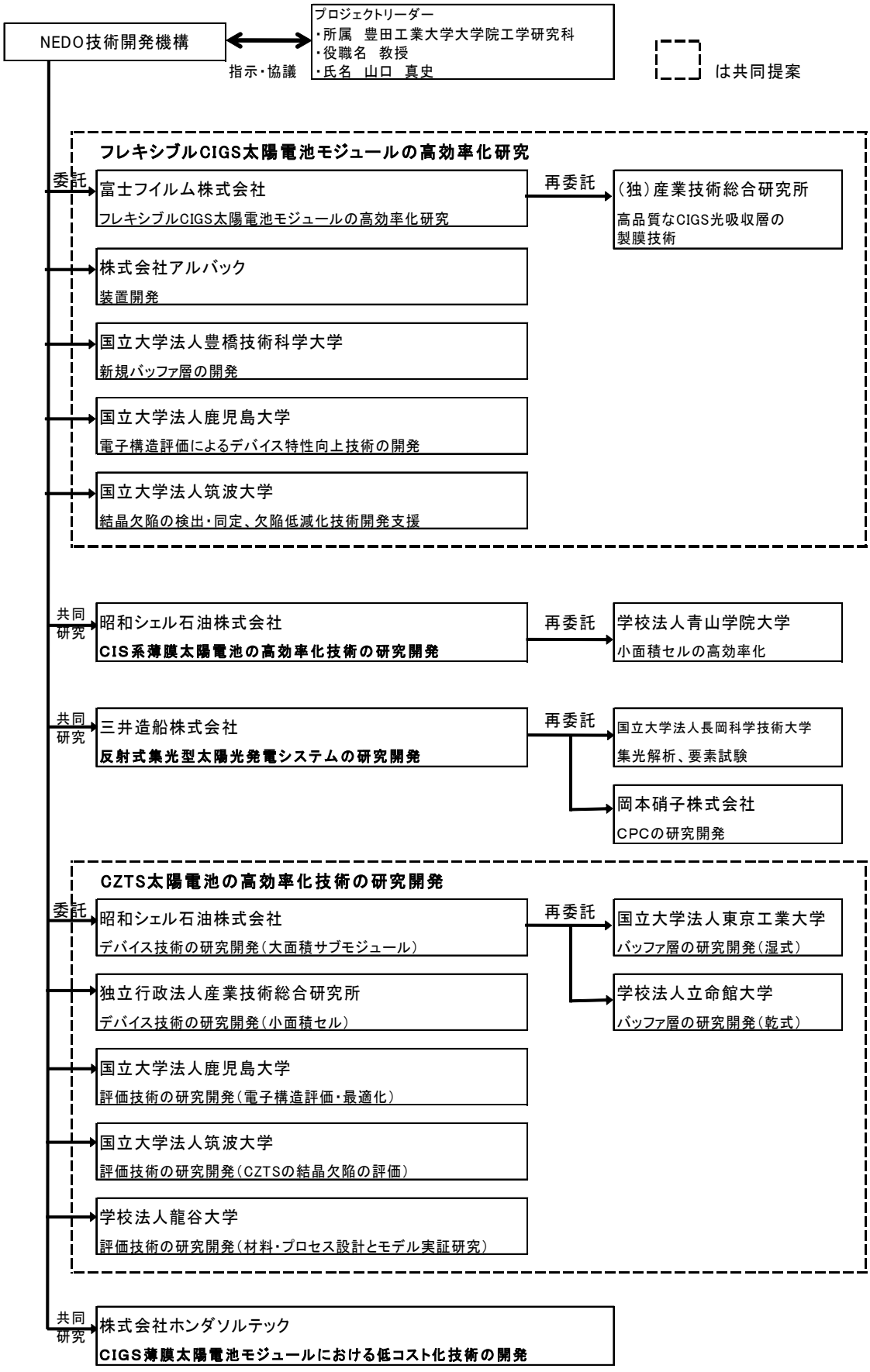
研究開発項目（ロ）薄膜シリコン太陽電池（平成 25 年度～平成 26 年度）



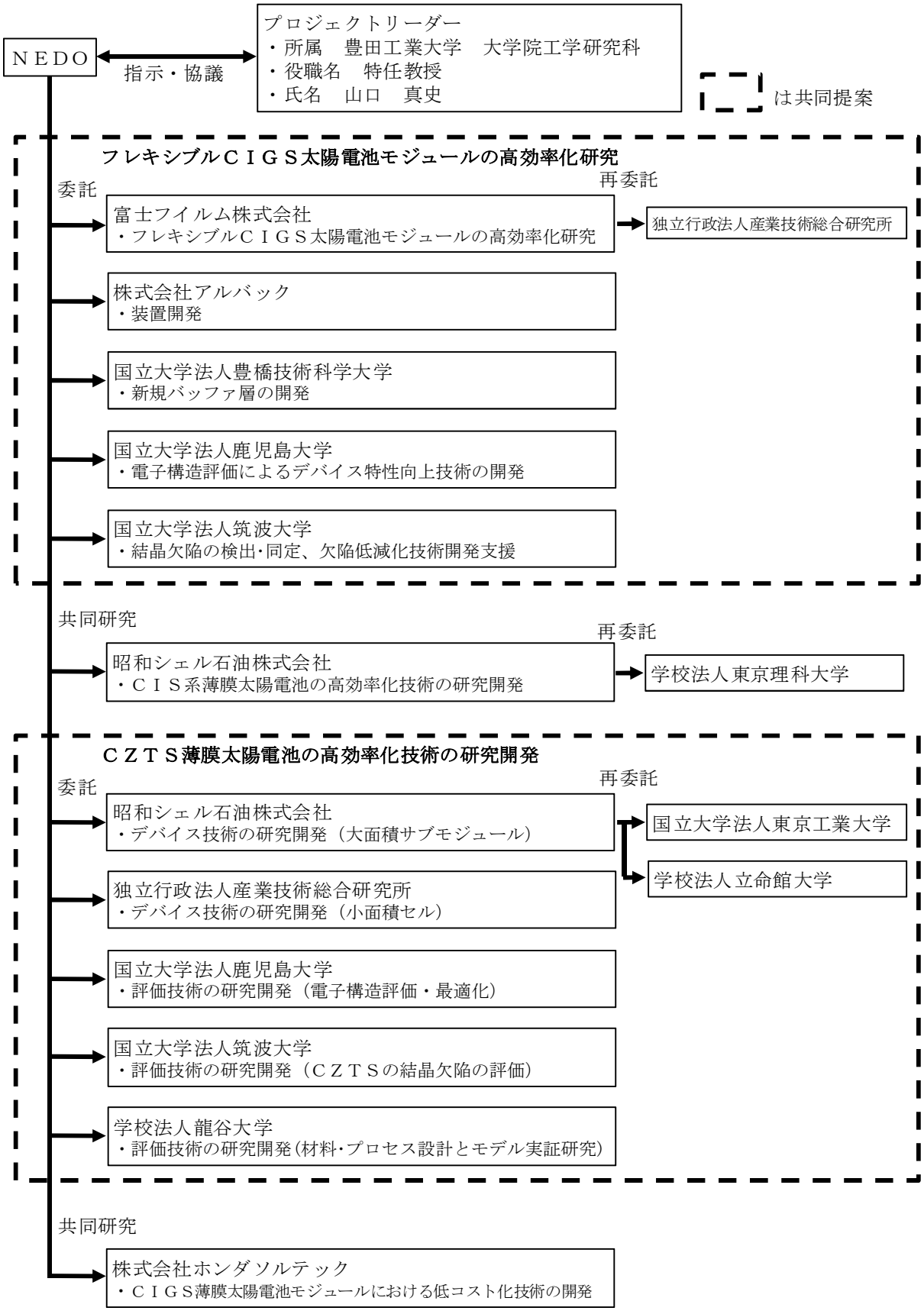
研究開発項目（ハ）ＣＩＳ・化合物系太陽電池（平成 22 年度～平成 23 年度）



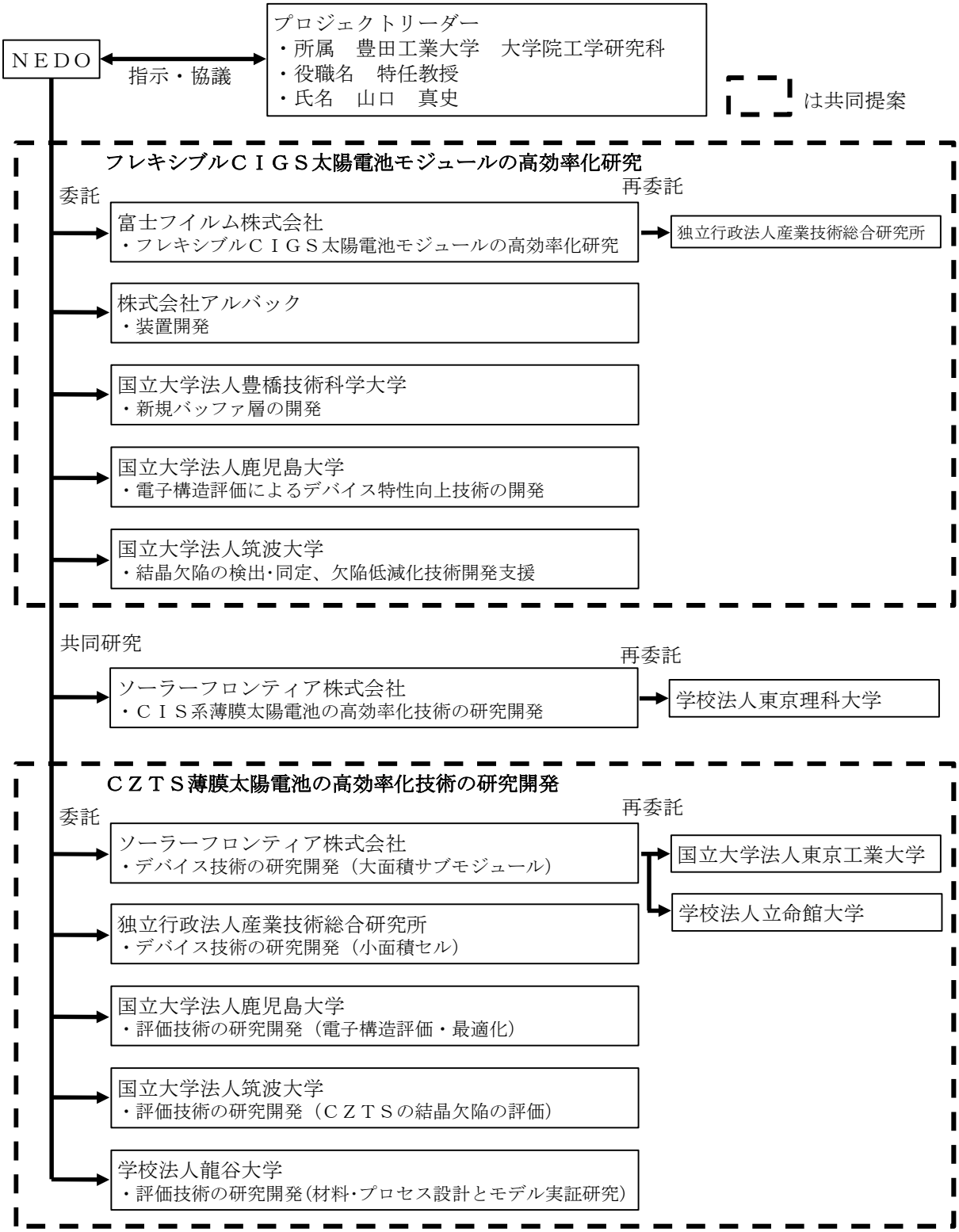
研究開発項目（ハ）ＣＩＳ・化合物系太陽電池（平成 24 年度）



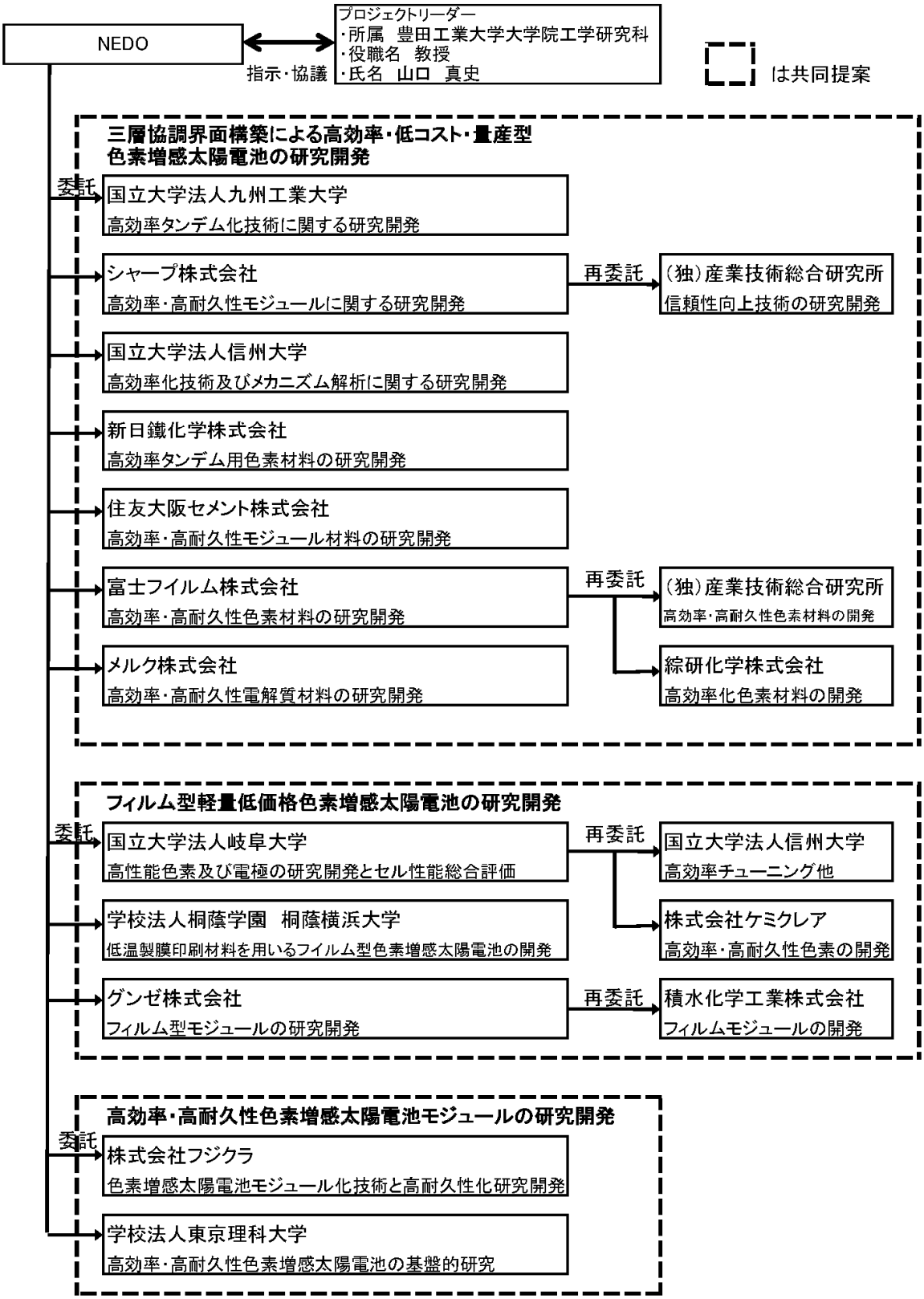
研究開発項目（ハ）ＣＩＳ・化合物系太陽電池（平成 25 年度）



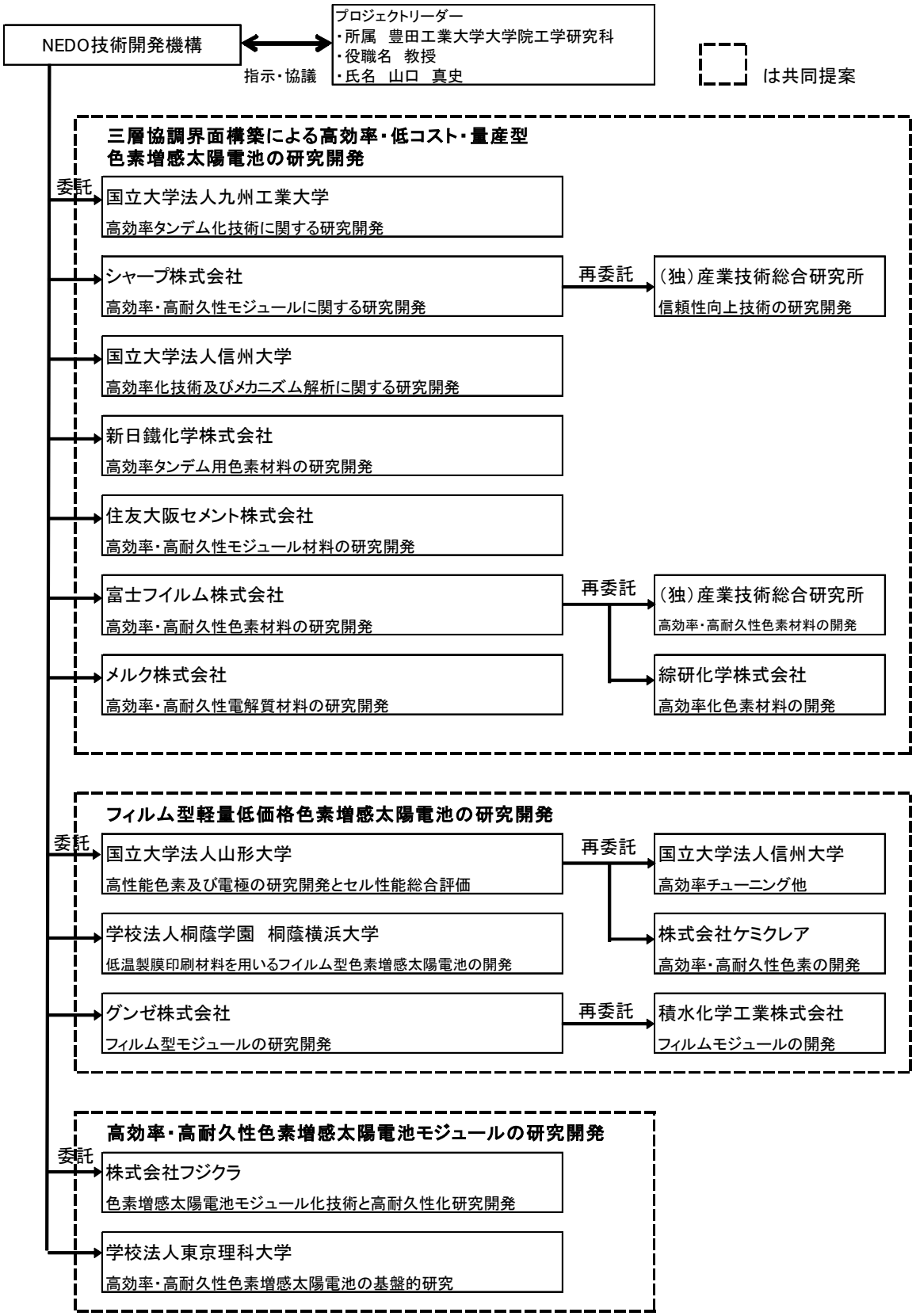
研究開発項目（ハ）ＣＩＳ・化合物系太陽電池（平成 26 年度）



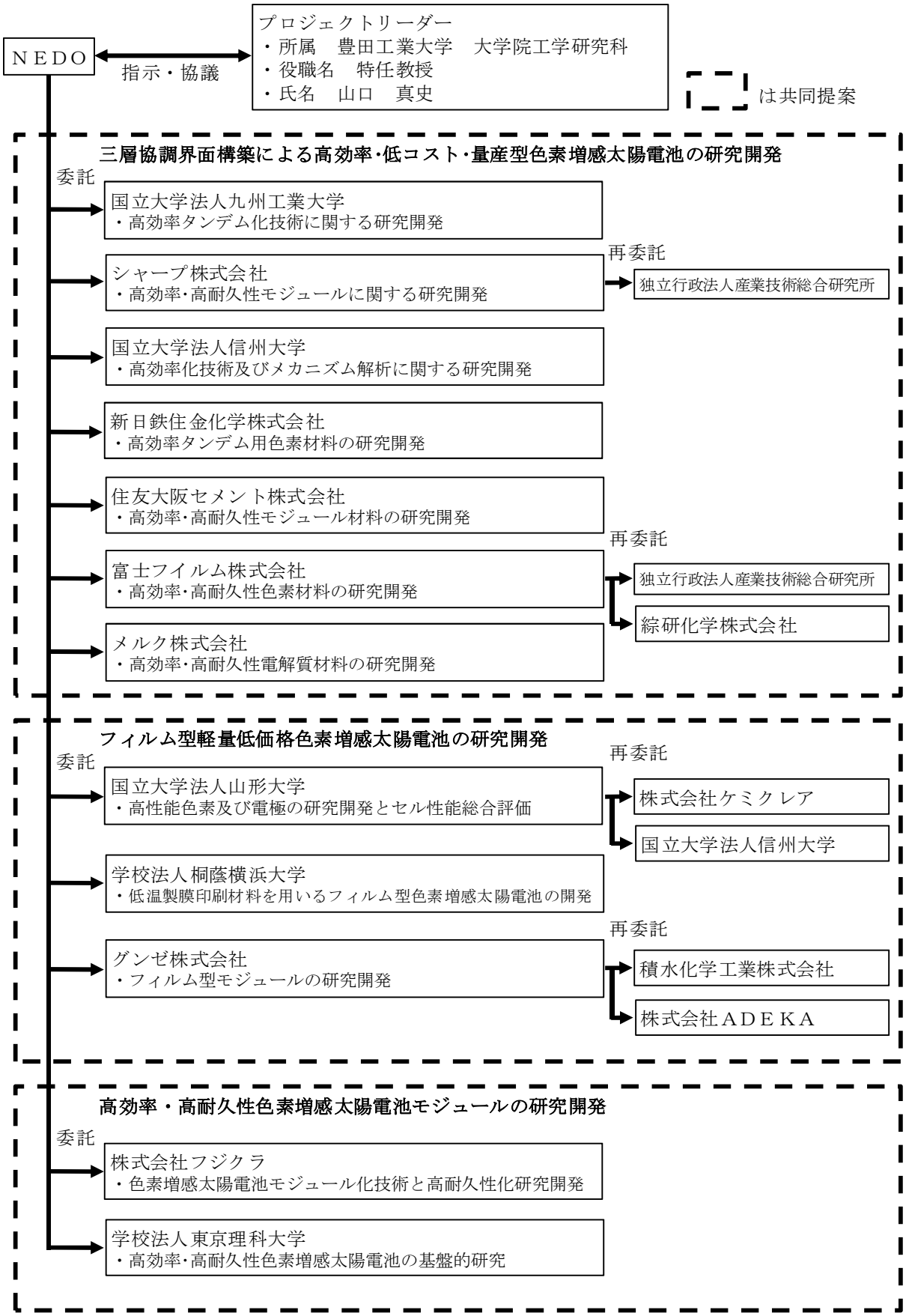
研究開発項目（ニ）色素増感太陽電池（平成 22 年度～平成 23 年度）



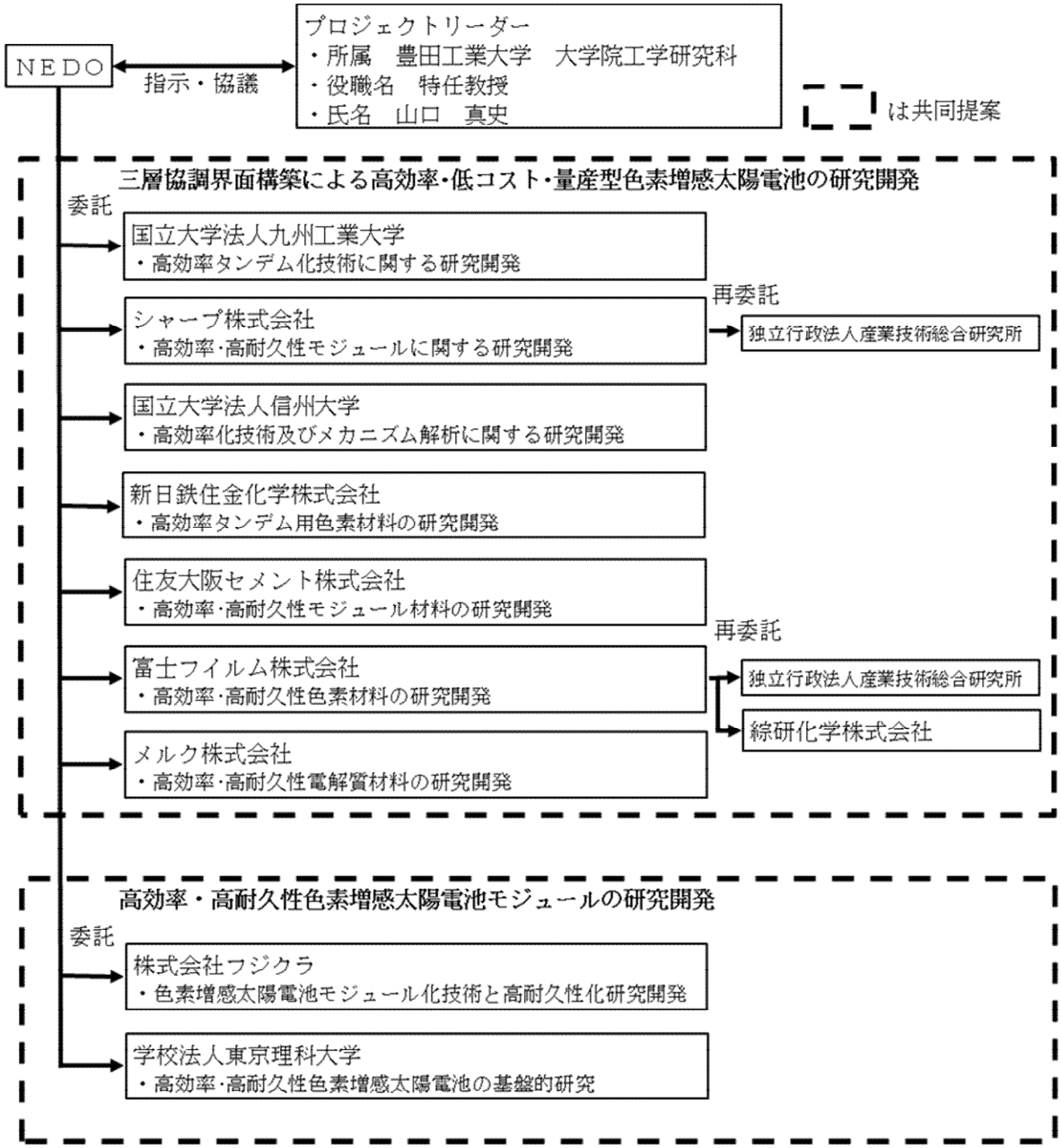
研究開発項目（ニ）色素増感太陽電池（平成 24 年度）



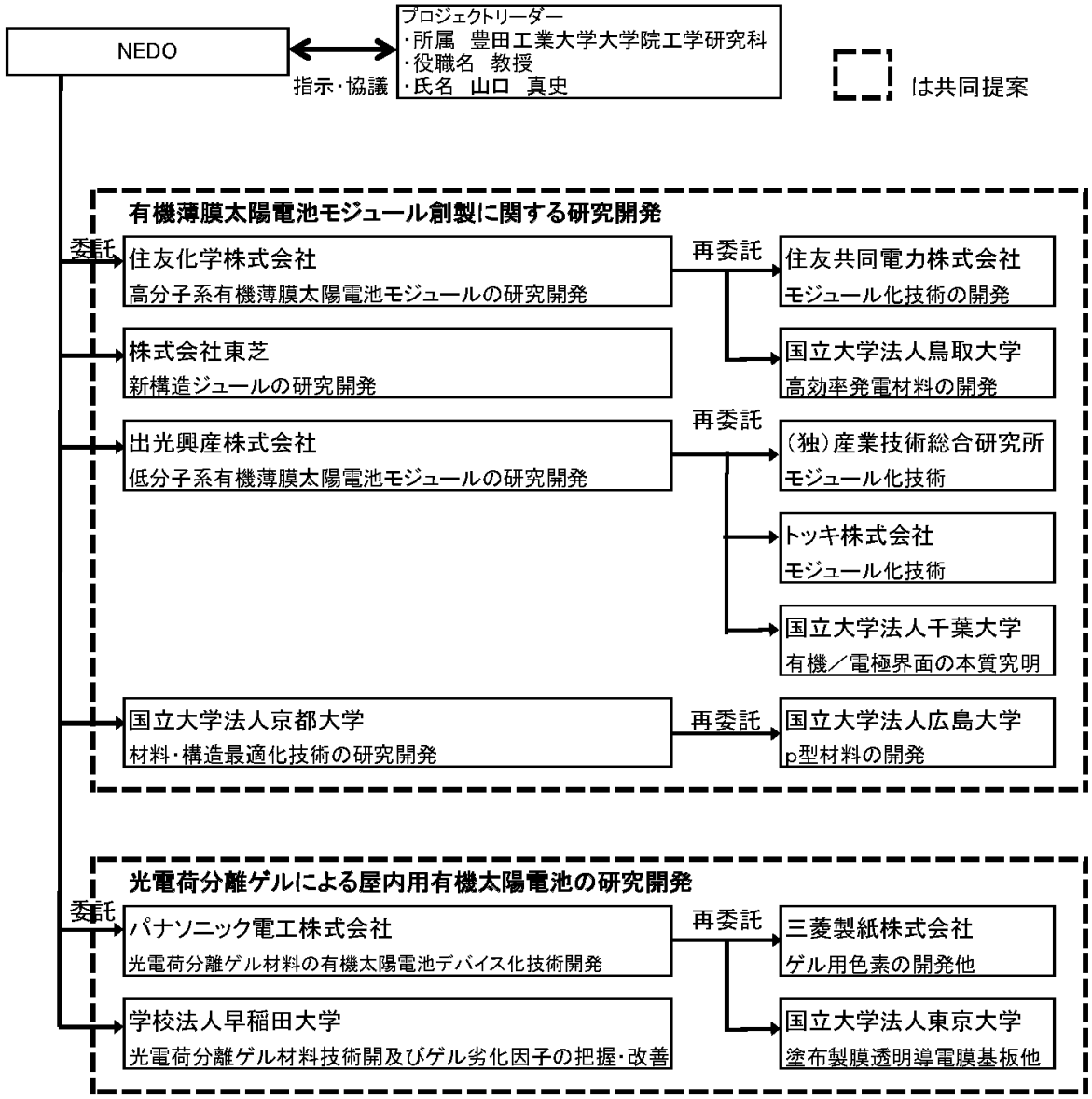
研究開発項目（ニ）色素増感太陽電池（平成 25 年度）



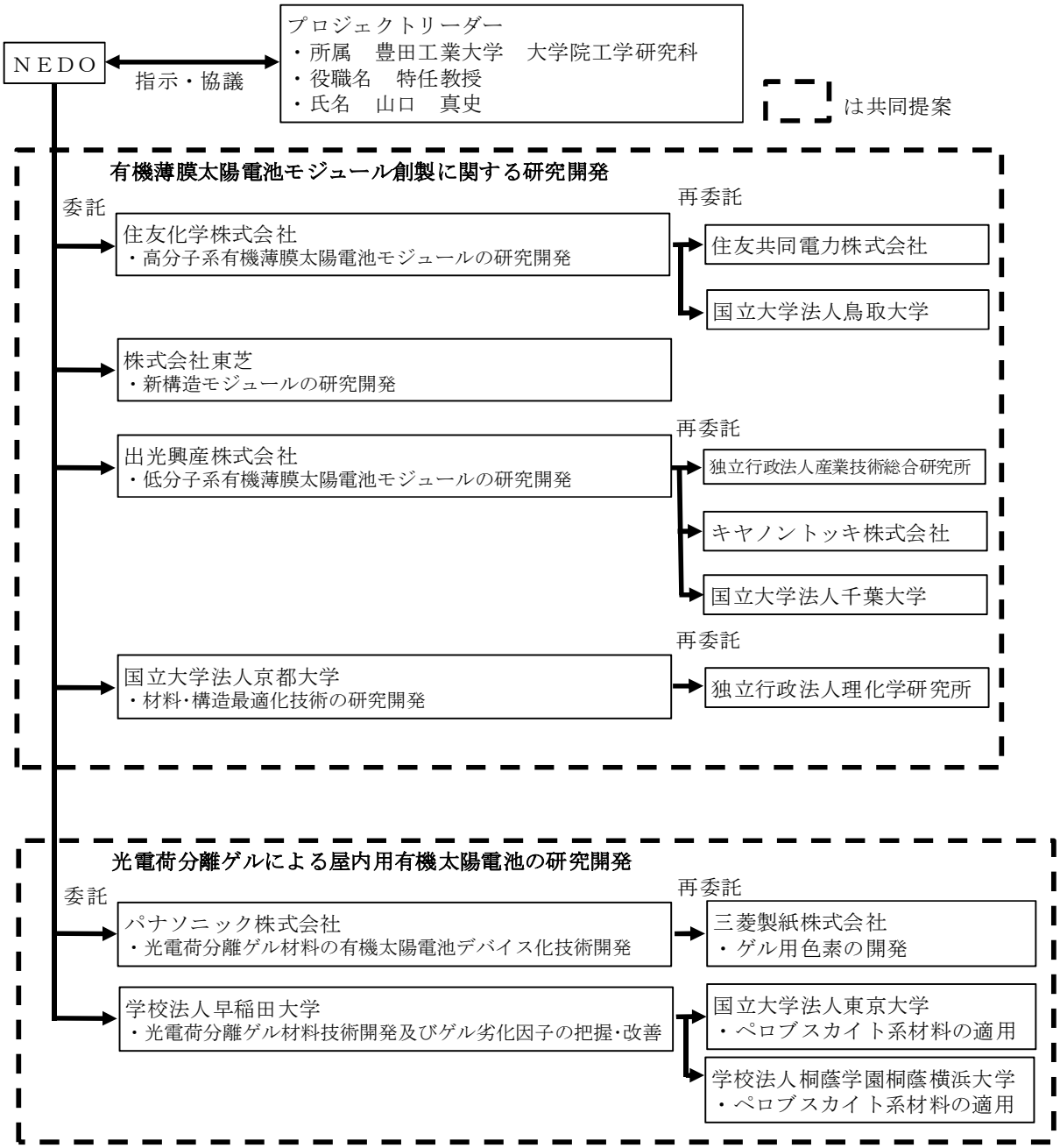
研究開発項目（ニ）色素増感太陽電池（平成 26 年度）



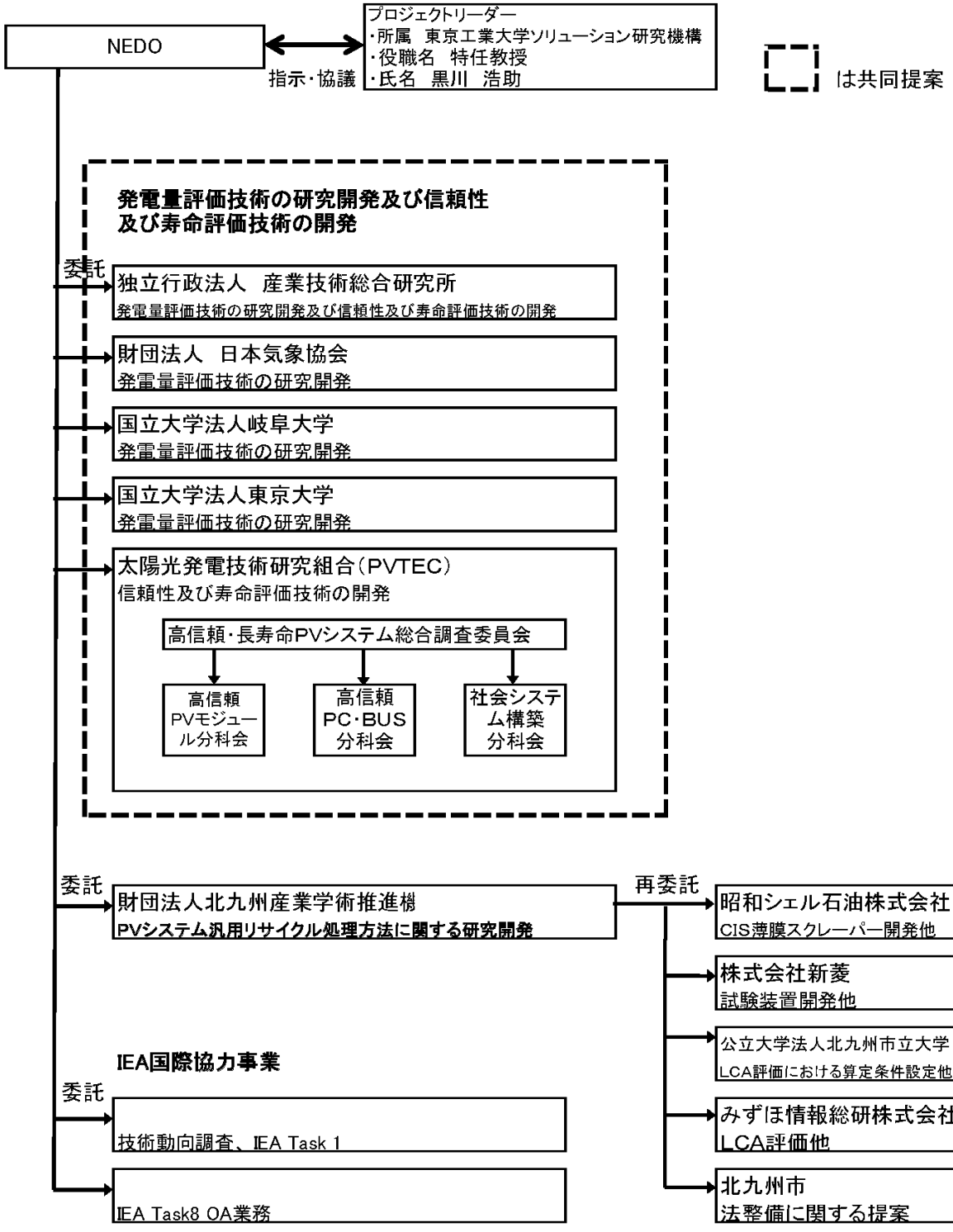
研究開発項目（ホ）有機薄膜太陽電池（平成 22 年度～平成 24 年度）



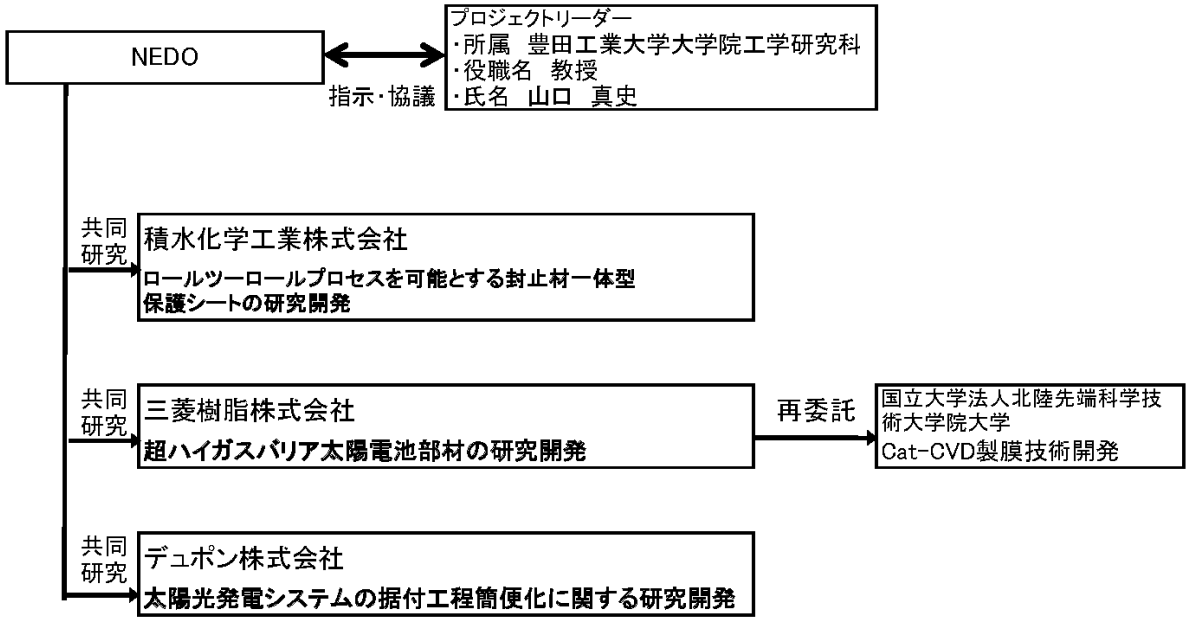
研究開発項目（ホ）有機薄膜太陽電池（平成 25 年度～平成 26 年度）



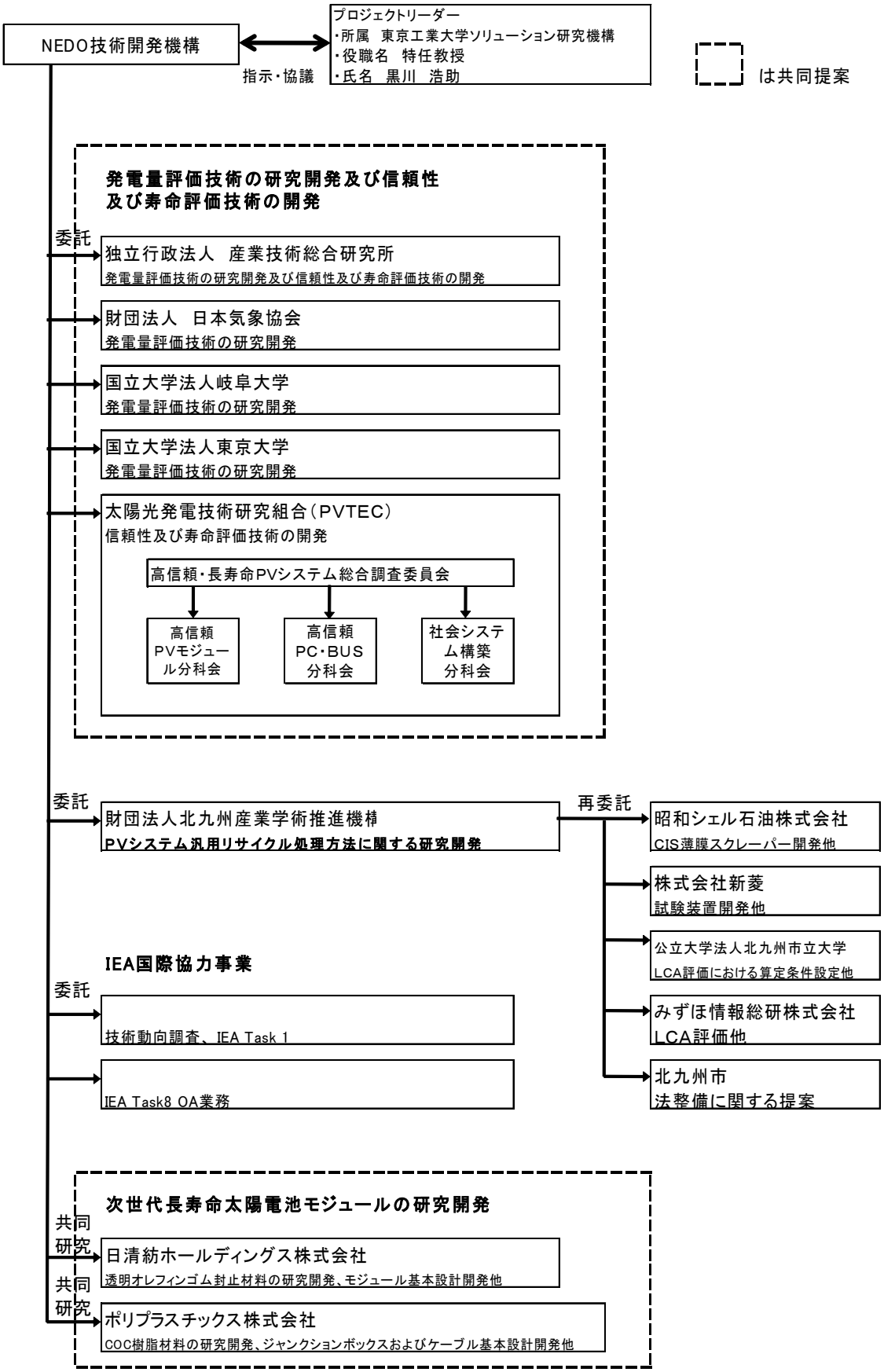
研究開発項目（へ）共通基盤技術①（平成 22 年度～平成 23 年度）



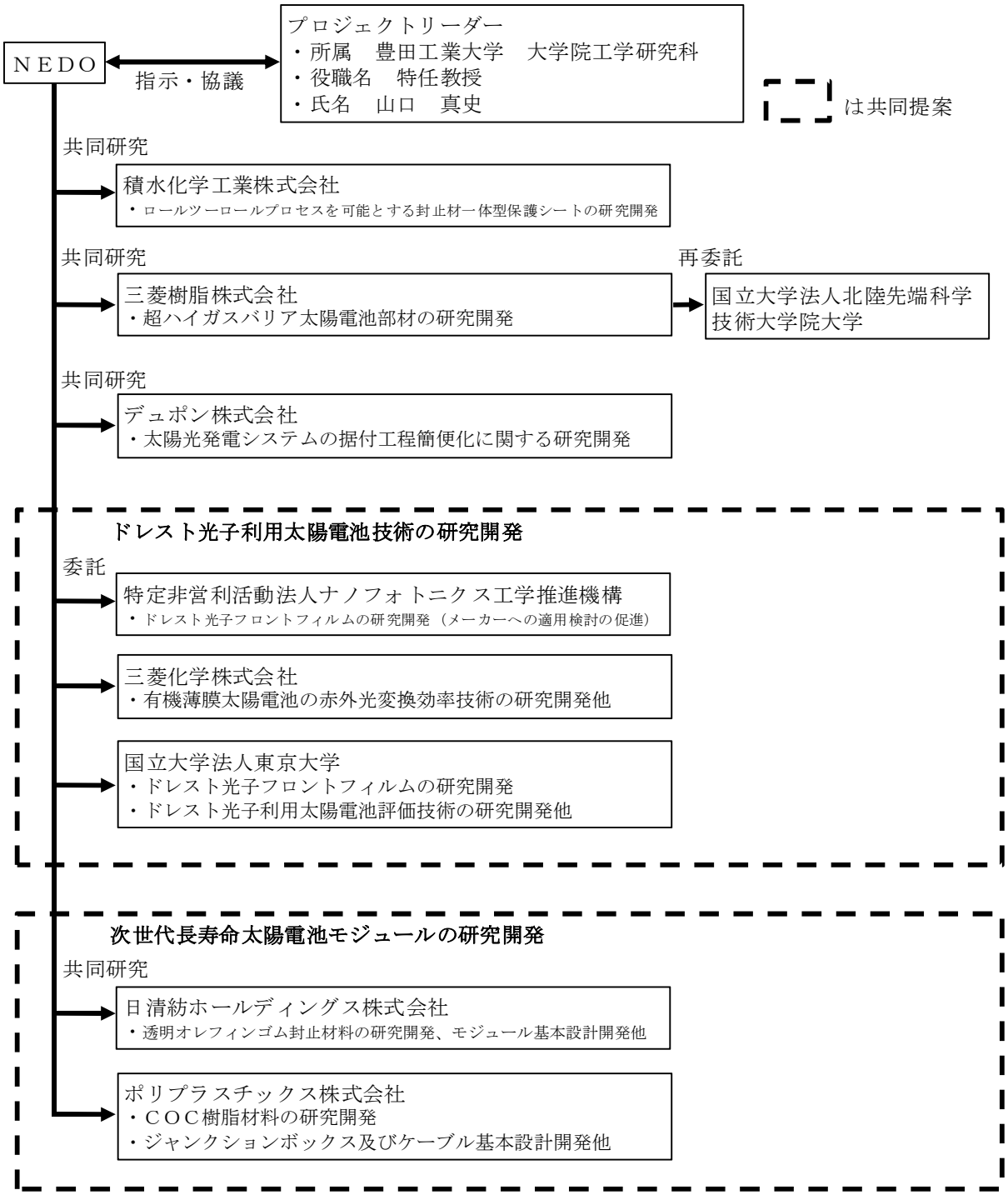
研究開発項目（へ）共通基盤技術②（平成 22 年度～平成 23 年度）



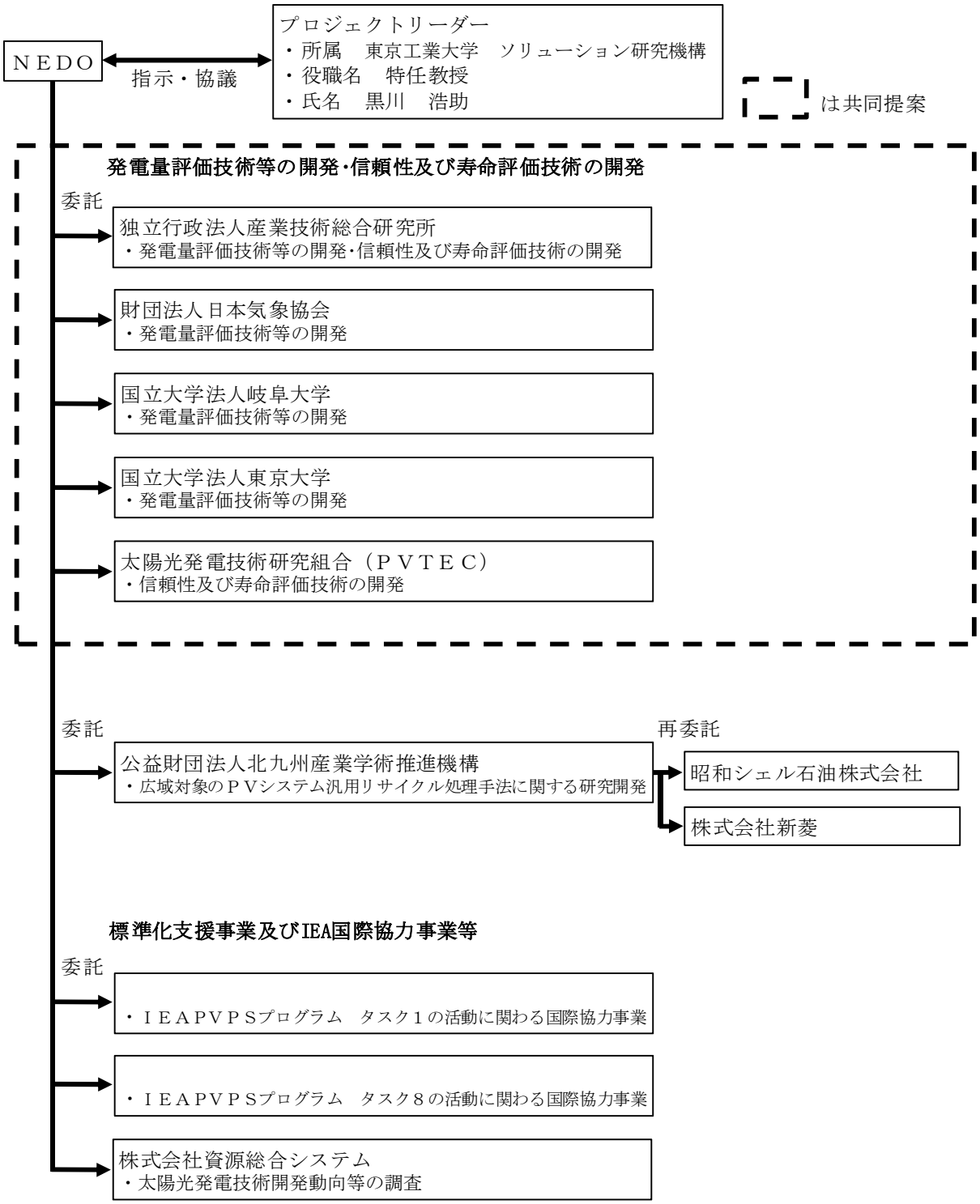
研究開発項目（へ）共通基盤技術①（平成 24 年度）



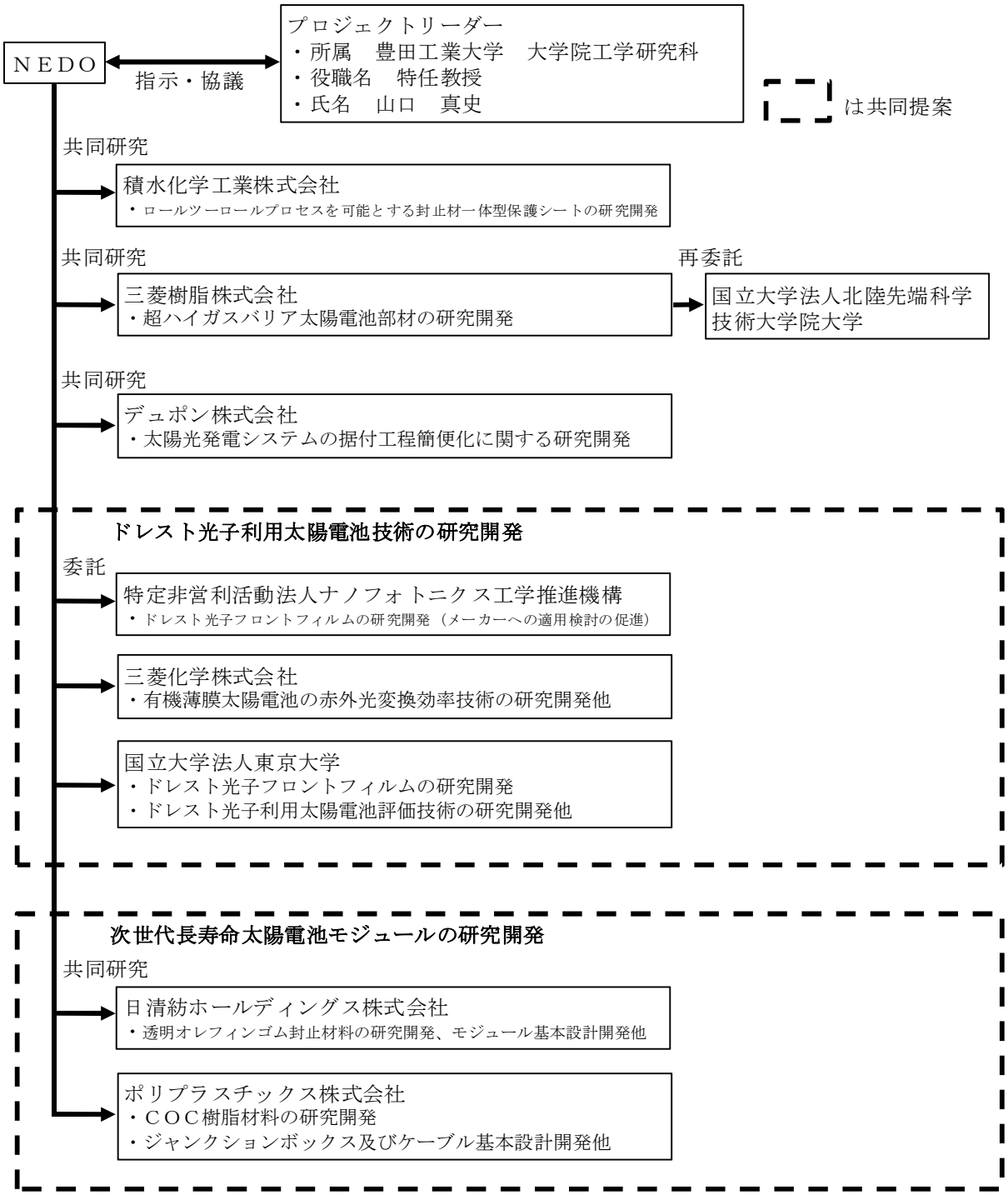
研究開発項目（へ）共通基盤技術②（平成 24 年度）



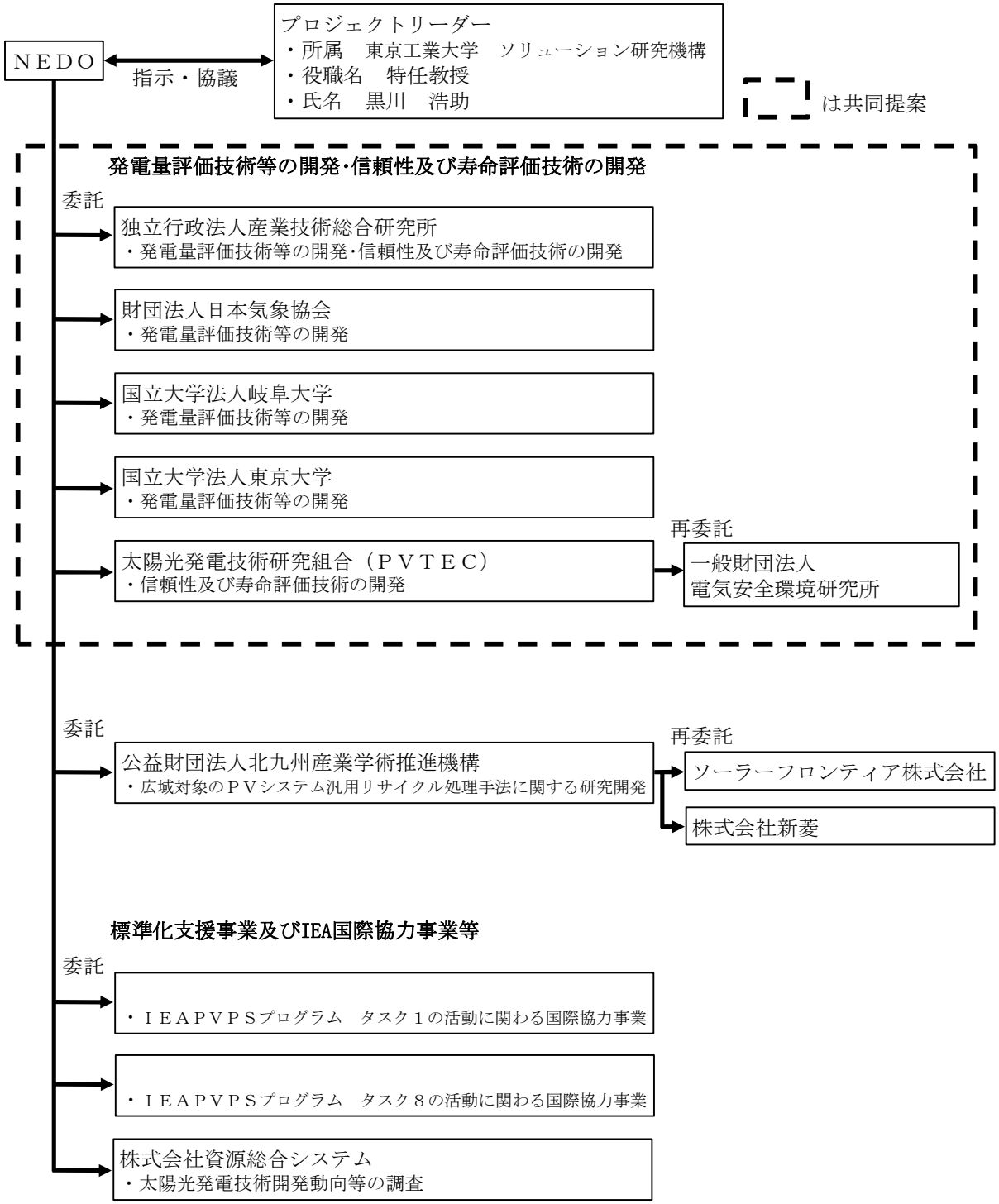
研究開発項目（へ）共通基盤技術①（平成 25 年度）



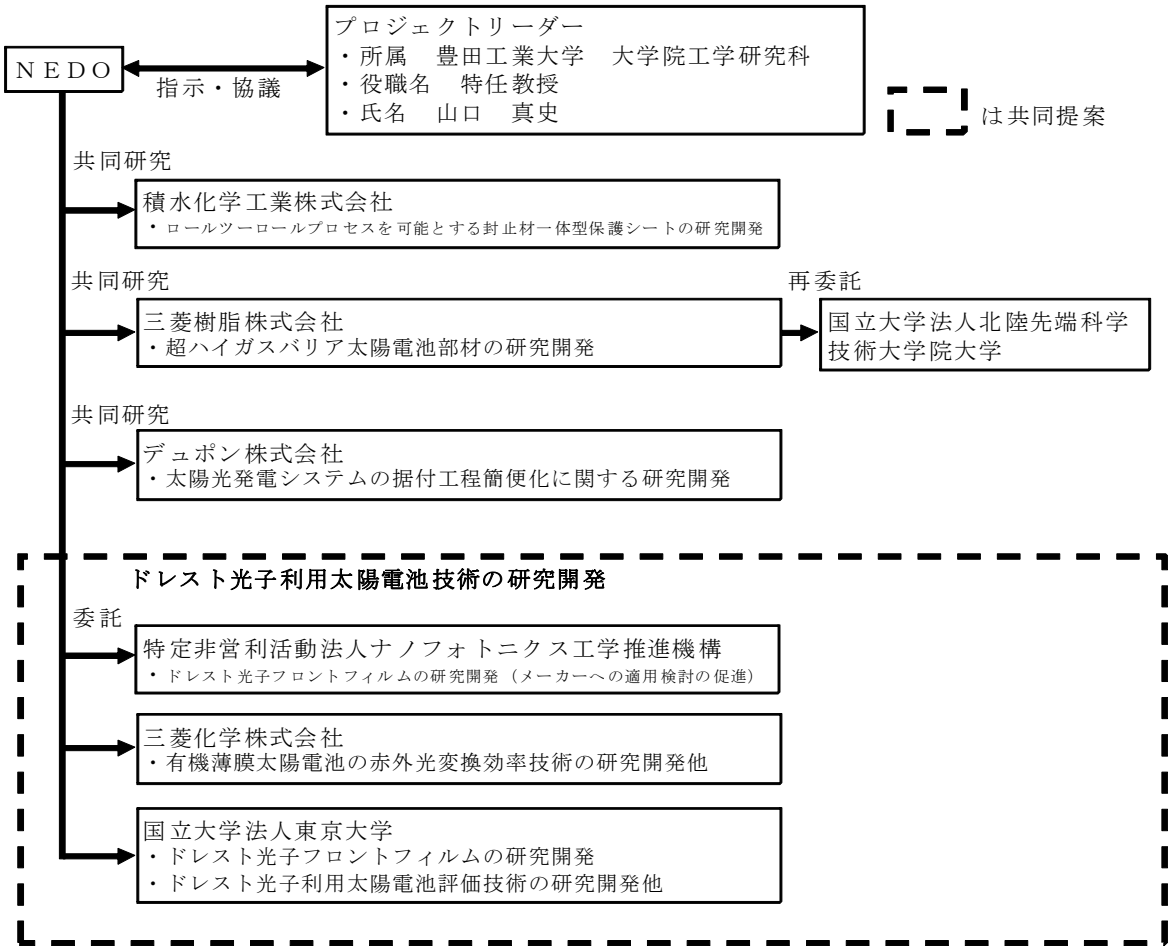
研究開発項目（へ）共通基盤技術②（平成 25 年度）



研究開発項目（へ）共通基盤技術①（平成 26 年度）



研究開発項目（へ）共通基盤技術②（平成 26 年度）



2.3 研究開発の運営管理

2.3.1　進捗報告会の開催

研究開発全体の管理・執行に責任と決定権をもつ NEDO は、プロジェクトリーダーと密接な関係を維持しつつ、研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施した。具体的には、全ての事業者の研究開発の進捗状況を把握し、進捗状況に照らし必要な指示するために、プロジェクト開始の平成２２年度から事業終了まで継続して、進捗報告会を開催した（開催日：平成 23 年 3 月、7 月、11 月、平成 24 年 2 月、平成 25 年 6 月、11 月、平成 26 年 1 月、8 月、平成 27 年 2 月)。

この進捗報告会は原則分野毎（結晶シリコン、薄膜シリコン、CIS 化合物、有機色素、基盤技術）に開催し、事業者・コンソーシアムの垣根を越えて情報交換、討議を実施した。そして、プロジェクトリーダーに方向性や実施内容について意見を求め、研究開発の運営に反映した。

分野	主な指導内容
結晶シリコン太陽電池	（平成２３年７月）研究開発に参画している大学、独法は企業が使いたくなる技術開発に注力し、常に産業界にフィードバックすることを念頭に開発に取り組むように。また、セルメーカは次世代プロジェクトの共通部材のグループの動き、成果にも目配りし、採用可能な技術を取り込んで早期実用化を目指すように指示した。 （平成２４年２月）Ｒワイヤーの開発についてはウェハの切断速度は生産性に直結するので、目標の切断速度の達成に向け解決法を最優先で検討するように指示した。 （平成２５年６月）早期実用化・事業化、次世代後継プロジェクトを見据えて成果を出すよう指導した。新規プロセスグループに対してコンソ全体で連携、検討し、評価解析結果の考察を十分に行って開発にフィードバックを行うよう指示した。 （平成２５年１０月）コンソ内で連携も進み、成果も得られつつあるため、早期実用化・事業化、次世代後継プロジェクトを見据えて成果を出すよう指導した。また、コンソとして、高効率化のための課題を明らかにする上で、ミクロな考察を行い、セルメーカーに指針を示すべく取り組むよう指示した。 （平成２６年１月）結晶成長グループに対しては企業への技術移転を視野にいれ、品質、コストについてもコンソ全体で議論して改善を行い、企業にとってメリットがある結晶成長方法の確立を目指すよう指示した。 （平成２６年８月）ＦＩＴに頼らず、基幹電力、エネルギーとして一本立ちすべく、早期実用化・事業化、次世代後継プロジェクトを見据えて成果を出すよう指導した。また、セルメーカに対しては、コンソと一層の協力をして更なる改善に取り込むこと、モジュール効率について目標達成に向け取り組むよう指示した。
薄膜シリコン太陽電池	（平成２３年７月）コンソーシアムにおける大学の役割が不明確なので、企業が担当するプロジェクトへの貢献を可視化するように指示した。 （平成２４年２月）薄膜シリコン材料だけでなく、変換効率に影響を与える透明導電膜の開発にも注力するよう、指示した。 （平成２５年６月） 結晶シリコン太陽電池との位置づけを意識して、事業戦略の明確化に努めること。 （平成２６年８月） 最終目標を達成するためには、これまでに得られた要素技術成果を上手く組み合わせる事が不可欠である。いつまでに何をするのか線表を作成したうえで、各機関との連携を指導すること。また、得られた研究開発成果で、コンソーシアム全体にどのように貢献するのか明確にすること。
CIS 等化合物系太陽電池	（平成２３年１１月）フレキシブル太陽電池の市場規模や製品ニーズについて調査を行い、フレキシブル太陽電池の必要性を明確にするように指示した。 （平成２４年２月）CIS 薄膜の構造評価等が不十分なので、大学や産総研からバックアップを受けるよう、実施者（企業）へ指示した。

	（平成２５年２月） CIS 系も、モジュールコスト４０～５０円／Wを目指す必要がある。フレキシブルと言えども、住宅用を想定すると、ガラス基板上のものに近い性能が求められよう。住宅用以外の市場を求めるなら、自社ニーズの開拓が要求される。 （平成２６年１月） 装置コストの低減と生産性向上は、大きな課題である。 （平成２７年２月） 実験データを蓄積し、膜質向上の検討を続けること。
色素増感太陽電池および有機薄膜太陽電池	（平成２２年７月）コンソーシアムの枠を超えて、相互の意見交換を活発化させ、全体として研究開発をスピードアップさせることを指示した。 （平成２３年１１月）製品のターゲットと事業化時期を明確にした上で、ユーザー開拓を進めるとともに、性能を上げるための原理を早急に明確化すること、及び光電変換材料の基本特性からセル特性を推定する評価手法を検討することを指示した。 （平成２４年２月）アモルファス太陽電池に対する優位性を明確にすると共に、コスト試算と市場性の評価を進めること。 （平成２４年１０月）コストと耐久性を両立する構造、他の太陽電池にない特性を伸ばす開発を進めること、出口製品を見据えた目標再設定を行うことを指示した。 （平成２５年５月）このプロジェクト期間中に事業化の見通しをたてること、また、プロジェクト全体で材料の課題、デバイス性能、損失要因の見通しをつけるよう指示した。 （平成２５年１１月）性能・コスト・信頼性のバランスを考え低コストのモジュール構造を目指すこと、早期市場参入を実現するためには、自社内に太陽電池を組み込んだ商品としてのニーズを開拓することを指示した。 （平成２６年１月）低コスト化のみではなく実用化には効率、寿命が必要となるため、更なる高効率化に取り組むよう指示した。また、市場ニーズを開拓しているメーカーでは社内市場規模がどれだけあるか、性能とコストのバランスが取れているか、どの程度の耐久性が必要かを確認することを指示した。 （平成２６年８月）室内用などの太陽光発電用以外で製品化を狙うなら、自社内でもニーズを探索するよう指示した。 （平成２７年２月）プロジェクト終了日までに残評価項目を完了させるよう指示した。
共通基盤技術	（平成２３年３月）ロールツーロールプロセスを可能とする封止材一体型保護シートの展開として、結晶シリコンについても検討するよう指示した。 （平成２４年３月）発電量予測技術に関して、予測技術のユーザーとして、電力事業者に加え、地域のエネルギーマネジメント業者や事業プランナー等への展開も視野に入れるよう、指示した。 （平成２５年 6 月）太陽電池性能評価技術に関して、開発した技術の周知の方法としては、学会発表だけでは不十分なので、JEMA と相談し IV カーブテスターに関する JIS 化を図るなど規格化、標準化の推進、ガイドラインの作成など、エンドユーザーにまで実効性のある方策を検討するよう指示した。 （平成２５年６月）化合物系太陽電池、結晶 Si 太陽電池、それぞれにおいて最適なガスバリア性を検討し、コストとのバランスも含め市場受容性の高い仕様を検討するよう、指示した。 （平成２５年６月）塩害のある沿岸部、農地、畜舎、積雪地域の道路周辺など、従来の金属に比べ、錆びない、腐食に強い、軽量といった樹脂のメリットが活かされる活用先の検討とヒアリングを実施するよう、指示した。

	（平成２５年１０月）最終的な出口となるモジュールメーカー(の事業部門)との連携を重視するよう、指示した。 （平成２５年１０月）施工の標準化については業界に拡げていくことも視野に入れて JPEA や施工業者等を巻き込み進めていくよう、指示した。 （平成２６年２月）・本技術開発フェーズから実用化・事業化までや、九州・中国地方での取組みから全国展開についてもシナリオなどを想定するよう、指示した。 （平成２６年８月）フィルム m2 当たりでの目標を定め、具体的なコスト試算を行うよう、指示した。

また他の太陽電池関連事業を含めて、ホームページや展示会による広報、事業紹介パンフレットの作成、学会やシンポジウムでの講演、国際学会への参加と発表、雑誌への寄稿などを通じて成果の発信に努めている。

2.3.2 加速・拡充

２０１０年に１３．９億円、２０１１年に２２．９億円の予算増額を伴う事業の加速・拡充を実施した。２０１２年度以降も、必要に応じて事業の加速・拡充を実施している。

【予算増額】

太陽電池種類	主な予算増額
結晶シリコン太陽電池	増額金額： ９１百万円（平成２２年１１月） 課題：結晶シリコン太陽電池の試作ラインを構築した。しかし自らの研究開発に加えて、コンソーシアム参画のセルメーカ等が、各機関の研究成果を試作・実証する上で、試作評価、検証、品質維持の面が不十分であった。 内容：コンフォーカル顕微鏡、電極形成用スパッタ装置、及び高速加熱処理装置、シート抵抗測定装置、印刷ライン、洗浄ユニットを導入した。 効果：より実際的な太陽電池試作ラインが構築され、変換効率と低コストの実現を目指したセルの試作が可能となった。
	増額金額： ４１百万円（平成２２年１１月） 課題：コンソーシアムにおいて、シリコン単結晶の安価な結晶成長を本学と共同で開発している物質・材料研究機構が育成するシリコン単結晶では、含有される炭素、酸素等の軽元素の空間分布を高速に測定することが本研究開発の遂行を加速するために重要であった。 内容：これら軽元素は、太陽電池の Yield や効率向上のためにその軽減が必須であり、その含有量を分析するために、本申請の「シリコン結晶中軽元素高速測定装置」を導入した。 効果： 結晶中の軽元素の空間分布を測定することが可能となった。
	増額金額： １０７百万円（平成２３年８月） 課題：太陽電池セル高効率化研究開発においてパッシベーションセルの試作を行っていたが、従来のレーザー加工装置および反射層形成方法ではセル試作に時間がかかり、また、プロセスの条件範囲が狭いため、高効率化セル構造の試作速度と検討内容に制限があった。 内容：小型高速スパッタおよびビームスキャン式レーザー加工装置を導入した。 効果：試作装置を導入することにより、高効率セル製造プロセスおよび微細レーザー加工技術の開発において試作が加速するとともに試作可能な条件の範囲が広がり、新たな高効率化セル構造の検討や量産に近い条件でのセル試作を行うことが可能となった。
	増額金額： １０７百万円（平成２３年８月） 課題：太陽電池セル高効率化研究開発においてパッシベーションセルの試作を行っていたが、従来のレーザー加工装置および反射層形成方法ではセル試作に時間がかかり、また、プロセスの条件範囲が狭いため、高効率化セル構造の試作速度と検討内容に制限があった。 内容：小型高速スパッタおよびビームスキャン式レーザー加工装置を導入した。 効果：試作装置を導入することにより、高効率セル製造プロセスおよび微細レーザー加工技術の開発において試作が加速するとともに試作可能な条件の範囲が広がり、新たな高効率化セル構造の検討や量産に近い条件でのセル試作を行うことが可能となった。
	増額金額： ７１４百万円（平成２３年８月および平成２４年１０月） 課題：開発中のヘテロ接合バックコンタクト(Hetero-junction Back Contact、以下 HBC)型太陽電池の開放電圧特性および曲線因子を向上する必要があった。さらに、モジュール技術開発の加速が必要であった。 内容：２３年度に高品位接合形成装置、不活性膜形成装置及びその評価装置、さらに２４年度に電極形成装置、界面処理装置及びモジュール評価用の環境試験装置等を導入した。 効果：高品位接合形成装置の導入により、HBC 型太陽電池の開放電圧特性（最終成果 Voc：

	736mV）が向上し、変換効率 25.1%に寄与した。不活性化膜形成装置の導入により、ホモ接合バックコンタクト（Interdigitated Back Contact）型太陽電池の開放電圧特性が 2%向上し、結晶シリコン太陽電池製品の出力特性向上に寄与した。さらに電極形成装置、界面処理装置により清浄な電極/アモルファスシリコン界面を形成し、曲線因子（最終成果 FF：82%）が向上し、変化効率 25.1%に寄与した。また、環境試験装置等によりモジュール技術において、表面実装方式とメッキ方式の比較評価を行い、表面実装方式を採用する結論を得た。
	増額金額：　４百万円（平成２３年９月） 課題：線速以外での切断性の改善を検討する。加工油を変更した試験を計画するが、スラリータンク１個では、その交換に１週間ほどの実験を中断することになる。 内容：新規に予備のスラリータンクを導入し、予め加工油を変えたスラリーを準備する。 効果：タンク交換により短時間で加工油を変えた切断実験を実施することができる。
	増額金額：　２６百万円（平成２３年９月および平成２４年３月） 課題：生産コストの削減を目的としたワイヤ使用量の削減条件を見出すとともに、本プロセスとセル発電効率の相関を確認し、スライスプロセスを最適化する必要があった。 内容：加工検証における労務費及び必要な消耗品（シリコンインゴット・ワーク）を追加した。 効果：従来加工比１／２のワイヤ使用量での切断が可能となった。また、ウェーハスライスにおける表面クラックの比較を行い、スライスプロセスによる違いを明確化した。
	増額金額：　１６３百万円（平成２４年３月および平成２６年２月） 課題：PERC 型などの拡散系次世代高効率セル開発のために必須となる、エッチングマスク及び片面拡散用ドープ膜製膜プロセスを確立する必要があった。また、高効率ヘテロ接合セルを開発するために、透明導電膜製膜プロセスを確立する必要があった。 内容：常圧 CVD 装置、および RPD(反応性プラズマ蒸着、Radical Plasma Deposition)装置を導入した。 **効果：常圧 CVD 装置を導入することで、テクスチャー形成用エッチングマスク及び片面拡散用ドープ膜の成膜が可能となり、三菱電機などの拡散系セルメーカーの目標達成に貢献した。また、RPD 装置を導入することで、最適なバンドエンジニアリングに基づいて、変換効率２５%超を実現する高効率ヘテロ接合セル新規プロセスを開発することが可能になった。**
	増額金額：　４２百万円（平成２４年９月） 課題：これまで使用してきたワイヤソーは R ワイヤが Si インゴットのスライスに適用できることを検証する目的であったために限られた仕様（一例としてサイズは 120×20mm ウエハ用）の装置であった。この装置では、量産に関する課題を検証するには仕様が満足していない。 内容：これまで獲得した知見を最大限投入した R ワイヤ専用のマルチワイヤソーを導入する。 効果： コストダウンとウエハ品質の向上、及びウエハ製造の効率化を進め、セルメーカの評価に適応する。
	増額金額：　１２百万円（平成２５年１２月） 課題： 多結晶の味見切断で良好な結果が出たことから、多結晶にまで適用拡大を図る。 内容：多結晶インゴットを入手し、砥粒、加工油の選定及び切断条件の最適化を行う。 効果：多結晶に対して、R ワイヤのの特徴を生かし、品質の向上、低コスト化に寄与することができる。
	増額金額：　１０百万円（平成２６年３月） 課題： 多結晶の味見切断で良好な結果が出たことから、多結晶にまで適用拡大を図る。 内容：多結晶インゴットを入手し、砥粒、加工油の選定及び切断条件の最適化を行う。 効果：多結晶に対して、R ワイヤの特徴を生かし、品質の向上、低コスト化に寄与することができる。
	増額金額：　７０百万円（平成２６年１２月） 課題：ヘテロ構造セルに用いる透明電極の均一性の向上、およびセルプロセス中の熱工程によるライフタイム劣化原因の特定が課題であった。 内容：透明電極抵抗測定装置、および熱プロセスシミュレーション装置を導入した。 効果：透明電極抵抗測定装置を導入することで、透明電極の抵抗値およびその分布の精密測定が可能となり、ヘテロ構造セルに用いる透明電極の均一性の向上に貢献できるようになった。また、熱プロセスシミュレーション装置を導入することで、セルプロセスをシミュレートした熱工程を施し、種々の基板のライフタイムを測定すると同時に、ライフタイム劣化の原因を特定することで、セル構造ごとに最適化された購入基板仕様の新たな指針を与えた。
薄膜シリコン太陽電池	増額金額：　２５３百万円（平成２３年９月） 課題：得られた成果を早期に事業化に結び付ける事が、薄膜シリコン太陽電池の競争力強化に重要。

	内容：メーター角級の大面積ナノインプリント技術を開発する必要があり、新規に大面積ナノインプリント設備を開発・導入すると共に、装置運転・保守及びサンプル評価を目的として研究員を増員し、更に作製サンプルの大面積化に伴い消耗品費と外注分析費等のその他経費を増額して、大面積ナノインプリント技術開発を集中的に検討する。 効果：早期事業化の実現および最終目標達成に向けて研究開発を加速的に進捗させる。
	増額金額：　２５０百万円（平成２４年４月） 課題：平成２３年度は、ラボレベルの実験で、原料ガスのナノクラスターが製膜中に薄膜シリコンに取り込まれると光安定化効率が低下する事が明らかにされ、排気効率向上が有効であることが分かった。また製膜速度向上のためにはプラズマでの高周波化が有効であり、改善の余地があることが明らかになった。更に薄膜の高品位化のためにはｐｉｎ層を連続で製膜する事が重要であることが分かった。 内容：競合他社（シャープ、パナソニック、カネカ）が共同で活用している製膜装置（Ｇ５サイズ）の改造として、①排気効率向上等の装置改造、②製膜速度アップのための高周波化（６０ＭＨｚ→１００ＭＨｚ）、③高品位化のためのロードロックチャンバー（ｐｉｎ層の連続製膜）の増設 効果：製膜装置の改造が今年度中に実現することで、研究開発の加速が期待できる。
	増額金額：　５８百万円（平成２４年５月） 課題：メーター角級のモジュールにおける大面積化検討に関して、集中検討を実施するためには、消耗品費を含めたその他経費や研究員が不足する。 内容：　研究員増員ならびに消耗品費等のその他経費を増額する。 効果：目標達成に向けて研究開発を加速出来る。
CIS 等化合物系太陽電池	増額金額：　３１百万円（平成２３年９月） 課題：ラボ試験装置を用いて富士フイルムが得た知見（蒸着方法の最適化）を、量産試作装置に活かす必要が生じた。 内容：アルバックが開発中の量産試作装置の蒸着ゾーンの配置を変更した。 効果：基板高温加熱時間を短縮でき、基板搬送が安定化した。
	増額金額：　２８百万円（平成２４年３月） 課題：平成２３年度末までの成果として、昭和シェル石油（ソーラーフロンティア）が、サブモジュール（３０ｃｍ×３０ｃｍ）サイズでは世界最高の１７．８％の高効率化を達成した。更なる高効率化には、ＣＩＳ光吸収層のライフタイムやバンドギャップなどの正確な評価が必要であることが判明した。 内容：ライフタイムやバンドギャップなどの正確な評価が可能な「ＰＬライフタイム測定装置」を導入した。 効果：サブモジュールの変換効率の更なる向上が期待できる。
色素増感太陽電池	増額金額８１百万（平成２２年８月） 課題：大型モジュール製造装置及び評価装置を導入して 30cm 角モジュールの試作、評価を効率化することにより、モジュール開発を加速 効果：大型モジュールの製造に関する装置の導入、大型モジュール製作消耗品増額により 50cm 角モジュールの開発を加速できた。
	増額金額　２８０百万円（平成２４年５月） 課題：大面積の色素増感太陽電池モジュールが作製することが難しい。 効果：大面積基板対応の装置導入により、効率良くモジュールを作製することが可能となった。
	増額金額８１百万（平成２４年６月） 課題：低コスト製造プロセス開発推進のための機械装置が必要であった。 効果：排ガス機能付分離装置および粒子分散装置を導入したことにより、ペースト化工程の大幅な短縮と生産効率の向上が可能となった。
	増額金額２８０百万（平成２４年６月） 課題：平成２４年度中間目標を確実に達成するためにモジュール作製工程の改善のための設備を導入すると共にモジュール試作材料費等を増額
有機薄膜太陽電池	増額金額４４百万（平成２２年８月） 課題：材料開発の加速化 効果：材料開発の加速が可能となった。
	増額金額７４百万（平成２３年３月） 課題：大型基板に塗布できる印刷装置がなかったため、大型塗布印刷装置等を導入。 効果：大型スクリーン印刷機の導入により、全塗布プロセスで、20 ㎝～30cm 幅のモジュールの試作が可能になった。
	増額金額６５百万（平成２３年１０月）（機械装置費、研究員費、外注費） 課題：試作ライン構築のため、高純度な有機半導体材料の多量合成と、試作デバイスの迅速

	な光学・膜厚評価が必要であった。 効果：実験の作業効率、素子の変換効率が改善され、開発スピード、変換効率が向上した。
	増額金額４７百万（平成２４年５月）（機械装置費、外注費） 課題：２０ｃｍ角モジュールの変換効率向上のためには未発電領域の削減とメニスカス法によるモジュール試作検証が必要であった。 効果：２０ｃｍ角モジュール用ＩＴＯ基板の追加試作で実験精度を上げることによって、ＰＶ特性・耐久性の向上を大幅に加速できた。また寸法精度を高めたことにより開口率が増加し、変換効率が向上した。
	増額金額２５百万（平成２５年７月）（消耗品費、外注費） 課題：低照度下での変換効率の高さや軽量・薄型の特長を生かした室内光用のアプリケーションの開発を加速させ、早期の市場投入・実用化を図る。 効果：複数のアプリケーション試作・評価を同時に行うことで実用化への道筋をつけることができた。
	増額金額１７百万（平成２５年１０月） 課題：材料開発の加速化 効果：材料開発の加速が可能となった。
	増額金額１２百万（平成２５年１２月） 課題：モジュール開発検討用資材 効果：OPV の特徴把握のため、東西南北の各方位での屋外曝露用モジュールの試作を実施。その結果、日射量の少ない方位での OPV の発電量評価が可能となった。
	増額金額８９百万（平成２６年５月）（外注費） 課題：同一試験サンプルで変換効率と耐久性の最終目標を同時に達成していなかった。 効果：試験サンプルの作製数の増加、変換効率と耐久性の効率的な評価により、より高いレベルで有機薄膜太陽電池の変換効率と耐久性を同時に達成することが可能になった。
ペロブスカイト太陽電池	増額金額：１０６百万円（平成２４年１０月） 課題：ペロブスカイト太陽電池に対する耐久性面での評価のため、ドライエアー発生設備、グローブボックス等を導入し、雰囲気制御下での太陽電池試作を可能とした。 効果：再現性あるプロセスを確立した。また、劣化機構を解析し、保有する有機 EL 封止技術を活用することで、高い耐久性を実証した。
共通基盤技術	増額金額：　２百万円（平成２２年１２月） 課題：直近の各国の技術開発・利用拡大などへの取り組みや産業活動は急激に変化しており、我が国の技術開発においてもこれら変化に対応した取り組みを付加して、太陽光発電産業の国際競争力強化と海外市場展開を加速することが必要になった。 内容：ＮＥＤＯからの要請により、各国の太陽光発電への取り組みのベースとなるエネルギー需給動向とその背景や太陽光発電導入に対する制度上の障壁など、太陽光発電に関する基礎的な情報の調査・分析を追加実施した。 効果：日本の太陽光発電産業の国際競争力を堅持・確保するための技術開発戦略の策定に対して、ＮＥＤＯが付加的に進めようとしている海外対応に向けた太陽光発電技術開発の方向性検討に寄与しうる、海外の各国・地域の太陽光発電システム市場展開に関連した基礎的情報を把握することができた。
	増額金額：　３５百万（平成２２年１２月） 課題：H24 年度 PV システム汎用リサイクル処理手法に最適な専用のローダー・アンローダーの開発・導入。 内容：PV モジュールの大きさや、収納カセット形状にとらわれない、汎用性の高く高機能なローダー・アンローダーを導入した。 **効果：大型形状で重量物である PV モジュールのローディング及びアンローディングがスムーズになると共に、具体的なパラメータスタディーが可能となり、開発装置の信頼性向上、PV モジュール回収用カセットの形状・機能の検討が可能となり、開発計画の加速ができる。**
	増額金額：　３４３百万円（平成２３年３月） 課題：同一条件で長期に亘るモジュールの発電量の比較を行う必要が生じた。 内容：各社のモジュールが設置してある大規模ＰＶシステムでのデータ取得を実施した。 効果：同一条件で長期に亘りメーカ別や方式別の太陽電池の発電量の比較ができ、市場展開や技術開発に役立てた。
	増額金額：　２５百万（平成２３年９月） 課題：試作予定のバッチ式 EVA 加熱装置はガラスの割れる確率が非常に高いことが解った。また、ヨーロッパでのリサイクル関連の取り組みが予想以上に進展しており、その実態調査結果を本研究に反映する必要がある。 内容：バッチ式 EVA 加熱装置の試作を、ガラスの割れにくい連続加熱方式に変更した。また、リサイクル処理工程最終段である CIS スクレーパを当初予定の設計から製作に変更。 **効果：実用化時と同様の連続処理方式の EVA 連続加熱装置の作製、CIS スクレーパ作製の前**

	倒しにより、PV リサイクル処理一貫システムの基本装置導入が約 1 年前倒しすることができた。
	増額金額：　２０百万円（平成２３年９月） 課題：据付工程簡便化に資する基本設計を終え、その成果をいち早く実用化するために建築基準法等への適合を確認する評価試験を増やす等の検討項目を追加する。また、実験設備を地震の影響の少ない建屋への移設が必要である。 内容：評価試験の追加 効果：研究成果をいち早く市場投入する時に生じる課題を解決し、市場投入を早めることができる。
	増額金額：　２６百万円（平成２３年９月） 課題：最近のアジア諸国における太陽光発電産業の急速な発展と欧州市場に偏った導入拡大によりグローバルな競争が激化するとともに、同年 3 月 11 日の大震災や原子力発電所の事故等から太陽光発電を中心とする分散型電源システムの重要性がクロースアップされ、我が国ばかりでなく各国でエネルギー政策の見直しも開始された。太陽光発電のコストダウンと導入拡大を進め、我が国の太陽光発電産業の国際競争力強化と世界展開を促進することが焦眉の課題となり、このためには太陽光発電ロードマップ（PV2030＋）の確実な実現に向け、重点的・優先的開発課題の精査及び取り組み強化が急務となった。 内容：ＮＥＤＯからの要請により、国内外の急激な情勢変化を踏まえ、PV2030＋の早期かつ確実な実現のために重点的に対応すべき課題等について調査・分析を行った。更に、国内外の市場動向、太陽光発電産業動向、普及施策動向等の詳細な調査を実施した。 効果：国内外の社会情勢の急速な変化に対応し、技術開発戦略の策定に必要となる最新状況の迅速な把握に貢献するとともに、太陽光発電ロードマップ（PV2030＋）の着実な実現に向けた取り組みの再構築に寄与しうる調査・分析ができた。また、太陽光発電市場の予見可能性を向上させ、市場の透明性を確保することにより、将来にわたる普及拡大と産業育成に向けた我が国の研究開発施策の策定と遂行に資する調査結果を得ることができた。
	増額金額：　２３百万円（平成２３年９月） 内容：集光型評価用ミニモジュールの作成、高感度焦電型光パワーメーターの導入、模擬電源の改造等。 効果：集光型等の新型太陽電池の測定精度の向上やシステム点検技術の検証が可能となった。
	増額金額：　６３百万円（平成２３年１０月） 課題：市場の進展に伴いユーザーである CIS や有機薄膜などのモジュールメーカーから前倒しして超ハイガスバリアフィルムの供給を依頼されたため。 内容：高分解能 SEM と 10^{-6}～10^{-3}g/（m^2・d）以下の超ハイガスバリアフィルムのガスバリア性能を迅速かつ多数評価することができる評価技術・装置の導入。 効果：Cat-CVD とシリカ蒸着の複合膜による超ハイガスバリアフィルムの基本構成確立において実施の Cat-CVD/シリカ蒸着複合膜作製と特性評価によるバリア性能向上検討と市場投入まで検討を行う生産機による複合膜量産化検討を加速できる。また、耐候性バックシート、フロントシートの基本構成確立、及び耐熱性耐候性基材の基本構成確立に関する評価を加速することができる。上記、バックシート、フロントシートおよび耐熱性耐候性基材の基本構成確立の加速とバリア性能を迅速かつ多数評価することができる評価技術・装置を導入すること、量産に向けた品質検査体制を先行して整えられることにより、計画の市場投入予定を１年早めることができる。
	増額金額：　１２百万（平成２３年１１月） 課題：PV モジュールのバックシートの除去で、加熱・剥離方式では対応できないモジュールがあることが分かった。また、CIS スクレーパ作製前倒しに伴い、削り取った CIS 粉や Si 粉から希少金属（In）や貴金属（Ag）等の回収再利用が必要となった。 内容：熱を使わない切削除去方式の予備試験を行った結果、可能性があることが分かったので、真空吸着による PV モジュールの歪みレス設置法や加工粉処理を考慮した FS 試験を実施。また、薄膜をスクレープする際、飛散する金属粉塵を回収する装置を導入。 **効果：多種多様なモジュールに対応したリサイクル方法を開発できる。また、希少金属や貴金属を含む CIS 粉や Si 粉の回収効率を向上させ、有価金属としての再利用を図れた。今後リサイクルできるモジュールの範囲を拡げ、有価金属の回収を図ることにより、リサイクルのコスト低減ができ、リサイクル導入が容易になる。**
	増額金額：　５０百万円（平成２４年３月） 課題：フレキシブル市場の伸びが十分でない中、より波及効果を得るため、本研究で開発した封止材を結晶シリコン太陽電池へ適用させ、架橋プロセス（現状１時間程度を要している）を要しない高生産性に寄与できる封止材を実用化することを目的とした研究開発を追加することとした。 内容：密着強度評価装置等の購入、労務費の増額、実験材料の購入。

	効果：太陽電池の生産性を向上させる結晶シリコン太陽電池向けの架橋プロセスのいらない封止材を開発し結晶シリコン市場に投入できる。
	増額金額：　７百万円（平成２４年４月） 課題：アジア諸国における太陽光発電産業の急速な発展と生産過剰、一部の諸国に限られた導入拡大によりグローバルな競争が激化し、急激な価格低下に加え、我が国の太陽光発電産業は、急速なシェア低下と国際競争力低下をもたらしつつある。技術開発を通じて太陽光発電のコストダウンと導入拡大を進め、我が国の太陽光発電産業の国際競争力強化と世界展開を促進することが焦眉の課題となった。 内容：ＮＥＤＯからの要請により、国内外の急激な情勢変化を踏まえ、太陽光発電ロードマップ（PV2030＋）の早期かつ確実な実現のために重点的に対応すべき課題等について調査・分析を行った。また、太陽電池の生産の中心となりつつあるアジア地域等の新興国における研究開発の現状と実態を正確に把握するための調査を行った。 効果：国内外の社会情勢の急速な変化に対応し、技術開発戦略の策定に必要となる最新状況の迅速な把握に貢献するとともに、太陽光発電ロードマップ（PV2030＋）の着実な実現に向けた取り組みの再構築に寄与できた。さらに、アジア地域を中心とした新興国の技術開発の現状と実態について把握することができた。また、太陽光発電市場の予見可能性を向上させ、市場の透明性を確保することにより、将来にわたる普及拡大と産業育成に向けた我が国の研究開発施策に資することができた。
	増額金額：　８百万（平成２５年２月） 課題：パイロットプラントの設計仕様の確度を上げるために、個々のプロセス装置を連結し、リサイクル処理システムとして機能させ、連続運転を通してそのリサイクル全体システム性能を評価する必要がある。 内容：ワーク（PV モジュール）の移動に連動して、各プロセス装置及び搬送装置（ローダー・アンローダー）を制御するリサイクルシステム制御装置を試作すると共に、搬送装置の連続運転のための安全柵を整備する。 効果：低コスト・汎用リサイクル処理技術を実用化するために必要不可欠な、信頼できる採算性評価用データが取得でき、早期実用化の検討が可能となる。
	増額金額：　４６百万（平成２５年１０月） 課題：これまでに、二枚ガラス構成モジュールにおける EVA 燃焼時間の増加、スクレーピング処理おける CIS 粉の吸引ミスや、多種多様なサイズ・位置の端子箱への設定変更による時間ロスなどの課題を掴んだ。 内容： EVA 熱処理装置の改良、薄膜スクレーパー改造やアルミ枠解体支援装置の改造による、汎用性向上やスループット向上の検討や、廃棄モジュールの追加導入による、評価期間・内容の充実、信頼性・安定性・コスト評価に関して、さらに精確なデータの蓄積・評価を実施。 効果：より現実に近いリサイクル一貫処理システムとしての性能評価が可能となり、低コスト・汎用リサイクル処理技術の早期実用化に必須となる、性能・安全性・採算性に関する信頼性の高い評価データが取得でき、最終目標の効率的・効果的達成に繋がる。
	増額金額：　１１百万円（平成25年１１月） 内容：日射量データベースの精度向上と日射スペクトルデータベース構築のためのデータ整備。 効果：改良版日射量データベース及び日射スペクトルデータベースを作成した。
	増額金額：　１４百万円（平成２５年１１月） 内容：積分球付き分光器の導入。 効果：より広い波長範囲までスペクトルを正確に測定できるようになり、新型太陽電池の測定結果の検証が可能となった。
	増額金額：　２３百万円（平成２６年４月） 課題：急激に産業や政策、市場などの環境が変化する中、今後の研究開発指針を検討・策定するためには、世界の主要各国の研究開発動向だけでなく、太陽光発電を巡る環境の変化についても把握することが必要になった。 内容：ＮＥＤＯからの要請により、平成 26 年度は、国際エネルギー機関・太陽光発電システム研究協力実施協定（IEA PVPS）プログラムの「タスク 1：太陽光発電システムの動向分析と情報発信」の専門家会議およびサブタスク活動等への参画及びタスク 1 の活動を通じた調査を追加実施した。 効果：IEA の場での研究開発国際協力活動への日本としての貢献を果たすと共に、広く先進諸国間の研究協力を推進することができた。
	増額金額：　１９百万円（平成２６年１０月） 課題：急激に産業や政策、市場などの環境が変化する中、我が国の太陽光発電産業の国際競争力強化と世界展開を促進することが焦眉の課題となり、今後の研究開発指針を検討・策定するためには、重点的・優先的開発課題の精査及び取り組み強化が急務となった。

	内容：ＮＥＤＯからの要請により、国内外の市場動向、普及施策動向、太陽光発電システム等の普及動向等に関する詳細な調査を実施した。 効果：将来にわたる普及拡大と産業育成に向けた我が国の研究開発施策に資する調査ができた。
	増額金額：　５百万円（平成２６年１０月） 内容：新加速試験法の検討に、光照射/DH 複合試験、PID 新規試験を追加で実施する。 効果：屋外曝露を再現する劣化要因を抽出し、PID 現象のメカニズム解明に役立った。

2.3.3　追加応募の実施

世界の太陽光発電市場の急拡大に伴い、世界規模で熾烈な開発競争が繰り広げられている。世界競争に打ち勝っていくための競争力を高めるため太陽電池の更なる高効率化・低コスト化に加え、太陽電池に係る新たな部材の開発等に取り組む必要が生じた。そこで、２０１２年6月に１３．８億円（契約予定額[平成 24 年度分]）の追加公募を実施し、重要課題の７件を採択した。

【追加公募】

太陽電池種類	内容
結晶シリコン太陽電池	事業名：超低コスト高効率Ａｇフリーヘテロ接合太陽電池モジュールの研究開発 実施者：（委託先）株式会社カネカ（再委託先）独立行政法人産業技術総合研究所
	事業名：銅ペースト量産化技術と試験・評価方法に関する研究開発 実施者：（委託先）ナミックス株式会社（委託先）独立行政法人産業技術総合研究所
	事業名：赤外線ＦＺ法によるN型四角形状シリコン単結晶育成方法の研究開発 実施者：（委託先）株式会社クリスタルシステム（委託先）国立大学法人山梨大学
CIS 等化合物系太陽電池	事業名：CIGS 薄膜太陽電池モジュールにおける低コスト化技術の開発 実施者：（共同研究先）ホンダソルテック
	事業名：ＣＺＴＳ薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発 実施者：（委託先）昭和シェル石油、産業技術総合研究所、鹿児島大学、筑波大学、龍谷大学 （再委託先）東京工業大学、立命館大学
共通基盤技術	事業名：次世代長寿命太陽電池モジュールの研究開発 事業者：（共同研究先）日清紡ホールディングス株式会社、ポリプラスチックス株式会社
	事業名：ドレスト光子利用太陽電池技術の研究開発 事業者：（委託先）ナノフォトニクス工学推進機構、三菱化学株式会社、東京大学

2.3.4　他のプロジェクトとの連携促進

相乗効果を期待して、有機太陽電池分野について他のプロジェクトと下記の連携を行った。

○「最先端研究開発支援プログラム-低炭素社会に資する有機系太陽電池の開発」と適切な分担と連携を行った。また国際シンポジウムを相乗りで実施し、相互討論を促進した。

○軽量・フレキシブル性といった設置特性、弱い光や、浅い入射角でも発電するといった発電特性、透明性やカラフル性といったデザイン特性を活かして、これまで太陽光発電の導入が進んでいない分野での市場開拓を狙うことを主眼とし、平成２４年度から「有機系太陽電池事業化先導技術開発」を開始。本プロジェクトからは、シャープ、フジクラが参画し、実製品ベースの太陽光発電システムを開発、実証をすることで、用途開拓を進めた。

○有機太陽電池の性能評価法・耐久性評価法の開発とその国際標準化については、本プロジェクトの評価技術開発チームと最先端研究支援プログラムの計測・標準化分科会とが相互で連携した。

2.4 研究開発の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性

○中間評価終了後、評価結果に対する対処方針の確認と、各実施者の実用化・事業化に向けた計画の再確認を行った。結果、基本計画の目標達成や実用化の見通しが確認できなかったテーマについては、事業を終了した。

○グンゼ株式会社、桐蔭横浜大学、山形大学の「フィルム型軽量低価格色素増感太陽電池の研究開発」において、フィルム基板上への色素増感太陽電池の形成は高温プロセスを用いることができず、密着性が得られない等の理由で、ガラス基板上と同等の変換効率を得ることが非常に難しいことがわかった。フィルム基板上で変換効率 6%以上の特性を得られたことは他機関での検討と比較しても高いレベルにあり、大きな成果であったが、中間評価時に本プロジェクトの最終目標である変換効率 10%達成の見通しが得られなかったこと、また、グンゼ株式会社の事業化計画の見直しもあり、平成 25 年度末をもって本テーマは終了することとなった。

３．情勢変化への対応

○発電量予測技術開発において、平成２３年度までの成果として、日射量から結晶シリコン太陽電池モジュールの発電量を５％以内の精度で予測可能とするなどの成果が得られた。また、昨今の太陽光発電への期待や全量買い取り制度の施行に伴い、発電量予測に対する需要が急激に高まっている。これらを受け、産業技術総合研究所に対して予算を３１百万円増額し、膨大なデータ処理を必要する気象パラメータの分析を高速に処理する分析装置を導入することにより、発電量予測モデル構築のための研究開発を加速させた。

○世界の太陽光発電市場の急拡大に伴い、世界規模で熾烈な開発競争が繰り広げられている。世界競争に打ち勝っていくための競争力を高めるため太陽電池の更なる高効率化・低コスト化に加え、太陽電池に係る新たな部材の開発等に取り組む必要が生じた。そこで、２０１２年６月に１３．８億円（契約予定額[平成 24 年度分]）の追加公募を実施し、重要課題の７件を採択した。

○『ペロブスカイト太陽電池』は2009年に桐蔭横浜大学 宮坂力教授らのチームがペロブスカイト結晶の薄膜を発電部に使用、太陽電池として動作することを突き止めた。当初は発電効率が低くそれほど注目されなかったものの、2012 年に米科学誌『サイエンス』に“10.9%”の発電効率を実現したと発表したことから世界中で研究されるに至った。本プロジェクトにおいてもペロブスカイト太陽電池は、変換効率・コストの観点から、有力な次世代太陽電池候補であるとし、平成 26 年度よりプロジェクトの一環として検討を行った（パナソニック株式会社、早稲田大学）。内容としては、ペロブスカイト太陽電池の懸念点である耐久性面の改善を主眼とし、85℃保存試験、85℃85%RH 試験、耐光試験を実施し、熱・湿度・光による劣化の有無を評価した。また、劣化が生じた場合には、劣化部材を特定し改善方策の抽出を行った。以上を通して、耐久性面からの実用化可能性を実証した。

○市場のコスト削減圧力が想定よりも速い事から、平成 26 年度最終目標を、30cm 角程度のサブモジュール変換効率 18%に加えて、CIS 系光吸収層を 20%薄膜化した低コストサブモジュール変換効率 17.5%という目標を追加した。

４．中間評価結果への対応

●総論

	問題点・改善すべき指摘点	その後の対応
総合評価	本事業は、実用化研究が大きな目標の一つである。ロードマップではコスト目標が明示されているにも関わらず、コストに関する説明が少なく、本来の意味で目標が達成されているかどうか判断できない。太陽光発電を実用化するためには、変換効率の向上もさることながら、コスト面での評価もより積極的に行う必要がある。【1】 太陽電池に対する国民の期待が大きい中、モジュールの生産量、価格では、新興国に負けている現状を反省し、新たな目標設定と戦略を講じる必要がある。従来通りの技術開発さえしていれば勝てるとした考え方から、あるべき姿を想定して、世界に通用する「実用化」技術の開発をどのように行うか、今後の計画の見直しが必要であろう。【2】	【1】事業実施者との間で、コストに関する情報交換、議論を強化。開発目標がコスト低減に及ぼす効果を精査し、可能な限り実施計画に反映した。 【2】状況の変化を踏まえ、技術開発の指針としていた太陽光発電ロードマップ（ＰＶ２０３０＋）の見直し作業に反映した。新たな技術開発戦略は、「太陽光発電開発戦略　NEDO PV Challenges」として平成 26 年 9 月に公表した。同戦略と本プロジェクトの開発成果は、平成 27 年度事業に反映されている。
事業の位置付け・必要性	太陽光発電の研究動向は世界的に見て大きく変動し、また、産業も大きく変化している。この分野で日本の国際競争力を高めるためには、技術レベルが世界的に見てどの辺にあるかの自己評価をするとともに、今後の方向性をより明確にしていく必要がある。【3】 特に、変換効率の向上もさることながら、生産コストの評価も、より積極的に行う必要がある。【4】	【3】引き続き、産業動向、技術動向の把握に努め、自己評価を進め、実用化等、成果の最大化が期待できるテーマの加速（増額）、実用化の見通しが立たないテーマは中止する等、平成 25 年度以降のマネジメントに反映した。 さらに、前述のとおり新たな技術開発戦略の策定にも反映した。 【4】【1】に同じ。
研究開発マネジメント	太陽光発電技術の研究動向は世界的にも大きく変化している。また、日本の社会的状況もこれまでに経験したことのない変化があった。このような状況の中では、開発目標の設定や研究の進め方は柔軟に変えていくことが必要である。 本プロジェクトでは、急速な内外の技術動向、市場動向に対する成果の事業化戦略や知財マネジメントの方針には明確さがやや欠けている。【5】 太陽電池の研究開発では低コスト化が非常に重要であり、生産コストの評価も、より積極的に行う必要がある。【6】 変換効率は目標値の設定としては分かりやすいが、実際の技術は、コスト、プロセスの簡便性、また既存の製造技術との互換性など、実用化や産業化において検討すべき事項が多々ある。変換効率ばかりでなく、開発すべき技術、開発している技術を多面的に捉えていくことが必要である。 細かい数字をクリアしたかしないかだけで過度に評価しすぎると、本質的な研究開発の進捗を妨げることになる。数値化できないものに対する正当な評価も必要。単に数値目標のクリアばかりを考えるのでなく、研究開発の本質的進展を見据えたマネジメントが必要である。【7】	【5】引き続き、産業動向、技術動向の把握に努め、自己評価を進めるとともに、各実施者の実用化・事業化計画を確認し、実施計画に反映した。 【6】【2】に同じ。 【7】中間評価前からテーマに応じて変換効率以外の目標も設定していたが、実施者と議論し、さらに多面的な目標設定に努め、実施計画に反映した。

	問題点・改善すべき指摘点	その後の対応
研究開発成果	世界的水準に達している成果についても、成果が世界の研究開発動向からみてどの位の位置に位置づけられるか、また、どのようなインパクトがあるかについて、自己評価や説明が不足している。目標を達成にとどまらず、その成果を今後どのように活用し、それをどのように発展させるかについての展望を今後明確にする必要がある。 更に、目標未達成、あるいは、その手前にある課題については、具体的な解決の道筋を明らかにする必要がある。【8】なんとかなるという楽観論も研究には必要であるが、本事業は実用化が大きな目標であり、多くの国民が注目している事業であるため、このままではなんともならないかもしれないという危機感を持って今後の解決策を真剣に検討して頂きたい。 コストに関する試算結果がほとんど明示されておらず、その意味でロードマップ通りのコストが達成される見込みがあるか不明である【9】。	【8】【5】に同じ。 【9】【1】に同じ。
実用化・事業化の見通し	コストダウンや事業化また経済効果等の見通しについては、全体的に状況の把握が不足している。これまで、ナンバー１の地位を保っていた日本の技術も、既にその地位から陥落し、危機的な状況にある。このような状況の中で、当初の目標も含めて、研究計画の変更や修正も必要である。【10】 大量普及を使命としている太陽電池にとって、低価格化が事業化の根本である。そういった観点から、部材の生産コスト低減のための技術開発はもとより、高性能化による発電単位量当たりでのコストダウンをはかるための革新的製造プロセスの技術開発も、検討する必要がある。【11】	【10】【1】及び【2】に同じ。 【11】高性能化と低コスト化の両方の視点で開発を推進するようマネジメントした。また、革新的技術については、「革新的太陽光発電技術研究開発」等の他の事業の進捗も踏まえ、検討を進めた。その結果は、また、新たな技術開発戦略「太陽光発電開発戦略　NEDO PV Challenges」や平成 27 年度事業に反映されている。
今後に対する提言	太陽光発電は、現在非常に重要な開発課題であり、日本が世界をリードして技術を開発するためには、今後もこの研究開発を加速する必要がある。世界情勢を把握し、技術の将来性を正確に評価して、メリハリの利いた経費配分や研究テーマの選択が必要であり、類似の研究テーマ、基盤的な研究開発テーマの統合など実施体制や目標値の設定を見直すなど自助努力もあってしかるべきである。得られている成果がどれくらいの技術レベルにあるのか、世界の研究動向や技術レベルを調査し常に意識して、将来挽回するための戦略、道筋を明確にして、開発目標を高く引き上げておくことが必要である。【12】 本件は、コンソーシアムを形成して、民間企業間や産学の研究連携を推進しているが、このような連携においては、知的財産権の管理が重要となるであろう。連携の幅を広げ、また連携の成果を出していくためには、知財管理の運用体制を強化する必要がある。また、このプロジェクト成果を基盤に国際標準化やリサイクルに関する法規制の推進に繋がる提案となることを期待する。	【12】【1】、【3】、【5】、【7】に同じ。

	問題点・改善すべき指摘点	その後の対応
研究評価委員会コメント	全体コストを見るというのは、どうしてもマーケットで競争するとなれば避けられない話である。NEDOプロジェクトについても、NEDOは妥当なモデルを設定し、そういうモデルの中で少なくとも標準的な計算をすると資本コストはこうなる等のセンシティビティアナリシスぐらいのことをして、マネジメントに生かすべきである。【13】	【13】【1】、【2】、【7】に同じ。

●個別テーマ

（イ）結晶シリコン太陽電池

	問題点・改善すべき指摘点	その後の対応
成果ならびに実用化・事業化の見通しと今後に対する提言	市場の動向や価格下落による国内メーカーの競争力低下を考えた場合、挽回する為のシナリオや斬新性、革新性が見えにくい。材料などの削減により、多くの低コスト化技術が開発されているが、変換効率を向上させる技術はコストアップにつながる可能性が高い。 現時点の技術的問題点と実用化への課題解決法を速やかに抽出し、今後の開発計画の見直しに反映して、本事業の成果を一年でも早く実用化に結びつける必要がある。【20】	【20】【1】、【3】、【5】に同じ。 コンソーシアム内にとどまらず、コンソーシアム外のテーマとも協力体制を構築し、実用化・事業化の早期実現に向けた研究開発を実施した。 事業化・実用化が難しいテーマ、課題解決策が明確でないテーマについては平成 24 年度で研究開発を中止とし、テーマ数を 4 から 2 に絞り込んだ。 さらに、高性能太陽電池の低コスト化が期待できるテーマ 3 件を追加公募で採択。

（ロ）薄膜シリコン太陽電池

	問題点・改善すべき指摘点	その後の対応
成果ならびに実用化・事業化の見通しと今後に対する提言	薄膜 Si 太陽電池の場合は、特に結晶 Si 系と比較してコストダウンが不可欠であるが、タンデム化と光閉じ込めの最適化等のこれまでの延長線上の開発を継続してもコスト競争力のある薄膜 Si 太陽電池製造プロセスを確立できるのかは不明である。また、変換効率が向上しても光劣化によるパフォーマンス低下の問題は今後も大きな研究課題である。 いずれのテーマもこれまで長年研究してきたものであり、これらの課題に対し、具体的にどのような対策を立てるかを明確にする必要がある。【30】 市場競争力を高める戦略を考えてほしい。【31】当該分野を推進し、グローバルに通用する商品、技術となりうるのか、世界や日本の太陽電池市場を変革できる力強さが見えない。	【30】薄膜 Si 太陽電池の可能性を見極めるため、一部研究開発課題を中止し、光劣化の抑制等に重点化。 【31】薄膜太陽電池事業を行っている実施者の事業化計画を再確認し、テーマの絞り込みを行った。

（ハ）ＣＩＳ等化合物系太陽電池

	問題点・改善すべき指摘点	その後の対応
成果ならびに実用化・事業化の見通しと今後に対する提言	小面積ガラスセルの高効率化は中間目標を達成していないが、未達成の部分については速やかな実現、達成への課題解決、あるいは今後の開発計画の見直しに反映する必要がある。変換効率の目標値を高く設定することは研究を進めていく上で重要であり、必要なことであるが、本事業は実用化研究であり、５年間でどこまで達成できるかを冷静に判断し、目標値の見直しも検討すべきであろう。【40】 フレキシブル太陽電池については、実用化の観点から考えると、どの程度低コスト化が図られるか、また、フレキシブルであることの利点がどこにあり、どのような用途が考えられ、その市場はどのようなものか等についても、今後検討を加えるべきであろう。【41】 また集光式は、日本の気象環境下では発電特性に期待される効果が得られず、サンベルト地域を中心として海外がターゲットになろうが、集光方式は部品点数が多く、想定している将来コストを実現するのは相当困難であろう。【42】 今後、CIS で世界市場に打って出るためには、電極や保護膜等の周辺技術にも全体にレベルアップが必要であり、革新的な発想が求められる。問題点を洗い出し、コストダウンへのシナリオを描いてほしい。【43】	【40】小面積ガラスセルの高効率化の目標値が非常に高いことは認識しているが、開発の加速、大面積セル開発の牽引を期待し、目標値は据え置く。ただし、実際には、内外の技術開発動向を踏まえた現実的な研究マネジメントを行う。 【41】実施者における市場調査を強化。技術の実用化計画を具体化した。同計画にあわｗせ、軽量の特徴を生かした壁面をターゲットとしたモジュール設計を進めた。 【42】実施者の事業計画を見直した結果、事業化は困難と判断。本テーマを中止した。 【43】コストダウンの実現に向けた開発シナリオを実施者と再検討し、低コスト化の目標を追加。圧倒的な競争力を得るべく本開発（高効率化技術の研究開発）を実施している。

（ニ）色素増感太陽電池

	問題点・改善すべき指摘点	その後の対応
成果ならびに実用化・事業化の見通しと今後に対する提言	解決策として挙げられている高性能色素の開発、材料・組成の最適化などはやや不明瞭な部分があり、その有効性については未知の部分が多い。また、耐久性・安定性、また電解液の固体化などの課題を今後着実に解決していく必要がある。 今後、実用化に向けては、劣化メカニズムの解明など基礎的な領域にも力をいれるとともに【50】、入射光角度依存性が小さい、低照度での変換効率が高い等の無機系太陽電池には無い特色を活かした用途や市場、コストの面での更なる創意・工夫を強く意識した取り組みを進める必要がある。【51】	【50】耐久性・安定性について 30cm 角相当のモジュールに対し JIS C8938 試験後の相対効率低下 10%以下を目標に耐久試験を行い、達成の見込みを得た。 【51】平成 26 年度から追加項目として低照度環境で効率が高いという色素増感型太陽電池の特長を活かした技術開発を追加実施した。。

（ホ）有機薄膜太陽電池

	問題点・改善すべき指摘点	その後の対応
成果ならびに実用化・事業化の見通しと今後に対する提言	有機薄膜太陽電池の特徴を捉え出口製品に対応した耐久性や価格設定など、目標設定や評価基準の見直しが必要である。【60】 有機系太陽電池の特徴は圧倒的低コスト化の可能性であり、実用化、事業化を真剣に見据えた素子構造や部材の見直しなど、もう一段ハイレベルな低コスト化のための技術戦略が欲しい。 また、大幅な性能向上を目指し、効率の向上やブレークスルーとなる技術の探索にも挑戦すべきであろう。実用化に向けて、寿命や耐久性の評価も重要である。【61】	【60】屋外での暴露試験以外に、北斜面や屋内など、低照度における耐久試験を行い、実用レベルの耐久性を確認した。 【61】IoT に用いるセンサ用電源など、新たな用途を見出し、実際に試作品を作製し、実証レベルで評価を行った。

（ヘ）共通基盤技術

	問題点・改善すべき指摘点	その後の対応
成果ならびに実用化・事業化の見通しと今後に対する提言	それぞれの技術開発の成果を、どのように個々の太陽電池開発にフィードバックしていくかが今後の課題であり、プロジェクトリーダーの今後のリーダーシップに期待したい。【70】	【70】PL と連携し、最終的な出口となるモジュールメーカーや施工業者と積極的にコンタクトをとる等、成果を太陽電池開発へフィードバックする検討を行った。

５．評価に関する事項

【中間評価】

評価実施時期：平成２４年度
評価手法：外部評価
評価事務局：評価部
評価項目・基準：「標準的評価項目・基準」
評価委員：
分科会長　　庭野 道夫(東北大学 教授)
分科会長代理 工藤 一浩(千葉大学 教授)
評価委員　　垣内 弘章(大阪大学 准教授)
評価委員　　白井　肇(埼玉大学 教授)
評価委員　　瀬川 浩司(東京大学 教授)
評価委員　　高木 晋也(株式会社NTTファシリティーズ ソーラープロジェクト本部 課長)
評価委員　　高橋 光信(金沢大学 教授)
評価委員　　富田 孝司(東京大学 特任教授)
評価委員　　廣瀬 文彦(山形大学 教授)

Ⅲ．委託テーマの成果詳細と実用化・事業化見通し

1．事業全体の成果

（イ）結晶シリコン太陽電池

表　Ⅲ-1-(イ)(1)　基本計画の達成目標と委託テーマの関係

		委託テーマ						
		A．極限シリコン結晶太陽電池の研究開発	B．マルチワイヤーソーによるシリコンウエハ切断技術の研究開発	C.太陽電池用ポリシコンのシリコン原料転換の研究開発	D．太陽電池用シリコンの革新的プロセスの研究開発	E．赤外線FZ法によるN型四角形状シリコン単結晶育成方法の研究開発	F．銅ペースト量産化技術と試験・評価方法に関する研究開発	G．超低コスト高効率Agフリーヘテロ接合太陽電池モジュールの研究開発
基本計画の達成目標	ⅰ）コスト低減結晶シリコン製造技術	○		○	○			
	ⅰ）コスト低減スライス技術	○	○					
	ⅰ）コスト低減電極形成技術	○					○	○
	ⅱ）高効率化モジュール	○						○
	ⅱ）高効率化高品位シリコン製造技術	○		○	○	○		

Ａ．極限シリコン結晶太陽電池の研究開発

最終目標	研究開発成果	達成度	コメント
ｉ）コスト低減（結晶シリコン製造技術） ・結晶シリコンを安価に製造する技術を開発し、シリコンの製造コスト等を試算する。	<新日本ソーラーシリコン> 製造コストの試算、並び、不純物の分析の結果、低コストで原料シリコン製造の可能性を明らかにした。 具体的には、純度 99%以下の国産原料を 99.5%以上に精製できること、及び、本原料が低コスト Si 原料として使用できることを明らかにした。	◎	
ｉ）コスト低減（スライス技術） ・100μm ウェハを歩留 95%以上で加工可能なこと。カーフロス 100μm で加工可能なこと	<コマツ NTC> ダイヤモンド固定砥粒マルチワイヤ法により、ウェハ厚 100μm（歩留 95%以上）、カーフロス 75μm を達成した。	◎	
ⅱ）高効率化（モジュール） ・厚さ 100μm 程度、15cm 角において、セル変換効率 25%以上、モジュール変換効率 20%以上	<シャープ> セル変換効率は世界最高効率に迫る 25.1%（一般財団法人電気安全環境研究所による測定）を得た。バックコンタクトならではの高い短絡電流値、ヘテロ接合ならではの高い開放電圧値を得ており、ヘテロ接合バックコンタクト構造が 25%を超える高いセル変換効率を実現できる構造であることが実証でき、本開発の最も大きな目標であった、セル変換効率 25%を達成することができた。 また、モジュール変換効率も同様に開発目標である 20%以上を達成した。しかしながら、セルサイズ、セル厚さの同時達成は未達となった。	セル変換効率：○ モジュール効率：○ セルサイズ：× 基板厚さ：×	事業化に向けた開発を引き続き継続する中で、セルの大面積化とセル厚さの最適化を図る。セル厚さについては、特性と歩留まりを含めたコストとのバランスの中で最適な厚さでの事業化を目指す。

ⅱ）高効率化（高品位シリコン製造技術） キャリア寿命 400μsec（拡散長約 2mm）以上	<NIMS、九州大学> シングルシードキャスト法を考案。実証炉において 50cm 角のモノシリコン結晶を育成させ、ライフタイム最高 465μsec を達成した。 <名古屋大学> デンドライト組織を制御したインゴットにおいて最大 480μsec、平均 230μsec を達成した。	○	

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：△、　未達：×

Ｂ．マルチワイヤーソーによるシリコンウエハ切断技術の研究開発

最終目標	研究開発成果	達成度	コメント
ⅰ）コスト低減（スライス技術） ・カーフロス 120μm 未満、または、カーフロスを生じない新たな製法開発	カーフロス ＜ 120μm	○	

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：△、　未達：×

Ｃ．太陽電池用ポリシリコンのシリコン原料転換の研究開発

最終目標	研究開発成果	達成度	コメント
ⅰ）コスト低減（結晶シリコン製造技術） ・結晶シリコンを安価に製造する技術を開発し、シリコンの製造コスト等を試算する。	・シリカ塩化の生産性 0.7 トン-$SiCl_4/m^2/h$ 以上 シリカ塩化反応において、生産性は 0.79 に達し、さらに、高効率化試験においては、0.88 の値を得た。	◎	
ⅱ）高効率化（高品位シリコン製造技術） ・四塩化珪素の品質 純度 6N 以上 ・シリコン単結晶の品質 10Ωcm 以上	・四塩化珪素を精留し分析した結果から、純度は 99.9999%以上（6N 以上）なった。 ・シリコン製造装置により、精留四塩化珪素からシリコンを製造し、単結晶評価を行った結果、N 型で 30Ωcm の抵抗値を得た	○	

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：△、　未達：×

D．太陽電池用シリコンの革新的プロセスの研究開発

最終目標	研究開発成果	達成度	コメント
ｉ）コスト低減（結晶シリコン製造技術） ・結晶シリコンを安価に製造する技術の開発 B・Pが 1ppm 以下の SOG・Si が 2000 円/kg 以下で製造する技術を開発する	・高純度原料の開発 目標純度（B,P<1ppm）を満たす原料を開発し、その量産技術（3.6t/年）を確立した。モデルプラントを設計し、製造コストを試算し、課題を明確にした。 ・シリカの直接還元プロセスの開発 ①シリカ、炭素の混合比の最適化を行い、②ハイブリッド加熱法の開発に成功した（1900℃以上）③従来方法より高い収率で Si を製造できることを確認 ・Si 精製プロセスの開発 フラックス中に P を還元する新手法を開発し、酸リーチング処理との組み合わせるで、脱 P 率 98%、脱 B 率 63%～86%を達成した。	○	

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：△、　未達：×

E．赤外線 FZ 法による N 型四角形状シリコン単結晶育成方法の研究開発

最終目標	研究開発成果	達成度	コメント
ii）高効率化（高品位シリコン製造技術） ・直径 200mm、長さ 500mm の丸型シリコン単結晶育成方法確立	・直径 100mm、長さ 300mm の育成に成功 直径 125mm、長さ 30mm の育成に成功。	△	大口径化に対する改善課題と育成メカニズムを明確したので、目標達成への目途は付けられた。
・従来引上げ法に比べてコストが 40%以下（p 型並み） ・導電型 n-型および p-型 ・中心比抵抗 15Ωcm、長手方向分布 15%、面内 12%範囲内 ・ライフタイム 1msec 以上 ・酸素成分濃度 1×10^{17}、炭素成分濃度 2×10^{16}atoms/cm^3 以下 ・転位密度 0 ケ/cm^2	・コストは 5～20Ωcm で半分以下、10～14Ωcm で 1/4 以下。 ・n-型、p-型を制御した育成に成功 ・中心比抵抗 15.5Ωcm、長手方向分布≦13.6%、面内方向≦9.3% ・ライフタイム 1832μsec ・酸素成分濃度：装置検出限界(1.51×10^{16}以下)、炭素成分濃度：装置検出限界(0.83×10^{16}以下) ・転位密度 0 ケ/cm^2	◎	

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：△、　未達：×

F．銅ペースト量産化技術と試験・評価方法に関する研究開発

最終目標	研究開発成果	達成度	コメント
ｉ）コスト低減（電極形成技術） (1)焼成型 ・処理条件:窒素雰囲気下で900 ℃以下、電気特性:曲線因子 0.7 以上、半田付け強度:2N 以上	(1) 焼成型 ・処理条件:650 ° C 焼成で 3×10^{-6} Ω cm、曲線因子:0.6N、半田強度:1N	×	室温での Cu 拡散が大きな問題
(2)熱硬化型 ・処理条件:200℃、30min、比抵抗値:5～10 × 10^{-5} Ω cm、電気特性:曲線因子 0.78 以上、半田付け強度:1.5N 以上	(2) 熱硬化型 ・処理条件:200℃、30min、比抵抗値: 8×10^{-6} Ω cm 曲線因子:0.7994、半田付け強度 1.6N	◎	プロジェクト開始時から銀価格下落し、現時点での価格では 1/2 まで圧縮できない。
・コスト目標:銀ペーストの 1/2		△	

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：△、　未達：×

G．超低コスト高効率 Ag フリーヘテロ接合太陽電池モジュールの研究開発

最終目標	研究開発成果	達成度	コメント
ⅱ）高効率化（モジュール） ①6 インチ角超薄型 Ag フリーヘテロ接合太陽電池セルにて変換効率 24%	6 インチヘテロ接合太陽電池セルにおいて 24.5%達成 した(6 インチセル世界最高効率)。 更に本技術を活用することで、最終目標を大幅に上回る変換効率 25.1%を達成した（両面電極構造結晶シリコン太陽電池セルにおいて世界最高効率)。 （いずれも第三者機関での認証測定）	◎	
②Ag フリーヘテロ接合太陽電池モジュールにて変換効率 22.5%	Ag フリーヘテロ接合太陽電池モジュールにて変換効率 22.5%達成した（世界最高水準)。（第三者機関での認証測定）	○	

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：△、　未達：×

（ロ）薄膜シリコン太陽電池

表　Ⅲ-1-（ロ）(1)　基本計画の達成目標と委託テーマの関係

		委託テーマ		
		A．次世代多接合薄膜シリコン太陽電池の産学官協力体制による開発（高効率化）	B．高度構造制御薄膜シリコン太陽電池の研究開発	C．薄膜シリコンフィルム太陽電池の高速製膜技術の研究開発
基本計画の達成目標	ⅰ）高効率化	○	○	
	ⅱ）製造コスト低減			○

Ａ．次世代多接合薄膜シリコン太陽電池の産学官協力体制による開発

最終目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
高効率化（a-Si:H セル） 安定化効率 12%以上	安定化効率 10.2%（世界最高効率） （最少劣化率 2.4%@効率 8.9%） (J_{sc}:17mA/cm2@効率 9.65%)	△	・a-Si:H に適した光閉じ込めによる高 J_{sc} 化 ・a-Si:H 製膜プロセスの改良による光劣化抑制
高効率化（μc-Si:H 或いはμc-SiGe セル） 短絡電流 35mA/cm^2 以上	ハニカムテクスチャ(HC)基板を用いた nip 微結晶 Si セルで 短絡電流 32.9mA/cm^2、 QE 積分値 34.0mA/cm^2 (変換効率 11.8%（世界最高効率))	△	・μc-Si:H の高品質化 ・光閉じ込め技術の高度化
高効率化（多接合セル） 小面積安定化効率 15% (30×40cm^2 製膜プロセスで 14%相当)	a-Si/μc-Si タンデムセル安定化効率 12.7%（世界最高効率） a-Si/μc-Si/μc-Si トリプルセル安定化効率 13.6%(世界最高効率)	△	・a-Si:H セルの高効率化 ・中間層の高性能化による高 J_{sc} 化 ・多層セルバランス（多層構造）の最適化
大面積高生産性（マルチロッド電極） 現行スループットの 2 倍以上で微結晶 Si シングルセル効率 10%以上	ハニカムテクスチャ(HC)基板を用いた nip 微結晶 Si セルで効率 11.8%@製膜速度 1.0nm/s（小型機の 7 倍)	◎	
大面積高生産性（新規カソード電極） G8.5 サイズで採用可能な条件にて、製膜速度 2nm/s 超で実用的セル特性達成	膜厚均一性±8.56% 製膜速度 2.08nm/s 既存 40MHz 装置と同等のセル特性 世界初の定在波フリーVHF プラズマ源を実現	○	

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　　達成見込み：△、　　未達：×

Ｂ．高度構造制御薄膜シリコン太陽電池の研究開発

最終目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
・実用化サイズモジュール（モジュールサイズ１４２０×１１００ｍｍ）にて安定化後 ２００Ｗ	**（主成果）** 世界で初めて中間層を有する大面積 3 接合モジュール(a-Si/中間層/a-SiGe/中間層/μc-Si）を**量産機にて作成し、1420×1100ｍｍ：初期 184W（AIST 測定）を達成。** **（開発技術）** ・透明電極の凹凸形状を制御することで、光散乱方向の角度依存性を明確化。 ・ガラス表面凹凸構造により 1420×1100mm サイズの 3 接合モジュールにて 3%向上。 屋外評価の結果、低入射角の光を多く取り込む効果を確認。	○	**（成果の意義）** 実用化可能な技術レベルの大面積 3 接合モジュールの作成を量産機にて実証したこと。 **（課題）** ・光劣化抑制による大面積モジュールの安定化出力改善 ・光閉じこめによる電流向上に加えて、発電層の性能およびプロセス改善による電圧、F.F.の向上。

	・500mm□内での均一インプリント技術の確立。 ・新規欠陥低減処理により、3 接合セルの光安定化後保持率が 98%に向上。(処理無し 93%) ・2 接合セルにて、ボトム膜厚 1μm で Voc1.47V 効率 13.2%を達成。(電流 12%向上) **(波及効果)** **・本研究を通じて得た薄膜シリコン層による結晶シリコン表面のパッシベーションの改善によりヘテロ結合結晶シリコン太陽電池の変換効率 25.1%の達成に貢献**		**(今後の方向)** 初期性能と高い光安定性を両立したセルベースでの技術開発。薄膜系材料の開発。

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：△、　未達：×

C．薄膜シリコンフィルム太陽電池の高速製膜技術の研究開発

最終目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
①フィルム基板上にシリコン系薄膜を積層した多接合太陽電池において、変換効率が 14%以上（初期）または 13%以上（安定化）とする。このときの製膜速度を結晶質シリコン系薄膜で 2.0nm/s 以上、非晶質シリコン系薄膜で 0.67nm/s 以上とする。	①フィルム基板上にアモルファスシリコン（a-Si:H）と微結晶シリコン（μc-Si:H）のセルを積層した多接合太陽電池において、3 接合太陽電池で初期効率 12.6%、安定化効率 11.6%を得た。このときの a-Si:H の製膜速度は 0.83nm/s、μc-Si:H は 2.0nm/s である。	△	・a-Si:H セルの高効率化 ・トンネル接合層の低抵抗化 ・透明電極の低抵抗化/透明化 ・電流マッチング
②このために、結晶質シリコン系単接合太陽電池において、その発電層の製膜速度が 2.0nm/s 以上で変換効率を 9.5%以上とする。	②フィルム基板上のμc-Si:H 単接合太陽電池において、製膜速度を 2.2nm/s として変換効率 9.5%を得た。	○	

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：△、　未達：×

（ハ）CIS・化合物系太陽電池

表　Ⅲ-1-（ハ）(1)　基本計画の達成目標と委託テーマの関係

		委託テーマ				
		A. CIS 系薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発	B. CZTS 薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発	C. フレキシブル CIGS 太陽電池モジュール高効率化研究	D. CIGS 薄膜太陽電池モジュールにおける低コスト化技術の開発	E. 反射式集光型太陽光発電システムの研究開発
基本計画の達成目標	ⅰ）ＣＩＳ系高効率化	○	○	○		
	ⅱ）ＣＩＳ系製造プロセスの開発				○	
	ⅲ）集光型太陽電池の低コスト化開発					○

A．CIS 系薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発

最終目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
1） サブモジュール変換効率向上 目標：サブモジュール効率 18%	サブモジュール効率 18.3%	○	
[追加目標] 2） 低コスト化技術の確立（20%薄膜化） 目標：サブモジュール効率 17.5%(20%薄膜化)	サブモジュール効率 17.8% (30%薄膜化)	○	
[再委託目標] 3） セル変換効率向上 目標：セル効率 25%	セル効率 20.9% (25%へ向けた要素技術確立)	△	「高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発」プロジェクトで要素技術を合算

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：△、　未達：×

B．CZTS 薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発

最終目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
1） サブモジュール変換効率向上 目標： サブモジュール効率 13%	サブモジュール効率 11.8% (2 年半で約 3%の向上)	△	サブモジュール、セル共に同様の課題を有しており、開放電圧向上が必要。
2） セル変換効率向上 目標： セル効率 15%	セル効率 11.9% (ボトルネック特定)	△	

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：△、　未達：×

C．フレキシブル CIGS 太陽電池モジュール高効率化研究

最終目標		研究開発成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
課題１：30cm□フレキシブル CIGS 集積型モジュールで変換効率 18%以上を達成する		作成プロセスの構築は（下記(a)）は完了したがこの工程で作成した集積型太陽電池の性能確認に至っていない。	×	インジュウム法規制に伴う設備対応が必要。
(a)	Roll toRoll プロセス開発（アルバック/富士フイルム） ・真空成膜装置開発（アルバック） ・レーザスクライブ装置開発および処方設計（富士フイルム）	Roll toRoll による CIGS 層、Na 供給層、裏面電極層を形成する製膜装置の開発およびプロセス構築まで完了し、以下の素子性能を確認した。 (1)変換効率　13.6%（ 3cm 金属箔基板)、 (2)変換効率　11.5%（ 3cm□ポリマー基板） ※成膜レートを 0.04 μm/min（ﾊﾞｯﾁ蒸着機）⇒0.13μm/min までの高速化達成	○	研究目標達成により終息する。
(b)	CIGS 層の高速製膜・高性能化プロセス開発、および Na 供給層のプロセス開発（富士フイルム/産総研）	課題に対する各種処方検討を行い下記の性能を達成した。 絶縁層付金属箔基板 ①10cm□　効率 15.9% ② 3cm□サイズ　効率 18.1% ポリマー基板 ① 10cm□　　効率 7.3% ② 3cm□　　効率 14.1%	×	インジュウム法規制に伴う設備対応が必要。
(c)	フレキシブル基板上でのスクライブ技術開発 （富士フイルム/産総研）	Mo 下地電極レーザスクライブ条件を見直し加工損傷による電流リーク量を 10-6A/cm2 から太陽電池変換効率に影響を及ぼさない 10-8A/cm2 まで抑制した。	○	研究目標達成により終息する。

(d)	バッファー層形成技術 確立 （富士フイルム） ・30cm□バッファー層形成技術 ・Cd フリーバッファー層形成技術	30cm□サイズでの面内バッファー層膜厚分布を±15%以下に抑えることがでた。この分布による変換効率のバラツキは0.5%以下である。 Zn（O,S)系バッファー層材料設計を完了し、CdS バッファー層素子同等の変換効率 17.4%（ 3cm□サイズ）のセル性能を達成した。	○	
(e)	軽量封止モジュール技術（富士フイルム）	当社ガスバリアフィルムを用いることより、ガラス使用モジュールと比べ遜色ない、ポリカーボーネート 軽量モジュールの耐候性、耐久性を実現した。 (1)1000H 85℃、85%（IEC61730 規格指定条件）にて、変換効率の低下がないことを確認し、バリアフィルムの有効性を実証した。 (2)IEC61646 規格検証項目の内、ポリカーボネート導入に伴う耐性項目（紫外線劣化、ヒートショックを重点的に確認し規格を満たしていることを確認した。	○	

CIGS 高効率化技術の開発		禁制帯幅 1.4～1.5eV のワイドギャップ CIGS 太陽電池の高効率化を目指すにあたり、粒界・欠陥・界面・表面を評価、損失要因を解明	○	研究目標達成により研究は終息する。
(f)	高効率化のための基本指針明確化（産総研）	(1)CIGS/バッファー層界面近傍の CIGS 層に K（ｶﾘｭｳﾑ）添加により n 型化を促進したここと で変換効	○	

		率 20.6%（小面積セル、in-house 測定）を達成。 (2) ワイドギャップ CGS 太陽電池の変換効率は 11.0%であり、世界最高効率である。 (3) 2cm□集積モジュールで 18.3%の変換効率を達成した。		
(g)	CIGS 結晶欠陥の検出・同定と欠陥低減化技術の開発（筑波大）	0.8eV 欠陥が再結合中心となることを明らかにした。この欠陥抑制により 2%程度の変換効率向上が見込める。	○	
(h)	界面・粒界・縦貫断面電子構造評価・制御技術の開発 （鹿児島大）	(1)Zn（O,S）バッファ層は高 S/（S+O）比により電子障壁が形成されることを解明し、この比率を低減化することで障壁低減により更なる高効率化が期待できることを確認した。 (2) ポリマー基板素子の CIGS 膜中には組成揺らぎによるカルコパイライト系電子構造が認められ界面接続には Ga 濃度低減等が必要であることを示した。	○	
(ⅰ)	新規ﾊﾞｯﾌｧ層材料のｳｪｯﾄﾌﾟﾛｾｽによる形成技術の開発 （豊橋科技大）	Zn (O,S) 系バッファー層形成に関する処方、プロセス開発を完了した。	○	

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：△、　未達：×

D．CIGS 薄膜太陽電池モジュールにおける低コスト化技術の開発

最終目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
①Se 化技術開発 ガス低減量限界値の見極め（1.7 円/W 削減）	・H2Se ガスの供給量は従来のプロセスの 83%以上でカルコパイライト構造が保てること。 ・セレン化条件を従来から 114%に高温化すると CIGS 薄膜表層で Ga/Ⅲ元素比が高くなること。 これらの 2 つのセレン化条件の最適化により、2.16 円/W 削減可能なプロセスを確立した。	◎	
②バッファ層成膜技術開発 薬剤使用量低減限界値見極め（1.3 円/W）	・本研究では使用する薬品量を低減させることで、量産条件に対して 50%のコスト削減を目標とした。使用薬品量とバッファ層膜厚には相関があり、従来製法に対し 70%の薬品量で同等の太陽電池特性が得られ、1.4 円/W 削減見込みを確立した。	○	
③吸収層薄膜化技術開発 P3 レーザー選定完了（レーザー種、加工条件）	・CIGS 光吸収層薄膜化の実現に向けた要素技術として、P3 パターニング工程のレーザー化検証を行った。低価格なレーザー種を選択し、レーザー出力、ラップ幅の最適な条件を検証した。その条件を大面積基板でテスト加工し太陽電池性能評価を実施したところ、量産品と同等の太陽電池特性が得られる加工条件が得られた。	○	
④モジュール構造開発 6.48 円/W コストダウンした実大モジュールでの耐久性確認	・低コストモジュールの実現のために、端部封止レスで耐候性を有するモジュール構造の開発を行った。試作したモジュールは JIS 規格に基づき、高温高湿試験・温度サイクル試験・結露凍結試験・促	○	

	進耐候試験を実施し、十分な耐候性を有していることを確認した。新しいモジュール構造では、部材・製造工程の削減などにより、従来構造に比べてモジュール製造コストを 8.16 円/W 削減可能である。		

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：△、　未達：×

Ｅ．反射式集光型太陽光発電システムの研究開発

最終目標	研究開発成果	達成度	**目標達成のために解決すべき課題**
「集光性能」 集光倍率　500 倍以上 光学効率　70%以上	 集光倍率：800 倍 光学効率：80%	◎	
「発電コスト」 設備コスト 4 億円/MW 発電コスト 23 円/kWh	 4 億円/MW 23 円/kWh	○	
「耐久性」 国内実証試験 半年間連続運転	 岡山県内試験場にて実施 平成 24 年 7 月より 25 年 2 月まで	○	

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：△、　達成不可：×

（二）色素増感太陽電池

表．Ⅲ-1-(ニ)(1)　基本計画の達成目標と委託テーマの関係

委託テーマ				
		A．ガラス基板型色素増感太陽電池（電圧型）の研究開発	B．ガラス基板型色素増感太陽電池（電流型）の研究開発	C．プラスチック基板型色素増感太陽電池の研究開発
基本計画の達成目標	ⅰ）高効率化	○	○	○ ただし平成 25 年度で終了
	ⅱ）モジュール化・耐久性向上	○	○	○ ただし平成 25 年度で終了

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：△、　未達：×

A. ガラス基板型色素増感太陽電池（電圧型）の研究開発

最終目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
(1)-1 高効率化（セル） セル変換効率 15%	変換効率 11.9%（1cm 角 AIST 測定）を達成。さらにその色素に対して、吸収感度の長波長化、高吸光係数化をはかり、当該色素と比べ変換効率が 1.17 倍となる色素を開発	×	※達成度に関するコメント セル変換効率 15%は未達であるが、11.9%は色素増感太陽電池の世界最高効率であり、Effiency Table に掲載されている。
(1)-2 高効率化（モジュール） 変換効率 10% （30cm 角相当）	・変換効率 10.6%達成 （5cm 角　AIST 測定） ・変換効率 10.0%達成 （20cm 角 自社測定）	◎	
(2)モジュール化・耐久性向上 JIS C8938 試験（A-2,A-5,B-2）後の相対効率低下 10%以下	・(A-2) 変換効率 10%(ap.)サブモジュール（5cm 角）で低下率 10%以内を達成 （1000h） ・(A-5) 変換効率 10%(ac.)サブモジュールで低下率 10%以内を達成（500h） ・(B-1) 変換効率 10%(ac.)サブモジュールで低下率 10%以内を達成（1000h） ・(B-2) 変換効率 10%(ac.)サブモジュールで低下率 10%以内を達成（500h）	△	A-2, B-2 試験の 30cm 角相当のモジュールでの実証。

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：△、　未達：×

B. ガラス基板型色素増感太陽電池（電流型）の研究開発

最終目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
中間目標で 11%、最終的には 13～15%の変換効率を達成する	1 cm^2 サイズのセルにおいて産総研認証値として 11.8%（世界第二位）の変換効率を達成した。自己測定では 12.45%の光電変換効率を達成した	×	※達成度に関するコメント セル変換効率 15%は未達であるが、自己測定ながら世界最高効率を上回る 12.45%の高い特性を得ている。
変換効率 10 %程度の高耐久性色素増感太陽電池モジュールの開発	JIS 耐久性実証済みの集電配線型モジュール構造にて、5 cm 角セルを試作。AIST 測定データ 10.0 %±0.4 %が Efficiency Table(ver45)に採用（FJK/TUS 共同）。	○	-

30 cm 角 DSC モジュールで変換効率 9 %以上かつ JIS 規格 C8938 の耐久性試験における相対効率低下 5 %以内の達成	・25 cm 角集電配線モジュールの耐久性向上を行い、JIS 耐久性クリア（相対効率低下 3 %） ・理科大材料を併用し、25 cm×17 cm、4 直モジュールにて η (ap) = 8.94 %、η (ac) = 9.56 %を達成。社内測定ながら Efficiency Table の DSC サブモジュール効率を更新し、世界最高値。	○	－
0.1 sun 程度の低照度条件にて、変換効率 12 %のモジュール開発	低照度下での漏れ電流抑制技術に着目し、8.5 mW/cm^2 の実環境下にて 5 cm 角モジュール η (ap) = 12.2 %達成。	○	－

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：△、　未達：×

C. プラスチック基板型色素増感太陽電池の研究開発

最終目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
①　高効率化技術の開発 ・1000cm^2 フィルムモジュールで変換効率 10%	フィルム型セル変換効率 6.65%(TiO_2 型：1cm2) 5.8%(ZnO 型：1cm2) フィルム型モジュール変換効率 4.0%(TiO_2 型：140×55cm2) 3.9%(ZnO 型：65×65cm2) 薄板ガラス型セル変換効率 8.1%(TiO2 型：1cm2)	×	※達成度に関するコメント 変換効率は 6%程度と低いが、フィルム型セルの変換効率は通常のガラス基板上セルに比べ大幅に難易度が高い。
②モジュール製造技術の開発 ・効率的な生産を見据えたモジュール製造技術の開発	プリントラミ法によるモジュール製造技術を構築。	○	
③耐久性向上技術の開発 ・JIS 規格C8938 において、初期効率低下 10%以内	温度サイクル試験　クリア 耐光性試験　500h 高温高湿試験 60℃-90%クリア 85℃-85%未達	×	・バリア性の向上 ・高耐久電解質の開発
④実証試験の実施 ・実用化に向けた課題抽出	屋外実用化を想定した住宅の窓への設置実装試験を実施し、課題を抽出。	○	

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：△、　未達：×

（ホ）有機薄膜太陽電池

表．Ⅲ-1-(ホ)(1)　基本計画の達成目標と委託テーマの関係

委託テーマ			
		D．汎用型有機薄膜太陽電池の研究開発	E．蓄電機能付有機薄膜太陽電池の研究開発
基本計画の達成目標	ⅰ）高効率化	○	○ （蓄電機能付き室内向け太陽電池のため、自主目標を設定）
	ⅱ）モジュール化・耐久性向上	○	○ （蓄電機能付き室内向け太陽電池のため、自主目標を設定）

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　　達成見込み：△、　　未達：×

A. 汎用型有機薄膜太陽電池の研究開発

最終目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
(1)セル変換効率 12%以上 (1cm 角程度)	セル変換効率 12% (1cm 角 自社測定) (AIST 測定で 11.0%)	○	
(2)モジュール変換効率 10%以上 (30cm 角程度)	モジュール変換効率 10.5%（5cm 角 自社測定) (AIST 測定で 9.7%) 9.2%（20cm 角 自社測定 (AIST 測定で 8.7%)	○	
(3)JIS規格C8938の環境試験・耐久性試験（温湿度サイクル、耐熱性、耐湿性、温度サイクル、光照射の各試験）において相対効率低下10%以内	温度サイクル試験：4%低下 温湿度サイクル試験：2%低下 光照射試験：8%低下 （照射時は 420ｎｍ以下をカット） 耐熱性試験：3% 耐湿性試験：0%	◎	

達成度→　大幅達成：◎、　達成：○、　達成見込み：△、　未達：×

B. 蓄電機能付有機薄膜太陽電池の研究開発

最終目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
（光発電） JIS C8938 試験での相対効率低下 10%以内の実現 （蓄電） 500 サイクルでの維持率 90%以上の実現	（光発電）1cm2 セルにおいて以下の耐久性を確認 ・維持率 92%@85℃1000hr ・維持率 90%@85℃85%RH1000hr ・維持率 91%@温湿度ｻｲｸﾙ 30 ｻｲｸﾙ ・維持率 91%@温度ｻｲｸﾙ 200 ｻｲｸﾙ （蓄電）5000 ｻｲｸﾙ試験で 90%の維持を実現	○	
変換効率 16%以上（屋内照度環境下）での蓄電機能付与	“変換効率 19.8%×蓄電容量 1.3mWh“の両立（10cm2 セル）	○	
変換効率 20%（有機太陽電池） 20 年寿命実現に向けた開発シナリオの提案（ペロブスカイト太陽電池）	・セル変換効率 21.1%達成 （1cm2 セル 低照度下 自社測定） ・環境制御（ドライ）により再現性あるプロセス構築 ・劣化部位の特定および劣化抑制方策（封止）による維持率 90%@85℃1000hr を実現	○	

達成度→　大幅達成：◎、　達成：○、　達成見込み：△、　未達：×

（へ） 共通基盤技術

表　Ⅲ-1-(へ)(1)　基本計画の達成目標と委託テーマの関係

		委託テーマ					
		A. 超ハイガスバリア太陽電池部材の研究開発	B. ロールツーロールプロセスを可能とする封止材一体型保護シートの研究開発	C. 太陽光発電システムの据付工程簡便化に関する研究開発	D. 発電量評価技術等の開発及び信頼性及び寿命評価技術の開発	E. PV システム汎用リサイクル処理手法に関する研究開発	F. 太陽光発電技術開発動向等の調査
基本計画の達成目標	ⅰ）発電量評価技術の開発 イ）発電量評価 ロ）太陽電池の評価技術				○		
	ⅱ）信頼性及び寿命評価技術の開発				○		
	ⅲ）リサイクル・リユース技術の開発				○ （リユース）	○ （リサイクル）	
	ⅳ）共通材料・部材・機器及びシステム関連技術開発	○ （超ハイガスバリアフィルム）	○ （封止材一体型保護シート）	○ （据付部材、モジュール構造）			
	ⅴ）ＩＥＡ国際協力事業及び標準化支援事業等 ・技術動向や政策動向等を調査・分析						○

A. 超ハイガスバリア太陽電池部材の研究開発

最終目標	研究開発成果	達成度	コメント
①シリカ蒸着複合膜による超ハイガスバリアフィルムの加工技術開発 ・幅 1m,長さ 1000m 以上、WVTR10^{-6}g/(m^2・d)以下 ・85℃85%,3000hr 後の WVTR10^{-5}g/(m^2・d)以下	・幅 1200mm 広幅ロールサンプルをロール to ロールプロセスで加工。WVTR10^{-6}g/(m^2・d)のバリアロールフィルムの作成を可能とした。 上記ロールサンプルを用いて 85℃85%RH 環境試験を実施。1700hr までは WVTR10^{-5}g/(m^2・d)以下保持確認。	○	
②高耐候性超ハイガスバリアシート、高耐熱性超ハイガスバリアフィルムの加工技術開発 ・幅 1m x 1000m 以上 XeWM3000hr 後の WVTR10^{-5}g/(m^2・d)以下 ・200℃の線熱膨張係数 20ppm 以下,熱収縮率 0.1%以下	・広幅ロールサンプルにて、XeWM3000hr 後に 10^{-5}g/(m^2・d)以下のバリア性能保持を可能とした。 ・広幅バリアフィルムロールと高耐熱ロールフィルムの組合せにより、200℃での収縮率 0.1%以下を可能とした。ただし、線熱膨張係数は 20～30ppm にやや悪化。	△	
③部材・生産コストの低減 ・WVTR10^{-6}g/(m^2・d)超ハイガスバリアフィルムのコストが 2012 年度 10^{-4}g/(m^2・d)ハイガスバリア比 80%以下	2012 年度 10^{-4}g/(m^2・d)ハイガスバリアコストに対し、新 10^{-4} バリアは 62%、新 10^{-5} バリアは 72%にコストダウン可能。ただし、目標の 10^{-6} バリアは 93%のコストダウンに止まる。	△	

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　　達成見込み：△、　　達成不可：×

B. ロールツーロールプロセスを可能とする封止材一体型保護シートの研究開発

最終目標	研究開発成果	達成度	コメント
ロールツーロールプロセス対応太陽電池用一体型保護シートおよび封止技術の確立	①薄膜シリコン太陽電池用 一体型保護シート品質の実現 ・モジュール工程のロールツーロールプロセス化を実現する封止材を開発し、ラミネート速度 3m/分を達成。 ②リジッド太陽電池用封止材品質の実現 ・薄膜シリコン用封止材の技術を水	○ ○	

	平展開し、リジッド太陽電池へ応用。厚みのあるセルにも対応可能であることを確認。 ③フレキシブル太陽電池用保護シート開発 ガスバリア性 WVTR＜5×10^{-4}g/(m^2・day)を達成。	○	

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：△、　達成不可：×

C. 太陽光発電システムの据付簡便化に関する研究開発

最終目標	研究開発成果	達成度	コメント
複合化による部品点数削減率 50%以上、据付作業に必要な人員、時間の 20%削減を達成・実証する。	樹脂・金属ハイブリッド構造の施工簡便化部品を開発した。施工部品の部品点数を 60%削減、据付作業に必要な人員を 33%削減、施工時間 45%削減と、当初の最終目標値を大幅に超える成果となった。	◎	
機能複合化部品、および、モジュール構成を組み合わせた太陽光発電システムとして20年相当以上の耐久性（IEC61215, IEC61730 準拠）を達成する。	開発した据付部品に対して適切な材料・成型方法を選定し、加速劣化試験（湿熱、光、塩水）、劣化メカニズム分析、市場回収品分析、屋外曝露試験を通して、屋外 20 年使用に十分な耐久性を有することが示唆された。小規模システムでの屋外実験の結果から、開発した据付部品がシステムとしても屋外 20 年使用に適用可能なシステムであることを確認した。	○	
簡便施工太陽電池システムで使用される樹脂部材の耐久性および樹脂部材を用いた太陽光発電システムの耐久性を評価する手法を確立し、その手法をもとに 20 年相当以上の耐久性を実証する。	アイオノマー封止材を用いた両面ガラス太陽電池モジュールでは、従来の EVA 封止材を用いた太陽電池モジュールと比較して約 50%の軽量化を達成した。更に、従来の EVA 封止材を用いた太陽電池モジュールと比較し、湿熱試験、湿熱温度サイクル複合試験、PID 試験の全てにおいて、長期耐久性における優位性を確認した。加速劣化試験および学術会で発表されている寿命予測手法、指標に基づく検証にて、20 年相当以上の耐久性があることが示唆された。	◎	

達成度→　大幅達成：◎、　達成：○、　達成見込み：△、　達成不可：×

D．発電量評価技術等の開発及び信頼性及び寿命評価技術の開発

1.(1)成果詳細（一覧表）

最終目標	研究開発成果	達成度	コメント
Ⅰ）発電量評価技術の開発 ①　太陽電池性能評価・校正技術（AIST） a.太陽電池性能評価技術 （ⅰ）太陽電池実効性能評価技術の研究開発 ・光照射効果（１年以上）を考慮した実効性能評価技術を確立する。	・薄膜太陽電池の屋外暴露一年以上の光照射効果を考慮した出力を予測する手法、モジュール分光感度温度依存性測定技術を開発した。	○	
（ⅱ）屋外高精度性能評価技術の研究開発 ・測定再現性２％以内の評価方法を確立する。	・ＰＶモニタセルの使用および約 200ms 以内の高速測定により測定再現性±２％以内を得た。	○	
(ⅲ)各種新型太陽電池性能評価技術の研究開発 ・ＮＥＤＯの開発成果も含めて基礎データを収集、分析、評価し、必要に応じ規格化を図りつつ基本的評価手法を確立する。	・NEDO 開発品、新型太陽電池等高精度測定を実施して評価技術検証、開発元へ提供した。標準化、国際標準化２８件について関連技術の文案を提案等の貢献を行った。国際比較、学会、論文、太陽電池評価技術研究会等で開発成果の国際整合性確認、周知、普及を図った。	○	
b.　基準太陽電池校正技術 （ⅰ）精密構造型ＷＲＲ絶対放射計測技術の研究開発 ・ＷＲＲファクター　0.5%以内の精密構造型絶対放射計および超高温定点黒体炉を用いた校正技術を確立する。	・精密構造型 WRR 絶対放射計の WRR ファクターが 0.5%以下であることを IPC に参加・確認した。 超高温定点黒体炉による基準太陽電池校正用いる新型絶対分光放射計のノンリニアリティ誤差の解消と極めて高い波長精度・波長分解能の実現を確認した。	○	
(ⅱ)絶対分光感度法による一次校正技術に関する研究開発 ・絶対分光感度法による一次校正の基本技術を開発し、その校正の不確かさを明らかにする。	・導入した絶対分光感度法による一次校正の不確かさが 0.8%(k=1)程度であることを明らかにした。	○	
(ⅲ)二次基準モジュールの校正精度の向上に関する研究開発 ・ JIS C8921 の規定する「小さな基準モジュール」の校正技術を明らかにする。	・相対分光感度測定精度 1%以内を達成。１セルモジュール校正の最高校正能力が 0.90%であることを明らかにした。(中間評価時に前倒しで達成)	○	
②発電量推定と予測技術 a.発電量定格技術 （ⅰ）発電量定格方式の開発(AIST) ・地域の日射量・気象データから新型太陽電池モジュールを含む各種太陽電池モジュールの発電量を推定する技術を開発する。	・標準試験条件における出力と日射強度、モジュール温度、日射スペクトルの影響から構成される発電量推定モデルを構築し、結晶シリコン太陽電池の発電量は、±3%の精度で推定可能であることを確認した。また、n 型基板を使用しているヘテロ接合型や CIGS 太陽電池は、I-V 曲線の挿印方向や速度、プレコンディショニングの時間など、標準試験条件における出力の測定精度を向上させることにより、±3%の精度で発電量推定が可能になることを確認し、目標を達成した。	○	
(ⅱ)日射スペクトルデータの全国整備に関する研究開発(JWA) ・気象庁の日射観測地点を対象に日射スペクトルデータの全国整備を行う。また、月平均の日射データを収録した MONSOLA、毎時の気象データを収録した METPV らと関連付けた	・5 地点の観測データを整理して日射スペクトルデータベースを構築した。観測データを用いて日射スペクトルを推定するモデルを開発した。開発した推定モデルを用いて、全国の気象官署における日射スペクトルデータを整備した。	○	

データベースとして整備を行う。さらに計測データをデータベース化し，表示・検索ソフトウエアと併せて公開する。			
(ⅲ)有機系太陽電池実用化先導技術開発(AIST) ・各種有機系太陽電池の屋外発電量評価を系統的に実施するとともに、有機系太陽電池の屋外発電量の日射量依存性や季節推移、角度依存性等に関する特有の現象を抽出する。	・様々なメーカが作製した色素増感太陽電池と有機薄膜太陽電池の屋外発電量評価を系統的に実施した。結果は、南向き 30°という厳しい屋外条件では、導入した色素増感太陽電池の多くは、数ヶ月程度の屋外曝露でも封止に不具合が発生し、発電量が大きく低下することが判明し、封止技術の改善が必要であることが明らかになった。このことから、角度依存性については明瞭なデータを取得するに至らなかったが、低日射量の場合には、結晶シリコン系に比べて発電量の低下が少ないとの色素増感太陽電池の優位性を明確化することができた。一方、有機薄膜太陽電池は、短期の曝露では大きく劣化せず、安定した発電量を示した。	○	
b.発電量予測技術 (ⅰ)分散・広域発電量推定技術の研究開発(AIST) ・分散発電量予測及び広域発電量予測モデルの検証を行い、高精度化を図るとともに、UT と共同してこのモデルの予測結果を電力会社の運用計画へ反映させる方法を検討する。	・太陽光発電（以下、PV）システムの発電予測における、分散発電量予測及び広域発電量予測モデルについて機械学習モデルをベースに高精度化を行った。また広域予測に関しては、４つの手法を提案し電力会社の運用を想定したケーススタディを行った。全数計測ケースと比較して、サンプリング手法、全量把握ケース、日射予測からの推定ケースについても RMES において 0.05kW/m2 以下に抑えることができた。また、予測値の信頼度情報（信頼区間）として過去１年の予測誤差から推定するノンパラメトリック手法と過去６０日のデータから分布推定するパラメトリック手法の開発を行った。また、 電力会社の運用計画へ利用する際には予測誤差を考慮する必要がある。UT と共同して予測の効果試算を行うため、前日予測、当日予測及び時別値毎の信頼区間の推定を行った。開発した発電量予測プログラムを AIST の知財登録・管理を行い、民間企業（ＰＰＳなど）へ向けた技術移転を実施中。	◎	
(ⅱ)気象パラメータ予測技術の研究開発(MRI) ・発電量予測モデル及び日射量予測モデルの高精度化に必要な、気象パラメータ予測モデルの通年評価を２度実施して精度向上を図る。また、翌日の日射量予測と観測データとの比較を再度行い、その予測精度を向上させる。	・気象庁の各気象官署で観測された全天日射量データを用いて，気象庁メソモデル（MSM）の予測精度の検証を行った。日射量予測誤差について季節，経年変動の特性を調査し，さらにその地域特性も調べた。現行の MSM では夏（冬）季に負（正）バイアスがあること、また本州などの中緯度よりも低緯度（亜熱帯）での日射予測精度が比較的低いことが明らかになった。これらの分析結果をもとに、格子以下のスケールの雲量の改善として部分凝結スキームの改良を行った。改良後の通年の予測誤差評価の結果、夏季の大きな負のバイアス（過小に予測しすぎる傾向）や冬季の正バイアス（過大に予測する傾向）が大きく改善されただけでなく、月平均の誤差の大きさ（RMSE）が現行のモデルと比較して約 5% 小さくなった。 天気予報の現業で使用している気象予報モデルの日射を予測するプロセスは、本プロジェクトでの成果を参考に改良されたものを利用。	◎	
(ⅲ)分散日射量予測技術の研究開発(GU) ・周辺地形による直達日射遮蔽の影響なども考慮した高精度・高空間分解能を有する直達・散乱日射強度予測を任意の地点・時刻において提供できる予測システムを構築し試験運用する。	任意の複数地点での直達・散乱日射および任意傾斜面での全天日射強度を予測するシステムを構築し，試験運用した。日射予測に確率予測を導入し，日射強度だけでなく，その信頼度・予測区間も予測する技術を開発するとともに，予測システムを構築した。 本プロジェクトの研究成果を受けて、電力事業者との共同研究を実施中。	◎	

（iv）広域日射量予測技術の研究開発(JWA) ・5km メッシュで全国を対象とする全天日射量の予測モデルについて検証を行い、モデルパラメータの改善を実施する。開発成果を基に、実用化に向けた広域予測システムのプロトタイプを作成する。	・5 kmメッシュで全国を対象に 30 分単位で翌日までの日射量を予測するモデルを開発した。開発したモデルは、従来の運用モデルと比較して 20%程度、精度が向上した。気象衛星データをもとに 1 kmメッシュ単位の日射量データを整備し、開発したモデルについて面的精度検証を行った。最終的に、開発した広域予測システムをリアルタイムで運用する試作機を作成した。予測モデルの実運用を開始し、電力事業者等への予測情報の提供を実施中。	◎	
（ｖ）分散・広域発電量応用評価技術の研究開発(UT) ・発電量予測技術法の評価、PV システム発電量のモニタリング手法の仕様策定。	・AIST にて開発された日射量、発電量予測技術（予測データ）を用いて PV 発電量予測技術評価のためのモデル・手法を開発した。電力需給を計画、運営する将来の送電会社、バランシンググループなどを対象として、PV 発電量予測技術の適用先である電力システムに同予測技術が与える影響を経済性、信頼性の観点から評価が可能な実系統に基づくモデル（ユニットコミットメント＆ディスパッチシミュレーション）を開発した。 また実際に開発された PV 発電量予測データを用いて、再生可能エネルギーが大量導入されると想定される 2030 年を想定した電力システムを模擬し、その影響を分析した。その結果、前日予測を利用することで不足供給量（対年間需要総：約 288TWh）は持続モデルを使った場合では約 1%であったものが、前日予測を利用することで 0.3%に、更に予測値の信頼度情報（信頼区間(80%)）を利用すると約 0.1%程度まで減少させることができた。	◎	
Ⅱ）信頼性評価技術と長寿命化技術の開発 ①モジュール・機器耐久性評価技術 a.高信頼性モジュールの認証試験技術(PVTEC(JET)) ・暴露試験，システム調査，文献調査の継続，紫外線強度試験，温度サイクル試験を繰り返し，紫外線、温度サイクルによる劣化要因の不変性を確認する。 ・導電部の腐食現象の発生要因となった海塩粒子に対する検討として塩水噴霧試験，薄膜 Si 系モジュールの出力低下の要因となった高日射・低気温に対する検討として明暗冷サイクル試験を実施し、前段に示す以外の劣化要因を推定する。	・劣化要因の不変性の確認では、気象要因に対する影響度合いを整理し、劣化要因は気象要因と、部材、設計・製造要因の単独、又は組合せによることを確認し、最終目標を達成した。 導電部の腐食現象に対する検討では、浸水試験によるモジュール内部への水分浸入、腐食現象発生モジュールの腐食部から塩素(Cl)の存在を確認し、海塩粒子の影響を確認した。薄膜 Si 系モジュールの出力低下要因への検討は、実験結果等から、年間最低気温の影響を確認した。バイパスダイオードの接続部電気的特性の検討は、バイパス回路内のはんだ接続部に課題があることを確認した。一方、ショットキーダイオードに対する逆バイアス耐圧特性試験では、ジャンクションボックスの熱設計の妥当性検証が必要とし、試験条件を検討した。検討した試験条件を国際規格とすべく IEC に提案した。この結果、NWIP として承認されたのち、CD 提出に向けての WD を作成した。	○	
b.新規信頼性試験方法の開発 （ｉ）新加速試験技術の研究開発 (AIST，PVTEC) ・フルサイズ（1.0m×1.1m 程度）モジュールで、サイクリック試験の結果、スケールアップに伴う技術要件（電源、発振防止回路、制御回路など電子・電気回路的要件）が抽出・解決され、サイクリック加速試験を実施し、EVA 変色、気泡、電極周辺のこげなどが再現できるかを確認する。新規加速試験方法については、中間目標での結果を踏まえて、例示した方式を含めて 1 種以上について、ミニモジュール（３セル～４セル）で、加速試験を実施し、実用	・サイクリック試験をフルサイズ・モジュールに適用し、屋外で見られる不具合を再現できることを確認した。 ・機械式曲げ荷重試験を考案した。試験結果から、本試験は試験温度と荷重面に依存した故障モードを再現性良く評価できることがわかった。 ・光と湿熱を考慮した紫外光照射・高温高湿の複合加速試験を行い、モジュールの劣化に対する光照射効果を評価した。モジュール発電特性への紫外光照射の影響が実証されたとともに、モジュールの長期信頼性加速試験には紫外光照射を含んだ複合試験の重要性が示唆された。 ・Na の電荷状態が PID 現象の発生や抑制に大きく関わっていることを示唆する結果や PID 試験の前に逆電圧を印加することで、PID の抑制が可能となることを初めて明らかにした。	○	

可能性を判断する。			
(ⅱ)モジュール内水蒸気浸入経路調査方法の研究開発(AIST, PVTEC) ・透過率に換算して 10-5 g/m2day までの水蒸気の浸入を検出可能なモジュール内水蒸気浸入経路調査方法を確立し、水蒸気の浸入に対して脆弱な色素増感太陽電池ならびに有機薄膜太陽電池に当該調査方法を適用する。さらには、新構造の結晶系ならびに薄膜系太陽電池においても水蒸気浸入経路調査方法を確立する。これらのことを通じて、太陽電池モジュールの信頼性試験法として国際規格に反映するために充分なデータベースを構築する。	・太陽電池モジュール内にカルシウムを封止することによりモジュール内への水蒸気浸入の経路を明確化するとともに、下限が 10-5 g/m2day 台の浸入水蒸気量を定量化する方法を初めて確立した。この手法を用いることにより、水蒸気バリア性を高めることよりも、モジュール内に酢酸を滞留させないことの方がモジュールの信頼性向上に重要であるとの知見を得るとともに、モジュールの長寿命化に資する部材の設計指針を提示した。	◎	
②システム点検技術 a.オンサイト発電性能点検技術(AIST) ・オンサイト点検において気象センサを利用しないで発電性能 10%低下を検出可能な手法の開発を行う	・システム点検技術に関して、日射量等のデータを利用した場合のオンサイト発電性能点検技術として住宅モニタリングサイト８サイト分の評価を行い、線形内挿法を適用してモニタリングシステムによる性能評価との比較を行うことにより、±10%により推定できることを示した。	○	
b.発電データ分析技術(PVTEC(JET)) ・発電データ分析手法において測定可能な計測項目と検出可能な不具合項目との関係について明確にする。	・住宅用 PV システムの計測を継続し、不具合 DB や要因分析を実施すると共に出力低下傾向があるサイトの現地調査の実施、計測項目と検出可能な不具合等項目との関係について整理した。	○	
③リユースモジュール健全性試験技術(PVTEC(JET)) ・リユースモジュールに要求される性能の最も基本的な要求である絶縁性能，ある程度の誤差を許容した出力表示に必要な安価で容易な測定方法の提案を含めたガイドライン案の策定に必要なデータを提供する。	・リユースモジュールのガイドライン（結晶 Si 系モジュールの再販売時に必要な提示事項）[素案]として、取り纏めを完了した。今後はガイドラインで提案した「屋外出力測定方法」の実用性の検討、妥当性検証を完了した。	○	
Ⅲ）次世代太陽光発電システムに向けた基盤技術開発の調査(PVTEC) ・PV モジュールの信頼性及び耐久性データの調査・解析を行い、PV モジュールの主要な劣化要因を特定する。また 2050 年の PV システムのあるべき姿を策定するための基本情報を収集する。	・PV モジュールの主要な劣化要因を分類した。劣化要因は一様ではないことが分かった。また PV システムの高信頼・長寿命を目指し、3 つの分科会活動により、有るべき姿を策定するための基本情報収集を行い、課題提言を行った。	○	

達成度　→　　大幅達成：◎、　達成：○、　達成見込み：△、　達成不可：×

E. PV システム汎用リサイクル処理手法に関する研究開発

最終目標	研究開発成果	達成度	コメント
広域対象の PV システム汎用リサイクル処理技術の開発、コスト目標、社会システム提案の見極め完了と LCA 評価見直し完了	・主要プロセス装置とモジュールの移動に同期して各装置を作動させるシステム制御装置から成る低コスト汎用リサイクル処理技術を開発 ・各種モジュールを用いた多数枚連続処理試験から基礎データの収集を完了 ・取得した基礎データから処理システムの安定性・信頼性及び処理コストを評価し、処理コスト目標「5 円/W@年間 200MW 処理」の実現妥当性を確認 ・広域 PV システム汎用リサイクル処理に必要な社会システム整備に関する必須事項を専門委員会で議論済み ・LCA 評価見直し完了	○	

達成度→　大幅達成：◎、　達成：○、　達成見込み：△、　達成不可：×

F. 太陽光発電技術開発動向等の調査

最終目標	研究開発成果	達成度	コメント
諸外国の太陽光発電に関する技術開発プロジェクトや研究開発施策、ロードマップ等の動向に関して継続して収集した情報による調査結果の総括を行う。 ・諸外国と我が国の技術研究開発状況の比較・分析結果及び、有識者との検討により明らかにした我が国における太陽光発電技術研究開発プログラムの課題や、太陽光発電ロードマップの見直しの成果を反映し、将来の方向性を探る。	太陽光発電に関する次期技術開発計画の検討に資するよう、最新の国内外の技術開発動向、諸外国の国家プロジェクト等について国際会議や学術会議、直接ヒアリング等から調査・分析し、技術開発動向を体系的に把握、纏めた。さらに技術課題及び今後の研究開発の方向性を総括した。 国内外の太陽光発電に関する市場動向、産業動向、普及施策動向等の詳細な調査を実施した。 IEA PVPS プログラム タスク 1 の活動に関わる国際協力事業では、IEA の場での研究開発国際協力活動への日本としての貢献を果たすと共に、広く先進諸国間の研究協力を推進することができた。	◎	

達成度→　大幅達成：◎、　達成：○、　達成見込み：△、　達成不可：×

G. 次世代長寿命太陽電池モジュールの研究開発

最終目標	研究開発成果	達成度*1	コメント
温水浸漬試験（９０℃、１６８ｈ）処理後、オレフィン系ゴムとＣＯＣ樹脂シートとの接着強度の接着強度保持率が８０%以上	温水浸漬９０℃、１６８ｈ処理後、母材破壊	◎	
適切な溶融粘度と厚みを保持が可能なレオロジー特性を発現する加工条件を見出し、シート化する	ＰＥＴ離形フィルムを選定し、幅１０００ｍｍにてカレンダー連続成形を実施、１５０μｍ、２５０μｍ、４５０μｍで±５%でシート化完了	◎	
収縮率試験（１３０℃、２４ｈ）で、溶融せず、形状変化がない耐 PID（８５℃８５%ＲＨ、－１０００Ｖ、１０００ｈ、劣化５%未満）の達成	スーパーストレート構造の耐ＰＩＤ・４８セルモジュールに対し、認証機関ＴＵＶにて８５℃、８５%RH、－１０００V、１０００ｈで発電劣化なしを確認。	○	
２０年以上の実環境に対する試験条件を検討する	ラボ試験条件は、ＤＨ（ダンプヒート）試験で、８５℃・８５%ＲＨの条件で、２５００時間経過後であることが分かった	○	

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：△、　達成不可：×

H. ドレスト光子利用太陽電池技術の研究開発

最終目標	研究開発成果	達成度*1	コメント
結晶シリコン太陽電池、有機薄膜太陽電池等の変換効率をプラス 1.0%以上向上させる200mm 角以上のドレスト光子フロントフィルムを試作(効率 18%以上の結晶シリコン太陽電池を用いて検証)	(1)ユーザーニーズをフードバックし、大面積化、実用化、事業化に適合するフロントフィルム構成とプロセスを開発。 (2)フロントフィルムを実装し、樹脂パッケージ化した156mm角の太陽電池(効率η＝18.1%)を用い $\Delta\eta$ = +2.1%（色素:C461） $\Delta\eta$ = +1.9%（色素:PBBO） を確認（JET 計測)。	○	
事業化に対応した結晶シリコン太陽電池等へのフィルム実装方法の課題解決手段を明確化	(1)太陽電池関連企業K社及びフロントフィルム関連企業D社との協議により、事業化に対応した結晶シリコン太陽電池へのフィルム実装方法について次の課題を抽出した。 a. 接着フィルム付きフロントフィルム用溶液の開発。 b. フロントフィルム塗布ガラス用溶液の開発。 これらの課題に対応する試作品の目標仕様として掲げた変換効率向上$\Delta\eta$=+1.0%以上かつ1バッチ100 mL 以上を達成する溶液作製条件を最適化すると共に、上記 2 つの課題はフィルム化工程の条件を詳細に検討することで解決できた。 (2)実用化・事業化を目指して、D 社と協力しながら実用化シナリオを策定すると共に、課題を明確にした。	◎	

100mm□素子にフロントフィルムの実装評価を行う	(1)スクリーン印刷を用いてフロントフィルムの均一な塗布技術を検討し、基板加熱や UV/03 処理といった技術を適用することで均一な膜の塗布に成功した。 (2)吸光度による膜厚管理、メッシュサイズによる塗布厚制御技術を確立した。	○	
100mm 角でモジュール変換効率を 2%以上向上する	(1)HTL 上に ITO ナノ粒子を塗布することで Ag 電極にナノ構造を形成し、加熱条件を最適化することで素子、及びモジュールで 2%以上の効率向上を達成した。	○	
ドレスト光子フロントフィルム実装太陽電池の耐候性、耐紫外線についての信頼性評価技術を確立、20 年以上の耐候性、耐紫外線特性を確保	(1)特別仕様のソーラーシミュレータによる光電変換効率評価、光学特性評価等、信頼性評価技術を確立した。 (2)Xe ランプによる耐候性試験、メタルハライドランプによる耐候性試験、高温高湿試験、温湿度サイクル試験を実施し、20 年以上の耐候性、紫外線特性が得られる結果を得た。	○	
シリコン太陽電池の各製造工程途中の素子に対してアニーリング処理を実施し、性能試験を行うことで、シリコン太陽電池高効率化のための指針を明確化	(1)アニールによる高効率化の指針として、アニール用光源、アニール時間、温度、電流密度を最適化し、高効率化の指針を明確化した。その結果、アニール処理による変換効率向上 $\Delta\eta$ =+2.6%を得た。	○	

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　　達成見込み：△、　　達成不可：×

2. 研究開発項目毎の成果と実用化・事業化見通し

(イ)結晶シリコン太陽電池

A　極限シリコン結晶太陽電池の研究開発

1. 成果詳細

表Ⅲ-2-(イ)-A-1(1)　研究開発項目ごとの成果・達成度

最終目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
豊田工大			
試作ラインの構築 太陽電池試作を通じて、参画機関の技術開発を支援する。	125mm 角、及び、156mm 角の太陽電池が試作可能な試作ラインを構築し、標準工程を確立した。加えて、より高効率な PERL セル（20%）のプロセスを確立した。本ラインを用いて、コンソーシアム内で新規開発された各研究機関の成果を元にセルの試作を行い、各機関の研究開発に貢献した。加えて、全体会議・サブグループ会議の他に、個別要素技術について、技術討論会を実施した。	◎	
原料・結晶の評価 試作評価を通じて、原料・結晶の高品質化に貢献する。	結晶成長に与える不純物の影響や金属不純物や結晶粒界が再結合特性に与える影響を調べ、結晶の高品質化に貢献した。その結果、九大・NIMS が作製した 180μm 厚シードキャスト結晶を用いて PERC セルを試作し、従来の CZ 基板と同等な変換効率（18.7%）を得るに至った。	◎	
プロセスの評価 高効率・低コスト太陽電池製造用要素技術を開発する。	次世代太陽電池に必要な 100μm 厚基板を用いたプロセスの確立、30μm 幅微細配線、イオンシャワーを用いたドーピング、次世代ペーストなどの新技術を開発した。例えば、100μm 厚 PERC 太陽電池において、従来と同等な変換効率(18.5%)が得られた。加えて、仕事関数評価など、基礎的な観点から各機関を支援した。	○	

ヘテロ技術の評価 　裏面ヘテロ接合型の太陽電池の変換効率向上に貢献する。	量子モデルを取り入れた物理モデルの構築により、デバイス動作原理の詳細を調べた。本モデルを取り入れたシミュレーションにより、量産プロセスにおける構造の最適化などの設計指針を構築した。加えて、透明電極堆積装置を用いた技術支援を行った。その結果、25.1%（シャープ）の高い変換効率の実現に貢献した。	○	
高効率・低コストセルの評価 　新材料や新プロセスなどを新規高効率・低コスト太陽電池製造に適用した場合の課題を総合的な観点から検討し、各機関の研究開発を支援する。	次世代太陽電池構造である PERC や n 型 Bifacial セルに関して、通常の熱拡散に加えて APCVD やイオンシャワーを用いたセル試作工程を確立し、これら太陽電池実現のための基盤技術を確立した。また、銅配線をバスバー電極に使用した太陽電池を試作し、銅配線の可能性を実証した。	◎	
九州大学			
高効率単結晶育成炉の温度分布解析シミュレータ構築	結晶成長炉内の全プロセスによる温度分布の定量予測を可能とするシミュレータを構築し、実験結果を定量的に予測可能となった。	◎	500kg チャージ大型単結晶育成装置内の温度分布の高精度定量予測
高効率単結晶成長炉の不純物除去解析シミュレータ構築	不純物の定量予測を可能とするシミュレータを構築し、実験結果を定量的に予測可能となった。	◎	大型単結晶育成装置内の原料融解海底からの汚染の高精度定量予測
高効率単結晶育成炉の低転位化および低残留応力化が可能な解析シミュレータ構築	結晶成長、冷却過程における転位密度、残留応力の定量予測を可能とするシミュレータを構築し、実験結果を定量的に予測することを可能にする。	○	結晶粒界における転位の伝播や、残留応力を定量的に予測することを可能にする。
NIMS			
少数キャリアライフタイム 400μsec 以上	MONO like 化によって、縦縞状の不均一分布が消滅 最大 465μsec 以上を達成	○	軽元素不純物低減、転位発生の抑制、結晶成長条件の最適化

名古屋大学			
・不純物、結晶組織、結晶欠陥を制御した15.6cm 角の高品質ウェハーが取得可能なブロックを、複数切り出すことができる高品質インゴットを実現することで、量産技術としての有用性を実証するとともに、実用装置への課題と解決法を把握する。	・融液上部でデンドライトを発現させることにより浮遊キャスト法において組織制御が可能であることを示した。 ・デンドライトの接触角と転位密度との関係を実用サイズウエハで確認し、デンドライトを平行に成長させることで転位発生を抑制できることを示した。 ・炉内の 3 次元熱輸送計算を利用しデンドライトを平行に成長させる条件を調査した。その結果、断熱材を数個設置することで所望の温度分布が実現可能なことを示した。 ・計算結果を、外側ルツボに G2 サイズのルツボを用いたインゴット成長に適用して成長を行った。その結果、計算結果で意図した場所で優先的にデンドライトが発現した。さらに上部からのガス噴きつけ位置を制御することで、細かなサイズのデンドライトの発現を抑制し、より精密な組織制御を実現した。 ・二重ルツボを利用することでルツボ底部で発生する外部応力を抑制させ、転位密度が低減できることを確認した。 ・G2 ルツボを外ルツボに利用した二重ルツボにより、実用セルサイズの15.6cm 角ウエハが取得可能なブロックを作製した。	○	

・15.6cm 角の結晶で400μsec 程度のライフタイムを実現する。	・新しいゲッタリングの熱処理方法として反復アニール法を検討している。この方法を用いることで従来法よりもゲッタリング後のライフタイムの向上効果が拡大することを示した。 ・京セラ株式会社にセル作製を依頼し太陽電池特性の評価を実施した。 ・デンドライト組織を制御したインゴットにおいて最大 480μsec、平均 230μsec を達成した。	○	
兵庫県立大学			
カーフ／不純物の分離技術の開発：回分式でシリコン回収率 60%以上、純度 80%以上	全量ろ過方式でシリコン回収率 70%以上、純度 95%以上の結果が得られた。	◎	なし
カーフ／不純物の分離技術の開発：連続式でシリコン回収率　90%以上、純度　95%以上	クロスフローろ過方式と全量ろ過方式の組み合わせにより、シリコン回収率 90%以上、純度 95%以上の結果が得られた。	◎	なし
原料再生技術の開発：原料中の酸素含有量 70ppma 以下	再生原料中の酸素含有量 60ppma 以下を達成した。	◎	なし
原料再生技術の開発：結晶ライフタイム　30μsec 以上	再生原料中の不純物濃度からの推算では目標値を達成しているが､実測が出来なかった。	△	再生原料のサイズをライフタイムが実測可能なサイズにまで増大させる。
コマツ NTC 株式会社			
100μm ウェーハを歩留り 95%以上で加工可能なこと	単結晶□125mm インゴットから 100μm ウェーハを歩留り 95%以上で加工実証した。	○	なし
カーフロス 100μm で加工可能なこと（固定砥粒ワイヤーを使用）	カーフロス 100μm での加工を実証した。また、芯線径 φ60μm カーフロス 75μm でのスライスを実施し、量産加工に使用できる可能性を示した。	◎	なし
ウェーハ品質と発電効率の関係性の明確化	スライスプロセスで発生する微小カケが、後工程へ影響することを確認できた。	△	セル発電効率との関係を明確にする。

京セラ			
高効率多結晶シリコン量産プロセス技術確立（太陽電池セル変換効率 20%、モジュールでの変換効率 18%）	単結晶シリコン太陽電池において、20.2%を得た。また、これを 48 枚用いた太陽電池モジュールにて 228W、18%相当を得た。	○	
プロセス目標：新結晶成長プロセスにおいて 156mm 角セルで 150 枚/h 以上	230 枚/h の生産性にて作成した高品質インゴットを用いた従来型の太陽電池において、セル変換効率 18.3%を確認し、大型化可能な技術であることを示した。	○	
三菱			
拡散系結晶シリコン太陽電池で変換効率 22%を達成するとともに、タクトを短くする量産適用技術を開発する。	量産プロセスである印刷・焼成電極、熱拡散によるドーピング技術を用いて、厚さ 180μm、バス線 4 本、15cm 角セルにおいて変換効率 22%を実証した。		
電極形成コスト低減が可能な Cu めっき電極形成技術を構築する。	めっき技術を用いた細線電極形成技術により、抵抗が低く影面積の小さい矩形状断面、幅 30μm を有する銅電極の形成技術を確立した。		
微細レーザー加工技術を応用した受光面、裏面開口プロセスの構築を行い、早期実用化を目指す。	裏面パッシベーション膜のレーザー開口プロセスを用いた n 型バックエミッタセルにおいて、同等プロセスで作成した受光面エミッタセルよりも高い Voc（680mV）を達成した。	○	
R ワイヤスライスによる低ダメージで切断した基板を評価し、従来の固定砥粒方式による基板との比較を行う。	R ワイヤスライスと固定砥粒スライスウェハをライフタイムと発電特性によってを比較評価した。当社試作プロセスではダメージ層の除去量が多く、スライス方法による明らかな差は認められなかった。		

シャープ			
セル変換効率 25%（単結晶シリコン基板：厚さ 100μm以下、サイズ 150mm 角）、モジュールでの変換効率 20%を達成する。	セル変換効率は世界最高効率に迫る 25.1%（一般財団法人電気安全環境研究所による測定）を得た。バックコンタクトならではの高い短絡電流値、ヘテロ接合ならではの高い開放電圧値を得ており、ヘテロ接合バックコンタクト構造が 25%を超える高いセル変換効率を実現できる構造であることが実証でき、本開発の最も大きな目標であった、セル変換効率 25%を達成することができた。 また、モジュール変換効率も同様に開発目標である 20%以上を達成した。しかしながら、セルサイズ、セル厚さの同時達成は未達となった。	セル変換効率：○ 基板厚さ：× サイズ：× モジュール効率：○	事業化に向けた開発を引き続き継続する中で、セルの大面積化とセル厚さの最適化を図る。セル厚さについては、特性と歩留まりを含めたコストとのバランスの中で最適な厚さでの事業化を目指す。
東京工業大学			
ナノ表面・界面制御による超薄型シリコン・ヘテロ接合太陽電池の高効率化に関する研究開発	p 型基板を用いた両面ヘテロ接合型太陽電池（ワイドギャップエミッタ使用）において、開放電圧 0.723 V を達成。	○	個別の要素技術開発という点では、目標を達成できたが、最終的なデバイスの効率においては、目標の達成には至らなかった。理由としては、セル作製の各プロセスの歩留まりの問題が大きい。変換効率 20%を超えるような太陽電池開発においては、ある程度量産機に近い歩留まりの高い装置を使用することが必須である。
厚さ 150-200μm のセルで 4 cm^2 において変換効率 25%以上を達成する。	表面側に nc-3C-SiC:H エミッタ、裏面側に $Al_{1-x}Ox$:H 膜を用いたポイントコンタクトセルで 20.0%（total area、1cm^2）を達成。	×	

岐阜大学			
全体の最終目標 ヘテロ接合結晶 Si 太陽電池に於いて、東京工業大学と共同で変換効率 20%以上を達成するための要素技術を確立する。	全体成果の概要 光起電力顕微鏡を改良し、HIT 結晶 Si 太陽電池のテクスチャ稜線部等の不具合箇所の検出、補修技術の開発に成功し、効率向上につながる要素技術を開発できた。	○	
（1）結晶 Si 太陽電池用の光起電力顕微鏡の開発	(1)・ピコアンプの導入により、0.1 pA の計測が可能になった。 ・電流漏洩開始電圧と少数キャリアのライフタイムとの相関が解ったので迅速化の目途がついた。 ・長時間ライフタイムの a-Si 保護膜が可能となったので、ライフタイム計測値を介して太陽電池の定量的評価の見通しが得られた。	○	
（2）HIT 型単結晶 Si 太陽電池ヘテロ接合特性の評価	（2）・n-c-Si(1ms 保証)基板で 200℃で i-a-Si 製膜後長時間アニールをすることにより、700μs のライフタイムを実現した。 ・新エッチング法を開発しテクスチャ稜線部を鈍角化することにより、漏洩電流量を 250 分の 1 まで低減ができた。 ・テクスチャ付基板上の i-a-Si 製膜で発見された不具合部を電気化学的陽極酸化法で補修し、電流漏洩を 4 分の 1 に低減できた。	○	

AIST			
「銅ペーストの研究開発」 ①現行銀ペーストのコスト 1/2 以下の銅ペースト開発に貢献する	従来型結晶シリコン太陽電池のバスバー電極として性能評価した結果、低温熱硬化型の樹脂銅ペーストが銀と同程度の性能を示し、IEC61215 規格に則った環境試験より厳しい条件下でも顕著に劣化しないことが分かった。樹脂銅ペーストは、銀ペーストの 1/2 以下の低コスト化が可能なため最終目標を達成したと評価する。	◎	
②従来型結晶シリコン太陽電池へ応用のための技術構築	従来型結晶シリコン太陽電池のバスバー電極として銅電極を導入し、モジュール化が可能で、性能も銀電極と同程度であることを示すことができた。一方フィンガー電極としてオール印刷による SiN 層除去⇒バリア層導入⇒銅電極作製に成功している。また印刷して作製した銅電極をメッキすることによりバルクレベル（3μΩcm）まで抵抗を下げることに成功している。これらを組み合わせることによりフィンガー電極としての応用の可能性を示すことができた。	○	

奈良先端科学技術大学院大学			
ドーピング濃度ならびに深さ制御技術の開発 適切な波長のレーザービームを選択し、照射強度をレーザーパワーならびに形状や基板走査速度を変えて制御し高濃度ドーピングを目指す。新規ドーピングプレカーサー層や堆積前のSi基板表面処理による界面制御効果を確認する。 高品位電子物性を有する$1\times10^{20}cm^{-3}$以上の、n型、p型の高濃度ドーピングを実現する。	適切な波長(紫外域(355nm)ならびに可視域（532nm）)のレーザービームを選択し、照射強度をレーザーパワーや走査速度を変えて制御し高濃度ドーピングを目指した。ドーピングプレカーサー膜とSi基板との界面の親水性制御により密着性を改善し、テクスチャー構造を維持したままの高品位かつ$1\times10^{20}cm^{-3}$の高濃度ドーピングを実現した。高効率構造作成のために、極浅(200nm)～深い(1～2μm)接合を制御性良く実現する技術を確立した。Poly Boron Film (PBF)の利用により変換効率が改善できることを明らかにした。	○	
局所領域へのドーピング技術の開発 極細レーザービームの走査により、局所領域へのドーピングを実施する。整形された極細ビームによる照射強度の精密な制御を実現し空間的濃度の再現性を確保する。 選択エミッタ構造やバックコンタクト構造など、次世代高効率構造素子の作製プロセスへ適用する。	極細レーザービームの走査により、局所領域へのドーピングを実施した。200ミクロン幅程度の細線フィンガー電極構造に適用可能なセレクティブエミッタ構造ならびにback surface field構造に応用し光電変換効率の改善を実証した。同一プレカーサー膜による熱拡散とレーザードーピングの一貫プロセスを開発した。トップハット型レーザービームによる均一ドープ実現の指針を示した。	○	

明治			
低品位原料を“使いこなす”ための技術開発を支援	1）PL 法により、ホウ素およびリンに対し、1×10^{15} – $1\times10^{18}cm^{-3}$ の濃度領域での定量分析を実現。 ・ガリウム、アルミニウム、ヒ素に対しても、同濃度領域での検出と総不純物濃度の定量に成功。 ・$10^{17}cm^{-3}$ 台の濃度領域におけるドナー・アクセプタのイオン化エネルギーを精密に決定。	○	結晶グループからの試料の提供がなく、評価技術の有用性を示すことが出来なかった。
少数キャリアライフタイム 400μsec 以上の達成に貢献	九大・NIMS と Mono 率 90%以上、高品質 MONO 結晶を実現。低酸素、低炭素であり、156mm□ウエハでライフタイム 400μsec を達成。CZ と同程度の PERC セル効率を示した。	◎	
変換効率 25%を達成するための要素技術開発	主に結晶成長と PERC 型セル試作で京セラに、APCVD による拡散と評価で三菱、ヘテロ構造の物理評価でシャープのセル試作に貢献し、それぞれ製品展開が容易な技術を用いた、セル効率 20%（多結晶）、22%（n 型拡散&ペースト）および 25.1%（ヘテロバックコンタクト）の効率達成に貢献した。	◎	

新日本ソーラーシリコン			
結晶系シリコン太陽電池に適用可能なポリシリコンを製造するための原料(シリカ、金属シリコンなど)、および中間原料(クロロシラン)に求められる必要最低限の純度を明らかにする。そのために以下の課題を達成する。 (1)不純物を多く含む原料を精度良く分析するための分析装置の選定/導入と分析技術の開発 (2)限界組成を確認するためのサンプル収集と分析 (3)直接塩化に適合する原料の特定と原料性状の把握	(1) 分析装置の選定と導入 出発原料分析　ICP-MS 中間原料分析　GC-FID、FIA,IC シリカ直接分析技術の開発 ICP-MS : 高 Si 含有試料の分析 中間原料分析技術 (2)　サンプル収集と分析 シリカ 39 試料収集/分析 カーフ Si　7 試料収集/分析 $SiCl_4$　直接塩化試料等の分析 JSS 亜鉛還元シリコン単結晶をコンソーシアムへ提供 国産シリカのアップグレード試験 (計画外の成果) 国産最純シリカ 98.5%→99.5% (3)　シリカ : 国産鉱石の適合性確認 カーフ Si : 塩化戻し材適性確認 クロロシラン : 直接塩化 $SiCl_4$ の 亜鉛還元原料適合性確認 豪州産シリカの直接塩化原料適性を確認、国産シリカのアップグレードによる適合可能性を見出した	○	豪州産シリカの評価は完了、 国産鉱石およびカーフ Si について直接塩化試験を実施、$SiCl_4$ を生成し、中間原料による適合性分析を実施
京都大学			
・残留融液の分離技術を開発し、浮遊キャスト成長法にて大型インゴット成長が可能であることを実証	・融液内に低温領域を形成し、ルツボに触れること無くインゴットを融液内で成長する手法を開発し、残留融液の影響を除外した。 ・26 cm 径のインゴット結晶を実現した。 ・15.6 cm 角のウェハ（実用セルサイズ）を実現した。	◎	・大きなルツボ径を使用できる大型炉を製造し、実用的な高品質大型インゴットを作製する。

・融液上部での核形成による組織形成メカニズムを解明し、その制御技術を開発する	・種結晶を用いて融液表面から核形成を行った成長のメカニズムを精査し、過冷却とインゴット径の相関、ネッキング技術による低転位効果、離型剤による多結晶化の効果、結晶粒界の双晶化に関する有効な知見を得た。 ・これにより、低転位結晶、双晶を主たる粒界とする多結晶をルツボ径いっぱいの大きさ（φ26cm インゴット/φ33cm ルツボ使用）に成長できる技術を実現できる見通しを得た。	◎	・離型剤の影響を低減し、離型剤に由来しない結晶組織を形成する。 ・ネッキング技術を精査し、無転位シリコン結晶を実現する
・従来のキャスト法に比較して結晶品質に優れるメカニズムを明確にする	・太陽電池特性に影響しない Σ3 双晶粒界を主たる結晶粒界とするシリコン多結晶を実現した。 ・ネッキング技術が使用できることを確認し、低転位密度（$10^3/cm^2$ 以下）結晶の実現可能性を確認した。 ・酸素濃度は、チョクラルスキー成長法の単結晶よりも 1 桁程度低く、キャスト成長法の多結晶と同様に低濃度化できた。	◎	・全てが双晶粒界からなる完全な双晶結晶を実現する。 ・インゴット結晶表面の気相汚染を防ぐ高純度装置を開発する。
キャスト成長法による結晶を上回る変換効率	180 μm 厚、10 cm 角ウェハーで、簡易プロセスにより 17.1%を達成し、現在の中間時点でも通常のキャスト成長法と同等の品質ができていることを確認した。	○	・高純度化、低転位化、離型剤の影響の排除により、より高品質なシリコン多結晶を実現する。
10 cm 角の結晶で 200μm 程度の拡散長を実現	・中心部平均拡散長：200 μm、 ・最大拡散長：610 μm、 ・ウェハー平均ライフタイム：31μsec を実現した	◎	同上

SUMCO			
(1)平成24年度中間目標:ライフタイムの値(リン拡散後)を200μsec (2)平成26年度最終目標:ライフタイムの値(リン拡散後)を400μsec	(1)中間目標に対する成果 一部のサンプルで205μsecのリン拡散後ライフタイムを達成した。 その他の成果 ・nタイプでありながら、偏析に依存しない抵抗プロファイルを実現した。 ・水素パッシベーションにより400μsecを超える値が出た。最終目標達成の可能性が示唆された。	○	左記の通り、中間目標を達成した。しかし、変換効率は16.2%程度に留まりｐタイプ量産品に及ばない。これはセルプロセス中のボロン拡散が高温(900℃以上)であり、それによる結晶性の悪化が原因である。水素パッシベーションを利用して改善できる可能性が示唆されたが、弊社のソーラー事業撤退により開発を中止した。

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：△、　未達：×

表Ⅲ-2-(イ)-A-1(2)　特許、論文、外部発表等の件数（内訳）

（※Patent Cooperation Treaty :特許協力条項）

	H22	H23	H24	H25	H26	計
特許出願（うち外国出願）	3 (1)	22 (0)	22 (3)	35 (10)	89 (36)	171 (50)件
論文（査読付き）	14	30	34	29	37	144件
研究発表・講演（うち国際会議）	52 (23)	99 (55)	114 (54)	107 (59)	153 (81)	525 (272)件
新聞・雑誌等への掲載	1	9	0	3	2	15件
受賞実績	4	6	1	3	7	21件
展示会への出展	1	4	5	6	7	23件

※平成27年10月2日現在

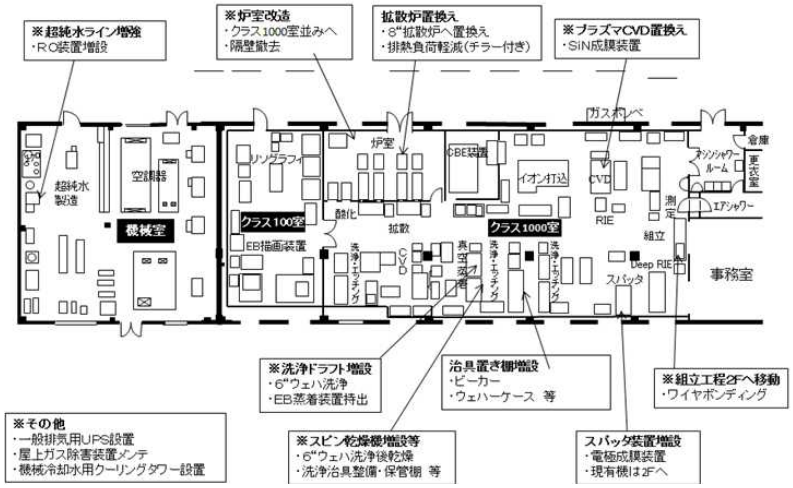
1.1　各テーマの成果詳細

<豊田工業大学>

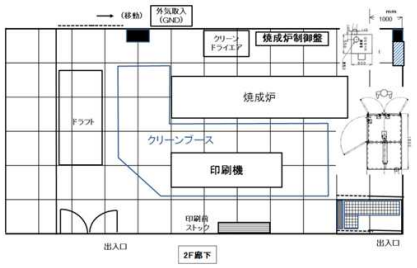
本テーマでは豊田工業大学を中心としたコンソーシアム体制にて研究開発を実施した。本学では産業開発プラットフォームとして太陽電池試作ラインを構築し、参画各機関における連携を密にし、研究開発のスピードアップ・高度化を図った。

①　試作ラインの構築

第一段階として、標準的な太陽電池（変換効率 18%）試作ライン（エッチング、テクスチャ形成、不純物ドーピング、パッシベーション膜堆積、スクリーン印刷、ペースト焼成、素子分離）を構築し、156 mm 角あるいは 125 mm 角シリコン基板を用いて参画機関が開発を進めた新規材料・プロセスの評価を行なった。試作ラインの構成を図Ⅲ-2-(イ)-A-1(1)および、図Ⅲ-2-(イ)-A-1(2)に示す。

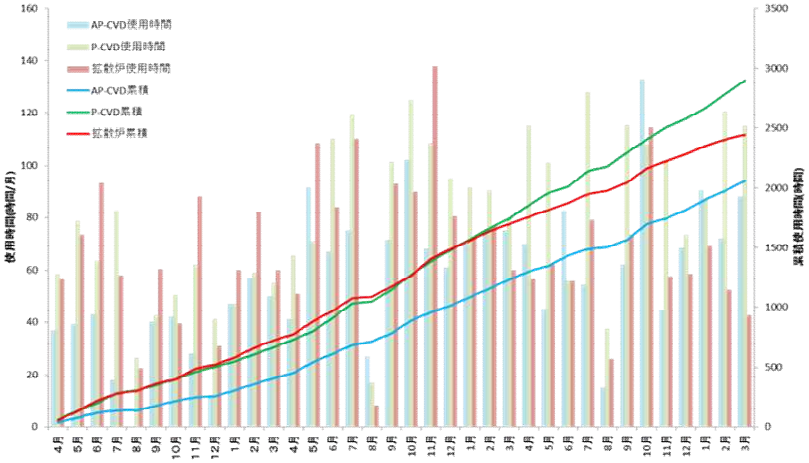


図Ⅲ-2-(イ)-A-1(1)　クリーンルーム内の装置配置



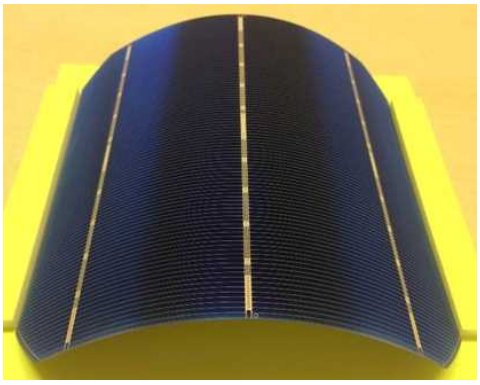
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(2)　クリーンルーム外の装置配置

本格的な運用を開始した 2012 年 4 月から集計した主要な装置の月別使用時間と累積使用時間は以下の通りである（図Ⅲ-2-(イ)-A-1(3)。コンソーシアムメンバーであるセルメーカーや関係する材料、装置メーカーの単独、あるいは共同での試作検討、技術評価のために使用され、本試作ラインが国内太陽電池関連企業の研究開発に有効活用された。

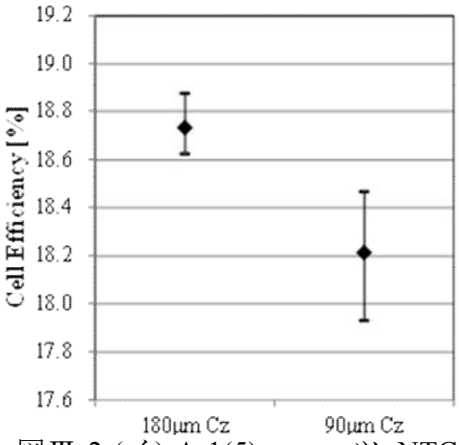


図Ⅲ-2-(イ)-A-1(3)　豊田工業大学試作ライン使用実績

次世代の高効率太陽電池である PERC 型（20%）太陽電池の製造プロセスを引き続き確立し、セルメーカーの事業化を支援した。加えて、薄型太陽電池の開発のため、固定砥粒を用いたスライス技術により得られた 100 μm 程度の厚さの基板を用いた試作プロセスを確立した。コマツ NTC 殿にて、固定砥粒ワイヤを用いて 100 μm 厚にスライスしたウエハを使って試作した PERC セルの外観を図Ⅲ-2-(イ)-A-1(4)に示す。今回の試作での実測値ではセル化完了時点でのウエハ厚平均値は 86 μm であった。通常 180 μm 厚セルとの効率比較を図Ⅲ-2-(イ)-A-1(5)に示す。この試作においては、180 μm 厚ウエハを使ったセルの最高効率が 18.9%であったのに対して、100 μm 厚スライスウエハを使ったセルでは最高効率 18.5%で、リファレンスに対する相対的な出力は同等の値が得られた。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(4)　コマツ NTC 殿固定砥粒 100 μm 厚スライスウエハによる PERC セル外観（156mm 角）



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(5)　コマツ NTC 殿 100 μm 厚スライスウエハ PERC 試作セル効率比較

② 原料・結晶の評価

多結晶成長に与える不純物の影響や、重金属や結晶粒界が再結合特性に与える影響を調べ、結晶の高品質化に貢献した。加えて、九州大学・NIMS で作製したシードキャスト 180 μm 厚ウエハで PERC セルを試作した結果、シードキャスト PERC セルで最高効率 18.7%という結果を得た。これは、リファレンスセル（180 μm 厚 CZ 単結晶セル最高効率 18.9%）とほぼ同等の特性を達成した。これにより九州大学・NIMS が開発したシードキャスト結晶技術の有効性を示し、企業への技術移転に貢献した。

③ セルプロセスの評価

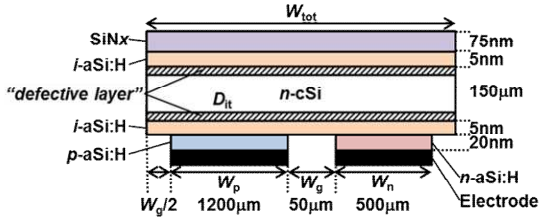
次世代の高効率太陽電池の製造に不可欠な技術として以下の要素技術を開発し、参画機関の技術開発を支援した。1）微細テクスチャ形成技術（~1μm）、2）不純物濃度を下げた高抵抗層（130Ω/sq）に対しても低いコンタクト抵抗が得られる銀ペースト、3）微細配線形成技術（30 μm 幅）、4）レーザーやエッチングペーストを用いた部分コンタクト用電極開口技術、5）イオンシャワーによるドーピング技術。

④ ヘテロ技術の評価

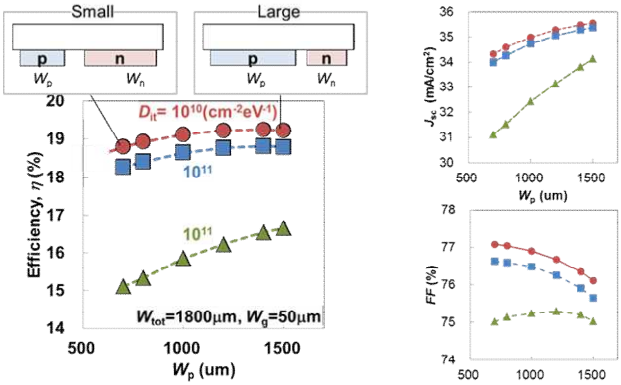
裏面ヘテロ接合型の太陽電池の変換効率向上のため、本デバイス用シミュレーション、および透明導電膜堆積評価による支援を行った。シミュレーションに関しては、量子モデルを取り入れた物理モデルの構築により、デバイス動作原理の詳細な理解に基づいて、量

産を踏まえたデバイス構造の最適化のための設計指針を構築した。これらにより、高い変換効率（25.1%（シャープ））を有する太陽電池の実現に貢献した。

シミュレーション対象とした裏面コンタクト型 Si ヘテロ接合セルのデバイスモデルを図Ⅲ-2-(イ)-A-1(6)に示し、シミュレーションの一例として p-aSi:H（エミッタ）層の幅が変換効率に与える影響を調査したものを図Ⅲ-2-(イ)-A-1(7)に示す。両面コンタクト型からはじまり、裏面コンタクト型のヘテロセルに至るシミュレーション技術を立ち上げ、量産を踏まえた設計指針を主導するなど、今後の内外の研究開発における基礎を築いた。



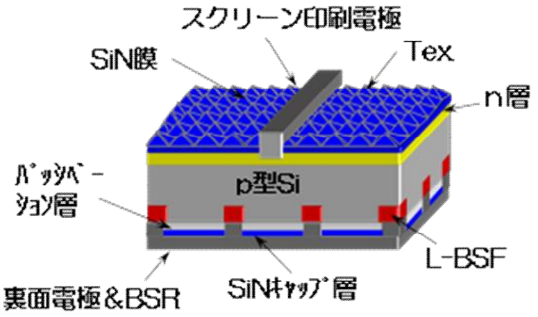
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(6)　シミュレーション対象とした裏面コンタクト型 Si ヘテロ接合セルのデバイスモデル



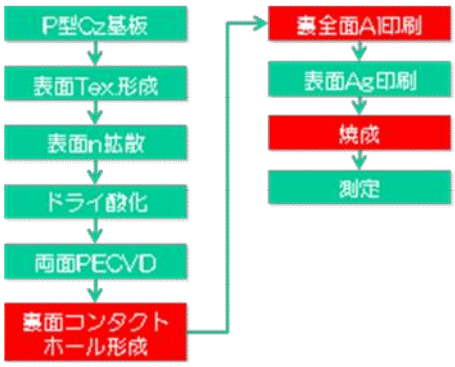
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(7)　セルパラメタ（変換効率、Jsc、FF）エミッタ幅依存性

⑤　高効率・低コストセルの評価

20%程度の変換効率を有する PERC セルプロセスに関し、エッチングペーストによるドット型コンタクトホール形成技術と全面アルミペースト印刷・焼成による裏面電極形成技術などによりプロセスの簡略化を実現した。その結果、従来プロセスに対して 2 工程付加することにより本デバイスの作製が可能となり、量産適用可能な低コスト高効率セルプロセスが確立された。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(8)はその太陽電池セル構造の概略図、図Ⅲ-2-(イ)-A-1(9)はその製造プロセスの概略である。結果として、表Ⅲ-2-(イ)-A-1(3)に示すように最高セル効率 20.0%（156 mm 角で、Jsc=38.5 mA/cm^2、Voc=656 mV、FF=0.792）を達成した。技術的な検討と並行して、実際の量産への適用の可能性を検証するためのモジュール製造コストの試算を行い、56.9 円/W との試算結果を得、モジュール市場価格に対しても十分に競争力のあるコストが実現できる目途が得られた。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(8)　PERC 型太陽電池

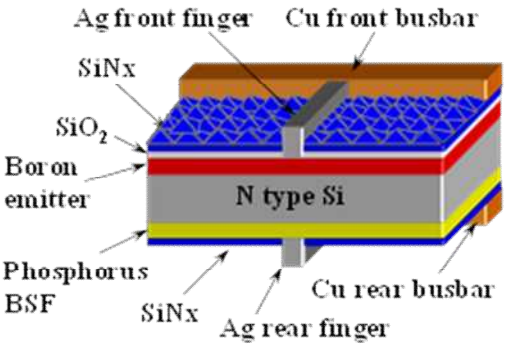


図Ⅲ-2-(イ)-A-1(9)　PERC セル製造工程

表Ⅲ-2-(イ)-A-1(3)　PERC 最適化検討セル試作結果

	Jsc (mA/cm^2)	Voc (mV)	FF	Eff.(%)
最高値	38.5	656	0.792	20.0
平均値(n=4)	38.5	656	0.790	19.9

より高い変換効率（23%）の実現を目指して、BSF 構造の最適化、パッシベーション効果の向上、n 型基板の使用などによる、両面受光型太陽電池製造プロセスの検討を行った。また、銅配線を有する太陽電池試作を行い、本技術の課題を検討した。ここでは、受光面の電極において、高温焼成型銀ペーストを用いて高温焼成し、その後、低温硬化型の銅ペーストを印刷して比較的低温にて熱硬化させ、銅／銀 2 層構造配線を形成した。試作セルの概略構造を図Ⅲ-2-(イ)-A-1(10)に示す。APCVD・BSG によるボロン拡散を行ったのち、$POCl_3$ 拡散により BSF を形成させ、酸化膜、および、窒化膜による表裏パッシベーションの後、電極形成工程を行った。表Ⅲ-2-(イ)-A-1(4)には n 型 Bifacial 試作セルの特性を示した。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(10)　APCVD･BSG 拡散 n 型 Bifacial 試作セル

バスバー電極に Cu ペーストを用いた場合と、フィンガー・バスバーとも Ag ペーストを用いた場合の特性も比較して示しているが、両者ともセル効率は 19.5%と同じである。この結果から、Cu ペーストがバスバー電極として適用可能であることが示された。

表Ⅲ-2-(イ)-A-1(4)　APCVD・BSG 拡散セル試作結果（p^+面入射測定）

表フィンガー	裏フィンガー	バスバー	Jsc (mA/cm^2)	Voc (V)	FF	Eff. (%)
Ag/Al (従来品)	Ag (開発品)	Cu	39.1	0.621	0.645	15.7
Ag (開発品)	Ag (開発品)	Cu	39.8	0.646	0.758	19.5
Ag (開発品)	Ag (開発品)	Ag	40.3	0.642	0.756	19.5

以上、本プロジェクトを通して、新技術の開発、ならびに各参画企業・機関が有する技術の統合により、多くの目標値を達成できた。例えば、シードキャスト基板で CZ に類する性能が実証でき、結果として企業にその技術の一部が移転された。一方、高効率化に関しては、ヘテロセルで 25%超えの高い変換効率を実現した。その他本プロジェクトで研究開発された多くの技術に関しても、太陽電池国際ロードマップ（ITPV）に掲げられている指標に対して前倒しで実現された。これらのことから、日本の太陽電池産業の発展に大きく貢献する目的は達成できた。

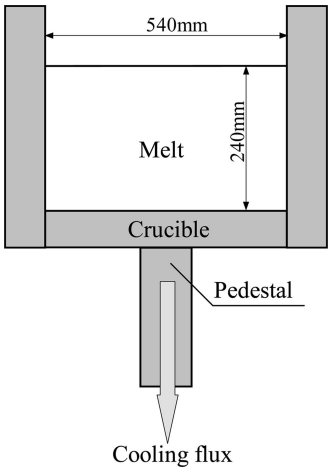
<九州大学>

本研究は、高効率のシリコン結晶太陽電池の実現のために、結晶育成炉内の温度、不純物、欠陥分布を定量的に予測することが目的である。特に、種結晶であるシード結晶を用いることにより、従来のセル変換効率が 17%であったシリコン太陽電池の変換効率を、19%に向上させることが目的である。平成 23 年度に九州大学応用力学研究所柿本研究室に導入された一方向性凝固結晶成長炉を解析対象とした。解析には、九州大学応用力学研究所で独自に開発した結晶成長解析用グローバル解析コードを（Process Analysis Software for Ingot Solidification Technology）用いた。本コードは結晶成長炉内における伝導、対流、輻射をすべて考慮に入れ、それぞれがカップリングした問題を解くことが可能なコードである。

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(11)は、平成 23 年度に九州大学応用力学研究所柿本研究室に納入されたキャスト炉の融液図と冷却部分を示している。本実験炉は、540mm 四方の角柱状のシリコン単結晶を育成することが可能である。また、抜熱用ペデスタルが設定できる構造となっている。

１－２　解析対象

本解析の対象は、図Ⅲ-2-(イ)-A-1(11)に示す構造をしたキャスト炉である。540mm 四方、240mm 高さの角柱状シリコン単結晶を育成するために、図Ⅲ-2-(イ)-A-1(11)に示すような石英製坩堝内のシリコン融液を作成し、坩堝下方より抜熱することにより融液を固化し、太陽電池用シリコン単結晶を育成することが可能である。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(11)中のペデスタルには冷却用の管が設置してあり、これより効果的な冷却が可能となっている。



図Ⅲ-(イ)-A-1(11)　解析に用いたキャスト炉の構造

１－３　結晶成長と応力解析結果

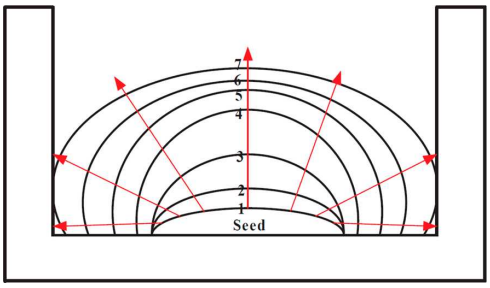
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(12)は、シリコンの Seed に接触したシリコン融液原料を、坩堝底部から抜熱することにより固化が進む途中の固液界面形状の時間変化を示している。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(12)からわかるように、種結晶である Seed から育成していく結晶と坩堝との接触角は、常に 90 度以下になっており、種結晶の単結晶の情報が常に成長層に伝播していくことが可能な結晶育成方法であることがわかる。従来は、複数枚の種結晶を使用することにより、種結晶間から伝播する結晶境界が育成方向に発達し、これより転位の伝播が促進され、結果として太陽電池の変換効率の低下が生じ問題となっていた。ここで提案している育成方法は、低転位密度の結晶育成が可能で、変換効率の向上が見込まれた。本結晶育成方法は、本プロジェクトの活動結果として、特許申請している。

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(13)には、結晶成長が進行していく途中で、塑性変形により発生した結晶中に残留する応力の分布を示した。(a)から(h)に時間が経過するに従って数 MPa のオーダで変化していることがわかる。また、最終的には、結晶全体にわたって 10MPa のオーダであることがわかる。このように比較的低い応力の値で結晶成長することが可能となったのは、結晶成長が終了しても結晶の冷却過程にて熱応力による転位の発生を極力低減したためである。

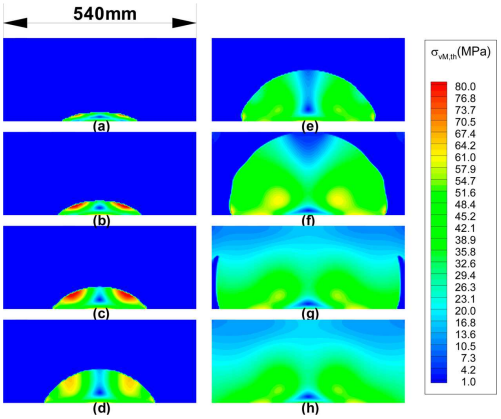
１－４　転位密度の解析結果

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(14)は、結晶成長が進行していく途中で、塑性変形により発生した結晶中に発生する転位密度の分布を示した。(a)から(h)に時間が経過するに従って、$1x10^4$ cm^{-2} のオーダで変化していることがわかる。

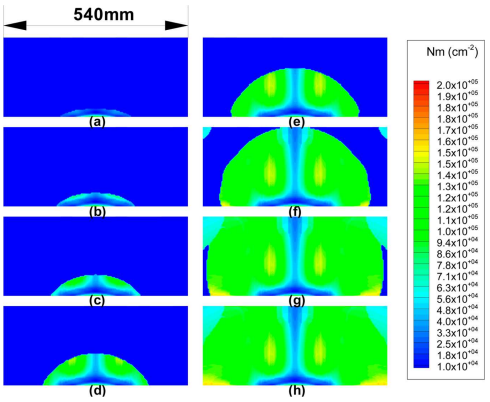
また、最終的には、結晶全体にわたって $7x10^4$ cm^{-2} のオーダであることがわかる。このように、50cmx50cm の比較的大きな単結晶にもかかわらず、低い転位密度の値で結晶成長することが可能となったのは、結晶成長が終了後も結晶冷却過程にて発生する熱応力による転位の発生を極力低減したためである。



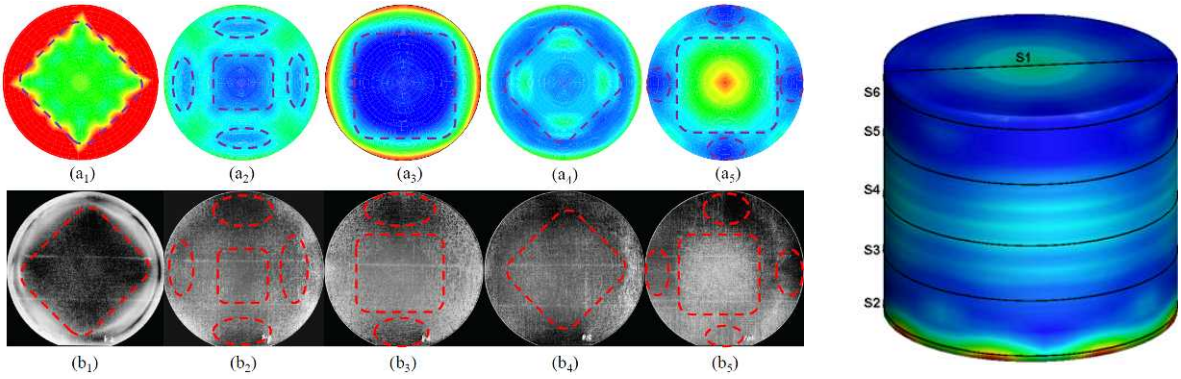
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(12)　成長の時間変化



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(13)　残留応力分布の時間変化



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(14)　転位密度分布の時間変化



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(15)　スライスウエハーの転位分布の数値解析結果と X 線回折法実験結果

本プロジェクトで開発した転位密度解析コードの妥当性を検証するために、シリコン単結晶を加熱して冷却するプロセスを通した後の結晶内の転位密度分布を、実験結果と数値解析結果を定量的に比較した。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(15)は、(a1)から(a5)まで、(b1)から(b5)まではそれぞれ(c)の円柱状単結晶中のスライスしたウエハーの転位分布の数値解析結果と X 線回折法による実験結果を示す。X 線回折法による結果では、白い部分が転位密度の高い部分を示しており、ほとんどの部分で数値解析結果と実験結果一致していることがわかる。ただし、(a3)と(b3)を比較すると、計算結果では、上下部においても転位密度が大きい部分が観察されるが、実験結果においては黒い部分となり転位密度が低いように見える。しかし、これは X 線回折実験では一方向からの回折実験結果のみを示しており、これに垂直な方向からの回折実験を行えば、数値解析と同じ転位密度分布が観測される。

以上の結果から、本プロジェクトで開発した転位密度分布および残留応力分布の解析コードは、定量的にシリコン単結晶中の転位密度と残留応力を解析できることが分かった。

１－５　不純物制御の実験結果

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(16)(a)と(b)は、それぞれ炭素不純物汚染対策無しと、有りの場合の育成した結晶表面の写真を示す。結晶の大きさは、50cmx50cm であり、太陽電池用セルが 3x3=9 個取得できる大きさである。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(16)(a)は、結晶育成炉を購入した状態での炉内構造物を使用して結晶育成を行った結果であり、赤丸で示すように表面は SiC や窒化物の不純物が析出していることがわかる。また、この結晶は多結晶である。一方、図Ⅲ-2-(イ)-A-1(16)(b)は、結晶育成炉内のガスの流れと化学反応を制御して育成した単結晶表面の写真である。この表面は結晶中の不純物濃度が低いために鏡面状態であることがわかる。さらに結晶の上下左右に育成した結晶が単結晶であることを示す<111>面で構成されるハビットが観察される。これにより、育成した結晶が単結晶であり、転位密度が $10^3 cm^{-2}$ 程度であることが予想される。

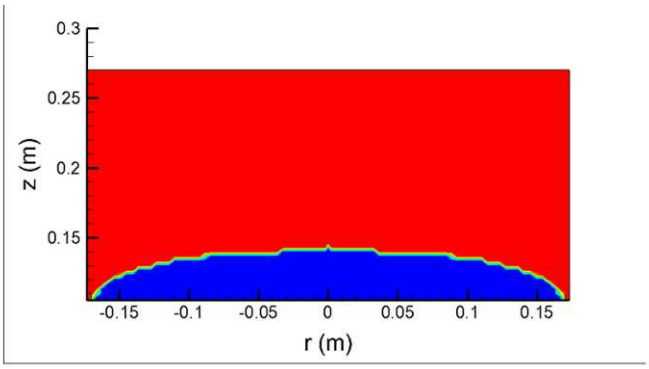
(a) 炭素不純物汚染対策無　　(b)炭素不純物汚染対策有

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(16) 育成した結晶表面の写真

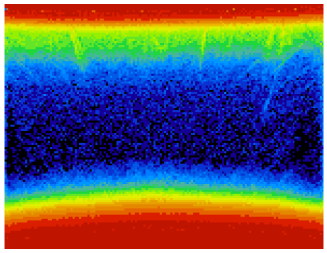
１－６　技術移転による変換効率向上の結果

以上示したような研究開発の結果を、現在太陽電池製造会社へ技術移転を行っている。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(17)(a), (b), (c)に示した図は、それぞれ九大が行った固液界面形状の数値解析結果、固液界面形状を反映したキャリアライフタイムの分布、そして会社で育成した結晶を用いて作製したセルの変換効率を示している。参考のために、現在高効率の太陽電池として使用されている CZ 法により育成した結晶を用いてセルを作成した結果である。両者の変換効率の差はほとんど無いことがわかる。さらに、本プロジェクトで開発した結晶には酸素が少なく、CZ 結晶特有の光劣化による変換効率低下の懸念もない。従って、実際に太陽電池として使用していく場合、本プロジェクトで開発した結晶で作成したセルの変換効率の方が、従来の CZ 法で作成したセルの変換効率よりも高くなることが予想される。

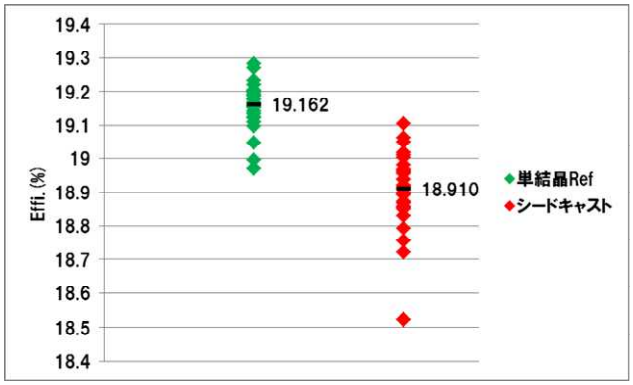
また、本プロジェクトで開発した結晶育成が非常に安価であり、Seed キャスト法による結晶が実際のパネルに組み込まれる日も近いであろう。



(a) 固液界面形状の数値解析結果



(b) 固液界面形状を反映したキャリアライフタイムの分布



(c)変換効率の比較

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(17)　研究開発成果

<NIMS>

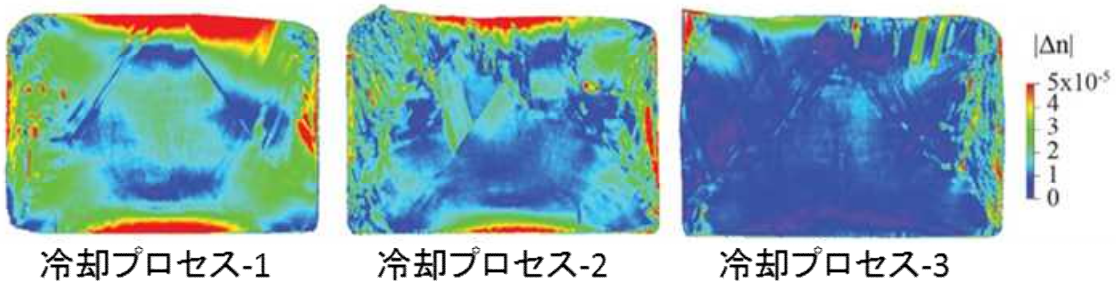
世界の競争に耐えうる太陽電池用低価格高品質シリコン結晶の育成法を確立した。このために、シングルシードキャスト法を考案し、これを実験炉にて確立させ、実証炉を製造して 50cm 角モノシリコン結晶を育成した。育成した結晶をウエハにスライスして、ライフタイム 400μs 以上を実現させた。さらに効率評価を行い、既存の単結晶、多結晶シリコン太陽電池と比べた競争力を比較した。

以下に個別の成果について記す。

① 実験炉による Seed cast 法の確立

実験炉にて直径 100mm のシングルシードキャスト結晶を 50 本以上育成し、単結晶化の要点、軽元素不純物の除去、残留歪や拡張欠陥の低減、Fe 不純物の除外を検討した。

結晶冷却過程と残留歪に関する研究では、同等径の Si 無転位単結晶に同じ熱処理を与えて、転位と歪分布を調べ、実験とシミュレーションとの相関を検討した。異なった冷却条件で育成した 3 個の mono 結晶の残留歪を SIRP 法により評価した結果を図Ⅲ-2-(イ)-A-1(18)に示す。3 個の結晶の育成条件は同じにし、育成後の冷却過程を変更した。残留ひずみの大きさは、プロセス-1、-2、-3 の順に小さくなっており、冷却条件が残留歪に影響していることが確認された。これらの実験結果を、九大の計算機シミュレーション、及び、実証炉での結晶育成条件にフィードバックして、歪の低減、転位密度の低減に成功した。これらの知見より、結晶成長条件の最適化を検討した。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(18) 冷却過程の違いによる残留歪分布の変化.

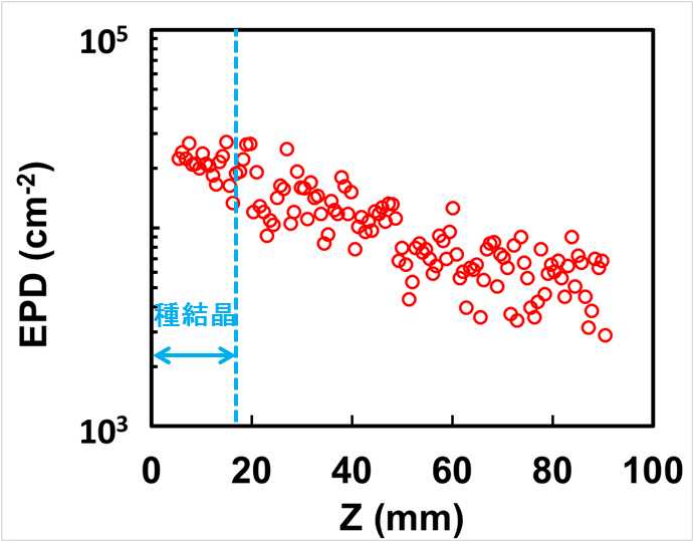
② 実証炉による結晶成長

九州大学に実証炉を設置し、内部を改造して、シングルシードキャスト成長が行える環境を整えた。Mono cast 結晶高品質化のための、装置及びプロセスの最適化を行った。その一つとして、九州大学グループの結晶成長シミュレーション予測と実験炉の知見を融合し、実証炉のホットゾーンの改造を行った。実証炉を用いて、50cm 角のモノシリコンインゴットを成長した。

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(19)　導入した鋳造炉とこれを用いて育成した通常の鋳造結晶

シードキャスト法による大型シリコン単結晶成長は、2008 年に Stoddard らが報告して以来、マルチシード方式で試みられている。従来の鋳造炉では、固液界面がほぼ水平となり、下から上への一方向成長用に設計されており、マルチシード方式に適している。シングルシード方式においては、上方向と横方向の両方向に三次元的に成長させるために、固液界面をマッシュルーム状にする必要がある。Gao らは、数値計算により、マッシュルーム状の固液界面になるような熱流構造の炉で、単結晶が可能であることをシミュレーションで示した。実際に成長するには、このマッシュルーム成長のための熱流構造を、実際の炉で如何に実現するかが、課題である。

本研究では、50cm 角結晶育成用の市販の鋳造炉を改造して、シードキャスト用の炉を製作した。炉内部品の全てを入れ替え、シードからの抜熱を大きくし、側面および上面からの抜熱を抑える熱流構造として、ほぼ 90%の領域を単結晶とすることができた。本研究では、熱流構造を改善するための炉内変更を加えることで単結晶領域を結晶全体まで広げ、シングルシード方式での単結晶成長を完成させた。



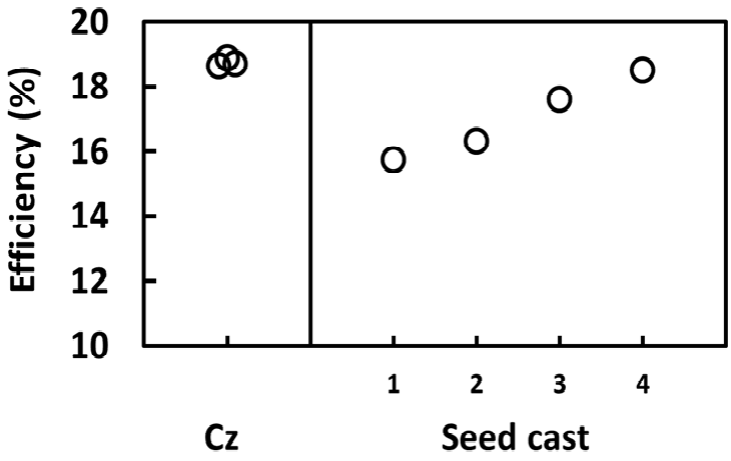
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(20)　　実証炉における転位密度低減

従来のマルチシード方式では、シードとシードの境界に転位が発生する。本研究のシングルシード方式では、その発生はなく、また、固液界面形状が上凸形状であることから、成長によって伝搬する転位の密度は、成長に従い少なくなる方向である。また、転位は結晶固化後の冷却過程の熱歪によって発生し、Karolin らは、10cmφの小型鋳造結晶において、冷却過程が、転位密度および残留歪に影響することを示した。50cm 角の大型鋳造結晶において、転位の低減を図ることを課題とした。

本研究において、原料溶解時に種結晶に入る転位が結晶に伝搬しリネージになることを明らかにし、また、種結晶への転位導入を低減するプロセスを見出すことで、50cm 角結晶のリネージ発生を抑止し、転位密度は $3E^4/cm^2$ まで低減できた。

③　低コスト単結晶の評価

実験炉にて育成した結晶を切断し、NEDO コンソに供して、スライス、セルプロセス、評価を行った。最終的にライフタイムの最高値は 465μs となり、目標としていた 400μs をクリアした。さらに、太陽電池を製作し、最高値で 18.7%を得た。これは Reference となる CZ シリコン単結晶の 18.9%とほぼ同等であった。この結果により、シードキャストモノシリコン結晶が、近い将来の価格競争力のある太陽電池材料として、最有力であることが示された。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(21)　太陽電池変換効率の比較。
シングルシードキャストウエハと CZ ウエハ。

④　技術移転

Seed cast 技術の開発で蓄積された、軽元素不純物低減法や、冷却プロセスの最適化などを、個別要素として、現実の鋳造結晶技術に応用すべく、会社に技術移転を行った。

<名古屋大学>

1.浮遊キャスト成長法の高品質化メカニズム解明とその成長技術開発

1-1 成長初期過程でのデンドライトを利用した組織制御

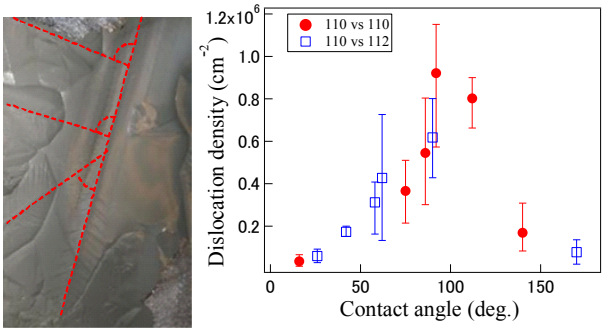
浮遊キャスト法を利用すると融液表面で成長を開始するため、ルツボ底部での核形成と比較して核形成頻度を大幅に低下させることができる。よって、核形成時の過冷却度が、ファセットデンドライト成長の発現に必要な臨界値（およそ 10K）よりも大きくなるため、**インゴットの上面全てを複数のデンドライト結晶で覆うことが可能**である。また、デンドライト結晶の成長方向を制御することで、結晶方位や粒界構造に関しても制御が可能となる。これは、従来法にない浮遊キャスト法特有の利点である。

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(22) 面内温度分布による融液表面に発現するデンドライト結晶

1-2 デンドライトの接触角と転位密度との関係

デンドライト結晶を利用し粒界構造を制御するために、隣り合うデンドライト結晶の接触角を、粒界を特徴づけるパラメータとした。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(23)(a)にインゴット上面に形成されたデンドライトの様子を示す。デンドライトの主鎖や境界が明瞭に判別できる。この観察結果からデンドライトの主鎖がなす角度を接触角と定義した。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(23)(b)は 156mm 角の実用サイズのウエハーにおいて、デンドライトの接触角と粒界近傍の転位密度との関係を表した結果である。接触角が小さいほど転位密度が少ないことがわかる。この結果は、**すべてのデンドライトを平行に成長させることで転位密度が低減可能**であること示唆しており、浮遊キャスト法による高品質化メカニズムを示した結果である。

(a) (b)



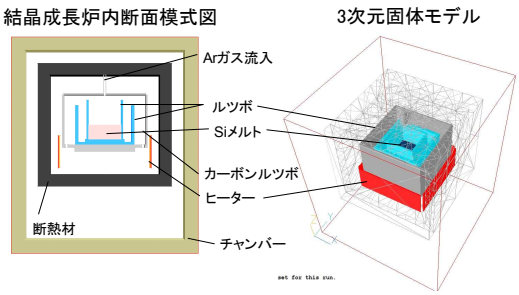
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(23): 接触角と転位密度

1-3 デンドライト組織制御に向けた炉内温度分布の計算

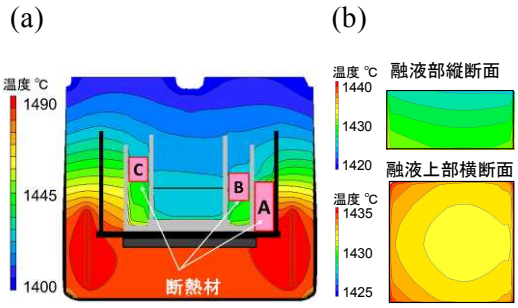
上記の結果より、浮遊キャスト法にてデンドライトを平行に成長させることで転位発生を抑制可能という知見を得た。そこで、ルツボを角型に変更し、その 1 辺のみを冷却することですべてのデンドライトを平行に成長させる試みを実施した。

浮遊キャスト法においてデンドライトが平行にそろったインゴットを実現させるには、融液上部ではルツボの 1 辺のみを低温、融液中心部では下に凸の温度分布が必要である。この温度分布を実現するために、炉内の熱伝導と輻射を考慮した熱輸送計算を Cham Japan 社の Phoenics 利用して行った。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(24)に作成したモデルを示す。4 方をヒーターが囲みその中に原料を入れたルツボを配置している。境界条

件としてヒーターの設定を 1490℃、チャンバーを 25℃の温度に設定した。また、非対称の温度分布とするために断熱材を 3 つルツボの周辺に配置した。その結果を図Ⅲ-2-(イ)-A-1(25)(a)に示す。設置した断熱材は図Ⅲ-2-(イ)-A-1(25)(a)のように片側に断熱材 A、B を、対面に C の位置である。断熱材 A、B はヒーターからの熱の流入を遮る役割があり、断熱材 C は熱の流出を抑える役割をしている。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(25)(b)に Si 融液部のみのたて断面と上面の横断面を示す。融上部ほど非対称な温度分布となっており。これらの結果は、**断熱材の設置という安価で容易な方法で上記のような理想的な温度分布を実現できる**ことを示している。



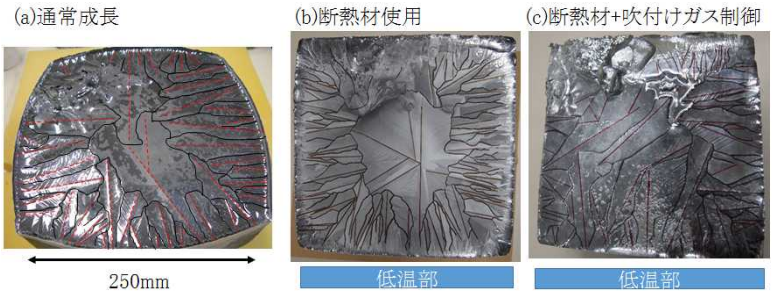
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(24): 熱輸送計算モデル



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(25): (a)熱輸送計算モデル、(b)計算結果

1-4 デンドライト組織制御のための計算結果に基づいた結晶成長

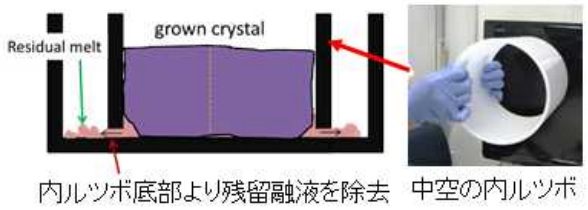
前節の計算結果を実際のインゴットの結晶成長に適用した。インゴットの成長は、ルツボサイズ 250 mm 角、高純度原料 20 kg、Ar ガス 8 l/min、冷却速度 2.5-1 ℃/h の条件で実施した。**デンドライト結晶の成長を制御するために、ルツボ外部に断熱材を図Ⅲ-2-(イ)-A-1(25) (a)のように設置し、融液上部片面が局所的に低温となる温度分布の実現を試みた。**また、融液上部中心部に噴きつけていた Ar ガスの位置を変化させることでデンドライト結晶の核形成制御を行った。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(26)に(a)通常成長、(b)断熱材設置、(c)断熱材およびガス流制御したインゴットの上部写真を示す。赤線はデンドライトの主鎖を、黒線は境界部を示している。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(26)(a)では坩堝壁からほぼ均等にデンドライト結晶が成長しているが、断熱材を設置することで低温部より大きなデンドライト結晶が成長したことがわかる。さらにガスの噴きつけ位置の変化により周辺部における細かなデンドライト結晶の発生を抑制することが出来た。この結果は、キャスト法における結晶組織の制御が高品質インゴットの実現に有効であることを示している。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(26): 浮遊キャスト成長法によるデンドライト結晶の組織制御

1-5 二重ルツボを利用した残留融液の除去

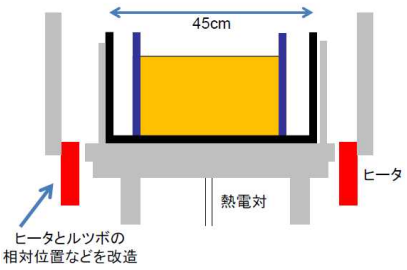
浮遊キャスト成長法では、成長後期におけるインゴットと残留融液の分離の過程の制御が重要となる。そこで、図Ⅲ-2-(イ)-A-1(27)のような外側ルツボの内側に、底板のない中空ルツボを配置する二重構造を採用することを考案した。シリコン原料は、離型剤を塗布した内側ルツボの内部に配置した。このような配置を取ることで、成長初期においては、シリコン融液は内側ルツボ内に保持されることが期待される。一方で、成長後期には、結晶化による体積膨張に伴いルツボ底部近傍に隙間が生じ、残留融液が外側ルツボに自然排出され、インゴットへの応力印加を抑制することを意図している。



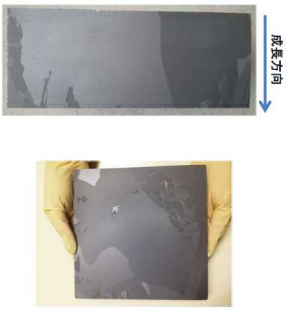
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(27):二重ルツボの概念図

この手法を、実用サイズのウエハー（156mm 角）が取得可能なインゴットの成長実験に適用した。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(28)に、改造した研究開発炉の概念図を示す。この研究開発炉は、上部と側部にヒーターを有している。主な改造として、ルツボと側部ヒーターとの相対位置を変更し、上部ほど温度が低いという通常とは逆の温度勾配下での実験を可能とした。

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(29)は、成長したインゴットから切り出した 15.6cm 角ブロックの断面写真と、このブロックをスライスすることで得られたウエハーの表面写真である。融液表面から成長を開始した効果によって、大粒径の多結晶が得られていることがわかる。また、インゴット底部においても結晶粒の微細化が見られていない。

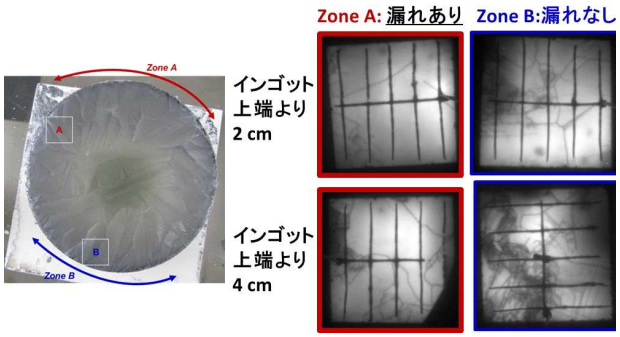


図Ⅲ-2-(イ)-A-1(28) :
結晶成長炉概念図



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(29):
浮遊キャスト法により作製したインゴットの写真

次に、二重ルツボの効果を明瞭にするため、融液漏れ有無による太陽電池特性への影響を調べた。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(30)に太陽電池作製後のELイメージをインゴットの上部と底部について示す。上部では融液漏れの有無にかかわらず欠陥が少ないが、底部では漏れのある方で欠陥が少ないことが分かる。これは、二重ルツボによる応力低減を示しており、インゴットの歩留まり向上に大きく役立つ結果である。

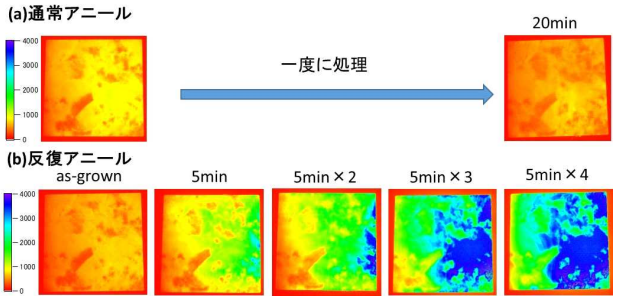


図Ⅲ-2-(イ)-A-1(30):融液漏れの有無と欠陥分布

2　太陽電池による結晶品質の評価および高効率化の検討

2-1 新規ゲッタリング手法の提案

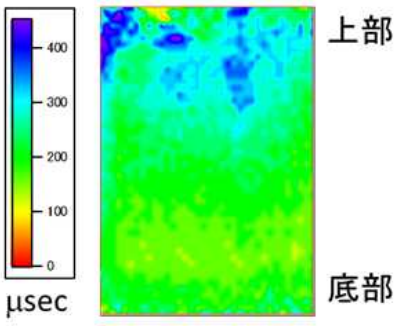
太陽電池の高効率化のためには、インゴットの高品質化のみならずデバイス化過程で起こる新たな欠陥発生を抑制する必要がある。高温の熱処理中では転位の増殖や不純物の析出が起こるため、これらの欠陥発生を抑制可能な熱処理条件を探索した。その方法として不純物の析出防止のために短時間の熱処理を繰り返す反復アニール方法について検討した。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(31)に(a)通常アニールと(b)反復アニールを施した際のPLイメージを示す。(a)は700℃20分で熱処理を行い、(b)は700℃5分の熱処理と数分の冷却を4回繰り返した。その結果、通常アニールでは熱処理によりPL強度の低下が見られたが、(b)ではPL強度が大きく増加した。これは、**反復アニールで新たな欠陥発生を抑制したことを表しており、太陽電池の更なる高効率化が可能**であることを示した結果である。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(31): 熱処理方法の検討

2-2浮遊キャスト法により組織制御されたインゴットの電気的特性

前章では浮遊キャスト法を用い、デンドライト成長の方向を制御することで多結晶組織が制御できることを示した。そこで、組織制御を行ったインゴットにおいて、電気的特性について調べた。実験に用いたインゴットは図Ⅲ-2-(イ)-A-1(26)(c)に示すものである。このインゴットのうち、デンドライトが平行に成長している部分のたて断面を切断した。このサンプルに化学パッシベーションを施した後、マイクロ波光導電減衰法(μPCD) によりライフタイムの分布の測定を行った。その結果を図Ⅲ-2-(イ)-A-1(32)に示す。**インゴットの上部でライフタイムが400μsecを超え最大480μsec、平均230μsecとなり、本プロジェクトの目標のライフタイムの値を達成**した。これは、**本研究で提案する組織制御による高品質化の実現を示した**典型的な結果である。また、ルツボ底部においても低ライフタイム部が見られず、**二重ルツボによる応力緩和が効率的に利いている**ことを示している。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(32): 組織制御したインゴットのたて断面のライフタイムマップ

以上の結果より、本プロジェクトで提案する**浮遊キャスト成長法は量産可能な技術を用いて高品質なSiインゴットを実現可能な手法であることを示した。また、キャスト法をベースとしているので製造コストを増加させずに太陽電池の性能向上が見込まれる有望な結晶成長技術と考える**。

<兵庫県立大学>

スライス時のカーフの回収・再利用

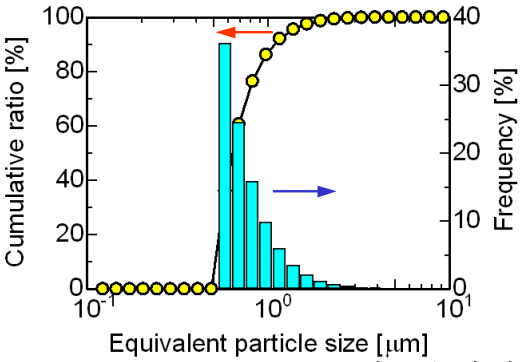
（a）カーフ／不純物の分離技術の開発

● スラリー中の固体の評価

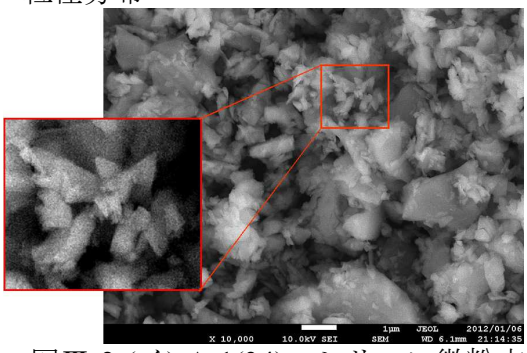
スライス方式は遊離砥粒方式と固定砥粒方式に分類される。スライス方式が遊離砥粒方式、固定砥粒方式どちらの場合も、分離をする上で最も重要な情報はどのような物質（Si 微粉末や砥粒）がどのような大きさで存在しているか、というスラリー（懸濁液）中の固体特性を把握することである。そこで、固体の大きさ分布を調べるために、レーザー回折・散乱法により測定を行った。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(33)に固定砥粒方式スライスの廃棄スラリー中の固形物粒径分布を示す。固定砥粒方式の場合は 0.6~3 [μm] 程度の粒径分布を示した。SEM により観察した所、全てシリコンではあるが、比較的小さな削られたようなものと、比較的大きい、剥離したようなものが混在していることがわかった（図Ⅲ-2-(イ)-A-1(34)。具体的な粒径分布を評価するために、動的光散乱法による測定を行った（図Ⅲ-2-(イ)-A-1(35)。大まかな傾向として、数 μm の粒子群と数 100nm の粒子群が混在しているが、その比率などは廃クーラント毎に異なっている。これもサンプリング状態の相違に起因していると考えられるため、ろ過プロセス時のパラメータ設定には注意が必要である。

● クーラント特性の評価

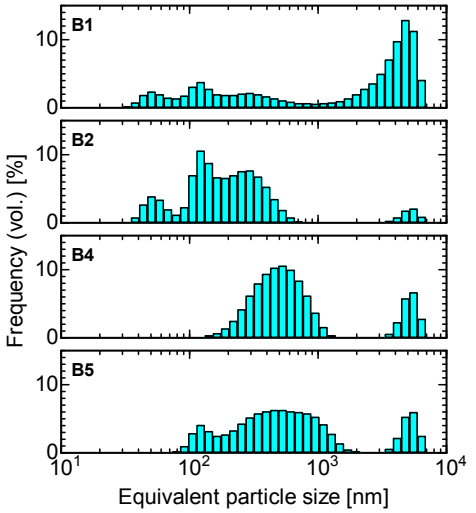
廃クーラントにはシリコン微粉末などが含まれているため、クーラント単体とは実効的な特性が異なることが考えられる。特にクロスフローろ過による濃縮を実施する場合、実効粘性が劇的に変化することが知られている。そこで本研究の対象であるシリコン微粉末濃度を変化させて実効粘性を評価した。その結果を図Ⅲ-2-(イ)-A-1(36)に示す。図に明らかなように、シリコン濃度増加と共に実効粘性は急激に増加している。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(33)　固定砥粒方式スライスの廃棄スラリー中の固形物粒径分布

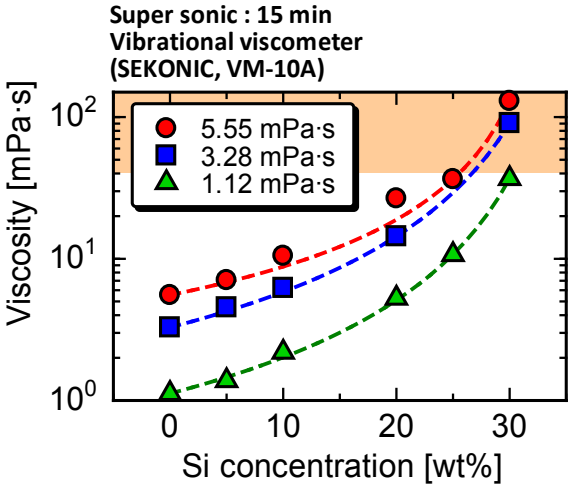


図Ⅲ-2-(イ)-A-1(34)　シリコン微粉末の電子顕微鏡像
(scale bar = 1μm)



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(35)　各クーラントに含まれる微粒子の粒径分布

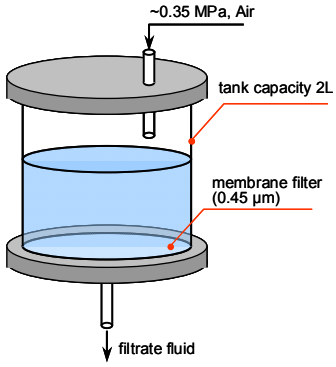
クロスフローろ過実験の結果と合わせて考えると実効粘性 40mPa·s 程度が渦巻式ポンプの限界と考えられ、シリコン濃度 25~30%が濃縮限界と言い換えることが出来る。より濃縮度を高めるためには、一般的な渦巻式ポンプではなく、回転容積式一軸偏心ねじポンプが適していることが明らかになった。



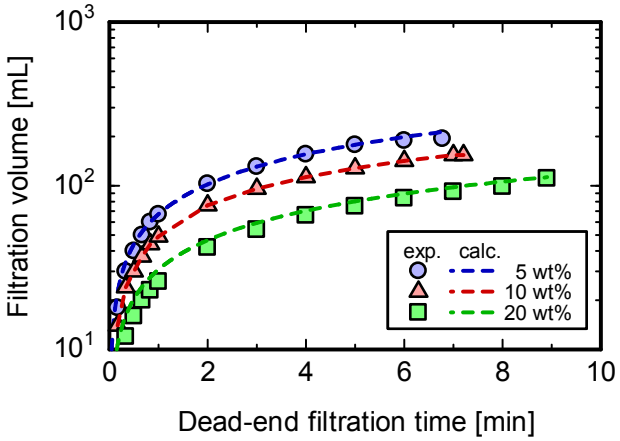
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(36)　シリコン濃度と実効粘度の関係

● 全量ろ過による固液分離

全量ろ過プロセスの最適化について検討を行った。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(37)に全量ろ過の概略図を示す。さらに、図Ⅲ-2-(イ)-A-1(38)に異なる切削屑濃度の全量ろ過の結果を示す。初期切削屑濃度が低い方がろ過速度そのものは早いが、ろ過により得られるシリコン量に換算すると、初期濃度が 5 wt%の場合に比較して、20 wt%の方が約 3 倍早くシリコンを回収可能である、という結果となった。この結果から、全量ろ過の前段において濃縮を実施することがプロセス最適化に必要と考えられる。



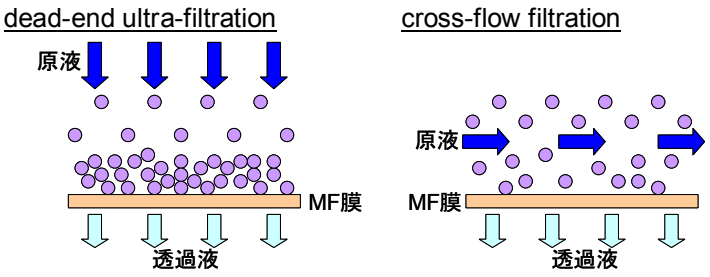
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(37)　全量ろ過の概略図



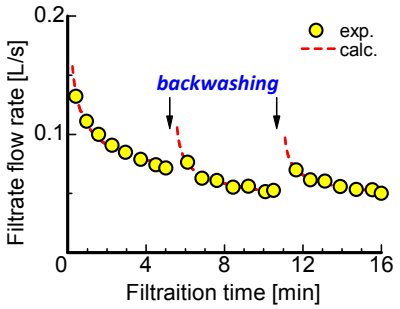
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(38)　異なる切削屑濃度の廃クーラントの全量ろ過曲線

● クロスフローろ過による固液分離

全量ろ過の前段階として、クロスフロー濾過による廃クーラントの濃縮の検討を行った。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(39)に全量ろ過とクロスフロー濾過の模式図を示し、実際の廃クーラントを用いてろ過流量変化について確認を行った一例を図Ⅲ-2-(イ)-A-1(40)に示す。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(39)　全量ろ過とクロスフロー濾過の模式図

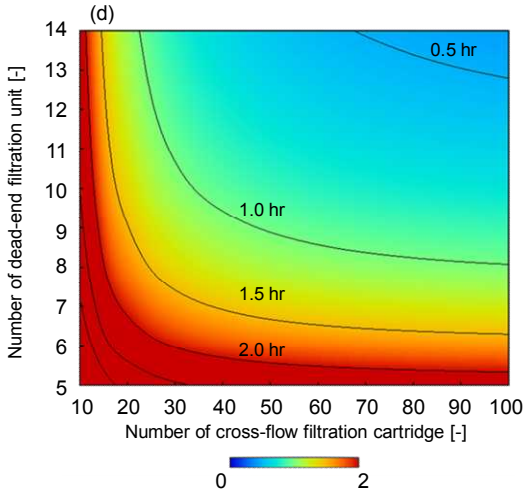


図Ⅲ-2-(イ)-A-1(40) クロスフローろ過速度の変化

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(40)に破線で示したのは、全量ろ過のモデル式をベースに作成したクロスフローろ過のモデル式を用いた計算結果であるが、実験結果をよく再現していることが判る。

・ろ過システムの最適化の検討

全量ろ過およびクロスフローろ過について両者を適切に組み合わせることで含む廃クーラントからのシリコン微粉末回収の効率化が期待出来る。それぞれのろ過特性についてモデル化した式等を用い、ろ過システムの最適化について検討を行った。クロスフローカートリッジ数、全量ろ過システム数、および処理時間の関係を計算した結果の一例を図Ⅲ-2-(イ)-A-1(41)に示す。これらの検討により、システム最適化の設計指針を得ることが出来た。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(41)　クロスフローカートリッジ数、全量ろ過システム数、および処理時間の関係

（b）原料再生技術の開発

● スラリー中のシリコン微粉末の不純物評価

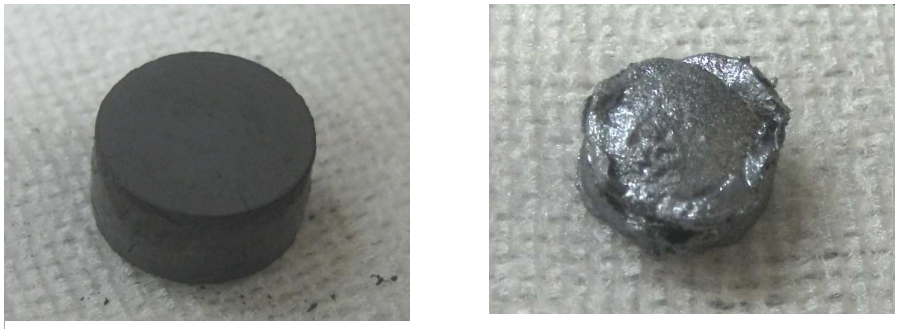
廃クーラントからろ過したシリコン微粉末を乾燥後、誘導結合プラズマ質量分析法により不純物の評価を行った。なお、本評価はシリコン結晶コンソーシアムに参加の新日本ソーラーシリコンの協力のもと実施した。表Ⅲ-2-(イ)-A-1(5)に代表的な金属不純物の含有量を示す。どの金属も非常に高い値を示している。本研究開発では回収したシリコン微粉末を直接原料として使用するのではなく、一度融解・再凝固して原料化することを想定しているため、この測定結果を元に融解・再凝固後の固化率 0.9 での不純物濃度を推算した。その結果、原料として十分使用可能な濃度であることが確認された。

表Ⅲ-2-(イ)-A-1(5)　シリコン微粉末中の代表的な金属不純物濃度と溶融・再凝固後の固化率 0.9 における予測不純物濃度

element	conc. [cm^{-3}]	conc. at X=0.9 [cm^{-3}]
Al	2.38×10^{17}	4.74×10^{15}
Cu	9.71×10^{16}	3.88×10^{14}
Ni	3.04×10^{18}	2.43×10^{14}
Fe	5.90×10^{17}	4.72×10^{13}
Co	6.66×10^{15}	5.33×10^{11}

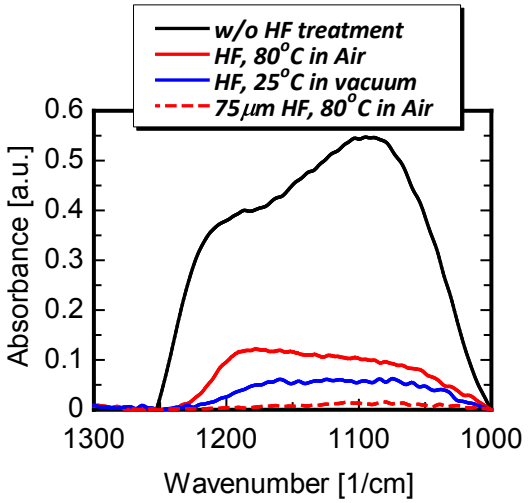
● シリコン微粉末のペレット化

回収したシリコン微粉末は非常に細かいため、ハンドリングに適していない。そこで微粉末のプレス成型を行った。その結果、およそ 0.5 [GPa]で充填率 50%程度のペレットが得られる



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(42)　プレス成型したシリコン微粉末ペレット(左)と加熱処理（1550℃）後のシリコンペレットの外観写真

ことが判った。
そのプレス成型したペレットをシリコンの融点よりも高い 1550℃で熱処理を行った。熱処理前後のペレット外観を図Ⅲ-2-(イ)-A-1(42)に示す。熱処理後の試料はペレット形状をほぼ維持していることから、完全融解していないことが判る。
この原因はシリコン微粉末表面が酸化されており、その酸化膜が融解を阻害していると考えられる。



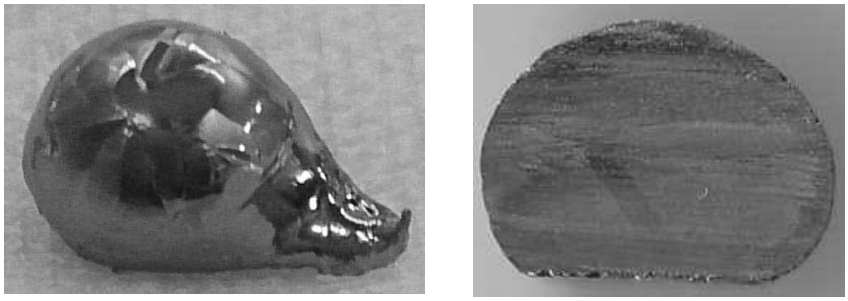
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(43) 処理毎の残留酸化膜量の違い

● シリコン酸化膜の除去

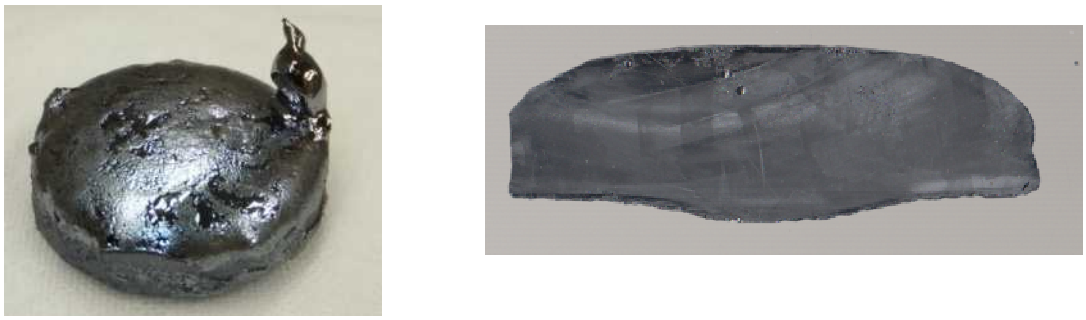
シリコン微粉末の表面は酸化している可能性が高い。そこでフーリエ変換赤外吸光法(FT-IR)によりシリコン酸化膜の評価を行った。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(43)に様々なシリコン酸化膜除去処理後のシリコン酸化膜に起因する吸収を示す。未処理の試料では非常に大きな吸収が観察される。

● 融解・再凝固

酸化膜の存在はシリコンの完全融解を妨げていた。そこでシリコン酸化膜除去の工程を適切に組み込んだ結果、ペレットの完全融解に成功した。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(44)に融解・再凝固後の外観と断面写真を示す。外観写真からは非常に綺麗な金属光沢が確認でき、断面からは表面張力により丸みを帯びた形状であることが確認出来た。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(44)に示したペレットの重量は 1 g である。融解・再凝固の面からは複数のペレットを同時に融解・再凝固することが望まれる。そこで現有の電気炉で作製可能な範囲で大型化の検討を行った。


図Ⅲ-2-(イ)-A-1(44) 融解・再凝固後のペレット外観（左）および断面図（右）

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(45)にペレット 40 個を同時に融解・再凝固した試料の外観および断面写真を示す。ペレット 1 個の場合と比較すると外観は若干くすんだ印象がある。これは断面写真からも判るが、重量増により坩堝との接触面が増加し、結果として坩堝に塗布している離型剤からの汚染が顕在化したものと予想される。原料サイズの大型化による汚染の影響を明確にし、最適な原料サイズを決める必要がある。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(45)　ペレット 40 個を同時に融解・再凝固後した際の外観（左）および断面図（右）

<コマツ NTC>

● **目標**

本研究開発では、結晶シリコン太陽電池の低コスト化に向けて、シリコン基板の薄型スライス技術とセルの高性能化技術に係る開発を通じ、世界市場で競争力ある低コストで高性能な太陽電池の実現を目指した。具体的には、シリコンインゴットに対するマルチワイヤソー切断において、材料コストの更なる低減を目指し、ウェーハの薄板化の検証と、ワイヤの細線化によるカーフロスと呼ばれる切り代低減の評価検証を実施した。特に、切り代削減の可能性が高い固定砥粒方式のワイヤソー加工にテーマを絞り、ウェーハ厚み 100μm、カーフロス 100μm の加工技術の構築を目的とした。表Ⅲ-2-(イ)-A-1(6)および表Ⅲ-2-(イ)-A-1(7)に、本開発で設定した開発目標を記載する。

表Ⅲ-2-(イ)-A-1(6)　カーフロス削減目標値

開発年度	目標値
現状（平成 22 年度）	カーフロス 150μm（芯線φ120μm）
中間目標（平成 24 年度）	カーフロス 120μm（芯線φ100μm）
最終目標（平成 26 年度）	カーフロス 100μm（芯線φ80μm）

表Ⅲ-2-(イ)-A-1(7)　ウェーハ基板厚さ目標値

開発年度	目標値
現状（平成 22 年度）	140～150μm
中間目標（平成 24 年度）	120μm
最終目標（平成 26 年度）	100μm

● **成果のまとめ**

1）カーフロス低減　（目標：カーフロス　100μm）

1. 平成 22 年度時点で、150μm ほどあった切り代と呼ばれるカーフロスを市販の固定砥粒ワイヤを使用して 100μm 程度まで削減するできる事を平成 24 年度までに実証した。
2. カーフロス低減の実証試験を通じて、固定砥粒ワイヤを市販しているワイヤメーカの細線化を促進した。（芯線径φ120μm⇒φ100μm⇒φ80μm）
3. カーフロス低減分だけで、材料歩留りを 15%向上できることを示した。（ウェーハ厚さ 180μm として、カーフロスが 150μm⇒100μm となった場合）
4. ウェーハ生産コスト削減のため、消費される固定砥粒ワイヤの使用量削減試験をおこなった。その結果、ワイヤに付着するダイヤモンド砥粒の数を増すことにより、ワイヤ使用量が 53%削減した。
5. さらなるカーフロス削減の可能性として、芯線径φ50μm、60μm の固定砥粒ワイヤを製造メーカに試作させた。そのうち、芯線径φ60μm ワイヤでのスライス加工を実施し、量産加工に使用できる可能性を示した。この試験により、カーフロス 75μm（固定砥粒ワイヤ芯線径φ60μm）となる加工も成功し、最終目標値を大幅に超える結

果となった。

6. さらなるカーフロスの低減（細線化）に向けては、ワイヤソーの張力制御をより高精度化し、張力変動による断線リスクを低減する必要があることを示した。

以上の結果、当社は細線固定砥粒ワイヤでの加工が可能な装置を実用化し、固定砥粒加工方式のシェアを60%確保することができた。あわせて、細線固定砥粒ワイヤの市場をけん引し、現在では国内ウェーハ製造メーカおよび海外ウェーハ製造メーカの一部で、カーフロス100μmのスライスが量産加工として一般的に採用される状況となった。
よって、本成果により結晶系太陽電池の発電コスト低減に寄与し、普及拡大に貢献したものと考える。

２）薄板化　（目標：ウェーハ厚さ　100μm）

- 平成 22 年度時点で、180μm ほどあったウェーハ厚さを市販の固定砥粒ワイヤを使用して 100μm 程度まで削減することを実証した。加工中の歩留り向上のため、接着剤の再選定やスライス後の引きあげ条件およびウェーハ外周に生じるチッピング抑制条件を選定した。その結果、100μm ウェーハ厚さの加工歩留りは 95%以上であり、目標値を達成した。

7. ウェーハの薄板化によって、材料歩留りを29%向上できることを示した。（切り代100μmとして、ウェーハ厚さが180μm⇒100μmとなった場合）

結晶系シリコン太陽電池の発電コスト低減のため、ウェーハ基板厚さを従来よりも45%薄くし、材料歩留りの向上技術を確立した。しかし、ウェーハ製造メーカの生産基板厚さは140μm程度となっている。後工程での割れによる歩留り低下が考えられるほか、セルやモジュール製造工程での問題もあるものと推測される。今後は、ウェーハスライスプロセスのみならず、後工程までを含めたウェーハ基板の薄板化における問題点を明確化し、対応していかなければならない。

３）シリコンインゴットスライス加工の低コスト化

- 固定砥粒ワイヤの評価試験を重ねて、各ワイヤメーカの切断性能を明らかにするとともに、砥粒分布や切れ刃処理等の開発を行い、結果的に各メーカのワイヤ切断能力向上を進めた。その結果、ワイヤ使用量の削減に成功した。
- スライスビーム、クーラントの評価試験を重ねて、消耗資材コストの低減の可能性を示した。
- スライス加工時のワイヤ断線に直結する、メインローラの溝加工技術を検討した。特に、細線薄板時の狭ピッチ溝に関しては、従来型の溝角度 60 度程度では溝深さが浅く、ワイヤ飛びの発生頻度が高かったが、本研究開発において製作できるようになった溝角度 40 度においてワイヤ飛びの発生頻度を最小限まで抑えることができた。また、更なる細線薄板化の対応に向けて、溝角度 15 度までの溝加工技術を確立した。

４）スライス加工のウェーハ品質と発電効率の関係性の明確化

- 固定砥粒ワイヤで加工したウェーハのライフタイムやエッチング除去時間の評価

を実施した。その結果、以下の結論を得た。

- 切断試験から、脆性材料の加工メカニズムやワイヤ挙動の変化により、表面に生じる微小カケの大きさが変化することがわかった。また、スライス諸条件のうち、固定砥粒ワイヤのダイヤ付着量を高めたものや高送り加工の表面が良好であった。
- エッチング後のライフタイム測定及び表面観察により、エッチング時間とライフタイムの関係より、エッチング除去量 13μm では、スライスプロセスで発生させた欠陥が除去できていないことがわかった。

以上、目標としたシリコン結晶に対する細線、薄板化スライス加工を実現した。この構築した技術の一部は量産加工に適用され、結晶太陽電池の普及拡大に貢献している。また、結晶太陽電池の更なる発電コスト低減に向けた課題や施策を示す事で、太陽光発電ロードマップ（PV2030+）に記載の発電コスト目標：14 円／kWh（2020 年）、モジュール製造コスト目標：75 円／W、モジュール変換効率目標：20%（2015～2020 年時点）の実現に資する太陽電池の高効率化、低コスト化に必要な要素技術を確立することができた。

<京セラ>

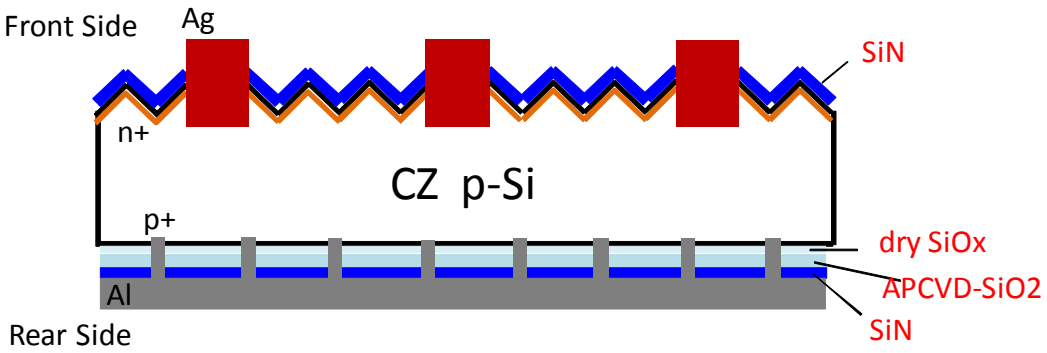
2030 年に向けた太陽光発電のロードマップを早期に実現するため、発電コストを 7 円/kWh にまで低減させる必要がある。超薄型高効率セルプロセス開発に関しては、 実用化、事業化を前提とした超薄型の大面積基板を用い、低コスト化が見込めるプロセスで、電極形成技術開発、新規光閉じ込めやパッシベーション技術、pn 接合形成、薄型基板セルおよびバックコンタクト構造の技術開発により世界最高水準の変換効率を達成することを目指す。具体的には、下記研究開発を行った。

超薄型結晶シリコン基板を用いる場合に、従来のアルミペーストによる BSF 層形成法で問題になっていた反りを抑制し、かつ低コストプロセス実現の為に最適な、新規電極形成技術開発、新規光閉じ込め構造の検討とプロセス技術（ドライ，ウエットおよびレーザーとの組み合わせ等）に関する技術開発を行い、さらに、薄型セルを使用する際に不可欠な裏面再結合低減のため、新規表面再結合低減構造の検討とプロセス開発を行った。

■単結晶 P 型 PERC セルの開発

結晶シリコン太陽電池セルの高効率実証において、P 型単結晶シリコンの PERC 構造の素子プロセス開発に取り組んだ。豊田工業大学、明治大学と京セラの保有技術を融合することで、単結晶シリコン基板を用いた 156mm 角セルにおいて、モジュール化可能な電極設計でセル変換効率 20.2%（Jsc39.3mA/cm^2、Voc654mV、FF0.784）を達成した。また、同様のセルを 48 枚使用したモジュールにおいて 228W、モジュール効率 18%相当を得た。

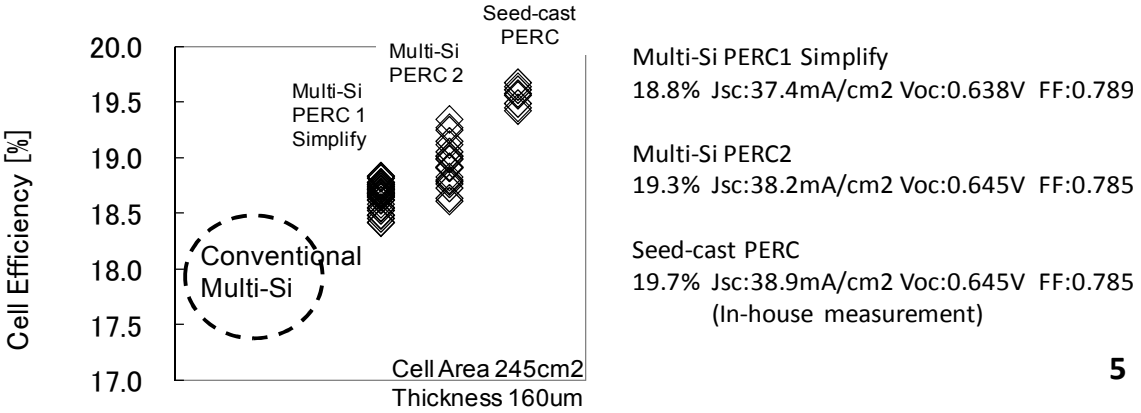
【セル構造】



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(46)　単結晶 P 型 PERC 構造

更に、この PERC 構造による効率向上技術を多結晶・鋳造法基板に展開し、多結晶シリコン基板でセル変換効率 19.3%、シードキャスト基板でセル変換効率 19.7%を得た。（いずれも自社測定値、156mm 角セル）同時にプロセスを行った CZ 単結晶シリコン基板を用いた PERC との比較においては、CZ 単結晶シリコンセル変換効率平均 19.70%に対し、シードキャストセル変換効率 19.55%を得た。単結晶シリコンのコーナー部のロスを勘案すると、セル 1 枚当たりの出力はシードキャストセルの方が高出力となった。

	Multi-PERC 1	Multi-PERC 2	Seed-Cast PERC
Wafer	Multi-Si	Multi-Si	Seed-Cast Si
Cell Structure	PERC	PERC	PERC
Texture	RIE texture	RIE texture	Alkaline texture
Rear-side polish	Without Polish	Without Polish	With Polish
Rear-side Passivation layer	AlOx Without SiN Capping layer	AlOx With SiN Capping layer	AlOx With SiN Capping layer
Local BSF	Al paste Fire through	Laser contact opening	Laser contact opening

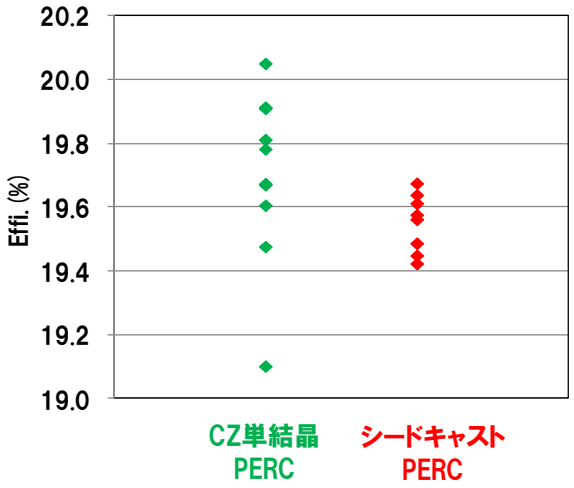


図Ⅲ-2-(イ)-A-1(47)　多結晶シリコン基板とシードキャスト基板の変換効率比較

結晶成長：九大、NIMSとの連携
素子：豊田工大、明大との連携

面積：156角、セル厚：160μm

	Effi.(%)	Jsc(mA/cm2)	Voc(V)	FF
①CZ単結晶PERC(平均)	19.70	38.65	0.646	0.789
②シードキャストPERC(平均)	19.55	38.73	0.644	0.784



セル効率差～0.8%
セミスクエア(CZ)とフルスクエア(鋳造)の面積差2%よりも小さく、1枚当たりの出力では逆転する

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(48)　CZ 基板とキャストシードキャスト基板の変換効率比較

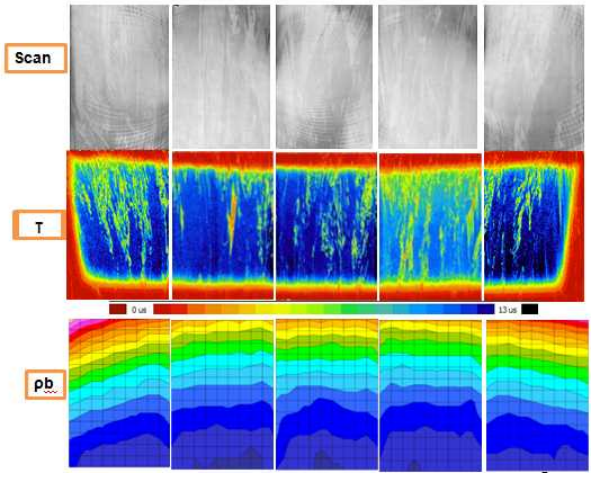
■大面積プロセス技術開発用の大型鋳造炉での鋳造技術確立

さらに大面積プロセス技術開発用の大型鋳造炉を導入し、生産性向上に取り組んだ結果、溶解～凝固～冷却とトータルで 73.7h で鋳造を完了した。生産性に換算すると、

25 本　×　678 枚　／　73.7h　＝　230 枚／h

となり、生産性目標 156mm 角セルで 150 枚／h 以上と目標達成したことを確認した。

本条件でのインゴットの品質としては、上記結晶成長、ライフタイム、比抵抗 ρb を得ることが出来、高品質結晶が大型炉においても成長できることを確認した。また、本条件の基板を用いた素子評価において、変換効率 18.3%と良好な結果を得た。



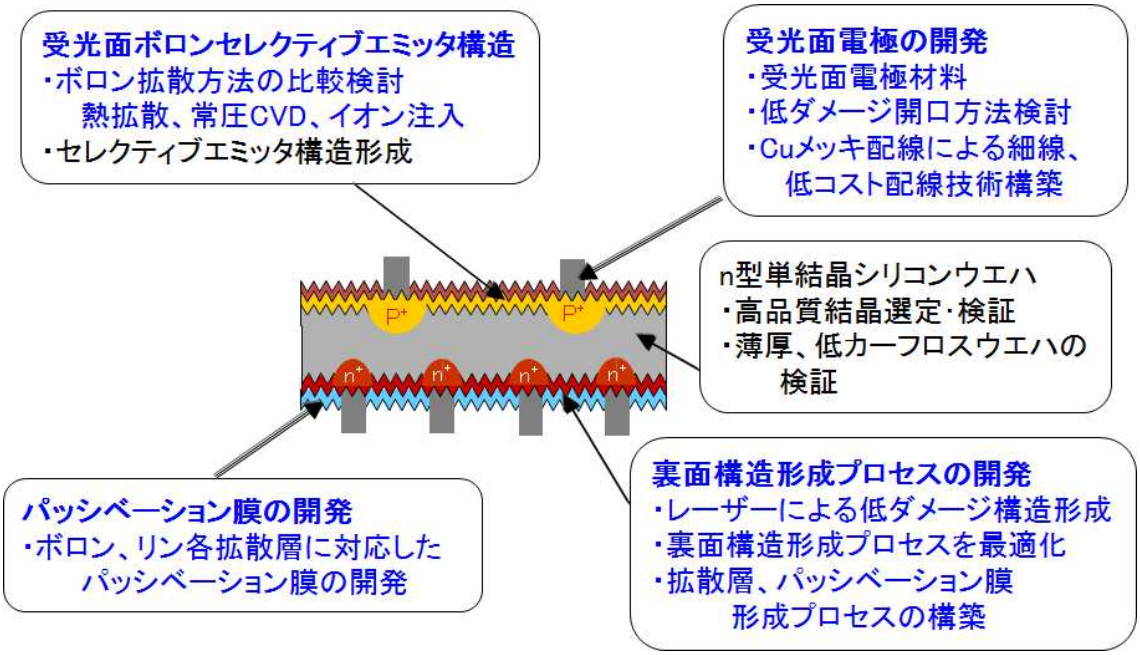
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(49)　大型鋳造炉で鋳造したインゴットの結晶粒、ライフタイム、比抵抗の分布

<三菱電機>

１．高効率セル製造プロセス技術

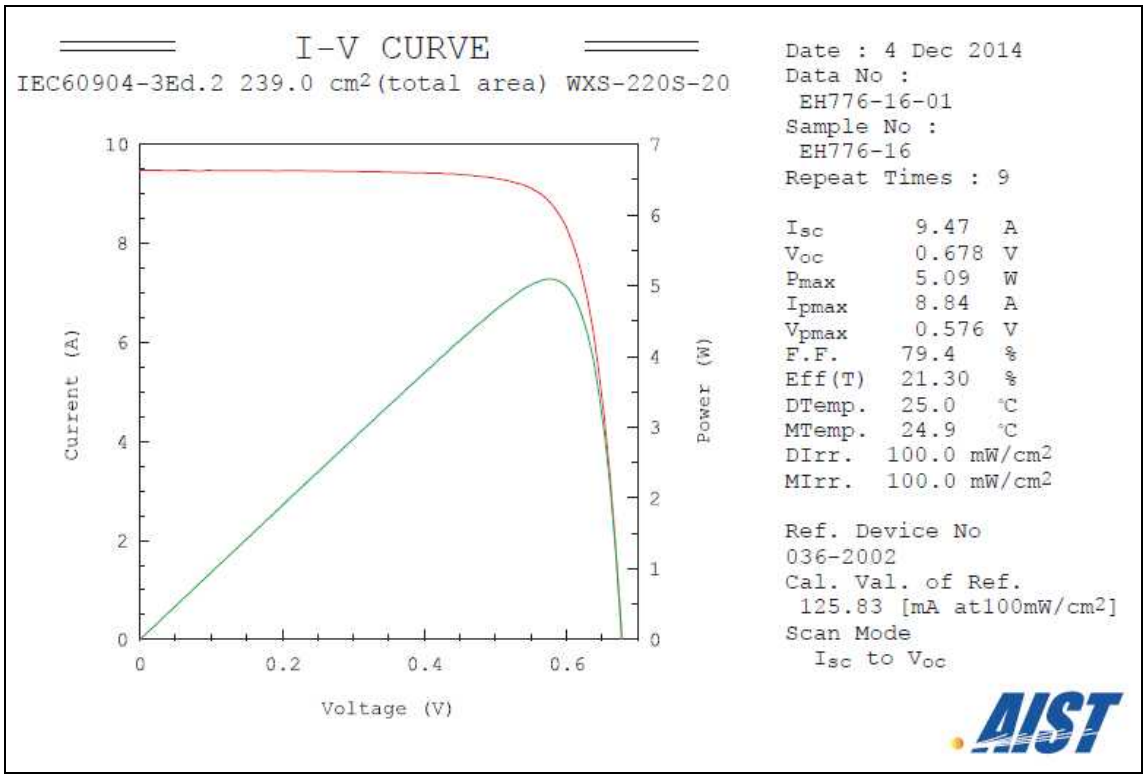
p 型単結晶シリコンセルでは、単結晶セル用逆ピラミッド型テクスチャ、拡散接合における選択エミッタ、SiO_2/SiN パッシベーション構造、低ダメージレーザー開口と裏面赤外線反射電極、細線電極の要素技術開発と、それらの技術を採用したポイントコンタクトセルの開発を行った。これらの技術を 150mm 角のセルに適用することで、セル効率 20.1%（Voc 0.655V、Jsc 38.9mA/cm^2、FF 0.789、社内測定）を確認し、平成 24 年度の中間目標（セル効率 20%）を達成した。

平成 25 年度からは、従来の p 型単結晶シリコンウエハの比べ、光劣化による効率低下がなく、長いキャリアライフタイム、金属汚染耐性および耐熱性の点で、より高効率が得られるという観点から n 型単結晶シリコンを基板に選択した。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(50)に n 型単結晶シリコンセルの構造と開発課題を示す。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(50)　n 型シリコンセルの開発課題

n 型単結晶シリコンセルについては、p 型シリコンセルの要素技術を転用するとともに、常圧 CVD による BSG 膜を用いたボロンエミッタ形成技術の適用、原子層堆積法によるアルミナパッシベーション膜適用によるパッシベーション性能の向上、印刷電極ファイアースルー時における焼成条件の最適化等の開発を行い、152mm 角のセルにてセル効率 22.0%（Voc 0.675V、Jsc 40.1mA/cm^2、FF 0.812、多層反射防止膜あり、社内測定）を実証し、目標を達成した。また、量産仕様である、疑似 156mm 角、4 本バス線、印刷焼成電極、単層反射防止膜を用いたセルにおいても、セル効率 21.3%（Voc 0.678V、Jsc 39.7mA/cm^2、FF 0.790、AIST 測定、多層反射防止膜なし）を実現した。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(51)および表Ⅲ-2-(イ)-A-1(8)に I-V 測定結果を示す。



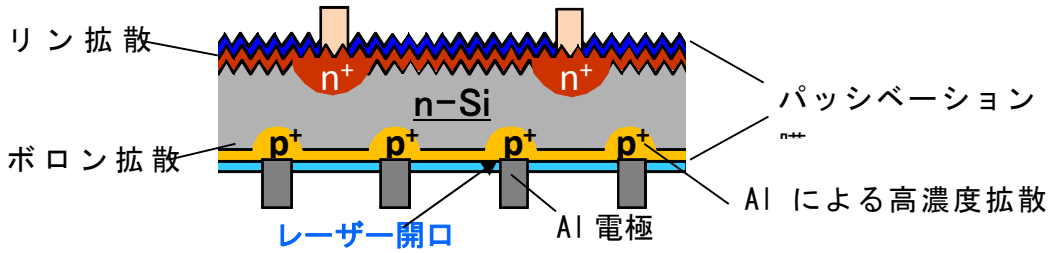
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(51)　n 型シリコンセルの I-V 特性（産総研精密測定）

表Ⅲ-2-(イ)-A-1(8)　n 型シリコンセルの I-V パラメータ（産総研精密測定）

J_{SC}	V_{OC}	FF	Eff.
39.6 mA/cm^2	678 mV	79.4 %	21.3 %

２．微細レーザー加工技術

高効率化技術として、微細レーザー加工技術を応用した逆ピラミッド構造等の低反射テクスチャの高速形成技術、およびセルの受光面・裏面のパッシベーション膜へのレーザー開口プロセスの構築を行った。これらの技術を上記の p 型単結晶シリコンセルに適用し、レーザー加工技術の効果を実証した。また、上記のレーザー加工を n 型シリコンセルにおける裏面エミッタ構造の裏面電極部開口及び受光面めっき電極のパッシベーション膜の開口に適用した。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(52)に裏面エミッタ構造を示す。裏面エミッタ構造においてはボロン側の電極としてアスペクト比を要しない Al 印刷電極を用いることができるため低コスト化につながるとともに、Al が Si に拡散することにより電極部に p 型高濃度ドープ拡散層を形成することができるために、簡単なプロセスで選択エミッタを形成できる。現状では受光面側のパッシベーション性能が低いため効率は 20.5%と前記の受光面エミッタ構造を上回っていないが、結果として n 型シリコンの裏面エミッタ構造で受光面エミッタを上回る Voc 681mV を得ることができた。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(52)　形成した裏面エミッタセル

表Ⅲ-2-(イ)-A-1(9)　低ダメージレーザーを用いた裏面エミッタセルの特性

J_{SC}	V_{OC}	FF	Eff.
39.0 mA/cm^2	681 mV	77.1 %	20.5 %

３．基板の評価

異なる製造方法で製造されたシリコンウエハについて比較検討を行った。基板の比抵抗が同程度で、同心円状の低ライフタイム部をもつなど品質上の問題がなければ、市販の CZ 法によるウエハでも MCZ 法など特殊な製造方法によるウエハと同等の特性が得られることがわかった。また、スライス方法の検討としては樹脂コーティングされたソーワイヤ（R ワイヤ）によるスライス基板と従来の固定砥粒方式でスライスした基板とのセル特性比較を行った。当社プロセスはダメージ層除去での除去量が大きいため、両者での比較において有意な差は認められなかった。

<シャープ>

① 次世代超薄型高効率単結晶シリコン太陽電池の開発

目標変換効率 25%を超える単結晶シリコン太陽電池を実現するために、我々はヘテロ接合バックコンタクトセル構造を採用し検討を行った。上記セルによる目標変換効率をクリアするために、下記に示す検討を行った。

・バックコンタクトセル構造開発

ホモ接合バックコンタクト(IBC)構造の開発を通じ、バックコンタクト構造特有の要素技術開発検討を行った。その結果、表面実装方式・裏面拡散層パターンの最適化・受光面の最適化により、ホモ接合バックコンタクト(IBC)構造にて、セル変換効率 22.1%を得た。IBC 構造で得た知見と他の要素技術開発を用いて、ヘテロ接合バックコンタクト(HBC)構造のプロセス・デバイス開発を行った。

・光閉じ込め技術開発

バックコンタクト構造の特長を生かすために、セル受光面構造の最適化によって入射光を基板内に閉じ込める要素技術開発を行った。その結果、受光面の反射率とテクスチャサイズに依存があり、テクスチャサイズを最適化することにより、光閉じ込め効果を改善した。

・表面パッシベーション技術開発

IBC 構造セルの裏面側の大部分を占める p 型拡散層領域の表面パッシベーション特性を向上させるために、ALD 装置による酸化アルミニウムによるパッシベーション技術開発を行った。その結果、p 型拡散層上のパッシベーション膜として、酸化アルミニウムを用いることにより飽和暗電流密度 Jo が従来パッシベーション膜に比べ、1/5 に低減することが出来、開放電圧が 2%改善した。

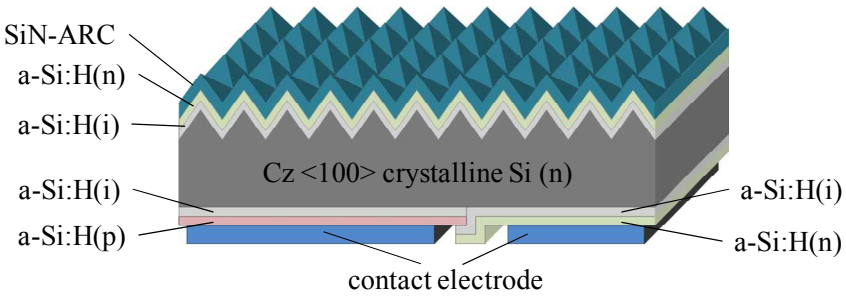
・高品位 pn 接合形成技術開発

開放電圧 730mV 以上を得るために、結晶シリコン上にアモルファスシリコンを成膜したヘテロ接合のプロセス要素技術開発を行った。その結果、表面が平坦な基板とテクスチャ構造の基板にアモルファスシリコンを成膜した際のプラズマ CVD の RF パワーと H_2/SiH_4 ガス比が実効ライフタイムに影響を与えることがわかった。これら成膜条件の改善と成膜前の洗浄工程の改善によりライフタイムを改善し、両面ヘテロ接合セルにて開放電圧の改善を確認した。

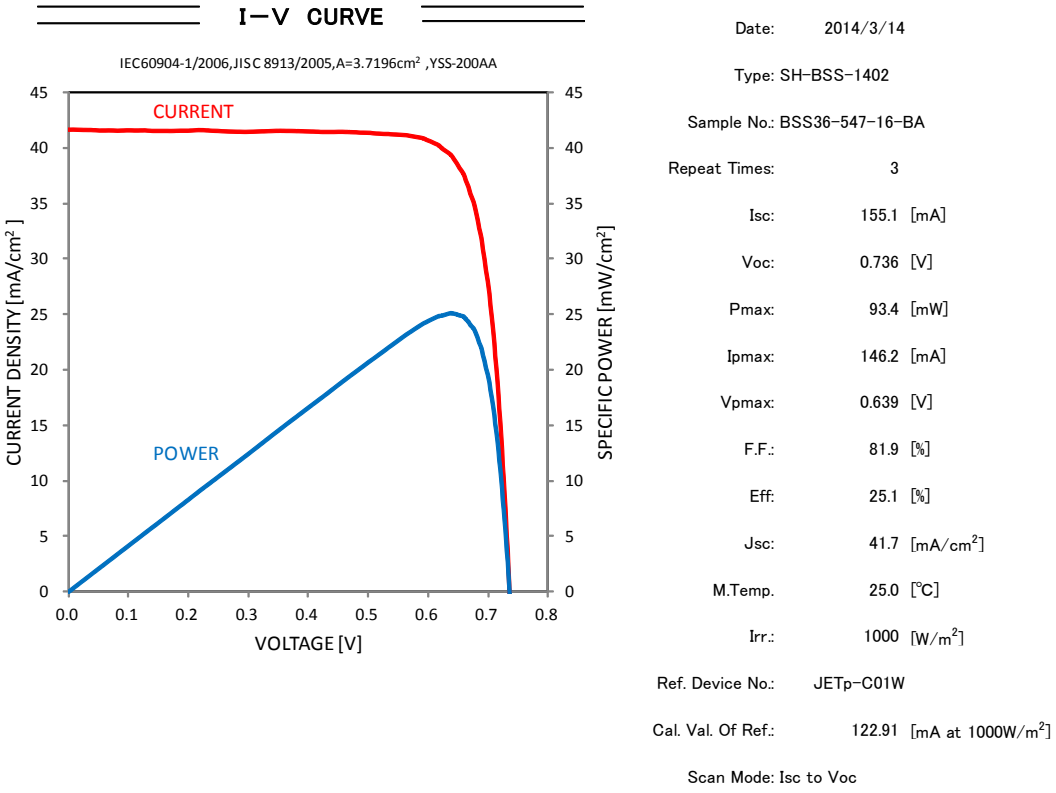
・モジュール技術開発

HBC 構造セルを用いた高効率モジュールを実現するために、表面実装方式とメッキ方式によるモジュールプロセスを検討した。その結果、表面実装方式の方がヘテロ接合バックコンタクト構造に対して優位であることが分かった。

上記の検討結果を踏まえて作製した HBC 構造セルにて、セル変換効率 25.1%を達成することが出来た。また、モジュール変換効率においても 20%以上を達成することができた。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(53)に HBC 構造セルの模式図を示し、図Ⅲ-2-(イ)-A-1(54)に、本開発により得られた HBC 構造セルの IV 測定結果を示す。本結果のセル変換効率は 25.1%であり、目標であった 25%を超える高い変換効率を達成した。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(53) ヘテロ接合バックコンタクト太陽電池の模式図



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(54) ヘテロ接合バックコンタクト太陽電池セルの IV 測定結果
（(財) 電気安全環境研究所にて測定）

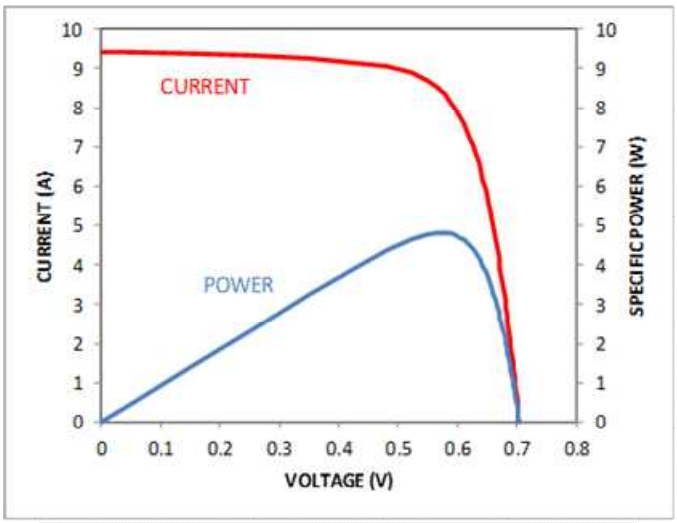
表Ⅲ-2-(イ)-A-1(10)に、代表的な 2 つのセルの太陽電池特性の各パラメータを示す。開放電圧(Voc)は 730mV を超える高い値を得ることができた。これは各界面で良好なパッシベーション性能が得られていることを示し、ヘテロ接合の利点を活かした結果となっている。また、高い Voc は裏面アモルファスシリコンの構造を形成するパターニングのプロセスや、受光面の反射防止膜の形成、電極の形成工程などの一連の形成プロセスが、各界面のパッシベーション性能に悪影響を及ぼしていないことを示唆している。また、短絡電流密度(Jsc)も高く、受光面に電極が無い HBC 構造の利点の一つである光閉じ込め構造が活きていることに加えて、パターニングプロセスが光学的な特性にも悪影響を及ぼしていないことを示している。曲線因子(F.F.)についても高い値が得られており、電極の最適化がなされ、アモルファスシリコンのパターニングプロセスによるセルの直列抵

抗やシャント電流への悪影響も小さいことが分かる。また、図Ⅲ-2-(イ)-A-1(55)にセル 1 枚をモジュール化したクーポンモジュールの IV 測定結果を示す。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(55)からわかるように、モジュール構造状態でも変換効率 20%以上が得られている。

表Ⅲ-2-(イ)-A-1(10)　代表的な２つのセルの太陽電池特性

No.	J_{sc} (mA/cm2)	V_{oc} (mV)	F.F.	Efficiency (%)
1	41.7	736	0.819	25.1
2	42.0	729	0.820	25.1

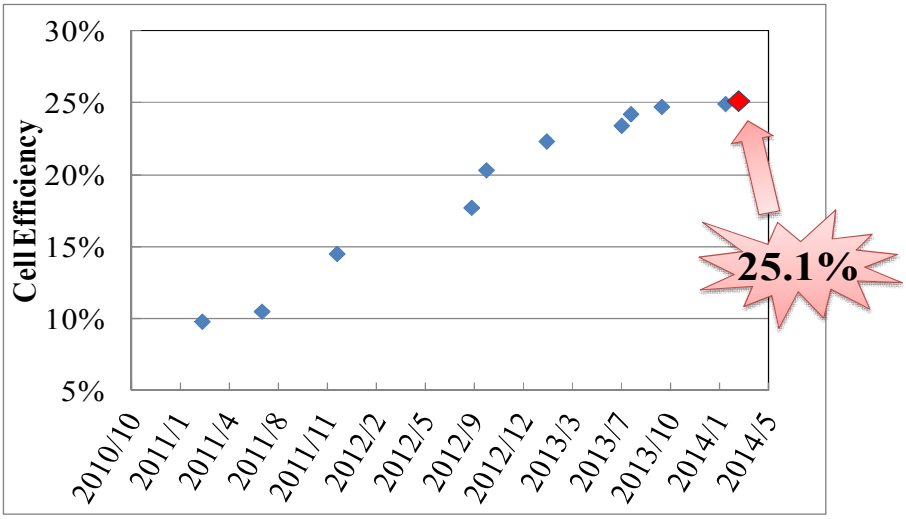
Note. Aperture area: 19.3mm x 19.3mm (3.72cm^2).
Measured at AM1.5, 1000W/m^2, 25ºC by JET



Isc	Voc	F.F.	η
9.416A	704mV	72.7%	20.1%

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(55)　ヘテロ接合バックコンタクト太陽電池クーポンモジュールの IV 測定結果
(セル面積 240.4cm^2, AM1.5, 1000W/m^2, 25℃, 社内測定)

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(56)は当プロジェクトにおける HBC 構造セルの変換効率向上の推移を示している。短期間で大きく変換効率を伸ばし、目標であった 25%を超えることができた。これは HBC 構造セルが持つ高いポテンシャルを表していることに加え、当社が保有する従来技術を有効に活用し、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）、コンソーシアムの協力も得ながら効率的に開発を進めることができた結果であると考えている。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(56) ヘテロ接合バックコンタクト太陽電池のセル変換効率推移

② 超薄型多結晶シリコン太陽電池の低コスト・高効率化プロセス開発

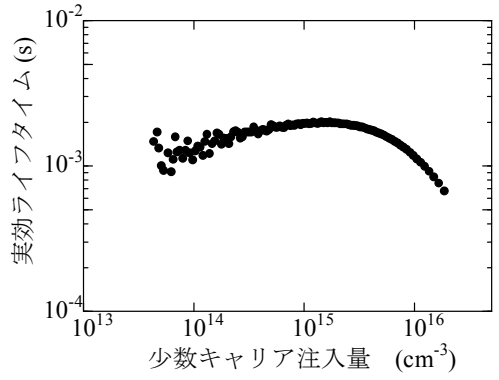
高効率構造である、裏面パッシベーション型の多結晶シリコン太陽電池セルについて、裏面構造形成プロセスの低コスト化および裏面パッシベーション効果の高性能化開発を行った。裏面構造については、裏面パッシベーション膜形成前処理においてエッチング量を低減し、パッシベーション膜開口においてフォトリソグラフィーやレーザーを不要とする簡略化を行い、裏面反射電極については蒸着アルミに替えて銅箔を用いることにより、プロセス簡略化と反射率改善を達成した。また、パッシベーション効果については、SiN_x膜に替えて、単結晶シリコン太陽電池の開発において技術開発を行ったAlO_x膜を適用し、特性改善の見込みを得た。

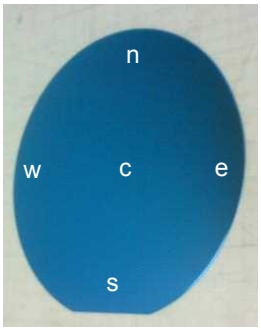
<東工大>

ナノ表面・界面制御による超薄型シリコンヘテロ接合太陽電池の高効率化に関する研究開発においては、5 cm/s 以下の低い再結合速度を実現するための裏面パッシベーション膜の技術開発とセル化技術の技術開発を行った。原子層堆積法（ALD 法）により、Al_2O_3 パッシベーション膜の開発を行い、表面再結合速度 5 cm/s 以下を達成した。また、裏面ポイントコンタクト形成技術開発を行った。レーザー焼成法（LFC）とレーザー転写法（LTC）を比較した結果、LTC 法を用いることにより、低ダメージでポイントコンタクトの作製が可能であることを見出した。また、光吸収損失がきわめて少ないヘテロ接合型エミッタの開発を行い、水素化ナノ結晶立方晶シリコンカーバイド(nc-3C-SiC:H)エミッタを用いることにより、開放電圧を従来のアモルファスシリコンエミッタと同等程度(0.723 V)に保ちつつ、光吸収損失を大幅に低減できる見通しを得た。これらの技術を組み合わせて太陽電池を作製したところ、これまでに変換効率 20%を得た。これらの要素技術開発により、変換効率 25%を超えるシリコン太陽電池の開発のための基盤となる知見を得た。

テーマ①　ナノ界面制御によるアモルファス酸化アルミニウムパッシベーション膜の技術開発

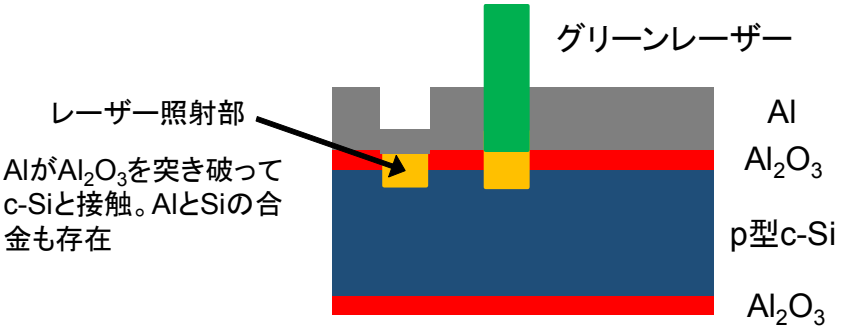
本テーマにおいては、超薄型 Si 太陽電池の高効率化の要素技術として、裏面パッシベーション用原子層制御アモルファス酸化アルミニウム(Al_2O_3)を開発した。プラズマ CVD より均一な膜が製膜可能と考えられる原子層堆積法（ALD 法）のための装置を導入し、ALD Al_2O_3 膜のパッシベーション効果を詳細に検討した。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(57)に、ALD 法で作製した Al_2O_3 膜の実効ライフタイム、製膜後のウェハーの写真および膜厚分布の一例を示す。適切な製膜条件とアニール条件を選択することにより、2 ms という高い実効ライフタイムが得られているが、これは表面再結合速度に換算すると約 3 cm/s となる。





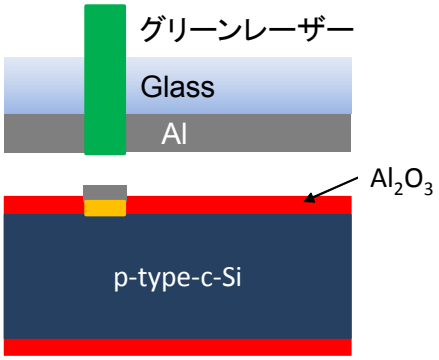
position	Thickness (nm)
c	119.6
n	120.3
s	118.9
w	119.5
e	119.7

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(57)　ALD 法で作製した Al_2O_3 膜の実効ライフタイム、製膜後のウェハーの写真および膜厚分布の一例。最大で 2 ms 程度、1 sun 条件で 1.4 ms 程度のライフタイムが得られている。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(58)　レーザー焼成コンタクト（Laser Friring Contact、LFC）プロセスの概念図

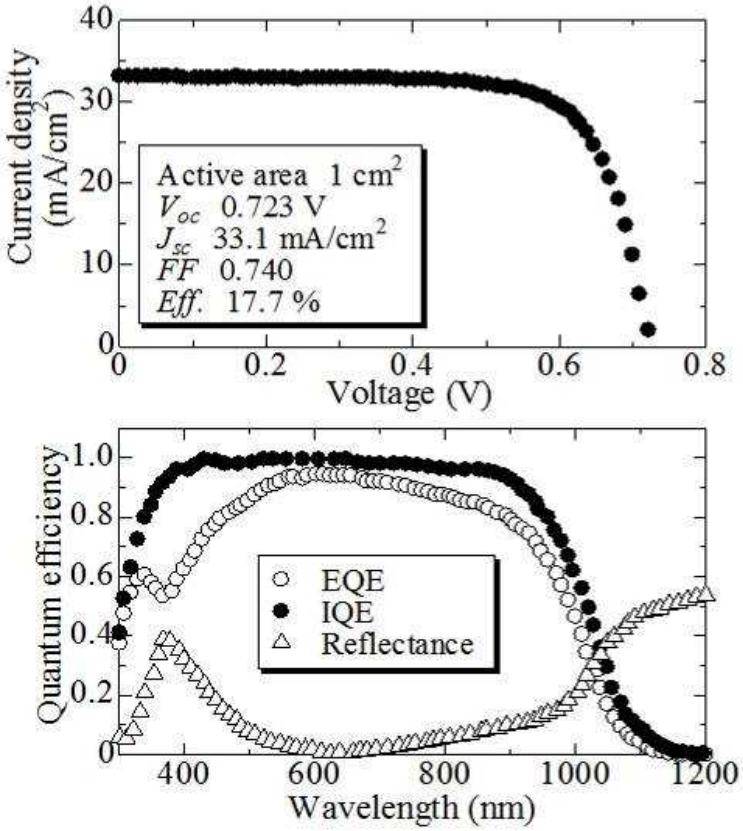
Al_2O_3 膜を用いた PERC 構造の形成のためには、良好な Al_2O_3/結晶 Si 界面のパッシベーションと共に、Al_2O_3 膜に低ダメージで金属コンタクトを形成する必要がある。本研究においては、レーザーを用いる方法を検討した。まずは、通常のレーザー焼成コンタクト（Laser Friring Contact、LFC）のダメージ評価を行った。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(58)に LFC の概念図を示す。実効ライフタイム測定の結果、レーザー処理をしなかった領域では実効ライフタイム>500 μs 以上が得られたが、ラインコンタクト形成領域では<100 μs となり、レーザー照射によるダメージがあることが明らかとなった。この結果は、LFC 処理ではダメージの低減には限界があることを示している。そこで、本研究では新しいレーザー処理法である、レーザー転写コンタクト（Laser Transfer Contact, LTC）を使用することとした。LTC 法とは、図Ⅲ-2-(イ)-A-1(59)に示す様に、ガラス上に製膜した Al をレーザーで蒸発させてコンタクトを形成する手法である。この LTC 法によるレーザー開口部の表面再結合速度を算出した結果、2×10^3 cm/s 程度の値が得られ、LTC によるプロセスの低ダメージ化が確認された。また、ポイントコンタクトにとってダメージ低減と同時に重要なコンタクト抵抗は、適切な熱処理を行うことにより、0.7 Ωcm^2 以下まで低減することができた。



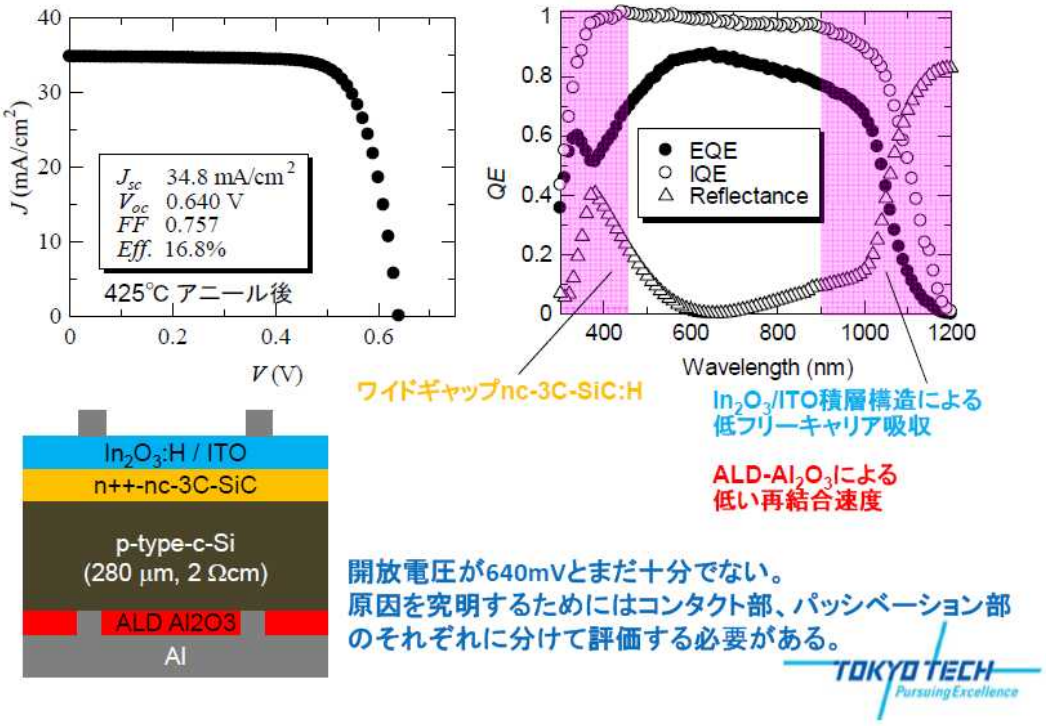
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(59)　レーザー転写コンタクト（Laser Transfer Contact, LTC）プロセスの概念図

<u>テーマ②　超薄型シリコンヘテロ接合太陽電池の開発</u>

本テーマにおいては、パッシベーション膜として Al_2O_3 を用いた裏面ポイントコンタクト構造を有するヘテロ接合太陽電池の開発を行う。コンタクト部の高品質化を行うため、水素化アモルファスシリコンオキサイド(a-$Si_{1-x}O_x$:H)および微結晶 $Si_{1-x}O_x$:H 系の材料をバッファ層として、コンタクト抵抗および再結合速度を低減する技術を開発した。エミッタ層には、水素化ナノ結晶立方晶シリコンカーバイド(nc-3C-SiC:H)などのワイドギャップ材料を用いることで、短波長感度の向上を達成した。



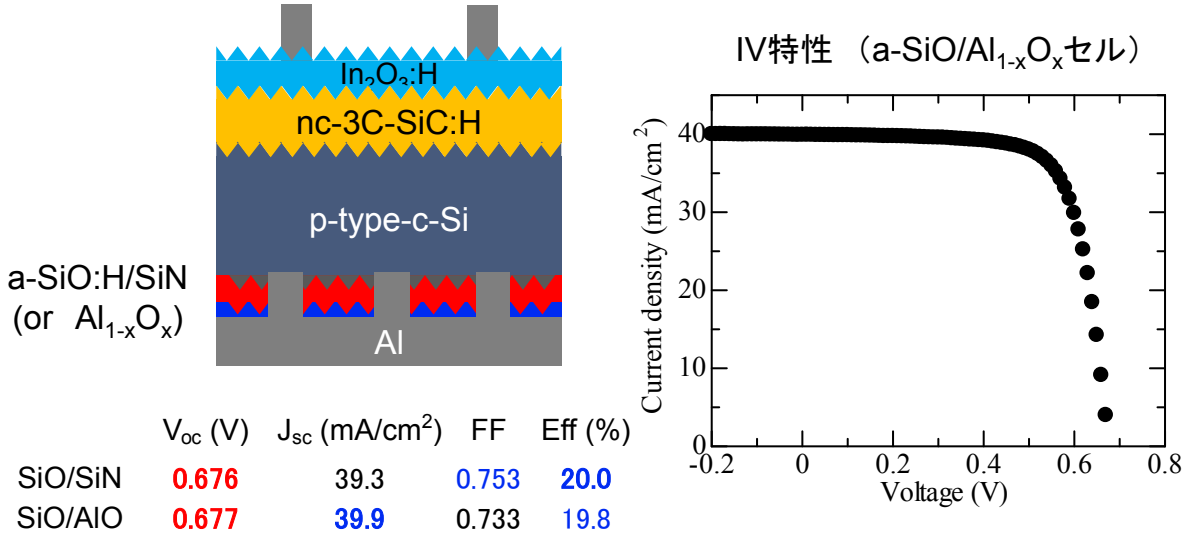
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(60)　両面ヘテロ接合太陽電池の特性の一例



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(61)　裏面ポイントコンタクト型太陽電池の構造および特性の一例

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(60)に p 型基板を使って作製した両面ヘテロ接合太陽電池の特性の一例を示す。両面ヘテロ構造において、開放電圧 0.7 V 以上で変換効率 18%（セル面積 1cm^2）程度の値が得られた。p 型基板を用いた太陽電池としては極めて高い開放電圧である、0.723 V を得ることに成功している。

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(61)に、n 型 nc-3C-SiC:H をエミッタ層に用い、p 型 c-Si の裏面にパッシベーション膜として Al_2O_3 膜を用いたポイントコンタクトセルの太陽電池構造および特性を示す。開放電圧 640 mV を得たものの、十分な値ではないため、セルの各部分における電流-電圧特性の解析・評価を行った結果、ポイントコンタクト部の開放電圧が低いことが明らかとなった。このセルでは、ポイントコンタクトの開口をエッチングにより行った。それに対して、レーザーによる手法を開発し、適用した。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(62)に試作した裏面ポイントコンタクト型太陽電池の構造および特性の一例を示す。裏面ポイントコンタクト作製には LFC プロセスを用いた。n 型 nc-3C-SiC:H ヘテロエミッタの製膜条件はテクスチャー基板用に最適化を行った。また、裏面パッシベーションについては a-$Si_{1-x}O_x$:H と ALD-Al_2O_3 の積層構造を用いた。裏面ポイントコンタクトは Al の堆積後にレーザーで処理を行うことで実現した（LFC プロセス）。これまでに ALD Al_2O_3 を裏面に用いたセルで 19.8%、SiN を用いたセルで 20.0%を達成しており、20%を超える変換効率を達成した。ALD Al_2O_3 セルは短絡電流密度がほぼ 40 mA/cm^2 と高い値を示しており、FF の最適化が進めば更なる高効率化が期待できる。また、新しいレーザー処理法である LTC プロセスを適用することで、更なる開放電圧の向上も期待できる。

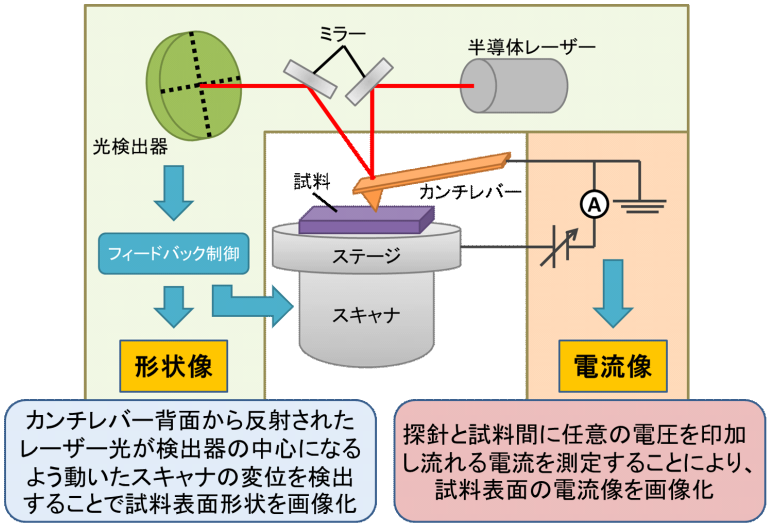


	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF	Eff (%)
SiO/SiN	0.676	39.3	0.753	20.0
SiO/AlO	0.677	39.9	0.733	19.8

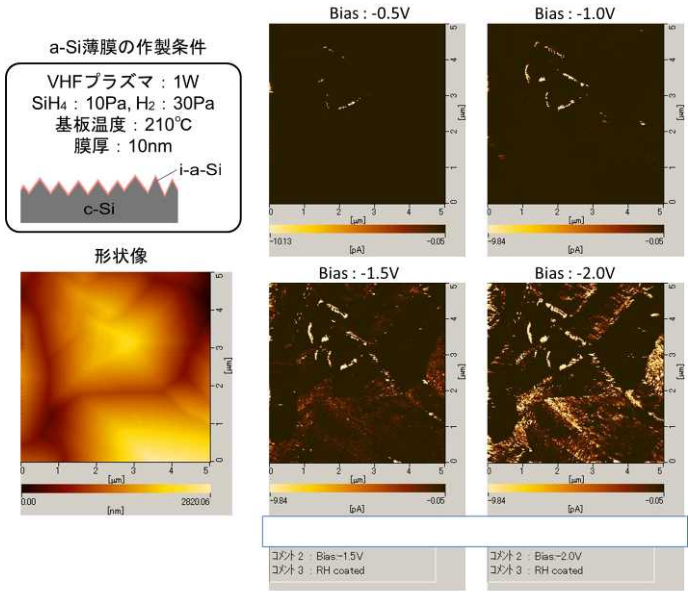
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(62)　裏面ポイントコンタクト型太陽電池の構造および特性の一例。裏面ポイントコンタクト作製には LFC プロセスを用いた。

<岐阜大>

本研究は、極限シリコン結晶太陽電池の研究開発の一環として、次世代ヘテロ接合シリコン太陽電池の接合評価に係る研究開発を担ったものである。大気圧での測定が可能なナノ領域分解能を有する光起電力顕微鏡を開発し、次世代接合技術である“ヘテロ接合結晶 Si 太陽電池”による高効率化に寄与できる要素技術の開発を狙った。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(63)に走査プローブ顕微鏡(SPM)の概念図を示す。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(63)　SPM 計測の原理図



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(64)　テクスチャ付単結晶シリコン基板上の i-a-Si 膜を SPM で観察した結果、稜線部に顕著な電流漏洩を見出した。

テクスチャ付のヘテロ接合の観察研究を始めてまもなく、テクスチャ稜線部に特徴的な電流漏洩を見出した。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(64)はその様子を示したものである。この現象の研究を軸にして、既存の SPM の性能向上を行いつつ現象の解明に努めてきた。

成果

光起電力顕微鏡を改良し、HIT 型結晶 Si 太陽電池のテクスチャ稜線部等の不具合(漏洩電流発生)箇所の検出に成功した。更にその漏洩電流の開始電圧が少数キャリヤのライフタイムと相関があることを見出した。

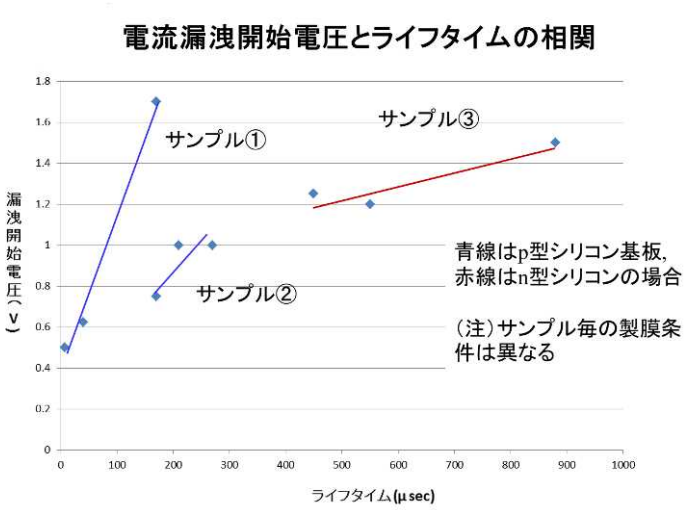
１）結晶 Si 太陽電池用の光起電力顕微鏡の開発

①光起電力顕微鏡の電流検出の高感度化をピコアンプの導入により達成した。

②カンチレバーの計測範囲を 100μm×100μm に拡大し、また長時間ライフタイムの a-Si 保護膜が可能となったので、ライフタイム計測値を介して広範囲計測の迅速化の目処が得られた。

③太陽電池特性の定量的評価では、電流漏洩とライフタイムとの相関は広い範囲の各種サンプルで確認したが、局所 Voc の直接計測は出来なかった。

SPM による電流漏洩量と μ-PCD によるライフタイム計測との相関の有無を調べた結果、図Ⅲ-2-(イ)-A-1(65)に示す通り電流漏洩開始電圧とライフタイムとの間に正の相関があることが分かった。同図にはより長寿命のサンプルとより短寿命のサンプルの計測結果も併記している。いずれのサンプルにおいても正の相関があることが確かめられた。

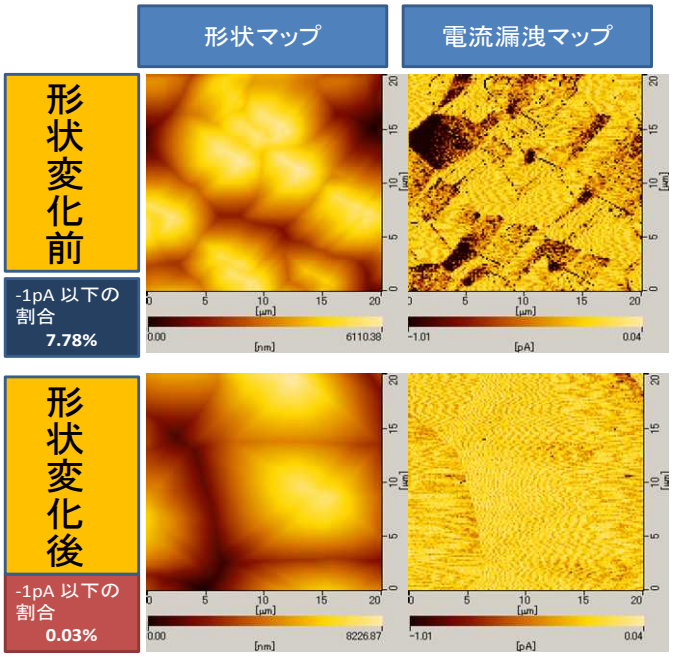


図Ⅲ-2-(イ)-A-1(65)　各種サンプルのライフタイムと電流漏洩開始電圧との相関

２）HIT 型単結晶 Si 太陽電池ヘテロ接合特性の評価

①200℃で i-a-Si 製膜後長時間アニールをすることにより、p-c-Si 基板(メーカー保証値 500μs)及び、n-c-Si 基板(メーカー保証値 1ms)で ms 級テクスチャ構造界面の膜特性評価技術の開発の目途を得た。

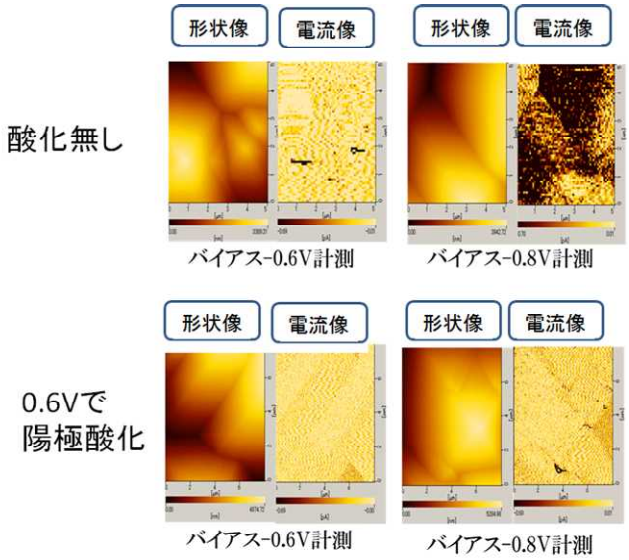
②水酸化テトラメチルアンモニウム(TMAH)を用いた新エッチング法でテクスチャ稜線部を鈍角化することにより、図Ⅲ-2-(イ)-A-1(66)に示すように、漏洩電流量を 250 分の 1 に低減できた。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(66)　TMAH による形状変化処理前後の(バイアス電圧 0.8V での)電流漏洩分布

③テクスチャ付基板上の i-a-Si 製膜で発見された不具合部を電気化学的陽極酸化法で選択的に補修し、電流漏洩を 8 分の 1 に低減できた。

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(67)はテクスチャ付基板の選択的酸化の結果を示している。酸化の有無で基板を計測した結果、バイアス -0.6V かけたもので比較すると漏洩電流量はあまり変わらず、バイアス -0.8V かけたもので比較すると陽極酸化処理した試料の方が漏洩電流量が小さくなっていることがわかった。次に図Ⅲ-2-(イ)-A-1(67)の電流漏洩量をヒストグラムにし、平均漏洩電流量を比較すると、酸化なしに比べ酸化したものが大きく減少していることがわかった。また広がりも少なくなり均一化していることがわかった。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(67)　テクスチャ付基板の選択的酸化結果（SPM 電流像）

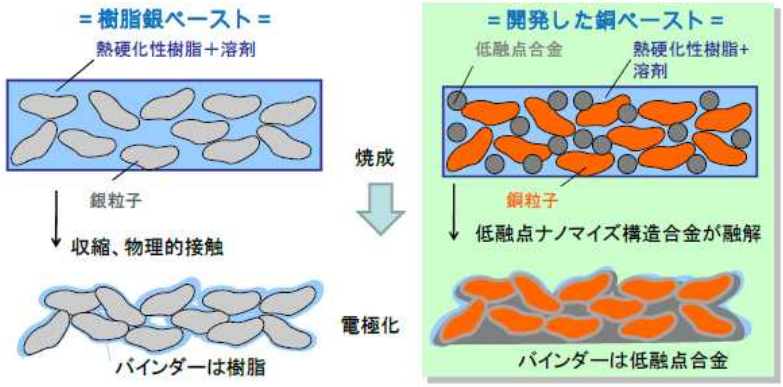
<AIST>

結晶シリコン太陽電池の低コスト化を目的に、電極材料を銀から銅に置き換えるために、低温焼結（硬化）型銅ペースト材料開発及びそれを利用した太陽電池性能および信頼性評価を行った。プロジェクト期間中、中間目標としてライン抵抗 Rs：<$2\times10^{-4}\Omega\cdot$cm 及びコンタクト抵抗 Rc：<$1\times10^{-3}\Omega\cdot cm^2$ を掲げて、銅ペーストの高性能化を行い、最終目標に①現行銀ペーストのコスト 1/2 以下の銅ペースト開発に貢献する、②従来型結晶シリコン太陽電池へ応用のための技術構築の 2 つを立てて、銅ペーストの事業化に向けた研究開発を進めた。

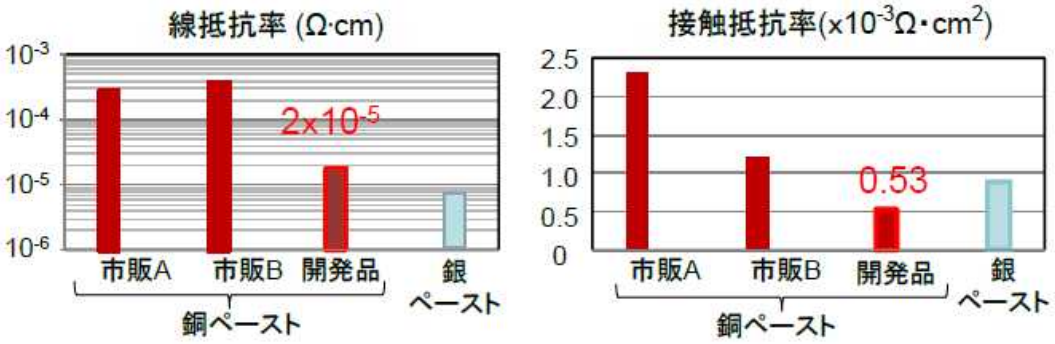
以下に特筆すべき成果を挙げる。

① 融点合金を含む低温焼成型銅ペーストの開発

銅ペーストに低融点合金を混合することにより 2 つの課題である銅の酸化とシリコン基板への拡散を 1 つのプロセスで防ぐことを実証することができた。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(68)に開発した低融点合金を含む銅ペーストの設計概念を示す。また図Ⅲ-2-(イ)-A-1(69)に開発した銅ペーストの線抵抗率と接触抵抗率を示す。このペーストにより、上記 2 つの課題を解決すると同時に低抵抗化が可能となり、中間目標を大きく上回るライン抵抗率 $2\times10^{-5}\Omega\cdot$cm、ヘテロ接合型太陽電池を想定した ITO 基板に対する接触抵抗率を 0.53mΩcm^2 となる銅ペーストの開発に成功した。



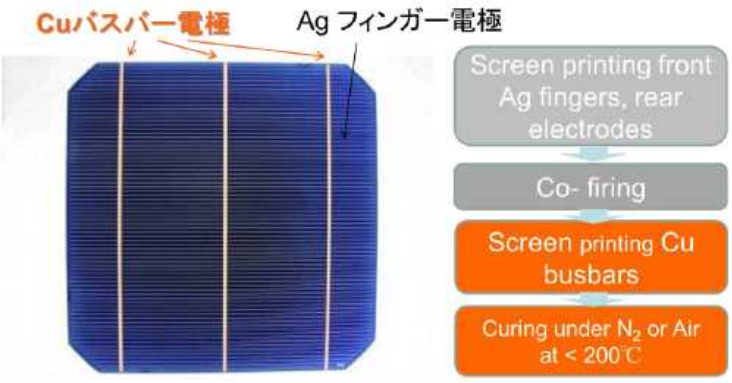
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(68) 低融点合金を含む銅ペーストの設計概念



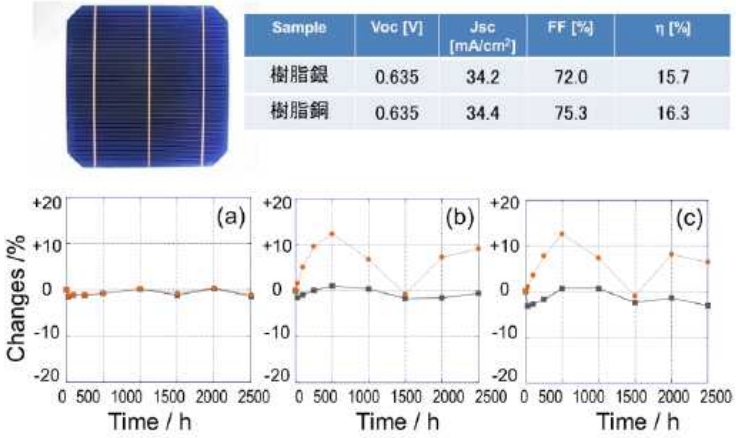
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(69) 開発した銅ペーストの線抵抗率と接触抵抗率

② 従来型結晶シリコン太陽電池への応用～バスバー電極～

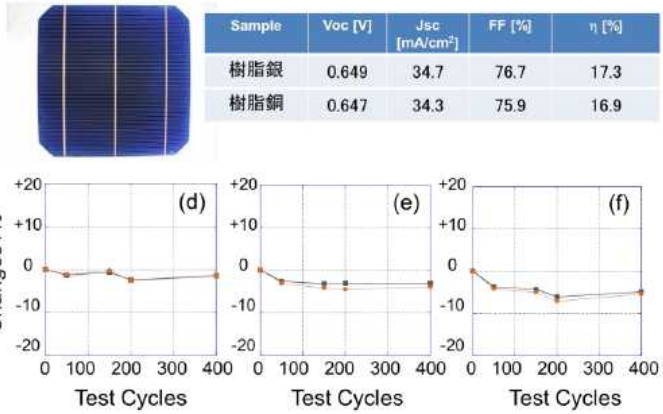
銀から銅の置き換えのための付加的プロセスを抑え、ペースト材料をできるだけ低コスト化するために樹脂銅ペーストの従来型結晶シリコン太陽電池のバスバー電極としての応用を検討した。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(70)に Cu バスバー電極試作セルとその電極形成プロセスを示す。その結果、樹脂バインダーを有する銅バスバー電極にタブ線をはんだ付けしたミニモジュールを用いて、IEC61215 国際規格より厳しい環境試験下であるダンプヒート試験 3500 時間（図Ⅲ-2-(イ)-A-1(71)）、熱サイクル試験 1000 回（図Ⅲ-2-(イ)-A-1(72)）に曝露したところ、5%以上の劣化は認められず、高い耐久性を確認することができた。試算ベースではあるが、量産化がすすめば、現行銀ペーストの 1/2 以下になる銅ペーストの開発に成功した。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(70)　Cu バスバー電極導入プロセス



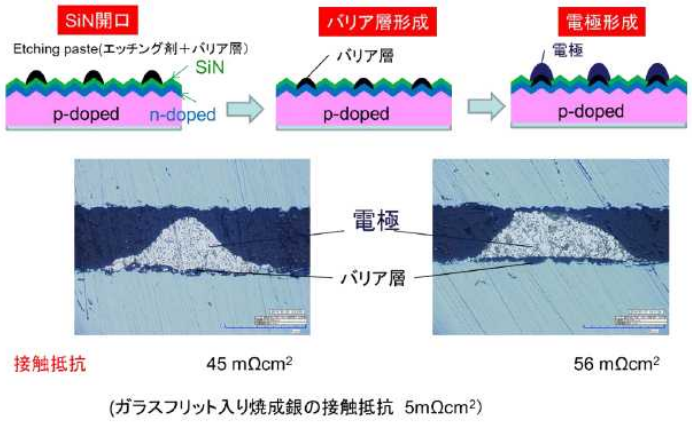
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(71)　ダンプヒート試験における樹脂銅、樹脂銀をバスバー電極とした太陽電池セル性能の時間変化：(a)Voc; (b)FF; (c)変換効率



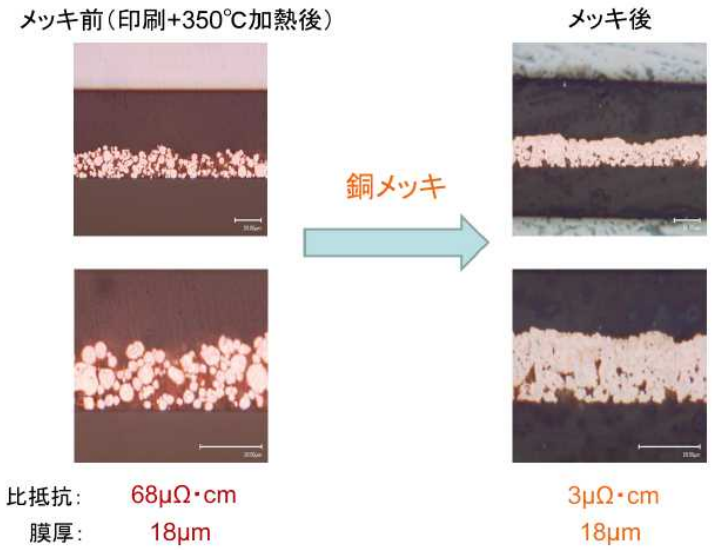
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(72)　熱サイクル試験における樹脂銅、樹脂銀をバスバー電極とした太陽電池セル性能の時間変化：(a)Voc; (b)FF; (c)変換効率

③ 従来型結晶シリコン太陽電池への応用～フィンガー電極応用のための要素技術開発～

従来型結晶シリコン太陽電池のフィンガー電極への銅ペーストの実用化は要求仕様が厳しいため、すぐの実用化は困難である。その理由として主に 2 つあり、①印刷による拡散バリア層の形成が困難であること、また②銀レベルの低抵抗化を達成することが困難であることである。本プロジェクトの中では、将来の銅フィンガー電極構築に資する技術開発として、（１）エッチング⇒拡散バリア層の形成⇒銅電極形成のプロセスをオール印刷で行う技術開発および（２）銅印刷プラス銅メッキにより、バルクレベルまで低抵抗化させる技術の開発を行った。その結果、オール印刷で可能な Si/銅拡散バリア層/銅電極構造の構築に成功した（図Ⅲ-2-(イ)-A-1(73)）。また、低抵抗化のために銅印刷+銅メッキ法により、接着性がよくバルク並みの低抵抗化（$3x10^{-6}$ Ω·cm）を実現することができた（図Ⅲ-2-(イ)-A-1(74)）。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(73)　オール印刷によるエッチング⇒バリア層導入⇒電極形成プロセス及びその結果作成された電極構造の断面顕微鏡写真



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(74)　熱分解性樹脂を含む銅ペーストを用いて作製した銅配線のメッキ前後の断面写真と比抵抗及び膜厚変化

これらの技術を組み合わせ、付加されるプロセスコストと安い原材料コストとのバランスにより将来的な事業化の目途が見えると考える。

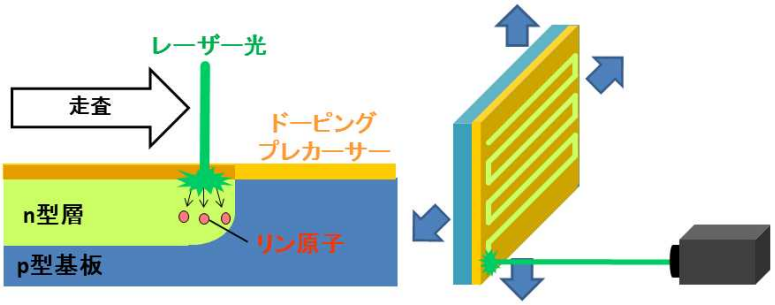
<奈良先端大>

1. 研究開発の内容及び成果等

本研究開発では、極限シリコン結晶太陽電池の実現に向けた“原料製造”から“太陽電池セル”での一貫した複数の技術開発の中で、高効率・低コストを目的とした次世代プロセス技術として、レーザーを用いた室温不純物ドーピングに関して、(1)ドーピング濃度ならびに深さ制御技術の開発と(2)局所領域へのドーピング技術の開発の二つの要素技術開発と素子作製プロセスへの適用の実証研究を行った。主な成果は次の通りである。

(1) ドーピング濃度ならびに深さ制御技術の開発

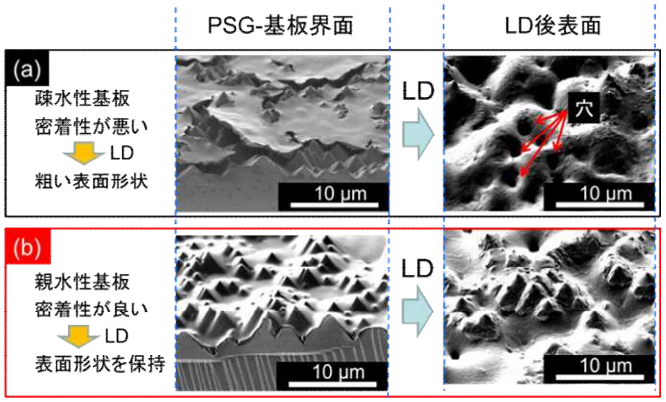
室温レーザードーピングの要素技術として、ドーピング濃度ならびに深さの制御技術を開発した。紫外ならびに緑色波長のレーザービームを用い、照射強度をレーザーパワーならびにビーム形状や基板走査速度を変えて制御し高濃度ドーピングを目指した。



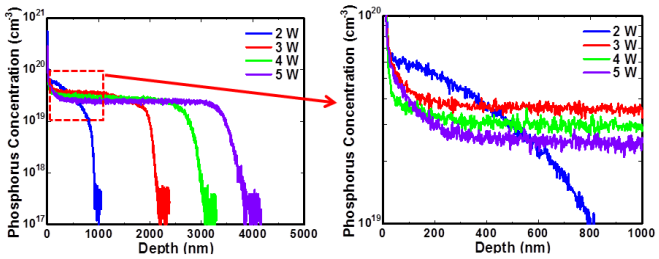
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(75) レーザードーピングの概念と装置の模式図。

最終的に高品位電子物性を有するドーピング層ならびに接合界面を実現することを目標とした。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(75)にレーザードーピングの概念と装置の模式図を示す。光学レンズにより集光したレーザービームを不純物が含まれたドーピングプレカーサー膜が堆積してある基板に照射する。基板温度は室温で大気中に設置してある。基板位置を X-Y ステージにより走査する。レーザー照射により基板が溶融し不純物が液相拡散する。その後、再結晶化することにより任意の場所にドーピングが行える。ドーピングプレカーサーとしてリン(P)やボロン(B)が含まれたシリケートガラスの他、有機バインダーを用いたポリボロンフィルム(PBF)やシリコンナノインクを試みた。シリコンナノ粒子の場合、Si 基板と同様にレーザー光を吸収するため基板と共融しその後再結晶化するため、溶融層の深さや空間的拡がりの制御性の向上が期待できる。

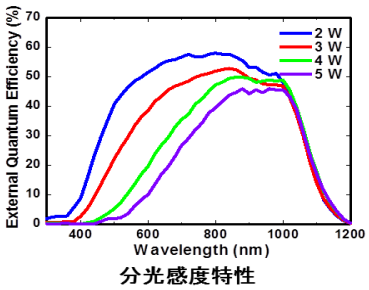
局所領域に再現性良くレーザードーピングを行うためには、不純物層とシリコン基板との界面制御が重要であることを明らかにした。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(76)に示すように親水性処理を施したシリコン基板表面を用いると基板の凹凸によらず密着した界面が実現され結晶欠陥の発生が少なく高品位電子物性を示すドーピング層が実現できた。



Ⅲ-2-(イ)-A-1(76) Si 基板表面の疎水性、親水性、の違いによる LD 後の界面、表面状態。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(77)　不純物の深さ方向分布

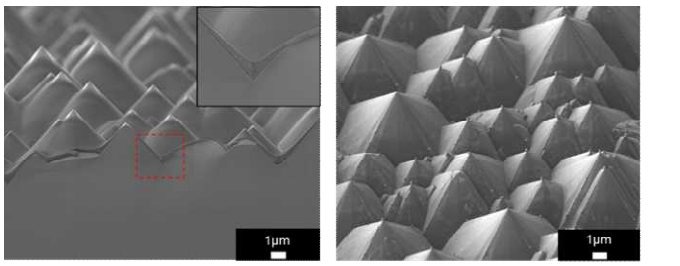


図Ⅲ-2-(イ)-A-1(78)　素子の分光感度特性

波長 532nm の連続発振レーザーや波長 355nm のパルスレーザーを用いてリン(P)ならびにボロン(B)を 1×10^{20}cm^{-3} 以上の高濃度でドープすることが出来た。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(77)に不純物の深さ方向分布を示す。ドーピング深さは 0.3～4μm の範囲で制御できた。明瞭な太陽電池特性が得られている。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(78)に分光感度特性を示す。レーザー強度の増加に伴い、pn 接合深さが深くなるため短波長側の感度が低下していることが分かる。高い照射強度でも pn 接合の電子物性は維持されている。高効率素子構造の実現につながる濃度と深さ制御を実現した。

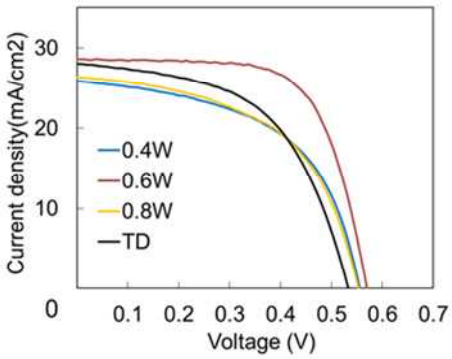
(2)　局所領域へのドーピング技術の開発

極細レーザービームの走査により局所領域へのドーピング技術確立を目指した。 ビーム径を 5～30μm の範囲で制御して照射したところ、ビーム径に対応した局所領域に不純物が導入できることを確認した。ビームが走査されたところのみ溶融、再結晶化していることを示している。



PBF-基板界面の断面　　レーザードーピング後表面像(傾き45°

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(70)
PBF を用いた場合の LD 後の表面状態。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(80)
光照射下の電流電圧特性。

極細(100μm 以下)表面電極の下にのみ高濃度ドーピング層を形成した高効率素子構造である「選択的エミッタ構造」を、開発したレーザードーピング技術を用いて作製した。表面テクスチャー構造を保持したまま局所的高濃度層が形成でき、通常構造の素子と比較して光電変換効率の改善を実証した。レーザービーム走査システムの拡張により実用的サイズの素子作製にも適用できると期待される。

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(79)にドーピングプレカーサー膜として PBF を用いた場合の界面と LD 後の表面像を示す。テクスチャー構造が維持されていることが分かる。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(80)に AM1、1sun での光照射下での電流電圧特性を示す。通常の熱拡散の素子(TD)と比して、選択エミッタ

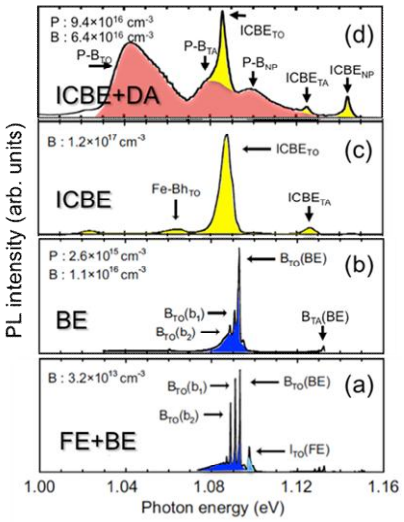
構造を設けた素子の方が性能が改善されていることが分かる。

以上の成果によりレーザーを用いた室温不純物ドーピング技術が実用的プロセスに適用できることが明らかになった。今後、整形したレーザービームの利用、走査範囲の拡大、等がハイスループットプロセスの実現に必要であると思われる。

<明治>

明治大学が担当した共通評価プラットフォームでは、主に 1)低コスト原料の使いこなし技術、2)低コスト高性能結晶基板製造技術、そして 3)低コスト高性能太陽電池セルプロセス技術の高度化を達成するために、評価に関する共通基盤技術を開発することを主目的とした。このために、期間中主に I)原料 Poly-Si、II)低コスト・高性能結晶成長技術、III) マルチワイヤーソーによる低ダメージスライス技術、IV) 結晶シリコン基板、V)低コスト・高効率セル製造プロセスの評価を行い、概要以下に示すような成果を得た。

I) 低品質 PV 原料の使いこなしを目的に、原料 Poly－Si 中に高補償比で存在する高濃度ドナーおよびアクセプターの PL 法による定量方法を開発した。既存の JEITA 規格を超える濃度の定量のために、自由励起子(FE)、束縛励起子(BE)、不純物クラスター束縛励起子(ICBE)およびドナー・アクセプターペア(DA)等のフォトルミネッセンス(PL)発光特性を詳細に検討し、濃度 1×10^{14} から $1\times10^{18}/cm^3$ の範囲での不純物定量化方法を新たに開発した。

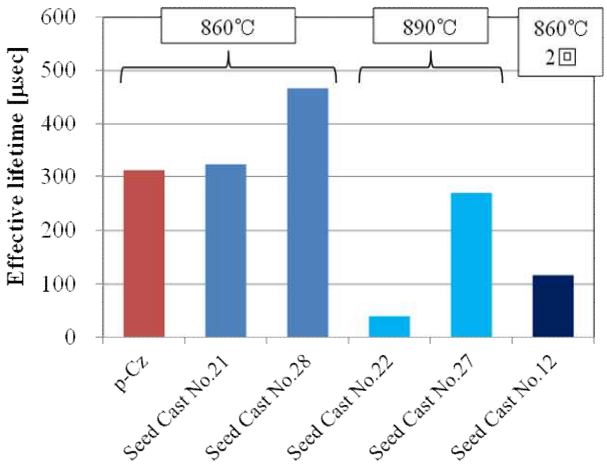


図Ⅲ-2-(イ)-A-1(81)　4.2 K における Si 結晶の PL スペクトル。(a) 不純物濃度領域が 1 x $10^{15}cm^{-3}$ 以下で観測される FE，BE 発光，(b) 1 x 10^{15}～5 x $10^{16}cm^{-3}$ では FE が消え BE 発光が支配的，(c) 2 x 10^{16}～1 x $10^{18}cm^{-3}$ 以下では ICBE 発光が支配的, (d) (c)と同領域で補償比が高い場合に現れる DA ペア発光。

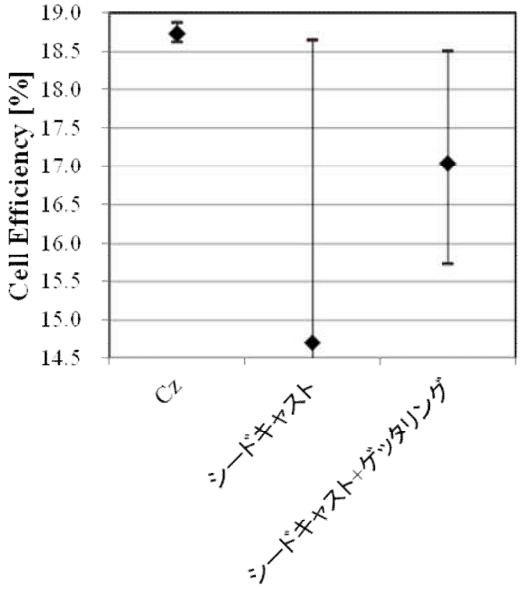
Si 中のドナー・アクセプタ不純物が増加するにつれ、10^{13} から 10^{18} cm^{-3} 台のドナー，アクセプタ濃度領域に対応して、PL スペクトルには、FE，BE，ICBE，そして DA ペア発光が支配的に現れる（図Ⅲ-2-(イ)-A-1(81)）。この PL スペクトルの系統的変化を利用し、BE/FE 比に着目した検量線を作成し、1×10^{15} - 1×10^{17} cm^{-3} のホウ素，リンを定量することに成功した。また，ICBE 発光のピークシフトを利用した検量線により、定量範囲を 1×10^{18} cm^{-3} まで拡張した。さらに DA ペア発光の解析より高濃度かつ高補償比の場合の不純物定量にも成功した。

II) 低コスト高品質結晶の成長を達成するために、結晶欠陥形成生成メカニズムを研究し、軽元素不純物 (C、O、N 等)の制御が重要であることを明らかにした。軽元素不純物の混入を抑制するために、成長中の雰囲気とるつぼの Si_3N_4 コーティングを制御することで、疑似単結晶（シードキャスト）シリコン結晶で、欠陥密度 $10^{-4}/cm^2$ 未満、少数キャリアライフタイム 400μsec 以上の高品質結晶の作成に成功した。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(82)は、九州大学および物質材料研究機構(NIMS)で試作したシードキャストウェーハを、各種のゲッタリング（$POCl_3$ 拡散）を施した後のライフタイム評価結果を示しているが、860℃拡散を行ったシードキャストでは CZ と同等以上の値が得られ、最高値は 465μsec と、最終目標値である 400μsec を超える値が得られている。また、図Ⅲ-2-(イ)-A-1(83)には、同じシードキャス

トウェーハを使って試作した PERC セルの効率比較をを示しているが、この PERC セル試作においては、リファレンスである CZ 単結晶ウェーハを使ったセルの最高効率が 18.9%であったのに対して、シードキャストウェーハを使ったセルでは最高効率 18.7%と、CZ 単結晶に対する相対的な出力低下は 1%にとどまっており、ほぼ CZ と同等の効率を得ることができた。

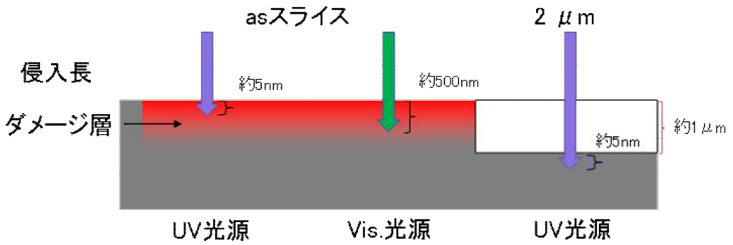


図Ⅲ-2-(イ)-A-1(82)　九大・NIMS シードキャストウェーハライフタイム評価結果



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(83)　九大・NIMS シードキャスト PERC 試作セル効率比較

III) マルチワイヤーソーを使った、ウェーハスライスプロセスで導入されるダメージ深さを、ステップ・エッチングとラマン分光測定の組み合わせで詳細に評価した。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(84)に、固定砥粒方式でスライスした試料の測定結果のまとめを示すが、この結果からこの試料においてはスライスのダメージは約 0.5~1μm の深さまで分布していると考えられる。スライス方式やスライス条件の異なる試料について同様の評価を行った結果、平均ダメージ深さが 1μm 程度であり、その深さはワイヤーの種類やスライス条件に依存した。一方、セル効率に大きな影響を与えるのは平均的なダメージよりも、特異点におけるより深いダメージにあることが明らかになった。

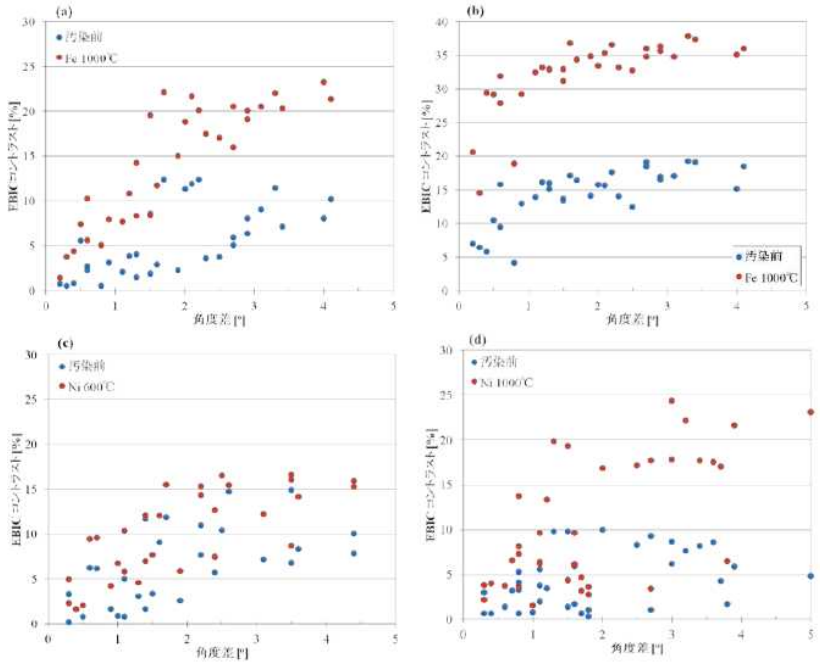


サンプル	asスライス		2 μm	4 μm	ref.
光源	UV	Vis.	UV	UV	UV
半値幅の平均値	11.4	5.62	3.5	3.4~3.5	3.28

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(84)　固定砥粒方式でスライスした試料の測定結果のまとめ

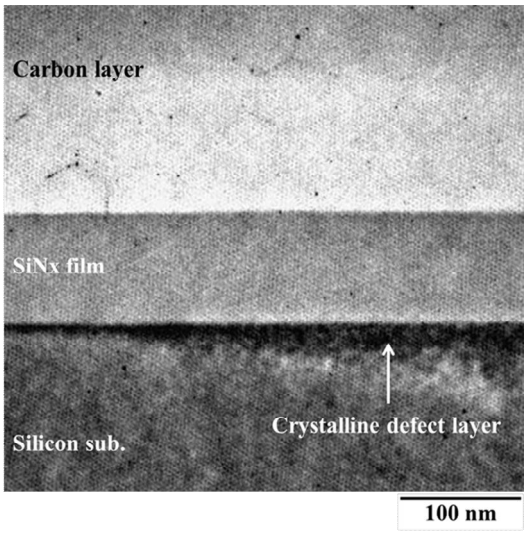
IV) セル効率を劣化させるもっとも重大な結晶欠陥である小角粒界(SA-GBs)について、PL、EBIC、EBSD、FTIR、TEM 等を用いて詳細に評価した。小角粒界の各汚染条件における角

度差と EBIC コントラストの関係を図Ⅲ-2-(イ)-A-1(85)に示す。この結果から、角度差が 1.5° 以下の小さな小角粒界は浅い準位で形成されており、角度差が 1.5° 以上の大きな小角粒界は深い準位で形成されていると考えられる。汚染後は金属による欠陥準位が形成されることで、EBIC コントラストが上昇したと考えられる。小角粒界の形成には軽元素不純物が強くかかわり、重金属不純物で装飾されることでより電気的に悪影響を及ぼすことが明らかになった。

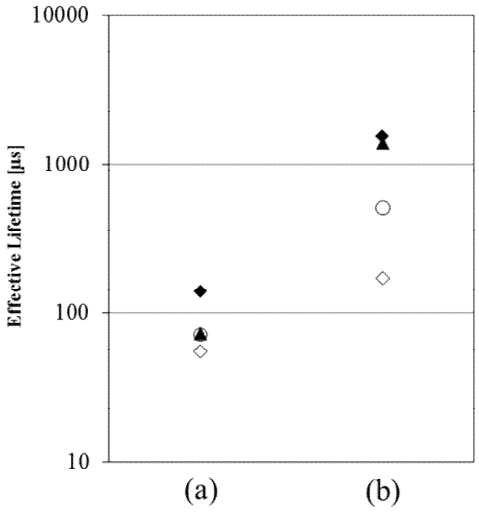


図Ⅲ-2-(イ)-A-1(85)　汚染前と汚染後の小角粒界の角度差と EBIC コントラストの関係
(a)室温における鉄 1000℃汚染試料, (b)低温における鉄 1000℃汚染試料,
(c)室温におけるニッケル 600℃汚染試料, (d)室温における 1000℃汚染試料

V) 発電コスト削減のためのセル製造プロセスに関する評価を行った。質量分離を用いない低コストイオン注入である、イオンシャワー技術を、選択的エミッタ形成および両面受光 n 型セルの製造に応用した。また、SiN 大気圧 CVD 製膜による BPSG を拡散源とする両面受光 n 型セルでは、表面 B 偏析層の生じない条件を発見し、プロセス簡略化に伴うコストダウンを実現した。膜のプラズマ堆積で生じる極微小ダメージの評価を行い、高分解能 TEM のみで観察されるような、ナノ・スケールのダメージが少数キャリア寿命を低減することが明らかになった。SiN_x 膜製膜時に導入される結晶欠陥の例を図Ⅲ-2-(イ)-A-1(86)に示す。黒い層が SiNx 膜の下，シリコン基板債表面に存在している．この結晶欠陥層の厚さは最も薄いところで 20 nm，厚いところは 50 nm となっていた。結晶欠陥層のエッチング前後の実行ライフタイムの結果を図Ⅲ-2-(イ)-A-1(87)に示す, エッチング前の実行ライフタイムは約 100 μsec であったが，エッチング後は約一桁増加していた．このことから，この結晶欠陥層はキャリア再結合センターとして働くことがわかる。次世代の、超高効率セル実現のためには、原子レベルでのダメージの評価と制御が非常に重要であると言える。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(86)　SiN_x 膜と基板の断面構造



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(87)　実行ライフタイムの結果 結晶欠陥層(a)エッチング前, (b)エッチング後

これらの成果を総合して、コンソーシアム参加企業による、ヘテロバックコンタクトセルによる 25.1%、拡散とペースト電極を用いたｎ型単結晶セルによる 22%、多結晶（疑似単結晶）を用いた約 20%の、いずれも世界最高レベルのセル効率達成に貢献した。

<新日本ソーラーシリコン>

(1) ソーラーグレード原料シリコンの分析評価に関わる研究開発

[開発の概要]

NEDO が目標とする 2020 年における太陽光発電コスト 14 円/kWh を達成するためには全ての太陽電池製造プロセスにおいてプロセスコストの低減を行わなければならない。太陽光発電システム次世代高性能技術の開発コンソーシアムでは All Japan 体制で低コスト・高性能太陽電池の開発を目指している。

本研究開発テーマでは太陽電池用ポリシリコンのコスト低減に向けて次の 3 つの取り扱い原料について原料段階での評価/選択を可能とする分析技術を確立するとともに限界仕様を検討することが目的である。

1) 直接塩化原料のシリカ(SiO_2)調査と原料適性の評価、有望原料の確認
2) 金属シリコンおよびカーフシリコンの分析と適性評価
3) 中間原料のクロロシラン分析(直接塩化生成 $SiCl_4$ の適性評価)

これらの分析/評価を可能とするために、

(1) 分析・評価項目と適切な分析装置の選定
(2) 太陽電池用出発原料として適性を有する組成範囲を明らかにするためのサンプル収集と系統的な分析
(3) 分析結果の解析による適合性あるサンプルの抽出と適合範囲の把握

などの研究開発を行った。

その結果、表Ⅲ-2-(イ)-A-1(11)に示すような分析装置を導入し、平成 23 年度末の段階で上記 1)～3)の評価が可能となる分析手法を確立することができた。

表Ⅲ-2-(イ)-A-1(11) 本研究開発において用いた分析装置と H23 年度末における運用状

分析装置	区分	分析対象	導入年度	H23年度末到達状態
GC-FID	NEDOコンソ	クロシラン中の有機クロシラン	H22年	$SiCl_4$分析に適用
ICP-MS	NEDOコンソ	全試料の金属不純物	H22年	シリカ、カーフSiに適用
FIA	NEDOコンソ	クロシラン中のB	H23年	$SiCl_4$分析に適用
IC	NEDOコンソ	クロシラン中のP	H23年	$SiCl_4$分析に適用
SEM/EDX	NEDO単独	固体試料の形態分析	H23年	シリカ、カーフSiに適用
示差熱	自社	固体試料の反応/相変態	--	シリカ、カーフSiに適用

また、シリカの調査により国内外のシリカ 30 サンプル、カーフ Si7 サンプル、弊社が単独案件テーマとして実施しているシリカの直接塩化試験で生成する $SiCl_4$ およびその比較サンプルなどを収集、分析することができた。更には収集シリカサンプルの形態分析などから鉱石段階で不純物除去のできる可能性がある国産シリカを見出しそのアップグレード方法についても検討を行った。

[成果]

収集したシリカサンプルの ICP-MS 分析を行い幅広い組成分布の試料が得られたことを確認した。

表Ⅲ-2-(イ)-A-1(12)　シリカサンプルの ICP-MS 分析結果一覧表

NO.	コンソNo.	Li	Na	Mg	Al	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Sn	Pb	As
1	AB01	2.7	17	2	54	<50	200	0.3	1	26	<0.3	<7	<0.6	<0.6	0.1	<0.3	0.2	
2	AB02	2.2	20	6.2	61	<50	240	0.4	0.9	30	<0.3	<7	<0.6	3	0	<0.3	0.3	
3	AB03	2.1	21	4.7	81	<92	250	0.9	1.3	36	0.2	<3.4	0.5	0.6	0.0	<0.4	0.4	
4	AB04	3.2	18	4.6	160	<50	110	0.2	1.1	45	<0.3	<7	<0.6	3	0.1	<0.3	0.2	
5	AB05	5.1	22	6.8	240	<50	79	0.2	1.7	53	<0.3	<7	<0.6	<0.6	0	<0.3	0.4	
6	AB06	2.7	640	21	8600	<50	150	1.2	2.5	178	<0.3	<7	<0.6	1.3	0.1	<0.3	11	
7	AB07	3.3	12	4.4	110	<50	61	<0.2	1.6	40	<0.3	<7	<0.6	<0.6	0.1	<0.3	0.5	
8	AB08	5.3	36	40	600	<92	220	1.9	5.0	130	0.3	<3.4	1.1	1.4	0.1	<0.4	0.6	
9	AB10	4.8	15	6.3	140	<37	68	1.2	1.6	43	<0.4	3.6	<0.8	<0.7	0.0	<0.2	0.3	<0.3
10	AB11	5.7	22	6.8	240	<37	70	<0.4	1.1	36	<0.4	<2.8	<0.8	<0.7	0.0	<0.2	0.3	<0.3
11	AB12	1.4	30	1.0	22	<37	3.0	0.5	1.4	49	<0.4	4.4	<0.8	0.8	0.0	<0.2	<0.2	<0.3
12	DM01	11	173	720	3500	<50	190	19	330	2400	2.5	11	6	12	0	0.3	0.9	
13	DM03	6	370	340	2700	<50	130	3.3	380	1900	2.1	<7	1.9	11	0	<0.3	1.5	
14	DM04	17	5,200	630	28,000	260	480	6.7	93	6,400	1.8	<3.4	1.8	15	0.1	0.5	8.2	
15	DM05	13	1,900	170	8,500	<92	170	2.0	25	1,500	0.4	<3.4	0.8	5.5	0.1	<0.4	3.0	
16	DM06	17	5,800	640	28,000	260	500	13	87	6,100	1.7	3.8	2.4	16	0.1	0.6	10	
17	DM07	16	4,500	540	25,000	180	420	5.5	63	4,800	1.2	<3.4	1.4	1	0.1	0.4	8.3	
18	DM08	17	6,000	660	33,000	230	550	7.9	120	6,900	2.0	<3.4	2.1	17	0.1	0.7	10	
19	DM09	16	4,600	430	24,000	160	400	6.9	67	4,600	1.1	<3.4	1.6	1	0.1	0.5	8.5	
20	DM10	18	7,200	1,300	31,000	370	640	12	99	7,300	2.2	4.3	2.7	20	0.1	0.7	10	
21	DM11	12	2600	67	14000	120	130	1.0	13	1000	0.5	<7	0.8	3.4	0.1	0.3	6	
22	DM12	13	2400	71	13000	130	100	1.0	18	1300	0.6	<7	0.7	3.3	0.1	<0.3	5.9	
23	DM13	13	930	85	1,300	<92	280	1.4	46	1,900	0.3	<3.4	2.8	8.2	0.1	0.5	8.0	
24	DM14	13	481	1,000	4,800	<37	250	5.0	560	3,900	3.4	15	11	20	0.0	0.3	1.2	1.5
25	DM15	40	19,000	300	54,000	110	900	2	330	8,400	2	<2	4	40	0	2	13	4
26	DM16	33	18,000	370	63,000	100	1,400	6	270	9,800	4	<2	9	49	0	3	13	6
27	DM17	32	15,000	350	61,000	72	1,500	7	250	11,000	5	<2	11	54	0	2	8	5
28	DM18	40	19,000	330	56,000	110	920	2	280	11,000	2	<2	3	41	0	2	11	5
29	DM19	2,900	8,100	700	1,200	60	710	5	160	2,100	2	<2	3	27	0	2	3	2
30	DM20	5	34	13	220	<27	170	<0.4	2	7	<0.21	<2	<0.3	<0.5	0	<0.4	0	<1

また、これらの試料のうち AB08 を用いた直接塩化試験において得られた $SiCl_4$(表Ⅲ-2-(イ)-A-1(13))は弊社のポリシリコン生産プロセスに適用している $SiCl_4$ との有機クロロシラン含有量とほぼ同じレベルであることから適合性のあることが確認された。

表Ⅲ-2-(イ)-A-1(13)：還流漏液のなかった主留試料の GC-MS 分析(ppm)

GC-MS組成	IP	MDCS	TMCS	DMDS	MTCS	CCl_4
	<0.01	<0.01	0.08	<0.01	0.01	<0.01

更に、シリカ鉱石のアップグレード検討では表Ⅲ-2-(イ)-A-1(14)に示す国産シリカをリーチング(酸抽出法)などで処理することにより RC12 のレベルまでアップグレードできることを確認した。表Ⅲ-2-(イ)-A-1(14)の AB01 および AB08 は豪州産シリカで AB08 は表Ⅲ-2-(イ)-A-1(13)に示した直接塩化 $SiCl_4$ を生成するために用いた原料である。DM01 をアップグレードした RC12 の純度は太陽電池用原料として適性がほぼ確認された AB08 に近いレベルであることから国産シリカサンプルからも太陽電池原料として適合性が期待できる鉱石が見出されたことになる。

表Ⅲ-2-(イ)-A-1(14)　直接塩化原料として有望なシリカ試料

(ppm)

試料	Na	Mg	Al	Ti	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	As
AB01	17	2	54	200	1	26	<0.3	<7	<0.6	未測定
AB08	36	40	600	220	5	130	0.3	<3.4	1.1	未測定
DM01	173	720	3500	190	330	2400	2.5	11	6	未測定
RC12	11	170	1400	38	67	380	0.5	<2.1	2	<0.9
DM20	34	13	220	170	2	7	<0.2	<2	<0.3	<1

また、これまで産業廃棄物として処理されてきた結晶シリコン加工時に発生するカーフシリコンの分析についても行った結果、表Ⅲ-2-(イ)-A-1(15)のような分析結果を得た。この分析結果はシリカ分析結果として Ni 以外の不純物が特段多いわけではなく、更に比較的低負荷の酸洗によって金属分の溶解除去も可能なことを確認したことから直接塩化プロセスにおける熱源を兼ねた添加原料として適用の可能性が高いことを確認した。

表Ⅲ-2-(イ)-A-1(15)　水洗シリコンカーフの不純物分

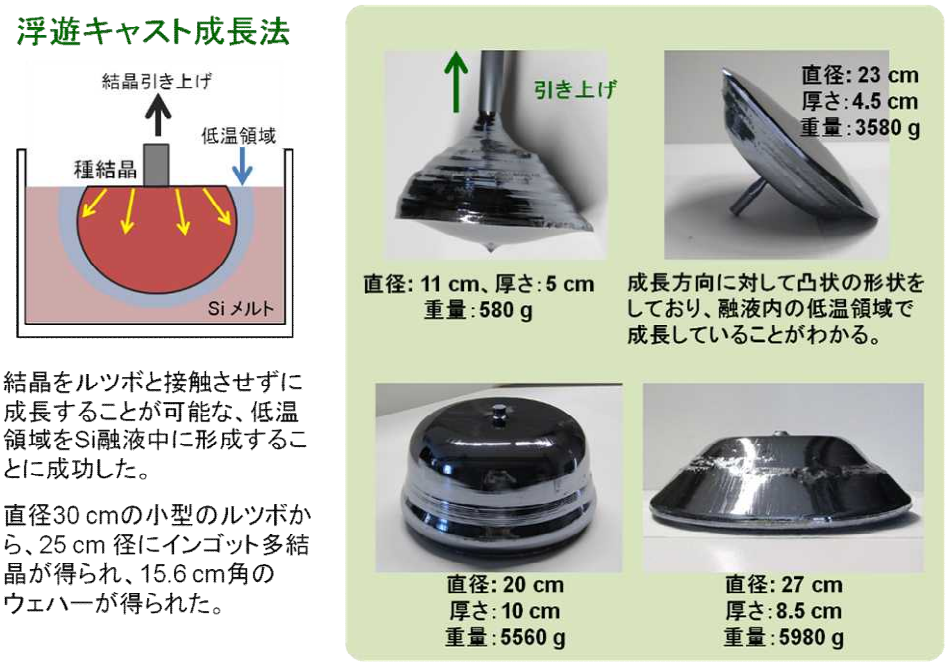
(ppm)

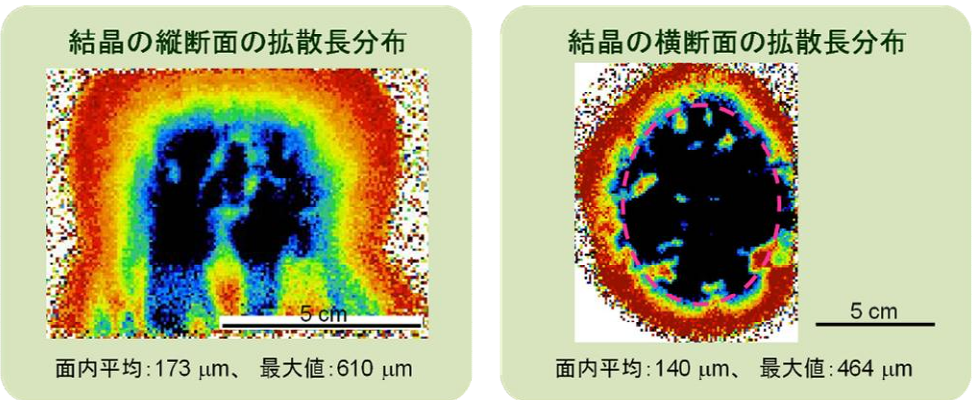
水洗カーフ	Na	Mg	Al	Ca	Fe	Ni	Cr	Cu	Zn
	9.91	3.79	4.58	<506	23.5	127	1.92	4.4	148

<京都大学>

1) 浮遊キャスト成長法によるインゴット多結晶の高品質化のための成長技術の基礎検討

- Si 融液中に低温領域を形成することができ、径の小さなルツボを使用しても、ルツボ壁に接触させずに大口径のインゴット結晶を成長することに成功した。直径 30 cm の小型ルツボから直径 25 cm 以上のインゴットが得られた。これにより 15.6 cm 角のウェハを得ることに成功した。
- 結晶方位解析の結果、粒界の大部分が電気的に不活性とされる Σ3 粒界であることが明らかとなった。また、ネッキング技術を用いることができるため、転位密度を 10^3 / cm^2 以下にすることができた。





浮遊キャスト成長法で作製したSiインゴット多結晶の拡散長を評価した。インゴットの中心部の拡散長は高く(右図、点線内で200 μm)、最大で610 μmの拡散長が得られた。一方で、インゴットの表面に近い部分では拡散長の低下が見られた。気相雰囲気からの汚染が原因であると考えられ、その改善が今後の課題である。

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(88)　浮遊キャスト成長法

2)浮遊キャスト成長法により作製した結晶の評価と高品質化メカニズムの解明

- 浮遊キャスト成長法により得られた多結晶の酸素・炭素濃度は、CZ 法で得られた単結晶よりも 1 桁程度低く、キャスト成長法の多結晶と同程度であった。

拡散長の測定結果で、インゴットの中心部で最大 610 mm、平均 200 μm の拡散長が得られた。ただし、インゴットの表面部分では拡散長の低下が見られた。気相雰囲気からの汚染の低減策が必要である。

<SUMCO>

株式会社 SUMCO が実施した「高効率、低価格 EMC 多結晶ソーラーシリコン製造技術確立」に関し、研究成果を述べる。なお、弊社の事業方針の変更により、H24 年 2 月にソーラー事業からの撤退が決まったことにより、実質 2 年間の研究期間となった。

１．研究概要

太陽電池用ウエーハは、低コストで変換効率の高いものが求められている。多結晶ウエーハは単結晶ウエーハに比べ、コストの面で有利であるが、変換効率が劣っている。本研究開発は、EMC(Electro Magnetic Casting) n タイプ多結晶ソーラーシリコン製造技術を開発し、多結晶ソーラーシリコン太陽電池の変換効率向上を図ることを目的とした。

従来の多結晶ソーラーシリコンウエハーは、全て p タイプで作られている。 これは、n タイプが抵抗歩留りで不利であることと、変換効率で p タイプを上回る結果が得られていないためと考えられる。今回の開発で、抵抗歩留まりの克服と高い変換効率を持ったウエーハの作製ができれば、太陽電池用多結晶シリコン事業化の面で有利になる。

n タイプのリンは、p タイプのボロンと比べて偏析係数が小さく、抵抗率が大きく変化するため 歩留まりが低くなるが、EMC 法であれば、偏析に関係なく一定の抵抗率が得られるために抵抗規格の狭い場合でも高い歩留りを達成できる。また n タイプは p タイプと比較してキャリアの移動度が約 3 倍高いために高いライフタイムが得られることがわかっており、これによって変換効率の向上が期待できる。

２．研究成果

n タイプ多結晶作製で、目標としていた抵抗率の一定化について鋳造中のリンのドープ量を調整することにより抵抗率一定化が達成できることを確認した。本成果を用いることにより、低コストでの n タイプ多結晶の作製が可能となる。この製法をもとにライフタイム、変換効率等の調査結果を反映させた結晶製造ができれば、低コスト高効率の n タイプ多結晶が実現可能となる。しかし、開発中止により結晶製造は実施していない。

作製した結晶を用いてライフタイム、変換効率の評価を実施し、ライフタイムについては平成 24 年度中間目標である 200μsec 以上を達成し、また平成 26 年度最終目標である 400μsec 以上も、一部のサンプルで達成した。しかし、これら高いライフタイムサンプルを用いても、変換効率は 16%台であり、p タイプには及ばない結果となった。これはセル工程中のボロン拡散での熱処理が結晶性を悪化させるためと考えられる。ボロン拡散の結晶性への影響について、ボロン拡散の熱処理温度とライフタイムの関係を調査し、熱処理温度が高くなるほど、ライフタイムが低くなることがわかった。高温処理によって結晶性が悪化したためと考えられる。高温処理でも結晶性の悪化しない結晶製造が課題となる。

2. 実用化・事業化見通し

(1)低コスト原料技術

太陽電池に適用可能なシリカ原料を各種不純物の観点から明らかにした。その結果、国産シリカサンプルから太陽電池原料として適合性が期待できる鉱石が見出された。このことは、それ原料を用いた低コストシリコン原料の製造が期待される。

(2)低コスト単結晶・高品質多結晶技術

本プロジェクトにて、九州大学・NIMS により開発された低コスト単結晶成長（シードキャスト）技術における 1) 転位密度の低減、2) 炭素や酸素の軽元素の除去、 3)坩堝壁からの多結晶成長抑止、4)重金属汚染の防止、5)全領域単結晶化、などの研究開発成果は、現在、太陽電池製造会社へ技術移転を行っている。

九大が行った固液界面形状の数値解析に基づき、固液界面形状を制御して太陽電池製造会社で育成した結晶を用いて作製したセルの変換効率は、CZ 法により育成した結晶を用いて作成したセルの変換効率とほとんど差が無いことが示されている。また、NIMS 大型実証炉にて育成した結晶をスライスしたウエハのライフタイムの最高値は 465μsec に達したうえ、セル効率では最高値で 18.7%を得たが、これは Reference となる CZ シリコン単結晶の 18.9%とほぼ同等であった。これらの結果により、シードキャストモノシリコン結晶が近い将来の価格競争力のある太陽電池材料として最有力であることが示された。さらに、本プロジェクトで開発した結晶には酸素が少なく、CZ 結晶特有の光劣化による変換効率低下の懸念もない。従って、実際に太陽電池として使用していく場合、本プロジェクトで開発した結晶で作成したセルの変換効率の方が、従来の CZ 法で作成したセルの変換効率よりも高くなることが予想される。また、本プロジェクトで開発した結晶育成が非常に安価であり、Seed キャスト法による結晶が実際のパネルに組み込まれる日も近いであろう。

さらに、本プロジェクトにて名古屋大学により開発された浮遊キャスト成長法では、炉内の温度分布や成長条件を制御することで、デンドライト結晶の成長方向をそろえ、高品質な多結晶インゴットが作製できることを示した。この結果は実用サイズのウエハが十分作製できるサイズのインゴットで実証しており、大規模生産する場合にも同様の優位性を有していると判断する。また、本研究で提案するゲッタリング技術とあわせることで上記実用サイズのインゴットにおいて最大 480μsec という単結晶に匹敵する特性のウエハが得られている。したがって、従来のキャスト法と同等の低いコストで製造できれば、品質の点で優位性を持ち国際的な競争力を十分に有する製品となると考える。さらに、単結晶並みの特性を有することで、従来の熱拡散を利用した太陽電池セルのみならず、いわゆる PERC 型セルやヘテロ接合型セル、バックコンタクト型セルなど、今後普及が拡大すると考えられる様々なセル構造に対しても適用可能であることが期待される。本技術に関しては、セルメーカーへの技術移転を検討しており、今後のさらなる研究開発を通じて実用化が期待される。

(3)薄型スライス技術

コマツ NTC における、固定砥粒方式のワイヤソー加工によるウェーハ厚み 100μm、カーフロス 100μm の加工技術の確立を目指した研究開発は、当初予定に対して前倒しで目標が達成され、この開発の成果により、結晶系太陽電池の材料歩留りを 65%向上させ、40%の生産コスト低減が可能となる技術が確立された。その結果、コマツ NTC は細線固定砥粒ワイヤでの加工が可能な装置を実用化し、固定砥粒加工方式のシェアを 60%確保することができた。あわせて、細線固定砥粒ワイヤの市場をけん引し、現在では国内ウェーハ製造メーカおよび海外ウェーハ製造メーカの一部で、カーフロス 100μm のスライスが量産加工として一般的に採用される状況となった。この成果により結晶系太陽電池の発電コスト低減に寄与し、普及拡大に貢献した。

(4)高効率・低コスト太陽電池技術

豊田工大に産業開発プラットフォームとして構築された試作ラインはコンソーシアムメンバーであるセルメーカーや関係する材料、装置メーカーの単独、あるいは共同での試作検討、技術評価のために使用され、本試作ラインが国内太陽電池関連企業の研究開発に有効活用されている。現在も、この試作ラインを用いて、各太陽電池関連企業が開発した新材料・新プロセス・新製造装置を研究開発、実証評価することにより、次世代型太陽電池セル構造に適した材料・プロセス・製造装置として実用化・事業化する、という取り組みが複数、進行中である。また、PERC 型（20%）太陽電池の製造プロセスを確立し、セルメーカーの事業化を支援した。

個別技術に関しては、100μm 厚の結晶シリコン太陽電池の製造を可能とするプロセス、100ohm/sq 程度の高抵抗エミッタに対して FF が低下しないプロセス、ファインラインプロセス等を開発した。また、レーザーやイオンシャワーを用いた局所ドーピング技術により、従来よりも簡便で安価に選択エミッタ構造など高効率太陽電池に必要な構造を形成することが可能となった。薄型結晶シリコン太陽電池や高効率太陽電池に必要な高品質なパッシベーション膜に関しては、Al_2O_3 や 3c-SiC などを使用することにより、低い再結合速度が実現された。一方、表面の銀電極に代わる銅電極に関しては、密着性が高く、抵抗の低い配線が形成できる低温ペーストが開発された。また、光起電力を利用したヘテロ接合解析技術により、異種接合の特性評価が可能となった。これらの技術は、今後の高効率・低コスト太陽電池を生産する上で必要な技術として実用化が期待される。またコンソーシアムの研究成果を垂直統合して付加価値の高い極限結晶シリコン太陽電池の基盤として市場投入することで、日本の太陽光発電産業を他国に対して技術により差別化し、太陽光発電技術のグローバルな普及を日本が先導して行うための駆動力となる。

以上に述べた本プロジェクトでの開発成果、すなわち、１）低コスト原料技術、２）低コスト単結晶シリコン成長技術・高品質多結晶シリコン成長技術、３）薄型スライス技術、４）太陽電池技術：個別要素、薄型基板太陽電池、次世代セル技術などを統合することにより、以下のようなセルメーカー各社の製造に大きく寄与する。

〈シャープ〉

2016 年度上期までに量産化に向けたコア技術と考える、①受光面構造、製膜技術、②裏面 a-Si 成膜、パターン形成技術、③電極構造、形成技術、④基板技術、⑤モジュール技術の開発に特に注力する。そのために、2015 年度に量産実証機を立ち上げて、超高効率・低コスト量産技術の実証を行う。2016 年度上期に量産技術に目途をつけた後、第 1 期量産ラインの立ち上げを推進し、モジュール変換効率 21%の生産を 2018 年度中にも開始する。2017 年度では上記技術開発をさらに進化させるとともに、新たな高出力技術開発も推し進め、2019 年度までにモジュール変換効率 22%に資する技術を確立する。その後、2020 年度に第 2 期ラインとして本格的な生産ラインを構築する。2020 年から 2022 年では歩留まり改善、低コスト化を進めて、より競争力を高めていく。

〈京セラ〉

本 PJ の実用化は、高効率多結晶シリコン太陽電池を事業化（量産）するところまでを指し、結晶シリコン太陽電池セルの高効率実証において、P 型単結晶シリコンの PERC 構造の素子プロセス開発に取り組んだ。豊田工業大学、明治大学と京セラの保有技術を融合することで、単結晶シリコン基板を用いた 156mm 角セルにおいて、モジュール化可能な電極設計でセル変換効率 20.2%（Jsc39.3mA/cm^2、Voc654mV、FF0.784）を達成した。また、同様のセルを 48 枚使用したモジュールにおいて 228W、モジュール効率 18%相当を得た。

上記技術を用いて、

（１）高効率セルの事業化

⇒2015 年度内に事業化（量産）開始予定

（２）高効率モジュールの事業化

⇒2015 年度内に事業化（量産）開始予定

〈三菱電機〉

極限シリコン太陽電池セルの製造事業化計画

現在量産を実施している拡散接合型セルの製造技術を継承した、ワット単価に優れ且つ高効率なセルの量産化を目指し、技術的な検証を行ってきた。

この結果、レーザー加工技術を用いた逆ピラミッド型テクスチャの形成においては、量産時の製造タクトとしてウェハ1枚あたり開口パターンを4秒で形成する技術を確立した。さらに p 型および n 型シリコン基板において一般的に量産に用いられている低コスト且つ高速なプロセスである熱拡散による pn 接合の形成と印刷･焼成を組み合わせて作成する電極を用いた構造およびプロセスの開発を行った。この結果、最終的には n 型シリコン基板を用いて 21.9%の変換効率を達成し、量産に近いプロセスおよび本開発構造によって、変換効率約 22%の高効率な太陽電池を得ることができることを示した。

このように本開発においては、セルの基本構造およびプロセスが現行製造セル構造・プロセスを継承し、現行プロセスからの変更点が比較的少ないため、量産導入に対するコストおよび時間を削減できる。今後は、量産導入に向けて、更なるプロセスコストの低減および量産化ラインを用いた実証検討を行っていく。

3. 波及効果

本プロジェクトの太陽電池分野への波及効果としては、以下のことが挙げられる。

・開発に伴う太陽電池・半導体分野の分析技術の向上、新規分析方法の創出
・プラットフォームの構築による総合的技術開発ならびに容易な太陽電池技術の統合、およびそれによる基盤技術の向上ならびに次世代太陽電池の開発の加速
・基板の薄型化すなわち製品の材料使用量低減による環境負荷の低減
・銀配線の銅配線に置き換えによる安定供給ならびに低価格化
・新規太陽電池用結晶成長における国際的競争力の確保
・新規プロセスや新材料による、工程の簡略化や高信頼性の確保
・競合国（中国等）に対する、特に変換効率・信頼性の点での高い技術的優位性および、安易に模倣されない技術の確立
・世界最高水準の変換効率とコスト競争力を有する結晶シリコン太陽電池セル・モジュールの製造・販売による日本の産業競争力強化
・太陽電池産業における日本企業のシェアアップ、および太陽電池分野における日本のプレゼンスの向上
・上記太陽電池製造ラインの構築のための生産設備製造産業、あるいは生産工場建設、ユーティリティー設備建設による建築業、施設建設産業への需要創造
・上記製造ライン・生産工場稼働に伴う雇用創出
・上記太陽電池生産のための部品、材料需要の増加による周辺産業の振興
・上記太陽電池開発により創出された特許等知的財産権によってもたらされる国際貿易収入の増加、および日本の技術開発力優位性の確立
・上記により生産された太陽電池セル・モジュールの海外輸出による日本の貿易収入の向上
・上記開発及び生産に携わる開発者、技術者、生産者の知識およびスキルの向上
・高効率低コスト太陽光発電システムの普及促進に伴うインバーター、蓄電池、スマートグリッド、ホームエネルギーマネージメントシステムなどの周辺機器の新規需要創造
・高効率低コスト太陽光発電システムの普及促進による CO_2 削減、地球温暖化問題の解決
・高効率低コスト太陽光発電システムの普及促進による電力供給の増加、特に夏場昼間の電力需要極大時期の電力不足の解消、電力網への負荷低減
・日本国内産業・製造業の海外流出、国内空洞化の防止

また、太陽電池以外への波及効果としては、高度化された結晶成長技術や確立された高度な評価解析技術の他分野への適用の可能性がある。

4. 今後の展開

本プロジェクトにおいては、豊田工業大学を中心としたオールジャパンのコンソーシアム体制を構築して各参画機関間における連携を密にし、研究開発のスピードアップ・高度化を図った。その体制のもと、結晶シリコン太陽電池について原料の製造から太陽電池セルまで一貫した研究開発を効率的に推進することによって、例えば基板厚さ・カーフロス共に 100μm となる薄板スライス技術を開発（2012 年）し、また、バックコンタクトセルおよびヘテロ接合技術を統合したヘテロ接合バックコンタクトセルにおいて変換効率 25.1%を達成（2014 年 3 月）するなど、発電コスト低減に資する多くの成果をあげることができた。

例えば本プロジェクトにて、九州大学・NIMS により開発された低コスト単結晶成長（シードキャスト）技術における研究開発成果は、現在、太陽電池製造会社へ技術移転中であり、実際に本成果を用いた太陽電池セルの大量生産も目の前まで来ている。

さらに、本プロジェクトにて名古屋大学により開発された浮遊キャスト成長法では、現実的な手法でインゴットの高品質化を行うことを重視した結果、融液表面でのデンドライト成長による結晶組織制御と二重ルツボを利用した残留融液の処理技術という二つの新技術を融合した形のインゴット製造技術を考案し、その基礎検討から、大型インゴットの高品質化技術までの開発を行った。今後の展開として、京セラ株式会社様等と連携し、G5 サイズの高品質インゴットの製造が可能なまでに現在開発を行っている技術を高めるとともに、その問題点や解決策を的確に把握する。これに対しては、これまで利用してきた炉内の温分布計算を活用することで大型化した際の課題の洗い出しや成長条件の微調整ができ、本技術の垂直立上げが可能と考える。さらに、既存の多結晶シリコン太陽電池のみならず、超高品質なウエハが必要なヘテロ接合型セルやバックコンタクト型セルへの適用を試みることで、次々世代の革新的な結晶シリコン太陽電池の具現化へと展開をはかる予定である。

こうした成果により太陽光発電ロードマップ「PV2030+」で掲げていた所期の目標、すなわち、2020 年に業務用電力価格並となる 14 円/kWh（グリッドパリティ）の見通しを得た。しかしながら、PV2030+に掲げられた 2020 年が目前に迫りつつある現在、この発電コスト目標達成を現実のものとするために、さらなる開発、とくに製造コストを意識した開発を、新たな「先端複合技術シリコン太陽電池プロセス共通基盤に関する研究開発」プロジェクトのもとに推進していく。それにより、競合国（特に中国）に対し、単にコスト競争ではなく､日本として独自かつ安易に模倣できない技術を確立し､優位性を高めていく。電気的なセル特性・モジュール特性だけでなく、特に信頼性に関する項目に対し優位性を高めていけるような技術開発をコンソーシアムとして取り組んでいく。

5. 特許論文リスト

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外国PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	豊田工業大学	特願 2012-163613	国内	2012/7/24	出願	光電変換素子	林　豊 大下　祥雄 小椋　厚志
2	九州大学、物質・材料研究機構	特願 2012-042427	国内	2012/2/28	出願完了	結晶冷却方法及び半導体結晶	柿本　浩一 原田　博文 中野　智 ガオ　ビング
3	九州大学、物質・材料研究機構	2013-061698	国内国外	2013 年 3 月 2014 年 8 月	出願完了	シリコン単結晶生成装置、シリコン単結晶生成方法	柿本　浩一 原田　博文
4	関口隆史、宮村佳児、原田博文	出願準備中	国内	出願準備中	出願準備中	鋳造シリコン多結晶の炭素濃度低減に関する発明	関口　隆史
5	関口隆史，宮村佳児，原田博文	特願 2012-167854	国内	2012/2/28		シリコン結晶鋳造炉	
6	宮村佳児、関口隆史、原田博文、柿本浩一、中野 智、高 冰	出願準備中	国内	出願準備中	出願準備中	成長界面と壁との角度	宮村　佳児
7	物質・材料研究機構	特願 2010-066177	国内PCT	2010/12/11	出願	四角形の単結晶シリコンウェーハ	関口隆史 北澤英明
8	九州大学、物質・材料研究機構	特願 2012-042427	国内PCT	2012/2/28	出願	結晶冷却方法及び半導体結晶	柿本　浩一 原田　博文 中野　智 ガオ　ビン

							グ
9	物質・材料研究機構	特願 2012-167854	PCT	2012/7/30	出願	シリコン結晶鋳造炉	宮村佳児 原田博文 関口隆史
10	物質・材料研究機構	特願 2013-255895	国内	2013/12/11	出願	四角形の単結晶シリコンウェーハ（分割出願）	関口隆史 北澤英明
11	京都大学	特願 2011-093418	国内	2011/4/19	公開	Si インゴット結晶の製造方法	中嶋一雄 森下浩平 沓掛健太朗
12	東北大学	特願 2011-179126	国内	2011 年 8 月 18 日	出願	シリコン太陽電池の製造方法	藩　伍根、宇佐美　徳隆、藤原航三
13	東北大学	特願 2012-040324	国内	2012 年 2 月 27 日	出願	Ｓｉ結晶の結晶品質評価方法及び結晶品質評価装置	藩　伍根
14	東北大学	特願 2011-054072	国内	2012 年 3 月 12 日	出願	シリコンインゴットの製造方法	宇佐美　徳隆、藩　伍根
15	京セラ	2011-285096	国内	2011/12/27	出願	太陽電池素子、太陽電池素子の製造方法および太陽電池モジュール	村尾彰了 伊藤憲和
16	京セラ	PCT/JP2012/083957	PCT	2012/12/27		太陽電池素子、太陽電池素子の製造方法および太陽電池モジュール	
17	京セラ	特願 2013-551832	国内	2012/12/27		太陽電池素子、太陽電池素子の製造方法および太陽電池モジュール	
18	京セラ	特願 2014-111370	国内	2014/5/29		太陽電池素子	
19	京セラ	特願 2014-132434	国内	2014/6/27		太陽電池素子およびその製造方法	
20	京セラ	特願 2014-192412	国内	2014/9/22		太陽電池素子	

21	京セラ	特願 2015-15486	国内	2015/1/29		太陽電池素子およびその製造方法、並びに、太陽電池モジュールおよびその製造方法	
22	京セラ	特願 2015-15483	国内	2015/1/29		太陽電池素子の製造方法	
23	京セラ	特願 2015-18529	国内	2015/2/2		太陽電池素子およびその製造方法	
24	京セラ	特願 2015-36527	国内	2015/2/26		太陽電池素子およびその製造方法	
25	京セラ	特願 2015-069622	国内	2015/3/30		太陽電池素子およびその製造方法	
26	京セラ	特願 2015-069720	国内	2015/3/30		太陽電池素子およびその製造方法	
27	三菱電機	特願 2013-508861 (優先権　特願 2011-84833)	国内	2011/3	公開	レーザー加工方法	桂　智毅
28	三菱電機	特願 2011-218383	国内	2011/9/30	公開	光起電力装置の製造方法および光起電力装置	松野　繁
29	三菱電機	特願 2012-3164	国内	2012/1/11	公開	太陽電池セルの製造方法および製造装置	松本　紀久
30	三菱電機	特願 2012-33054	国内	2012/2/17	公開	光起電力装置の製造方法	由良　信介
31	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2011-138048	国内	2011/6/22	登録	太陽電池、及び太陽電池の製造方法	今井　隆裕
32	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2011-166647	国内	2011/7/29	放棄	光電変換装置モジュール、光電変換装置モジュールの製造方法、及び光電変換素子	大岡　幸代
33	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2011-250515	国内	2011/11/16	放棄	太陽電池	生野利典
34	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2011-268563	国内	2011/12/8	放棄	太陽電池の製造方法	常深　剛他
35	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2011-277669	国内	2011/12/19	放棄	界面パッシベーション構造、裏面パッシ	栗本裕司

						ベーション型太陽電池および界面パッシベーション構造の製造方法	
36	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2011-279126	国内	2011/12/21	特許査定	裏面電極型太陽電池の製造方法	稗田健
37	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2012-032440	国内	2012/2/17	分割審査請求	太陽電池の製造方法	中村　淳一他
38	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2012-037013	国内	2012/2/23	請求取消	光電変換装置の製造方法	西野　浩巳他
39	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2012-037055	国内	2012/2/23	請求取消	光電変換素子及びその製造方法	西野　浩巳他
40	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2012-050244	国内	2012/3/7	拒絶対応	光電変換素子	稗田　健
41	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2012-055495	国内	2012/3/13	審査請求	光電変換素子およびその製造方法	常深　剛他
42	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2012-055504	国内	2012/3/13	審査請求	光電変換素子およびその製造方法	常深　剛他
43	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2012-060240	国内	2012/3/16	審査請求	光電変換素子およびその製造方法	中村　淳一
44	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2012-066454	国内	2012/3/23	審査請求	光電変換素子およびその製造方法	常深　剛他
45	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2012-142481	国内	2012/6/25	放棄	界面パッシベーション構造の製造方法および太陽電池	栗本　裕司
46	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2012-197134	国内	2012/9/7	公開	光電変換素子の製造方法	中村淳一
47	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2012-199592	国内	2012/9/11	放棄	光電変換素子および光電変換素子の製造方法	重田　博昭他
48	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2012-200239	国内	2012/9/12	審査請求	光電変換素子および光電変換素子の製造方法	山元　吉高他
49	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2012-200283	国内	2012/9/12	公開	光電変換素子の製造方法	菅沼　利人他
50	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2012-210903	国内	2012/9/25	審査請求	光電変換素子	原田　真臣他

51	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2012-210904	国内	2012/9/25	審査請求	光電変換素子	原田　真臣他
52	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2012-212547	国内	2012/9/26	審査請求	光電変換素子および光電変換素子の製造方法	酒井 敏彦他
53	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2012-214549	国内	2012/9/27	審査請求	光電変換素子および光電変換素子の製造方法	岡本　親扶他
54	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2012-214556	国内	2012/9/27	出願	光電変換素子	岡本　親扶他
55	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2012-223168	国内	2012/10/5	審査請求	光電変換素子および光電変換素子の製造方法	浅野　直城
56	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2012-225922	国内	2012/10/11	公開	光電変換素子および光電変換素子の製造方法	國吉　督章他
57	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2013-5429	国内	2013/1/16	放棄	光電変換素子および光電変換素子の製造方法	東　賢一他
58	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2013-41804	国内	2013/3/4	放棄	光電変換素子	木本　賢治
59	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2013-54823	国内	2013/3/18	公開	光電変換素子および光電変換素子の製造方法	常深　剛他
60	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2013-69704	国内	2013/3/28	出願	光電変換素子	木本　賢治
61	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2013-69746	国内	2013/3/28	出願	光電変換素子	木本　賢治
62	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2013-76307	国内	2013/4/1	出願	光電変換装置	辻埜　和也他
63	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2013-76766	国内	2013/4/2	出願	光電変換素子	木本　賢治
64	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2013-76767	国内	2013/4/2	出願	光電変換素子	木本　賢治
65	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2013-88329	国内	2013/4/19	出願	光電変換素子	神川　剛他
66	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2013-92078	国内	2013/4/25	出願	光電変換素子	神川　剛他

67	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2013-222803	国内	2013/10/25	出願	光電変換素子	木本　賢治
68	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2013-222804	国内	2013/10/25	出願	光電変換素子	木本　賢治
69	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2013-222816	国内	2013/10/25	出願	光電変換素子	木本　賢治
70	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2013-222818	国内	2013/10/25	出願	光電変換素子	木本　賢治
71	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2013-222822	国内	2013/10/25	出願	光電変換素子	木本　賢治
72	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2013-261081	国内	2013/12/18	出願	光電変換素子および光電変換素子の製造方法	東 賢一 他
73	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT/JP2014/50519	PCT	2014/1/15	放棄	光電変換素子および光電変換素子の製造方法	東 賢一 他
74	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2014-15309	国内	2014/1/30	出願	光電変換装置	奈須野　善之 他
75	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2014-16267	国内	2014/1/31	出願	光電変換装置および光電変換装置の製造方法	奈須野　善之 他
76	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2014-23731	国内	2014/2/10	出願	光電変換素子およびそれを備えた太陽光モジュール	原田　真臣 他
77	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2014-25842	国内	2014/2/13	出願	裏面接合型の光電変換素子および太陽光発電システム	辻埜　和也 他
78	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2014-25843	国内	2014/2/13	出願	光電変換素子	神川　剛 他
79	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2014-27385	国内	2014/2/17	出願	光電変換装置	奈須野　善之 他
80	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT/JP2014/55264	PCT	2014/3/3	出願	光電変換素子	木本　賢治
81	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2014-055130	国内	2014/3/18	出願	光電変換素子および光電変換素子の製造方法	岡本　親扶 他
82	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2014-055133	国	2014/3/18	出願	ヘテロ接合型バック	岡本　親扶

			内			コンタクトセルおよびヘテロ接合型バックコンタクトセルの製造法	他
83	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2014-058258	国内	2014/3/20	出願	光電変換素子	稗田　健他
84	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2014-058644	国内	2014/3/20	出願	光電変換素子および光電変換素子の製造方法	松本　雄太他
85	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2014-061818	国内	2014/3/25	出願	光電変換素子	浅野　直城他
86	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT/JP2014/58870	PCT	2014/3/27	出願	光電変換素子	木本　賢治
87	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT/JP2014/58877	PCT	2014/3/27	出願	光電変換素子	木本　賢治
88	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT/JP2014/58888	PCT	2014/3/27	出願	光電変換装置	辻埜　和也他
89	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT/JP2014/59466	PCT	2014/3/31	出願	光電変換素子	木本　賢治
90	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT/JP2014/59469	PCT	2014/3/31	出願	光電変換素子	木本　賢治
91	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2014-081526	国内	2014/4/11	出願	光電変換装置	酒井 敏彦他
92	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2014-081527	国内	2014/4/11	出願	光電変換装置	原田　真臣他
93	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT/JP2014/059956	PCT	2014/4/4	出願	光電変換素子	神川　剛他
94	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT/JP2014/060241	PCT	2014/4/9	出願	光電変換素子	原田　真臣他
95	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2014-100179	国内	2014/5/14	出願	光電変換素子	辻埜　和也他
96	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2014-107293	国内	2014/5/23	出願	光電変換素子および光電変換素子の製造方法	國吉　督章他
97	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2014-107294	国内	2014/5/23	出願	光電変換素子	國吉　督章他
98	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2014-158158	国内	2014/8/1	出願	光電変換素子及びその製造方法	鄒　柳民他
99	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2014-161433	国内	2014/8/7	出願	光電変換素子	稗田　健他
100	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2014-169175	国内	2014/8/22	出願	光電変換装置	浅野　直城他

101	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT/JP2014/72684	PCT	2014/8/29	出願	光電変換素子	木本　賢治 他
102	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT/JP2014/72686	PCT	2014/8/29	出願	光電変換素子	木本　賢治 他
103	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2014-187689	国内	2014/9/16	出願	光電変換素子および光電変換素子の製造方法	松本　雄太 他
104	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2014-189945	国内	2014/9/18	出願	光電変換素子および光電変換素子の製造方法	浅野　直城 他
105	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2014-191275	国内	2014/9/19	出願	ヘテロ接合型バックコンタクトセルおよび光電変換装置	稗田　健 他
106	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2014-203886	国内	2014/10/2	出願	光電変換素子および光電変換素子の製造方法	岡本　親扶 他
107	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2014-214491	国内	2014/10/21	出願	ヘテロバックコンタクト型太陽電池とその製造方法	岡本　親扶 他
108	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT/JP2014/78369	PCT	2014/10/24	出願	光電変換装置	木本　賢治 他
109	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT/JP2014/78372	PCT	2014/10/24	出願	光電変換素子、光電変換モジュール並びに太陽光発電システム	木本　賢治 他
110	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT/JP2014/78384	PCT	2014/10/24	出願	光電変換素子、光電変換モジュール並びに太陽光発電システム	木本　賢治 他
111	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2014-230422	国内	2014/11/13	出願	太陽電池および太陽電池の製造方法	三宮　仁
112	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT/JP2014/80839	PCT	2014/11/21	出願	光電変換装置	奈須野　善之 他
113	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT/JP2014/80840	PCT	2014/11/21	出願	光電変換装置および光電変換装置の製造方法	奈須野　善之 他
114	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2014-253138	国	2014/12/15	出願	半導体基板の製造方	浅野　直城

			内			法および光電変換素子の製造方法	他
115	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT/JP2014/83337	PCT	2014/12/17	出願	光電変換装置	奈須野　善之 他
116	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2014-264528	国内	2014/12/26	出願	太陽電池モジュール、太陽電池モジュール用配線シート及びその製造方法	三宮　仁 他
117	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT_JP2015_51322	PCT	2015/1/20	出願	光電変換素子およびそれを備えた太陽電池モジュール	原田　真臣 他
118	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT_JP2015_51340	PCT	2015/1/20	出願	裏面接合型の光電変換素子および太陽光発電システム	原田　真臣 他
119	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT_JP2015_51790	PCT	2015/1/23	出願	光電変換素子	辻埜　和也 他
120	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2015-17355	国内	2015/1/30	出願	光電変換素子および光電変換素子の製造方法	伊坂　隆行 他
121	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2015-21143	国内	2015/2/5	出願	光電変換素子および光電変換素子の製造方法	小林　正道 他
122	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2015-21178	国内	2015/2/5	出願	光電変換素子および光電変換素子の製造方法	岡本　親扶 他
123	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2015-21274	国内	2015/2/5	出願	光電変換素子および光電変換素子の製造方法	菅沼　利人 他
124	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT_JP2015_53475	PCT	2015/2/9	出願	光電変換素子および光電変換素子の製造方法	松本　雄太 他
125	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT_JP2015_53801	PCT	2015/2/12	出願	光電変換素子および光電変換素子の製造方法	岡本　親扶 他
126	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT_JP2015_53802	PCT	2015/2/12	出願	ヘテロ接合型バックコンタクトセルおよびヘテロ接合型バックコンタクトセルの	岡本　親扶 他

						製造法	
127	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT_JP2015_53803	PCT	2015/2/12	出願	光電変換素子	浅野　直城他
128	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2015-28765	国内	2015/2/17	出願	光電変換素子および光電変換装置	浅野　直城他
129	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2015-29513	国内	2015/2/18	出願	裏面電極型光電変換素子および裏面電極型光電変換素子の製造方法	森　健史
130	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2015-31500	国内	2015/2/20	出願	光電変換素子および光電変換素子の製造方法	松本　雄太他
131	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2015-42190	国内	2015/3/4	出願	光電変換素子およびその製造方法	伊坂　隆行他
132	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2015-44497	国内	2015/3/6	出願	光電変換素子、光電変換装置、光電変換素子の製造方法および光電変換装置の製造方法	岡本　親扶他
133	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2015-44855	国内	2015/3/6	出願	光電変換素子およびその製造方法	銭谷　嘉高他
134	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2015-46123	国内	2015/3/9	出願	光電変換素子およびその製造方法	銭谷　嘉高他
135	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2015-47818	国内	2015/3/11	出願	太陽電池および太陽電池の製造法	三宮　仁
136	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2015-48367	国内	2015/3/11	出願	光電変換素子	肥後 輝明他
137	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2015-50674	国内	2015/3/13	出願	光電変換モジュール	肥後 輝明他
138	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2015-50899	国内	2015/3/13	出願	光電変換素子	肥後 輝明他
139	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2015-52166	国内	2015/3/16	出願	光電変換素子	稗田　健他
140	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT_JP2015_60655	PCT	2015/4/3	出願	光電変換素子	原田　真臣他
141	ｼｬｰﾌﾟ㈱	CN201380047351.1	外国	2015/3/11	出願	光电转换元件以及光电转换元件的制造方法	山元吉高、小出直城

142	ｼｬｰﾌﾟ㈱	US14/426421	外国	2015/3/6	出願	Photoelectric conversion element and method of manufacturing photoelectric conversion element	Yoshitaka Yamamoto et Al
143	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT/JP2013/74200	PCT	2014/9/9	放棄	光電変換素子および光電変換素子の製造方法	重田　博昭他
144	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT/JP2013/74208	PCT	2014/9/9	日米中移行	光電変換素子および光電変換素子の製造方法	山元　吉高他
145	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT/JP2013/75262	PCT	2013/9/19	日米中移行	光電変換素子	原田　真臣他
146	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT/JP2013/75268	PCT	2013/9/19	日米中移行	光電変換素子および光電変換素子の製造方法	酒井 敏彦他
147	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2014-132665	国内	2014/6/27	出願	光電変換装置およびその製造方法	神川　剛他
148	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2014-132666	国内	2014/6/27	出願	光電変換装置およびその製造方法	神川　剛他
149	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2015-9495	国内	2015/1/21	審査請求	太陽電池の製造方法	中村　淳一他
150	ｼｬｰﾌﾟ㈱	US14/427054	外国	2015/3/10	出願	Photoelectric conversion element	Masatoshi Harada et Al
151	ｼｬｰﾌﾟ㈱	US14/429433	外国	2015/3/19	出願	Photoelectric conversion element and method for manufacturing same	Toshihiko Sakai et Al
152	ｼｬｰﾌﾟ㈱	CN201380049644.3	外国	2015/3/24	出願	光电转换元件	原田　真臣他
153	ｼｬｰﾌﾟ㈱	CN201380049902.8	外国	2015/3/25	出願	光电转换元件以及光电转换元件的制造方法	酒井 敏彦他
154	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT/JP2015/64017	PCT	2015/5/15	出願	光電変換素子	國吉　督章他

155	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT/JP2015/64014	PCT	2015/5/15	出願	光電変換素子及びその製造方法	國吉　督章他
156	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT/JP2015/67694	PCT	2015/6/19	出願	光電変換素子及びその製造方法	神川　剛他
157	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特開 2015-131740	国内	2015/6/30	出願	光電変換素子	船越　康志他
158	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2015-510078	国内	2015/5/27	出願	光電変換素子	木本　賢治
159	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2015-510079	国内	2015/5/27	出願	光電変換素子	木本　賢治
160	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2015-513668	国内	2015/7/21	出願	光電変換素子	原田　真臣他
161	ｼｬｰﾌﾟ㈱	US2015-14762855	外国	2015/7/23	出願	Photoelectric conversion element	Kenji Kimoto
162	ｼｬｰﾌﾟ㈱	US2015-14762880	外国	2015/7/23	出願	Photoelectric conversion element	Kenji Kimoto
163	ｼｬｰﾌﾟ㈱	US2015-14764224	外国	2015/7/29	出願	Photoelectric conversion element	Kenji Kimoto
164	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2015-151840	国内	2015/7/31	出願	光電変換素子	稗田　健
165	ｼｬｰﾌﾟ㈱	特願 2015-152865	国内	2015/7/31	出願	局所電極製造方法、局所電極製造装置、および太陽電池	栗本　祐司
166	ｼｬｰﾌﾟ㈱	US2015-14767924	外国	2015/8/15	出願	Photoelectric conversion element	Masatoshi Harada et Al
167	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT_JP2015_73569	PCT	2015/9/4	出願	光電変換素子	稗田　健他
168	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT_JP2015_73571	PCT	2015/9/4	出願	光電変換素子および光電変換素子の製造方法	岡本　親扶他
169	ｼｬｰﾌﾟ㈱	PCT_JP2015_73572	PCT	2015/9/4	出願	ヘテロバックコンタクト型太陽電池とその製造方法	岡本　親扶他
170	ｼｬｰﾌﾟ㈱	CN201480008328.6	外国	2015/8/11	出願	光电转换元件	木本　賢治
171	ｼｬｰﾌﾟ㈱	CN201480008353.4	外国	2015/8/11	出願	光电转换元件	木本　賢治

172	独立行政法人産業技術総合研究所	特願 2014-137683	国内	2014/7/3		シリコン窒化膜用エッチング剤、エッチング方法	
173	独立行政法人産業技術総合研究所	特願 2014-189901	国内	2014/9/18		半導体装置とその製造方法	

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	T. Kojima、M. Aoki、N.Kojima、Y.Ohshita、M. Yamaguchi	TOYOTA TECHNOLOGICAL INSTITUTE	Annealing Effects on Recombination Activity of Nickel AND Copper at (110)/ (100) Direct Silicon Bonded Interface	21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-21)	無	2011
2	小島拓人、大下祥雄、青木真理、小島信晃、山口真史	豊田工業大学	太陽電池材料開発の現状と課題（多結晶シリコン・キャスト単結晶シリコン）	SPring-8 コンファレンス 2011	無	2011
3	T.Kojima、M. Aoki、N. Kojima、Y.Ohshita、M.Yamaguchi	TOYOTA TECHNOLOGICAL INSTITUTE	Impact of Metal Impurities on Recombination Activity of (110)/ (100) Direct Silicon Bonded Interface	14th International Conference on Defects-Recognition, Imaging and Physics in Semiconductors (DRIP-XIV)	無	2011
4	小島拓人、青木真理、小島信晃、大下祥雄、山口真史	豊田工業大学	シリコン直接接合界面の電気的特性に対する Ni 汚染の影響（２）	第 72 回応用物理学会 学術講演会（2011 年秋季）	無	2011
5	T. Kojima、M. Aoki、N. Kojima、Y. Ohshita、M. Yamaguchi	TOYOTA TECHNOLOGICAL INSTITUTE	Annealing Effects on Recombination Activity of Nickel at (110)/(100) Direct Silicon Bonded Interface	21st Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells & Modules: Materials and Processes	無	2011

6	小島拓人、 青木真理、 小島信晃、 大下祥雄、 山口真史	豊田工業大学	(110)/(100)シリコン直接接合界面のキャリア再結合に対する金属不純物の影響	第 8 回次世代の太陽光発電システムシンポジウム	無	2011
7	上甲朋広、 小島拓人、 小島信晃、 大下祥雄、 山口真史	豊田工業大学	多結晶シリコン中の結晶粒界構造に対する遷移金属不純物の影響	第 8 回次世代の太陽光発電システムシンポジウム	無	2011
8	T. Kojima、 M. Aoki、 N. Kojima、 Y. Ohshita	TOYOTA TECHNOLOGICAL INSTITUTE	EFFECTS OF Ni AND Cu ON RECOMBINATION ACTIVITY OF (110)/ (100) DSB INTERFACE	Proceedings of the 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 1489-1491	無	2011
9	大下祥雄	豊田工業大学	結晶シリコン太陽電池の現状と課題	応用電子物性分科会研究例会 結晶シリコン太陽電池の最前線	無	2011
10	大下祥雄	豊田工業大学	結晶シリコン系太陽電池	PVJapan2011 SEMI Tutorial 「太陽光発電技術」	無	2011
11	大下祥雄	豊田工業大学	太陽電池材料開発の現状と課題（基調講演）	SPrig-8 コンファレンス 2011	無	2011
12	大下祥雄	豊田工業大学	シリコン太陽電池の基礎と将来の展望	「九州地域環境・エネルギー成長産業振興・発展対策活動事業」平成 23 年度第 1 回新事業創出セミナー「太陽光発電セミナー」	無	2011
13	大下祥雄	豊田工業大学	結晶シリコン太陽電池の研究開発動向と将来展望	第 72 回応用物理学会 学術講演会（2011 年秋季）	無	2011
14	大下祥雄	豊田工業大学	ドーピング不純物や金属不純物が少数キャリア寿命に	第 72 回応用物理学会 学術講演会（2011	無	2011

			与える影響	年秋季)		
15	大下祥雄	豊田工業大学	結晶シリコン太陽電池研究開発：オールジャパン	第 8 回次世代の太陽光発電システムシンポジウム	無	2011
16	大下祥雄	豊田工業大学	企画の意図　極限シリコン結晶太陽電池の実現に向けて	2011 春季　第 58 回応用物理学関係連合講演会	無	2011
17	大下祥雄	豊田工業大学	ドーピング不純物や金属不純物が少数キャリア寿命に与える影響	2011 春季　第 58 回応用物理学関係連合講演会	無	2011
18	小島拓人，青木真理，大下祥雄，小島信晃，山口真史	豊田工業大学	(110)/(100)シリコン直接接合界面の再結合特性に対する Ni および Cu の影響	2011 春季　第 58 回応用物理学関係連合講演会	無	2011
19	小島拓人	豊田工業大学	(110)/(100)シリコン接合界面の電気的特性に対するNi汚染の影響	シリコン材料の科学と技術フォーラム 2010	無	2010
20	大下祥雄	豊田工業大学	企画の意図	2011 春季　第 58 回応用物理学関係連合講演会		2011
21	大下祥雄	豊田工業大学	Crystal growth for super high-efficiency multi-juction solar cells	第 30 回電子材料シンポジウム(EMS-30)		2011
22	小島拓人	豊田工業大学	(110)/(100)シリコン直接接合界面 のキャリア再結合に対する金属不純物の影響	第 8 回次世代の太陽光発電システムシンポジウム		2011
23	上甲朋広	豊田工業大学	多結晶シリコン中の結晶粒界構造に対する遷移金属不純物の影響	第 8 回次世代の太陽光発電システムシンポジウム		2011
24	小島拓人	豊田工業大学	Annealing Effects on Recombination Activity of Nickel at (110)/(100) Direct Silicon Bonded Interface	21st Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells & Modules: Materials and Processes		2011
25	小島拓人	豊田工業大学	太陽電池材料開発の現状と課題（多結晶シリコン・キャスト単結晶シリコン）	SPrig-8 コンファレンス 2011		2011
26	大下祥雄	豊田工業大学	太陽電池材料開発の現状と課題（基調講演）	SPrig-8 コンファレンス 2011		2011

27	小島拓人	豊田工業大学	Annealing Effects on Recombination Activity of Nickel AND Copper at (110)/ (100) Direct Silicon Bonded Interface	21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-21)		2011
28	大下祥雄	豊田工業大学	結晶シリコンソーシアム形成への取組み（招待講演）	第２２回最新科学機器展第 10 回計量計測総合展第１回再生可能エネルギー展名古屋の再生可能エネルギーフォーラム		2012
29	小島拓人	豊田工業大学	SiNx:H膜の界面特性に対する高速熱処理の影響	第 9 回次世代の太陽光発電システムシンポジウム		2012
30	Yoshio Ohshita	豊田工業大学	Thin (<100um)Crystalline Sillicon Solar Cell Faburication Using Low Cost Feedstock and Diamond Wire Slice Technologies	22nd Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells & Modules: Materials and Processes		2012
31	Takuto Kojima	豊田工業大学	Electron Beam Induced Current Analysis of Recombination Velocity at Grain Boundaries in Multicrystalline Silicon	22nd Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells & Modules: Materials and Processes		2012
32	青木真理	豊田工業大学	極薄結晶シリコン太陽電池プロセスの開発	第 5 回半導体若手ワークショップー太陽電池材料開発の現在と未来ー		2012
33	Takuto Kojima	豊田工業大学	Annealing Effects on Ni and Cu at (110)/ (100) DSB Interface	Korea-Japan Top University League Workshop on Photovoltaics 2012(Top-PV2012)		2012
34	Yoshio Ohshita	豊田工業大学	Thin (<100um)Crystalline Sillicon Solar Cell Faburication	Korea-Japan Top University League Workshop on Photovoltaics 2012(Top-PV2012)		2012
35	大下祥雄	豊田工業	100μm太陽電池技術開発の現	第 73 回応用物理学		2012

		大学	状	会学術講演会（2012秋季）		
36	林豊	豊田工業大学	薄型結晶Si太陽電池の利点と課題-100μm以下の薄型化を目指して-	第 73 回応用物理学会学術講演会（2012秋季）		2012
36	小島拓人	豊田工業大学	SiNx:H膜のp型単結晶シリコンに対するパッシベーション性能への高速熱処理の影響	第 73 回応用物理学会学術講演会（2012秋季）		2012
38	M. Aoki	豊田工業大学	High sheet resistance emitter for improved efficiency by wet etching processes	The 22nd Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-22)		2012
39	M. Aoki	豊田工業大学	High FF processes for high emitter resistivity	The 22nd Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-22)		2012
40	Yoshio Ohshita	豊田工業大学	Thin (<100um)Crystalline Sillicon Solar Cell Faburication	The 22nd Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-22)		2012
41	Yoshio Ohshita	豊田工業大学	Crystalline Silicon Solar Cell with Very Thin (100μm) Wafer(Invited)	The 6th International Symposium on Advanced Science and Technology of Silicon Materials		2012
41	M. Aoki	豊田工業大学	High Efficiency and Low Cost Crystalline Silicon Solar Cell Fabrication Technologies in NEDO project	The 6th International Symposium on Advanced Science and Technology of Silicon Materials		2012
43	大下祥雄	豊田工業大学	放射光を用いた太陽電池用半導体材料の評価技術（招待講演）	第 17 回結晶工学セミナー（2012）「物理・化学分析の最先端技術を基礎から理解する」 - グリーン		2012

				デバイス材料を中心に -		
44	F.Yamada	豊田工業大学	Electronic characterization of interface between Si substrate and Cu-based metal paste on an atomic scale using KFM	20th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM20)		2013
45	林豊	豊田工業大学	ヘテロ構造を有する太陽電池の動作モデル	ヘテロ接合 Si 太陽電池の現状 – 課題とポテンシャル –		2013
46	大下祥雄	豊田工業大学	結晶シリコン太陽電池の基礎（チュートリアル）	第 60 回応用物理学会春季学術講演会（2013 春季）		2013
47	山田郁彦	豊田工業大学	AFMを用いたSi-金属ペースト電極(銀及び銅)界面のポテンシャル測定	第 60 回応用物理学会春季学術講演会（2013 春季）		2013
48	林豊	豊田工業大学	aSi:H/cSi ヘテロ接合太陽電池のデバイスモデルとVocのi層厚依存性	第 60 回応用物理学会春季学術講演会（2013 春季）		2013
49	大下祥雄	豊田工業大学	結晶系太陽電池の課題と今後の展望（シンポジウム講演）	第 60 回応用物理学会春季学術講演会（2013 春季）		2013
50	Yutaka Hayashi	豊田工業大学	Open circuit voltage and efficiency dependence on the i-aSi:H layer thickness in an aSi:H/cSi hetero-junction solar cell	nPV workshop		2013
51	Yoshio Ohshita	豊田工業大学	High efficiency and low cost crystalline silicon solar cell with very thin (100μm) wafer (Plenary)	Korea Photovoltaic Society Spring Meeting 2013		2013
52	Fumihiko Yamada	豊田工業大学	Workfunction mapping of Si-metal paste interface on an atomic scale using KFM	4th Workshop on Metallization for Crystalline Silicon Solar Cells		2013
53	大下祥雄	豊田工業大学	結晶Si太陽電池の基礎（高効率・低コストの両立を目指した技術と今後の動向）（基礎	第 10 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム		2013

			講座）			
54	小島拓人	豊田工業大学	多結晶シリコン中の不純物分布とキャリア再結合に対する熱処理の影響	第 10 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム		2013
55	高井大輔	豊田工業大学	表面再結合速度の光照射時間依存性と暗状態放置による劣化	第 10 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム		2013
56	Mari Aoki	豊田工業大学	30μm Fine-Line Printing for Solar Cells	39th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (39th IEEE PVSC)		2013
57	Yoshio Ohshita	豊田工業大学	Key Technologies for Near Future Crystalline Silicon Solar Cell Fabrication	23rd Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells & Modules: Materials and Processes		2013
58	Yoshio Ohshita	豊田工業大学	Crystalline silicon solar cell project for higher conversion efficiency and lower cost(Invited)	Crystalline silicon solar cells workshop 2013		2013
59	Tomihisa Tachibana	豊田工業大学	Evaluation of defects generation in crystalline silicon ingot	Si PV Workshop		2013
60	立花福久	豊田工業大学	Al ファイヤースルーペーストとAl2O3パッシベーション膜を用いた裏面構造の形成	第 74 回応用物理学会学術講演会 (17a-A4-5)		2013
61	山田郁彦	豊田工業大学	KFMを用いたSi-電極界面のナノスケールにおける仕事関数測定	第 74 回応用物理学会秋季学術講演会		2013
62	Daisuke Takai	豊田工業大学	Relation between Increase of Surface Recombination Velocity by Light Irradition and Dangling bonds	2013 JSAP-MRS joint symposia		2013
63	神岡　武文	豊田工業大学	HIT構造セルにおける受光面側各層の設計指針：シミュレーションによる検討	第 74 回応用物理学会秋季学術講演会		2013
64	Takuto Kojima	豊田工業大学	Impurities distribution and recombination activity　in as-grown and annealed	2013 International Conference on SOLID STATE DEVICES		2013

			multicrystalline silicon	AND MATERIALS		
65	Fumihiko Yamada	豊田工業大学	Workfunction mapping of interface between crystalline Si and metal paste electrode using KFM	28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (28th EU PVSEC)		2013
66	T. Tachibana	豊田工業大学	Al Fire through for Rear Contacts in PERC Cell with Al2O3 Passivation	28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (28th EU PVSEC)		2013
67	Mari Aoki	豊田工業大学	Simplified L-BSF Fabrication Process Using Screen Printing Method	28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (28th EU PVSEC)		2013
68	Fumihiko Yamada	豊田工業大学	nm-scaled workfunction mapping of interface between crystalline Si and metal paste electrode using KFM	7th International Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells		2013
69	T. Tachibana	豊田工業大学	Al Fire Through process for fabricating Al2O3 passivation	23rd international Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-23)		2013
70	Daisuke Takai	豊田工業大学	Difference of Surface Recombination Velocity of SiNx:H/c-Si(100) Interface with Light irradiation at Difference Temperature	Photovoltaic Scienece and Engineering Conference 23		2013
71	Takefumi Kamioka	豊田工業大学	Quantum effect at front layer stack in heterojunction with intrinsic thin layer cell	The 23rd Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-23)		2013
72	小島拓人	豊田工業大学	多結晶シリコン中の不純物分布とキャリア再結合に対する粒界構造と熱処理の影響	局所構造制御研究センター第 4 回シンポジウム		2013

73	立花福久	豊田工業大学	太陽電池の高効率化に向けた欠陥制御について	金研ワークショップ『格子欠陥が挑戦する新エネルギー・環境材料開発』		2013
74	大下祥雄	豊田工業大学	結晶シリコン太陽電池技術の現状と課題（招待講演）	（独）日本学術振興会「結晶加工と評価技術」第 145 委員会第 136 回研究会		2013
75	Yoshio Ohshita	豊田工業大学	Present Status and Future Prospects of Si Solar Cells in Japan	10th Workshop on the Future Direction of Photovoltaics		2014
76	大下祥雄	豊田工業大学	結晶シリコン太陽電池技術の現状と課題	第 61 回応用物理学会春季学術講演会（2014 春季）		2014
77	小島拓人	豊田工業大学	多結晶シリコン結晶粒界における不純物分布と再結合活性に対する界面構造の影響	第 61 回応用物理学会春季学術講演会（2014 春季）		2014
78	神岡武文	豊田工業大学	ヘテロ接合 Si 太陽電池における裏面側各層の役割：シミュレーションによる検討	第 61 回応用物理学会春季学術講演会（2014 春季）		2014
79	Takefumi Kamioka	豊田工業大学	Impact of quantum confinement effect on roles of amorphous silicon layers in heterojunction solar cell	4th International Conference on Crystalline Silicon Phtovoltaics (SiliconPV)		2014
80	Mari Aoki	豊田工業大学	Fine Texture for Front Surface Fine Lines with Screen Printing	40th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (40th IEEE PVSC)		2014
81	Fumihiko Yamada	豊田工業大学	nm-scaled workfunction mapping of the interfaces of silicon heterojunction (SHJ) solar cell using Kelvin probe force microscopy	40th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (40th IEEE PVSC)		2014
82	Daisuke Takai	豊田工業大学	Light-induced defects at the interface between c-Si and SiNx deposited by PECVD	12th International Workshop on Beam Injection Assessment of Microstructures in		2014

				Semiconductors (BIAMS12)		
83	Tomihisa Tachibana	豊田工業大学	Study of defects by plasma CVD at the surface of silicon substrate	12th International Workshop on Beam Injection Assessment of Microstructures in Semiconductors (BIAMS12)		2014
84	神岡武文	豊田工業大学	裏面コンタクト型ヘテロ Si 結晶セルにおける裏面電極配置および i-aSi:H 層の設計指針：シミュレーションによる検討	第 11 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム		2014
85	青木真理	豊田工業大学	結晶シリコン太陽電池の低コスト加工効率化に向けた現状と課題 1	第 11 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム		2014
86	立花福久	豊田工業大学	結晶シリコン太陽電池の低コスト加工効率化に向けた現状と課題 2	第 11 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム		2014
87	Yoshio Ohshita	豊田工業大学	Status of Crystalline Silicon Solar Cell Research and Development in Japan	24th Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells & Modules: Materials and Processes		2014
88	神岡武文	豊田工業大学	裏面コンタクト型ヘテロ接合 Si 結晶セルのシミュレーションによるコンタクト設計指針の検討	第 75 回応用物理学会秋季学術講演会		2014
89	立花福久	豊田工業大学	シリコン窒化膜製時 シリコン窒化膜製時 に導入 され る結晶欠陥 結晶欠陥 と表面形状 の関係	第 75 回応用物理学会秋季学術講演会		2014
90	山田郁彦	豊田工業大学	ケルビンプローブ顕微鏡を用いた Si ヘテロ接合(SHJ)太陽電池における表面構造界面の局所的仕事関数測定	第 75 回応用物理学会秋季学術講演会		2014
91	Tomihisa Tachibana	豊田工業大学	Effects of Texture Structure on Crystalline Damage Induced by SiNx Plasma CVD	29th European Photovoltaic Solar Energy Conference		2014

				and Exhibition(29th EU PVSEC)		
92	Yoshio Ohshita	豊田工業大学	Evaluation of Interface Recombination Induced by Fire-through Ag paste for High Open Circuit Voltage	29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and xhibition(29th EU PVSEC)		2014
93	Takefumi Kamioka	豊田工業大学	Roles of rear n-type amorphous silicon layer in silicon heterojunction solar cells - simulation study	29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition(29th EU PVSEC)		2014
94	神岡武文	豊田工業大学	アモルファス/結晶 Si ヘテロ接合太陽電池のモデリング・シミュレーション	スマートエネルギー技術研究センター第 4 回シンポジウム		2014
95	山田　郁彦	豊田工業大学	次世代結晶 Si 太陽電池開発に向けた Si 表面構造-電極接合面における電子構造評価と制御	スマートエネルギー技術研究センター第 4 回シンポジウム		2014
96	Yoshio Ohshita	豊田工業大学	Crystalline silicon solar cell R&D for the higher conversion efficiency and lower cos (Invited)	Global Photovoltaic Conference 2014 (GPVC2014) & International Symposium on Photovoltaics (ISP2014)		2014
97	Takefumi Kamioka	豊田工業大学	Simulation of interdigitated back-contact silicon heterojunction solar cells with quantum transport model	6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion(WCPEC-6)		2014
98	Tomihisa Tachibana	豊田工業大学	Decrease of Effective Lifetime in Si(100) and Si(111) Crystal with SiNx:H Layer by Light Irradiation	6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion(WCPEC-6)		2014
99	Fumihiko Yamada	豊田工業大学	Local workfunction mapping of interface on heterojunction Si solar cell using KFM	6th World Conference on Photovoltaic Energy		2014

				Conversion(WCPEC-6)		
100	Takuto Kojima	豊田工業大学	Relation between misorientation angle and recombination activity of small angle grain boundaries induced by multi-seed casting	6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion(WCPEC-6)		2014
101	Takefumi Kamioka	豊田工業大学	The relationship between the fabrication process and lifetime in solar cell silicon substrate	Korea-Japan Top University League Workshop on Photovoltaics 2014		2014
102	Tomihisa Tachibana	豊田工業大学	Light-induced defects at the interface between c-Si and SiNx deposited by PECVD	Korea-Japan Top University League Workshop on Photovoltaics 2014 (Top-PV 2014)		2014
103	Yoshio Ohshita	豊田工業大学	Status of crystalline Si solar cell R&D in Japan (Invited)	Singapore and Japan Joint Workshop on Photovoltaics 2014		2014
104	大下祥雄	豊田工業大学	NEDO 結晶シリコン太陽電池プロジェクトの成果と今後の展望	第 142 回研究会（第１４５委員会、第１７５委員会合同研究会）		2014
105	神岡武文	豊田工業大学	ヘテロセル用デバイスシミュレーション	第 142 回研究会（第１４５委員会、第１７５委員会合同研究会）		2014
106	大下祥雄	豊田工業大学	NEDO 結晶シリコン太陽電池の概要と成果（基調講演）	第 142 回結晶工学分科会研究会　シリコン系太陽電池～最先端技術と将来展望～		2014
107	Tomihisa Tachibana 、Junichi Masuda 、Atsushi Ogura 、Yoshio Ohshita、 Koji	豊田工業大学	Evaluation of multi-crystalline silicon substrates for solar cells by Raman spectroscopy	ECS Transactions		2010

	Arafune					
108	Tomihisa Tachibana 、Junichi Masuda 、Atsushi Ogura 、Yoshio Ohshita、 Koji Arafune	豊田工業大学	Structural Change by Annealing Process at Σ9 Grain Boundaries in Multicrystalline Silicon Substrate for Solar Cells	Electrochemical and Solid-State Letters		2010
109	Haruhiko Ono 、Takahide Ishizuka 、Chihiro Kato、Koji Arafune、Yoshio Ohshita 、Atsushi Ogura	豊田工業大学	Microscopic Distributions of Light Elements and Their Precipitates in Multicrystalline Silicon for Solar Cells	Japanese Journal Applied of Physics		2010
110	Takuto Kojima 、Yoshio Ohshita 、Tomihisa Tachibana 、Atsushi Ogura 、Masafumi Yamaguchi	豊田工業大学	Electrical Properties and Boundary Structures in Cast-Grown Polycrystalline Silicon	Proceedings of the 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC35)		2010
111	Tomihisa Tachibana 、Takashi Samejima 、Koji Arafune、Yoshio Ohshita 、Atsushi Ogura	豊田工業大学	Behavior of nickel silicide in multi-crystalline silicon for solar cells	Physics Procedia		2011
112	Y. Kawamoto、Y. Yoshino 、	豊田工業大学	INFLUENCE OF THE ALUMINUM IN GLASS	Proceedings of the 26th European		2011

	K. Sugimura、T. Kojima 、Yoshio Ohshita		FRITS OF FRONT-SIDE SILVER PASTE ON PV ELECTRICAL PROPERTIES	Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition		
113	T. Tachibana、T. Sameshima 、N. Miyazaki、T. Kojima、K. Arafune、 K. Kakimoto、 Y. Miyamura 、H. Harada, T. Sekiguchi 、Yoshio Ohshita、 A. Ogura	豊田工業大学	EVALUATION OF CRYSTALLINE DEFECTS IN SILICON INGOTS FABRICATED BY SEEDING CAST GROWTH	Proceedings of the 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition		2011
114	Tomihisa Tachibana 、Takashi Sameshima 、Takuto Kojima、Koji Arafune 、Koichi Kakimoto 、Yoshiji Miyamura 、Hirofumi Harada 、Takashi Sekiguchi 、Yoshio Ohshita 、Atsushi Ogura	豊田工業大学	Impact of Light-Element Impurities on Crystalline Defect Generation in Silicon Wafer	Japanese Journal of Applied Physics		2012
115	Takashi Sameshima 、Naoto Miyazaki 、	豊田工業大学	Interaction between Metal Impurities and Small-Angle Grain Boundaries on Recombination Properties in	Applied Physics Express		2012

	Yuki Tsuchiya 、Hiroki Hashiguchi 、Tomihisa Tachibana 、Takuto Kojima 、Yoshio Ohshita、Koji Arafune 、Atsushi Ogura		Multicrystalline Silicon for Solar Cells			
116	Takashi Sameshima 、Naoto Miyazaki 、Yuki Tsuchiya 、Tomihisa Tachibana 、Yoshio Ohshita、Koji Arafune 、Atsushi Ogura	豊田工業大学	EBIC Study on Metal Contamination at Intra Grain Defects in Multicrystalline Silicon for Solar Cells	Materials Science Forum (Volume725) Defects-Recognition, Imaging and Physics in Semiconductors XIV		2012
117	Tomihisa Tachibana 、Takashi Sameshima 、Takuto Kojima、Koji Arafune 、Koichi Kakimoto 、Yoshiji Miyamura 、Hirofumi Harada 、Takashi Sekiguchi 、	豊田工業大学	Evaluation of Silicon Substrates Fabricated by Seeding Cast Technique	Materials Science Forum (Volume725) Defects-Recognition, Imaging and Physics in Semiconductors XIV		2012

	Yoshio Ohshita 、Atsushi Ogura					
118	Y. Mizukami、D. Kosemura、M. Takei、 Y. Numasawa 、Yoshio Ohshita、 A. Ogura	豊田工業大学	Evaluation of Optical Properties for Nanocrystal Si Dot Layers Fabricated by CVD as a Function of Size Reduction	Materials Science Forum (Volume725) Defects-Recognition, Imaging and Physics in Semiconductors XIV		2012
119	Uichi Itoh 、Hideo Tokuhisa 、Manabu Yoshida、 Isao Sumita、 Mari Aoki、 Yoshio Ohshita	豊田工業大学	NOVEL SCREEN PRINTING TECHNOLOGY TO MAKE HIGH-ASPECT-RATIO EELCTRODES AND TO FILL A PASTE INTO A HOLE FOR METAL-WRAP-THROUGH (MWT)	Proc. 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition		2012
120	Yutaka Hayashi 、Debin Li 、Atsushi Ogura 、Yoshio Ohshita	豊田工業大学	Role of i-aSi:H Layers in aSi:H/cSi Heterojunction Solar Cells	IEEE JOURNAL OF PHOTOVOLTAICS		2013
121	Yoshinobu Murakami 、Tomohiro Soga 、Kyotaro Nakamura 、Yoshio Ohshita	豊田工業大学	Inline Ion Doping System for High Efficiency Low Cost Si Solar Cell	Proc. 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition		2013
122	Kyotaro Nakamura 、Yoshio Ohshita	豊田工業大学	Simplified Bifacial Perl Cell~Newly Fabrication Process Suitable for Mass Production~	Proc. 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition		2013
123	Kyotaro Nakamura 、	豊田工業大学	High Efficiency Si Solar Cell Fabrication Process for Next	Proc. 28th European Photovoltaic Solar		2013

	Mari Aoki、Isao Sumita、Yoshio Ohshita		Generation Turnkey Cell Production Line	Energy Conference and Exhibition		
124	Ken Mishina、Atsufumi Ogishi、Takuto Kojima、Mari Aoki、Daisuke Imai、Tetsuya Saruwatari、Kyotaro Nakamura、Isao Sumita、Yoshio Ohshita	豊田工業大学	Study of Silicon Nitride Film for Rear Surface Passivation	Proc. 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition		2013
125	Tomihisa Tachibana、N. Ikeno、M. Aoki、Yoshio Ohshita、A. Ogura	豊田工業大学	Al Fire Through for Rear Contacts in PERC Cell with Al2O3 Passivation	Proc. 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition		2013
126	Ken Mishina、Atsufumi Ogishi、Kiyoshi Ueno、Takuya Doi, Kohjiro Hara、Norihiro Ikeno、Daisuke Imai, Tetsuya Saruwatari, Makoto Shinohara、Toshiharu Yamazaki、	豊田工業大学	Investigation on antireflection coating for high resistance to potential-induced degradation	Japanese Journal of Applied Physics		2014

	Atsushi Ogura 、Yoshio Ohshita 、Atsushi Masuda					
127	Tomihisa Tachibana 、Kuniyuki Sato、 Hiroki Kusunoki 、Shiro Sakuragi 、Yoshio Ohshita 、Haruhiko Ono、 Atsushi Ogura	豊田工業大学	Evaluation of the Silicon Ingot With Addition of SiCl4 in Atmosphere During Unidirectional Solidification	IEEE JOURNAL OF PHOTOVOLTAICS		2014
128	Takuto Kojima 、Tomihisa Tachibana 、Nobuaki Kojima 、Yoshio Ohshita、 Koji Arafune 、Atsushi Ogura 、Masafumi Yamaguchi	豊田工業大学	Nickel distribution and recombination activity in as-grown and annealed multicrystalline silicon	Japanese Journal of Applied Physics		2014
129	Masaki Funakoshi 、Norihiro Ikeno 、Tomihisa Tachibana 、Yoshio Ohshita、 Koji	豊田工業大学	Room-temperature photoluminescence evaluation of small-angle grain boundaries in multicrystalline silicon	Japanese Journal of Applied Physics		2014

	Arafune 、Atsushi Ogura					
130	M. Aoki 、Yoshio Ohshita 、T. Takahashi 、Tomihisa Tachibana 、I.Suminta, Y.Takigawa 、Naotaka Iwata	豊田工業大学	Evaluation of Interface Recombination Induced by Fire-through Ag Past for High Open Circuit Voltage	Proc. 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition		2014
131	K. Nakamura, T. Sekiguchi, A. Tanizaki, T. Takahashi, K. Kakimoto 、Yoshio Ohshita	豊田工業大学	Concurrent Development All Along Value Chain of Crystalline Si Solar Cell under NEDO in Japan	Proc. 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition		2014
132	Tomihisa Tachibana、D. Takai, Y. Yamashita, N. Ikeno, H. Tokutake, K. Nagata, A. Ogura 、Yoshio Ohshita	豊田工業大学	Effects of Texture Structure on Crystalline Damage Induced by SiNx Plasma CVD	Proc. 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition		2014
133	Y. Yamashita, N. Ikeno, H. Tokutake 、Tomihisa Tachibana 、Yoshio Ohshita 、A. Ogura	豊田工業大学	XPS and XRR Study of Electronic Chemical Properties in Surface SiN Passivation on Crystalline Si	Proc. 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition		2014
134	B. Gao, X.J. Chen, S. Nakano,	Research Institute for Applied	Crystal growth of high-purity multicrystalline silicon using a unidirectional solidification	Journal of Crystal Growth, Vol.312, (2010) 1572-1576.	有	2010

	K. Kakimoto	Mechanics, Kyushu University	furnace for solar cells			
135	Xuejiang Chen[a,b], Satoshi Nakano[b], Koichi Kakimoto[b]	[a] Institute of Fluid Machinery, School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, [b] Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University	Three-dimensional global analysis of thermal stress and dislocations in a silicon ingot during a unidirectional solidification process with a square crucible	Journal of Crystal Growth, Vol.312, (2010) 3261-3266.	有	2010
136	B. Gao, K. Kakimoto	Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University	Global simulation of coupled carbon and oxygen transport in a Czochralski furnace for silicon crystal growth	Journal of Crystal Growth, Vol.312, (2010) 2972-2976.	有	2010
137	Koichi Kakimoto, Bing Gao, and Satoshi Nakano	Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University	Numerical analysis of light elements transport in a unidirectional solidification furnace	Phys. Status Solidi C8, No.3, 659-661 (2011) / DOI 10.1002/pssc.201000117	有	2011
138	B. Gao, S. Nakano, K. Kakimoto	Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University	Influence of reaction between silica crucible and graphite susceptor on impurities of multicrystalline silicon in a unidirectional solidification furnace	Journal of Crystal Growth, Vol.314, (211) 239-245.	有	2011
139	B. Gao, S. Nakano, K.	Research Institute for	Effect of crucible cover material on impurities of	Journal of Crystal Growth, Vol.318,	有	2011

	Kakimoto	Applied Mechanics, Kyushu University	multicrystalline silicon in a unidirectional solidification furnace	(2011) 255-258.		
140	S. Nakano, X.J. Chen, B. Gao, K. Kakimoto	Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University	Numerical analysis of cooling rate dependence on dislocation density in multicrystalline silicon for solar cells	Journal of Crystal Growth, Vol.318, (2011) 280-282.	有	2011
141	Zaoyang Li [a], Lijun Liu [a,b], WenchengMa[a], KoichiKakimoto [c]	[a] School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, [b] State Key Lab of Silicon Materials, ZhejiangUniversity, [c] Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University	Effects of argon flow on heat transfer in a directional solidification process for silicon solar cells"	Journal of Crystal Growth, Vol.318, (2011) 298-303.	有	2011
142	Zaoyang Li [a], Lijun Liu [a,b], WenchengMa[a], KoichiKakimoto [c]	[a] School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, [b] State Key Lab of Silicon	Effects of argon flow on impurities transport in a directional solidification furnace for silicon solar cells	Journal of Crystal Growth, Vol.318, (2011) 304-312.	有	2011

		Materials , ZhejiangUniversity, [c] Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University				
143	Lijun Liu [a], Xin Liu, Zaoyang Li [a], and Koichi Kakimoto [b]	[a],School of Ener; and Power Engineering, XÎ'an Jiaotong University, [b] Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University	Computer Modeling of Crystal Growth of Silicon for Solar Cells	Frontiers of Energy and Power Engineering in China, DOI: 10.1007/s11708-011-0155-9	有	2011
144	柿本浩一、Gao Bing、中野 智、寒川義裕	九州大学応用力学研究所	特集 どのように結晶成長現象をモデル化するか？ 総合報告：半導体バルク結晶成長における熱と物質の輸送と成長速度との関係	日本結晶成長学会誌 Vol.38, No.2, (2011) 86-92. (2011 年 7 月) 4-10.	有	2011
145	B. Gao, S. Nakano, K. Kakimoto	Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University	Reducing Impurities of Multicrystalline Silicon in a Unidirectional Solidification Furnace for Solar Cells	JOM, Vol.63, No.10, (2011) 43-46.	有	2011
146	BING GAO, Satoshi Nakano, and Koichi Kakimoto	Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University	Influence of back-diffusion of iron impurity on lifetime distribution near the seed-crystal interface in seed cast-grown monocrystalline silicon by numerical modeling	Cryst. Growth Des. 2012, 12, 522−525.	有	2011

147	Tomihisa Tachibana, Takashi Sameshima, Takuto Kojima, Koji Arafune, Koichi Kakimoto, Yoshiji Miyamura, Hirofumi Harada, Takashi Sekiguchi, Yoshio Ohshita, and Atsushi Ogura	[1]School of Science and Technology, Meiji University, [2]Toyota Technological Institute [3]University of Hyogo, [4]Kyusyu University, [5]National Institute of Materials Science,	Evaluation of defects generation in crystalline silicon ingot grown by cast technique with seed crystal for solar cells	J. Appl. Phys. **111**, 074505 (2012); http://dx.doi.org/10.1063/1.3700250 (*5pages*)	有	2011
148	B. Gao, S. Nakano, K. Kakimoto		The impact of pressure and temperature on growth rate and layer uniformity in the sublimation growth of AIN crystals	Journal of Crystal Growth Volume 338, Pages 69-74		
149	B. Gao, S. Nakano, H. Harada, Y. Miyamura, T. Sekiguchi, K. Kakimoto		Reduction of polycrystalline grains region near the crucible wall during seeded growth of monocrystalline silicon in a unidirectional solidification furnace	Journal of Crystal Growth, Volume 352, Pages 47-52		
150	Bing Gao, Satoshi Nakano, Hirofumi Harada, Yoshiji Miyamura, Takashi Sekiguchi,and Koichi Kakimoto		Anisotropic Thermal Stress Simulation with Complex Crystal−Melt Interface Evolution for Seeded Growth of Monocrystalline Silicon	Cryst. Growth Des. 2012, 12, 5708−5714		2012
151	S. Nakano, B. Gao		Relationship between oxygen impurity distribution in multicrystalline solarcell silicon and the use of top and side heaters during manufacture	Journal of Crystal Growth, Vol. 375, (2013), 62–66		2013
152	Bing Gao and		Effect of the Inclusion of	日本結晶成長学会誌		2013

	Koichi Kakimoto		Transparency on the Thermal Field and Interface Shape in Long-term Sublimation Growth of SiC Crystals	Vol.40、No.1,（2013）20-24		
153	B. Gao, S. Nakano, H. Harada, Y. Miyamura, and K. Kakimoto		Effect of Cooling Rate on the Activation of Slip Systems in Seed Cast-Grown Monocrystalline Silicon in the [001] and [111] Directions	Crystal Growth Design 2013, 13 (6), 2661–2669		2013
154	K. Kakimoto		Development of Crystal Growth Technique of Silicon by the Czochralski Method	ACTA PHYSICA POLONICA 4, Vol.124 (2013) 227-23		2013
155	Bing Gao and Koichi Kakimoto		Relationship between the locations of activated dislocations and the cooling flux direction in monocrystalline-like silicon grown in the [001] and [111] directions	J. Appl. Cryst., (2013). 46, 1771–1780		2013
156	B. Gao, K. Kakimoto		Numerical investigation of the influence of cooling flux on the generation of dislocations in cylindrical mono-like silicon growth	Journal of Crystal Growth, Vol. 384 (2013), 13-20		2013
157	B. Gao, K. Kakimoto		Three-dimensional analysis of dislocation multiplication in single-crystal silicon under accurate control of cooling history of temperature	Journal of Crystal Growth, Vol. 396 (2014), 7–13		2014
158	Karolin Jiptner, Bing Gao, Hirofumi Harada, Yoshiji Miyamura, Masayuki Fukuzawa, Koichi Kakimoto, Takashi Sekiguchi		Thermal stress induced dislocation distribution in directional solidification of Si for PV application	Journal of Crystal Growth, 408 (2014), 19–24		2014
159	Y. Miyamura, H. Harada, K.		Crystal growth of 50 cm square	Journal of Crystal Growth, 401(2014),		2014

	Jiptner, J. Chen, R.R. Prakash, S. Nakano, B. Gao, K. Kakimoto c, T. Sekiguchi		mono-like Si by directional solidification and its characterization	133–136		
160	Koichi Kakimoto and Bing Gao		Modern Aspects of Czochralski and Multicrystalline Silicon Crystal Growth Silicon, Germanium, and Their Alloys	Growth, Defects, Impurities, and Nanocrystals, 1-33		
161	B. Gao, K. Jiptner, S. Nakano, H. Harada, Y. Miyamura, T. Sekiguchi, K. Kakimoto		Applicability of the three-dimensional Alexander-Haasen model for the analysis of dislocation distributions in single-crystal silicon	Journal of Crystal Growth, 411(2015),49–55		2015
162	柿本　浩一		太陽電池用多結晶シリコン中の軽元素濃度の制御	2011 年春季第 58 回応用物理学関係連合講演会		2011
163	高　冰		一方向性凝固法における高純度多結晶シリコンの作製について	2011 年春季第 58 回応用物理学関係連合講演会		2011
164	Bing GAO, Satoshi NAKANO, Koichi KAKIMOTO		High Purity Multicrystalline Silicon Production in Unidirectional Solidification Furnace	The 5th Asian Conference on Crystal Growth and Crystal Technology		2011
165	Bing Gao, Satoshi Nakano, HirofumiHarada, Yoshiji Miyamura, Takashi Sekiguchi, Koichi Kakimoto		Reduction of multicrystalline silicon near the crucible wall during seeded growth of monocrystalline silicon in a unidirectional solidification furnace	The 18th American Conference on Crystal Growth and Epitaxy		2011
166	Satoshi NAKANO, Bing GAO, Koichi KAKIMOTO		Effect of heating system on oxygen concentration in multicrystalline silicon for solar cells	The 18th American Conference on Crystal Growth and Epitaxy		2011
167	中野 智，高冰，柿本 浩一		数値解析を用いた太陽電池用多結晶シリコン育成時における 酸素濃度のヒーター	第 72 回応用物理学会学術講演会		2011

			位置依存性			
168	高 冰，中野智，柿本浩一，原田博文，宮村佳児，関口隆史		一方向性凝固法を用いた単結晶の種結晶成長中における坩堝近傍での多結晶発生の抑制	第 72 回応用物理学会学術講演会		2011
169	立花福久，鮫島 崇，小島拓人，新船幸二，柿本浩一，宮村佳児，原田博文，関口隆史，大下祥雄，小椋厚志		種結晶を用いて作製したシリコン基板中の結晶欠陥に関する評価(2)	第 72 回応用物理学会学術講演会		2011
170	T. Tachibana, T. Sameshima, N. Miyazaki, T. Kojima, K. Arafune, K. Kakimoto, Y. Miyamura, H. Harada, T. Sekiguchi, Y. Ohshita, and A. Ogura		Evaluation of crystalline defects in silicon ingots fabricated by seeding cast growth	26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition in Hamburg		2011
171	S. Nakano, B. Gao, K. Kakimoto		Numerical Analysis of Heating System Dependence to Oxygen Concentration in Multicrystalline Silicon for Solar Cells	DRIP-XIV		2011
172	K. Kakimoto		Opening up a new world of energy and environment by heat and mass transfer	2011 年中国工程热物理学会传热传质学术会议，暨国家自然科学基金传热传质领域项目进展交流会议		2011
173	Koichi Kakimoto		High-purity multicrystalline silicon production in unidirectional solidification furnace	CSSC-5		2011
174	中野 智，高 冰，柿本 浩一		太陽電池用多結晶シリコン成長における酸素濃度に対するヒーターシステムの影響	第 41 回結晶成長国内会議		2011
175	高 冰，中野智，原田 博文，宮村 佳		単結晶の種結晶成長を用いた複雑な固液界面形状に対	第 41 回結晶成長国内会議		2011

	児，関口 隆史，柿本 浩一		する結晶異方性を考慮した熱応力解析			
176	柿本浩一，Bing Gao，中野 智，寒川義裕		元素及び化合物半導体の格子歪と欠陥	第 59 回応用物理学関係連合講演会		2012
177	高 冰，中野智，原田博文，宮村佳児，関口隆史，柿本浩一		太陽電池用多結晶シリコン育成時における酸素不純物の低減	第 59 回応用物理学関係連合講演会		2012
178	高 冰，中野智，原田博文，宮村佳児，関口隆史，柿本浩一		単結晶の種結晶成長を用いた複雑な固液界面形状に対する結晶異方性を考慮した熱応力解析	第 59 回応用物理学関係連合講演会		2012
179	中野 智，高冰，原田 博文，関口 隆史，李 維東，寒川 義裕，柿本 浩一		数値解析を用いた太陽電池用多結晶シリコン育成中における新規冷却過程の提案	第 59 回応用物理学関係連合講演会		2012
180	李 建永，関口隆史，原田博文，宮村佳児，陳君，大下祥雄，柿本浩一，小椋厚志		大粒径多結晶シリコンにおける軽元素の析出挙動	第 59 回応用物理学関係連合講演会		2012
181	Koichi Kakimoto		Crystal Growth of Single Crystals by Using a Seed-cast Method	23rd Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells & Modules: Materials and Processes, Beaver Run Resort Breckenridge, Colorado, USA, July 28 – 31, 2013		2013
182	B. Gao, S. Nakano, H. Harada, Y. Miyamura, K. Kakimoto		Dislocation analysis of silicon for photovoltaic	7th International Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells (CSSC7) Fukuoka, Japan, 2013/10/22-25 (招待講演)		2013
183	K. Kakimoto		Crystal Growth of Single Crystals by Using a Seed-Cast Method	PVSEC-23, Taipei International Convention Center ,Taipei,Taiwan		2013

				Oct. 28th to Nov. 1st, 2013 (招待講演)		
184	柿本浩一, Bing Gao, Xin Liu, 中野智, 原田博文, 宮村佳児, 関口隆史, 寒川義裕		太陽電池用シリコンの現状と将来	第 61 回応用物理学会春季学術講演会, 青山学院大学相模原キャンパス, 2014 年 3 月 17 日～20 (招待講演)		2014
185	Koichi Kakimoto		Cz silicon	Norwegian Solar Cell Conference 2014 (招待講演)		2014
186	Xin Liu , Bing Gao, Satoshi Nakano, Koichi Kakimoto		Numerical Investigation of Carbon and Silicon Carbide Contamination in the Melting Process of a CZ-Si Crystal Growth	E-MRS 2014 SPRING MEETING (招待講演)		2014
187	Satoshi Nakano		Effect of top and side heaters during two growth process on oxygen concentration, dislocation density and residual stress in a multicrystalline silicon for solar cells	6th International Workshop on Crystal Growth Technology		2014
188	中野　智，高冰，柿本浩一		太陽電池用多結晶シリコン結晶育成方法と転位密度の関係	2014 年第 75 回応用物理学会秋季学術講演会		2014
189	宮村佳児，原田博文，関口隆史，中野智，柿本浩一		mono Si 結晶表面の晶癖線	2014 年第 75 回応用物理学会秋季学術講演会		2014
190	Bing Gao, Karolin Jiptner, Satoshi Nakano, Hirofumi Harada, Yoshiji Miyamura, Takashi Sekiguchi, Koichi Kakimoto		Potential and limitation of 3D Alexander-Haasen model in analyzing experimental dislocation-density distribution in single-crystal silicon	2014 年第 75 回応用物理学会秋季学術講演会		2014
191	Xin Liu, Bing Gao, Satoshi Nakano,		Effects of Argon Flow on Carbon Contamination during	2014 年第 75 回応用物理学会秋季学術講演会		2014

	Koichi Kakimoto		Melting Process of Czochralski Silicon Crystal Growth			
192	K. Kakimoto		Computer simulation for multicrystal silicon growth	The 7th forum on the Science and Technologyof Silicon Materials 2014		2014
193	X. Liu, B. Gao, S. Nakano, and K. Kakimoto		Numerical investigation of carbon and silicon carbide contamination	The 7th forum on the Science and Technologyof Silicon Materials 2014		2014
194	S. Nakano, B. Gao, and K. Kakimoto		Numerical analysis of the relationship between the crystal growth method and dislocation density in multicrystalline silicon for solar cells	The 7th forum on the Science and Technologyof Silicon Materials 2014		2014
195	中野智, 高冰, 柿本浩一		転位密度に対する太陽電池用多結晶シリコン育成方法の影響	第 44 回結晶成長国内会議		2014
196	Xin Liu, Bing Gao, Satoshi Nakano, Koichi Kakimoto		Numerical Investigation of Carbon and Silicon Carbide Contamination during the Melting Process of Czochralski Silicon Crystal Growth	第 44 回結晶成長国内会議		2014
197	高 冰, Jiptner Karolin, 中野智, 原田博文, 宮村佳児, 関口隆史, 柿本浩一		3 次元 Alexander-Haasen モデルにおけるシリコンの転位密度解析の長所と欠点	第 44 回結晶成長国内会議		2014
198	Bing Gao, Koichi Kakimoto		Role of Numerical simulation in high-quality crystal growth	CPVC14 (招待講演)		2014
199	B. Gao, J. Karolin, S. Nakano, H. Harada, Y. Miyamura, T. Sekiguchi and K. Kakimoto		Application of Three-dimensional Alexanderhaasen Model to Analyzing Experimental Dislocation-density Distribution in Single-crystal Silicon	WCPEC-6		2014
200	柿本 浩一, ガオ ビング, リュウ シン, 中野 智, 原田 博史, 宮		シードを用いた太陽電池用シリコンの結晶成長	第 62 回応用物理学会春季学術講演会		2014

	村 佳児, 関口 隆史, 寒川 義裕					
201	宮村 佳児, 原田 博文, イプトナー カロリン, プラカシュ ロニト, 陳 君, 中野 智, 柿本 浩一, 関口 隆史		50cm 角 seed cast 法による Si インゴットの育成と特性評価 (Ⅲ)	第 62 回応用物理学会春季学術講演会		2014
202	Xin Liu, Bing Gao Satoshi Nakano,Koichi Kakimoto		Correlation study on heating profile and carbon contamination during the melting process of Czochralski silicon crystal growth	第 62 回応用物理学会春季学術講演会		2014
203	Bing Gao, Karolin Jiptner, Satoshi Nakano, Hirofumi Harada, Yoshiji Miyamura, Takashi Sekiguchi, Koichi Kakimoto		Three-dimensional analysis of dislocation multiplication in single-crystal silicon under accurate control of cooling history of temperature	第 62 回応用物理学会春季学術講演会		2014
204	Tomihisa Tachibana, Takashi Sameshima, Takuto Kojima, Koji Arafune, Koichi Kakimoto, Yoshiji Miyamura, Hirofumi Harada, Takashi Sekiguchi, Yoshio Ohshita, and Atsushi Ogura	[1]School of Science and Technology, Meiji University, [2]Toyota Technological Institute [3]University of Hyogo, [4]Kyusyu University, [5]National Institute of Materials Science,	Evaluation of defects generation in crystalline silicon ingot grown by cast technique with seed crystal for solar cells	J. Appl. Phys. **111**, 074505 (2012); http://dx.doi.org/10.1063/1.3700250 (*5pages*)	有	2011
205	宮村佳児、	物材機構	Structural study of small angle	Mater. Sci. Forum,	有	2012

	原田博文、伊藤俊、陳君、関口隆史	東北大	grain boundaries in multicrystalline Si	Vol. 725		
206	K.Jiptner、原田博文、宮村佳児、関口隆史	物材機構	Effect of Si3N4 coating on stress distribution and fracture of cast-Si ingots	Mater. Sci. Forum, Vol. 725	有	2012
207	陳君、陳斌、李雄、福澤理行、山田正良、関口隆史	物材機構, 京都工繊大	Grain Boundaries in Multicrystalline Si	Solid State Phenom., 156-158,19-26	有	2010
208	福澤理行、山田正良、Md. Rafiqul Islam、陳君、関口隆史	京都工繊大、物材機構	Quantitative Photoelastic Characterization of Residual Strains in Grains of Multicrystalline Silicon	J. Electronic Mat. 39,6,700-703	有	2010
209	JY.Li, T. Sekiguchi, H. Harada, Y.Miyamura, K. Kakimoto, T. Kojima, Y. Ohshita, T. Tachibana and A. Ogura	明治大、物材機構	Characterization of light element precipitates in large grain multicrystalline Silicon	21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-21)	無	2011
210	J.Chen	物材機構	Electrical/optical activities of grain boundaries in mc-Si	DRIP-XIV (招待講演) A-3	無	2011
211	T.Shimura, T.Matsumiya, N.Morimoto, T.Hosoi, K.Kajiwara, J.Chen,T.Sekiguchi, H.Watanabe	大阪大、物材機構	Analysis of grain orientation and lattice strain in mc-Si for PV cells	DRIP-XIV A-4	無	2011
212	Y. Miyamura, K. Jiptner, H. Harada, M. Fukuzawa, K. Kakimoto, T. Kojima, Y. Ohsita, T	物材機構、九大、明治大、豊田工大	Growth and characterization of large grain mc-Si	21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference	無	2011
213	陳 君、Ronit Prakash、K. Jipter、	物材機構	Interaction between Grain Boundaries and Dislocations in Multicrystalline Si	日本応用物理学会 (Poster 発表)	無	2012

	李 健永、 宮村佳児、 原田博文、 関口隆史					
214	宮村佳児、 原田博、 文陳 君、 伊藤 俊、 関口隆史	物材機構、 東北大	多結晶 Si 中の小角粒界における転位と EBIC 特性の関係	日本応用物理学会 (Poster 発表)	無	2012
215	李 建永、 関口隆史、 原田博文、 宮村佳児、 陳 君、 大下祥雄、 柿本浩一, 小椋厚	明治大、 物材機構、 九大、 豊田工大	大粒径多結晶シリコンにおける軽元素の析出挙動	日本応用物理学会 (口頭発表)	無	2012
216	K.Jiptner、 福澤理行、 宮村佳児、 原田博文、 関口隆史	物材機構	一方向凝固で育成した mono-like 結晶の残留歪分布の解析	日本応用物理学会 (口頭発表)	無	2012
217	原田博文、 宮村佳児、 渡辺健太郎、 関口隆史	物材機構	鋳造法による 高品質単結晶育成 の現状と課題	日本応用物理学会 (招待講演)	無	2011
218	関口隆史	物材機構	EBIC and Cathodoluminescence Study on the Grain Boundaries and Fe Impurities in Multicrytstalline Si	シリコン材料の科学と技術フォーラム (招待講演)	無	2010
219	陳君	物材機構	Electrical, optical and mechanical properties of GBs in mc-Si	Extended Defects in Semiconductors (招待講演)	無	2010
220	関口隆史	物材機構	結晶シリコン太陽電池と シリサイド太陽電池の 比較／ＥＢＩＣによるアプローチ	つくばナノテク産学独連携人材育成プログラム(招待講演)	無	2010

221	RR.Prakash, T. Sekiguchi	物材機構	Impurity decoration on extended defects in multicrystalline Silicon	Joint Symp. on Electron. Mat. (口頭発表)	無	2010
222	H.Onodera, T. Sekiguchi	物材機構	Room temperature luminescence from nanoscale silicon chips	Joint Symp. on Electron. Mat. (口頭発表)	無	2010
223	K. Jiptner, T. Sekiguchi	物材機構	Formation of SiC and Si3N4 particles in directional solidification Si-growth	Joint Symp. on Electron. Mat. (口頭発表)	無	2010
224	宮村佳児，原田博文，イプトナーカロリン，陳君，李建永，ロニトプラカシュ，関口隆史，小島拓人，大下祥雄，小椋厚志，福澤理行，中野　智，高冰，柿本浩一	物材機構	10cm 径 mono cast Si 結晶成長	口頭発表		2012
225	ロニトプラカシュ，宮村佳児，陳君，イプトナーカロリン，原田博文，李建永，関口隆史	物材機構	EBIC Study of Impurity Decoration on Extended Defects in Multicrystalline Silicon	口頭発表		2012
226	李建永，ロニトプラカシュ，ベンジャミンディエル、陳君，関口隆史,原田博文，宮村佳児，大下祥雄，柿本浩一，小椋厚志	物材機構	多結晶シリコンにおける軽元素析出物のカソードルミネッセンス分析	口頭発表		2012

227	宮村佳児，原田博文，イプトナーカロリン，陳君，李建永，ロニトプラカシュ，関口隆史，小島拓人，大下祥雄，小椋厚志，福澤理行，中野　智，高冰，柿本浩一	物材機構	10 cm diameter　mono cast Si growth and its characterization	口頭発表		2012
228	宮村佳児，陳君，陳斌，原田博文，伊藤俊，関口隆史	物材機構	Characterization of grain boundaries in mc-Si ingots using EBIC/CL and TEM	ポスター発表		2012
229	イプトナーカロリン，福澤理行，宮村佳児，原田博文，柿本浩一,関口隆史	物材機構	Reduction of Residual Strain in Cast-grown Si Ingots by Heat Control in the Low Temperature Region	口頭発表		2012
230	原田博文，宮村佳児，関口隆史，高冰，中野　智，柿本浩一	物材機構	High Quality Mono-Crystal Cast Silicon –Present and Future Technology–	口頭発表		2012
231	李建永，ロニトプラカシュ，関口隆史，原田博文，宮村佳児，柿本浩一，小椋厚志	物材機構	Precipitation Behavior of Light Element Impurities in Cast Silicon	ポスター発表		2012
232	イプトナーカロリン，福澤理行，宮村佳児，原田博文，柿本浩一,関	物材機構	Evaluation of residual strain in directional solidified mono-Si ingots	phisica status solidi c	有	2012

	口隆史					
233	イプトナーカロリン, 福澤理行, 宮村佳児, 原田博文, 関口隆史	物材機構	Effect of crystallinity on residual strain distribution in cast-grown Si	Jpn J. Appl. Phys.	有	2013
234	宮村佳児，原田博文，関口隆史, 中野智, 柿本浩一	物材機構	50cm 角 mono cast Si 結晶成長	口頭発表		2013
235	Karolin Jiptner，福澤理行，宮村佳児, 原田博文, 柿本浩一，関口隆史	物材機構	シードキャストシリコンインゴット中の残留歪の評価	口頭発表		2012
236	陳君，Ronit Roneel Prakash，李建永，Karolin Jipter，宮村佳児, 原田博文, 関口隆史	物材機構	多結晶シリコン中転位分布の不均一性の解析	口頭発表		2012
237	李建永，Ronit Prakash, Dierre Benjamin，陳君, 関口隆史, 原田博文，宮村佳児，大下祥雄，柿本浩一，小椋厚志	物材機構	太陽電池用鋳造多結晶シリコン中の SiNx 不純物の析出	口頭発表		2012
238	Y. Miyamura, H. Harada, K. Jiptner, J. Chen, R.R. Prakash, S. Nakano, B. Gao, K.	物材機構	Crystal growth of 50cm square single crystal Si by directional solidification and its characterization	口頭発表		2013

	Kakimoto, and T. Sekiguchi					
239	R. R. Prakash, T. Sekiguchi, K. Jiptner, Y. Miyamura, J. Chen, , K. Kakimoto, H. Harada	物材機構	Modelling of Unidirectional Solidification of Multicrystalline Si	ポスター発表		2013
240	R. R. Prakash, Y. Miyamura, J. Chen, K. Jiptner, J. Li, H. Harada, T. Sekiguchi	物材機構	Grain Growth Behavior of Directionally Grown Multicrystalline Silicon	口頭発表		2013
241	Y. Miyamura, J. Chen, R. R. Prakash, K. Jiptner, H. Harada, T. Sekiguchi	物材機構	Dislocation generation and propagation across the seed in seed cast Si ingots	ポスター発表		2013
242	T. Sekiguchi, J. Chen, J.Y. Li, K. Watanabe, K. Kumagai, A. Ogura	物材機構	Focused Ion Beam Imaging of Defects in Si Materials for Photovoltaic and Semiconductor Use	口頭発表		2013
243	J. Chen, R.R. Prakash, J.Y. Li, K. Jiptner, Y. Miyamura, H. Harada, A. Ogura, T. Sekiguchi	物材機構	Understanding of inhomogeneous dislocation distribution in multicrystalline Si	口頭発表		2013
244	K. Jiptner, M. Fukuzawa, Y. Miyamura, H. Harada, K. Kakimoto, T.	物材機構	Characterization of residual strain in Si ingots grown by the seed cast method	口頭発表		2013

	Sekiguchi					
245	T. Sekiguchi, Y. Miyamura, K. Jiptner, R.R. Prakash, J. Chen,, H. Harada	物材機構	10 cm diameter Si ingot growth for seed cast method	口頭発表		2013
246	宮村佳児，原田博文，関口隆史，中野智，柿本浩一	物材機構	Crystal growth of 50 cm square single crystal Si by directional solidification	口頭発表		2013
247	宮村佳児，原田博文，陳君関口隆史，中野智，柿本浩一	物材機構	50cm 角 mono cast Si 結晶成長(Ⅱ)	口頭発表		2013
248	K. Jiptner, B. Gao, Y. Miyamura, H. Harada, K. Kakimoto, T. Sekiguchi	物材機構	Thermal-stress induced dislocation distribution in seed cast and CZ Si ingots	口頭発表		2014
249	陳君，福澤理行, Ronit Roneel Prakash，李建永，Karolin Jipter，宮村佳児, 原田博文, 関口隆史	物材機構	多結晶 Si における粒界性格と歪の関係	口頭発表		2014
250	R. R. Prakash, Y. Miyamura, J. Chen, K. Jiptner, J. Li, H. Harada, T. Sekiguchi	物材機構	Grain evolution in mc-Si grown from small randomly oriented seeds	ポスター発表		2014
251	Y. Miyamura, H. Harada, K. Jiptner, J.	物材機構	Crystal growth of 50cm square single crystal Si by directional solidification and its	口頭発表		2013

	Chen, R.R. Prakash, S. Nakano, B. Gao, K. Kakimoto, and T. Sekiguchi		characterization			
252	R. R. Prakash, T. Sekiguchi, K. Jiptner, Y. Miyamura, J. Chen, , K. Kakimoto, H. Harada	物材機構	Modelling of Unidirectional Solidification of Multicrystalline Si	ポスター発表		2013
253	R. R. Prakash, Y. Miyamura, J. Chen, K. Jiptner, J. Li, H. Harada, T. Sekiguchi	物材機構	Grain Growth Behavior of Directionally Grown Multicrystalline Silicon	口頭発表		2013
254	Y. Miyamura, J. Chen, R. R. Prakash, K. Jiptner, H. Harada, T. Sekiguchi	物材機構	Dislocation generation and propagation across the seed in seed cast Si ingots	ポスター発表		2013
255	T. Sekiguchi, J. Chen, J.Y. Li, K. Watanabe, K. Kumagai, A. Ogura	物材機構	Focused Ion Beam Imaging of Defects in Si Materials for Photovoltaic and Semiconductor Use	口頭発表		2013
256	J. Chen, R.R. Prakash, J.Y. Li, K. Jiptner, Y. Miyamura, H. Harada, A. Ogura, T. Sekiguchi	物材機構	Understanding of inhomogeneous dislocation distribution in multicrystalline Si	口頭発表		2013
257	K. Jiptner, M.	物材機構	Characterization of residual	口頭発表		2013

	Fukuzawa, Y. Miyamura, H. Harada, K. Kakimoto, T. Sekiguchi		strain in Si ingots grown by the seed cast method			
258	T. Sekiguchi, Y. Miyamura, K. Jiptner, R.R. Prakash, J. Chen,, H. Harada	物材機構	10 cm diameter Si ingot growth for seed cast method	口頭発表		2013
259	R. R. Prakash, T. Sekiguchi, K. Jiptner, Y. Miyamura, J. Chen, , K. Kakimoto, H. Harada	物材機構	Directional Growth of Multicrystalline Silicon from Crucible and Microcrystal Template	口頭発表		2013
260	K. Jiptner, Y. Miyamura, H. Harada, K. Kakimoto, T. Sekiguchi	物材機構	Origin of dislocations in Si ingots grown by seeded directional solidification	口頭発表		2013
261	J. Chen, R.R. Prakash, J.Y. Li, K. Jiptner, Y. Miyamura, H. Harada, T. Sekiguchi	物材機構	An investigation of the impact of crystal orientation on dislocation distribution in mc Si	口頭発表		2013
262	宮村佳児，原田博文，関口隆史，中野智，柿本浩一	物材機構	Crystal growth of 50 cm square single crystal Si by directional solidification	口頭発表		2013
263	K. Jiptner, B. Gao, Y. Miyamura, H. Harada, K. Kakimoto, T. Sekiguchi	物材機構	Thermal-stress induced dislocation distribution in seed cast and CZ Si ingots	口頭発表		2014

264	陳君，福澤理行, Ronit Roneel Prakash，李建永，Karolin Jipter，宮村佳児, 原田博文, 関口隆史	物材機構	多結晶 Si における粒界性格と歪の関係	口頭発表		2014
265	R. R. Prakash, Y. Miyamura, J. Chen, K. Jiptner, J. Li, H. Harada, T. Sekiguchi	物材機構	Grain evolution in mc-Si grown from small randomly oriented seeds	ポスター発表		2014
266	K. Jiptner, B. Gao, 原田博文, 宮村佳児, R. R. Prakash, 福澤理行, 立花福久, 小島拓人, 柿本浩一, 関口隆史	物材機構	Correlation between residual strain and dislocation density in silicon cast growth determined by SIRP and XRT	ポスター発表		2014
267	Y. Miyamura, H. Harada, T. Sekiguchi, S. Nakano, K. Kakimoto	物材機構	50 cm square mono Si ingot by seed cast method	ポスター発表		2014
268	R. R. Prakash, Y. Miyamura, J. Chen, K. Jiptner, H. Harada, T. Sekiguchi	物材機構	Grain Boundary Electrical Activity and Growth in Multicrystalline Silicon	口頭発表		2014
269	Y. Miyamura, H. Harada, T. Sekiguchi, S. Nakano, K. Kakimoto	物材機構	50 cm square sized seed cast mono Si ingot growth	ポスター発表		2014
270	K. Jiptner, H.	物材機構	Reduction of dislocation	ポスター発表		2014

	Harada, Y. Miyamura, B. Gao, M. Fukuzawa, K. Kakimoto, T. Sekiguchi		density by cooling optimization in Si crystal growth			
271	Y. Miyamura, H. Harada, K. Jiptner, T. Sekiguchi, S. Nakano, K. Kakimoto	物材機構	Improvement of 50cm square mono cast Si for solar cell application	ポスター発表		2014
272	R. R. Prakash, K. Jiptner, Y. Miyamura, J. Chen, H. Harada, T. Sekiguchi	物材機構	Impact of Growth Rate on Multicrystalline Silicon Grown from Small Randomly Oriented Seeds	ポスター発表		2014
273	宮村佳児, 原田博文, 関口隆史, 中野智, 柿本浩一	物材機構	mono Si 結晶表面の晶癖線	口頭発表		2014
274	K. Jiptner, B. Gao, 原田博文, 福澤理行, 宮村佳児, 柿本浩一, 関口隆史	物材機構	Residual strain and dislocations in directional solidified Si ingots analyzed using FZ single crystals	口頭発表		2014
275	K. Jiptner, B. Gao, 原田博文, R. R. Prakash, 宮村佳児, 福澤理行, 柿本浩一, 関口隆史	物材機構	Determination of thermal stress induced dislocations and relation to residual strain in cast-grown Si ingots	ポスター発表		2014
276	R. R. Prakash, Y. Miyamura, H. Harada, K. Jiptner, T.	物材機構	Evolution of grain boundaries in multicrystalline Si ingots grown by cast method	ポスター発表		2014

	Sekiguchi					
277	R. R. Prakash, K. Jiptner, Y. Miyamura, J. Chen, H. Harada, T. Sekiguchi	物材機構	Impact of Growth Rate on Multicrystalline Silicon Grown from Small Randomly Oriented Seeds	ポスター発表		2014
278	R. R. Prakash, K. Jiptner, Y. Miyamura, J. Chen, H. Harada, T. Sekiguchi	物材機構	Impact of Grain Boundary Interactions on Grain Structure of Multicrystalline Silicon	口頭発表		2015
279	R. R. Prakash, K. Jiptner, J. Chen, Y. Miyamura, H. Harada, T. Sekiguchi	物材機構	Grain boundary interactions in multicrystalline silicon grown from small randomly oriented seeds	論文発表		2015
280	宮村佳児, 原田博文, 関口隆史, 中野智, 柿本浩一	物材機構	mono Si 結晶表面の晶癖線	口頭発表		2014
281	K. Jiptner, B. Gao, 原田博文, 福澤理行, 宮村佳児, 柿本浩一, 関口隆史	物材機構	Residual strain and dislocations in directional solidified Si ingots analyzed using FZ single crystals	口頭発表		2014
282	R. R. Prakash, K. Jiptner, Y. Miyamura, J. Chen, H. Harada, T. Sekiguchi	物材機構	Impact of Growth Rate on Multicrystalline Silicon Grown from Small Randomly Oriented Seeds	ポスター発表		2014
283	R. R. Prakash, K. Jiptner, Y. Miyamura, J. Chen, H.	物材機構	Impact of Grain Boundary Interactions on Grain Structure of Multicrystalline Silicon	口頭発表		2015

	Harada, T. Sekiguchi					
284	R. R. Prakash, K. Jiptner, J. Chen, Y. Miyamura, H. Harada, T. Sekiguchi	物材機構	Grain boundary interactions in multicrystalline silicon grown from small randomly oriented seeds	論文発表		2015
285	K. Nakajima, K. Kutsukake, K. Fujiwara, K. Morishita and S. Ono	京都大学 東北大学 第一機電	Arrangement of dendrite crystals grown along the bottom of Si ingots using the dendritic casting method by controlling thermal conductivity under crucibles	J. Crystal Growth, Vol.319, p.13-18.	有	2011
286	K. Kutsukake, T. Abe, N. Usami, K. Fujiwara, I. Yonenaga, K. Morishita, and K. Nakajima	東北大学 京都大学	Generation mechanism of dislocation and their clusters in multicrystalline silicon during two-dimentional growth	J. Appl. Phys., Vol.110, 083530 (5 pages)	有	2011
287	N. Usami, I. Takahashi, K. Kutsukake, K. Fujiwara, and K. nakajima,	東北大学 京都大学	Implementation of faceted dendrite growth on floating cast method torealizehigh-quality multicrsytalline Si ingot for solar cells	J. Appl. Phys., Vol.109, 083527 (4 pages).	有	2011
288	K. Nakajima, R. Murai, K. Morishita, K. Kutsukake, and N. Usami	京都大学 東北大学	Growth of multicrystalline Si ingots using noncontact crucible method for reduction of stress	J. Crystal Growth, Vol.344, 6 (6pages).	有	2012
289	I. Takahashi, N. Usami, H. Mizuseki, Y. Kawazoe, G. Stokkan, and K. Nakajima	Tohoku University, NTNU, and Kyoto University	Impact of type of crystal defects in multicrystalline Si on electrical properties and interaction with impurities	J. Appl. Phys. 109, 033504	有	2011
290	K. Nakajima, K. Morishita, R. Murai and K. Kutsukake,	京都大学 東北大学	Growth of high-quality multicrystalline Si ingots using noncontact crucible method	J. Crystal Growth, Vol.355, 38 (8 pages).	有	2012
291	N. Usami, I. Takahashi, K. Kutsukake, K. Fujiwara, and K. Nakajima	Tohoku University, and Kyoto University	Implementation of faceted dendrite growth on floating cast method to realize high-quality multicrystalline Si ingot for solar cells	J. Appl. Phys. **109**, 083527.	有	2011
292	K. Kutsukake, T. Abe,	Tohoku University, and Kyoto	Formation mechanism of twin boundaries during crystal growth of silicon	Scripta Materialia **65** 556-559	有	2011

	N. Usami, K. Fujiwara, K. Morishita and K. Nakajima	University				
293	K. Kutsukake, T. Abe, N. Usami, K. Fujiwara, I. Yonenaga, K. Morishita, K. Nakajima	Tohoku University, and Kyoto University	Generation mechanism of dislocations and their clusters in multicrystalline silicon during two-dimensional growth	J. Appl. Phys. **110**, 083530	有	2011
294	K. Kutsukake, T. Abe, N. Usami, K. Fujiwara, I. Yonenaga, K. Morishita, and K. Nakajima	Tohoku University, and Kyoto University	Generation mechanism of dislocations in multicrystalline Si during 2D growth	Proceedings of 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 1934-1937	無	2011
295	N. Usami, I. Takahashi, K. Kutsukake, K. Morishita, and K. Nakajima	Tohoku University, and Kyoto University	Floating cast method: A technique to realize high-quality multicrystalline Si ingot	Proceedings of 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 1986-1988	無	2011
296	K. Nakajima, R. Murai, K. Morishita, K. Kutsukake, and N. Usami	Kyoto University, and Tohoku University	Growth of multicrystalline Si ingots using noncontact crucible method for reduction of stress	J. Cryst. Growth 344, 6-11 (2012).	有	2012
297	Noritaka Usami, Wugen Pan, Satoru Matsushima, Kazuo Nakajima, and Haruna Watanabe	Tohoku University, and Kyoto University	Growth of multicrystalline silicon ingot from the top of the melt: control of microstructures and reduction of stress	Proc. IEEE PVSC38	無	2012
298	Kazuo Nakajima, Kohei Morishita, Ryota Murai, Noritaka Usami	Kyoto University, and Nagoya University	Formation process of Si_3N_4 particles on surface of Si ingots grown using silica crucibles with Si_3N_4 coating by noncontact crucible method	J. Cryst. Growth 389, 112-119 (2012).	有	2014
299	Kazuo Nakajima, Ryota Murai, Kohei Morishita, and Kentaro Kutsukake	Kyoto University, and Tohoku University	Growth of Si single bulk crystals with low oxygen concentrations by the noncontact crucible method using silica crucibles without Si_3N_4 coating	J. Cryst. Growth 372, 121-128 (2013).	有	2013
300	I. Takahashi, N. Usami, H. Mizuseki, Y.	Tohoku University, NTNU, and	Impact of type of crystal defects in multicrystalline Si on electrical properties and	J. Appl. Phys. 109, 033504	有	2011

	Kawazoe, G. Stokkan, and K. Nakajima	Kyoto University	interaction with impurities			
301	N. Usami, I. Takahashi, K. Kutsukake, K. Fujiwara, and K. Nakajima	Tohoku University, and Kyoto University	Implementation of faceted dendrite growth on floating cast method to realize high-quality multicrystalline Si ingot for solar cells	J. Appl. Phys. 109, 083527.	有	2011
302	K. Kutsukake, T. Abe, N. Usami, K. Fujiwara, K. Morishita and K. Nakajima	Tohoku University, and Kyoto University	Formation mechanism of twin boundaries during crystal growth of silicon	Scripta Materialia 65 556-559	有	2011
303	K. Kutsukake, T. Abe, N. Usami, K. Fujiwara, I. Yonenaga, K. Morishita, K. Nakajima	Tohoku University, and Kyoto University	Generation mechanism of dislocations and their clusters in multicrystalline silicon during two-dimensional growth	J. Appl. Phys. 110, 083530	有	2011
304	K. Kutsukake, T. Abe, N. Usami, K. Fujiwara, I. Yonenaga, K. Morishita, and K. Nakajima	Tohoku University, and Kyoto University	Generation mechanism of dislocations in multicrystalline Si during 2D growth	Proceedings of 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 1934-1937	無	2011
305	N. Usami, I. Takahashi, K. Kutsukake, K. Morishita, and K. Nakajima	Tohoku University, and Kyoto University	Floating cast method: A technique to realize high-quality multicrystalline Si ingot	Proceedings of 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 1986-1988	無	2011
306	K. Nakajima, R. Murai, K. Morishita, K. Kutsukake,	Kyoto University, and Tohoku University	Growth of multicrystalline Si ingots using noncontact crucible method for reduction of stress	J. Cryst. Growth 344, 6-11 (2012).	有	2012

	and N. Usami					
307	Noritaka Usami, Wugen Pan, Satoru Matsushima, Kazuo Nakajima, and Haruna Watanabe	Tohoku University, and Kyoto University	Growth of multicrystalline silicon ingot from the top of the melt: control of microstructures and reduction of stress	Proc. IEEE PVSC38	無	2012
308	I.Takahashi, S.Joonwichien, N.Usami	Nagoya University	Relationship between dendritic structure and dislocation generation in a large-scale multicrystalline Silicon ingot grown by floating cast method	Proc. 7th International Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells (CSSC7)	無	2013
309	S.Joonwichien, N.Usami	Nagoya University	Effects of crystal defects and their interactions with impurities on electrical properties of multicrystalline Si	J. Appl. Phys. 113, 133503 (2013)	有	2013
310	I. Takahashi, S. Joonwichien, N. Usami	Nagoya University	Enhanced phosphorus gettering of impurities in multicrystalline silicon at low temperature	Energy Procedia Vol. 55, pp 203 – 210 (2014)	無	2014
311	Isao Takahashi, Supawan Joonwichien, Kutsukake Kentaro, Satoru Matsushima, Ichiro Yonenaga, Noritaka Usami	Nagoya University and Tohoku University	Improvement of Annealing Procedure to Suppress Defect Generation during Impurity Gettering in Multicrystalline Silicon for Solar Cells	Proc. The 40th IEEE Photovoltaic Specialists Conference	無	2014
312	Supawan Joonwichien, Isao Takahashi, Satoru	Nagoya University	Contact angles of adjacent dendrite crystals to form grain boundary and iron precipitation in multicrystalline silicon ingot grown by floating cast method	Proc. 29th European PV Solar Energy Conference and Exhibition	無	2014

	Matsushima, and Noritaka Usami					
313	Takuya Hiramatsu, Isao Takahashi, Satoru Matsushima, Noritaka Usami	Nagoya University	Calculation of temperature distribution for controlling growth of dendrite crystals to decrease dislocation density in a multicrystalline Silicon ingot	Proc. The 7th forum on the Science and Technology of Silicon Materials	無	2014
314	Supawan Joonwichien, Isao Takahashi, Satoru Matsushima, Noritaka Usami	Nagoya University	Towards implementation of floating cast method for growing large-scale high-quality multicrystalline silicon ingot using designed double crucibles	PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS: RESEARCH AND APPLICATIONS 22, 726-732 (2014)	有	2014
315	T. Hiramatsu, I. Takahashi, N. Usami	Nagoya University	How can we control adjacent dendrite crystals in parallel direction to realize high-quality multicrystalline Si ingot for solar cells?	Proc. The 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion	無	2014
316	Supawan Joonwichien, Isao Takahashi, Satoru Matsushima, Noritaka Usami	Nagoya University	Comparison of Phosphorus Gettering Effect in Faceted Dendrite and Small Grain of Multicrystalline Silicon Wafers Grown by Floating Cast Method	Proc. The 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion	無	2014
317	Isao Takahashi, Supawan Joonwichien, Satoru Matsushima, and Noritaka	Nagoya University	Relationship between dislocation density and contact angle of dendrite crystals in practical size silicon ingot	J. Appl. Phys. 117 095701 (2015)	有	2015

	Usami					
318	三木 祥平、門田 昌郎、早川 宗久、佐藤根 大士、新船 幸二	兵庫県立大学	シリコンインゴットスライス時の廃棄スラッジ特性の評価	第 8 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム	無	2011
319	S.Miki, N.lio, S.Taniguchi, H.Satone, K.Arafune	兵庫県立大学	Recycle of Silicon Powder in Multi-wire-saw-sludge for Silicon Feedstock	21st Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells & Modules: Materials and Processes	無	2011
320	S.Miki, N.Iio, S.Taniguchi, H.Satone, K.Arafune	兵庫県立大学	Recycle of silicon powder In Multi-Wire-Saw-Sludge for Silicon feedstock	21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference	無	2011
321	飯尾 成央、三木 祥平、佐藤根 大士、新船 幸二	兵庫県立大学	シリコンインゴットスライス時の廃棄クーラントからのシリコン再原料化の検討	第 9 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム	無	2012
322	漆畑 孝、三木 祥平、新船 幸二	兵庫県立大学	補償系シリコンインゴットの作製およびその評価	第 9 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム	無	2012
323	Shohei Miki, Norihisa Iio, Sho-ichi Taniguchi, Hiroshi Satone, Koji Arafune	兵庫県立大学	Filtration of Waste Coolant from Fixed-Abrasive Wire Sawing and Recycle of Retrieved Silicon Powder for Feedstock	38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference	無	2012
324	Shohei Miki, Norihisa Iio, Hiroshi Satone, Koji Arafune	兵庫県立大学	Separation and recycle of silicon powder in waste coolant from fixed-abrasive wire sawing for feedstock	22nd International Photovoltaic Science and Engineering Conference	無	2012
325	K.Arafune	兵庫県立大学	Japanese R & D activities for c-Si solar cells	Grobal Photovoltaic Conference 2012	無	2012
326	S.Miki, N.Iio, K.Arafune	兵庫県立大学	Recovery of silicon powder in waste coolant from fixed-abrasive wire sawing for	7th International Workshop on Crystalline Silicon	無	2013

			silicon	Solar Cells		
327	N. Iio, S. Miki, H. Satone, K. Maeda, K. Arafune	兵庫県立大学	Recycle of silicon powder in a waste coolant from fixed-abrasive wire sawing	23rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference	無	2013
328	新船 幸二	兵庫県立大学	太陽電池用シリコン材料のリサイクル	表面科学技術研究会 2014	無	2014
329	三木 祥平、徳澤 太郎、佐藤根 大士、前田光治、新船 幸二	兵庫県立大学	再原料化した Si 切削屑の不純物濃度評価	第 11 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム	無	2014
330	三木祥平、佐藤根大士、前田光治、新船幸二	兵庫県立大学	ワイヤースライス廃液から回収した Si 切削くずの精製	化学工学会関西支部姫路大会 2014	無	2014
331	徳澤太郎、三木祥平、佐藤根大士、前田光治、新船幸二	兵庫県立大学	ワイヤースライス廃液からの砥粒回収技術の検討	化学工学会関西支部姫路大会 2014	無	2014
332	谷崎　啓	コマツ NTC	結晶系太陽電池ウェーハ加工用固定砥粒ワイヤソー	2011 年度精密工学会秋季大会シンポジウム	無	2011
333	谷崎　啓	コマツ NTC	薄型ウェーハ加工技術	第 22 回　PVTEC 技術交流会	無	2011
334	谷崎　啓	コマツ NTC	結晶系太陽電池向けシリコンウェーハスライスの現状と課題	応用物理学会　応用電子物性分科会主催応用電子物性分科会研究例会	無	2012
335	谷崎　啓	コマツ NTC	太陽電池向けマルチワイヤソーの現状	先端加工フォーラムちば 2012	無	2012
336	谷崎　啓	コマツ NTC	太陽電池用シリコンウェーハのスライシング技術	日本機械学会 2012 年度年次大会	無	2012
337	谷崎　啓	コマツ NTC	太陽電池向けシリコンウェーハの細線スライス	日本機械学会関西支部第 88 期定時総会講演会	無	2013
338	谷崎　啓	コマツ	ワイヤソーによる硬脆材料	精密加工研究会講演	無	2013

		NTC	切断	（東北大学）		
339	谷崎　啓	コマツ NTC	ワイヤソーによる硬脆材料切断	先端加工ネットワーク講演会	無	2014
340	谷崎　啓	コマツ NTC	超薄型（＜100μｍ）シリコン基板の加工技術	（独）日本学術振興会第１４５委員会、第１７５委員会合同研究会	無	2014
341	山谷宗義	京セラ	結晶系シリコン太陽電池開発の状況について －NEDO プロジェクト 成果と進捗－	PVTEC 第 22 回技術交流会	無	2011
342	有馬隆裕	京セラ	High Efficiency Multicrystalline Silicon Solar Cells	第６回太陽光発電世界会議（ＷＣＰＥＣ－６）	無	2014
343	菅原信	京セラ	京セラの太陽電池事業と今後の展開	第 145 委員会 および第 175 委員会（同時開催）	無	2014
344	檜座秀一、他	三菱電機	「結晶シリコン太陽電池セルの高効率化技術」	日本学術振興会第 175 委員会 「次世代の太陽光発電」シンポジウム	無	2011
345	檜座秀一、他	三菱電機	「結晶系太陽電池セルの高効率化技術」	第 277 回電気材料技術懇談会 若手研究発表会	無	2011
346	新延大介、他	三菱電機	DEVELOPMENT OF CRYSTALLINE SILICON SOLAR CELLS WITH HIGHER EFFICIENCY	21st Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-21)	無	2011
347	西村　慎也	三菱電機	21% Efficiency of n-Type Monocrystalline Silicon Photovoltaic Cell with Boron-doped Emitter by Atmospheric Pressure Chemical Vapor Deposition	Grand Renewable Energy 2014		2014
348	西村　慎也	三菱電機	Over 21% Efficiency of n-Type Monocrystalline Silicon Passivated Emitter and Rear Totally Diffused Photovoltaic	WCPEC-6		2014

			Cell with Boron Emitter			
349	坂井　裕一	三菱電機	常圧 CVD によるボロンエミッタを用いた n 型単結晶シリコン太陽電池	日本学術振興会第 175 委員会「次世代シリコン太陽電池分科会」第 2 回研究会		2014
350	大岡幸代	シャープ㈱	OPTIMIZATION OF BACK-ETCHING PROCESS FOR REAR SURFACE PASSIVATION STRUCTURES OF CRYSTALLINE SILICON SOLAR CELLS	第 21 回太陽光発電国際会議	無	2011
351	中村 淳一	シャープ㈱	Development of Hetero-Junction Back Contact Si Solar Cell toward 25%	PVSEC23	無	2013
352	中村 淳一	シャープ㈱	セル変換効率 25%に向けた Si ヘテロ接合バックコンタクト構造太陽電池セルの開発	第 61 回応用物理学会	無	2014
353	中村 淳一	シャープ㈱	Development of Hetero-junction Back Contact Si Solar Cells	40thIEEE-PVSC	無	2014
354	中村 淳一	シャープ㈱	次世代高効率単結晶シリコン太陽電池セルの開発	ｼｬｰﾌﾟ技報	無	2014
356	中村　淳一	シャープ㈱	Si ﾍﾃﾛ接合ﾊﾞｯｸｺﾝﾀｸﾄ構造ｾﾙの開発	学術振興会 175 委員会	無	2014
357	稗田　健	シャープ㈱	Development of High-efficiency Hetero-junction Back Contact Si Solar Cells	NREL WORKSHOP	無	2014
358	岡本親扶	シャープ㈱	高効率シリコンヘテロ接合バックコンタクト構造太陽電池セルの開発	日本真空学会第 139 回 SP 部会定例会	無	2014
359	中村　淳一	シャープ㈱	Development of Hetero-junction Back Contact Si Solar Cells	SSDM14	無	2014
360	中村　淳一	シャープ㈱	Development of Hetero-junction Back Contact Si Solar Cells	EU PVSEC 2014	無	2014
361	岡本親扶	シャープ㈱	INFLUENCE OF A-SI: H / C-SI INTERFACE PROPERTIES ON	EU PVSEC 2014	無	2014

			PERFORMANCE OF HETERO-JUNCTION BACK CONTACT SI SOLAR CELLS			
362	中村　淳一	シャープ㈱	Si ﾍﾃﾛ接合バックコンタクト構造太陽電池ｾﾙの開発	半導体新規化学ﾌﾟﾛｾｽ研究会	無	2014
363	中村　淳一	シャープ㈱	Development of Hetero-junction Back Contact Si Solar Cells	WCPEC-6	無	2014
364	稗田　健	シャープ㈱	Surface Mount Technology for Heterojunction Back contact Si Solar cells	WCPEC-6	無	2014
365	中村　淳一	シャープ㈱	Si ﾍﾃﾛ接合バックコンタクト構造太陽電池ｾﾙの開発	JSPS 第 145 委員会、175 委員会合同研究会	無	2014
366	Shinsuke Miyajima, Junpei Irikawa,Akira Yamada and Makoto Konagai	東工大	High Quality Aluminum Oxide Passivation Layer for Crystalline Silicon Solar Cells Deposited by Parallel-Plate Plasma-Enhanced Chemical VaporDeposition	APPLIED PHYSICS EXPRESS 3 (1) 012301	有	2010
367	Shinsuke Miyajima, Junpei Irikawa, AkiraYamada and Makoto Konagai	東工大	High-quality nanocrystalline cubic silicon carbide emitter for crystalline silicon heterojunction solar cells	APPLIED PHYSICS LETTERS 97 (2) 023504	有	2010
368	Junpei Irikawa, Shinsuke Miyajima, Shuhei Kida, Tatsuro Watahiki, and Makoto Konagai	東工大	Effects of Annealing and Atomic Hydrogen Treatment on Aluminum Oxide Passivation Layers for Crystalline Silicon Solar Cells	Jpn. J. Appl. Phys. Vol.50　012301	有	2010
369	Suttirat Rattanapan,	東工大	HIGH EFFICIENCY P-SHJ SOLAR CELLS WITH	WCPEC-5 & The 25th European Photovoltaic		2010

	Tatsuro Watahiki, Shinsuke Miyajima, Akira Yamada,5Makoto Konagai		HYDROGENATED AMORPHOUS SILICON OXIDE FRONT INTRINSIC BUFFER LAYER	Solar Energy Conference		
370	Junpei Irikawa*, Shuhei Kida, ShinsukeMiyajima, Tatsuro Watahiki, and Makoto Konagai	東工大	nc-SiC/c-Si Heterojunction Solar Cell with a-Al1-xOx:H Passivation Layer	The 3rd International Forum on MultidisciplinaryEducation and Research for Energy Science		2010
371	入川淳平，木田周平，宮島晋介，綿引達郎，小長井誠	東工大	太陽電池用 a-Al1-xOx:H 膜パッシベーション膜における界面構造と負の固定電荷の関係	第 71 回応用物理学会学術講演会		2010
372	浜下大輔，小長井誠	東工大	VHF-PECVD 法を用いた p 型窓層 Al ドープナノ結晶 3C-SiC:H の特性評価	第 7 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム		2010
373	木田 周平、入川 淳平 宮島 晋介、山田 明 小長井誠	東工大	結晶 Si 太陽電池における、アルミナ膜を用いた負の固定電荷によるパッシベーション膜	第 7 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム		2010
374	Makoto Konagai	東工大	Passivation thin-films for Si solar cells	2010 International Conference on Solid State Devices and Materials		2010
375	T. Watahiki and M.Konagai	東工大	Development of silicon heterojunction solar cell with nc-3C-SiC window layer and Al2O3 passivation layer	7th Workshop on the Future Direction of Photovoltaics		2010
376	浜下 大輔, 小長井 誠	東工大	高効率 p 形ナノ結晶 3C-SiC:H / n-Si ヘテロ接合太陽電池	2011 年春季第 58 回応用物理学関係連合講演会		2010
377	Junpei Irikawa,	東工大	Effects of Annealing and Atomic Hydrogen Treatment on	JAPANESE JOURNAL OF	有	2011

	Shinsuke Miyajima, Shuhei Kida, Tatsuro Watahiki, and Makoto Konagai		Aluminum Oxide Passivation Layers for Crystalline Silicon Solar Cells	APPLIED PHYSICS 50, 012301-1~012301-5		
378	Junpei Irikawa, Shinsuke Miyajima, Tatsuro Watahiki, Makoto Konagai	東工大	High Efficiency Hydrogenated Nanocrystalline Cubic Silicon Carbide/Crystalline Silicon Heterojunction Solar Cells Using an Optimized Buffer Layer	APPLIED PHYSICS EXPRESS 4, No.9, 092301-1~092301-3 3pages SEP	有	2011
379	Suttirat Rattanapan, Tatsuro Watahiki, Shinsuke Miyajima, Makoto Konagai	東工大	Improvement of Rear Surface Passivation Quality in p-Type Silicon Heterojunction Solar Cells Using Boron-Doped Microcrystalline Silicon Oxide	JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS 50, No.8 , 082301-1~082301-4 AUG	有	2011
380	Shinsuke Miyajima, Junpei Irikawa, Akira Yamada, and Makoto Konagai	東工大	Modeling and simulation of heterojunction crystalline silicon solar cells with a nanocrystalline cubic silicon carbide emitter	J. Appl. Phys. 109 054507-1~054507-6	有	2011
381	Daisuke Hamashita, Yasuyoshi Kurokawa, Makoto Konagai	東工大	Preparation of p-type Hydrogenated Nanocrystalline Cubic Silicon Carbide / n-type Crystalline Silicon Heterojunction Solar Cells by VHF-PECVD	E-MRS 2011 SPRING MEETING, NICE, FRANCE		2011
382	Daisuke Hamashita, Yasuyoshi	東工大	Effects of the Deposition Conditions of p-type Hydrogenated Nanocrystalline	37th IEEE Photovoltaic Specialists		2011

	Kurokawa, Makoto Konagai		Cubic Silicon Carbide on n-type Crystalline Silicon Heterojunction Solar Cell Performance	Conference, Washington State Convention Center, Seattle, Washington		
383	Yumiko Yamaguchi, Tatsuro Watahiki and Makoto Konagai	東工大	CHARACTERIZATION OF INTRINSIC HYDROGENATED AMORPHOUS Si1-XOX LAYERS FOR HIGH EFFICIENCY HETEROJUNCTION Si SOLAR CELLS	26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition		2011
384	Junpei Irikawa, Shinsuke Miyajima, Tatsuro Watahiki and Makoto Konagai	東工大	Development of the TCO Layer for Nanocrystalline Cubic Silicon Carbide / Silicon Heterojunction Solar Cellswith Aluminum Oxide passivation layers	2011 International conference on Solid State Devices and Materials, Nagoya, Japan		2011
385	K. Nakada, T. Watahiki and M. Konagai	東工大	EFFECT OF DEPOSITION TEMPERATURE OF MICROCRYSTALLINE SILICON OXIDE EMITTERS FOR HETEROJUNCTION SOLAR CELLS	21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference, Fukuoka Sea Hawk		2011
386	J. Irikawa, S. Miyajima, T. Watahiki and M. Konagai	東工大	HIGH EFFICIENCY HYDROGENATED NANOCRYSTALLINE CUBIC SILICON CARBIDE / CRYSTALLINE SILICON HETEROJUNCTION SOLAR CELLS USING AN OPTIMIZED BUFFER LAYER	21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference, Fukuoka Sea Hawk		2011
387	Daisuke Hamashita, Yasuyoshi Kurokawa,	東工大	Preparation of p-type Hydrogenated Nanocrystalline Cubic Silicon Carbide / n-type Crystalline	Energy Procedia 10, pp.14-19, Jan	有	2012

	Makoto Konagai		Silicon Heterojunction Solar Cells by VHF-PECVD			
388	Irikawa Junpei, Miyajima Shinsuke, Watahiki Tatsuro and Makoto Konagai	東工大	Development of the Transparent Conductive Oxide Layer for Nanocrystalline Cubic Silicon Carbide/Silicon Heterojunction Solar Cells with Aluminum Oxide Passivation Layers	JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, vol. 51, No.2, 02BP04, 4 pages	有	2012
389	中田和吉 小長井誠	東工大	a-SiO:H 薄膜によるヘテロ接合太陽電池のパッシベーション効果向上	第 9 回次世代太陽光発電システムシンポジウム、京都		2012
390	山口裕美子 綿引達郎 小長井誠	東工大	ヘテロ接合 Si 太陽電池用 i-a-SiO:H パッシベーション膜の評価	第 73 回応用物理学会学術講演会		2012
391	Ateto E.Omondi Junpei Irikawa Shinsuke Miyajima Makoto Konagai	東工大	Effect of chemical polish etching on performance of nanocrystalline cubic silicon carbide / crystalline silicon heterojunction solar cells	22nd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-22), Hangzhou ,China		2012
392	Ateto E.Omondi Junpei Irikawa Shinsuke Miyajima Makoto Konagai	東工大	Effect of Change in Texture Morphology on the Surface Passivation and Performance of Nanocrystalline Cubic Silicon Carbide/Crystalline Silicon Heterojunction Solar Cells	The First International Education Forum on Environment and Energy Science		2012
393	Kazuyoshi Nakada Shinsuke Miyajima Makoto Konagai	東工大	Application of Intrinsic Amorphous Silicon Oxide Films as Passivation Layers for Heterojunction Solar Cells	The First International Education Forum on Environment and Energy Science		2012
394	宮島晋介	東工大	高品質ワイドギャップヘテロエミッタの現状と課題	第 61 回応用物理学会春季学術講演会 (シンポジウム招待		2014

				講演、17p-D9-8）		
395	清水一希 Ateto E.Omondi 宮島晋介 小長井誠	東工大	結晶 Si 太陽電池用 n 型 nc-3C-SiC:H ヘテロエミッタの高品質化	第 61 回応用物理学会春季学術講演会（18a-E12-1）		2014
396	卜部駿介 宮島晋介 小長井誠	東工大	太陽電池裏面のレーザーポイントコンタクト部の特性解析	第 61 回応用物理学会春季学術講演会		2014
397	Shinsuke Miyajima	東工大	Heterojunction Crystalline Silicon Solar Cells Using Nanocrystalline Cubic Silicon Carbide Emitter	AM-FPD14 (invited)		2014
398	Kazuki Shimizu, Ateto Eric Omondi, Junpei Irikawa, Shinsuke Miyajima, Makoto Konagai	東工大	Improvement of n-type nc-3C-SiC:H heterojunction emitter for c-Si solar cells	40th IEEE Photovoltaic Specialist Conference		2014
399	宮島晋介	東工大	Si 系薄膜による結晶 Si 表面パッシベーション技術	第 75 回応用物理学会秋季学術講演会（シンポジウム招待講演）		2014
400	Erick Omondi Ateto Makoto Konagai1, Shinsuke Miyajima	東工大	Optimum Design of Antireflection coating for nc-3C-SiC:H Emitter Heterojunction Solar Cell	第 75 回応用物理学会秋季学術講演会		2014
401	Shunsuke Urabe, Junpei Irikawa, Makoto Konagai, Shinsuke Miyajima	東工大	Characterization of Laser Transferred Contact through Aluminum Oxide Passivation Layer	第 6 回太陽光発電世界会議（WCPEC-6）		2014
402	Ateto	東工大	Antireflective Effect of	第 6 回太陽光発電世		2014

	E.Omondi, Kazuki Shimizu, Makoto Konagai, Shinsuke Miyajima		Wide-gap Heterojunction Emitter for Crystalline Silicon Heterojunction Solar cell	界会議（WCPEC-6）		
403	Takuya Ogusu, Makoto Konagai, Shinsuke Miyajima	東工大	Carrier Transport Characteristics of Crystalline Silicon Solar Cells with Widegap Heterojunction Emitter	第 6 回太陽光発電世界会議（WCPEC-6）		2014
404	Shunsuke Urabe, Junpei Irikawa, Makoto Konagai, Shinsuke Miyajima	東工大	Characterization of Laser Transferred Contact through Aluminum Oxide Passivation Layer	Korea-Japan Top University League Workshop on Photovoltaics 2014 (Top-PV2014)		2014
405	宮島晋介	東工大	高効率 Si 太陽電池のためのヘテロ接合技術	JSPS 第１４５委員会、第１７５委員会合同研究会 結晶シリコン太陽電池研究開発の最前線 －ＮＥＤＯプロジェクトを中心に－		2014
406	H. Natsuhara, X. Zhuo Me, Y. Natsume, D. Hoso, M. Kawai, F. Ohashi, T. Itoh, N. Yoshida, S. Nonomura	岐阜大	Development of photovoltaic microscope forthin film solar cell	21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference	無	2011
407	三和寛之　他	岐阜大	選択的 Si 酸化を用いた c-Si/a-Si ヘテロ接合界面における漏れ電流抑制技術の検討	第 74 回応用物理学会秋季学術講演会	無	2013

408	西田　哲	岐阜大	SPM を用いた c-Si/a-Si 接合部での界面に電流測定	第 74 回応用物理学会秋季学術講演会	無	2013
409	西田　哲	岐阜大	Scanning Probe Microscope Measurements on Intrinsic Amorphous Si:H Layer of Hetero-junction with Intrinsic Thin Layer (HIT) Solar cell	Grand Renewable Energy 2014 International Conference and Exhibition, Tokyo, Japan	無	2014
410	西田　哲	岐阜大	プラズマ CVD によるシリコン高速製膜の均一化	化学工学会第 46 回秋季大会	無	2014
411	兼松雅斗	岐阜大	太陽電池のテクスチャ構造の形状による電流漏れの変化の評価	第 75 回応用物理学会秋季学術講演会	無	2014
412	三和寛之	岐阜大	選択的 Si 酸化を用いた c-Si/a-Si ヘテロ接合界面における漏れ電流抑制技術の開発	第 75 回応用物理学会秋季学術講演会	無	2014
413	武藤芳樹	岐阜大	導電性 AFM によるヘテロ接合部のリーク電流測定時の雰囲気温度および圧力による影響	第 75 回応用物理学会秋季学術講演会	無	2014
414	岡田祐希	岐阜大	太陽電池用 a-Si:H 膜の高速成膜と高品質アニール効果の研究	第 75 回応用物理学会秋季学術講演会	無	2014
415	鈴木貴也	岐阜大	バラン給電型マルチホローカソードプラズマを用いた低光劣化 a-Si:H 製膜法の開発	第 75 回応用物理学会秋季学術講演会	無	2014
416	太田昂貴	岐阜大	選択的 Si 酸化を用いた c-Si/a-Si ヘテロ接合界面(1 in)における漏れ電流抑制技術の開発	第 62 回応用物理学会春季学術講演会	無	2015
417	山本翔太	岐阜大	a-Si：H パッシベーション膜の高品質化プロセスの検討	第 62 回応用物理学会春季学術講演会	無	2015
418	寺澤良平	岐阜大	TMAH によるテクスチャ付シリコン基板のライフタイム改善	第 62 回応用物理学会春季学術講演会	無	2015
419	伊東宇一他	産総研	Screen printed finger electrode with high aspect ratio by single	38th IEEE PVSC Proceedings	無	2012

			printing for crystal Si solar cell using novel screen mask			
420	徳久英雄他	産総研	Cu Alloy Pastes Containing Low Melting Point (LMP) Alloys For Silicon Solar Cells Recquiring Low Temperature Sintering	21-PVSC Technical Digest	無	2011
421	吉田学　他	産総研	Grass-fritless Cu alloy pastes for silicon solar cells recquiring low temperature sintering	26th EUPVSEC Proceedings	無	2011
422	徳久英雄他	産総研	Grass-fritless Cu alloy pastes for silicon solar cells recquiring low temperature sintering	37th IEEE PVSC Proceedings	無	2011
423	吉田学、徳久英雄、伊東宇一、住田勲勇、関根重信、鎌田俊英	産総研	G l ass-fritless Cu alloy pastes for silicon solar cells recquiring low temperature sintering	3rd Workshop on Metallization for Crystalline Silicon Solar Cells		2011
424	徳久英雄、吉田学	産総研	低温印刷電極形成技術の開発	情報科学用有機材料第 142 委員会誌		2011
425	吉田学、徳久英雄、伊東宇一、住田勲勇、関根重信、鎌田俊英	産総研	結晶シリコン太陽電池用銅ペーストの開発	59 回応用物理学関係連合講演会講演要項集		2012
426	吉田学、徳久英雄、伊東宇一、住田勲勇、関根重信、鎌田俊英	産総研	低温焼成型銅ペーストを用いた低損傷印刷製造技術による結晶シリコン太陽電池の配線・電極の形成	中国地域太陽電池フォーラム 第２回新素材に関する研究会講演資料		2012
427	徳久英雄、吉田学、伊東宇一、住田勲勇、関根重信、鎌田俊英	産総研	Recent progress on Cu pastes for silicon solar cells	22nd Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells & Modules: Materials and Processes		2012
428	林秀明、本田耕児、吉田学、伊東宇一、徳久英雄	産総研	Preferable opening area of screen mesh to print fine finger electrode with less-bumpy surface	38th IEEE PVSC conference publications		2012

429	徳久英雄、吉田学、森田智子、伊東宇一、住田勲勇、関根重信、鎌田俊英	産総研	DEVELOPMENT OF CU PASTES CONTAINING A LOW MELTING POINT ALLOY FOR LOW TEMPERATURE SINTERING	Proceedings of 27th EU PVSEC		2012
430	伊東宇一、牛房信之、徳久英雄、吉田学、住田勲勇、青木真理、大下祥雄	産総研	Novel screen printing technology to make high-aspect-ratio electrodes and to fill a paste into a hole for metal-wrap-through (MWT)	Proceedings of 27th EU PVSEC		2012
431	吉田学、徳久英雄、伊東宇一、住田勲勇、関根重信、鎌田俊英	産総研	Novel Low-Temperature-Sintering Type Cu-Alloy Pastes for Silicon Solar Cells	Energy Procedia Volume 21, Pages 1-92 (2012)		2012
432	山田雄彦、吉田学、青木真理、徳久英雄、伊東宇一、住田勲勇、関根重信、神谷格、大下祥雄	産総研	Workfunction mapping of interface between crystalline Si and metal paste electrode using KFM	Proceedings of the 27th EU PVSEC		2013
433	山田雄彦、吉田学、青木真理、徳久英雄、伊東宇一、住田勲勇、関根重信、神谷格、大下祥雄	産総研	Workfunction mapping of Si-metal paste interface on an tomic scale using KFM	Metallization Workshop 2013		2013
434	山田雄彦、吉田学、青木真理、徳久英雄、伊東宇一、住田勲勇、関根重信、神谷格、大下祥雄	産総研	KFM を用いた Si-電極界面のナノスケールにおける仕事関数測定	第 74 回応用物理学会秋季学術講演会		2013
435	山田雄彦、吉	産総研	nm-scaled workfunction	7th International		2013

	田学、青木真理、徳久英雄、伊東宇一、住田勲勇、関根重信、神谷格、大下祥雄		mapping of iterface between crystalline Si and metal paste electrode using KFM	workshop on crystallin silicon solar cells		
436	牛房信之、伊東宇一、徳久英雄、吉田学、住田勲勇、青木真理、大下祥雄	産総研	Novel screen printing technology to make a fine electrode with high-aspect-ratio using new type screen mask coated with solvent-repellent film	39ｔｈ IEEE PVSC		2013
437	牛房信之、伊東宇一、徳久英雄、吉田学、住田勲勇、青木真理、大下祥雄	産総研	Novel screen printing technology using new type screen mask and squeegee coated with solvent-repellent film	24th Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells & Modules: Materials and Processes		2013
438	徳久英雄	産総研	低温焼成型銅ペーストの電極・配線形成技術	技術情報セミナー「ナノインク・ペースト」		2013
439	徳久英雄、吉田学、伊東宇一、植村聖	産総研	太陽電池用の銅ペーストの開発	2013 年度第一回 P&I 研究会シンポジウム「環境・エネルギーに貢献する印刷技術」テキスト		2013
440	徳久英雄、吉田学、伊東宇一、植村聖	産総研	低温焼成型銅ペースト	第 38 回顔料物性講座「色材における成長戦略」		2013
441	徳久英雄、森田智子、伊勢翔吾、塚本志帆、富田充、吉田学	産総研	Development of a new way to contact glass-free metal paste onto silicon emitter of conventional solar cells with SiNx coating	Proceedings of EUPVSEC 2014		2014
442	徳久英雄、森田智子、伊勢翔吾、塚本志帆、富田充	産総研	印刷+メッキ法による低抵抗銅配線技術の開発	第 62 回応用物理学会春季学術講演会		2015
443	平田憲司、高	NAIST	レーザードーピングによる	第 8 回「次世代の	無	2011

	山環，西村英紀、 片桐卓哉、高本総一郎、杉村恵美、冬木隆		セレクティブエミッター型太陽電池の作製その最適化	太陽光発電システム」シンポジウム		
444	平田憲司、高山環、長谷川光洋、舟谷友宏、 西村英紀、 冬木隆	NAIST	結晶シリコン太陽電池作製プロセスにおけるレーザードーピングの開発	2011 年春季第 58 回応用物理学関係連合講演会	無	2011
445	西村英紀、平田憲司、長谷川光洋、舟谷友宏、高山環、冬木隆	NAIST	多結晶シリコン太陽電池におけるレーザードーピングプロセスの開発	2011 年春季第 58 回応用物理学関係連合講演会	無	2011
446	高山 環、平田憲司、斎藤貴志、長谷川光洋、舟谷友宏、冬木 隆	NAIST	紫外光レーザーを用いた電極下高濃度エミッター層の作製と最適化	第 7 回「次世代の太陽光発電システム」	無	2010
447	舟谷友宏、平田憲司、斎藤貴志、高山 環、長谷川光洋、冬木 隆	NAIST	ドーパント層制御によるレーザードーピングプロセスの最適化	第 7 回「次世代の太陽光発電システム」	無	2010
448	長谷川光洋、平田憲司、斎藤貴志、高山環、舟谷友宏、冬木 隆	NAIST	多結晶シリコン太陽電池におけるレーザーを用いたドーピングプロセスの開発	第 7 回「次世代の太陽光発電システム」	無	2010
449	長谷川光洋、平田憲司、高山 環、舟谷友宏、冬木隆	NAIST	多結晶シリコン太陽電池の作製における室温レーザードーピング	電子情報通信学会シリコン材料･デバイス研究会	無	2010
450	舟谷友宏、平田憲司、	NAIST	結晶系シリコン太陽電池におけるドーパントプレカー	電子情報通信学会シリコン材料･デバ	無	2010

	高山　環、長谷川光洋、冬木　隆		サ―制御によるレーザードーピングプロセスの最適化	イス研究会		
451	Hideki Nishimura, Kenji Hirata, Mitsuhiro Hasegawa, Takuya Katagiri and Takashi Fuyuki.	NAIST	IMPROVED ELECTRONIC PROPERTIES OF LASER DOPED EMITTERS BY REDUCING SURFACE ROUGHNESS	21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference	無	2011
452	Kenji Hirata, Hideki Nishimura, Takuya Katagiri, Sohichiroh Takamoto, Emi Sugimura, and Takashi Fuyuki.	NAIST	OPTIMIZATION OF SELECTIVE EMITTER PROFILES BY LASER DOPING IN CRYSTALLINE SILICON SOLAR CELLS	21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference	無	2011
453	Takuya Katagiri, Tomohiro Funatani, Kenji Hirata, Hideki Nishimura and Takashi Fuyuki.	NAIST	Investigation of Precursor Layer for Laser Doping Technique in Crystalline Silicon Solar Cell.	26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition	無	2011
454	Kenji Hirata, Tamaki Takayama, Mitsuhiro Hasegawa, Tomohiro Funatani, and Takashi	NAIST	Optimization of Selective Emitter Formation using Laser Doping in Crystalline Silicon Solar Cell	26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition	無	2011

	Fuyuki.					
455	Hideki Nishimura, Kenji Hirata, Mitsuhiro Hasegawa, Tomohiro Funatani, Tamaki Takayama, and Takashi Fuyuki.	NAIST	Improvement of multi-crystalline silicon solar cell fabricated by Laser Doping Technique Using Continuous Wave Laser	37th IEEE Photovoltaic Specialist Conference	無	2011
456	Mitsuhiro Hasegawa, Kenji Hirata, Takashi Saitoh, Tamaki Takayama, Tomohiro Funatani, Emi Sugimura, Shinichiro Tsujii, Ayumi Tani, Takashi Fuyuki	NAIST	Laser Doping Technique using Continuous Wave Laser in Multi-crystalline Silicon Solar Cell Process.	35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference	無	2010
457	Takashi Saitoh, Kenji Hirata, Tamaki Takayama, Mitsuhiro Hasegawa, Tomohiro Funatani, Emi Sugimura, Takashi Fuyuki	NAIST	Laser doping for several types of emitter layer.	RENEWABLE ENERGY 2010	無	2010
458	Kenji Hirata, Takashi Saitoh, Tamaki	NAIST	Selective Emitter Formation in Crystalline Silicon Solar Cell by Laser Doping at Room	5th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion	無	2010

	Takayama, Mitsuhiro Hasegawa, Tomohiro Funatani, Takashi Fuyuki		Temperature.			
459	Kenji Hirata, Tamaki Takayama, Tomohiro Funatani, Mitsuhiro Hasegawa, Takashi Fuyuki	NAIST	Application of Laser Doping to Form Selective Emitter in Silicon Solar Cells	2010 MRS Fall Meeting	無	2010
460	高本聡一郎，辻井慎一郎，杉村恵美，平田憲司，谷あゆみ，冬木隆.	NAIST	分光エレクトロルミネッセンスの温度依存性による基板欠陥評価	第 8 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム	無	2011
461	西村英紀，平田憲司，長谷川光洋，片桐卓哉，冬木隆	NAIST	多結晶シリコンのレーザードーピングにおける基板表面形状と電気的特性	第 8 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム	無	2011
462	片桐卓哉，舟谷友宏，平田憲司，西村英紀，冬木隆.	NAIST	結晶シリコン太陽電池のレーザードーピングプロセスにおける PSG 膜中のリン濃度の影響	第 8 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム	無	2011
463	西村英紀，平田憲司，片桐卓哉，冬木隆，	NAIST	Ｓｉ太陽電池の作製のための室温レーザードーピング技術開発	第 59 回応用物理学関係連合講演会	無	2012
464	E.Sugimura, S.Takamoto, K.Hirata, A.Tani, and T.Fuyuki.	NAIST	Revealing Shunt Origins by Temperature Dependence of Electro-luminescence under Reverse-bias,	37th IEEE Photovoltaic Specialist Conference	無	2011
465	S.Takamoto,	NAIST	Evaluation of Substrate Defects	21st Photovoltaic	無	2011

	E.Sugimura, S.Tsujii, K.Hirata, A.Tani and T.Fuyuki.		by Temperature Dependence of Spectroscopic Electroluminescence	Science and Engineering Conference		
466	T.Katagiri, T. Funatani, K.Hirata, H.Nishimura and T.Fuyuki.	NAIST	Prescription of Precursor film Deposition for Laser Doping in Crystalline Silicon Solar CellProcess	21st Photovoltaic Science and Engineering Conference	無	2011
467	E.Sugimura, S.Takamoto, S.Tsujii, K.Hirata, A.Tani, and T.Fuyuki.	NAIST	Spatially Resolved Electroluminescence Imaging of Shunt Sources in Crystalline Silicon Solar Cells,	21st Photovoltaic Science and Engineering Conference	無	2011
468	西村英紀，平田憲司，長谷川光洋，片桐卓哉，冬木隆	NAIST	テクスチャー表面を有する結晶シリコンへの重畳照射レーザードーピングによる表面状態の改善	第 9 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム	無	2012
469	湯本伸伍，平田憲司，杉村恵美，西村英紀，冬木隆	NAIST	レーザードーピングにより形成した電極下高濃度不純物層幅の最適化	第 9 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム	無	2012
470	田中成明，西村英紀，冬木隆	NAIST	ビーム走査における重畳率を変化させた場合のレーザードーピング特性の解析	第 9 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム	無	2012
471	杉村恵美，谷あゆみ，冬木隆	NAIST	逆方向バイアス印加時のエレクトロルミネッセンス発光の有無と光電特性との関連の解析	第 9 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム	無	2012
472	森崎翔太，平田憲司，西村英紀，片桐卓哉，田中成明，冬木隆	NAIST	n 型単結晶シリコン基板へのレーザーによるボロンドーピング	第 9 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム	無	2012

473	田中成明,西村英紀,冬木隆	NAIST	レーザードーピングで形成したエミッタ層及びセレクティブエミッタ層の深さ制御とその太陽電池特性	電子情報通信学会シリコン材料・デバイス研究会（SDM)	無	2012
474	西村英紀,田中成明,森崎翔太湯本伸伍,冬木隆	NAIST	テクスチャシリコンへのレーザードーピングにおける基板―ドーパント間の界面制御による電子状態の改善	電子情報通信学会シリコン材料・デバイス研究会（SDM)	無	2012
475	森崎翔太,西村英紀,杉村恵美冬木隆	NAIST	レーザードーピング法によるn型単結晶シリコン太陽電池の高効率化	電子情報通信学会シリコン材料・デバイス研究会（SDM)	無	2012
476	湯本伸伍,西村英紀,平田憲司杉村恵美,冬木隆	NAIST	連続発振レーザーにより形成した電極下高濃度不純物層を有する結晶系シリコン太陽電池の最適化	電子情報通信学会シリコン材料・デバイス研究会（SDM)	無	2012
477	杉村恵美,嶋崎成一,谷あゆみ冬木隆	NAIST	結晶系 Si 太陽電池による逆方向エレクトロルミネッセンス法を用いた電気的特性の解析	電子情報通信学会シリコン材料・デバイス研究会（SDM)	無	2012
478	Hideki Nishimura, Kenji Hirata, Emi Sugimura, and Takashi Fuyuki	NAIST	Spatial homogenization of the dopant profile using double scan laser doping for textured mono-crystalline silicon solar cell	27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition	無	2012
479	岡村隆徳,西村英紀,冬木隆,富澤由香,池田吉紀	NAIST	シリコンインクを用いた連続発振緑色レーザードーピングによる太陽電池の作製	第 10 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム	無	2013
480	福永圭吾,畑山智亮,矢野裕司,岡本尚文,谷あゆみ,石河泰明,冬木隆	NAIST	インジウムを介したVapor-Liquid-Solid機構によるシリコンナノワイヤーの形成と評価	第 10 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム	無	2013
481	山本悠貴,西村英紀,岡村隆徳,福永圭吾,冬木　隆	NAIST	レーザープロセスを用いたボロンドーピングによるn型単結晶シリコン太陽電池の作製	電子情報通信学会シリコン材料・デバイス研究会（SDM)	無	2013

482	岡村隆徳,西村英紀,冬木隆,富澤由香,池田吉紀	NAIST	リンドープのシリコンナノインクを用いたレーザードーピングによる単結晶シリコン太陽電池の作製	電子情報通信学会 シリコン材料・デバイス研究会（SDM)	無	2013
483	福永圭吾,畑山智亮,矢野裕司,岡本尚文,谷あゆみ,石河泰明,冬木隆	NAIST	インジウムを介したVapor-Liquid-Solid機構に基づくシリコンナノワイヤーの形成と評価	電子情報通信学会 シリコン材料・デバイス研究会（SDM)	無	2013
484	H.Nishimura, S.Tanaka, S.Morisaki, S.Yumoto, T. Fuyuki	NAIST	Improvement of the Emitter properties by Controlling the Interface Between Dopant and Substrate in Laser Doping for Textured Silicon	39th IEEE Photovoltaic Specialists Conference	無	2013
485	H.Nishimura, S.Tanaka, E.Sugimura, T.Fuyuki	NAIST	Polarity Control to Reinforce Interfaces between Dopant and Si Textured Surfaces for Junction Improvement in Laser Doping	28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition	無	2013
486	T.Okamura, H.Nishimura, T.Fuyuki, Y.Tomizawa, Y.Ikeda	NAIST	Depth Controlled Laser Doping Using Silicon Nano Ink for Novel Crystalline Silicon Cell Structures	28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition	無	2013
487	西村英紀，真鍋満顕，降松義史，冬木隆	NAIST	n型テクスチャ基板を用いた結晶シリコン太陽電池へのレーザードーピングによる電極下高濃度層の形成	第 11 回 「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム	無	2014
488	真鍋満顕，西村英紀，富澤由香，池田吉紀，冬木隆	NAIST	レーザードーピングにボロン含有シリコンナノインクを用いたN型太陽電池素子の作製	第 11 回 「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム	無	2014
489	真鍋満顕，西村英紀，富澤由香，池田吉紀，冬木隆	NAIST	シリコンナノインクを用いたパルスレーザードーピングによるシリコン太陽電池作製	第 75 回応用物理学会秋季 学術講演会	無	2014
490	H. Nishimura, M. Manabe, T.	NAIST	Reduction of Emitter Leak Current by Selective Boron	29th edition of the European Photovoltaic	無	2014

	Fuyuki		Laser Doping for Textured Crystalline Silicon Solar Cell	Energy Conference and Exhibition		
491	M. Manabe, T. Okamura, H. Nishimura,Y. Tomizawa,Y. Ikeda, T. Fuyuki	NAIST	BOX PROFILING OF BORON BY LASER DOPING WITH SILICON NANO INK	29th edition of the European Photovoltaic Energy Conference and Exhibition	無	2014
492	H. Nishimura, M. Manabe, Y. Kudamatsu, T. Fuyuki	NAIST	Boron Laser Doping Using Spin-on Dopant for Textured Crystalline Silicon	6th World Conference Photovoltaic Energy Conversion	無	2014
493	M. Manabe, H. Nishimura, Y. Tomizawa, Y. Ikeda, T. Fuyuki	NAIST	Room Temperature Boron Doping Using UV Pulse Laser with Boron-doped Silicon Nano Ink	6th World Conference Photovoltaic Energy Conversion	無	2014
494	K.Hirata, T.Saitoh, A.Ogane, E.Sugimura, and T.Fuyuki	NAIST	Selective Emitter Formation by Laser Doping for Phosphorous-Doped N-Type Silicon Solar Cells	Applied Physics Express, No.5, 016501-1～3	有	2012
495	Hideki Nishimura, Kenji Hirata, Mitsuhiro Hasegawa, Takuya Katagiri and Takashi Fuyuki	NAIST	Improved electronic properties of laser doped emitters by reducing surface roughness	Jpn. J. Appl. Phys. Vol.51, 10NA15-1～4	有	2012
496	Emi Sugimura, Sohichiroh Takamoto, Shinichiro Tsujii, Kenji Hirata, Ayumi Tani, and Takashi	NAIST	Spatially resolved electroluminescence imaging of shunt sources in crystalline silicon solar cells	Jpn. J. Appl. Phys. Vol.51, 10NA02-1～3	有	2012

	Fuyuki					
497	立花福久，小島拓人，高井大輔，小椋厚志，大下祥雄	豊田工業大学，明治大学	シリコン窒化膜製膜時に導入される結晶欠陥層のライフタイムの算出	第 62 回応用物理学関係連合講演会 (11p-C2-1)	有	2015
498	樋口 史仁，佐藤 邦孝，加藤 言，田島 道夫，小野 春彦，小椋 厚志	明治大学、JAXA 宇宙研、神奈川県産技セ	太陽電池用多結晶 Si 中のサーマルドナー関連欠陥に起因する 深い準位のフォトルミネッセンス	2015 年第 62 回応用物理学会春季学術講演会(12a-A18-12)	無	2015
499	小野春彦	神奈川県産技セ、明治大学	FTIR によるバルク結晶シリコン中の酸素析出の評価	2015 年第 62 回応用物理学会春季学術講演会(13p-C2-10)	無	2015
500	田島道夫，加藤 言，中川啓，豊田裕之，小椋厚志	明治大学，JAXA 宇宙研	フォトルミネッセンスによる太陽電池用 Si 結晶評価	2015 年第 62 回応用物理学会春季学術講演会(13p-C2-7)	無	2015
501	加藤 言，田島道夫，豊田裕之，小椋厚志	明治大学，JAXA 宇宙研	偏光 PL イメージングによる太陽電池用多結晶 Si の欠陥評価	2015 年第 62 回応用物理学会春季学術講演会(13p-C2-9)	無	2015
502	中川啓，田島道夫，豊田裕之，小椋厚志	明治大学，JAXA 宇宙研	高濃度 Si 結晶のフォトルミネッセンススペクトルの系統的変化	2015 年第 62 回応用物理学会春季学術講演会(12p-A18-2)	無	2015
503	T. Tachibana, D. Takai, Y. Ohshita, and A. Ogura	豊田工業大学，明治大学	The relationship between the fabrication process and lifetime in solar cell silicon substrate	Korea-Japan Top University League Workshop on Photovoltaics 2014	有	2014
504	Y. Yamashita, N. Ikeno T. Tachibana, Y. Ohshita, and A. Ogura	明治大学，豊田工業大学	Investigation of Electronic Chemical Properties in SiN Passivation Layer on Crystalline Si by X-ray Photoelectron Spectroscopy	The 6th World Conference on Photvoltaic Energy Conversion (WCPEC-6	有	2014
505	T. Tachibana, D. Takai, T. Kojima, A. Ogura, and Y. Ohshita	豊田工業大学，明治大学	Study of carrier recombination at crystalline defects induced by SiNx plasma CVD	The 6th World Conference on Photvoltaic Energy Conversion (WCPEC-6)	有	2014

506	T. Uno, K. Sato, A. Ogura, and H. Ono	明治大学、神奈川県産技セ	Oxygen Precipitation around Grain Boundaries in Multicrystalline Silicon for Solar Cells	The 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion(WCPEC-6)	有	2014
507	K. Sato, A. Ogura, and H. Ono	明治大学、神奈川県産技セ	Annealing Behavior of Electrically Active Nitrogen-Oxygen Complexes in Cast-grown Silicon Crystal	The 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion(WCPEC-6)	有	2014
508	M. Tajima, G. Kato, Y. Iwata, K. Komatsu, H. Toyota and A. Ogura	明治大学, JAXA 宇宙研	Characterization of Dislocations and Oxygen Precipitates in Photovoltaic Si by Deep-Level Photoluminescence	The 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion(WCPEC-6)	有	2014
509	M. Tajima, K. Tanaka, K. Nakagawa, M. Toyota and A. Ogura	明治大学, JAXA 宇宙研	Quantitative Analysis of Donor and Acceptor Impurities in Photovoltaic Si by Photoluminescence Spectroscopy	Proc. 7th Forum on the Science and Technology of Silicon Materials 2014, Oct. 19-22, 2014, Hamamatsu, Japan, pp. 266 - 273	無	2014
510	Y. Yamashita, N. Ikeno, H. Tokutake, T. Tachibana, A. Ogura, and Y. Ohshita	明治大学, 豊田工業大学	XPS and XRR Study of Electronic Chemical Properties in Surface SiN Passivation on Crystalline Si	29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (29th EU PVSEC)	有	2014
511	T. Tachibana, D. Takai, Y. Yamashita, N. Ikeno, H. Tokutake, K. Nagata, A. Ogura, and Y. Ohshita	豊田工業大学，明治大学	Effects of Texture Structure on Crystalline Damage Induced by SiNx Plasma CVD	29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (29th EU PVSEC)	有	2014
512	山下祥弘	池野成裕，立花福久，大下祥雄，	結晶 Si 太陽電池における SiN パッシベーション膜および界面の X 線による評価	第 75 回応用物理学会秋季学術講演会 (19p-A25-15)	有	2014

		小椋厚志				
513	宇野匠、佐藤邦孝、小椋厚志、小野春彦	明治大学、神奈川県産技セ	キャスト成長多結晶シリコン中の酸素析出物分布と粒界との関係	第 75 回応用物理学会秋季学術講演会 (18p-A25-8)	無	2014
514	佐藤邦孝、小椋厚志、小野春彦	明治大学、神奈川県産技セ	多結晶シリコン中の窒素酸素複合体の熱処理挙動	第 75 回応用物理学会秋季学術講演会 (18p-A25-8)	無	2014
515	T. Uno, K. Sato, A. Ogura, and H. Ono	明治大学、神奈川県産技セ	Precipitation of Oxygen and Nitrogen around Grain Boundaries in Multicrystalline Silicon for Solar Cells	24th Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells & Modules: Materials and Processes [NREL2014]		2014
516	G. Kato, M. Tajima, H. Toyota and A. Ogura	明治大学, JAXA 宇宙研	Polarized photoluminescence imaging analysis around small-angle grain boundaries in multicrystalline silicon wafers for solar cells	24th Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells & Modules: Materials and Processes [NREL2014] pp. 77 – 81.	無	2014
517	M. Tajima, M. Forster, K. Tanaka, H. Toyota and A. Ogura	明治大学, JAXA 宇宙研, Appolon Solar	Donor and acceptor levels in highly-doped and compensated Si for photovoltaic application studied by donor-acceptor pair luminescence	E-MRS 2014 Spring Meeting, Lille, May 26 - May 30, 2014	無	2014
518	T. Tachibana, H. Tokutake, N. Aizawa, N. Ikeno, A. Ogura, and Y. Ohshita	豊田工業大学，明治大学	Study of defects by plasma CVD at the surface of silicon substrate	12th Internatinal Workshop on Beam Injection Assessment of Microstructures in Semiconductors (BIAMS 12)	有	2014
519	加藤 言, 田島道夫, 豊田裕之, 小椋厚志	明治大学, JAXA 宇宙研	太陽電池用多結晶 Si 中における小角粒界の偏光 PL イメージング解析	第 61 回応用物理学会春季学術講演会 (2014.03.17-20, 青山学院大学), No. 19p-E12-6, p. 16-086.	無	2014
520	田中香次, 田島道夫, 豊田裕之, 小椋厚	明治大学, JAXA 宇宙研	高濃度・高補償比 Si 結晶で形成される不純物帯の PL 解析	第 61 回応用物理学会春季学術講演会 (2014.03.17-20, 青山	無	2014

	志			学院大学), No. 19p-E12-8, p. 16-088.		
521	M. Funakoshi, T. Tachibana, Y. Ohshita, K. Arafune, and A. Ogura	明治大学, 豊田工業大学	Photoluminescence Evaluation of Fe Contamination at SA-GBs in Multi-crystalline Silicon	23rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-23)	有	2013
522	T. Tachibana, K. Sato, S. Sakuragi, H. Ono, A. Ogura, and Y. Ohshita	明治大学, 豊田工業大学，ユニオンマテリアル，神奈川産業技術センター	Suppression of Light Element Impurities Interfusion by Atmosphere Control during Crystal Growth	7th International Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells (CSSC7)	有	2013
523	M. Tajima, M. Forster, K. Tanaka, H. Toyota and A. Ogura	明治大学, JAXA 宇宙研, Appolon Solar	Revisiting Donor and Acceptor Levels in Highly Doped and Highly Compensated Si from the Viewpoint of Donor-Acceptor Pair Luminescence	7th International Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells (CSSC7)	有	2013
524	F. Okayama, M. Tajima, N. Miyazaki, R. Hirano, H. Toyota and A. Ogura	明治大学, JAXA 宇宙研，慶応大学	Relation between Deep-Level Photoluminescence and Structure of Small-Angle Grain Boundaries in Multicrystalline Si	15th International Conference on Defects - Recognition, Imaging and Physics in Semiconductors (DRIP-XV)	有	2013
525	田中香次，田島道夫，Maxime Forster，豊田裕之，小椋厚志	明治大学, JAXA 宇宙研, Appolon Solar	高濃度・高補償比 Si 結晶中のドナー・アクセプタ不純物の振舞	第 74 回応用物理学会秋季学術講演会 (2013.09.16-20，同志社大), No. 16p-A4-13, p. 16-051	無	2013
526	T. Tachibana, K. Sato, S. Sakuragi, A. Ogura, H. Ono, and Y. Ohshita	明治大学, 豊田工業大学，ユニオンマテリアル，神奈川産業	Evaluation of Silicon Ingot Grown with SiCl4 Adding in the Atmosphere During The Crystal Growth	23rd Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells & Modules: Materials and Processes	有	2013

		技術センター				
527	K. Tanaka, M. Tajima, M. Forster, K. Lauer, T. Bartel, F. Kirscht, H. Toyota and A. Ogura	明治大学, JAXA 宇宙研, Appolon Solar, CiSGmbH, Calisolar	Pair luminescence originating from P and As donors and B, Al and Ga acceptors in highly doped and highly compensated Si	23rd Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells & Modules: Materials and Processes	有	2013
528	M. Tajima, M. Forster, K. Tanaka, H. Toyota and A. Ogura	明治大学, JAXA 宇宙研, Appolon Solar	Electronic states of donor and acceptor impurities in highly doped and highly compensated Si	23rd Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells & Modules: Materials and Processes	有	2013
529	T. Tachibana, H. Kusunoki, S. Sakuragi, Y. Ohshita, H. Ono, and A. Ogura	明治大学, 豊田工業大学，ユニオンマテリアル，神奈川産業技術センター	Suppression of Crystalline Defects at the Edge of Ingots Grown by Unidirectional Solidification under Controlled Wettability Conditions	39th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (39th IEEE PVSC)	有	2013
530	船越正輝，宮崎直人，土屋佑樹，立花福久, 大下祥雄, 新船幸二，小椋厚志	明治大学, 豊田工業大学，兵庫県立大学	太陽電池用多結晶 Si 中の小角粒界における鉄汚染の影響	第 60 回応用物理学関係連合講演会 (30a-A4-10)	有	2013
531	加藤言，岡山太, 徳丸慎司, 佐藤力樹，豊田裕之，田島道夫，小椋厚志	明治大学, JAXA 宇宙研，新日鐵住金，新日鐵テクノリサーチ	太陽電池用多結晶 Si における小角粒界のフォトルミネッセンス解析	第 60 回応用物理学会春季学術講演会 (2013.03.27-30, 神奈川工科大学), No. 30a-A4-8, p. 16-112	無	2013
532	岡山太，宮崎直人，平野梨伊, 田島道夫, 豊田裕之，小	明治大学, JAXA 宇宙研	多結晶 Si ウエハー中の小角粒界のフォトルミネッセンス解析	第 60 回応用物理学会春季学術講演会 (2013.03.27-30, 神奈川工科大学), No.	無	2013

	椋厚志			30a-A4-7, p. 16-111		
533	田中香次，田島道夫，Maxime Forster，豊田裕之，小椋厚志		高補償比 B, P, Ga 添加 Si 結晶のフォトルミネッセンス解析	第 60 回応用物理学会春季学術講演会 (2013.03.27-30, 神奈川工科大学), No. 30p-A4-1, p. 16-116	無	2013
534	李建永，Ronit Prakash，Dierre Benjamin，陳君, 関口隆史, 原田博文，宮村佳児，大下祥雄，柿本浩一，小椋厚志	物質・材料研究機構。九州大学、明治大学、豊田工大	太陽電池用鋳造多結晶シリコン中の SiNx 不純物の析出	日本応用物理学会（春）	無	2013
535	N. Miyazaki, Y. Tsuchiya, M. Funakoshi, T. Tachibana, T. Kojima, S. Sakuragi, Y. Ohshita, K. Arafune, and A. Ogura	明治大学，豊田工業大学，ユニオンマテリアル，兵庫県立大学	Evaluation of Crystalline Defects in Quasi-Mono Silicon Ingots	The 6th International Symposium on Advanced Science and Technology of Silicon Materials	有	2012
536	M. Tajima	明治大学，JAXA 宇宙研	Quantification of Donor and Acceptor Impurities in Photovoltaic Si by Photoluminescence Spectroscopy	The 6th International Symposium on Advanced Science and Technology of Silicon Materials, pp. 207 - 210	有	2012
537	K. Tanaka, M. Tajima, M. Forster, H. Toyota and A. Ogura	明治大学，JAXA 宇宙研，Appolon Solar	Donor-acceptor pair luminescence in Si co-doped with B, P and Ga	The 6th International Symposium on Advanced Science and Technology of Silicon Materials, pp. 234 - 237	有	2012
538	H. Hashiguchi, T. Tachibana,	明治大学，豊田工業	Ion shower doping for selective emitter formation in crystalline	22nd International Photovoltaic Science	有	2012

	M. Aoki, T. Kojima, Y. Ohshita, and A. Ogura	大学	silicon solar cells	and Engineering Conference (PVSEC-22)		
539	T. Tachibana, Y. Tsuchiya, N. Miyazaki, S. Sakuragi, and A. Ogura	明治大学, ユニオンマテリアル	Evaluation of crystalline silicon ingots fabricated under suppressed wettability	22nd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-22)	有	2012
540	H. Hashiguchi, T. Tachibana, M. Aoki, T. Kojima, Y. Ohshita, and A. Ogura	明治大学, 豊田工業大学	Monocrystalline Si Solar Cells with Selective Emitter Structure Formed by Ion Shower Doping Technique	2012 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2012)	有	2012
541	T. Tachibana, N. Miyazaki, Y. Tsuchiya, M. Funakoshi, S. Sakuragi, and A. Ogura	明治大学, ユニオンマテリアル,	Silicon Crystal Growth under Suppressed Wettability Conditions	22nd Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells & Modules: Materials and Processes	有	2012
542	M. Tajima, T. Iwai, K. Tanaka, F. Okayama, Y. Iwata, H. Toyota and A. Ogura	明治大学, JAXA 宇宙研	Quantification of dopant impurities and defect analysis in photovoltaic Si by photoluminescence	22nd Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells & Modules: Materials and Processes, pp. 55 - 61	有	2012
543	K. Tanaka, M. Tajima, S. Dubois, J. Veirman, and A. Ogura	明治大学, JAXA 宇宙研, CEA-INES	Photoluminescence analysis of donor and acceptor impurities in highly compensated solar-grade Si	22nd Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells & Modules: Materials and Processes, pp. 89 - 93	有	2012
544	H. Hashiguchi, T. Tachibana, M. Aoki, T. Kojima, Y. Ohshita, and	明治大学, 豊田工業大学	Ion Shower Doping for Emitter Fabrication in Crystalline Si Solar Cells	38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (38th IEEE PVSC), K6(#633)	有	2012

	A. Ogura					
545	N. Miyazaki, Y. Tsuchiya, T. Sameshima, T. Tachibana, T. Kojima, Y. Ohshita, K. Arafune and A. Ogura	明治大学, 豊田工業大学, 兵庫県立大学	Behaviors of Fe and Ni at Crystal Defects in Multi-crystalline Silicon by Intentional Contamination and Phosphorus Gettering	38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (38th IEEE PVSC), L14(#88)	有	2012
546	Y. Tsuchiya, H. Kusunoki, N. Miyazaki, T. Sameshima, T. Tachibana, T. Kojima, K. Arafune, Y. Ohshita, H. Ono, and A. Ogura	明治大学, 豊田工業大学, 兵庫県立大学, 神奈川県産業技術センター	Correlation between Carbon Incorporation and Defect Formation in Quasi-Single Crystalline Silicon	38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (38th IEEE PVSC), M4(#94)	有	2012
547	立花福久，土屋佑樹，宮崎直人，櫻木史郎，小椋厚志	明治大学, ユニオンマテリアル	溶液結晶化法により作製した結晶シリコンインゴットの評価	第 73 回応用物理学会学術講演会 (12p-F6-1)	有	2012
548	橋口裕樹，立花福久，青木真理，小島拓人, 大下祥雄, 小椋厚志	明治大学, 豊田工業大学	イオンシャワー注入法を用いた太陽電池の作製および評価	第 73 回応用物理学会学術講演会 (11p-F7-5)	有	2012
549	楠木宏毅，立花福久，小椋厚志，小野春彦	明治大学, 神奈川産業技術センター	擬似単結晶シリコン中の種結晶から混入する酸素の濃度分布	太陽電池材料開発の現在と未来-第 5 回半導体若手ワークショップ-	有	2012
550	李建永,関口隆史， Ronit Prakash, 宮村佳児,原田博文,柿本浩一, 小椋厚志	物質・材料研究機構, 九州大学、明治大学	Precipitation behavior of light element impurities in cast silicon	JSPS Si symposium	無	2012
551	李 建永, 関口	物質・材料	大粒径多結晶シリコンにお	日本応用物理学会	無	2012

	隆史，原田博文, 宮村佳児, 陳 君, 大下祥雄, 柿本浩一, 小椋厚	研究機構、九州大学、明治大学	ける軽元素の析出挙動	（春）		
552	李建永，ロニトプラカシュ，ベンジャミンディエル、陳君，関口隆史,原田博文，宮村佳児, 大下祥雄, 柿本浩一，小椋厚志	物質・材料研究機構、明治大学、豊田工大、九州大学	多結晶シリコンにおける軽元素析出物のカソードルミネッセンス分析	日本応用物理学会（秋）	無	2012
553	M. Tajima	明治大学, JAXA 宇宙研	Photoluminescence techniques for materials characterization: From electronic to photovoltaic Si	Abstracts of E-MRS 2012 Spring Meeting, Symposium A、No. 5-1（口頭；招待講演）	無	2012
554	宮崎直人，土屋佑樹，鮫島崇, 立花福久, 小島拓人，大下祥雄，新船幸二，小椋厚志	明治大学, 豊田工業大学，兵庫県立大学	強制汚染およびリンゲッタリングによる多結晶 Si 中の鉄およびニッケルの挙動	2012 年春季第 59 回応用物理学関係連合講演会(17p-B10-14)	無	2012
555	楠木宏毅，立花福久，小島拓人，大下祥雄, 小椋厚志, 小野春彦	明治大学, 神奈川県産業技術センター, 豊田工業大学	シードキャスト法における種結晶シリコンからの酸素不純物の混入	2012 年春季第 59 回応用物理学関係連合講演会(17p-B10-6)	無	2012
556	立花福久，楠木宏毅，土屋佑樹, 鮫島崇, 小島拓人，新船幸二，柿本浩一，宮村佳	明治大学, 神奈川県産業技術センター, 豊田工業大学，兵庫	疑似単結晶シリコン中の軽元素不純物が結晶欠陥に与える影響	2012 年春季第 59 回応用物理学関係連合講演会(17p-B10-5)	無	2012

	児, 原田博文, 関口隆史，大下祥雄，小野春彦，小椋厚志	県立大学, NIMS，九州大学				
557	岡山太，田島道夫，豊田裕之，小椋厚志	明治大学, JAXA 宇宙研	多結晶 Si セルにおける深い準位の高速フォトルミネッセンス分光イメージング法	第 59 回応用物理学会関係連合講演会予稿集，p. 16-083	無	2012
558	田中香次，田島道夫，小椋厚志，Sébastien Dubois，Jordi Veirman	明治大学, JAXA 宇宙研, CEA-INES	PL による太陽電池用高補償比 Si 結晶のドナー・アクセプタ不純物定量	第 59 回応用物理学会関係連合講演会予稿集，p. 16-081	無	2012
559	M. Tajima, K. Komatsu, Y. Iwata, F. Okayama, and H. Toyota	明治大学, JAXA 宇宙研	Photoluminescence Analysis of Oxygen Precipitation around Small-Angle Grain Boundaries in Multicrystalline Silicon	21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-21) No. 2A-1O-03	無	2011
560	T. Sameshima, N. Miyazaki, Y. Tsuchiya, T. Tachibana, Y. Ohshita, K. Arafune, and A. Ogura	明治大学, 豊田工業大学，兵庫県立大学	GETTERING EFFECT ON RECOMBINATION PROPERTIES AT INTRA-GRAIN DEFECTS IN MULTICRYSTALLINE SILICON	21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-21), 2D-1P-08	無	2011
561	T. Tachibana, T. Sameshima, T. Kojima, K. Arafune, K. Kakimoto, Y. Miyamura, H. Harada, T. Sekiguchi, Y. Ohshita, and A. Ogura	明治大学, 豊田工業大学，兵庫県立大学, NIMS，九州大学	STUDY OF CRYSTALLINE DEFECT GENERATION CAUSED BY LIGHT ELEMENT IMPURITIES IN SILICON SUBSTRATE	21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-21), 2D-1P-15	無	2011
562	Michio	明治大学,	Towards the Quantification of	5th International	無	2011

	Tajima, Takaaki Iwai, Kenji Komatsu, Koji Tanaka and Hiroyuki Toyota	JAXA 宇宙研	Donor, Acceptor and Light-Element Impurities in Solar-Grade Si by Photoluminescence	Workshop on Science and Technology of Crystalline Si Solar Cells (CSSC-5)（口頭；招待講演）		
563	T. Sameshima, Y. Tsuchiya, N. Miyazaki, T. Tachibana, Y. Ohshita, K. Arafune, and A. Ogura	明治大学，豊田工業大学，兵庫県立大学	Impacts of Metal Impurities on Recombination Properties at Small Angle Grain Boundaries in Multicrystalline Silicon for Solar Cells	220th Electrochemical Society (ECS) Meeting, Abstract #1988	無	2011
564	T. Tachibana, T. Sameshima, T. Kojima, K. Arafune, K. Kakimoto, Y. Miyamura, H. Harada, T. Sekiguchi, Y. Ohshita, and A. Ogura	明治大学，豊田工業大学，兵庫県立大学，NIMS，九州大学	Impact of Light-Element Impurities on Crystalline Defect Generation in Silicon Wafer	2011 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2011), L-9-3	無	2011
565	T. Sameshima, N. Miyazaki, Y. Tsuchiya, T. Tachibana, Y. Ohshita, K. Arafune, and A. Ogura	明治大学，豊田工業大学，兵庫県立大学	EBIC Study on Metal Contamination at Intra Grain Defects in Multicrystalline Silicon for Solar Cells	14th International Conference on Defects - Recognition, Imaging and Physics in Semiconductors (DRIP XIV), PM-10	無	2011
566	T. Tachibana, T. Sameshima, T. Kojima, K. Arafune, K. Kakimoto, Y. Miyamura, H. Harada, T. Sekiguchi, Y.	明治大学，豊田工業大学，兵庫県立大学，NIMS，九州大学	Evaluation of Silicon Substrate Fabricated by Seeding Cast Technique	14th International Conference on Defects - Recognition, Imaging and Physics in Semiconductors (DRIP XIV), B-3	無	2011

	Ohshita, and A. Ogura					
567	T. Tachibana, T. Sameshima, N. Miyazaki, T. Kojima, K. Arafune, K. Kakimoto, Y. Miyamura, H. Harada, T. Sekiguchi, Y. Ohshita, and A. Ogura	明治大学, 豊田工業大学, 兵庫県立大学, NIMS, 九州大学	Evaluation of Crystalline Defects in Silicon Ingots Fabricated by Seeding Cast Growth	26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (26th EU PVSEC), 2BV.4.39	無	2011
568	宮崎直人，土屋佑樹，鮫島崇, 立花福久, 大下祥雄，新船幸二，小椋厚志	明治大学, 豊田工業大学，兵庫県立大学	アルミゲッタリングによる太陽電池用多結晶 Si 中の結晶粒界での少数キャリア再結合の挙動	2011 年秋季第 72 回応用物理学会学術講演会(1p-ZH-13)	無	2011
569	立花福久，鮫島崇，小島拓人, 新船幸二, 柿本浩一，宮村佳児，原田博文，関口隆史, 大下祥雄, 小椋厚志	明治大学, 豊田工業大学，兵庫県立大学, NIMS，九州大学	種結晶を用いて作製したシリコン基板中の結晶欠陥に関する評価(2)	2011 年秋季第 72 回応用物理学会学術講演会(1p-ZH-10)	無	2011
570	鮫島崇，土屋佑樹，宮崎直人, 立花福久, 大下祥雄，新船幸二，小椋厚志	明治大学, 豊田工業大学，兵庫県立大学	太陽電池用多結晶 Si 中の小角粒界における金属不純物が少数キャリア再結合い与える影響	2011 年秋季第 72 回応用物理学会学術講演会(1p-ZH-7)	無	2011
571	M. Tajima, T. Iwai, Y. Iwata, F. Okayama, K. Tanaka, and H. Toyota	明治大学, JAXA 宇宙研	Impurity and Defect Analysis in Solar Cell Si by Photoluminescence Spectroscopy and Topography	MRS Workshop on Photovoltaic Materials and Manufacturing Issues II(口頭;招待講演)	無	2011
572	F. Okayama,	明治大学,	Deep-Level Photoluminescence	Proceedings of the	無	2010

	Y. Iwata, M. Tajima, Y. Ohshita, and A. Ogura	JAXA 宇宙研	Analysis at Room Temperature in Small-Angle Grain Boundaries in Multicrystalline Silicon	Forum on the Science and Technology of Silicon Materials 2010, pp. 388-393		
573	T. Iwai, M. Tajima, and A. Ogura	明治大学, JAXA 宇宙研	Photoluminescence analysis of high concentrations of donor and acceptor impurities in Si	Proceedings of the Forum on the Science and Technology of Silicon Materials 2010, pp. 394-400	無	2010
574	T. Tachibana, T. Sameshima, Y. Ohshita, K. Arafune, and A. Ogura	明治大学, 豊田工業大学，兵庫県立大学	Influence of high temperature annealing on electrical activity at small angle grain boundaries in multi-crystalline silicon for solar cells	Proceedings of the Forum on the Science and Technology of Silicon Materials 2010, pp. 383-387	無	2010
575	立花福久,鮫島崇,小島拓人,新船幸二,柿本浩一,宮村佳児,原田博文,関口隆史,大下祥雄,小椋厚志	明治大学, 豊田工業大学，兵庫県立大学, NIMS，九州大学	種結晶を用いて一方向凝固法で作製したシリコン基板の評価	2010 年第 58 回応用物理学関係連合講演会(27a-BL-2)	無	2010
576	岡山太，岩田恭彰，田島道夫, 大下祥雄, 小椋厚志	明治大学, JAXA 宇宙研	多結晶 Si における小角粒界近傍の深い準位の室温フォトルミネッセンス解析	2011 年春季 第 58 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, p. 16-085	無	2010
577	岩井隆晃，田島道夫,小椋厚志	明治大学, JAXA 宇宙研	フォトルミネッセンスによる低純度太陽電池用 Si の不純物評価	2011 年春季 第 58 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, p. 15-327	無	2010
578	M. Funakoshi, N. Ikeno, T. Tachibana, Y. Ohshita, K. Arafune, and A. Ogura	明治大学, 豊田工業大学，兵庫県立大学	Room-temperature photoluminescence evaluation of small-angle grain boundaries in multicrystalline silicon	Japanese Journal of Applied Physics 53 (2014) pp. 112401-1 - 112401-3	有	2014
579	T. Tachibana, K. Sato, H. Kusunoki, S.	明治大学, 豊田工業大学，ユニ	Evaluation of Silicon Ingot with Addition of SiCl4 in Atmosphere during	IEEE Journal of Photovoltaics Vol.4 No.2 (2014) pp. 581 -	有	2014

	Sakuragi, Y. Ohshita, H, Ono, and A. Ogura	オンマテリアル，神奈川産業技術センター	Unidirectional Solidification	584		
580	宮村佳児,関口隆史,陳君,李建永、渡辺健太郎、熊谷和博、小椋厚志	物質・材料研究機構	Focused Ion Beam Imaging of Defects in Multicrystalline Si for Photovoltaic Application	Acta Physica Polonca A, 125 (2014) 991-993	有	2014
581	G. Kato, M. Tajima, F. Okayama, S. Tokumaru, R. Sato, H. Toyota and A. Ogura	明治大学, JAXA 宇宙研，新日鐵住金，新日鐵テクノリサーチ	Photoluminescence Analysis of Oxygen Precipitation around Small-Angle Grain Boundaries in Multicrystalline Silicon Wafers	Acta Physica Polonica A, Vol. 125, No. 4, pp. 1010 - 1012.	有	2014
582	G. Kato, M. Tajima, H. Toyota and A. Ogura	明治大学, JAXA 宇宙研	Polarized photoluminescence imaging analysis around small-angle grain boundaries in multicrystalline silicon wafers for solar cells	Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 53, No. 8, pp. 080303-1 - 080303-3.	有	2014
583	M. Tajima	明治大学, JAXA 宇宙研	Spectroscopy and Topography of Deep-Level Luminescence in Photovoltaic Silicon	IEEE J. Photovoltaics, Vol. 4, No. 6, pp. 1452 – 1458.	有	2014
584	H. Hashiguchi, T. Tachibana, M. Aoki, T. Kojima, Y. Ohshita, and A. Ogura	明治大学, 豊田工業大学	Formation of Si2N2O Microcrystalline Precipitates near the Quartz Crucible Wall Coated with Silicon Nitride in Cast-Grown Silicon	Applied Physics Express 6 (2013) pp. 081303-1 - 081303-4.	有	2013
585	李建永, PRAKASHRonit Roneel, JIPTNER Karolin, 陳君, 原田博文, 宮村佳児, 柿本	物質・材料研究機構, 明治大	Butterfly-shaped distribution of SiNx precipitates in multi-crystalline Si for solar cells	J. Cryst. Growth. 377 （2013） 37-42	有	2013

	浩一,小椋厚志,関口隆史					
586	M. Tajima, K. Tanaka, M. Forster, H. Toyota and A. Ogura	明治大学, JAXA 宇宙研, Appolon Solar	Donor-acceptor pair luminescence in B and P compensated Si co-doped with Ga	J. Appl. Phys., Vol. 113, No. 24, pp. 243701-1 ~ 5.	有	2013
587	T. Tachibana, T. Sameshima, T. Kojima, K. Arafune, K. Kakimoto, Y. Miyamura, H. Harada, T. Sekiguchi, Y. Ohshita, and A. Ogura	明治大学, 豊田工業大学，兵庫県立大学, NIMS，九州大学	Evaluation of Silicon Substrates Fabricated by Seeding Cast Technique	Materials Science Forum Vol. 725 (2012) pp. 133 - 136.	有	2012
588	T. Sameshima, N. Miyazaki, Y. Tsuchiya, T. Tachibana, Y. Ohshita, K. Arafune, and A. Ogura	明治大学, 豊田工業大学，兵庫県立大学	EBIC Study on Metal Contamination at Intra Grain Defects in Multicrystalline Silicon for Solar Cells	Materials Science Forum Vol. 725 (2012) pp. 129 - 132	有	2012
589	M. Tajima, Y. Iwata, F. Okayama, H. Toyota, T. Sekiguchi, H. Onodera	明治大学, JAXA 宇宙研，物材研	Deep-Level Photoluminescence Due to Dislocations and Oxygen Precipitates in Multicrystalline Si	J. Appl. Phys. 111(11) 113523-1~6	有	2012
590	T. Tachibana, T. Sameshima, T. Kojima, K. Arafune, K. Kakimoto, Y. Miyamura, H. Harada, T. Sekiguchi, Y. Ohshita, and	明治大学, 豊田工業大学，兵庫県立大学, NIMS，九州大学	Evaluation of defects generation in crystalline silicon ingot grown by cast technique with seed crystal for solar cells	J. Appl. Phys. 111, 074505-1~5	有	2012

	A. Ogura					
591	T. Sameshima, N. Miyazaki, Y. Tsuchiya, H. Hashiguchi, T. Tachibana, T. Kojima1, Y. Ohshita, K. Arafune, and A. Ogura	明治大学，豊田工業大学，兵庫県立大学	Interaction between Metal Impurities and Small-Angle Grain Boundaries on Recombination Properties in Multicrystalline Silicon for Solar Cells	Appl. Phys. Express 5, 042301-1~3	有	2012
592	F. Okayama, M. Tajima, H. Toyota, and A. Ogura	明治大学，JAXA 宇宙研	High-speed Deep-level Luminescence Imaging in Multicrystalline Si Solar Cells	Mater. Sci. Forum, Vol. 725, pp. 149-152	有	2012
593	T. Tachibana, T. Sameshima, T. Kojima, K. Arafune, K. Kakimoto, Y. Miyamura, H. Harada, T. Sekiguchi, Y. Ohshita, and A. Ogura	明治大学，豊田工業大学，兵庫県立大学，NIMS，九州大学	Impact of Light-Element Impurities on Crystalline Defect Generation in Silicon Wafer	Jpn. J. Appl. Phys. 51, 02BP08-1~3	有	2012
594	T. Sameshima, Y. Tsuchiya, N. Miyazaki, T. Tachibana, Y. Ohshita, K. Arafune, and A. Ogura	明治大学，豊田工業大学，兵庫県立大学	Impacts of Metal Impurities on Recombination Properties at Small Angle Grain Boundaries in Multicrystalline Silicon for Solar Cells	ECS Transactions 41 (4), pp29-36	有	2011
595	M. Tajima, T. Iwai, H. Toyota, S. Binetti, and D. Macdonald	明治大学，JAXA 宇宙研	Donor-Acceptor Pair Luminescence in Compensated Si for Solar Cells	J. Appl. Phys. 110(4) 043506-1 ～5	有	2011

受賞実績
〈九州大学〉
受賞者　高　冰
受賞タイトル　日本結晶成長学会第八回奨励賞
受賞内容　「結晶シリコン中の不純物制御に関する基礎研究」、
授賞団体・機関：日本結晶成長学会
受賞年月日：2010 年 8 月 8 日

<NIMS>
受賞者：Karolin Jiptner
受賞のタイトル：International Conference on Defect Recognition, Imaging and Physics of Semiconductors (DRIP-XIV)　Young Scientist Award
受賞内容：「Effect of Si3N4 coating on stress distribution and fracture of cast-Si ingots」の講演に対して
授賞団体・機関：DRIPIXV 組織委員会
授賞年月日：2010 年 9 月 28 日

受賞者：K. Jiptner
受賞のタイトル：12th Int. Conf. of Beam Injection Assessment of Microstructures in Semiconductors　Poster Award
受賞内容：「Effectof Si3N4 Coating on Strain and Fracture of Si Ingot」の発表に対して
授賞団体・機関：BIAMS Scientific Committee
授賞年月日：2014/6/22

受賞者：R.R. Prakash
受賞のタイトル：12th Int. Conf. of Beam Injection Assessment of Microstructures in Semiconductors　Poster Award
受賞内容：「Analysis of Grain Structure of Multicrystalline Silicon Grown from Microcrystal Template」の発表に対して
授賞団体・機関：BIAMS Scientific Committee
授賞年月日：2014/6/22

〈京都大学〉
受賞者：Kentaro Kutsukake
タイトル：Young Researcher Paper Award
受賞内容：『Study of dislocation generation during two-dimmensional growth of multicrystalline silicon』
受賞団体：21th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-21)
受賞年月日：2011 年 12 月 2 日

受賞者：沓掛健太朗
タイトル：イノベイティブＰＶ奨励賞
受賞内容：『多結晶シリコンのインゴット成長過程における転位形成機構』
受賞団体：第 8 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム
受賞年月日：2011 年 7 月 1 日

受賞者：Kazuo Nakajima
タイトル：CGCT Distinguished Engineer Award 2011
受賞内容：『The development of the dendritic casting method of silicon multi-crystal growth for the Production of high-efficiency, large-scale solar cells』
受賞団体：The 5th Asian Conference on Crystal Growth and Crystal Technology (CGCT-5)
受賞年月日：2011 年 6 月 29 日

〈東北大学〉
受賞者：Noritaka Usami
タイトル：Best Poster Award
受賞内容：The 38th IEEE Photovoltaic Specialist Conference の Area 4　Crystalline Silicon の最優秀ポスター（約 140 件中の最優秀）
授賞団体：IEEE Photovoltaic Specialist Conference Program Committee
受賞年月日：2012 年 6 月 7 日

〈名古屋大学〉
受賞者：Supawan Joonwichien
タイトル：Young Investigator Award
受賞内容：Interaction between impurities and different defect types and their impact on electrical properties in multicrystalline Si
受賞団体：東北大学研究所連携プロジェクト
受賞年月日：H25 年 2 月 5 日

受賞者：Supawan Joonwichien
タイトル：薄膜太陽電池奨励賞
受賞内容：Floating cast method for growing high-quality multicrystalline silicon ingot: effect of non-uniform removal Si melt on conversion efficiencies
受賞団体：第 5 回薄膜太陽電池セミナー2013
受賞年月日：H25 年 11 月 14-15 日

受賞者：Takuya Hiramatsu
タイトル：Young researcher poster award
受賞内容：Calculation of temperature distribution for controlling growth of dendrite crystals to decrease dislocation density in a multicrystalline Silicon ingot

受賞団体：The 7th Forum on the Science and Technology of Silicon Materials 2014
受賞年月日：H26 年 10 月 19-22 日

〈三菱電機〉
受賞者：西村　慎也
タイトル：Young Researcher Award
受賞内容：『Over 21% Efficiency of n-Type Monocrystalline Silicon Passivated Emitter and Rear Totally Diffused Photovoltaic Cell with Boron Emitter』
授賞団体：WCPEC-6
受賞年月日：2014 年 11 月 26 日

〈シャープ〉
受賞者：C.Okamoto, N.Asano, T.Hieda, R.Suganuma, T.Tadokoro, M.Kobayashi, Y.Matsumoto, J.Nakamura，K.Nakamura
タイトル：Poster Award
受賞内容：『INFLUENCE OF A-SI: H / C-SI INTERFACE PROPERTIES ON PERFORMANCE OF HETERO-JUNCTION BACK CONTACT SI SOLAR CELLS』
授賞団体：EU PVSEC 2014
受賞年月日：2014 年 9 月 26 日

<AIST>
受賞者：徳久英雄、吉田学、伊東宇一、鎌田俊英、住田勲勇、関根重信
受賞タイトル：Best Poster Award
受賞内容：GLASS-FRITLESS CU ALLOY PASTES FOR SILICON SOLAR CELLS RECQUIRING LOW TEMPERATURE SINTERING
受賞団体：IEEE electron devices society
受賞年月日：2011 年 6 月 21 日

<NAIST>
受賞者：S.Takamoto
タイトル：Student Paper Award
受賞内容：『Evaluation of Substrate Defects by Temperature Dependence of Spectroscopic Electroluminescence』
受賞団体：21th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-21)
受賞年月日：2011 年 12 月 2 日

<明治大学>
受賞者：岡山太
受賞のタイトル：シリコン材料の科学と技術フォーラム　Young Researcher Poster Award

受賞内容：「Deep-Level Photoluminescence Analysis at Room Temperature in Small-Angle Grain Boundaries in Multicrystalline Silicon」の講演に対して
授賞団体・機関：シリコン材料の科学と技術フォーラム実行委員会
授賞年月日：2010 年 11 月 16 日

受賞者：岡山太
受賞のタイトル：第 34 回（2013 年春季）応用物理学会講演奨励賞
受賞内容：「多結晶 Si ウエハー中の小角粒界の顕微フォトルミネッセンス解析」の講演に対して
授賞団体・機関：応用物理学会
授賞年月日：2013 年 9 月 16 日

B　マルチワイヤーソーによるシリコンウエハ切断技術の研究開発

表Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(1)　研究開発毎の成果・達成度

実施項目	最終目標1-1		最終目標1-2		最終目標2	
ウエハ形状	125mm角 単結晶 （角部C面付）		156mm角 単結晶 （角部C面付）		156mm角 多結晶	
目標値、達成度	目標値	達成度	目標値	達成度	目標値	達成度
①ウエハ厚み（mm）	0.13	○	0.13	○	0.18	○
②カーフロス（μｍ）	＜120	○	＜120	○	＜120	○
③ダメージ層（μｍ）	≦5	○	≦5	○	≦5	○
④表面粗さRa（μｍ）	≦0.5	○	≦0.5	○	≦0.5	○
⑤切断速度（mm／min）	≧0.3	○	≧0.3	○	≧0.3	○
⑥ピアノ線比のワイヤ寿命	≧2倍	◎	≧2倍	◎	≧2倍	◎
⑦切断変動費の遊離砥粒比コストダウン	≧15%ﾀﾞｳﾝ	○	≧15%ﾀﾞｳﾝ	○	≧15%ﾀﾞｳﾝ	○
			○：目標達成、◎：目標超過達成			

表Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(2)　特許、論文、外部発表等の件数（内訳）

	特許出願			論文		その他外部発表（プレス発表等）
	国内	外国	PCT出願	査読付き	その他	
平成２２年度	0	0	0	0	0	研究発表・講演３件
平成２３年度	1	0	0	2	0	研究発表・講演３件 新聞発表１件
平成２４年度	1	1	1	0	4	研究発表・講演１件
平成２５年度	2	2	0	0	1	研究発表・講演２件
平成２６年度	0	0	0	0	4	研究発表・講演１件

1. 成果詳細

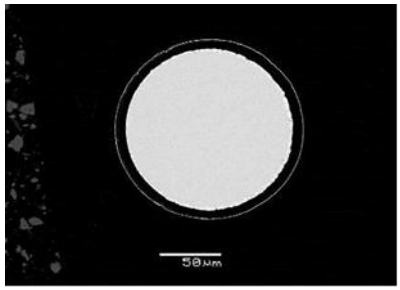
（１）最終目標と達成状況

開発に当たり、ウエハ厚み０．１３ｍｍ、カーフロス１２０μｍ未満、ダメージ層深さ５μｍ以下、ウエハ表面粗さ０．５μｍ以下、切断速度０．３ｍｍ／ｍｉｎ以上、ピアノ線に比較したワイヤ寿命２倍以上を個別の目標値に設定し、これらを総合して従来のＧＣ砥粒を用いた遊離砥粒方式に比較し切断変動費を１５％以上削減することを開発の目標とした。最終的に目標値は全て達成するに至った。

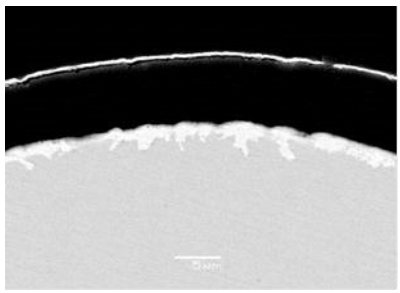
（２）切断メカニズムの解析と他の切断方式との比較

図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(1)にＲワイヤの断面を示す。ピアノ線に樹脂を均一にコーティングしたソーワイヤとなっている。図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(2)に各切断方式の切断メカニズムを、図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(3)にＲワイヤ切断時のシリコンの切粉の性状を示す。

Ｒワイヤでは樹脂が砥粒を抱え込み、鉋を掛けるようにシリコンを研削する。抱え込まれた砥粒はＲワイヤがシリコンインゴットの端部から出たところでＲワイヤから脱落し、切断が終わったＲワイヤには砥粒は残っていない。シリコンの切粉はカールした線状であり、延性モード加工となっている。またウエハ表面は微細なヘアライン状の線状痕となる。これに対し従来の切断方式である遊離砥粒方式では砥粒は回転しながらシリコンを研削し、ウエハ表面は梨地状のへき開痕となる。固定砥粒ではダイヤ砥粒はピアノ線にメッキで強固に固着されており、ウエハ表面はＲワイヤと遊離砥粒の中間的な痕跡となる。Ｒワイヤは従来の切断方式に比較して、シリコンに負荷の小さい切断になっているものと考えられる。

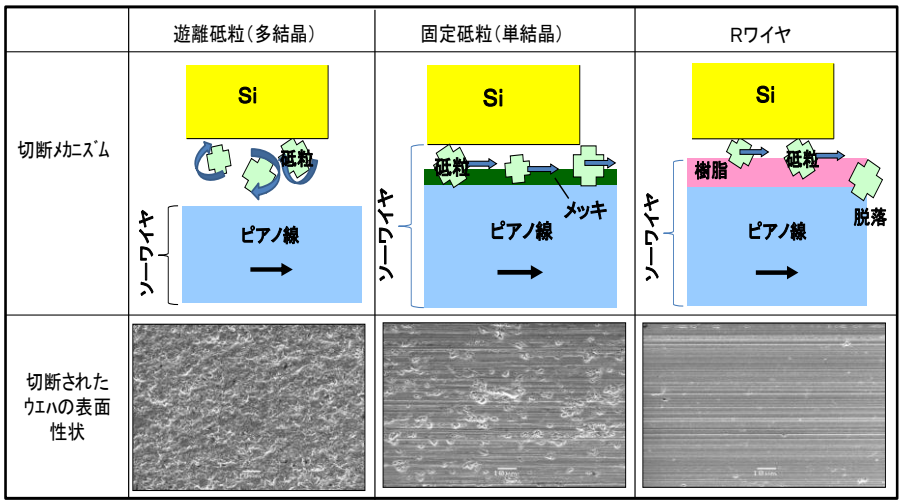


(a) 断面

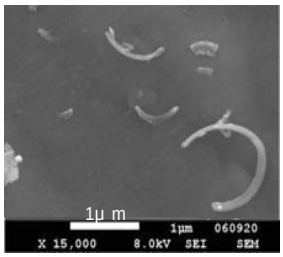


(b) 拡大図

図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(1) Ｒワイヤ



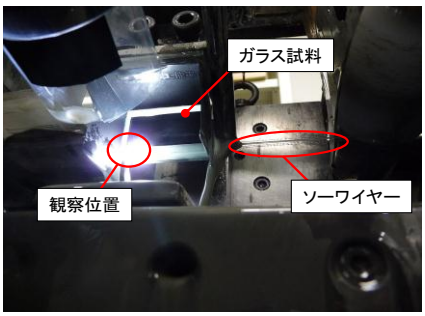
図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(2)　各切断方式の切断メカニズム



図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(3)
Ｒ ワイヤによるシリコン切粉の性状

（３）可視化実験

切断メカニズムの解析に際し、砥粒挙動の可視化実験を実施した。実験の様子を図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(4)に示す。ガラスをワイヤで切断して溝を設け、その切断溝をワイヤの反対側から高速度カメラで撮影し、砥粒の挙動を観察した。



図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(4)　可視化実験

その結果、遊離砥粒では砥粒は回転しながら、かつワイヤの速度に大きく遅れて進むこと、Ｒワイヤでは砥粒は回転せずにＲワイヤと同じ速度で進むことが確認された。この結果から図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(2)のメカニズムが導き出された。

（４）マルチワイヤーソーおよび関連設備の設置

平成 23 年 2 月にマルチワイヤーソー1 号機、および稼働に必要な巻替機、解線機を設置し切断実験を開始した。Ｒワイヤ対応とするため以下の改造を行った。

① ガイドローラの軽量化、②ガイドローラの材質変更、③トラバーサローラの材質変更、④スラリー飛散防止板の設置、⑤メインローラの軽量化、⑥予備スラリータンクの設置、⑦高効率熱交換器への変更

当初は素線（ピアノ線）径 120μｍに樹脂を 5μｍコーティングしたＲワイヤを用い、60ｘ50ｘ20ｍｍの小型の単結晶シリコンブロックを切断するところからスタートした。徐々に素線径とシリコンブロックの大きさを変え、最終的に素線径 100μｍに樹脂を 5μｍコーティングしたＲワイヤにて実サイズのシリコンインゴットを切断し、最終目標を達成するに至った。

1 号機では、まず加工油の選定およびＲワイヤ切断の基本的特性評価を実施し、Ｒワイヤの有効性を確認するに至った。このため平成 24 年 9 月に、ユーザ評価用のサンプルウエハの試作が可能なマルチワイヤーソー2 号機を設置し、切断条件の最適化とサンプルウエハの試作を開始した。2 号機では 1 号機の経験を踏まえ、1 号機での改造に加えて以下の改造を行った。

①スラリー配管のテフロン化によるダイヤ砥粒の装置内での滞留防止

②スラリー配管の平行部を無くしてダイヤ砥粒の装置内での滞留防止

③平板式熱交換器の採用によるダイヤ砥粒洗浄の簡便化

1 号機は設置以来 580 回、2 号機は 250 回の切断実験を行っており、装置改造、メンテナンスで休止させた以外はフル稼働で切断実験を積み重ねた。1 号機、2 号機の外観と主な仕様および巻替機、解線機の外観を図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(5)に示す。

【1号切断機】
・高線速の実験機（コベルコ科研に設置）
（線速:1200m/min）

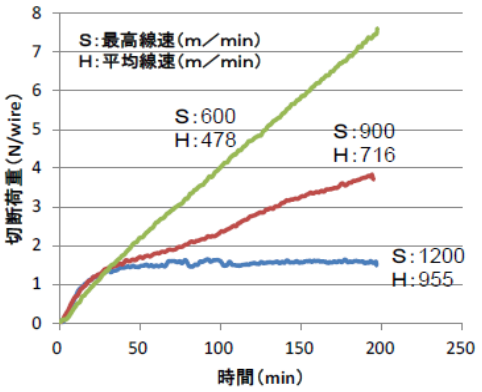
【2号切断機】
・高線速の量産機（切断メーカに設置）
（線速1300m/min）

（ａ）解線機　　（ｂ）巻替機　　（ｃ）マルチワイヤーソー

図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(5)　導入した実験用設備とその外観

図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(6)に線速を変化させた時の切断荷重の挙動を示す。切断荷重はシ

リコンを接着する台にロードセルを設置して計測した。切断荷重は切断初期に徐々に上がり、シリコンのフィード速度と砥粒の研削速度がバランスすると一定値となる。ワイヤ撓みも同様の挙動を示す。切断性が不足すると切断荷重は上がり続け、ワイヤ撓みが増加すると共に樹脂の磨滅が生じ、最終的に断線に至る。切断性が良好なほど飽和した時の荷重の一定値は低くなる。切断荷重はワイヤ撓みと共に、切断性を評価する重要なパラメータとなる。

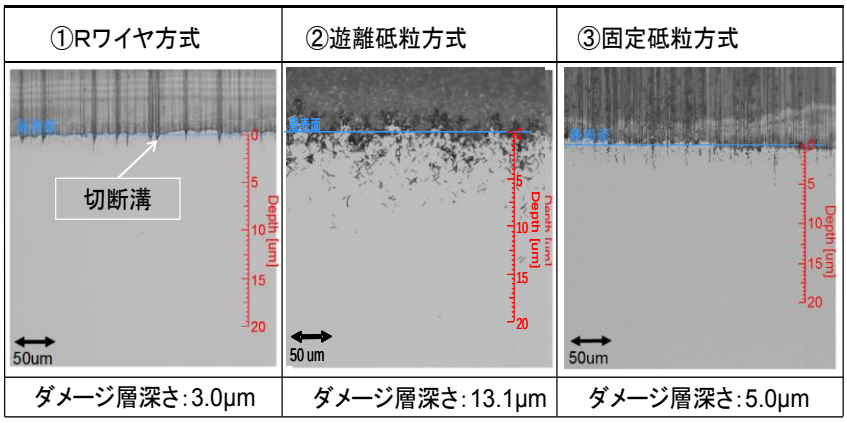


図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(6)　線速と荷重

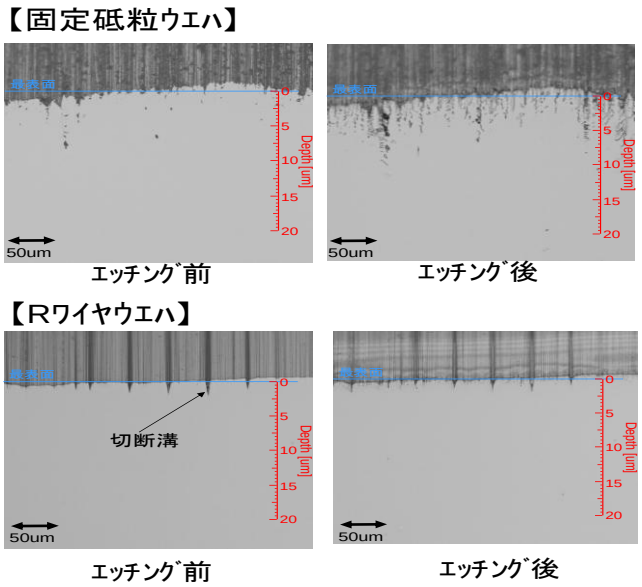
図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(6)の切断速度は線速の効果を際立たせるために、切断速度を 0.4ｍｍ／ｍｉｎと高く設定している。最高線速 1200ｍ／ｍｉｎ（平均 955ｍ／ｍｉｎ）では切断荷重は飽和し一定値となるが、最高線速 900ｍ／ｍｉｎ（716ｍ／ｍｉｎ）および最高線速 600ｍ／ｍｉｎ（478ｍ／ｍｉｎ）では切断荷重は一定値とならず上がり続ける。このため導入したマルチワイヤーソーの最高線速は 1 号機では 1200ｍ／ｍｉｎ、さらに 2 号機では 1300ｍ／ｍｉｎと当時最も高速の線速とした。

（５）ダメージ層の評価

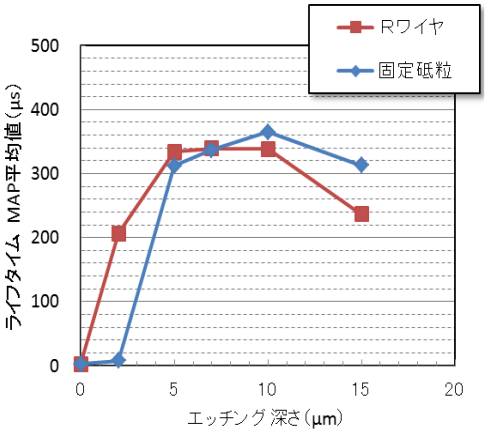
図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(7)に各切断方式で切断したウエハのダメージ層の比較を示す。Ｒワイヤは遊離砥粒、固定砥粒に比較してダメージ層が小さく切断後のウエハ表面のエッチング除去量が削減できる可能性が期待された。図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(8)に示すごとく、Ｒワイヤのダメージ層深さは主としてワイヤの往復運動に伴い周期的に形成される切断溝（ソーマーク）の深さで決まるが、遊離砥粒、固定砥粒では転位のエッチピットの深さで決まる。ダメージ層深さを決める因子が異なるためその効果をキャリアライフタイム測定により評価した。切断したウエハを薬液にてエッチングし、ライフタイムに影響を与える表面の未結合手を終端処理して測定を実施した。結果を図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(9)に示す。ウエハ表面から 5μｍ程度まではＲワイヤ切断によるダメージは固定砥粒に比べて小さいとの結果になっており、Ｒワイヤの優位性が確認された。将来、ウエハ表面のエッチング除去量が極限まで低減したときに効果を発揮するものと期待される。



図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(7)　各切断方式のダメージ層深さの比較



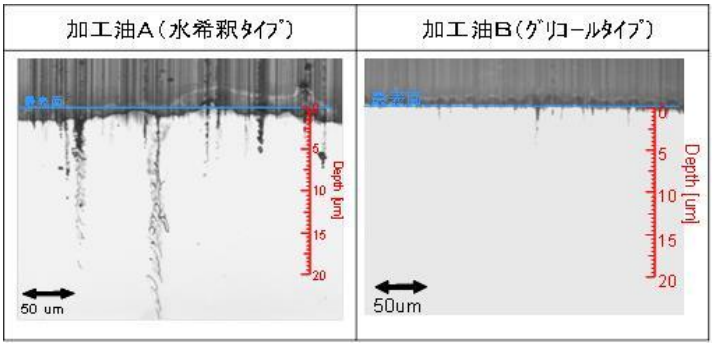
図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(8)　転位エッチピットと切断溝



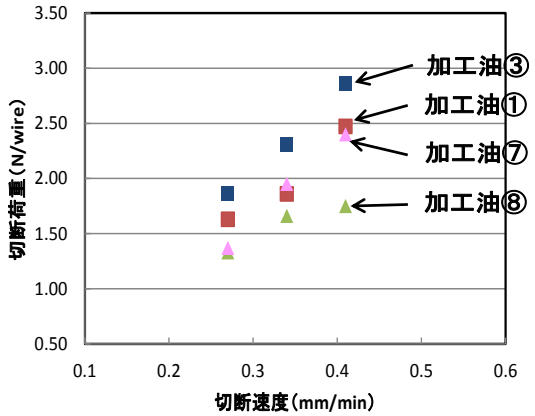
図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(9)　ライフタイム測定によるダメージ深さの比較

（６）加工油の選定

切断において重要な因子となる加工油の選定を行った。水希釈タイプ、グリコールタイプ併せて８種類を評価し、最終的にグリコールタイプの加工油を選定した。加工油が切断性に及ぼす影響は予想以上に大きく、選定には時間を要した。影響の一例として、加工油の違いによるウエハダメージの変化を図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(10)に、切断荷重の変化を図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(11)（ａ）に、ウエハうねりの変化を図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(11)（ｂ）に示す。



図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(10)　加工油の違いによるダメージの変化



メーカ	分類	加工油	うねり(μｍ)	備考
A社	グリコール系	①	25.1	標準加工油
		②	2.3	うねり良好
		③	32.6	
		④	11.8	
B社	水希釈系	⑤	7.2	
		⑥	36.1	
	グリコール系	⑦	6.6	
		⑧	17.4	切断荷重良好

(a)切断荷重の変化　　(b)ウエハうねりの変化

図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(11)　加工油の違いによる切断荷重、ウエハうねりの変化

（７）砥粒径、砥粒濃度、樹脂厚みの最適化

開発活動中最も時間を要したのは、砥粒径、砥粒濃度、樹脂厚みの最適化であった。最適化検討の一例を表Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(3)に示す。表Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(3)の実験では切断条件をかなり厳しい条件に設定し因子の効果をより明確にしている。この結果より、砥粒径７μｍ、砥粒濃度 1wt%、樹脂厚み５μｍを選定しその後の切断実験を実施した。

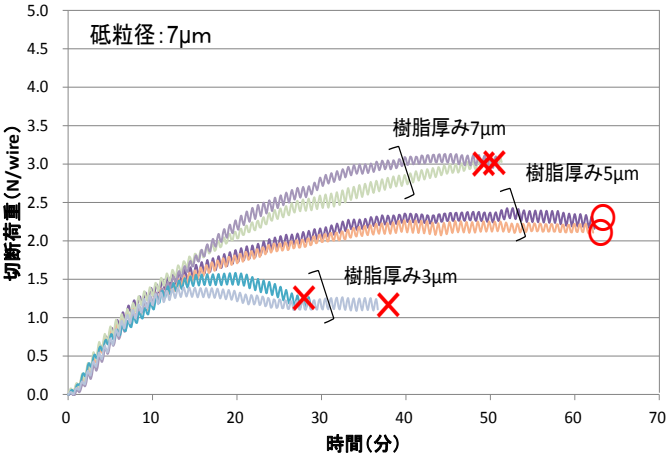
表Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(3)　砥粒径、砥粒濃度、樹脂厚みの最適化

砥粒径	砥粒濃度	樹脂厚み											
		3μｍ				5μｍ				7μｍ			
		撓み	断線	磨滅	荷重	撓み	断線	磨滅	荷重	撓み	断線	磨滅	荷重
5μｍ	0.5wt%	○	×	○	－	○	○	○	○				
	1wt%	○	○	×	○	×	×	○	－				
	2.5wt%	○	×	×	－	×	×	○	－				
	5wt%	○	×	×	－	×	×	○	－				
7μｍ	0.5wt%	○	○	×	×	○	○	○	○	×	○	○	×
	1wt%	○	×	×	－	○	○	○	○	×	×	○	－
	2.7wt%					○	×	×	－	×	×	○	－
10μｍ	0.5wt%					○	×	×	－	○	○	○	○
	1wt%									○	×	×	－
	8wt%									○	×	×	－

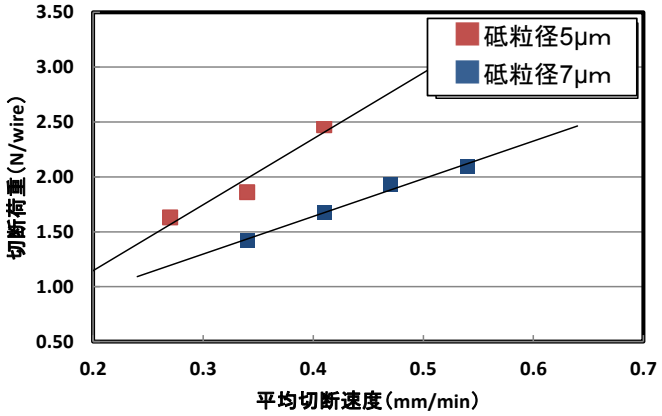
表Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(3)中の撓みはワイヤの撓みで、6ｍｍ未満を○、以上を×と判定している。断線、樹脂磨滅は有無により判定している。

切断荷重の測定例を図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(12)に示す。樹脂厚み５μｍの場合は切断荷重が一定値になり、かつ所定の時間まで樹脂磨滅あるいは断線することなく切断が継続し○評価となっている。樹脂厚み ３μｍあるいは ７μｍの場合は断線あるいは樹脂磨滅により切断が中断している。

図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(13)は砥粒径 ５μｍと７μｍでの切断荷重の変化を示す。砥粒径７μｍでは５μｍに比較して切断速度によらず切断荷重が低く、切断性がより良好である。



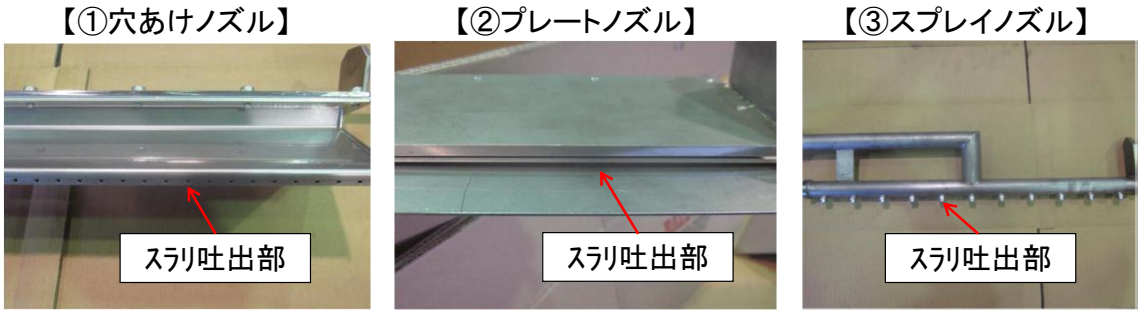
図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(12)　砥粒径７μｍでの切断荷重の変化



図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(13)　砥粒径による切断性の変化

（８）スラリーノズルの選定とスラリー供給方法の最適化

スラリーの供給方法は、上述の砥粒径・砥粒濃度・樹脂厚みの最適化と共に、切断性を決定する最も重要な因子の一つであった。今回準備した３種類のスラリーノズルを図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(14)に示す。最終的に②プレートノズルを選定し、その後の切断実験に使用した。

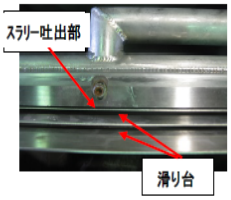


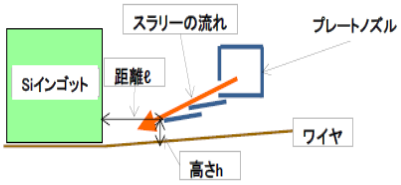
図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(14)　スラリーノズルの外観

プレートノズルにはスラリー吐出部の下にスラリーを滑らせる板（滑り台）を設置してスラリー流れを制御した。この滑り台の先端部の位置と切断時の樹脂磨滅および得られたウエハのうねりとの関係を図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(15)に示す。ワイヤから滑り台先端部の高さｈと、シリコンインゴットから滑り台先端部までの距離ℓにより切断結果には大きな差が出る。スラリー流れの制御あるいは最適化の重要性が見て取れる結果となっている。

		インゴットとノズル先端部間の距離ℓ (mm)				
		5	17	27	85	155
ワイヤからの高さh (mm)	15	−	うねり △	うねり △	−	樹脂摩滅 ×
	5	樹脂摩滅 ×	うねり △	うねり ○	樹脂摩滅 ×	−

距離が近すぎるとスラリー不均一、遠すぎるとスラリー不足と推定





図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(15)　ノズル設計の最適化の例

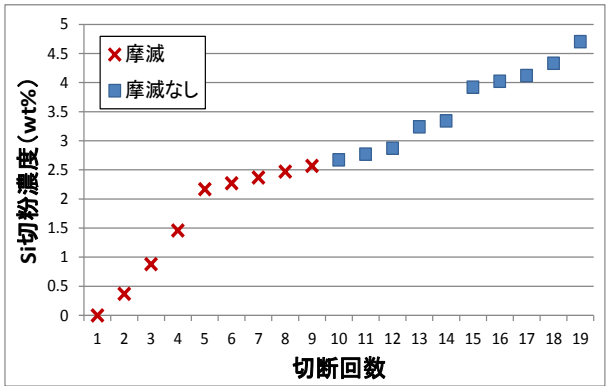
（９）接着剤の選定

Ｒワイヤは既存の接着剤の切断が難しく、接着剤メーカにＲワイヤ専用の接着剤の開発を依頼し、24 種類を試作して評価した。最終的に高Ｔｇアクリル接着剤にシランカップリング剤を添加したものを採用した。接着剤厚さは可能な限り薄く塗ることが肝要で、なんとかＲワイヤで切断が可能な形となった。接着剤の切断はさらなる改善が必要で、引き続き検討を重ねる計画としている。

（１０）スラリー中のシリコン切粉量の制御

切断中にスラリーに混入するシリコン切粉は砥粒の分散性を担保する因子となっている。図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(16)にシリコン切粉の濃度と切断中の樹脂磨滅との関係を示す。切断回数が少なくスラリー中のシリコン切粉濃度が 2.5ｗｔ％以下では樹脂磨滅が発

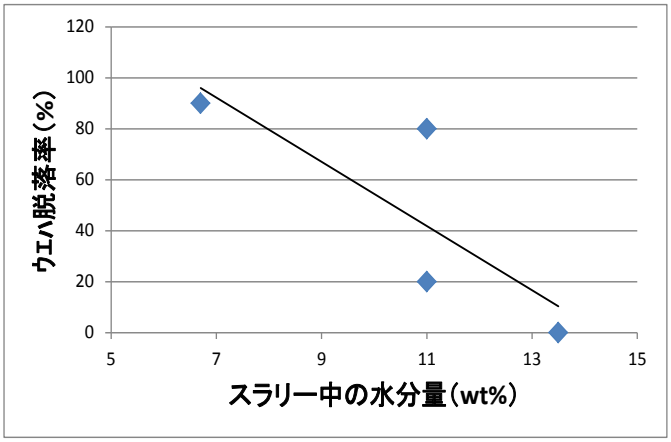
生するが、それ以上では樹脂磨滅は防止できる。シリコン切粉濃度は 12ｗｔ%程度までは切断に悪影響を及ぼさないため、量産時には 2.5～12ｗｔ%の範囲でシリコン切粉濃度を制御することが重要となる。



図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(16)　スラリー中のシリコン切粉の濃度と樹脂磨滅の発生限界

（１１）スラリー中の水分量の制御

シリコン切粉濃度と並んで、スラリー中の水分濃度の制御も重要な因子となる。図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(17)にスラリー中の水分濃度と、インゴットを切り上げた際のウエハの脱落率を示している。水分濃度が不足すると切断中の冷却不足となり、温度が上がるため接着剤の強度が低下しウエハ脱落に繋がる。スラリー中の水分濃度はウエハの歩留り確保の観点から適切に制御することが重要となる。



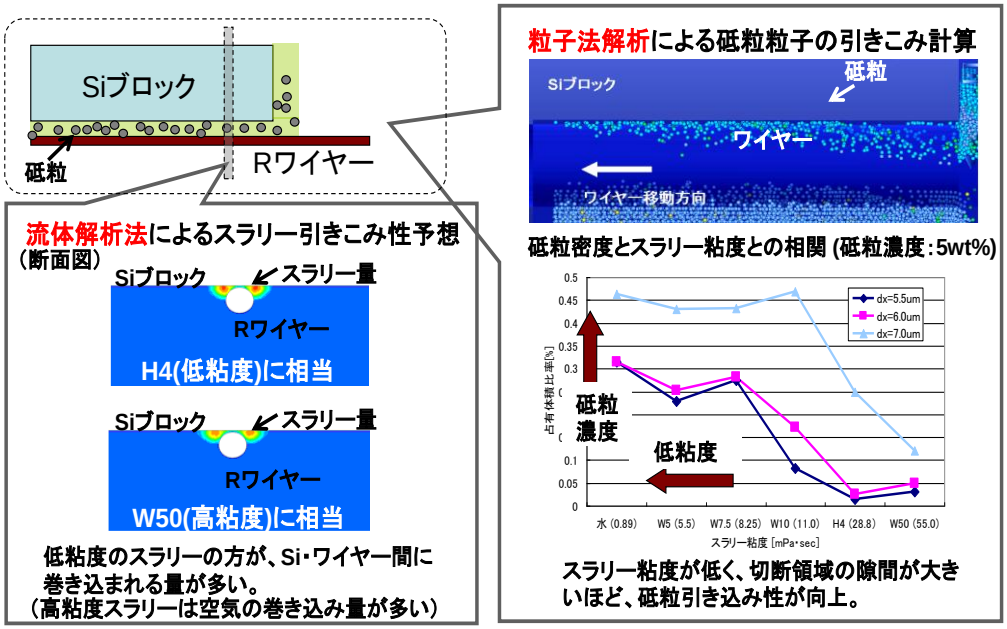
図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(17)　スラリー中の水分量とウエハ脱落率との関係

（１２）数値解析によるスラリー挙動の解明

マルチワイヤーソー切断ではスラリーおよびスラリー中に含まれる砥粒の挙動を直接目視で観察することができない。このため粒子解析法および流体解析法を用いて砥粒挙動を解析し、切断に係る各パラメータをどちらに振るべきかを事前検討し、その結果を切断実験で確認した後に数値解析にフィードバックする手法を用いて、開発の効率化を試みた。一例として、砥粒濃度は 5wt%に設定していたが、数値解析により砥粒濃度は大幅に下げる必要のあることが示唆され、前述した砥粒径・砥粒濃度・樹脂厚みの最適化実験を実施した結果、最終的に砥粒濃度は 1wt%に変更となった。また単

結晶インゴット角部はＣ面が付いているが、このＣ面部では砥粒の引き込み挙動が変化することを定量的に提示し、スラリー供給方法の改善に結びつけた。

本開発で砥粒の挙動はある程度正確に把握することが可能となり、切断関係者から注目されている。



図Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(17)粒子解析法、流体解析法による砥粒挙動の解析例

（１３）ウエハ表面の金属および有機物汚染の評価

Ｒワイヤは樹脂でコーティングされているため、ウエハが切断中に金属に直接触れる機会が無く、金属汚染が大幅に低減されるものと期待された。表Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(4)に固定砥粒と比較した切断・洗浄直後のシリコンウエハ表面の金属元素汚染の分析結果を示す。Ｒワイヤでは固定砥粒に比較してＮｉ、Ｆｅの汚染が大きく低減されている。今後切断後のウエハ表面のエッチング量の低減が進むと、この特徴が生きるものと期待している。

表Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(4)ウエハ表面の金属汚染の分析結果（ng／132cm²）

	B	Mn	Rb	Sr	Sn	Ba	Pb	Bi	K	Cr	Ni	Zn	Na	Mg	Ca	Fe
Rワイヤ	0.1	0.3	—	0.7	—	0.4	0.4	—	2	0.3	0.6	4	7	20	100	10
固定砥粒	0.2	0.1	0.6	0.7	0.1	0.4	0.9	0.1	7	1	4	4	10	40	90	70
遊離砥粒	1	1	—	0.1	—	1	0.3	—	20	3	4	20	10	10	10	200

表Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(5)に固定砥粒、遊離砥粒と比較した有機汚染の分析結果を示す。有機汚染はウエハ表面粗さと相関があり、粗さの粗い遊離砥粒では汚染が顕著である。Ｒワイヤは表面粗さが粗いが、切断溝によるものであり、洗浄性が良好なため汚染が少ないものと考えられる。有機汚染はエッチングによるテクスチャ形成時に、テクスチャの不均一を招くと言われており、有機汚染が少ないことはＲワイヤの特徴の一つ

となりうるものと期待される。

表Ⅲ-2-(ｲ)-B-1(5)有機汚染の分析結果（pg／cm²）

	総有機物量	表面粗さRa（μm）	備考
Rワイヤ	1,200	0.5	ｽﾗﾘｰ交換後9～10ｶｯﾄ目
固定砥粒	1,100～1,600	0.2	量産品
遊離砥粒	5,000～10,000	0.3～0.4	量産品

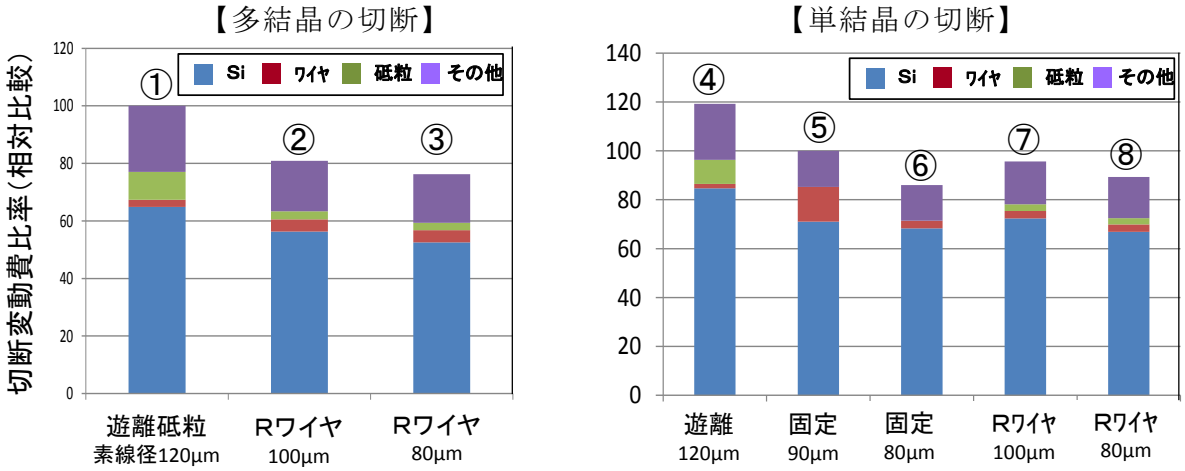
（１４）特許の取得および対外発表

開発成果は、論文１１件、研究発表・講演１０件、特許出願４件（国内）、新聞発表１件と積極的に公表している。

2. 実用化・事業化見通し

（１）コスト効果の試算

開発目標を達成した切断条件にて、切断に係る変動費の試算を行い、遊離砥粒、固定砥粒との比較を実施した。結果を図Ⅲ-2-(ｲ)-B-2(1)に示す。



図Ⅲ-2-(ｲ)-B-2(1)切断変動費の試算と遊離砥粒、固定砥粒との比較

現在、多結晶シリコンインゴットは遊離砥粒切断方式にて、また単結晶は固定砥粒切断方式にて切断され太陽電池用のシリコンウエハとなっている。多結晶と単結晶ではシリコンインゴットの価格が異なるため、また比較する切断方式が異なるため、分けて試算し比較した。なお本開発開始時は、まだ固定砥粒が一般的に広まっていなかったため、開発目標は遊離砥粒と比較したコストダウン率としていた。

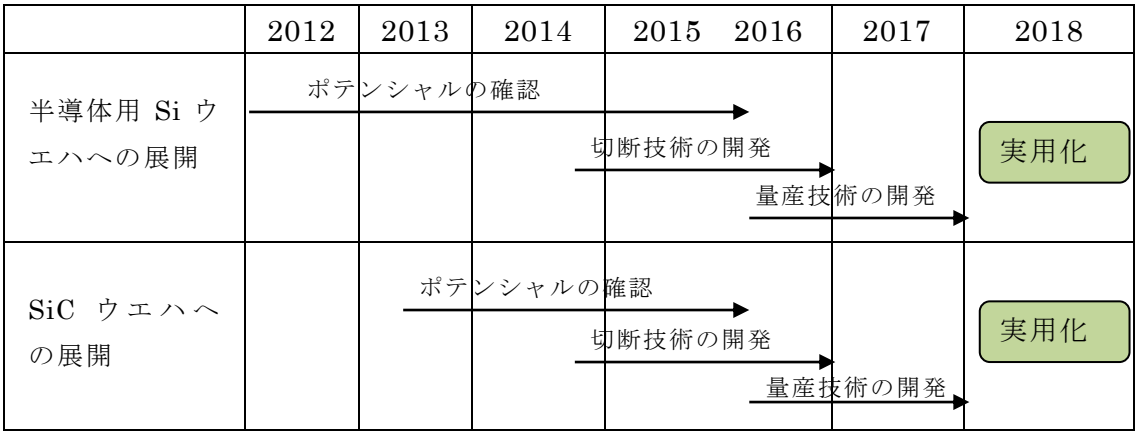
多結晶シリコンインゴットの切断では、遊離砥粒と比較して 20%程度の変動費のコストダウンが可能との試算結果となった（①と②の比較）。また単結晶では遊離砥粒と比較したコストダウン率は大きいものの（④と⑦の比較）、現在広く採用されている固定砥粒と比較すると（⑤と⑦の比較）、ほぼ同等のコストとの試算結果となりコストメリットが出ていない。さらに固定砥粒ワイヤは海外にて単価が 1/3 以下の超低価格品が提供され始めており、このワイヤ単価ではＲワイヤの素線径を 80μｍまで細くしてもコストダウン効果が得られない（⑥と⑧の比較）。このためＲワイヤの事業化は多結晶を中心に展開することとしている。現在、世界の太陽電池は 70%程度が多結晶シリコンと言われており、多結晶は魅力的な市場である。

（２）Ｒワイヤウエハ事業の検討

本開発開始時は、ワイヤ事業と並行してウエハ事業も志向していたが、その後の国内のウエハ価格の大幅な低減を受け、ウエハ事業は諦めざるを得ない状況に至っている。今後は多結晶太陽電池メーカ、あるいは多結晶を切断する切断メーカを中心にワイヤ事業を展開する計画である。2016 年度の後半からの本格的なワイヤ出荷量の拡大を予想しており、それに対応した樹脂コーティング能力の増強計画を策定している。また樹脂コーティングが終わったリールからマルチワイヤーソーのボビンにＲワイヤを巻き替える巻替機についても、Ｒワイヤ出荷量の拡大に応じた能力増強計画を策定している。

3. 波及効果

本開発は太陽電池用シリコンインゴットの新規の切断技術としてスタートしたが、学会発表を聴講した半導体用シリコンウエハの製造メーカより問い合わせがあり、対応中である。また金沢工業大学にて単結晶炭化ケイ素インゴットの切断にＲワイヤを試用したところ、予想外の良好な結果が得られており、また砥粒加工学会での講演に多くの聴衆が集まるなど注目を集めつつある。今後は窒化ガリウム、サファイアなどでもＲワイヤ切断を試し、その守備範囲を広げる計画である。



図Ⅲ-2-(ｲ)-B-3(1)　半導体、SiC 分野への展開予想

4. 今後の展開

（１）ユーザへの R ワイヤの提供と技術供与

Rワイヤ販売が本格化すると、新たに規模の大きいRワイヤ製造設備が必要となる。自社で設備投資を行うほかに、他社に技術供与して製造販売を委託し、ライセンス事業とすることも視野に入れている。

（２）半導体用シリコンウエハ、SiC ウエハへの展開

太陽電池用シリコンウエハに比べてハードルが高いと予想しているが、R ワイヤの持つポテンシャルを確認し、展開の可能性を追求していきたい。

5. 特許論文リスト

表Ⅲ-2-(ｲ)-B-5(1)　特許・論文・学会発表・新聞発表

	H22	H23	H24	H25	H26	合計
特許出願（内、外国出願）	0	1(0)	3(2)	4(2)	0	8(4)
論文（査読付き）	0	2(2)	4(0)	1(0)	4(0)	11(2)
研究発表・講演（内、国際会議）	3(0)	3(1)	1(0)	2(0)	1(0)	10(1)
新聞・雑誌等への掲載	0	1	0	0	0	1
受賞実績	0	0	0	0	0	0

平成 27 年 2 月末日現在

【特許】

番号	出願人	出願番号	出願日	出願に係る特許等の標題
1	コベルコ科研	特願2011-179183	平成23年8月18日	樹脂被覆ｿｰﾜｲﾔおよび切断体
2	コベルコ科研	特願2012-179539	平成24年8月13日	被覆ｿｰﾜｲﾔおよび切断体
3	コベルコ科研	101130080（台湾）	平成24年8月17日	被覆ｿｰﾜｲﾔおよび切断体
4	コベルコ科研	PCT/JP2012/070920（PCT出願）	平成24年8月17日	被覆ｿｰﾜｲﾔおよび切断体
5	コベルコ科研	特願2013-177336	平成25年8月28日	樹脂被覆ｿｰﾜｲﾔおよび切断体
6	コベルコ科研	特願2014-2739	平成26年1月9日	切断体の製造方法
7	コベルコ科研	14237711（米国）	平成26年2月7日	切断体の製造方法
8	コベルコ科研	201280040082.1（中国）	平成26年2月17日	樹脂被覆ｿｰﾜｲﾔおよび切断体

【論文・学会発表】

番号	所属	発表タイトル	発表媒体	発表年
1	諏訪部仁（金沢工業大学）	ﾏﾙﾁﾜｲﾔｰｿｰによる鏡面ｽﾗｲｼﾝｸﾞ加工に関する研究	PV EXSPO、太陽光発電研究発表大会、PVｱｶﾃﾞﾐｯｸﾌｫｰﾗﾑ	平成22年度
2	服部崇将（金沢工業大学）	樹脂ｺｰﾃｨﾝｸﾞﾜｲﾔを用いたﾏﾙﾁﾜｲﾔｰｿｰのｽﾗｲｼﾝｸﾞ加工に関する研究	日本機械学会北陸甲信越学生会第40回学生員卒業研究発表講演会	平成22年度

3	上野智尚 （金沢工業大学）	ﾀﾞｲﾔﾓﾝﾄﾞｽﾗﾘｰを用いたﾏﾙﾁﾜｲﾔｰｿｰの鏡面ｽﾗｲｼﾝｸﾞ	砥粒加工学会、先端加工ﾌｫｰﾗﾑ研究講演会・見学会	平成22年度
4	服部宗将 （金沢工業大学）	樹脂ｺｰﾃｨﾝｸﾞﾜｲﾔを用いた鏡面ｽﾗｲｼﾝｸﾞ加工に関する研究	砥粒加工学会学術講演会	平成23年度
5	吉川一男 （コベルコ科研）	結晶ｼﾘｺﾝ太陽電池用ｳｪﾊの鏡面ｽﾗｲｼﾝｸﾞ加工	2011年度精密工学会秋季大会ｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ	平成23年度
6	諏訪部仁 （金沢工業大学）	樹脂ｺｰﾃｨﾝｸﾞﾜｲﾔを用いた鏡面ｽﾗｲｼﾝｸﾞ加工に関する研究	砥粒加工学会学術講演会講演論文集	平成23年度
7	山上達也 （コベルコ科研）	Numerical Simulation and Direct Observation of Grain Particle Motion of Surry on a Running Wire Saw	PVSEC21	平成23年度
8	諏訪部仁 （金沢工業大学）	樹脂ｺｰﾃｨﾝｸﾞﾜｲﾔを用いた鏡面ｽﾗｲｼﾝｸﾞ加工に関する研究	砥粒加工学会誌	平成23年度
9	服部崇将 （金沢工業大学）	遠心分離機を用いたｽﾗﾘｰ中の微小粒径砥粒の回収に関する研究	砥粒加工学会北陸信越地区部会2012年度研究・開発成果発表会講演論文集	平成24年度
10	服部崇将 （金沢工業大学）	樹脂ｺｰﾃｨﾝｸﾞﾜｲﾔを用いたﾏﾙﾁﾜｲﾔｰｿｰの加工特性に関する研究	2012年度砥粒加工学会学術講演会講演論文集	平成24年度
11	服部崇将 （金沢工業大学）	樹脂ｺｰﾃｨﾝｸﾞﾜｲﾔを用いたﾏﾙﾁﾜｲﾔ切断における加工液の影響	2012年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集	平成24年度
12	服部崇将 （金沢工業大学）	ﾀﾞｲﾔﾓﾝﾄﾞｽﾗﾘｰを用いたｽﾗｲｼﾝｸﾞ加工における加工液の影響	2012年度精密工学会北陸信越支部学術講演会講演論文集	平成24年度
13	服部　崇将 （金沢工業大学）	樹脂ｺｰﾃｨﾝｸﾞﾜｲﾔを用いたﾏﾙﾁﾜｲﾔｰｿｰのｽﾗｲｼﾝｸﾞ特性に関する研究	先端加工ﾈｯﾄﾜｰｸ先端加工ﾌｫｰﾗﾑ研究講演会・見学会概要集	平成24年度
14	四田　一高 （金沢工業大学）	ﾏﾙﾁﾜｲﾔｰｿｰを用いたｽﾗｲｼﾝｸﾞ加工時の砥粒挙動	日本設計工学会北陸支部平成25年度研	平成25年度

		に関する研究	究発表講演会	
15	四田　一高 （金沢工業大学）	ﾏﾙﾁﾜｲﾔｰｿｰにおけるｽﾗﾘｰ中の砥粒径が加工に与える影響	2013年度精密工学会秋季大会学術講演会	平成25年度
16	四田　一高 （金沢工業大学）	揺動振動援用ﾏﾙﾁﾜｲﾔｰｿｰの加工部における空気挙動に関する研究	2014年度精密工学会春季大会講演論文集	平成25年度
17	山田　大介 （金沢工業大学）	ﾀﾞｲﾔﾓﾄﾞｽﾗﾘｰを用いたﾏﾙﾁﾜｲﾔｰｿｰにおけるｽﾗﾘｰ供給方法の影響に関する研究	日本設計工学会北陸支部研究発表講演会	平成 26 年度
18	四田　一高 （金沢工業大学）	ﾏﾙﾁﾜｲﾔｰｿｰの加工溝底部における砥粒挙動に関する研究	砥粒加工学会学術講演会講演論文集	平成 26 年度
19	松川　和平 （金沢工業大学）	揺動振動を利用したﾏﾙﾁﾜｲﾔｰｿｰによるｼﾘｺﾝ切断に関する研究	2014 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集	平成 26 年度
20	四田　一高 （金沢工業大学）	遊離砥粒ﾏﾙﾁﾜｲﾔｰｿｰの加工部における砥粒挙動に関する研究	2014 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集	平成 26 年度
21	山田　大介 （金沢工業大学）	ｼﾘｺﾝｳｴﾊの鏡面ｽﾗｲｼﾝｸﾞ加工における加工液と工作物固定用接着剤が加工に与える影響	2015 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集	平成 26 年度

C　太陽電池用ポリシリコンのシリコン原料転換の研究開発

1. 成果詳細

表Ⅲ-2-(イ)-C-1(1)　研究開発項目ごとの成果・達成度

最終目標	研究開発成果	達成度	コメント
シリカ塩化の生産性 0.7 トン-$SiCl_4$/m^2/h 以上	シリカ塩化反応において、生産性は 0.79 に達し、さらに、高効率化試験においては、0.88 の値を得た。	◎	なし
四塩化珪素の品質 純度 6N 以上	上記反応において生成した四塩化珪素を精留し分析した結果から、純度は 99.9999%（6N）以上であった	○	なし
シリコン単結晶の品質 10Ω・ｃｍ以上	ポリシリコン製造装置により、精製四塩化珪素からシリコンを製造し、分析評価をおこなった結果、N 型で 30Ω・cm の抵抗値を得た	○	なし

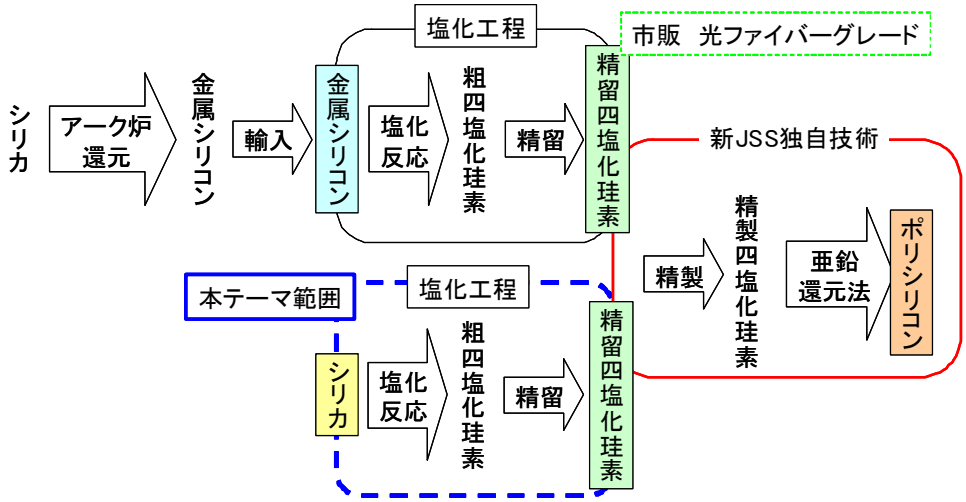
達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　　達成見込み：△、　　未達：×

共同研究の内容

本件は、太陽光発電ロードマップ（PV2030+）に記載の発電コスト目標：14 円/kWh（2020 年）、モジュール製造コスト目標：75 円/W、モジュール変換効率目標：20%（2015～2020 年時点）の実現に資するシリコン系太陽電池の低コスト化に係る研究開発である。

本研究は、ポリシリコンの原料として全量輸入に頼っている粗金属シリコン（Si）に代わって、より安価に調達できるシリカ（SiO_2）を原料とする太陽電池用ポリシリコンの生産技術を開発することである。この方法によれば、亜鉛還元法によるポリシリコン製造の中間原料となる四塩化珪素（$SiCl_4$）を安価に生産することができ、製造コストを大幅に低減しうる利点を有する。

目標としている亜鉛還元法プロセスと本研究の範囲（点線枠内）を下Ⅲ-2-(イ)-C-1(1)に示す。



図Ⅲ-2-(イ)-C-1(1)　亜鉛還元法プロセスと研究範囲

（１）シリカ塩化の生産性

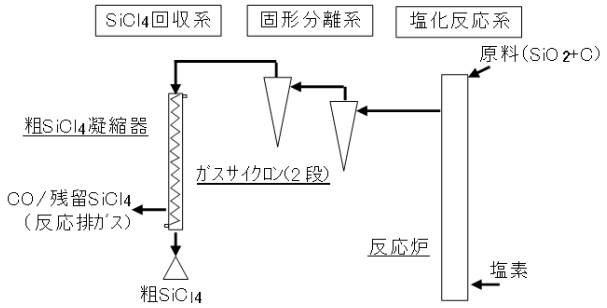
シリカ塩化反応の生産性の検討において、始めに小型のラボ装置での試験、ついでベンチサイズの反応装置での試験、とスケールアップしながら、その反応条件及び生産性の検討を行なった。

塩化反応に関する基本条件を把握する目的で、シリカ及び炭材は比較的入手が容易で、高純度のオーストラリア産シリカと中国産コークスを標準材料として使用した。

塩化反応試験装置は主に、塩化反応系（反応炉）、固形分離系（ガスサイクロン）、四塩化珪素回収系（凝縮器）で構成される。また、一酸化炭素や残留四塩化珪素などから成る反応排ガスは、アルカリ洗浄した後に専用の除害装置にて処理される。

なお、安全対策として、吸引減圧が可能なブース内に同装置を設置して行った。

$SiO_2 + 2Cl_2 + 2C \rightarrow SiCl_4 + 2CO$ ・・・・(式Ⅲ-2-(イ)-C-1(1))



図Ⅲ-2-(イ)-C-1(2)　試験装置の概略

試験装置の概略を図Ⅲ-2-(イ)-C-1(2)に示す。

反応炉内を外熱ヒータで所定温度に昇温した後、炉内に原料(シリカ､炭材)を装填し、底部より所定量の塩素を炉内に導入した。塩化反応が開始した後、消費された原料に相当する分の原料を上方より連続的に炉内に追加供給した。

生成した四塩化珪素(気体)は、同伴する微粒の原料(一部)をガスサイクロンで捕集した後､冷媒(-10℃以下)で深冷した凝縮器にて凝縮､回収した。また､回収した粗 $SiCl_4$(塩化不純物や微粒原料を含む四塩化珪素)は、単位時間(1 分間)毎に管状容器に集めてその回収量を実測して、四塩化珪素の生成速度を計測し、反応炉の内断面積当りの四塩化珪素の生成速度（トン-$SiCl_4/m^2/h$）を算出し、生産性の指針とした。

ラボ反応試験の結果を下表にまとめる。

表Ⅲ-2-(イ)-C-1(2)　ラボ試験の結果(例)

項目		実績例
条件	原料シリカ	珪砂(豪州品)
	反応方式	固定層/流動層
結果	四塩化珪素回収率(液化率)	～70%
	塩化生産性(注)	0.57（最高） (トン-$SiCl_4/m^2/h$)

(注)　反応炉の内断面積当りの四塩化珪素の生成速度

ベンチ試験

シリカの塩化試験(再委託先：東邦チタニウム)

本試験では、原料となるシリカ(SiO_2 分 99.8%、珪砂)と炭材(石油系コークス)を所定の方法でベンチ試験(流動層)に適した造粒体にした。

この原料造粒体を使って流動層を形成し、塩化反応を行った。
反応条件の最適化を進めながら、ベンチ試験を実施した。

その結果として、最良例を表Ⅲ-2-(イ)-C-1(3)にまとめる。

表Ⅲ-2-(イ)-C-1(3)　　ベンチ試験結果　例

項目		試験条件／結果
条件	シリカ原料	珪砂（豪州産）
	炭素原料	コークス（石油系）
結果	塩化生産性 (トン-$SiCl_4/m^2/h$)	0.90（瞬間値、注2） 0.79（平均値、注2）
	四塩化珪素品質注1	3N 程度（簡易蒸留品）

（注１）精留前の四塩化珪素純度
（注２）凝縮回収した四塩化珪素量より計算（瞬間値は１分間の最高値）

同結果の生産性(シリカ塩化)は、前述した最終目標値を達成している。

高効率反応試験

前述したベンチ試験の成果を踏まえ、更なる塩化の生産性を探求すべく、技術改良を検討した。

塩化反応時には、吸熱反応であり、外部からの加熱が必要であった。この反応を詳細に検討した結果、あらかじめ造粒体を高温度で前処理を行ない、原料のシリカと炭材の一部を SiC 化することで、塩化反応時に SiC と塩素の発熱反応により、一定の反応温度を維持しやすくなることを見出し、高効率反応試験として検討を行なった。

高温加熱処理

高温加熱処理試験機を導入して、原料造粒体を所定の温度で加熱時間を変えながら高温加熱処理した。

その結果、

a　高温加熱処理で、造粒体強度が未処理品の約 2 倍に向上した。
b　高温加熱時間に伴い、造粒体中に SiC が生成、増加することが確認された。
C　SiC 生成の進行と共に、造粒体のかさ密度(タップ)が低下した。

塩化試験

高温加熱処理後の原料を使って、前述したベンチ試験装置で塩化試験を実施した。

その結果、

a　塩化生産性が向上した。

→生成 CO を含む不純物低減による四塩化珪素ガス凝縮性能の改善

b　原料のキャリーオーバが約 30%低減した。

→原料造粒体強度の向上

c　生成 SiC 量の増加に伴って、塩化炉加熱ヒータの消費電力が低下した。

→SiC と塩素の発熱反応の寄与

が確認された。

以下に、高効率反応試験結果を示す。

表Ⅲ-2-(イ)-C-1(4)　　高効率反応試験結果

項目		試験条件／結果
条件	シリカ原料	珪砂（豪州産）
	炭素原料	コークス（石油系）
結果	塩化生産性 （トン-$SiCl_4/m^2/h$）	0.98（瞬間値、注2） 0.88（平均値、注2）
	四塩化珪素品質注1	3N 程度（簡易蒸留品）

（注１）精留前の四塩化珪素純度

（注２）凝縮回収した四塩化珪素量より計算（瞬間値は１分間の最高値）

この高効率反応により、四塩化珪素の生産性は、平均値で 0.88（トン-$SiCl_4/m^2/h$）となり、最終目標の 0.7 を大きく上回る結果となった。

（２）四塩化珪素の品質

ラボ試験およびベンチ試験で得られた粗四塩化珪素を小型蒸留装置、精留塔により、蒸留・精製を行った。その品質を調べた。

得られた蒸留四塩化珪素をガスクロマトグラフ分析装置で評価した結果、その純度は 3N(99.9%)以上であることが確認された。

粗四塩化珪素の精留

精留後の四塩化珪素を分析(GC-MS)した結果、6N 以上の純度であることが確認され、最終目標(四塩化珪素の品質)を達成した。

また、精製後の四塩化珪素の金属不純物分析を ICP-MS で行った。以下に分析結果を示す。

分析値から、精留後の四塩化珪素は、一般の光ファイバーグレードと同等の品質であることを確認した。

図Ⅲ-2-(イ)-C-1(6)　精留塔

表Ⅲ-2-(イ)-C-1(5)　精留後の四塩化珪素の ICP-MS による金属不純物分析結果　(ppb)

	Li	Na	Mg	Al	K	Ca	Ti	Cr	Mn
精留後の $SiCl_4$	<0.1	0.5	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.3	<0.1
	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Sn	Pb	
	3.3	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	

（３）単結晶シリコンの品質評価

精製後の四塩化珪素を用いて単結晶原料となるポリシリコンを試作する水素還元装置を製作した。

本装置は、四塩化珪素と大過剰の水素を流通させ、高温度で四塩化珪素を還元し、Si を生成させる反応装置である。

$$SiCl_4 + 2H_2 \rightarrow Si + 4HCl$$ ・・・・・(式Ⅲ-2-(イ)-C-1(3))

水素還元反応により、直接塩化反応で生成した四塩化珪素からポリシリコンを製造し、分析・単結晶評価を実施した。

得られたポリシリコンの ICP-MS による分析の結果から、ポリシリコンの金属不純物は、すべて 0.1ppm 未満であった。

一方、晶癖線が明瞭な単結晶インゴットが得られた。この単結晶インゴットを切断し、ミドル部分の抵抗率を測定した結果、N 型で約 30Ω・cm となり、当初の目標値を達成した。

2. 実用化・事業化見通し

本検討技術の目的は、新規のポリシリコン製造方法である亜鉛還元法の原料として、現在使用している金属シリコンの塩化による四塩化珪素から、シリカ直接塩化法による四塩化珪素に原料転換することである。

実用化試験においては、パイロット規模でのスケールアップ試験を行い、少量生産を行い、生成ポリシリコンの品質評価を実施する。その結果から量産機の設計を行うことになるが、直接塩化反応の生産性の数値は、最終目標値も達成しているので、量産設備の設計は可能と考えている。

また、本法が事業化された場合の効果としては、下記が見込まれる。

a. 太陽電池用ポリシリコン製造におけるコスト低減

亜鉛還元法によるポリシリコンの製造において、原料四塩化珪素の低コスト化が見込まれ、結果としてポリシリコンの低コスト化が図れる。

b. 国際情勢の影響を受けない

金属シリコンを原料としないので、国際情勢の変化による影響（金属シリコンの輸出入制限など）を受けず原材料を確保できる。

これらの効果により、国際競争力を持つ結晶シリコン太陽電池産業へ貢献する。

3. 波及効果

本法は、シリカ原料から直接四塩化珪素を製造する技術である。本技術の波及効果先としては、光ファイバー製造、ヒュームドシリカ製造など、四塩化珪素を原料として用いる分野への転用が考えられる。

更に、最も大きな期待を得られる分野として、半導体シリコン原料の戦略的転換がある。

現状半導体向けポリシリコンを始め、PV 用途のポリシリコンの大半は、金属シリコンを原料として輸入し、塩酸塩化反応によりトリクロロシランを製造し、これを原料とするシーメンス法により製造している。シーメンス法は、技術的にも完成されている製造技術であり、今後もポリシリコン製造法の主流であることは変わりない。

しかしながら、その出発原料となる金属シリコンに関しては、全量輸入品であり、国内需要の約 8 割以上を中国からの輸入品に頼っている。

今後、国際情勢の変化により、主たる輸出元である中国からの入手が困難になった場合には、よりコストの高い産地から輸入せざるを得なくなり、国内のポリシリコンメーカーの国際競争力が低下する。

そこで、将来、結晶シリコン太陽電池の生産量を拡大する際には、そのポリシリコン製造のための出発原料（トリクロロシラン）を、シリカ直接塩化法による四塩化珪素を出発原料とする製法に転換することが可能になる。

四塩化珪素からトリクロロシランを製造する技術は、すでにサンシャイン計画にて検討実施済みであり、且つポリシリコンメーカーにおいてコンバージョン技術として実施済みなので、技術的な問題はない。

更に、シリカ原料は広く輸入することも可能であるが、ポリシリコンの需給価格と、為替動向によっては、国内産シリカ原料の活用も可能となり、国内産業の裾野の拡大の可能性も期待できる。

4. 今後の展開

シリカ塩化の生産性、四塩化珪素の品質については最終目標を達成している。次のステップとしては、パイロット設備による原料転換実用化技術開発を進めて行くことになる。

5. 特許論文リスト

論文、外部発表等の件数（内訳）

	特許出願			論文		その他外部発表（プレス発表等）
	国内	外国	PCT 出願	査読付き	その他	
平成 22 年度	0	0	0	0	0	0
平成 23 年度	1	0	0	0	0	0
平成 24 年度	1	0	0	0	0	0

（※Patent Cooperation Treaty ：特許協力条項）（添付資料）特許論文リスト

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外国PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	新日本ソーラーシリコン（株）	特願 2012-012024	国内	2012/1/24	出願	四塩化珪素の製造方法	深澤英一 大久保秀一
2	東邦チタニウム(株)	特願 2013-069242	国内	2013/3/28	出願	四塩化ケイ素の製造方法	持木靖貴 堀口亮太

【論文】

なし

D　太陽電池用シリコンの革新的プロセスの研究開発

１．成果詳細

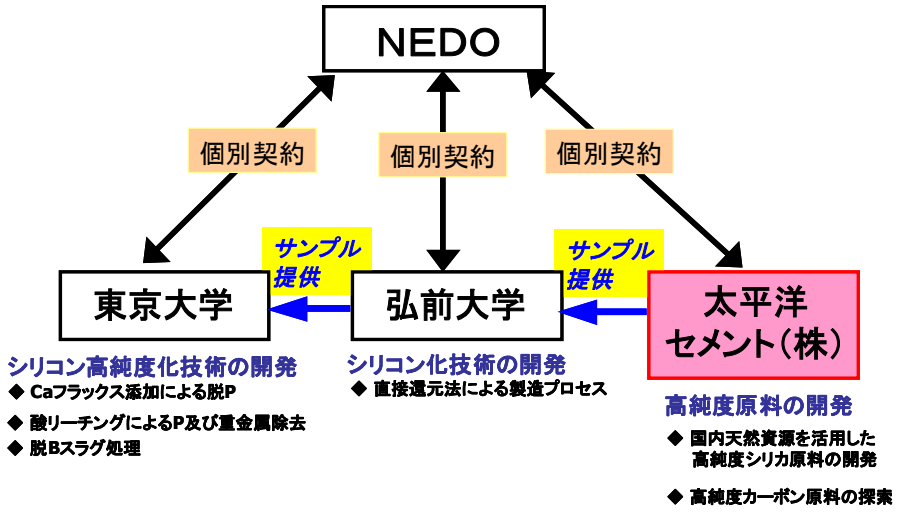
表Ⅲ-2-(イ)-D-1(1)　　最終目標の達成度

個別テーマ名	目標	成果	達成度	コメント
高純度原料の開発 (太平洋セメント(株))	シリカ及びカーボン原料の高純度化 (B，P<1ppm)	目標物性を満足する各原料を開発した。 ・シリカ:B<0.05,P<1.0 ・カーボン:B=0.1,P<1.0 ※単位は ppm	○	
シリカの直接還元プロセスの開発 (弘前大学)	①シリカ・炭素の混練材最適化 ②ハイブリット加熱法の確立 ③Si 純度(B<1ppm)	①シリカ・炭素の混合比の最適化を行い、②ハイブリット加熱法の開発に成功した(1900℃以上)③従来法より高い収率で Si を製造できることを確認した。	○	
Si 精製プロセスの開発 (東京大学)	脱 P 炉地 98%以上および脱 B フラックス組成の最適化	フラックス中に P を還元する新手法を開発し、酸リーチング処理との組み合わせるで、脱 P 率 98%、脱 B 率 63%～86%を達成した。	○	

◎；大幅達成、○；達成、△；達成見込み、×；未達

(1) 最終目標の達成度

本プロジェクトの技術開発は、最新の高純度化及び製錬技術の進歩を取り込んだシリコンの革新的プロセス研究を開発する。本プロジェクトの開発体制は、図Ⅲ-2-(イ)-D-1 (1)に示すように、各個別テーマごとに NEDO がそれぞれの研究機関と契約を個別に締結し開発を進めてきた。平成 22 年度から平成 24 年度にかけて、各研究機関は相互に情報共有及びサンプル提供を行い、本プロジェクトの最終目標達成に向けて活動してきた。以下に各個別テーマごとの最終目標と成果を示す。



図Ⅲ-2-(イ)-D-1 (1)　本プロジェクトの開発体制

a. 高純度原料の開発

太平洋セメント株式会社（以下、太平洋セメント(株)）は、シリカ原料と炭素材（カーボン）の高純度化技術を開発し、工業化に向けたプラント設計を検討するとともに、開発中の高純度化原料を弘前大に提供する。本テーマの最終目標は、シリコン（SOG-Si）を直接還元法で製造する際に一方向性凝固で除去できない特定の元素（B 及び P）の含有量が 1ppm 未満のシリカ原料及びカーボンを開発することである。平成 23 年度までに、国内に豊富に存在する天然鉱石を出発原料としたシリカ合成及び精製技術を検討し、表Ⅲ-2-(イ)-D-1(1)に示すように、B が 0.05ppm 未満及び P が 1ppm 未満の非晶質シリカの合成に成功した。また、安価なカーボン原料を探索し、シリカ原料同様、表Ⅲ-2-(イ)-D-1(1)に示すように、B が 0.1ppm 及び P が 1ppm 未満のアモルファスカーボンを見出した。

b. シリカの直接還元プロセスの開発

弘前大学は太平洋セメント・東海カーボンから供給される高純度原料を用いて、純度を低下させることなく、シリコンに還元することにより、太陽電池級シリコン原料を低コストで提供できるプロセスの開発を行った。本テーマの最終目標は、シリコン（SOG-Si）を直接還元法で製造する際に太陽電池特性への影響が大きい（B 及び P）の含有量が 1ppm 未満のシリコンの還元を行うために、表Ⅲ-2-(イ)-D-1(1)に示すように①シリカ･炭素の混練材最適化 ②ハイブリッド加熱法(≧1900℃)の確立 を行うことにより、③Si 純度（B<1ppm）の達成とした。シリカ(SiO_2)の還元反応は、総合反応式 $SiO_2+C\rightarrow Si+2CO$ をみると単純に見えるが、実際には亜酸化物(SiO)ガスや炭化物(SiC)を経た複雑な反応経路を取る。従来のアーク炉による還元法は、コンタミが多く、開放系での反応であるため、収率が低いという問題点があった。熱力学計算によれば、原料であるシリカ・炭素の配合や中間物質である SiC との固相-気相反応を正確に制御することの必要性が示唆される。そこで、準閉鎖系である反応るつぼの中で、シリカ・炭素の配合や中間物質である SiC の最適化を行うことにより、アーク炉による対照実験に比べて約 4.5 倍以上のシリコンを得ることに成功した（残留 SiC 量 85%→30%に抑制)。総合収率としては 45%と見積もられ、スケールアップによって壁面・断熱材への付着を相対的に抑制すれば、60%程度まで向上することができると考えられる。

c. シリコン精製プロセスの開発

東京大学では、シリカ精製（太平洋セメント)、還元プロセス（弘前大学）で得られた Si を太陽電池級に精製するプロセスの確立を目指し、フラックス処理による還元脱 P、酸リーチング併用による脱 P、脱 B スラグ処理および凝固精製の一連のプロセス開発を行った。前段の Si 化プロセスで、残留 P 濃度が 10ppm、B 濃度が数 ppm であることを想定し、Ca 添加フラックス処理による還元脱 P プロセスの確立：脱 P 率＞90%、酸リーチング処理併用による脱 P 率の向上：脱 P 率＞98%、脱 B スラグ処理のためのスラグ組成の最適化を最終目標とした。

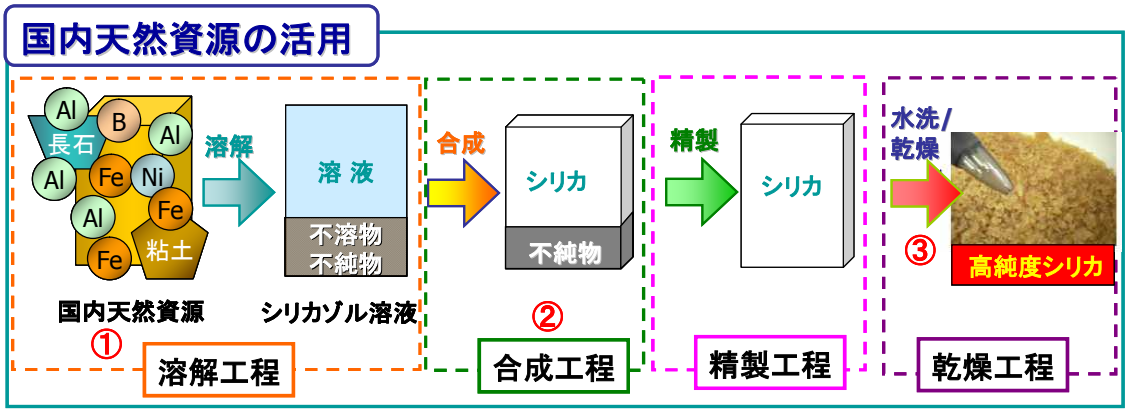
まず、フラックス処理プロセスとフラックス中 P の分別定量分析技術を確立した上で、P がフラックス中に P^{3-}イオンとして除去されていることが明らかにした。引き続

き、種々の条件で P および Ca を添加した金属 Si を $CaO-CaF_2$ 系フラックスと溶融平衡させ、強還元雰囲気下における Si からフラックス中への P 除去の効果について検証した。また、スラグ処理により P が 低減した Si 試料について、酸リーチング処理を行い、更なる脱 P の効果について合わせて検証した。フラックス処理による最高脱 P 率は 82%（目標値 90%）であったが、酸リーチングを施すことにより 98%の脱 P 率を得ることができた。

(2) 個別テーマの成果

a. 高純度原料の開発

本テーマの高純度シリカ原料は、国内に豊富に存在する天然鉱石を出発原料とする。このため、我が国の保有資源を有効に活用することができ、かつ定常的に安価な製造コストを実現できる。図Ⅲ-2-(イ)-D-1(2)に本テーマの高純度シリカ製造技術の特徴を示す。



★ 開発ポイント

① シリカ源に安価な国内天然資源を使用する。(低エネルギーのシリカゾル溶液製造技術の開発)。

② 酸性側領域からの合成。合成と精製処理に使用する酸を再利用する。
(従来技術より安価な薬剤による合成･精製技術の開発)。

③水洗工程を工夫し，洗浄水量を5割削減する。(遠心分離機の有効活用による効率的な洗浄技術の開発)。

④廃液の中和に，生石灰を使用する。(セメント会社ならではの取り組み)

⑤目標純度を満足するガラス状炭素を見出した。(東海カーボン株式会社)

図Ⅲ-2-(イ)-D-1(2)　本テーマの高純度シリカの製造技術の特徴

本テーマで開発した高純度シリカの製造技術は、溶解工程、合成工程、精製・水洗・精製工程及び乾燥工程で構成される。溶解工程は、天然鉱石中に含まれるシリカ（非晶質）成分をアルカリ溶液中に抽出する工程である。天然鉱石からシリカ成分を抽出するには、従来は高温高圧処理による溶解処理が必要となり、莫大な熱エネルギーとオートクレーブと呼ばれる特殊な設備が必要であった。本工程では常圧及び 100℃以下の温度による溶解処理で、シリカ成分を抽出できるため、従来よりも設備コスト及びエネルギーコストを安価にすることが可能となった。また、合成及び精製技術は、従来と異なり、酸性側領域から合成反応を活用することで、従来よりも安価な薬剤で合

成し、効率よく不純物を除去する精製技術を見出し、前項の表に示すように B が 0.05ppm 未満、P が 1ppm 未満のシリカの合成に成功した。さらに、廃液の中和に生石灰を使用することで、得られる沈殿物をセメント原料としてリサイクルする仕組みの構築や遠心分離機の効率的な活用による洗浄水量の低減などランニングコストを抑える工夫をした。この結果、シリカの原材料費が 200 円/kg-シリカ以下で製造できる目処がついた。

高純度カーボン原料の調査結果を表Ⅲ-2-(イ)-D-1(2)に示す。低コスト化を狙い、液状樹脂 2 品種及びアモルファスカーボンの純度を評価した。この結果、アモルファスカーボンが、B が 0.1ppm、P が 1ppm 未満を達成することを確認した。

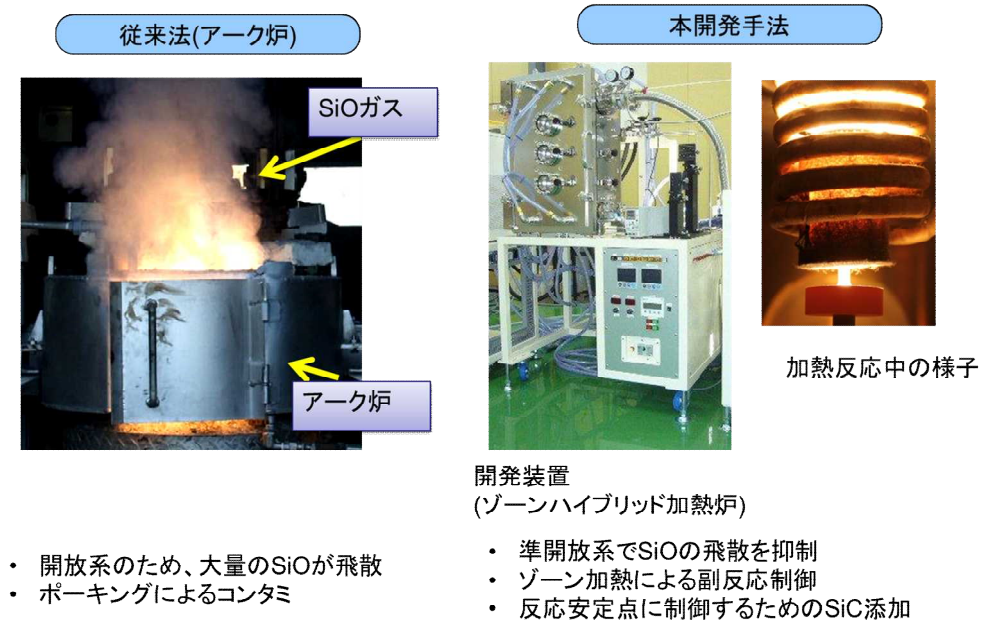
表Ⅲ-2-(イ)-D-1(2)　高純度カーボン原料の調査結果

	灰分	B	P	Al	Ca	Ti	Fe
アモルファスカーボン	-	0.1	1 未満	7	26	0.5 未満	11
樹脂A　炭化物　粉末	520	0.1未満	10 未満	28[*1]	4.7	1.2	11
樹脂B　炭化物　粉末	370	0.1未満	10 未満	42[*1]	3.3	2.3	69[*1]

*1 テストに使用した粉砕機の使用部材からの汚染と確認済。

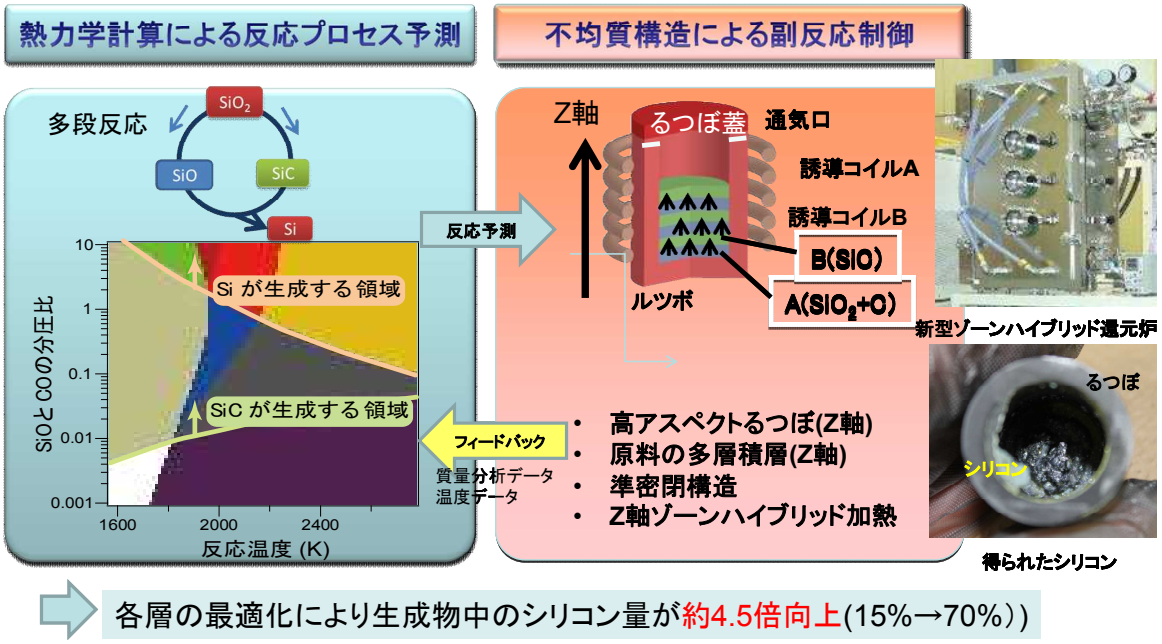
b. シリカの直接還元技術の開発

本技術の特徴は、高純度非晶質シリカを原料として、①純度を維持して、②高い収率でシリコンに還元することにある。高純度のプロセスによってコストが増大している非晶質シリカを出来るだけロスすることなく、還元することが非常に重要であるが、図Ⅲ-2-(イ)-D-1(3)に示すように従来法であるアーク炉では開放系であるために、大量の SiO ガスを失うために収率が低く、またポーキングによるコンタミも大きな問題である。本開発手法は、熱力学計算に基づいて反応プロセスを設計することによって、コンタミを防ぎながら、収率の向上を図ることでプロセス設計した。ポイントとなるのは、①原料であるシリカと炭素の配合比の制御と、②副反応の制御するために中間生成物である SiC を添加すること、③反応サイトを z 軸(上下方向)に区分して、配合比・温度などを位置的に分離して最適化するために、原料配合の不均質化とゾーン加熱を行うことであり、これらによって準閉鎖系でシリカ還元反応を安定して進行させることに成功した。



図Ⅲ-2-(イ)-D-1(3)　従来法と本開発手法

シリカ(SiO_2)の還元反応は、総合反応式 $SiO_2+C \rightarrow Si+2CO$ をみると単純に見えるが、実際には亜酸化物(SiO)ガスや炭化物(SiC)を経た複雑な反応経路を取る。図Ⅲ-2-(イ)-D-1(4)右に示すように不均質化させた原料配分にすることと温度傾斜制御を行うことによって従来法であるアーク炉に比べて高い収率でシリコンが得られることに成功した。



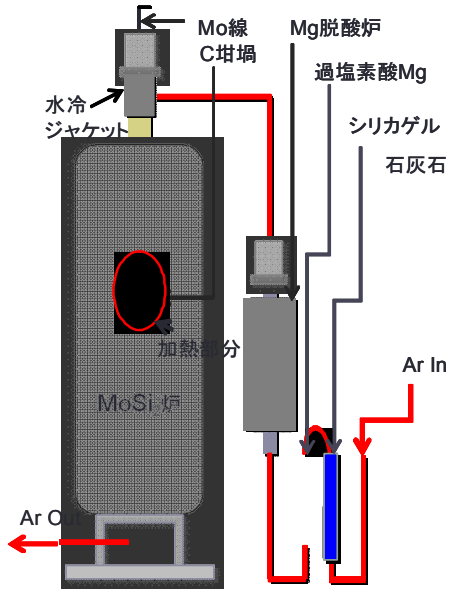
開発のポイント:原料を多層に積層することによって反応界面を増やし、SiCを補助的に入れることによって還元反応が促進されるようにした。

図Ⅲ-2-(イ)-D-1(4)　本テーマの成果と特徴

c. シリコンの精製技術の開発

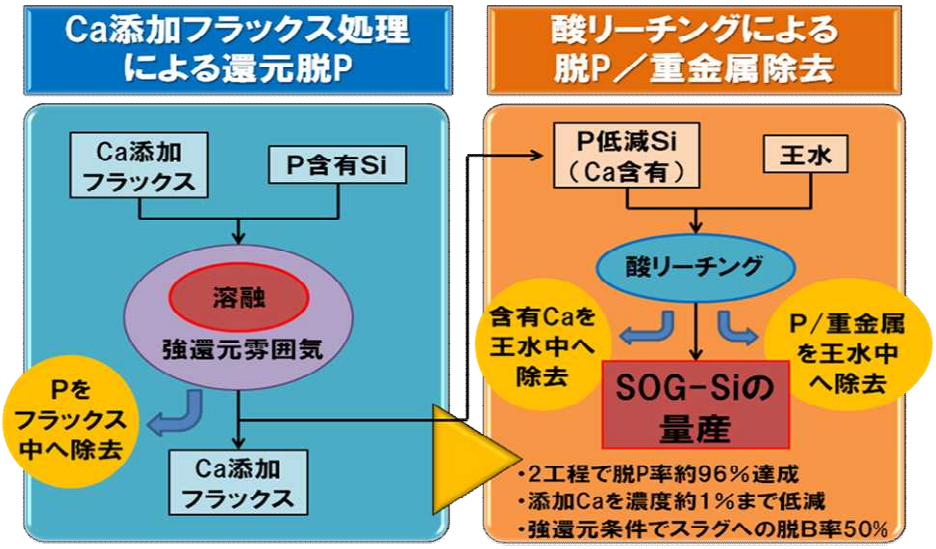
本精製技術は、前段となる原料シリカ精製およびシリカ直接還元で生成したシリコン中の不純物をさらに低減することを目的としたプロセスである。特に P と B についてはシリカ原料や炭材に含まれていた場合に、製錬時にシリコンとともに還元されてしまい、その後の諸過程で容易に混入する。しかし、酸化除去もできず多くの不純物元素と違って凝固時の偏析係数が大きいため凝固精製も困難であり、シリコン精製プロセスにおいてはその除去法の開発に力が注がれてきた。金属シリコンの精製法として開発された NEDO 法では、P は電子ビームによる真空精製、B は水蒸気添加プラズマ法で除去されるが、時間とコストの低減が必要である。また、安価なフラックス精製法では、B はある程度酸化除去できるものの、P についてはほぼ不可能とされてきた。

本方法は、P はリン酸イオン PO_4^{3-}（P^{5+}）として酸化除去するのではなく、リン化物イオン P^{3-}としてフラックス中に還元除去するもので、シリコンの酸化ロスを抑制できる。また、還元剤として添加される Ca はシリコン中に残留後、シリコンの粒界で P を濃縮しながらシリコンとの化合物を形成し、酸浸出による除去も併せて可能となる。その結果、98%の P を除去することが可能となり、原料シリカ精製およびシリカ直接還元で得られたシリコン中に P が 50ppm 含まれていても、本プロセスにより除去が可能であることが示された。また、NEDO 法などでは P と B をそれぞれ別プロセスでしか除去できなかったが、本精製技術では、P と B の双方が除去できるプロセスであり、本プロジェクトで目標とする一連のプロセスのみならず、金属シリコンを出発原料とした精製プロセスへの適用も十分考えられる。



図Ⅲ-2-(イ)-D-1(5)　装置の外観

図Ⅲ-2-(イ)-D-1(6)　精製シリコンの外観



図Ⅲ-2-(イ)-D-1(7)　シリコン精製プロセス

2. 実用化・事業化見通し

(1) 成果の実用化の可能性

本プロジェクトの実用化の定義は、10,000t/年のシリコンの製造を想定した場合に、B 及び P の純度が 1ppm 以下の Si を 2,000 円/kg 以下の価格で、市場に提供できた時点を実用化と捉える。各テーマの実用化のための課題について、以下に示す。

a. 高純度原料の開発

本テーマでは、SOG-Si を製造時に行われる一方向性凝固で除去が困難な元素である B 及び P の含有量が 1ppm 未満となる高純度シリカ粉末とカーボン粉末を開発した。今後は、想定した SOG-Si 製造量(10,000t/年)に対応できる製造設備の設計が課題である。

b. シリカの直接還元技術の開発

本テーマでは、太平洋セメント・東海カーボンから供給される高純度原料を用いて、純度を低下させることなく、シリコンに還元することにより、太陽電池級シリコン原料を低コストで提供できるプロセスの開発を行うことであった。複雑な副反応を熱力学計算とつき合わせながら、反応最適化を行うことにより、シリコンのロスを極力抑えながら反応させることに成功した。SiC を添加することによって、反応制御行っているが、そのコスト増を上回る収率を上げることが重要である。次ステップの課題として、想定した SOG-Si 量を見据えて，Si 製造プロセスをスケールアップした反応炉で検証することと、反応生成物（還元シリコン）に残留している SiC と C を除去する技術開発を行うことが挙げられる。

c. シリコンの精製技術の開発

本方法により、シリコン中 P はフラックス中にリン化物イオン P^{3-} として還元除去されることが明らかになり、シリコンの酸化ロスを伴わない新たな P のフラックス除去法が確立され、酸浸出による効果的な P 除去方も組み合わせて、98%の P を除去することが可能となった。(目標値 99%) シリコンの歩留まりは 96%とシリコンのロスは比較的小さい。また、従来知見より B もフラックス中への除去は期待されるため、原料シリカ精製およびシリカ直接還元で残留する P や B については、本プロセスにより除去が可能であると考えられる。

今後はスケールアップに取り組みその最適プロセス条件を明らかにすることが課題と考えられる。

3. 波及効果

a. 高純度原料の開発

本テーマで開発したシリカ粉末は、シリカを原料とした製品への用途展開が期待できる。例えば窒化珪素及び炭化珪素などのセラミックス部材分野や石英坩堝、光ガラス製品等のガラス製品分野、さらには半導体用治具等の原料といった半導体分野への展開が期待できる。

b. シリカの直接還元技術の開発

現在ホール・エルー法（電気分解）で得られているアルミニウムについても、炭素での還元がかつて検討されており、シリコン還元に共通した課題がネックとなり、実現していない。しかしながら、本開発技術をうまく展開できれば、アルミニウムのような金属精錬分野への技術の波及効果は大きいものと考えられる。

c. シリコンの精製技術の開発

これまで､NEDO 法などではＰとＢをそれぞれ別プロセスでしか除去できなかったが、本精製技術は、P と B の双方が除去できるプロセスとして、純度の低い金属シリコンを出発原料とした精製プロセスへの適用も十分考えられることから、技術の波及効果は大きい。特に、ステンレスをはじめとする高合金鋼や、融液成長で得られる半導体原料の精製処理など、酸化し易い材料からの P の除去において有用な技術であると考えられる。

4. 今後の展開

今後の目標は、SOG-Si の製造量が 10,000t/年に対応できる量産技術の開発と目標製造コスト 2,000 円/kg 以下の達成であり、その実現のために、スケールアップによるデータの取得と生産効率化技術の開発検討が必要となる。

5. 特許論文リスト

本プロジェクトに関係する特許出願、論文及びその他外部発表（プレス発表等）を取りまとめたものを表Ⅲ-2-(イ)-D-5(1)に示す。個別テーマの「高純度原料の開発」においては、ノウハウ的な技術が多いことから、特許出願は 1 件のみとした。

表Ⅲ-2-(イ)-D-5(1)　知的財産権等の取得及び成果の普及

	H22	H23	H24	計
特許出願(うち外国出願)	0(0)	1(0)	0(0)	1件
論文(査読)	0(0)	0(0)	0(0)	0件
研究発表・講演(うち国際会議)	1(0)	2(0)	3(0)	6件
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0	0件
受賞実績	0	0	0	0件
展示会への出典	0	0	0	0件

ノウハウ流出を防止するため、戦略的に特許出願は控えている。

特許リスト及びその他外部発表リストを表Ⅲ-2-(イ)-D-5(2)および表Ⅲ-2-(イ)-D-5(3)に示す。「高純度原料の開発」については、前項で記載したように、ノウハウ的技術が多々あるため、発表等を控えた。

表Ⅲ-2-(イ)-D-5(2)　本プロジェクトの特許リスト

番号	出願人	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	太平洋セメント(株)	特願2012-108989	国内	2012/5/11	出願	非晶質シリカの洗浄方法	増田賢太他

表Ⅲ-2-(イ)-D-5(3)　本プロジェクトの外部発表リスト

年月日	発表媒体・内容	発表者
平成24年8月1-4日	The 8th International Forum on Advanced Material Science and Technology, H.Kawamura, Y.Yanaba, T.Yoshikawa and K.Morita, "Reductive removal of phosphorus in silicon using CaO-CaF2 slag"	東京大学
平成25年3月28-30日	日本金属学会2012年春期(第150回)大会, 河村浩彰、簗場豊、吉川健、森田一樹, 「CaO-CaF2スラグを用いたシリコンの還元脱リン」（12月申込み予定）	東京大学
平成23年3月24日	緊急シンポジウム:新エネルギー供給の未来を考える ―ソーラーシリコンの生産技術革新とサハラスーパーエネルギー戦略 伊高 健治、古屋泰文、鯉沼秀臣 「シリカ直接還元 ー低コストシリコン製造に向けてー」	弘前大学
平成23年8月23-26日	1st Asia-Arab Sustainable Energy Forum, Nagoya, Japan H.Sato, Y.Furuya, K.Itaka, M. Kamimoto, "Strategy For Beyond SIEMENS SOG-Si Process"	弘前大学
平成23年8月23-26日	1st Asia-Arab Sustainable Energy Forum, Nagoya, Japan K. Itaka, H.Sato, Y.Furuya, M. Kamimoto, "Combinatorial Reducing Furnace For Direct Production Process from Silica to Silicon"	弘前大学
平成24年5月15-16日	2nd Asia-Arab Sustainable Energy Forum, in Algeria, Kenji Itaka, "Metallurgical reduction process for solar grade silicon by combinatorial furnace"	弘前大学

E　赤外線 FZ 法による N 型四角形状シリコン単結晶育成方法の研究開発

表Ⅲ-2-(イ)-E-1(1)　研究開発毎の成果・達成度

最終目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
(1)赤外線 FZ 法による大口径四角断面形状シリコン単結晶育成方法及び装置の開発（株式会社クリスタルシステム） 直径 200mm､長さ 500mm の丸型シリコン単結晶育成方法確立	直径 100mm、長さ 300mm の育成に成功 直径 125mm、長さ 30mm の育成に成功。	△	大口径化に対する改善課題と育成メカニズムを明確したので、目標達成への目途は付けられた。
対角線長さ 60mm、長さ 100mm の四角形状のシリコン単結晶育成方法確立	簾（すだれ）により赤外線量分布を制御する装置を完成。	○	なし
従来引上げ法に比べてコストが 40%以下（p 型並み）となること	コストは 5-20Ωcm で半分以下、10-14Ωcm で 1/4 以下。	◎	なし
導電型 n-型および p-型であること	n-型、p-型を制御した育成に成功	○	なし
中心比抵抗 15Ωcm	15.5Ωcm	○	なし
比抵抗分布　長手方向 15%、面内 12%範囲内	長手方向≦13.6% 面内方向≦9.3%	◎	なし
ライフタイム 1 ｍsec 以上（比抵抗 15Ωcm）	1832usec	◎	なし
酸素成分濃度 1 × 10^{17}atoms/cm^3 以下	装置検出限界；1.51 ×10^{16}　以下）	◎	なし
炭素成分濃度 2 × 10^{16}atoms/cm^3 以下	装置検出限界；0.83 ×10^{16}　以下	◎	なし
転位密度 0 ケ/cm^2	0 ケ/cm^2	○	なし
(2)赤外線 FZ 法により製造された大型シリコン単結晶の特性評価を行う（山梨大学）	精密 X 線回折法により、結晶面内の格子歪みの分布を評価した。	○	なし
育成結晶を評価し、高性能シリコン単結晶育成条件へフィードバックを行う	育成結晶の格子歪みは 37ppm であり従来品よりも遥かに高品質品が製造できることを実証した。	○	なし

◎：大幅達成、○：達成、△：達成見込み、×：未達

表Ⅲ-2-(イ)-E-1(2)　特許、論文、外部発表等の件数（内訳）

	特許出願			論文		その他外部発表（プレス発表等）
	国内	外国	PCT出願	査読付き	その他	
平成２４年度	0	0	0	0	0	研究発表・講演 0 件
平成２５年度	0	0	0	0	0	研究発表・講演 2 件
平成２６年度	0	0	0	0	0	研究発表・講演 1 件

注；　装置関連特許２件、単結晶製造法関連特許１件の特許申請準備中

1. 成果詳細

1-1. 大型赤外線単結晶育成装置の開発（クリスタルシステム）

直径 120～130mm、長さ 1,000～2,000mm の丸棒状ポリシリコン原料棒を使用し、直径 200mm､長さ 500mm 程度の丸型単結晶を固化可能な大型赤外線単結晶育成装置として、平成 24 年度、図Ⅲ-2-(イ)-E-1(1)に示す大型赤外線単結晶育成装置を試作し、単結晶育成実験を実施した。赤外線ＦＺ法では棒状原料を局部加熱して先端部のみの加熱、融解し固化させて単結晶を育成する。

本研究開発においては従来の赤外線ＦＺ装置を使用した単結晶育成の実績を遥かに凌駕する大口径の原料棒を使用し、大口径の大形単結晶を育成しようとするものであるため主加熱装置の他に原料棒の予備加熱装置、育成結晶の後加熱装置を備え、装置全体で大口径単結晶育成を可能ならしめる計画であったが本装置を使用した単結晶育成実験の結果、それぞれの加熱装置相互の最適補完関係を明確化するために膨大な予備テストが必要であることが判明した。

図Ⅲ-2-(イ)-E-1(1) 大型赤外線単結晶製造装置

図Ⅲ-2-(イ)-E-1(2) 改良型大型赤外線単結晶製造装置

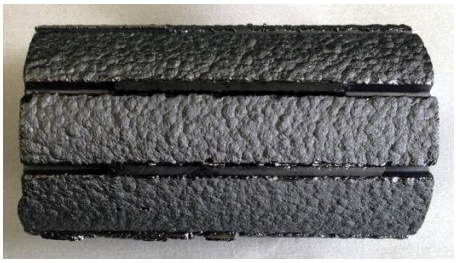
この問題を避けるには主加熱装置のパワーを大型化することにより早期の目的達成が図れると判断された。そこで平成 25 年度に主加熱装置の能力を 2 倍に増やした大型装置を試作した。これに合わせて育成単結晶の断面形状を四角形に制御するための装置を試作した。図Ⅲ-2-(イ)-E-1(2)に試作した装置の外観を示す。

2. 単結晶育成実験結果（クリスタルシステム）

2-1 原料棒の作成と比抵抗の制御

シリコン単結晶の比抵抗値は添加される添加剤の濃度と相関関係にある。本研究開発においてはリンを添加したN型であり、比抵抗値として 15Ωcm 品の製造を目指しており、これに合致する濃度のリンを添加した単結晶を合成することとした。本来的には原料棒に予め必要量のリンが添加されていることが望ましいが現実問題としては市販品は無添加品なので購入後、必要量のリン添加することが求められる。

本研究開発においては一般的に入手可能なシーメンス法により製造された直径 80mm 程度の多結晶シリコン棒に溝を設け、ここに別途引上げ（CZ）法で作製された高濃度リン添加単結晶片をレーザ法で溶着して最適組成単結晶を育成することとした。溶着するＣＺ法育成単結晶片は育成軸方向に沿ってリン濃度が変化しているので育成軸方向を互いに逆にした単結晶片を二枚、一組として溶着し、常に同量のリンが添加されるように工夫した。このようにして製造した原料棒を図Ⅲ-2-(イ)-E-1(3)に示す。



図Ⅲ-2-(イ)-E-1(3) ﾄﾞｰﾊﾟﾝﾄを溶着した原料棒

多結晶シリコン原料棒に溶着させる単結晶片のリン添加濃度、単結晶片の量を調整することにより以下の通り最終目標を達成する特性を有した結晶育成に成功した。

・中心比抵抗：目標とする 15Ωcm に対して 15.5Ωcm。
・比抵抗分布 成長方向：目標とする 15%以内に対して、13.6%以下。
・比抵抗分布 直径方向：目標とする 12%以内に対して、9.3%以下。

注 1) 比抵抗測定装置： 四探針抵抗率測定器

注 2) 比抵抗分布：((比抵抗 max－比抵抗 min)/(比抵抗 max))×100

2-2. 無転位単結晶の育成（クリスタルシステム）

2-2-1. 通常法（ネッキングレス育成法）による無転位単結晶育成方法の検討

一般的な浮遊帯域溶融法による単結晶育成では適当なサイズの単結晶種子を使用し、そのまま単結晶育成を行う（通常法と呼ぶ）、シリコンの場合には無転位単結晶育成法としてネッキング手法が採用されている。この手法は細い単結晶種子を使用し、これを原料融液と接合後、さらに小口径化することで接合時に導入される転位を除去してから所定の太さに成長させる手法なのでかなりの時間とコストが掛かる手法である。そこでネッキング手法を用いずに無転位単結晶を製造する手法も開発されている [1]。

本研究開発では安価な無転位単結晶育成法の確立を目指し、ネッキングレス育成法およびネッキング法の両方について検討し、最終的に高品質単結晶を安価に製造する方法の確

立を目指した。

① 原材料棒

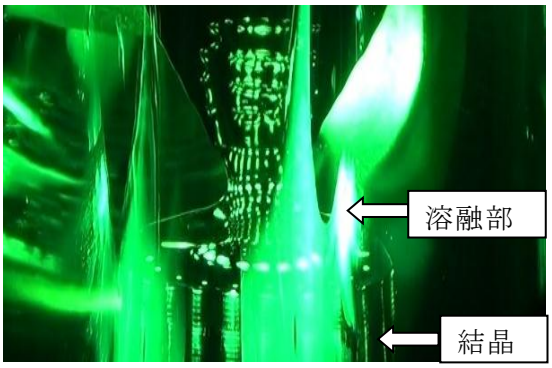
前述のリン含有単結晶片を溶着した原料棒を使用した。

② 種子単結晶

直径 100～200mm、厚さ 10～40mm のＣＺ法で作成された単結晶を使用した。

③ 単結晶の育成

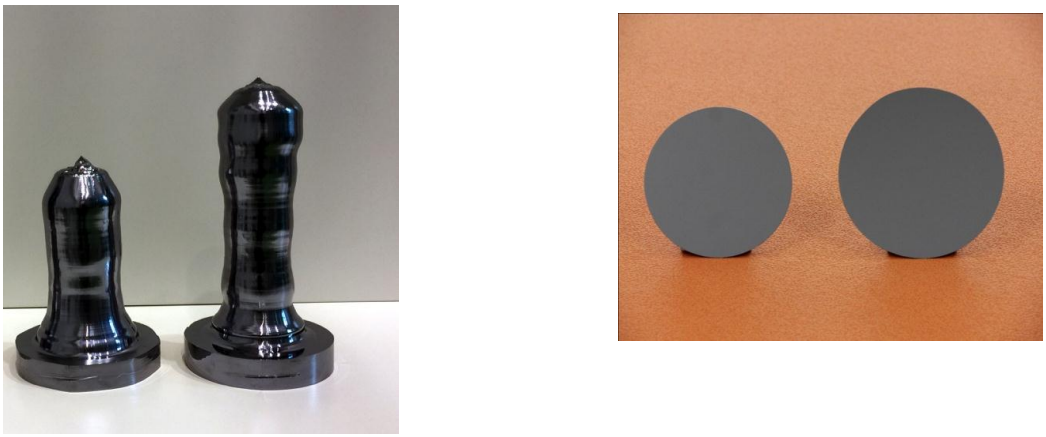
種子単結晶に赤外線を照射しての表面を溶融させ、そこに先端を同じく赤外線で溶融させた原料棒を接触させる。その後、両者を逆方向に回転させながら毎時 100～1000mm の速度で下方に移動させ、原料棒の溶解と固化を継続させ単結晶を育成した。



図Ⅲ-2-(イ)-E-1(4) 育成中の溶融部近傍の状態。上側に配置された原料棒は赤外線照射を受けて溶解し、下方に流れて結晶上部に溜り、順次、固化する。

図Ⅲ-2-(イ)-E-1(4)に育成中の溶融部近傍の状態を示す。上側に配置された原料棒の下部は赤外線の照射を受けて溶解し、融液は下方に自然に流れる。流れ落ちて来た融液は表面張力により結晶上部に留まり、結晶位置を下方に移動すると温度が下がるので結晶化する。赤外線照射量、照射角度、原料棒供給速度、結晶育成速度をそれぞれ制御し、直径 100mm、長さ 300mm のシリコン単結晶の育成に成功した（図Ⅲ-2-(イ)-E-1(5)）。 育成単結晶の大口径化を試み、直径 125mm 品までは成功したがこれ以上の大口径化には届かなかった。

得られた結晶は、シリコン特有の金属光沢が認められ、結晶軸＜100＞において結晶側面には育成方向に沿って伸びる明確な晶癖線が 4 回対称の位置、即ち（110）の方向に認められた。このことは得られた結晶には大きな結晶粒界は無く、単結晶である可能性が高いことを示している。



図Ⅲ-2-(イ)-E-1(5) 育成されたＮ型シリコン単結晶（左）と切り出されたウエハー（右）

育成されたシリコン単結晶は通常の引上げ品及び高周波 FZ 品において使用されているシリコンウェーハ加工プロセスで通常通り加工が出来た。表面状態は通常市販品と全く遜

色のない外観であった。(図Ⅲ-2-(イ)-E-1(5))

2-2-2. 【大口径化への課題事項】

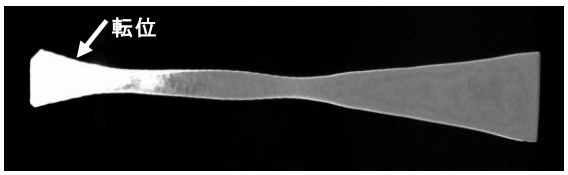
育成結晶の大口径化には原料融液の供給と育成結晶側での安定した固化条件の確立が必要となる。本研究開発においては原料棒の予備加熱と育成結晶に対する後加熱を併用して総合的に大固形化を実現しようとしたが赤外線の照射角度、照射位置、出力、などの各要素の相互関係を明確化して最適育成条件を見出すには至らずに時間切れとなってしまった。それでも従来の赤外線ＦＺ法では育成可能なシリコン単結晶の最大直径はせいぜい 30 ㎜程度と言われており、本研究開発において従来の限界を遥かに超える直径 100 ㎜品の育成に成功し、大口径化への可能性が実証された意義は大きい。引き続き、各要素技術相互の関係を明確化し、最適育成条件を確立して早期に目標を達成したい。

2-3. ネッキング手法による無転位単結晶育成方法の検討

従来の引上（CZ）法、もしくは高周波 FZ 法を用いるシリコン単結晶育成においては DASH 法と呼ばれるネッキング手法を用いて無転位単結晶を製造している。この方法は種子結晶と原料棒を接合した際に導入される転位を細い結晶を成長させることにより外側に誘導して排除し無転位化する手法である。本赤外線 FZ 法においても、ランプ出力、原材料下降速度、結晶引下げ速度（種子単結晶下降速度）の各々を調整して無転位単結晶育成法を確立した。

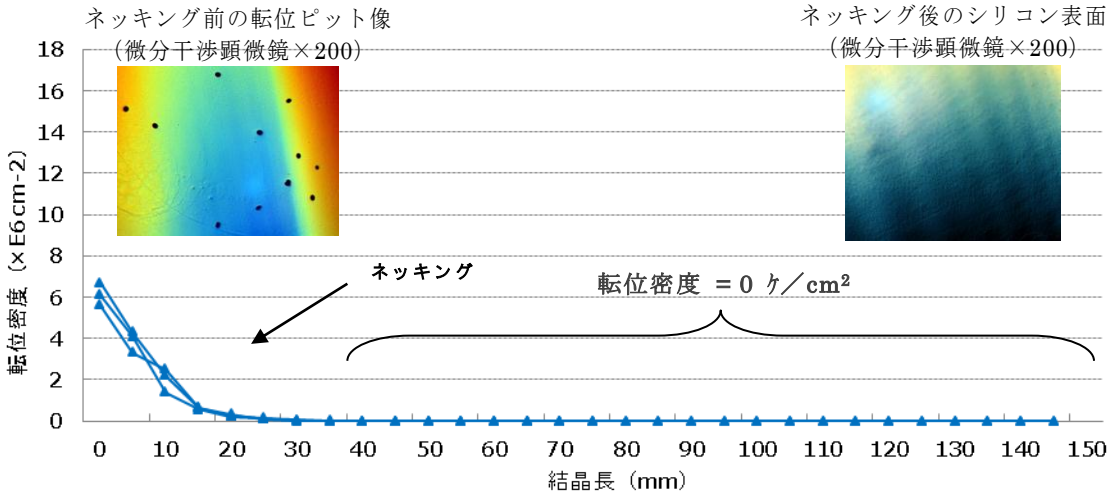
図Ⅲ-2-(イ)-E-1(6)にネッキング手法により無転位化した単結晶の様子を示し、図Ⅲ-2-(イ)-E-1(7)にＸ線トポグラフ写真を示し、グラフⅢ-2-(イ)-E-1(1)に実際の転位密度計測結果を示す。

図Ⅲ-2-(イ)-E-1(6) ネッキング法で育成した単結晶



図Ⅲ-2-(イ)-E-1(7) ネック部のＸ線トポグラフ像

グラフⅢ-2-(イ)-E-1(1) 転位密度測定結果 （測定基準：JIS H0609 基準）

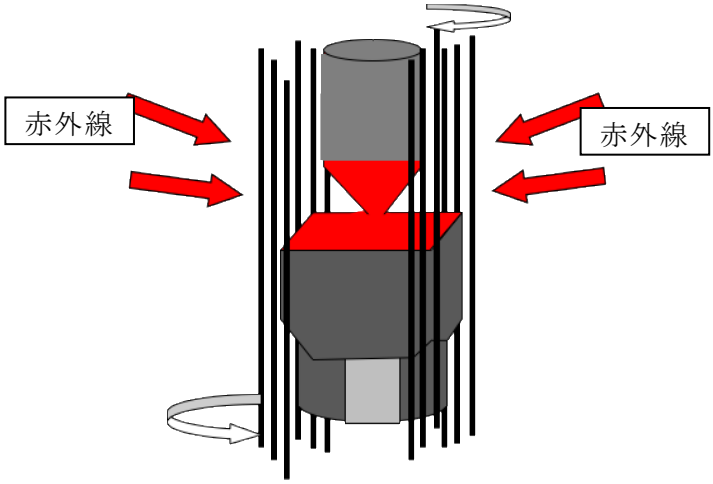


2-3　四角断面形状のシリコン単結晶育成方法確立

シリコン結晶を使用する太陽電池モジュールでは正四角形の薄板が使用されている。従って育成される結晶の断面が丸型の場合には四角形に成形する際に 20%を超えるロスが発生する。従って育成結晶断面が四角形状であれば最もロスが少なく、コストの低減が可能となる。

赤外線 FZ 法では赤外線の照射量、位置、角度を任意に制御可能であり、且つ光路に遮蔽物を設けることにより円周方向の赤外線照射量分布を任意に制御することができる。本研究開発では結晶周辺に遮蔽棒を設置し結晶回転と同期させて回転させることにより四角断面形状の単結晶を製造する方法について検討し、断面形状制御装置を試作した。

試作した断面形状制御装置の概念図を図Ⅲ-2-(イ)-E-1(8)に示す。　赤外線照射量分布を制御するための遮蔽物を円周方向に 90 度ずつの角度間隔で 4 箇所にセットし、これを育成結晶の回転と同期させて回転、駆動制御することにより育成結晶の断面形状を所定の四角形状に制御するものである。



図Ⅲ-2-(イ)-E-1(8)
赤外線光遮蔽具を 90 度間隔で 4 箇所に設置し、これを種子結晶の回転と同期させて回転させる。これにより、円周方向の光量が 4 か所、減じられるので、四角形状の単結晶が育成可能となる。

3.　育成された単結晶の特性

3-1.　ライフタイム値

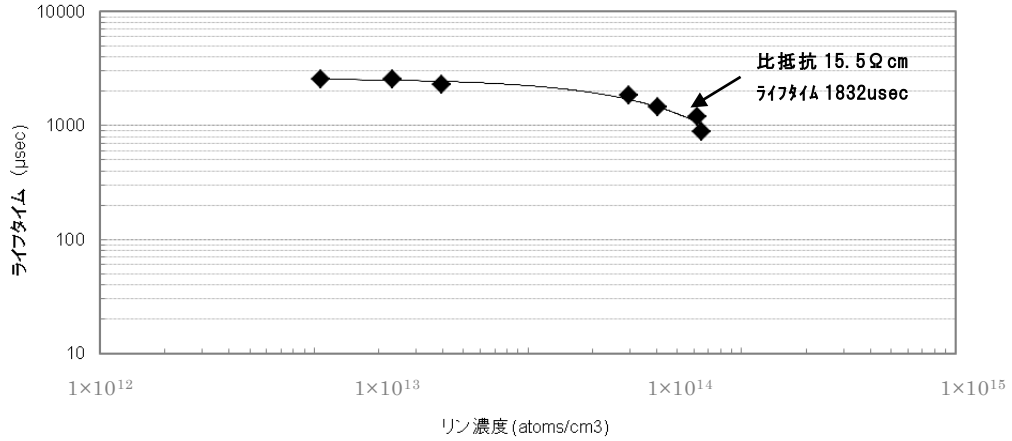
シリコン結晶を太陽電池として使用する際に最も重要な性能はライフタイム値であるとされており、この値は大きい程に良いとされている。ライフタイム値はシリコン結晶に含まれる添加剤の濃度と相関関係にあり、添加剤の濃度は抵抗率と相関関係にある。本研究開発においては比抵抗値 15Ωcm の時に 1000μsec 以上の値を有することを目標とした。

結晶中には育成中もしくは、後処理工程において様々な欠陥が導入され、ライフタイム値を低下させる効果があるとされている。従って、高いライフタイム値を有する単結晶を製造するためにはこれら欠陥の少ない高品質単結晶育成法の確立が必要となる。

本研究において育成された単結晶について得られた比抵抗値、リン濃度とライフタイム値の相関について調べた結果をグラフⅢ-2-(イ)-E-1(2)に示す。比抵抗 15.5Ωcm 品でのライフタイム値は 1832usec が得られており、目標値を大幅に超えた数値を示した。また、リン濃度が低くなるにつれ（比抵抗が高くになるにつれ）、ライフタイム値も高くなる相関関係が確認された。

一般にシリコン単結晶では、各種の結晶欠陥濃度が高くなるほどにライフタイム値が下がる傾向があることが知られている。本赤外線 FZ 法により製造された単結晶においては比抵抗値（即ちリン濃度）に対応するライフタイム値が一般に市販されているシリコンウエハーの値よりも遥かに高い値を示しており、結晶欠陥が少ない単結晶が得られていることが示唆された。

グラフⅢ-2-(イ)-E-1(2) 結晶中のリン濃度とライフタイムの関係



※ライフタイム測定装置　Sinton BCT-300

3-2.　酸素成分濃度および炭素成分濃度

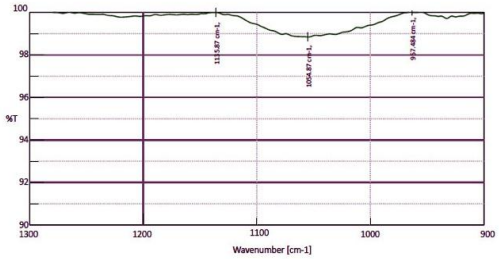
育成したシリコン単結晶の酸素成分濃度、炭素成分濃度分析を実施した。得られた結果を表Ⅲ-2-(イ)-E-1(3)に示す。酸素成分濃度、炭素成分濃度ともに何も検出されず測定装置の検出限界値以下であった。さらには赤外吸収スペクトル測定においても通常の酸素（1108cm^{-1}）、及び炭素（607cm^{-1}）の吸収位置にピークが見られていないことを確認した。（図Ⅲ-2-(イ)-E-1(9)、Ⅲ-2-(イ)-E-1(10)）上記の結果から本研究開発で試作した赤外線単結晶製造装置は酸素成分、および炭素成分を含まない高純度単結晶育成が可能であることを実証した。

【表Ⅲ-2-(イ)-E-1(3) FT-IR 分析結果】　(Unit：atoms/cm^3)

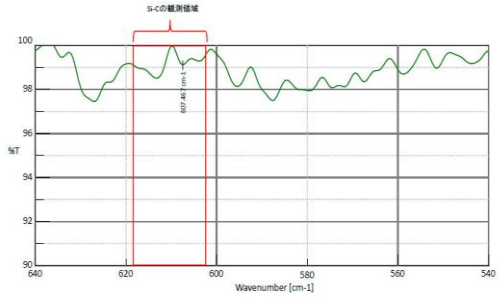
装置	試料厚み（cm）	酸素成分濃度	炭素成分濃度
大型赤外線単結晶育成装置（平成 24 年度）	0.1943	検出限界以下※1	検出限界以下※2
大型クセノン炉（平成 26 年度）	0.1740	検出限界以下※1	検出限界以下※2
	0.1720	検出限界以下※1	検出限界以下※2

※方　　法：フーリエ変換赤外分光法（FT-IR 法）、

検出限界：酸素成分濃度<1.51×10^{16}、炭素成分濃度< 0.83×10^{16}



図Ⅲ-2-(イ)-E-1(9)　O 定量用　赤外吸収スペクトル



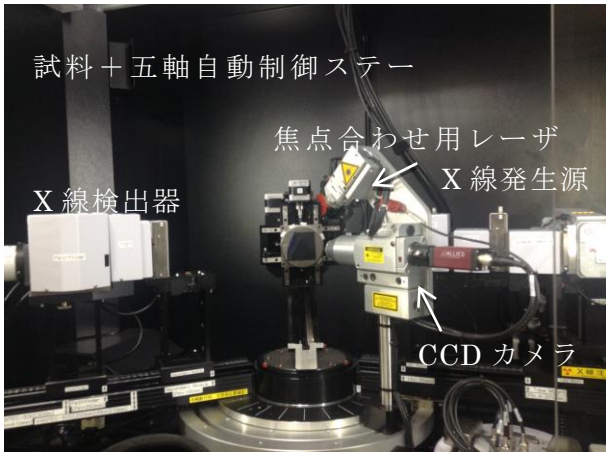
図Ⅲ-2-(イ)-E-1(10)　C 定量用　赤外吸収スペクトル

4. 赤外線 FZ 法で製造されたシリコン単結晶の特性評価方法の確立（山梨大学）

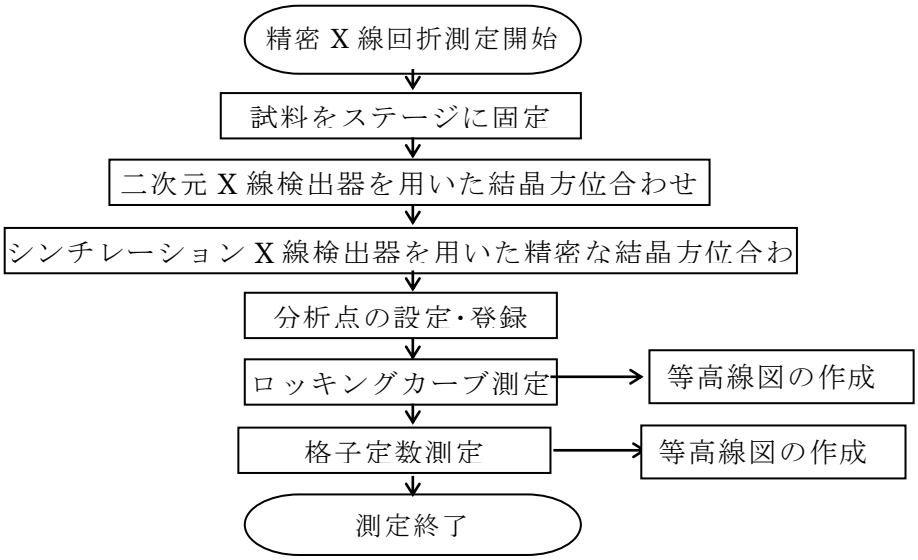
4-1. 結晶性評価技術の開発

シリコン単結晶を太陽電池用などとして利用する場合にはホウ素、リンなどの添加物を必要量含んだ結晶が求められる。当然のことながらこれら添加物は単結晶全域に亘って最適組成で均質であることが必要である。さらにはシリコン単結晶中には酸化ケイ素や炭化ケイ素などの不純物の混入、固溶体の形成と離溶、負結晶や転位などの各種欠陥が観察されており、用途によっては深刻な悪影響がある。従って、本赤外線ＦＺ法で製造した単結晶についても精密な結晶性評価を実施し、その結果を踏まえて高品質単結晶育成条件の確立を目指した。本研究開発において精密 X 線回折法によりシリコン結晶面内の半値幅と格子定数の二次元マッピングを測定することにより結晶完全性や熱歪みを可視的に評価する方法を開発し本赤外線ＦＺ法で試作されたシリコン単結晶について評価を行った。

精密 X 線回折装置は、図Ⅲ-2-(イ)-E-1(11)に示すような構成になっており、シリコン結晶ウェーハーは五軸自動制御ステージに真空チャックにて固定し、CCD カメラで試料表面を観察できる。X 線検出器は、結晶方位合わせには二次元 X 線検出器を使用し、ロッキングカーブや格子定数の測定にはシンチレーション X 線検出器を使用した。図Ⅲ-2-(イ)-E-1(12)のフローチャート図に示す順序で X 軸，Y 軸ともに 5 mm あるいは 10 mm 間隔で測定した。なお、ステージの X 軸，Y 軸可動範囲はともに±40 mm である。ロッキングカーブ測定の結果から半値幅を求め、θ-2θ スキャンにより格子定数を測定して、これらの測定データから PC ソフトウェア DeltaGraph にて等高線図を作成した。



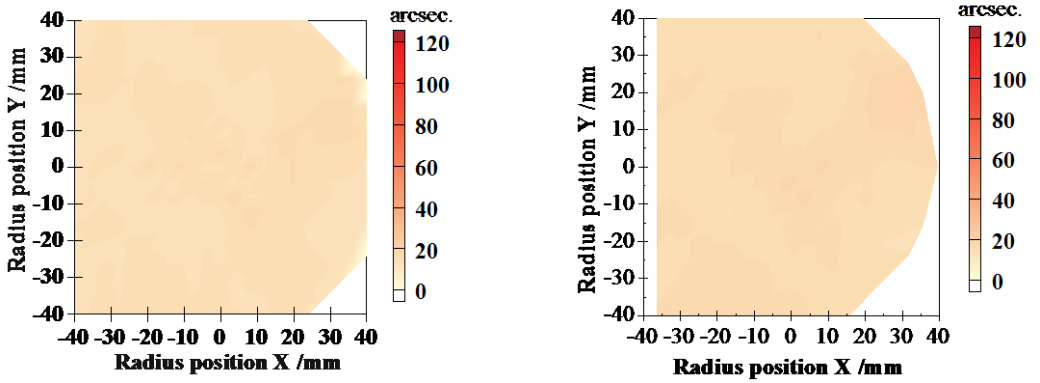
図Ⅲ-2-(イ)-E-1(11) 精密 X 線回折装置 (Burker Discovery 8)



図Ⅲ-2-(イ)-E-1(12) X 線回折測定のフローチャート図

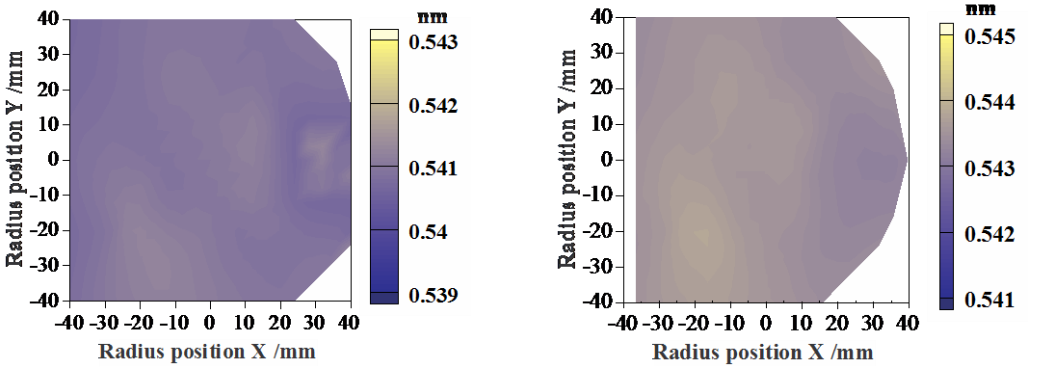
CZ シリコン結晶と高周波 FZ シリコン結晶についての半値幅の分布を図Ⅲ-2-(イ)-E-1(13)に示す。CZ シリコン結晶と高周波 FZ シリコン結晶の半値幅はそれぞれ平均 14±1 arcsec., 16±1 arcsec.であり、いずれの結晶とも非常に結晶性が良いが、面内で半値幅の分布状態が観測されている。CZ シリコン結晶と高周波 FZ シリコン結晶についての格子定数の分布を図Ⅲ-2-(イ)-E-1(14)に示す。いずれの結晶においても格子定数の分布状態が観測されており、特に、高周波 FZ シリコン結晶においては、結晶外周部の格子定数が結晶中央部より小さい傾向が観測されていることから結晶外周部に応力がかかり格子が歪んでいることがわかる。両結晶の格子歪みの度合いを「格子定数の標準偏差」/「格子定数の平均値」x10^6により評価したところ、CZ シリコン結晶で 220 ppm, 高周波 FZ シリコン結晶で 257 ppm であることがわかった。

以上の結果から、本結晶性評価技術により、一般に製造されている比較的良質な CZ シリコン結晶や高周波 FZ シリコン結晶においても、結晶面内で結晶性や格子歪みの分布状態を可視的に明らかにすることができた。本結晶性評価技術は、上述のシリコン結晶との比較により本開発研究の赤外線加熱 FZ シリコン結晶の評価にも有効であると考えられる。



(a) CZ シリコン結晶　　(b) 高周波 FZ シリコン結晶

図Ⅲ-2-(イ)-E-1(13) CZ シリコン結晶(a)と高周波 FZ シリコン結晶(b)の半値幅分布



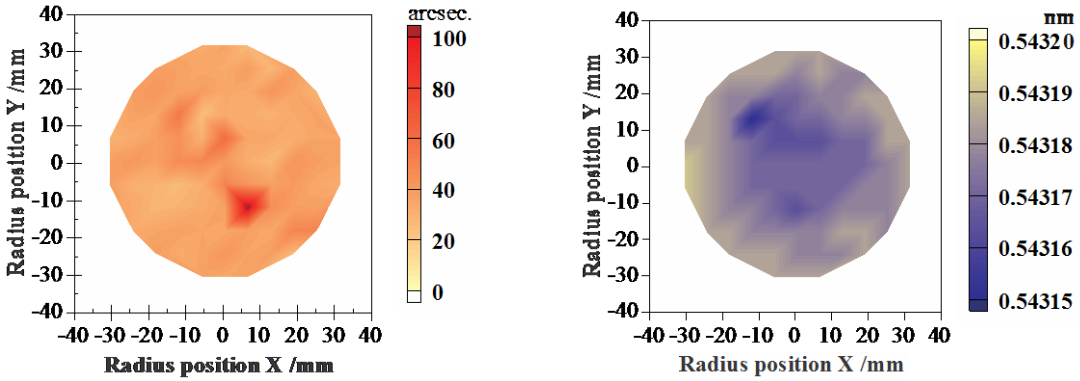
(a) CZ シリコン結晶　　(b) 高周波 FZ シリコン結晶

図Ⅲ-2-(イ)-E-1(14) CZ シリコン結晶(a)と高周波 FZ シリコン結晶(b)の格子定数分布

4-2.　通常法（ネッキングレス法）育成結晶の結晶性評価

通常法により育成された直径約 70mm, 長さ約 80mm の丸型リン添加シリコン単結晶について成長方向（成長断面）および成長方向に対して垂直な方向（成長垂直断面）についてそれぞれ」半値幅と格子定数分布を測定した。

成長垂直断面の Si004 反射ロッキングカーブ測定の結果、図Ⅲ-2-(イ)-E-1(15)(a)に示すように、半値幅約 110 arcsec.の高い領域が観測されているが、平均 37±9 arcsec.でありほぼ均質であることが判った。また、格子定数の分布を図Ⅲ-2-(イ)-E-1(15)(b)に示す。格子定数の平均値は 0.54318±0.00001 nm であり、結晶の中心部と周辺部の格子歪みは 13 ppm であった。比較の為に市販されている高周波 FZ 法及び CZ 法により製造された Si 結晶について同様に測定した結果は高周波 FZ 法品の格子歪みは 220 ppm であり、CZ 法品については 257 ppm であった。これらの結果から本赤外線ＦＺ法で製造された単結晶の格子歪量は既存の製品と比べても極めて小さいことが明らかになった。

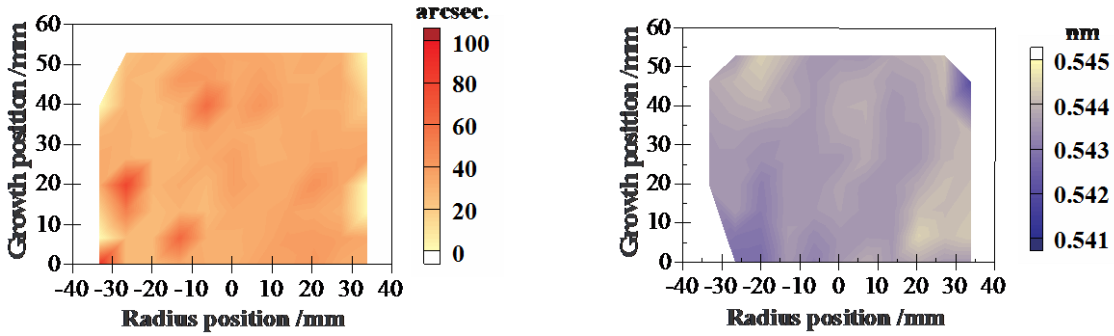


(a) 半値幅　　(b) 格子定数

図Ⅲ-2-(イ)-E-1(15) ネッキングレス P ドープ・シリコン結晶の育成垂直断面における半値幅(a)と格子定数(b)の分布

次に、成長断面について Si220 反射の X 線回折測定より半値幅と格子定数を測定した結果を図Ⅲ-2-(イ)-E-1(16)に示す。

半値幅の平均値は 34±9 arcsec.、格子定数の平均値は 0.5437±0.0003 nm であった。図Ⅲ-2-(イ)-E-1(16)(a), (b)の比較から、半値幅が大きい箇所では格子定数も小さくなる傾向が観測されており、結晶歪みにより結晶完全性が低下していることが推測された。



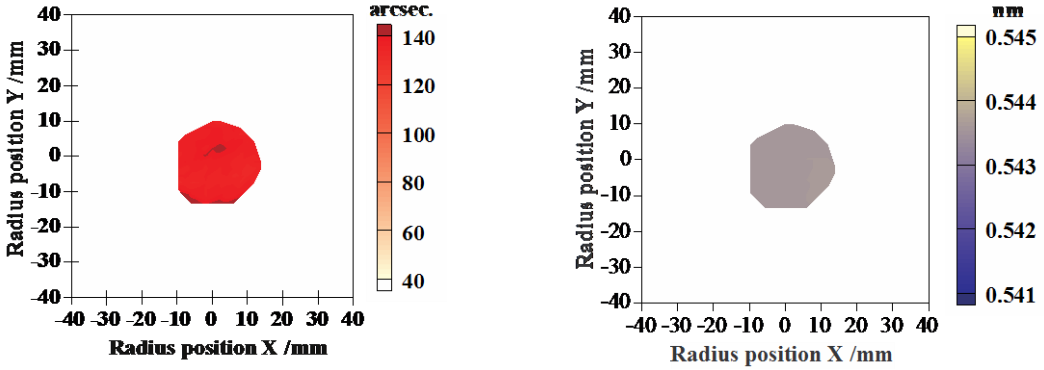
(a) 半値幅　　(b) 格子定数

図Ⅲ-2-(イ)-E-1(16) ネッキングレス P ドープ・シリコン結晶の結晶成長断面における半値幅(a)と格子定数(b)の分布

4-3.　ネッキング育成結晶の結晶性評価

ネッキング手法により育成されたリンドープ・シリコン単結晶について前述の通常法育成結晶の場合と同様にして成長垂直断面の半値幅と格子定数のそれぞれの分布を測定した。

図Ⅲ-2-(イ)-E-1(17)(a)に示すように、半値幅の平均値は 137±2 arcsec.であり、半値幅の値は通常法育成結晶に比べて大きいが、ばらつきが非常に小さく CZ 育成品や高周波 FZ 育成品と同程度に均質であることが判った。図Ⅲ-2-(イ)-E-1(17)(b)に示す格子定数の分布より、格子定数の平均値は 0.54358±0.00002 nm であり、結晶の中心部と周辺部の格子歪みは 30 ppm であり、高周波 FZ 法や CZ 法により製造された Si 結晶の格子歪み（それぞれ 220 ppm と 257 ppm）と比べても極めて小さいが前述の通常法で育成した結晶の格子歪み値 13 ppm に比べると大きい値であった。



(a) 半値幅　　(b) 格子定数

図Ⅲ-2-(イ)-E-1(17) ネッキング育成によるリンドープ・シリコン結晶の結晶成長断面における半値幅(a)と格子定数(b)の分布

2. 実用化・事業化見通し

■成果の実用化の可能性

シリコン単結晶を太陽電池用として利用する場合、最も効率が高いとされているセルはリンを添加したN型シリコン単結晶とアモルファスシリコンを併用したHIT型に電極を裏側にのみ配置したバックコンタクト方式を組み合わせたHBC型と呼ばれる方式でありこれにはN型単結晶基板が必要とされている。

従来のCZ法、もしくはキャスト法は一方向凝固法と呼ばれる方法に属しており、これらの方法でリンを添加された結晶を育成するとリンの分配係数が0.35なので得られた単結晶中のリンの濃度は成長に伴って急激に変化してしまうので､最適なリン濃度(比抵抗値）品のみを使用しようとすると製品の歩留まりが低いので製造コストが極めて高額となってしまう。そこで製造コストを下げるために比抵抗値範囲を広げて使用しているのが現状である。さらには使用する石英ルツボから大量の酸化ケイ素がシリコン結晶中に固溶し、温度が下がるにつれて離溶現象が生じるのでシリコン結晶中に酸化ケイ素が層状に析出して離溶ラメラを形成するので大量の転位が発生するばかりか周囲のシリコン格子が大きな歪を受け場合によっては破壊されるので大幅な性能劣化を招いている。他方、高周波FZ法では原理的には均質組成の単結晶を育成可能であるが、特別に調整された高価なポリシリコン原料棒が必要であり、コスト的に安価に製造することは困難である。

本研究開発において新開発の赤外線単結晶製造装置で育成されたN型シリコン単結晶は直径が125mmに止まったが得られた単結晶の比抵抗値、ライフタイム値、転位、炭素および酸素成分濃度は目標値を大幅に超過達成しており、本赤外線FZ法で高品質単結晶が製造可能であることが実証された。また本研究開発で作成された単結晶の内部歪量は従来のCZ法及び高周波FZ法で育成された無転位シリコン単結晶と比較して、20分の1以下という桁違いに歪が少ない超高品質品であることが確認された。

本赤外線FZ法ではルツボなどの消耗品が不要であり、必要電力量も半分以下と推定されるので製造コストは大幅に低くなる上に最適組成で均質組成の高品質単結晶が製造可能であることが実証された。従って、従来法よりも遥かに高品質品を遥かに安価に製造、販売することが可能であり実用化の可能性は極めて高い。

■実用化に向けての課題

高性能太陽電池用シリコン単結晶は一般的に直径200ｍｍ以上（基板サイズ150mm角）が用いられている。本研究開発では直径200mm以上の大口径化に対する技術的な課題はクリアにされており、赤外線の照射方向、分布制御などの要素技術を最適化することにより直径200ｍｍを超える大口径高品質単結晶育成は可能であると確信している。今後、大口径化を実現することで、実用化が可能となる。

■市場の見通し

太陽電池として使用される素材はシリコン結晶以外にもあるが依然としてシリコン単結晶は高い占有率を示しており将来に渉って主要な基材であると言われている。市場規模としても拡大の一途を辿ると期待されている。それでも太陽電池の発電コストは依

然として高いのが現状でありさらなるコスト削減策が求められている。

シリコン結晶を使用する太陽電池では製造コストに占めるシリコン結晶のコストが高いと言われている。従って安価で高性能なシリコン単結晶基板製造方法の確立は極めて重要な課題であり、本研究開発の成果はこのようなニーズに合致したものである。

3. 波及効果

シリコンは多くの単結晶材料の中でも最も市場規模の大きい素材であり太陽電池産業以外にもＬＳＩ用、パワーデバイス用などの分野において多用されている。他に光通信分野、医療機器分野、など多くの産業分野でさまざまな単結晶材料が利用されているが主な製法は引上法（ＣＺ法）である。シリコン単結晶育成の例でも示したように引上法はルツボを使用して一方向凝固法により単結晶を得る方法なのでルツボから不純物が製品中に混入してしまう他、添加物濃度を均質にできない本源的な欠点がある。

赤外線ＦＺ法はルツボを使用しないので安価に高純度の単結晶製造が可能でありかつ添加物濃度を最適組成で均質化できる方法であるが従来は育成可能な最大直径がせいぜい 30ｍｍ程度とされていた。本研究開発ではすでに直径 100mm 品の合成に成功しており、まもなく直径 200ｍｍ品の合成法も確立されると予測される。このことはシリコン以外の多くの単結晶材料製造法への適用が可能となることであり極めて大きな波及効果が期待される。

4. 今後の展開

本赤外線ＦＺ法は世界的にも全く新しい大型単結晶製造法であり、基本特許は株式会社クリスタルシステムが国内外において取得している（日本、米、ＥＵ，中国、韓国)。それでも基本特許以外に多くのノウハウを内包しており、知的所有権の海外への流出を抑止するためにも当面は装置の外販を行わず、シリコン単結晶材料のみの製造、販売を想定している。事業化に際しては製造工場の新設のみではなく、既存の半導体工場を活用して早期の生産規模拡大を図ることも検討する。

さらには本研究開発事業で開発した大型赤外線ＦＺ法はシリコン以外の光材料、蛍光体材料などの単結晶製造にも最適な方法でありこれらの産業への普及についても積極的に推進していく。

5. 特許論文リスト

表　特許・論文・学会発表

	H24	H25	H26	計
特許出願（うち海外出願）	0	0	0	0
論文（査読付き）	0	0	0	0
研究発表・講演（うち国際会議）	0	2	1	3
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0	0
受賞実績	0	0	0	0
展示会への出展	0	0	0	0

注）　赤外線単結晶製造装置関連特許 2 件、単結晶製造方法関連特許 1 件を申請準備中。

【論文・学会発表】

番号	発表者	発表タイトル	発表媒体	発表年
1	綿打敏司，柳本一樹，長尾雅則，田中功，渡辺崇司，進藤勇	赤外線集中加熱浮遊帯域溶融(IR-FZ)法で育成したSi結晶中の炭素不純物の低減	口頭発表（第60回応用物理学会春季学術講演会）	平成25年
2	進藤勇，碇敦，佐藤剛，田中功	赤外線FZ法によるN型四角形状シリコン単結晶育成方法の研究開発	口頭発表，ポスター発表（平成25年度NEDO新エネルギー成果報告会【太陽光発電分野】）	平成25年
3	進藤勇，碇敦，佐藤剛，田中功	赤外線FZ法によるN型四角形状シリコン単結晶育成方法の研究開発	ポスター発表(平成26年度NEDO新エネルギー成果報告会【太陽光発電分野】)	平成26年

引用文献

1)　K. Hoshikawa et al. J. J. A. Physics, 38(12A) L1369-L1371 1999-12-01

F　銅ペースト量産化技術と試験・評価方法に関する研究開発

1. 成果詳細

表Ⅲ-2-(イ)-F-1(1) 研究開発毎の成果・達成度

開発項目	最終目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
焼成型	処理条件 窒素雰囲気下 900 °C 以下	650 °C 焼成で 3×10^{-6} Ω cm	◎	
	電気的特性 曲線因子 0.7 以上	0.6	×	室温での Cu 拡散が大きな問題。
	半田付け強度 2 N 以上	1 N	×	
	コスト目標 銀ペーストの 1/2	-	×	
熱硬化型	処理条件 200 °C、30 min	200 °C,　30 min	○	
	比抵抗値 $5\sim10\times10^{-5}$ Ω cm	8×10^{-6} Ω cm	◎	
	電気的特性 曲線因子 0.78 以上 （同一セル構造にて銀配線と遜色ないこと）	0.7994 （Al-BSF セルに適用）	◎	
	半田付け強度 1.5 N 以上	1.6 N	◎	
	コスト目標 銀ペーストの 1/2	-	△	プロジェクト開始時から銀価格下落し、現時点での価格では 1/2 まで圧縮できない。

◎：大幅達成、○：達成、△：達成見込み、×：未達

表Ⅲ-2-(イ)-F-1(2) 特許、論文、外部発表等の件数（内訳）

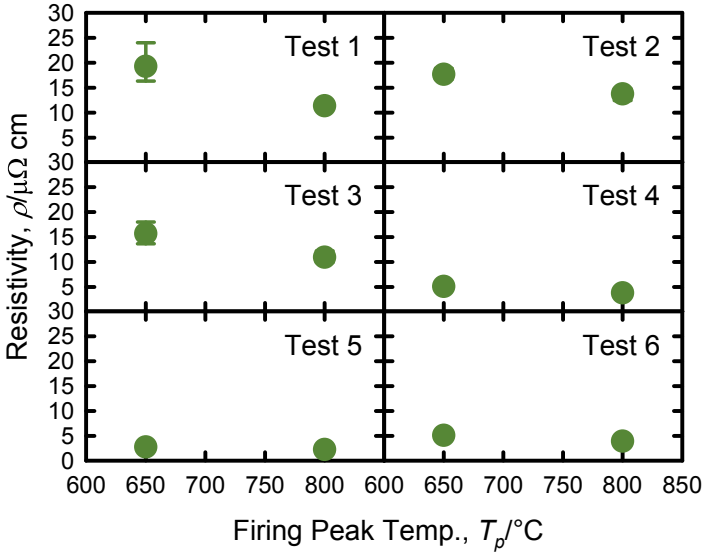
	特許出願			論文		その他外部発表（プレス発表等）
	国内	外国	PCT出願	査読付き	その他	
平成２４年度	0	0	0	0	0	研究発表・講演 0 件
平成２５年度	0	0	0	0	0	研究発表・講演 2 件
平成２６年度	2	0	0	0	0	研究発表・講演 2 件

(1)焼成型銅ペースト

800 °C 程度のピーク温度で熱処理される焼成型ペーストでは、導電粒子の焼結により横方向の電気伝導を形成する。また、ペーストが基板表面の反射防止膜と反応し、基板との電気接続を形成する。使用する材料、特に導電金属粒子とガラスフリットの選択によっては焼結が進行せず十分な横方向の電気伝導を得ることができなくなる。特にシリコン基板との電気接続において、これらの選択によって電極と基板との接触抵抗値が大きく左右される。そのため、まずは目標とする処理条件に於いて抵抗率を下げることのできる組成について検討を行った。表Ⅲ-2-(イ)-F-1(3)に試作ペーストの配合を示す。使用する銅粉末は 2 種類とした。ペースト化に於いて樹脂の選択も重要な要素となる。これまでの知見から 3 種の樹脂を選択した。また、使用するガラスフリットは 1 種とし、主に無機の添加物による影響も同時に調査した。ペースト 650 °C と 800 °C にて焼成して電極とし、抵抗率評価を行った結果を図Ⅲ-2-(イ)-F-1(1)に示す。Test 4 から抵抗率が急激に低下していることがわかる。使用する樹脂の選択によって抵抗率に大きな影響をあたえることがわかる。これは樹脂の熱分解性によるもの

表Ⅲ-2-(イ)-F-1(3) 焼成型銅ペースト試作組み合わせ

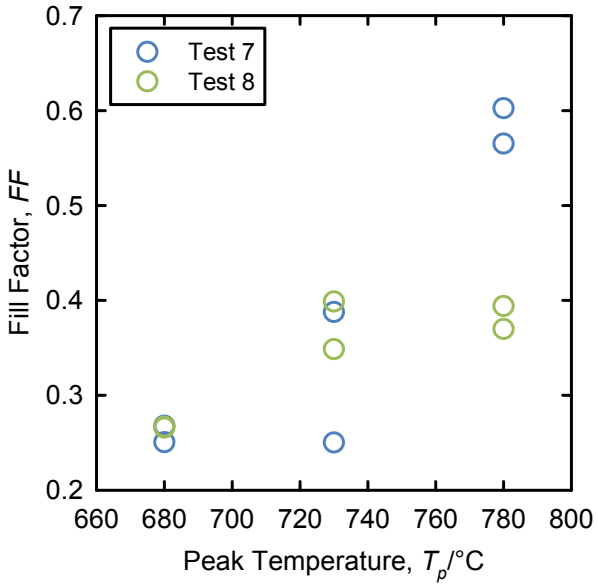
	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6
Powder 1	○	○	○	○	○	◦
Powder 2						○
Additive	○	○	○	◦	◦	◦
Glass Frit	○	○	◦	◦	◦	◦
Resin 1	○	◦				
Resin 2		◦				
Resin 3			○	○	○	○



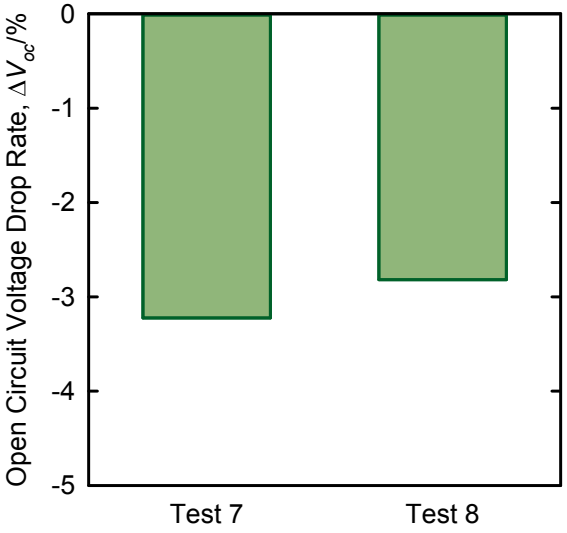
図Ⅲ-2-(イ)-F-1(1) 焼成型銅ペースト焼成後比抵抗値

と推察される。この結果から使用する樹脂は主に、Resin 3 とした。

この結果をもとに、印刷用にペーストのレオロジーを調整し、セル試作を行った。使用したペーストは Test 7 と 8 とし、接触抵抗低減のための添加物調整を行っている。図Ⅲ-2-(イ)-F-1(2)にセルの IV 特性のうち、曲線因子（Fill Factro, *FF*）を示す。Test 8 では FF が 0.4 程度で頭打ちになっているが、Test 7 では焼成温度の上昇にともなって *FF* が向上している。このため、銅粉末を用いた焼成型銅ペーストも結晶シリコン太陽電池の電極として適用できると考えた。しかし、1 週間後に同一のセルの IV 測定を行ったところ、図Ⅲ-2-(イ)-F-1(3)のようにすべてのサンプルで Voc が極端に低下していた。LSI 分野においても銅配線初期には基板中への銅拡散が問題になっており、太陽電池においても同様の対策が必須であることが判明した。このため、焼成型銅ペーストの開発の優先順位を落とし、熱硬化型銅ペースト開発に注力することとした。



図Ⅲ-2-(イ)-F-1(2) 焼成型銅ペーストによる試作セルの *FF*



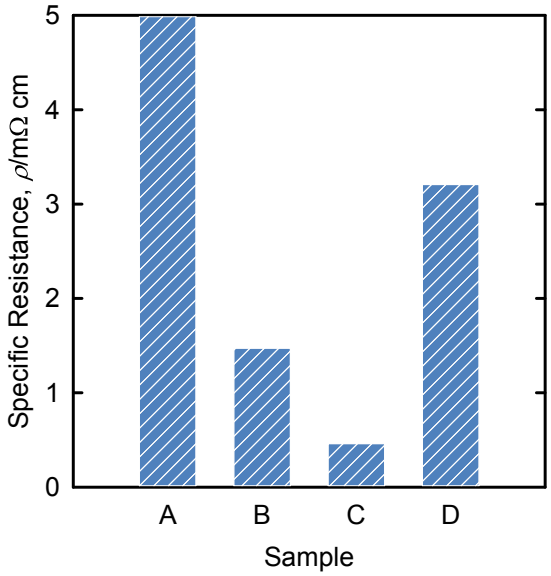
図Ⅲ-2-(イ)-F-1(3) 試作銅ペーストによる試作セルの 1 週間保管後の Voc 低下率

(2)熱硬化型ペースト

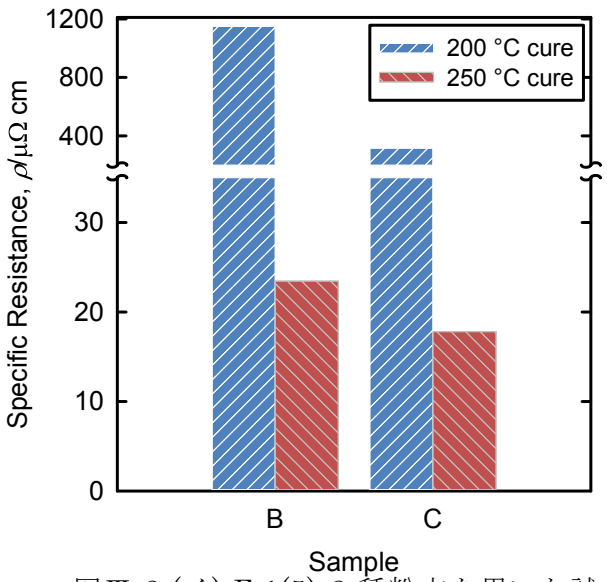
熱硬化型導電ペーストは、基本的には導電粒子と加熱処理によって硬化する樹脂との組み合わせによって構成される。この場合、加熱による樹脂の硬化に伴って横方向の電気伝導が発現するため、加熱処理の温度は、樹脂が消失せず、且つ熱劣化しない 200~300 °C 前後の温度で行われる。金属粒子を“焼結”させる温度域ではないため、基本的には粒子同士の接触による導電経路形成が主となる。このため、導電粒子と樹脂の選択によって電気伝導率は大きく変化する。そこで、まずは導電粒子の選択のための実験を行った。4 種の Cu 粉末（A～D）を用意し、同一樹脂配合に於いてペーストを試作した。また Cu 粉末含有率も同一とした。これを ITO ではなく、SixN:H が製膜してある Si 基板上に印刷し、N_2 ガスフローのベルト炉を使用し、最大温度 200 °C にて熱処理した。この時の総処理時間は 60 min であった。図Ⅲ-2-(イ)-F-1(4)に各サンプルの熱処理後の抵抗率、ρ を示す。Cu 粉末 A は、比抵抗率は無限大で、完全に絶縁状態であった。B から D は導電性を示した。従

って、選択する Cu 粉末によって、硬化後の導電率は大きく左右されるという事になる。

比抵抗率の低かった 2 サンプル（B および C）について、更に温度の影響について調査するため、熱処理の設定温度を変更し、最大温度が 250 ℃となるように設定した。この時、総処理時間は 60 min であった。図Ⅲ-2-(イ)-F-1(5)にサンプル B と C の比抵抗率の処理温度による変化を示す。処理温度が 50 ℃上昇するだけで、ρ は劇的に低下し、いずれのサンプルも 20 μΩ cm 前後の値を示した。通常、熱硬化の際には、樹脂の収縮による導電粒子の接触点増大による抵抗低下が提唱されているが、このような劇的な比抵抗率の低下は、樹脂の収縮によるものだけとは考えにくく、熱量増大による導電粒子接触面積の増大、すなわちネッキングが生じていると思われる。



図Ⅲ-2-(イ)-F-1(4) 4 種粉末を用いた試作熱硬化型銅ペーストの抵抗率



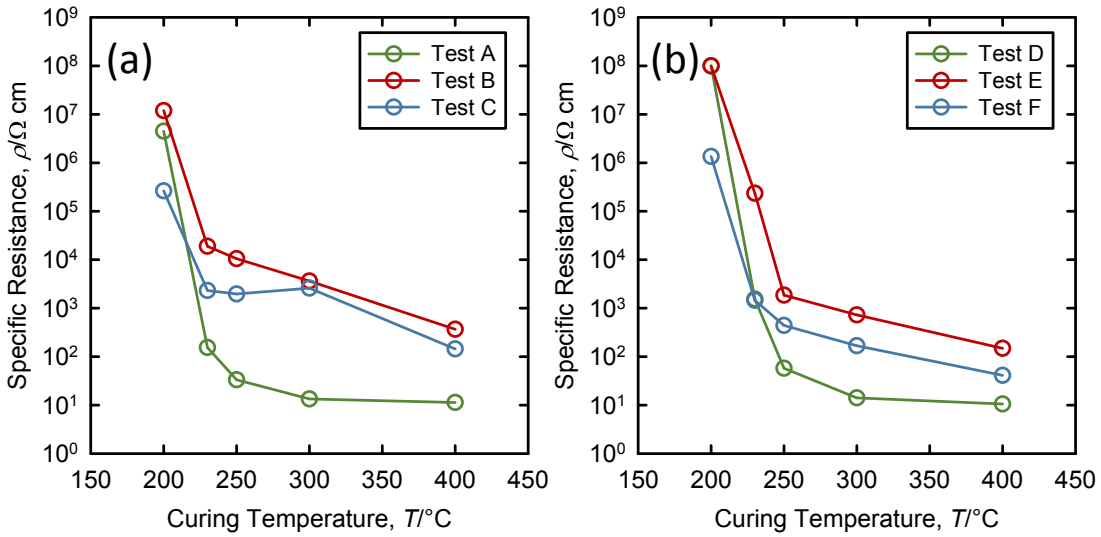
図Ⅲ-2-(イ)-F-1(5) 2 種粉末を用いた試作熱硬化型銅ペーストの抵抗率

熱硬化型ペーストの場合、抵抗率は樹脂によっても影響を受ける。先に選択した粉末に対してもっとも良い組み合わせを調査するため、樹脂の組み合わせについて調査した。この時の組み合わせを表Ⅲ-2-(イ)-F-1(4)に示す（この場合の Cu 粉末は図Ⅲ-2-(イ)-F-1(3)に於ける C で統一した）。試作したペーストは、SiNx を成膜した太陽電池用基板に印刷し、

表Ⅲ-2-(イ)-F-1(4) 試作銅ペーストへの樹脂の影響

	Test A	Test B	Test C	Test D	Test E	Test F
Resin A1	✓	✓	✓			
Resin A2				✓	✓	✓
Resin B1	✓			✓		
Resin B2		✓			✓	
Resin B3			✓			✓

硬化温度を変化させて抵抗率を測定した（図Ⅲ-2-(イ)-F-1 (6)(a) (b)）。Test A から F のうち、Resin B1 を使用したものがもっとも抵抗率が下がっている。

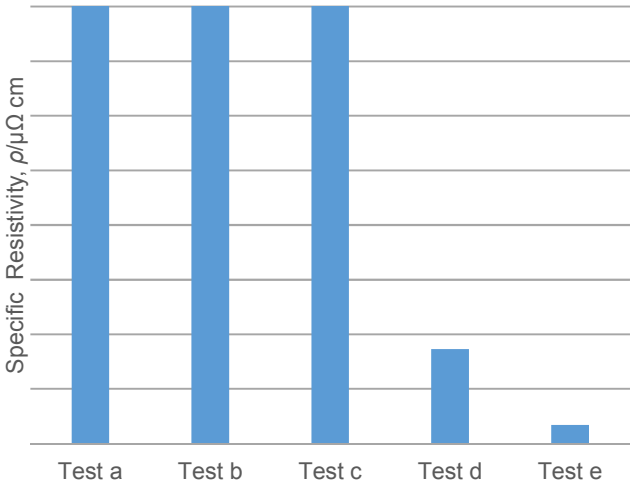


図Ⅲ-2-(イ)-F-1(6) 樹脂による抵抗率への影響

抵抗率の更なる低下と処理温度低下も促し目標値を達成するために、各種添加物の効果を調査した。表Ⅲ-2-(イ)-F-1(5)に添加物種の組み合わせを、図Ⅲ-2-(イ)-F-1(7)に抵抗率の変化を示す。この時、熱処理は、N_2 雰囲気、200 °C、30 min で行った。3 種の添加物を用いたが、それぞれ単独では効果無く、3 種を同時に組み合わせることで劇的に低効率を低下させることが可能であることがわかった。これは、3 種の添加物を加え、200 °C と言う温度を加えることで粒子表面での反応が起こり、ネッキングが促進されている効果によると推察される。

表Ⅲ-2-(イ)-F-1(5) 低温化のための添加物の影響

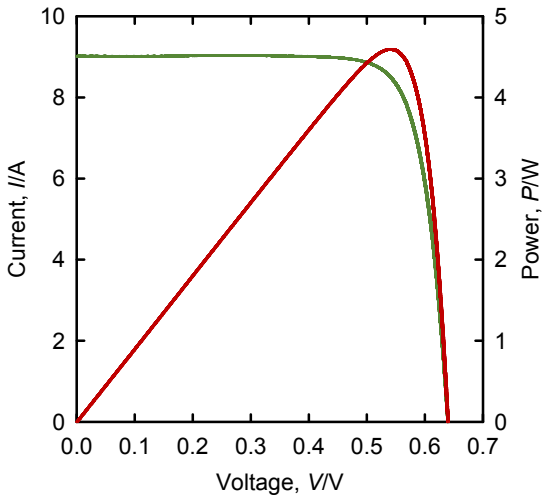
	Test a	Test b	Test c	Test d	Test e
Additive 1	✓			✓	✓
Additive 2		✓		✓	✓
Additive 3			✓		✓



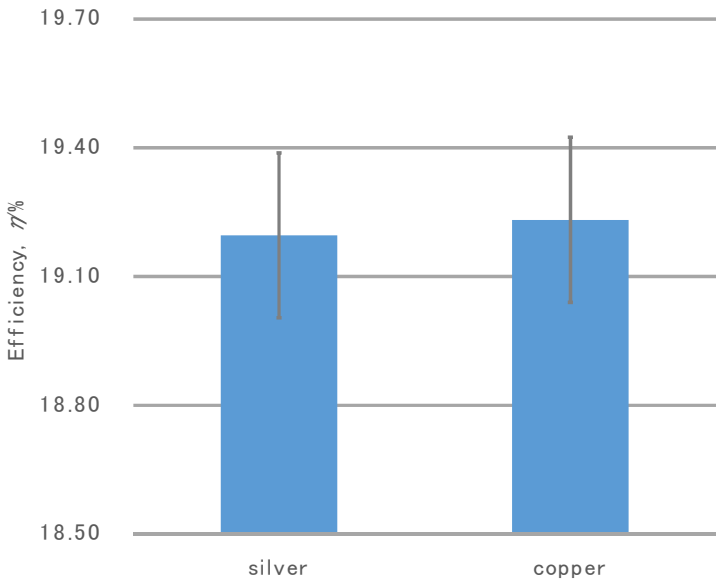
図Ⅲ-2-(イ)-F-1(7) 添加物による抵抗率低下

開発した Cu ペーストを結晶 Si 太陽電池のバス電極として使用し、セル駆動を確認した。この時、フィンガー電極は通常の焼成 Ag 電極により形成し、基板とのコンタクトを形成してある。この試作セルにバス電極として Cu ペーストを印刷し、200 °C/30 min、N_2 雰囲気下で硬化してセル駆動を確認した。図Ⅲ-2-(イ)-F-1(8)に試作セルの外観を、図Ⅲ-2-(イ)-F-1(9)にセルの IV 特性をまた、焼成型の Ag のみで試作した場合の比較を図Ⅲ-2-(イ)-F-1(10)に示す。焼成 Ag のみで試作した場合と比較しても同等のセル性能を有しており、開発した Cu ペーストによる配線で太陽電池セルとして機能することが示された。

図Ⅲ-2-(イ)-F-1(8) 銅配線セル外観

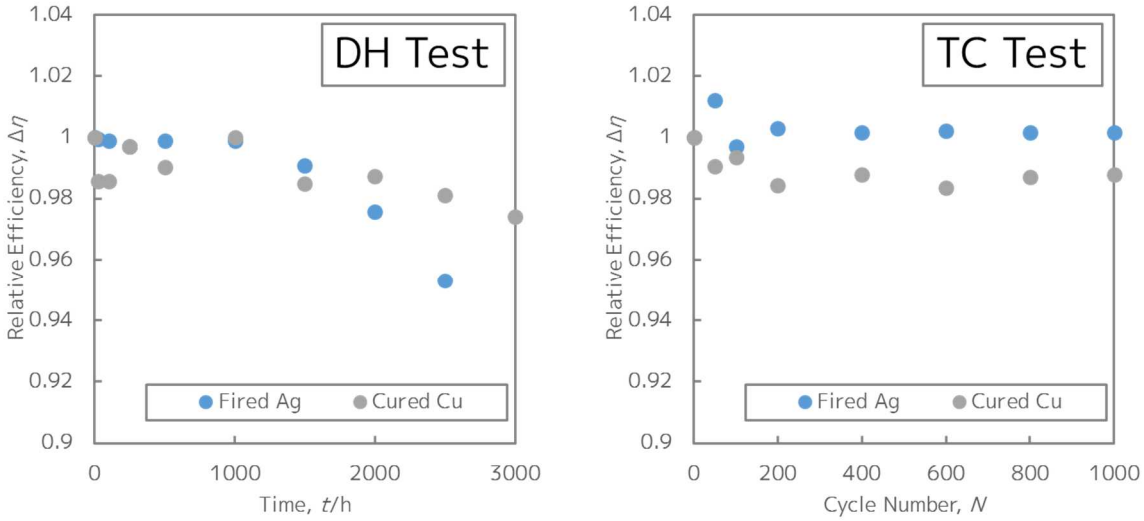


図Ⅲ-2-(イ)-F-1(9) 銅配線セル IV 曲線



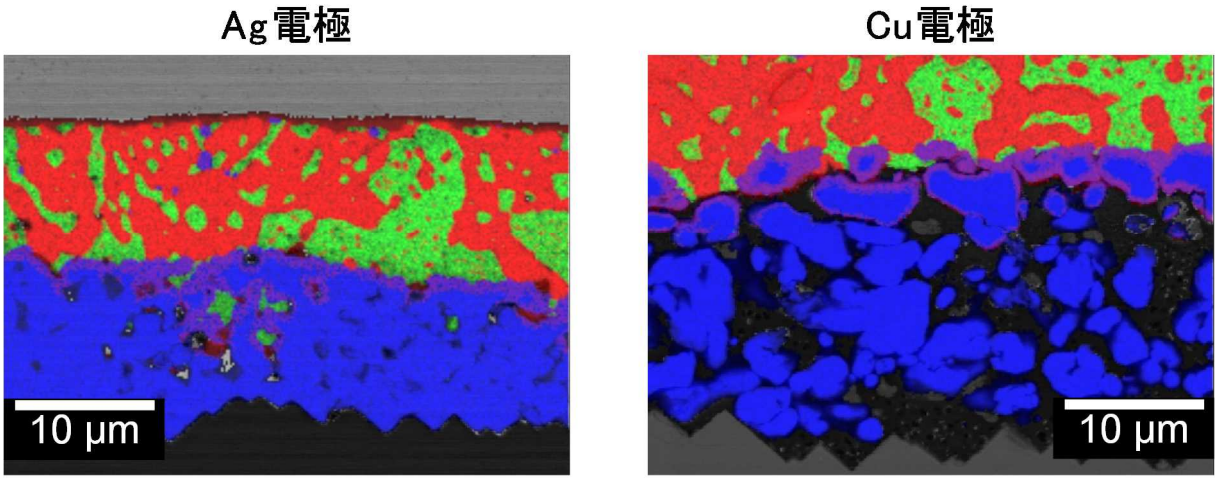
図Ⅲ-2-(イ)-F-1(10) 銀配線セルと銅配線セルの効率比較

Cu 配線において懸念されるのはその信頼性であるが、ミニモジュールにおいて、温度85℃、湿度 85%のダンプヒート試験（DH 試験）を行った。比較対象として、通常の焼成 Ag ペーストのみのものを同時に試験した（図Ⅲ-2-(イ)-F-1(11)）。現行の規格（例 IEC 等）では 1000 h が規定であるが、これを大きく超える 3000 h の DH 試験に対して、開発した Cu ペーストを用いたセルでは効率低下が 5 %以下と、極めて高い信頼性を有することが示された。一方で焼成 Ag では、2500 h 程度で低下率が 5 %となり、3000 h では更に効率の低下率が高くなり、初期の半分程度まで低下していた。



図Ⅲ-2-(イ)-F-1(11) 銀配線セルと銅配線セルのミニモジュール信頼性試験結果

半田付けした配線を 150 °C の環境下で保持し、Sn の拡散を EDS により評価した。この時の元素分布マップを図Ⅲ-2-(イ)-F-1(12)に示す。この場合、Cu 配線のほうが Sn の侵入深さが浅い事がわかる。Ag 配線では Sn が基板側まで侵入し、このため信頼性に影響が出たと考えられる。

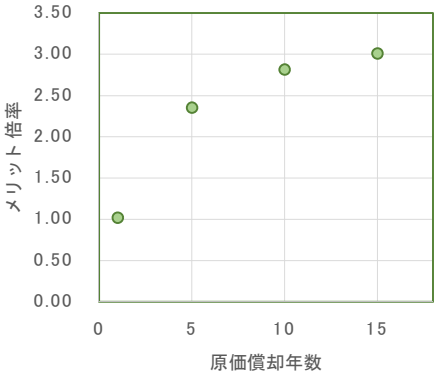


図Ⅲ-2-(イ)-F-1(12) 銀配線と銅配線での半田付け後の Sn 侵入度合い

2. 実用化・事業化見通し

(1)銅ペースト導入によるコストメリット

銅ペースト導入において、問題となるのは(a)設備導入費、(b)印刷とのタクトタイム、(c)雰囲気調整 N_2 ガス消費となる。今回、ヘテロセルの電極形成に用いられている硬化炉での搬送方式を想定し、印刷工程のタクトタイムに合わせられるとした。また、設備導入費として、硬化炉の導入が必要になるが、プロトタイプとして弊社に導入した雰囲気調整炉の価格を参考価格とした。また、電極形成プロセスにおいて電極ペースト使用量は現行の Ag ペーストと同等であると仮定して、コスト試算を行った。この時、投資や消耗品によるコスト増に対して、材料変更によるコスト圧縮のメリットがどの程度大きいかを算出した。この計算結果が大きければ大きいほどコストメリットは大きくなる。図Ⅲ-2-(イ)-F-2(1)に導入設備の減価償却年数とコストメリットの関係を示す。装置の減価償却を考えれば材料変更によるコスト面での優位性は高い結果となっている。



図Ⅲ-2-(イ)-F-2(1) 銅ペースト導入時のコストメリット

(2)銅ペースト事業の検討

これまでの社内検討結果を元に、セルメーカおよび研究機関に対してサンプル提出し、セルレベル、モジュールレベルでの性能評価および信頼性試験を実施中である。現在のところ、初期特性に問題はなく、各研究機関から良好な反応を得ている。最終的には実モジュールレベルでの信頼性データの蓄積が、実用化への大きなハードルであると考えている。各セルメーカとも、コスト的なメリットとして、銅配線には興味が有るようだが、長期信頼性を懸念している。事実、現存する信頼性試験（IEC 規格）でパスしても、モジュールの使用地域によっては、その実運転実績が異なる結果が報告されている。今後、部材変更による信頼性データの蓄積とその解析が実用化のためには重要であると考える。

3. 波及効果

(1)熱硬化型導電ペーストの発展

今回の結果を踏まえて、これまでの熱硬化型導電ペーストを銅へ置き換えることが可能になると考える。熱硬化型導電ペーストは、はんだ代替技術として大きな注目を集めており、今後の電子部品実装の分野において大きな市場を形成しうる。この市場において、今回開発した銅ペーストをベースとして、太陽電池だけでなく、電子部品向けに開発をすることで、熱硬化型導電ペースト市場で大きな影響を及ぼすことができると考える。当該技術分野の情報収集を積極的に行っていく。

4. 今後の展開

(1)セルメーカおよび研究機関との協働によるセル/モジュールの実証試験

今後もセルメーカおよび研究機関との協働による、セル/モジュールでの実証試験を進めていく。この際に、ペーストの改良もすすめる（例えば硬化雰囲気を N_2 から高 O_2 濃度に対応可能にするなど)。この際、研究機関での試験では可能な限り結果を公開していただく。また、これまでの結果をセルレベルで、対外的に発表してゆく。

5. 特許論文リスト

(1) Tetsu Takahashi et al., “Ag/Cu Double Screen Printing Metallization”, PVSEC-23 (poster), Taipei, Oct. 28-Nov. 1, 2013

(2) 髙橋哲 他, “結晶シリコン太陽電池における厚膜電極形成に関して”, 第 61 回応用物理学会春季学術講演会 結晶シリコンシンポジウム (講演), 青山学院大学, 2014 年 3 月 17 日~20 日

(3) Kyotaro Nakamura et al., “Concurrent Development All Along Value Chain of Crystalline Si Solar Cell under NEDO in Japan”, 29th EUPVSEC (oral), Amsterdam, Sep. 22-26, 2014

(4) Tetsu Takahashi et al., “New Metallization Concept for High Efficiency/Low Cost c-Si Photovoltaic Solar Cells”, 5th Workshop on Metallization of Crystalline Silicon Solar Cells (Oral), Konstanz, Gremany, Oct. 20-21, 2014

(5) 国内特許 2件出願

G　超低コスト高効率 Ag フリーヘテロ接合太陽電池モジュールの研究開発

1. 成果詳細

表Ⅲ-2-(イ)-G-1(1) 研究開発毎の成果・達成度

最終目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
①6 インチ角超薄型 Ag フリーヘテロ接合太陽電池セルにて変換効率 24%	6 インチヘテロ接合太陽電池セルにおいて 24.5%達成した(6 インチセル世界最高効率)。 更に本技術を活用することで、最終目標を大幅に上回る変換効率 25.1%を達成した（両面電極構造結晶シリコン太陽電池セルにおいて世界最高効率)。 （いずれも第三者機関での認証測定)	◎	なし
②Ag フリーヘテロ接合太陽電池モジュールにて変換効率 22.5%	Ag フリーヘテロ接合太陽電池モジュールにて変換効率 22.5%達成した（世界最高水準)。(第三者機関での認証測定)	○	なし

◎；大幅達成、○；達成、△；達成見込み、×；未達

1.1 最終目標と達成状況

研究開発項目及び最終目標の達成状況を以下に記す。

① 超低コスト高効率 Ag フリーヘテロ接合太陽電池セルの開発

実用サイズ結晶シリコン太陽電池セルでは世界最高水準となる 24.5%（第三者機関認証値）を実現し、最終目標(変換効率：24%)を達成した。更に、本成果を活用して研究開発を進めた結果、両面に電極を有する結晶シリコン太陽電池では世界最高効率となる変換効率 25.1%（第三者機関認証値）を、実用レベルの大面積セル(面積 150 cm^2 以上)において実現した。

本成果は、プレーティング（めっき）下地層構造の最適設計、形成方法に関する技術開発等により、遮光損や抵抗損の少ない金属グリッド電極を光電変換領域へのダメージが少ない電極形成方法により実現し、更に、ヘテロ接合太陽電池セルの電気的・光学的ロスを極限まで低減させる技術を開発することにより実現した。

また、透明導電層上に Cu プレーティング法により金属グリッド電極を形成するための一連の材料・プロセスに関し、太陽電池の高性能化に資する量産要素技術を開発した。

② 新世代 Ag フリーヘテロ接合太陽電池モジュールの開発

結晶シリコン太陽電池モジュールにおいては、世界最高水準の変換効率（22.5%）を、第三者機関測定において確認し、最終目標(変換効率：22.5%)を達成した。

本開発では、光学シミュレーションや回路シミュレーション等の手法を活用し、太陽電池セルのモジュール化に際して必要となるセルのハンドリング技術、インターコネクション技術や封止技術等のプロセス技術、評価技術等の要素技術を確立した。また、太陽電池セルを含むモジュール構成部材の電気的特性、光学特性等に関するデータベースを構築するとともに、太陽電池モジュール特性のシミュレーション技術の開発と、実用サイズモジュール（大判モジュール）での検証を行うことで、太陽電池モジュールの出力予測、設計が可能となった。上記の成果は、本研究開発で得られた技術的成果を盛り込んだ太陽電池モジュールを試作した結果得られたものである。

本研究開発にて開発した太陽電池モジュールの信頼性評価を実施し、従来型モジュールと同等以上の信頼性を有することを確認した。

1.2 成果の詳細

(1)　背景

本プロジェクトでは、今後も太陽電池の普及において中心的役割を果たすことが期待されている結晶シリコン太陽電池分野において、「コスト」、「パフォーマンス・品質（高効率)」、「差別化」の3要素全てを満たすポテンシャルを持つ「超低コスト高効率Agフリーヘテロ接合太陽電池モジュール」の研究開発に資源投入し、結晶シリコン太陽電池の超高性能化および超低コスト化を実現し、圧倒的な差別化力をもって実用化、事業化へと進めるべく、独自アイデアに基づいたAgフリーヘテロ接合太陽電池セル及びそのモジュールに対する量産要素技術の開発に取り組んだ。

株式会社カネカ（以下、カネカと記す）では、ヘテロ接合結晶シリコン太陽電池の超低コスト化および高効率化の障壁がスクリーン印刷法で形成されるAg電極にあるとの認識のもと、Cuプレーティング(めっき)プロセスを用いた電極材料のAgフリー化に関する要素技術の開発を進めてきた。その結果、超低コスト化および高効率化に資するAgフリー化技術を独自に開発し、2012年に世界に先駆けて6インチセルにて変換効率22.68%を達成した。当社が開発したこれらの技術をベースにして、本プロジェクトでは、Cuプレーティングプロセスの特徴を駆使した新規Agフリーヘテロ接合太陽電池セル及びモジュールの量産要素技術の開発をテーマとし、太陽電池セルの開発を目的に「① 超低コスト高効率Agフリーヘテロ接合太陽電池セルの開発」を、太陽電池モジュールの開発を目的に「② 新世代Agフリーヘテロ接合太陽電池モジュール技術の開発」を実施した。

本研究開発プロジェクトは、新エネルギー・産業技術総合開発機構と、カネカとの共同研究によるものであり、一部を産業技術総合研究所に再委託して実施した。カネカは、「① 超低コスト高効率Agフリーヘテロ接合太陽電池セルの開発」と「② 新世代Agフリーヘテロ接合太陽電池モジュールの開発」を実施し、産業技術総合研究所は「② 新世代Agフリーヘテロ接合太陽電池モジュールの開発」のうち、各種信頼性試験を実施した。

(2)　めっき法により形成した集電極の特徴

銀は、高コスト材料であるものの導電率が極めて高く、また大気焼成が可能という特長を有することから太陽電池の電極材料として標準的に用いられてきた。近年は、写真フィルム用途での需要は縮小しているものの、電子部品材料用や太陽電池用の需要は増大しており、また投機の対象にもなっている。これらの要因により、銀の価格は大きく変動しており、低価格化が著しい太陽電池においては、銀の使用量削減がコスト面で大きな課題となってきていた。特にヘテロ接合結晶シリコン太陽電池においては、主要構成要素である非晶質シリコン（a-Si）層などの耐熱温度の制約から高温の熱処理を施すことが困難なため、これまでは、導電率が低い低温型の銀ペーストが使用されてきた。抵抗損を低減するためには、必然的に多くの銀を使用することになり、セル全体の材料費に占める銀ペーストの割合は高くなっている。このことからもヘテロ接合結晶シリコン太陽電池においては、銀を置き換えるための技術開発が強く求められており、例えば、銀ペーストの代替となる銅ペーストの開発も進められている。カネカでは、低抵抗化が容易であり、かつ低温形成が可能な銅(Cu)プレーティング技術を用いたヘテロ接合結晶シリコン太陽電池の開発を行ってきた。

銅は、銀に次いで高い導電率を示す材料であり、材料コストは銀のおよそ1/130である。これらの点から、銅は銀の代替材料として魅力的な材料である。また、銅の製膜技術の中でもプレーティング技術は、産業的に広く用いられている低コスト製膜技術であり、太陽電池用途に関しては、スクリーン印刷技術と比べて、

・スクリーン印刷技術の限界を超えた細線化が可能
・形成される電極の導電率が高い（ほぼバルクの導電率を実現できる）

といった利点を有する。また、銅電極は、大気中で高温に曝されると内部まで酸化が進行し電極抵抗が著しく増大することが知られているが、ヘテロ接合結晶シリコン太陽電池は低温プロセスにより作製されるため、適切なプロセスを選択することにより銅の酸化による抵抗増大は軽微にすることができる。また、大型のセルになるほど電極に流れる電流は増加傾向になることから、集電極の低抵抗化はより大きな課題となる。このことから、銅プレーティング技術は、材料コストの低減と、集電極での遮光損及び抵抗損の低減による太陽電池性能の向上を同時に実現することを可能にする技術といえる。

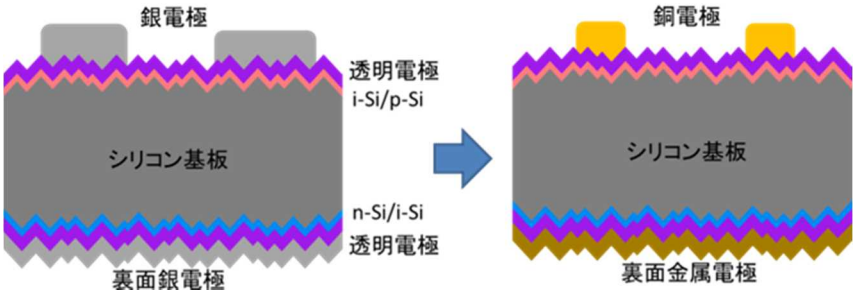
(3)　本プロジェクトで開発した集電極の特徴

太陽電池の集電極として必要とされる特性として、ライン抵抗の低減を実現する観点からは、低体積抵抗率が挙げられるが、高い太陽電池性能を得るためには、これを遮光損が無視できるような形状で実現する必要がある。また、集電極と透明電極との間の接触抵抗も低減する必要がある。このような電気的特性や形状（線幅や高さ）だけではなく、付着強度、モジュールプロセスとの親和性、長期的な信頼性なども求められる。また、形成方法も低コストである必要がある。なお、めっき液として用いられる薬液は硫酸のような酸性やアルカリ性を示す材料が多い。ヘテロ接合太陽電池に用いられるような透明電極材料（例えばインジウム系酸化物や亜鉛系酸化物材料）は、酸性やアルカリ性のエッチング液でウエットエッチングされることが多いように、酸性の薬液に対する対処が必要となる場合があり注意が必要である。

また、集電極は透明電極上に形成されることから、集電極を電解めっき法で形成する場合には、集電極材料を、集電極形成領域にのみ析出させ、透明電極上には形成させないようにする必要がある。透明電極上に形成されためっき材料は、遮光損の原因となるからである。特に、集電極形成領域も透明電極も表面は導電性であることが一般的であり、めっき材料の析出に関する選択性を付与するための工程が必要となる。この工程は低コストであることが求められる。

裏面側の光反射層を兼ねて裏面電極が形成される場合は、裏面電極は、特に長波長領域において高い反射率を示す必要がある。これは、長波長光は、結晶シリコン層内を多重反射して、結晶シリコンに吸収されるか、セル外部に放出されるかするためである。

図Ⅲ-2-(イ)-G-1(1)に従来の銀電極を有するヘテロ接合結晶シリコン太陽電池とAgフリーヘテロ接合太陽電池セルの断面模式図を記す。本プロジェクトでは、上記観点をから電極の形成技術開発を実施した。



図Ⅲ-2-(イ)-G-1(1)：従来の銀電極を有するヘテロ接合結晶シリコン太陽電池（左）と本プロジェクトで開発したヘテロ接合太陽電池(右)の構造模式図

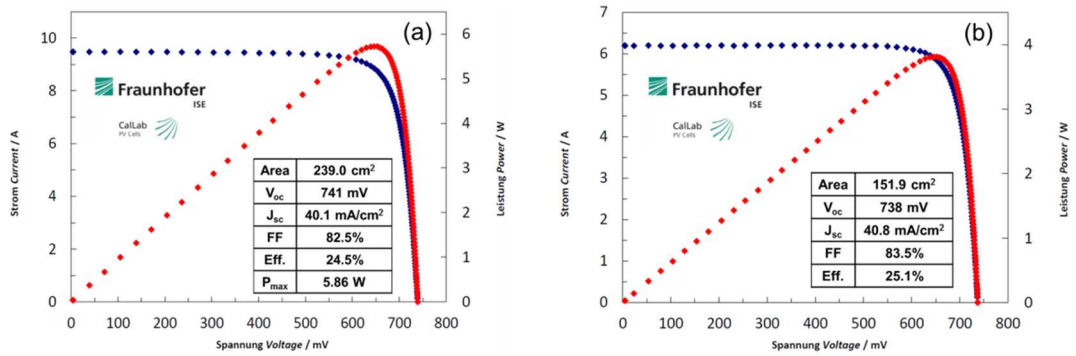
(4)　高性能セルの特性

高性能のヘテロ接合太陽電池セルを実現する上では、前述のように集電極における抵抗損、光学損を低減させることに加え、ヘテロ接合太陽電池を構成する各層の特性のバランスが重要である。たとえば、高い少数キャリアライフタイムを得ようとすれば、パッシベーション層(a-Si層)をある程度厚く形成することが一つの方法であるが、厚くパッシベーション層を形成すると、キャリアの輸送の妨げとなって曲線因子(FF)が低下する場合もある。またパッシベーション層の光吸収により短絡電流(I_{sc})が低下することもある。前述のシリコンウエハの厚さについても、シリコンウエハを薄くすると高い開放端電圧(V_{oc})が得られる場合もあるが、一方で、赤外領域の光吸収が不十分となってI_{sc}が低下するおそれが生じる。このような観点から、ヘテロ接合太陽電池を形成する各層、各領域の特性、厚さ等の構造は、全体最適の観点から設定する必要がある。これらの観点を踏まえ、全体最適を実施したヘテロ接合太陽電池を作製し、その特性を評価した。

Cuプレーティング技術を適用したヘテロ接合結晶シリコン太陽電池（以下、Cu HJセルと記す）を以下の方法で作製した。表面に凹凸構造を形成した6インチ角n型CZシリコンウエハの一方にパッシベーション層とp層を、他方にパッシベーション層とn層を製膜した。さらにシリコンウエハの両面に透明電極を製膜した。p層側の透明電極上には集電極パターンに対応した領域に下地層を形成し、その後、エレクトロプレーティング(電解めっき）法により下地層上にCuを析出させ、これを集電極とした。裏面側には、全面に金属電極を形成した。太陽電池特性の評価はFraunhofer Institute for Solar Energy Systems (ISE)（ドイツ)に依頼した。

AM1.5 100 mW/cm^2 下で測定した Cu 電極を有するヘテロ接合太陽電池セルの電流–電圧特性測定結果を図Ⅲ-2-(イ)-G-1(2)に示す。6 インチウエハを用いた Cu ヘテロ接合太陽電池セルにおいて、結晶シリコン太陽電池において一枚の基板から得られた最も大きな出力値(P_{max})となる 5.86 W が得られた。このセルの変換効率は 24.5%である。このように、結晶シリコン太陽電池の分野で主流となっている 6 インチセルにおいて世界最高水準の変換効率が達成されたことは、太陽電池セルの生産コスト低減に大きく寄与するものと期待される。

また、本プロジェクトで得られた成果を活用して、各作製工程及びセル構造の最適化を進めたところ、概ね 5 インチセルの面積に対応する領域において変換効率 25.1%を実現した。なお、この値は、両面に電極を有する結晶シリコン太陽電池においては、世界最高の変換効率である。



図Ⅲ-2-(イ)-G-1(2)：高性能ヘテロ接合結晶シリコン太陽電池の電圧-電流特性と太陽電池特性。一枚のウエハから得られた特性としては世界最高となる変換効率24.5%（出力5.86W）を達成した（左）。また、本プロジェクトの成果を活用して検討を進めた結果、両面電極型シリコン太陽電池としては世界最高となる変換効率25.1%を実用サイズセルにおいて実現した（右）。

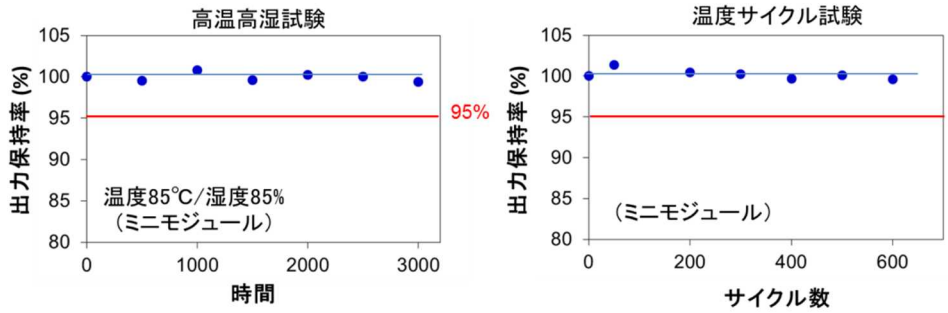
(5)　信頼性評価

めっき法で電極を形成する際には、金属イオンを大量に含むめっき液に太陽電池仕掛品を浸漬させることから、金属イオンによる結晶シリコンの汚染が懸念される。金属汚染は太陽電池の初期特性に現れることがまず考えられるが、太陽電池表面に残留した金属イオンが、長い期間を経て結晶シリコン内に拡散して太陽電池特性が低下することや、電極から遊離した金属イオンが、結晶シリコン内に拡散する可能性も否定できない。太陽電池モジュールは長期間使用されることが想定されることから、長期信頼性の確保は、太陽電池の実用化においては非常に重要な項目である。

そこで、信頼性試験における加速劣化試験として湿熱耐久性試験及び熱サイクル試験を実施し、Agフリーヘテロ接合太陽電池モジュールの信頼性に関する評価を行った。湿熱耐久性試験においては、温度85℃、湿度85%の恒温槽内に所定時間太陽電池モジュールを設置し、その特性の推移を評価した。また、熱サイクル試験では、低温側は-45℃、高温側は＋85℃として、低温から高温、高温から低温へのサイクルを所定回数実施して、太陽電池モジュールの特性の推移を評価した。

評価においては、1セルミニモジュールや2×2のミニモジュールに加えて、6ストリングを有する大判の実用サイズモジュールにおいても評価を行った。図Ⅲ-2-(イ)-G-1(3)にミニモジュールにおける加速劣化試験結果を、表に大判モジュールにおける加速劣化試験結果をそれぞれ示す。

湿熱耐久性試験においては3000時間の試験を実施したが、試験完了後も、試験開始前の出力と比べて95%以上の出力が得られた。また、温度サイクル試験は600サイクルの試験を実施したが、こちらも試験開始前の出力と比べて、試験開始後の出力は95%以上であり、これらの試験から、本プロジェクトで開発したヘテロ接合結晶シリコン太陽電池は、長期信頼性の観点でも特に問題ないことが確認された。



図Ⅲ-2-(イ)-G-1(3)：本プロジェクトで開発したヘテロ接合結晶シリコン太陽電池の信頼性試験結果。ミニモジュール構造（4セル構造）において評価した。

表Ⅲ-2-(イ)-G-1(1)：本プロジェクトで開発したヘテロ接合結晶シリコン太陽電池の大判モジュール（54セル）の信頼性試験結果。高温高湿試験及び温度サイクル試験においては、保持率(試験実施前の出力との比率)が95%以上であり、高い信頼性を有することが確認された。

	試験時間	判定(保持率 95%)
高温高湿試験（DH）	1000 時間 3000 時間	合格 合格
温度サイクル試験 （TC）	200 サイクル 600 サイクル	合格 合格

2. 実用化・事業化見通し

2.1 成果の実用化・事業化に向けた戦略

カネカは、薄膜シリコン太陽電池を用いた住宅用太陽光発電システムならびに産業用太陽光発電システムの製造、販売を行っている。カネカの既存の太陽電池モジュールの商品設計技術、製造技術に加え、本プロジェクトでの開発成果を一部活用し、カネカ内（設置場所：兵庫県豊岡市）に導入したCu電極ヘテロ接合結晶シリコン太陽電池のパイロット生産設備等を最大限活用すること量産技術開発を更に進める。また、カネカの太陽光発電システムの販売チャンネルを用いることで、本プロジェクトで得られた成果の早期の実用化・事業化を図るものとする。

また、展示会の当社ブースでの開発品の展示や、プレスリリースなどを行い、潜在的な顧客へのアプローチを図る。また、国際会議での発表などを通じて、プロジェクトの成果を国内外の太陽電池研究者、技術者へのアピールを積極的に行う。

2.2 成果の実用化・事業化に向けた具体的取り組み

上記のように、本プロジェクトでの開発成果を一部活用し、当社は、Cu電極ヘテロ接合結晶シリコン太陽電池のパイロット生産設備を構築した。コスト競争力の有する高効率モジュールを実用化するため、技術開発の観点では、当パイロット生産設備を用いて太陽電池性能向上技術の実証、コストダウン技術の開発を進めている。また、一部顧客に対して、既に本プロジェクトでの開発成果を一部活用したサンプル品を提出した。

成果の普及に関する活動として、2015年2月、7月に国内で開催された展示会(PV EXPO 2015、PV JAPAN 2015)において、本プロジェクトでの開発成果を一部活用して作製した太陽電池の展示を行った。また、本プロジェクトの成果のプレスリリース(2015年7月)や国内外の学会での発表を行った。

2.3 成果の実用化・事業化の見通し

本プロジェクトでの開発成果を一部活用した結晶シリコン太陽電池モジュールに関して実施した顧客評価では高い評価を得ており、カネカでは2015年度の販売を計画している。

3. 波及効果

本プロジェクトを通じて、両面電極型結晶シリコン太陽電池の変換効率としては世界最高となる 25.1%を実用サイズの銅電極ヘテロ接合結晶シリコン太陽電池により達成されたことや、Ag フリーヘテロ接合太陽電池モジュールが高い信頼性を示すことが実証されたことを契機として、研究機関やメーカーのヘテロ接合結晶シリコン太陽電池への関心がより高まり、高性能化技術、低コスト化技術の開発に更に弾みがつくことが期待される。

なお、ヘテロ接合形成技術等においては、薄膜シリコン太陽電池技術との共通技術が多くあることから、長年の薄膜シリコン太陽電池の研究開発で蓄積された技術のヘテロ接合結晶シリコン太陽電池への応用が進むことが予想される。また、Ag フリー化技術の開発により、高コストである Ag の価格変動の影響を受けにくくなることから、結晶シリコン太陽電池の製造コストの不安定要因の一つが緩和され、太陽電池メーカーの経営安定に寄与することが期待される。

また、技術開発の観点からは、次世代の超高効率太陽電池として期待されるバックコンタクトヘテロ接合結晶シリコン太陽電池においては、本プロジェクトの開発技術と共通の要素技術が必要であり、本プロジェクトの成果を活用することで更なる高効率化が達成されることが期待される。

これらの技術開発により太陽電池セル・モジュールのさらなる高効率化、低コスト化が実現されれば、太陽光発電の更なる発電コスト低減が期待される。

太陽光発電以外の分野への波及効果としては、本プロジェクトで開発した低抵抗微細電極形成技術の展開として、オプトエレクトロニクス分野、ディスプレイ分野等への適用が考えられる。

4. 今後の展開

「2. 実用化・事業化見通し」において記載した通り、本プロジェクトでの開発成果を一部活用したヘテロ接合結晶シリコン太陽電池モジュールの販売に関し、カネカは本年度中の開始を計画している。また、パイロット生産設備において、本プロジェクトでの開発成果をベースにして量産技術開発を進めており、設備投資を行い生産能力の向上、自社結晶シリコン太陽電池モジュールの高効率化、低コスト化を通じて、競争力向上を図る。また、高効率ヘテロ接合太陽電池を用いた建材一体型太陽電池モジュールの商品化を進めることで、生産、販売量の拡大を図る。

また、カネカは、本プロジェクトの成果を活用し、太陽電池セル・モジュールのさらなる高効率化実現に向け、本年度より NEDO が実施するプロジェクト（「高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発」）に参画し、「結晶 Si 太陽電池をベースとした複合型太陽電池モジュールの開発」をテーマに研究開発に取り組む。

5. 論文、特許、学会発表等

	H24	H25	H26	計
特許出願（うち外国出願）	0	3	1	4 件
論文（査読付き）	0	0	1	1 件
研究発表・講演（うち国際会議）	3 (2)	2 (1)	4 (2)	9 件 (5)
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0	0 件
受賞実績	0	0	0	0 件
展示会への出展	0	0	1	1 件

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外国PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	株式会社カネカ	PCT/JP2014/071857	PCT	平成25年8月30日	公開	太陽電池の製造方法、めっき用治具、並びに、めっき装置	三島 良太 宮﨑 貴芳、末崎 恭、足立 大輔、柳原 豊
2	株式会社カネカ	特願2013-220331	国内	平成25年10月23日	公開	太陽電池の製造方法及びめっき用治具	三島 良太、末崎 恭、足立 大輔
3	株式会社カネカ	特願2014-074688	国内	平成26年3月31日	出願	太陽電池の製造方法	三島 良太、末崎 恭、足立 大輔
4	株式会社カネカ	特願2015-02693	国内	平成27年2月13日	出願	太陽電池の製造方法	三島 良太、末崎 恭、上野 直遵、柳原 豊

【論文・学会発表】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名	査読	発表年
1	足立 大輔	株式会社カネカ	ヘテロ接合太陽電池の最近の進展	薄膜太陽電池セミナー	なし	平成24年度
2	Kenji Yamamoto	株式会社カネカ	High Efficiency Silver Free Heterojunction Crystalline Si Solar Cell	The 4th Thailand-Japan Joint Workshop on Photovoltaics	なし	平成24年度
3	Kenji Yamamoto	株式会社カネカ	High efficiency of crystalline Si solar cell fabricated by the application of film Si technology	9th Workshop on the future direction of photovoltaics	なし	平成24年度
4	Kenji Yamamoto	株式会社カネカ	High Efficiency Copper Electroplated	23th Photovoltaic Science and	なし	平成25年度

			Heterojunction Solar Cells and Modules - The Path Towards 25% Cell Efficiency	Engineering Conference (PVSEC-23)		
5	足立 大輔	株式会社カネカ	高効率Cu電極ヘテロ接合シリコン太陽電池	第 61 回応用物理学会春季学術講演会	なし	平成25年度
6	山本 憲治	株式会社カネカ	Cu Platingヘテロ接合太陽電池へのオプティカルスプリッティング技術の適用	第 11 回 「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム	なし	平成26年度
7	山本 憲治	株式会社カネカ	薄膜シリコン太陽電池技術のシリコン系太陽電池への応用	第 75 回応用物理学会秋季学術講演会	なし	平成26年度
8	Kenji Yamamoto	株式会社カネカ	High Efficiency Si Solar Cell by applying thin film Si technology	6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6)	なし	平成26年度
9	Kenji Yamamoto	株式会社カネカ	High efficiency copper electroplated heterojunction solar cells and modules	Singapore-Japan Joint Workshop on Photovoltaics 2014	なし	平成26年度
10	Hisashi Uzu	株式会社カネカ	High efficiency solar cells combining a perovskite and a silicon heterojunction solar cells via an optical splitting system	Applied Physics Letter	あり	平成26年度

【受賞】
なし

（ロ） 薄膜シリコン太陽電池

A 次世代多接合薄膜シリコン太陽電池の産学官協力体制による研究開発

１．成果詳細

最終目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
高効率化（a-Si:H セル） 安定化効率 12%以上	安定化効率 10.2%（世界最高効率） （最少劣化率 2.4%@効率 8.9%） （J_{sc}:17mA/cm2@効率 9.65%）	△	・a-Si:H に適した光閉じ込めによる高 J_{sc} 化 ・a-Si:H 製膜プロセスの改良による光劣化抑制
高効率化（μc-Si:H 或いはμc-SiGe セル） 短絡電流 35mA/cm^2 以上	ハニカムテクスチャ(HC)基板を用いた nip 微結晶 Si セルで 短絡電流 32.9mA/cm^2、 QE 積分値 34.0mA/cm^2 (変換効率 11.8%（世界最高効率))	△	・μc-Si:H の高品質化 ・光閉じ込め技術の高度化
高効率化（多接合セル） 小面積安定化効率 15% (30×40cm^2 製膜プロセスで 14%相当)	a-Si/μc-Si タンデムセル安定化効率 12.7%（世界最高効率） a-Si/μc-Si/μc-Si トリプルセル安定化効率 13.6%(世界最高効率)	△	・a-Si:H セルの高効率化 ・中間層の高性能化による高 J_{sc} 化 ・多層セルバランス（多層構造）の最適化
大面積高生産性（マルチロッド電極） 現行スループットの 2 倍以上で微結晶 Si シングルセル効率 10%以上	ハニカムテクスチャ(HC)基板を用いた nip 微結晶 Si セルで効率 11.8%@製膜速度 1.0nm/s（小型機の 7 倍）	◎	
大面積高生産性（新規カソード電極） G8.5 サイズで採用可能な条件にて、製膜速度 2nm/s 超で実用的セル特性達成	膜厚均一性±8.56% 製膜速度 2.08nm/s 既存 40MHz 装置と同等のセル特性 世界初の定在波フリーVHF プラズマ源を実現	○	

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：△、　未達：×

１．１　高効率化要素技術

１．１．１　低劣化 a-Si:H 製膜技術

a-Si:H 製膜には一般的にプラズマ援用化学気相堆積法（Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition Method、PECVD 法）が用いられる。通常の平行平板電極を用いた容量結合型プラズマ CVD 法では、プラズマ中に生成する反応性の高いラジカル、高次シラン、ナノ粒子が膜中に取り込まれるとナノメートルサイズのボイドを含む疎なネットワーク構造を含む a-Si:H が形成され、この a-Si:H は光劣化が大きいことが知られている。

今回、シランプラズマを基板表面から隔離するリモートプラズマの原理をベースに、

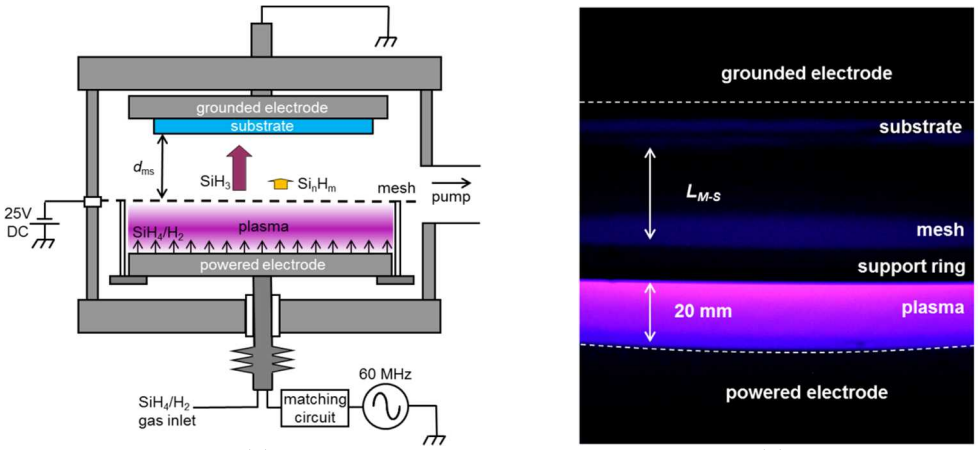
(1)高次シランラジカルの膜中取り込みの抑制を目差したトライオード型プラズマ CVD 法

(2)a-Si:H ナノ粒子の膜中取り込み制御を目差したナノ粒子制御技術

の開発を行った。

(1) トライオード型プラズマ CVD 法

図Ⅲ-2-（ロ）A-1（1）に実験で使用したトライオード型プラズマ CVD 装置の概略図と実際の放電の様子を示す。

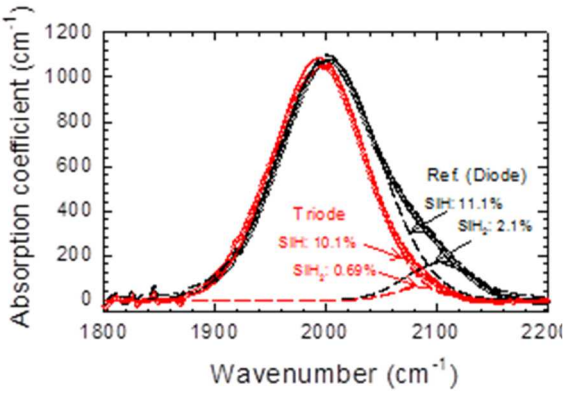


(a)　　(b)

図Ⅲ-2-（ロ）A-1（1）　トライオード型プラズマ CVD 装置の概略図(a)と放電の写真(b)

トライオード型プラズマ CVD 装置では、2 枚の平行平板電極（アノード及びカソード）の間に第 3 の電極として金属メッシュを挿入した 3 極構造にすることで、膜質の低下を招く高次シランラジカルが基板に到達する割合を低減させている。

図Ⅲ-2-（ロ）A-1（2）に、本手法により作製した a-Si:H 膜の Si-H_n 伸縮振動赤外吸収スペクトルを示す。ダイオード型およびトライオード型プラズマ CVD で製膜した a-Si:H の Si-H 結合密度はどちらも約 10 at.%とほぼ同程度であるが、Si-H_2 結合密度はそれぞれ 2.1 と 0.7at.%と差がみられる。トライオード型プラズマ CVD で得られる低い Si-H 結合密度は、a-Si:H の膜構造が緻密であることを示唆し実際、膜中のボイド密度が低いことが陽電子消滅スペクトル測定により観測されている。



図Ⅲ-2-（ロ）A-1（2）　ダイオード型およびトライオード型プラズマ CVD で製膜した a-Si:H の Si-H_n 伸縮振動赤外吸収スペクトル
破線は Si-H(～2000 cm^{-1})および Si-H_2（～2100 cm^{-1})結合ピークのフィッティング結果を示す。

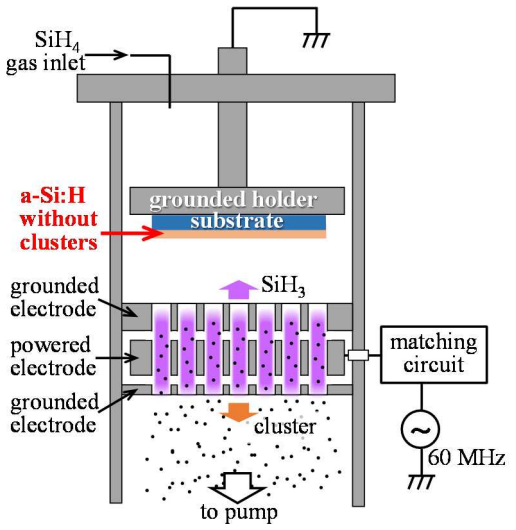
(2) ナノ粒子制御技術

シランプラズマ中のナノ粒子が光劣化を引き起こすとの観点から、ナノ粒子の膜中への取り込みを抑制し、かつ実用的な製膜速度を両立するプラズマプロセス技術を確立し、製膜技術の開発を進めた。

図Ⅲ-2-（ロ）A-1（3）に開発したナノ粒子制御 PECVD 法の概略図を示す。

本 CVD 法では、放電領域と製膜領域を分け放電領域で発生したクラスタを高速ガス流により除去することで製膜領域でのクラスタ・ナノ粒子の取り込みを抑制する。

3 枚のマルチホロー電極内にプラズマを生成させ、プラズマ中で発生したクラスタはサイズが大きくなるにつれて拡散速度が遅くなるため、ガス流速よりも遅いクラスタは下流領域へと輸送される。このめた、上流に位置する製膜領域では、クラスタ取り込みを抑制した薄膜を作製することができる。さらに、プラズマと基板の間にクラスタ除去フィルタを新たに開発して設置した装置で作製した a-Si:H を発電層とする pin セルを試作した結果を図Ⅲ-2-（ロ）A-1（4）に示す。



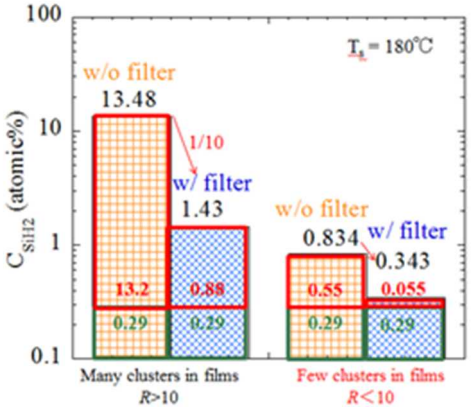
図Ⅲ-2-（ロ）A-1（3） ナノ粒子制御 PECVD 法

	PIN20150220 cell 14 i layer: 250nm		PIN20150218 cell 10 i layer: 320nm		PIN20150219 cell 2 i layer: 390nm	
	Initial	Stabilized degradation ratio(%)	Initial	Stabilized degradation ratio(%)	Initial	Stabilized degradation ratio(%)
η(%)	8.67	9.02 (-4.04)	8.49	8.92 (-5.06)	9.34	9.11 (2.43)
FF	0.721	0.697 (3.33)	0.709	0.690 (2.68)	0.747	0.696 (6.83)
Jsc (mA/cm²)	15.1	14.8 (2.05)	15.3	15.1 (1.34)	15.7	15.3 (2.55)
Voc (V)	0.797	0.876 (-9.91)	0.779	0.858 (-10.1)	0.795	0.854 (-7.42)
DR (nm/s)	0.0120		0.0120		0.0120	

図Ⅲ-2-（ロ）A-1（4） i 層にクラスタ抑制型アモルファスシリコンを用いた pin セル特性に対する i 層膜厚依存

率 9.1%を実現した。従来の pin セルでは、i 層の膜厚は 200-250nm 程度が一般的であり、厚膜化により光劣化が顕著になったが、本手法では 390nm の厚膜でも光劣化が 5%未満に抑制されたことは、マルチホロー放電プラズマ CVD 法を用いたクラスタ抑制 a-Si:H 薄膜は高光安定かつ高発電効率の両立を実現可能であることを示唆している。

一方、クラスタ除去フィルタの効果を解析するために膜中 Si-H_2 結合形成に対するナノ粒子混入と表面反応の寄与の分離を試みた結果、図Ⅲ-2-（ロ）A-1（5）に示すように、クラスタ除去フィルタによるクラスタ起因の膜中 Si-H_2 結合量の減少率は 1/10 に低減できたが、仮にクラスタ取り込みを完全に抑制した膜であっても表面反応起因の C_{SiH2} が残存する可能性も示唆され、光劣化抑制にはこの制御が必要であることも示された。



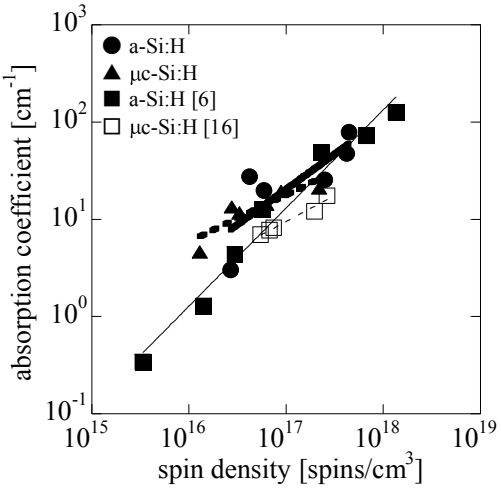
図Ⅲ-2-（ロ）A-1（5） 膜中 Si-H_2 結合形成に対するナノ粒子混入と表面反応の寄与の分離

(3) 光熱輻射分光法による薄膜 Si 材料評価

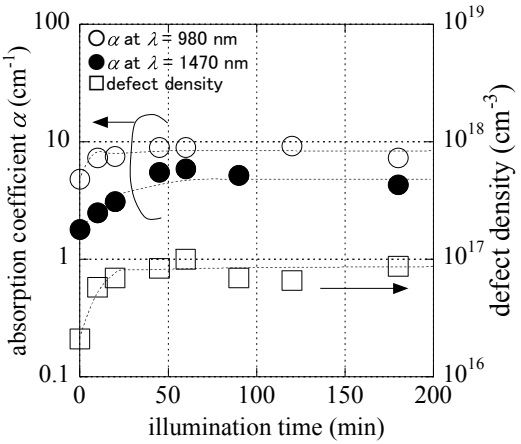
シリコン系薄膜太陽電池の高効率化の基礎として、膜中の欠陥を評価するためにスピン密度を評価することは重要である。そこで、シリコン系薄膜におけるスピン密度の間接的な評価法として光熱変換分光法に着目し、大面積な試料を含むシリコン系薄膜における欠陥密度を非破壊かつ非接触で評価できる技術を開発するとともに、a-Si:H 薄膜における光劣化現象抑制に向けた光誘起欠陥生成の評価に取り組み、本技術のμc-Si:H 薄膜への応用も試みた。

図Ⅲ-2-（ロ）A-1（6）に今回開発した光熱輻射分光法(hν = 0.84 eV)により評価した a-Si:H 薄膜およびμc-Si:H 薄膜における光吸収係数と ESR により評価したスピン密度（文献値）との関係を示す。ともに非常に良好な相関が得られ、a-Si:H 薄膜における光熱輻射分光法で評価した光吸収係数と ESR で評価したスピン密度との変換係数は 7.2 x 10^{15} $cm^{-2}eV^{-1}$、μc-Si:H 薄膜における変換係数は 1.6 x 10^{16} $cm^{-2}eV^{-1}$ と、ともに PDS により得られた変換係数と良い一致を示した。

本技術を a-Si:H 薄膜における光劣化(光誘起欠陥生成)現象に関する検討に用いた。図Ⅲ-2-（ロ）A-1（7）に a-Si:H 薄膜における、光熱輻射分光法で評価した光劣化現象についての実験結果を示す。光照射 3 時間により hν = 0.84 eV（λ = 1470 nm)にて評価した光吸収係数は 1.8 cm^{-1} から 4.3 cm^{-1} まで増加し、hν = 1.3 eV（λ = 980 nm)にて評価した光吸収係数は光照射 3 時間により 4.8 cm^{-1} から 7.3 cm^{-1} まで増加していることがわかる。これらの結果は ESR で評価した結果と一致しており、非破壊で動的現象を評価できる技術として展開が期待される。



図Ⅲ-2-（ロ）A-1（6） 光熱輻射分光法(hν = 0.84 eV)により評価したμc-Si:H 薄膜に於ける光吸収係数と ESR により評価したスピン密度との関係



図Ⅲ-2-（ロ）A-1（7） a-Si:H 薄膜における光熱輻射分光法で評価した光吸収係数の光照射時間依存性

横軸　　：光照射時間

縦軸（左）：光熱輻射分光法で評価した光吸収係数

縦軸（右）：ESR で評価したスピン密度

１．１．２　μc-Si:H 高電流密度化技術

薄膜シリコン太陽電池の高効率化においては、限られた入射太陽光を効率よく光電変換に利用するための光閉じ込め技術が極めて重要である。特に光吸収係数の小さなボトムセル材料であるμc-Si:H に着目し、従来の報告を大きく上回る高光電流密度を実現させることを目的に、

(1)高性能酸化亜鉛(ZnO)系透明導電膜の開発

(2)ガラステクスチャリング

(3)高性能光閉じ込め構造の開発

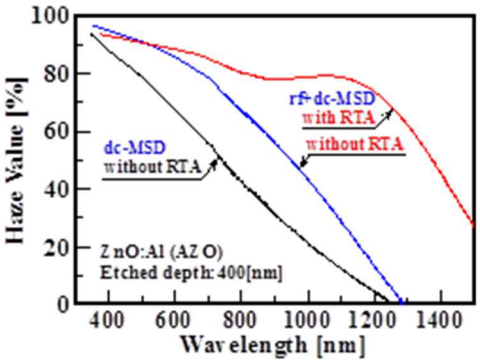
を行った。

(1) 高性能酸化亜鉛(ZnO)系透明導電膜の開発

スパッタ製膜法による ZnO 系透明導電膜開発では、rf と dc を重畳するマグネトロンスパッタ法を開発し、これにより作製した Al 添加 ZnO(AZO)膜を湿式エッチング加工することで、最大 3μm 程度まで大きさが分布したエッチピットを実現でき、ヘイズ率スペクトルも大きく改善され

た（図Ⅲ-2-（ロ）A-1（8））。このような AZO を用いてμc-Si:H pin 太陽電池を試作した結果、市販の Asahi-U ガラス上に作製した同じ構造の太陽電池に比較して、開放端電圧（2.3%向上）、曲線因子（3.8%向上）及び変換効率（4.7%向上）の改善が確認された。

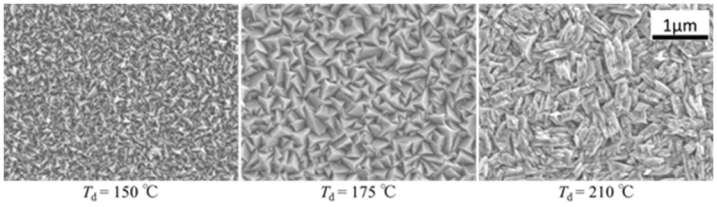
なお、ドーパント種の検討も行った結果、近赤外域での透過率は BZO, AZO, GZO の順で高く、TCO による光学吸収ロス低減の観点からは BZO が最も有力な候補であることも示された。



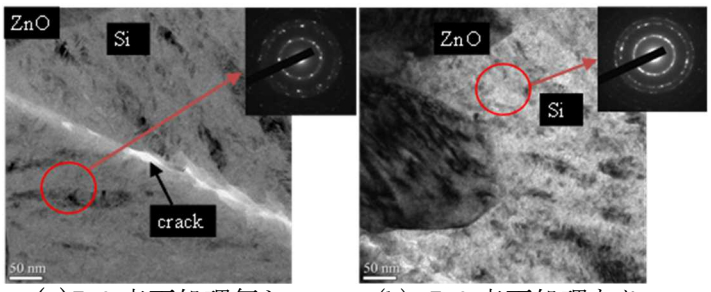
図Ⅲ-2-（ロ）A-1（8）　各種マグネトロンスパッタ法で作製した AZO 膜のヘイズ率スペクトル

BZO の大型基板上に製膜方法として、有機金属化学気相堆積(MOCVD)法がある。そこで、BZO の電気的特性（低抵抗）と光学的特性（高透過・高散乱）を両立するような条件の検討を行った。

BZO の光散乱に大きな影響を及ぼす表面形状については、特に製膜温度の効果が顕著であった（図Ⅲ-2-（ロ）A-1（9））。通常、高い光散乱（高ヘイズ率:30～40%）を実現するためには、例えば Ts=175℃のときの表面形状のような表面凹凸を形成する必要がある。しかし、そのような表面形状の上にセルを作製すると、Jsc は向上するが、V_{oc} や FF は低下する現象が起こる。そこで、光学的特性を劣化させず、V_{oc} や FF の低下を抑制するための表面処理技術を開発した。表面処理として低濃度酸性溶液を用いたエッチング処理を施した結果、適度な条件を選択することで高ヘイズ TCO（ZnO）の表面形状（モフォロジー）はほとんど変化させることなくセル特性を向上できることが明らかになった。これは、表面処理によりその上に成長するμc-Si:H の結晶配向性が乱れ、μc-Si:H の成長に伴い形成される粒界に起因したクラックや低密度領域の形成が抑制されるためと考えられる（図Ⅲ-2-（ロ）A-1（10））。



図Ⅲ-2-（ロ）A-1（9）　BZO 表面形態（SEM 像）の製膜温度依存性

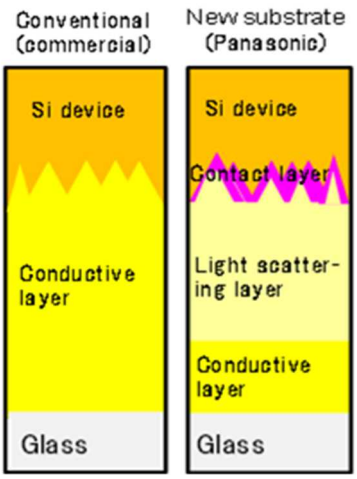


(a)ZnO 表面処理無し　(b) ZnO 表面処理あり
図Ⅲ-2-（ロ）A-1（10）　ZnO 基板上に形成した μc-Si:H セルの断面 TEM 像

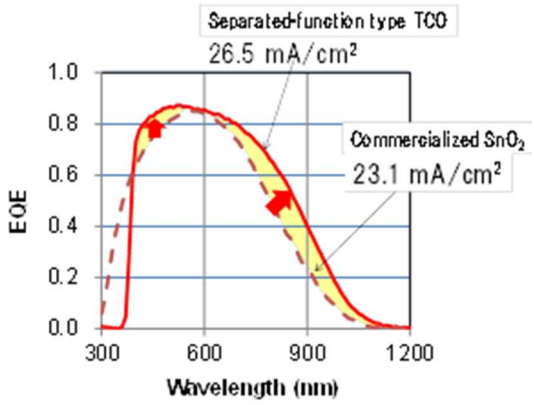
また、BZO による光吸収については、製膜圧力の影響が確認され、製膜圧力が 400Pa の場合、50Pa の場合よりもほぼすべての波長域に亘って吸収係数が低く、キャリア密度は同等でも移動度が 34 から 38 cm^2/Vs に増加するなど、電気的な特性の改善も図られた。

上述した高性能 ZnO 系透明導電膜を用いて、導電性の高い層と光閉じ込めに有利なヘイズ率が高い層を組み合わせた多層構造 TCO の開発を行った。

電気伝導機能層/光散乱機能層/コンタクト機能層の積層構造からなる機能分離型 ZnO テクスチャ基板の概念図を図Ⅲ-2-（ロ）A-1（11）に示す。今回、電気伝導層として ZnO 系材料よりも 5 倍高いキャリア移動度を有する In_2O_3 系材料に電気伝導層を導入結果、電気伝導層の膜厚は約 1/5 程度まで薄膜化出来た。これらの結果、光吸収損失の低減も可能となり、同じ条件で作製した市販の SnO_2 基板を用いて作成したμc-Si:H pin 太陽電池よりも Jsc を 17%向上させることに成功した（図Ⅲ-2-（ロ）A-1（12））。さらに、テクスチャ間の谷形状を V 字からクレーター型にする表面処理を施し結晶成長誘起欠陥を抑止した結果、サブストレート型μc-Si:H nip 太陽電池の表面電極に展開した結果、μc-Si:H 太陽電池の変換効率 11.8%を達成した。



図Ⅲ-2-（ロ）A-1（11）　従来の単層 TCO 構造(左)と機能分離型 TCO テクスチャ構造(右)の概要図



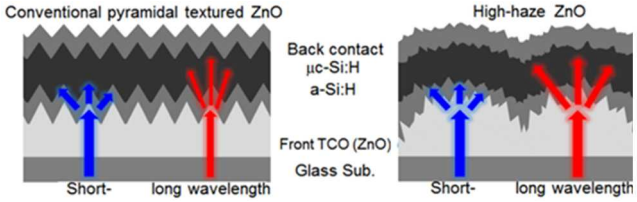
図Ⅲ-2-（ロ）A-1（12）　SnO_2 基板と機能分離型 TCO テクスチャ基板を用いて試作した微結晶 Si 太陽電池の EQE 特性

機能分離型 ZnO テクスチャ基板のコンセプトを更にシンプルに実現するため、電気伝導機能層/光散乱機能層の 2 層構造を BZO のドープ量制御により実現する技術について検討し、ドープ量および膜厚の最適化を行った結果、サブストレート型μc-Si:H nip 太陽電池において機能分離型 TCO テクスチャ基板を用いた時と同等の変換効率 11.8%を達成した。

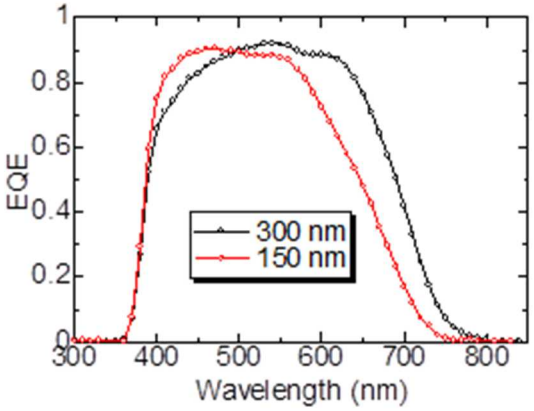
(2) ガラステクスチャリング

通常薄膜 Si 太陽電池用基板として用いるガラス基板の表面形状を制御し、その上に MOCVD 法により ZnO を形成して、高ヘイズ TCO 基板（ダブルテクスチャ基板）を作製する技術開発を行った。

図Ⅲ-2-（ロ）A-1（13）に、従来型の凹凸構造を有する ZnO と高ヘイズ W-Textured ZnO の光閉じ込め効果の相違を示した。従来型の ZnO の凹凸形状は 0.5μm 以下となり、400nm 付近の短波長光に対しては大きなヘイズ率を有するが、タンデム構造で必要となる長波長光に対しては、ヘイズ率が非常に小さくなり、十分な光閉じ込め効果が期待できない。そこで、RIE エッチングによりガラス基板上に大きな凹凸構造を形成し、その上に MOCVD 法により小さな表面凹凸形状を有する ZnO を形成し、W-textured ZnO を形成する新方式が提案された。このような構造は、コーニング 7059、ソーダライム、コーニング Eagle、白板といった様々なガラス基板に形成できることが実証され、このような基板上に作製した a-Si:H セルでは 16 mA/cm² 以上（最大 16.8 mA/cm²)の高い短絡電流が得られルことが確認された。特にこの W-textured ZnO 大きな特徴の一つは、薄いｉ層であっても高い光閉じ込め効果のため、高い光電流の得られることである。図Ⅲ-2-（ロ）A-1（14）は、ｉ層が 300nm、150nm の a-Si セルの収集効率スペクト



図Ⅲ-2-（ロ）A-1（13）　従来型の凹凸構造 ZnO と高ヘイズ W-Textured ZnO の光閉じ込め効果の相違



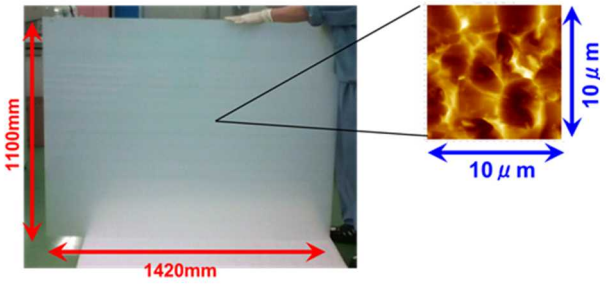
図Ⅲ-2-（ロ）A-1（14）　ｉ層の厚さが 300nm と 150nm の a-Si セルの収集効率スペクトル

J_{sc}（膜厚 300nm）：16.7mA/cm²

J_{sc}（膜厚 150nm）：14.1mA/cm²

ルを示したものである。i 層が 150nm と薄くても、長波長感度が高く、光閉じ込め効果が高いことが分かる。

本技術を G5 サイズに適用するべく、大型基板への展開を試みた。作成条件の最適化を行った結果、図Ⅲ-2-（ロ）A-1（15）に示すようにテクスチャ形状は小面積での知見同様数μm スケールのものが得られ、基板全面に均一なガラステクスチャリングの形成が確認された。このとき 60%以上の高いヘイズ率が得られることも同時に確認された。



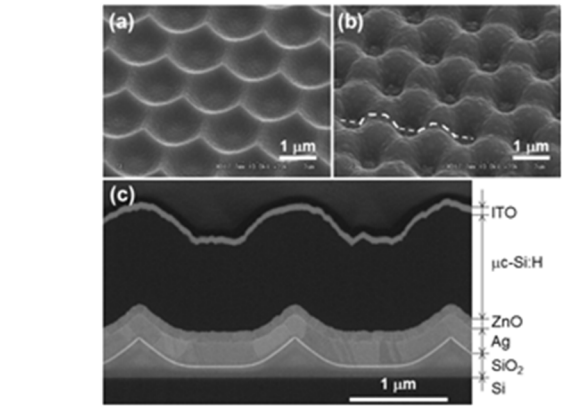
図Ⅲ-2-（ロ）A-1（15）　G5 サイズガラス基板上に形成されたテクスチャ構造の概観と AFM 像

(3) 新高性能光閉じ込め構造（ハニカムテクスチャ基板）の開発

本章(1)(2)で示したような自発形成される構造の不規則性を排除し、真に高性能な光閉じ込め構造を探索するために、半導体微細加工技術を利用して作製できる規則性テクスチャ構造を用いて検討した。これにより、テクスチャ構造を自由度高く設計・製作でき、系統的な検討、テクスチャ構造を記述するパラメータが単純化を可能にした。また、効果検証にサブストレート構造セルを用いたことで，透明性や導電性を考慮することなく構造最適化に焦点を絞り込んだ。

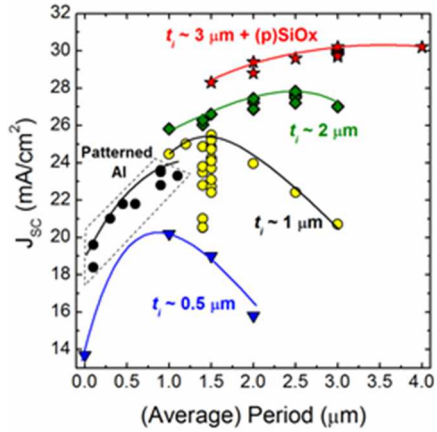
図Ⅲ-2-（ロ）A-1（16）ハニカムテクスチャ基板及びその上に製膜したμc-Si:H 太陽電池の電子顕微鏡像を示す。また、このようにハニカムテクスチャ基板を用いて作製したサブストレート型 nip 型μc-Si:H 太陽電池特性のハニカム構造依存性を図Ⅲ-2-（ロ）A-1（17）に示す。

アスペクト比（テクスチャの最大高さを H として H/P と定義）の増加に伴い J_{SC} が大きく向上し H/P = 0.25 程度で最大値を示す一方、V_{OC} や FF はアスペクト比の増加に対して微減する傾向が確認された。これまで、光吸収の増強のみを考えた場合、理想的なテクスチャ構造の大きさは対象波長と

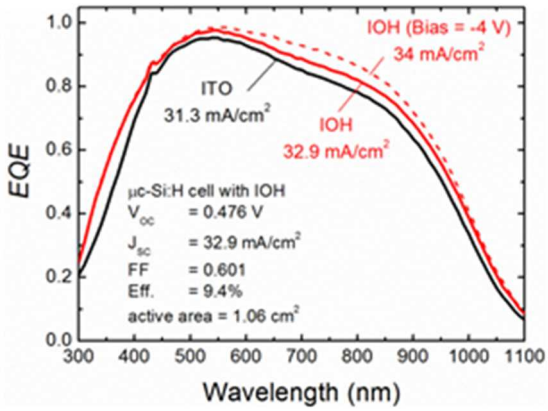


図Ⅲ-2-（ロ）A-1（16）　ハニカムテクスチャ基板及びその上に製膜したμc-Si:H 太陽電池の電子顕微鏡像

（a）基板表面（b）太陽電池表面
（c）太陽電池断面



図Ⅲ-2-（ロ）A-1（17）　ハニカムテクスチャ基板のアスペクト比とμc-Si:H 太陽電池発電特性との関係



図Ⅲ-2-（ロ）A-1（18）　ハニカムテクスチャ基板と IOH 膜を用いたμc-Si:H 太陽電池の EQE スペクトル

同程度（今の場合は周期 1μm 程度）であるといわれてきたが、膜厚を増やすと J_{SC} のピークはより長周期側にシフトする傾向が確認された。厚膜セルの表面形状及び断面観察を行った結果、テクスチャ周期を超えて膜厚を増やすと局所的に欠陥が発生することが確認された。このような知見を元にハニカムテクスチャ構造を最適化した結果、μc-Si:H 太陽電池としては世界最高レベルとなる J_{SC} = 32.9 mA/cm^2（アクティブエリア評価）を実現した。また、EQE 測定時に光生成キャリアの収集を助けるようにバイアス電圧を印可した場合、積分値として 34.0 mA/cm^2 の光電流密度が確認された（図Ⅲ-2-（ロ）A-1（18））。

J_{SC} のみを向上させても必ずしも発電効率の改善に直結しないことも踏まえると、高いレベルの J_{SC} と世界最高の発電効率を同時に達成したハニカムテクスチャ構造を見出したことは、今後の高効率化にとって重要な指針を与えたものといえる。

１．１．３　薄膜 Si 太陽電池セル変換効率の高効率化

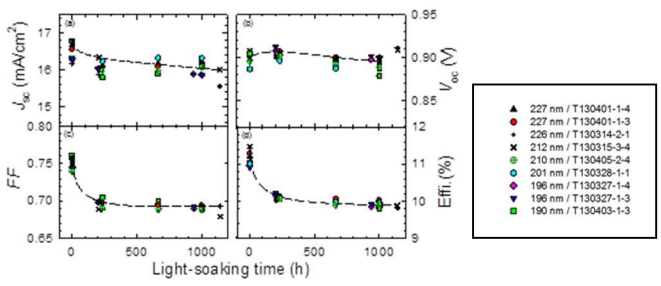
本事業で開発した要素技術および本事業への参画機関が個別に保有していたデバイス化技術等を統合し、薄膜 Si 太陽電池の変換効率向上に取り組んだ。

(1) a-Si:H 単接合セル

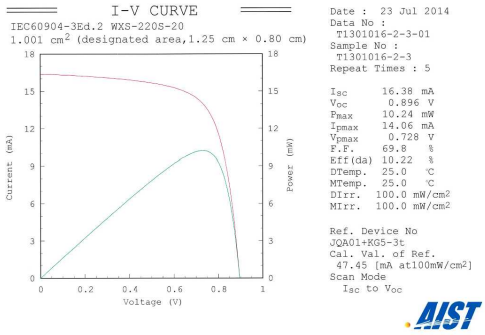
本事業で得られた成果をベースに、主に

・発電層として、トライオード型プラズマ CVD 法により作製した a-Si:H
・基板には高ヘイズ SnO_2 コート基板（旭硝子社製）を使用し、SnO_2 とシリコンの界面で生じる反射ロスを低減するために、TiO_2（35 nm)/ZnO（10 nm）を界面に挿入
・参画企業が保有していたデバイス化技術（p 層あるいは p/i 界面の構造）

を融合し、デバイス構造、プロセス条件の最適化を進めた。特に、i 層膜厚の最適化（図Ⅲ-2-（ロ）A-1（19)、p 層あるいは p/i 界面の構造の最適化を進めた結果、世界最高の安定化変換効率 10.22%を得た（図Ⅲ-2-（ロ）A-1（20））。



図Ⅲ-2-（ロ）A-1（19）　トライオード型プラズマ CVD で光吸収層(膜厚：190-230 nm)を製膜した a-Si:H 太陽電池の光照射安定性（光劣化条件：100 mW/cm^2、50 ℃、 1000 h、 端子開放）



図Ⅲ-2-（ロ）A-1（20）　トライオード型プラズマ CVD で光吸収層(膜厚約 220 nm)を製膜した a-Si:H 太陽電池の安定化後電流電圧特性（AIST 高精度評価）。

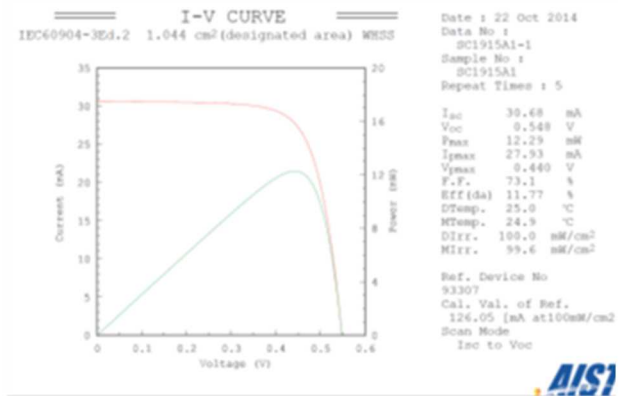
(2) μc-Si:H 単接合セル

光閉じ込めとして最も効果的であったハニカムテクスチャ基板をベースにしたサブストレート型 nip セル構造に対して、

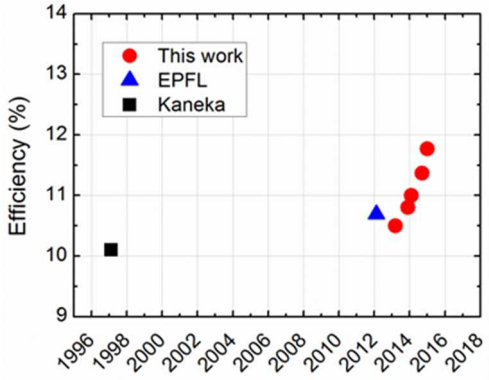
・ハニカムテクスチャ構造の最適化
・本事業で開発した高品質 BZO 透明導電膜および機能分離型 TCO 薄膜
・後述する本事業で開発した大型 CVD 装置を用いた高品質μc-Si:H 薄膜の製膜条件の最適化
・各々の企業が保有していたドープ層、i/p 界面多層構造等のデバイス化技術

を融合し高効率化を進めた。その結果、世界最高の変換効率 11.8%を得た（図Ⅲ-2-（ロ）A-1（21））。

本事業開始以降、2012 年度末からの 2 年間で発電効率を 10.5%から 11.8%まで向上させ（図Ⅲ-2-（ロ）A-1（22））、結果的に変換効率の世界最高記録を 4 度更新するとともに、μc-Si:H 単接合セルでも発電効率 12%以上が十分実現可能な範囲にあることを示した。



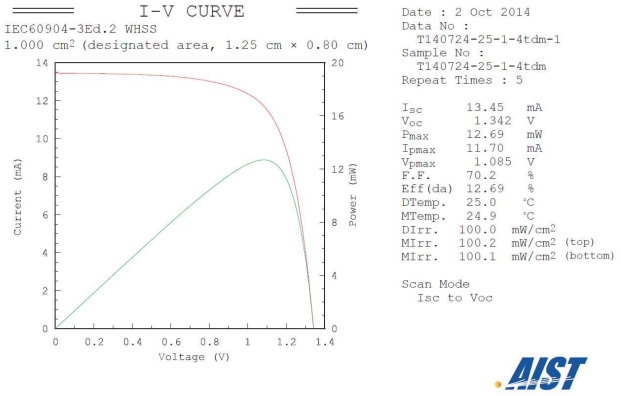
図Ⅲ-2-（ロ）A-1（21）　世界最高効率を達成したμc-Si:H 太陽電池の電流-電圧特性
（V_{OC} = 0.548V, J_{SC} = 29.4 mA/cm^2, FF = 0.731, Eff. = 11. 77%(da)）



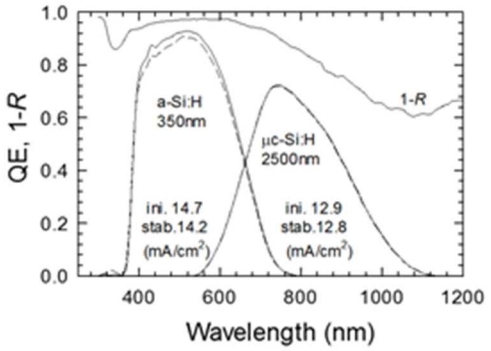
図Ⅲ-2-（ロ）A-1（22）　単接合μc-Si:H 太陽電池における変換効率の向上

(3) a-Si:H/μc-Si:H タンデムセル

タンデム構造の場合、トップセルとなる a-Si:H の特性が重要となる。そこで、本事業で開発を進めたトライオード CVD 製 a-Si:H を核にデバイス化の最適化を進めた。その結果、世界最高の安定化変換効率 12.7%を達成した（図Ⅲ-2-（ロ）A-1（23））。特に最高効率を出したセルの光劣化率は約 3%と非常に小さく、これは、トライオード法で高光安定なトップセルを作製している点と、短絡電流密度がボトムセルに律則されている点（図Ⅲ-2-（ロ）A-1（24））に起因しているものと考えられる。



図Ⅲ-2-（ロ）A-1（23）　世界最高効率を達成した a-Si:H/μc-Si:H 太陽電池の電流-電圧特性
（V_{OC} = 1.342V, J_{SC} = 13.45 mA/cm^2, FF = 0.702, Eff. = 12.7%）



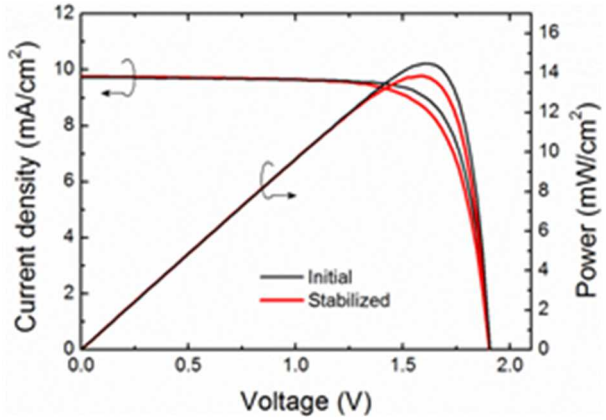
図Ⅲ-2-（ロ）A-1（24）　a -Si:H/μc-Si:H 2 接合太陽電池の分光感度スペクトル（実線：初期、点線：安定化後）
光劣化条件：100 mW/cm^2、50℃、1000 h、端子開放

(4) a-Si:H/μc-Si:H/μc-Si:H3 接合セル

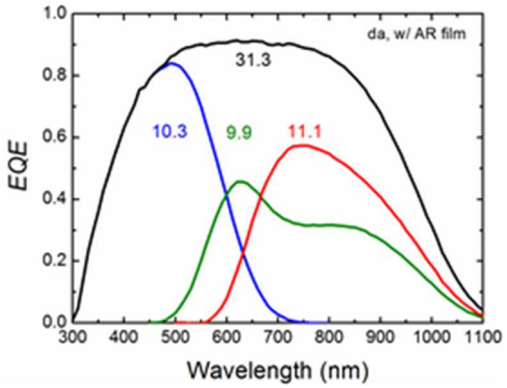
単接合μc-Si:H 太陽電池の光閉じ込め効果および発電効率を大きく向上させたハニカムテクスチャ基板とサブストレート構造の組合せを多接合太陽電池にて最大限に活用するため、本事業の開発当初には予定していなかったサブストレート型 a-Si:H/μc-Si:H/μc-Si:H 三接合太陽電池の開発を行った。その結果、Lab 測定ではあるが、世界最高の安定化変換効率 13.8%を得た（図Ⅲ-2-（ロ）A-1（25））※。劣化率も 3-4%程度と低く、デバイス構造の最適化が不十分で電流バランスが悪いにもかかわらず世界最高の変換効率を実現できたことは、開発余地はまだまだ残されており、現状技術の最適化だけでも安定化効率 14%超は十分到達可能と言える。

※その後の AIST 高精度評価により 13.6%が確認された。この差は評価に用いたソーラシミュ

レータの光源スペクトルの差によるものと考えられる。



図Ⅲ-2-（ロ）A-1（25） ハニカムテクスチャ基板上に作製したサブストレート型 a-Si:H/μc-Si:H/μc-Si:H 三接合太陽電池の初期および光安定化後の電流－電圧特性



図Ⅲ-2-（ロ）A-1（26） 光安定化後13.8%を記録した a-Si:H/μc-Si:H/μc-Si:H 三接合太陽電池の外部量子効率スペクトル

１．２ 大面積高速製膜技術

太陽電池モジュールの製造コスト低減のためには、とりわけ、比較的光吸収係数が小さくμm以上の比較的厚い膜厚を必要とするμc-Si:Hの大面積かつ高速・高品質製膜技術の開発が不可欠である。これまで、VHF帯の高周波（40～100MHz）を用いて励起した高密度プラズマを用いた高圧枯渇法により、一般的な13.56MHz励起RFCVD法に対して2～4倍（製膜速度2 nm/s以上）のμc-Si:H製膜が可能になっていた。しかし、VHF使用に起因した定在波発生による不均一性の問題が発生するため、大面積均一製膜と高速製膜を両立させることが困難であった。そこで、薄膜Si太陽電池で一般に用いられているG5相当サイズ（1.1m×1.4m）基板に適用可能なマルチロッド電極方式G5-プラズマCVD装置の開発、および、将来のさらなる大面積化に適用可能な定在波フリーの新型プラズマ電極の開発を行った。

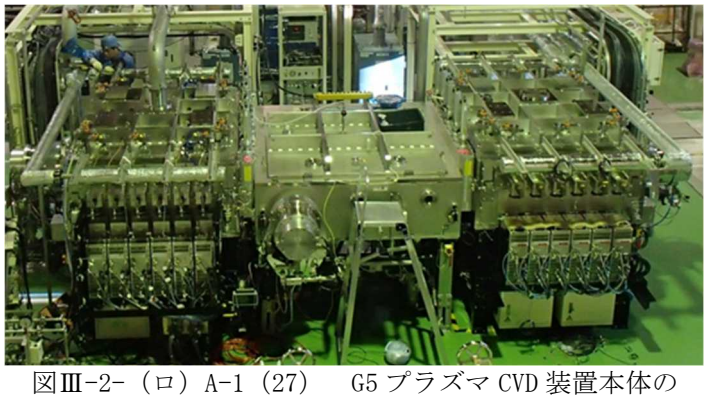
(1) マルチロッド電極方式 G5-プラズマ CVD 装置の開発

図Ⅲ-2-（ロ）A-1（27）に本事業で開発したマルチロッド電極方式 G5-プラズマ CVD 装置の外観写真を示す。本装置は三菱重工業が平成 21 年度までに開発した G5 サイズのマルチロッド電極方式 VHF-CVD 装置をベースとし、待機室の製膜室への改造、基板-電極間隔調整機構の追設による 3 チャンバー構造とし、付帯設備として大面積製膜に必要な流量を確保できる水素発生装置、大容量排ガス処理装置などを新規に導入したものである。

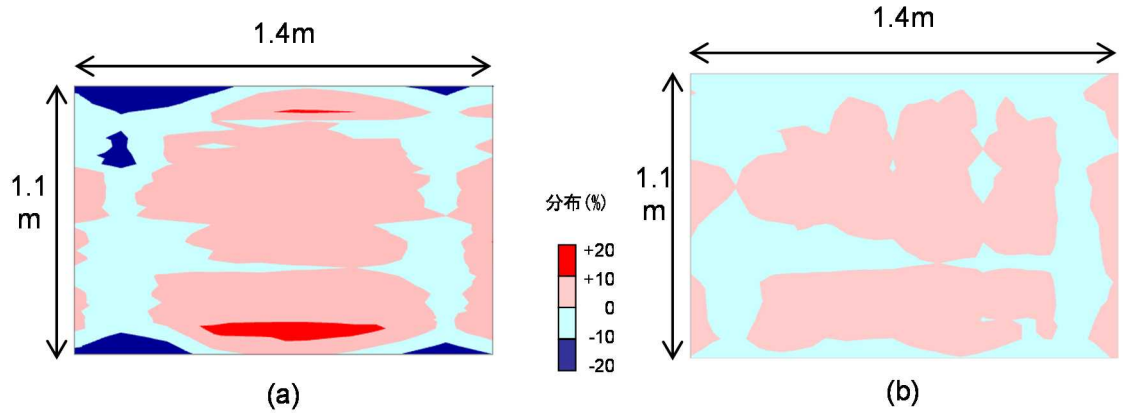
μc-Si:H の製膜では低イオンダメージ化、製膜速度向上などの効果から、プラズマ生成周波数は高い方は好ましいとされるが、反面、波長が短くなるために電極上の電圧分布が発生し、膜厚均一性は悪化する。そこで、位相変調技術を導入し不均一性の改善を試みた。その結果、製膜速度 2.3nm/sec で膜厚分布±8.5%（目標図：製膜速度 2.0nm/sec 以上で膜厚分布±10%以下）を達成した（図Ⅲ-2-（ロ）A-1（28）、図Ⅲ-2-（ロ）A-1（29））。これにより、G5 面内のセル特性分布を評価した結果、

- J_{sc} ： ±5.0 %
- V_{oc} ： ±4.7 %
- FF ： ±2.3 %
- 効率 ： ±5.9 %

と高い均一性が確認された。



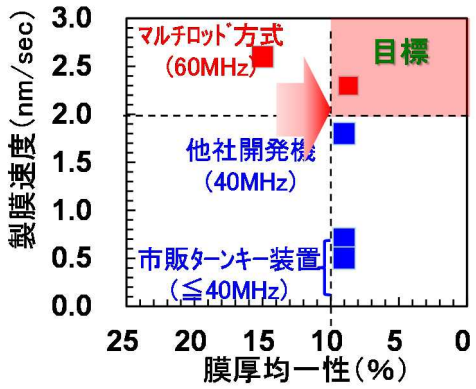
図Ⅲ-2-（ロ）A-1（27） G5 プラズマ CVD 装置本体の外観写真



図Ⅲ-2-（ロ）A-1（28）　G５サイズ基板上の膜厚分布
（a）従来の位相変調法での製膜結果
（b）新位相変調法での製膜結果

本装置を用いてμc-Si:H 発電層を形成したμc-Si:H 単接合セルでは、研究用小型 CVD 装置よりも 7 倍速い製膜速度にもかかわらず、同等以上のセル特性が得られた。特に、μc-Si:H 単接合セルで得た世界最高変換効率 11.8%には、本装置で作製したμc-Si:H 発電層が用いられており、高速・大面積均一製膜に加えて高品質化も同時に実証された。

なお、製膜速度のさらなる高速化については、プラズマ励起周波数を 100　MHz にすることで 3.1 nm/sec が実現できることも実証されており、さらなる生産性向上が期待される。



図Ⅲ-2-（ロ）A-1（29）　製膜速度と膜厚均一性

本装置を用いて a-SiGe 膜の大面積高速均一製膜検討を実施した結果、1400×1100mm サイズのガラス基板上で a-SiGe 膜の膜厚分布が 7.4%（目標 10%以下）、試作したセルの J_{sc} 分布 5.5%が得られている。これらの結果は、現在使用されている 13.56MHz 装置に比べて、製膜速度で 2.35 倍、膜厚分布で 0.6 倍、安定化後のセル特性で同等という特性であり、a-SiGe に対しても G5 サイズ VHF プラズマ CVD 装置の優位性を示す結果が得られた。

(2)大面積 CVD 技術の開発（G5 サイズ超）

さらなる生産性向上を目的に、G8.5 世代基板サイズ 6 ㎡超の基板サイズまで拡張可能な「VHF プラズマ励起周波数(60MHz 以上)に対応する波長λに対して長さ 1/4λ以上、幅 1/10λ以上の電極を用いてμc-Si:H 薄膜の製膜速度 1.5nm/s 以上、±10%以下の膜厚均一性、±10%以内のプラズマパラメーターの均一性」を実現する新プラズマ源や電極の開発を行った。

(A)「ダブルリッジ型導波管を用いた新規プラズマ源」の開発

ダブルリッジ導波管方式のプラズマ源のイメージ図を図Ⅲ-2-（ロ）A-1（30）に示す。H 型の断面を持つダブルリッジ型導波管（反応室）を、同じく H 型の断面を持った同軸 - 導波管変換器（TWC）で挟んだ構造をしており、高周波電源から同軸モードで供給された高周波電力が TWC で導波管の基本伝播モードに変換されて反応室に投入され、強い電界が形成される反応室の狭ギャップ部分（リッジ部分）でプラズマが生成される仕組みとなっている。なお、均一性を向上させるために位相変調法を導入した。

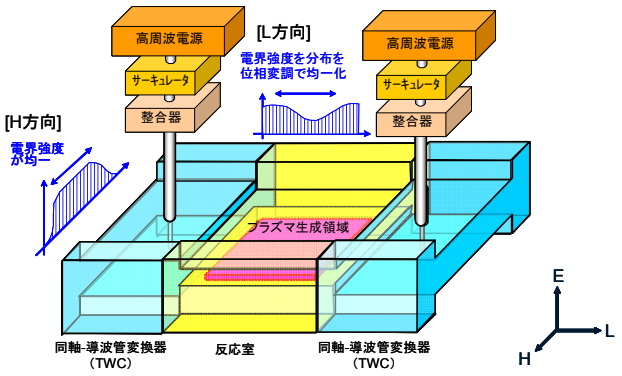
電磁界シミュレーションと並行して原理実証のために試作した小型のプラズマ可視化装置を用いてプラズマの均一性を評価した結果、

a) 大気圧状態で電磁界強度分布を計測、位相固定状態の基本モードは、シミュレーション解析での予測通り H 方向は均一な電界強度分布であり、位相変調によりプラズマ生成領域全体で均一な電界強度分布になる

b) 位相固定状態（同位相）にて、L 方向中央部に H 方向に均一なプラズマが生成

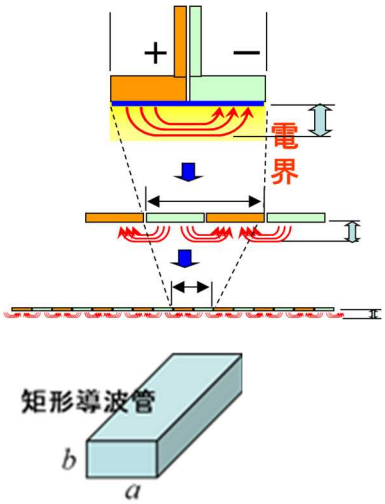
c) 同軸－導波管変換器（TWC）内の不要なプラズマ生成を抑制

することで、L 方向のプラズマ均一性に必要な位相変調法が適用可能となることが確認された。



図Ⅲ-2-（ロ）A-1（30）　ダブルリッジ型プラズマ源のイメージ

(B) 「共振電極対アレイ電極を用いた新規プラズマ源」の開発



図Ⅲ-2-（ロ）A-1（31）対アレイ電極概念図

図Ⅲ-2-（ロ）A-1（31）に対アレイ電極概念図を示す。短冊状の電極をガラス基板に対応して上部電極として敷き詰める構造であるが、短冊状電極へは、短辺方向に対して（長辺に平行に）更に細分化されており、夫々の電極へ位相が 180 度異なる高周波を印加する。この時、短辺方向の断面を見ると、隣り合う電極間に正逆位相の高周波が印加されている為、ここでカップリングされてプラズマが励起される。一方、短冊状電極への高周波給電の長辺伝送路を矩形導波管と見立てると、導波管長辺を自由空間波長の 1/2 に等しくすると、（数式１）より、導波管内の電磁波はカットオフ状態となって、導波管内を伝搬する電磁波の位相速度は無限大、群速度は 0 になり、定在波は生じず均一なプラズマが励起されることになる。

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{1-\left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}}$$

（数式 1：矩形導波管　管内波長式）

上述の原理に基づき 2.2m 長の電極を試作し、プラズマの均一性を評価した。

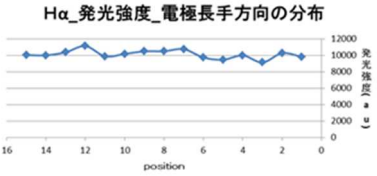
図Ⅲ-2-（ロ）A-1（32）に 60MHz、H2 プラズマ、圧力：500Pa、投入 Power：0.32W/cm^2、Gap:5mm 条件下での長辺方向 15 点の Hα 強度分布の結果を示す。定在波に起因した不均一性は観察されず、均一性として±9.85%が得られた。長辺方向の伝送路内電界強度分布について伝送路 2 本について確認した結果、夫々、均一性：±8.76%と±8.64%（目標：±10%以下）を達成した。

本技術を Si 製膜実プロセスで検証した結果、結晶化率（Ic/Ia）=6.08 のμc-Si:H 膜において、

＜膜厚 1μm の場合＞
- 製膜速度：2.34nm/s
- 膜厚均一性 9.84%

＜膜厚 2μm の場合＞
- 製膜速度：2.08nm/s
- 膜厚均一性 8.56%

が得られ、目標としていた「製膜速度 2nm/s 以上において均一性±10%以下」が達成された。



図Ⅲ-2-（ロ）A-1（32）　OES による長辺方向の Hα 強度分布

また、微結晶シリコン層（i 層のみ）を本方式の CVD で成膜し、単接合セルを試作した。この時、i 層以外の工程は AIST つくばの研究ラインを借用し、処理条件は標準条件と呼ばれているもので実施した。i 層成膜は、本 CVD で、1μと 2μの 2 種のセルを試作し、比較の為、AIST 所有の CVD 装置で試作したセルと特性比較した。

本CVDでのi層：1μセルの特性を図Ⅲ-2-（ロ）A-1（33）に示す。

RefはAIST所有CVD（D/Rは0.5nm/s以下）、VHFが本CVD（D/R：2nm/s以上）である。

Ref CVDで最適化されているAIST標準条件へ、i層工程のみ本CVDで成膜速度4倍以上で成膜したが、変換効率はRefを僅かだが上回った。

	Jsc [mA/cm^2]	Voc [V]	FF [%]	Eff [%]	[Ω]	Rs [Ω]
RF-CVD Ref	17.346	0.466	61.94	5.01	336.63	4.04
VHF-CVD	20.117	0.438	59.31	5.23	403.12	3.88

図Ⅲ-2-（ロ）A-1（33）特性比較

同様に、i層：2μセルの特性を図Ⅲ-2-（ロ）A-1（34）に示す。

これも、成膜速度4倍以上にも拘わらず、Refセルとの比較において、ほぼ同等の特性結果が得られた事により、本高速成膜CVDは、従来装置と同等の膜質・PV特性が得られるものと考えられる。

	Jsc [mA/cm^2]	Voc [V]	FF [%]	Eff [%]	Rsh [Ω]	Rs [Ω]
RF-CVD Ref	19.900	0.482	62.13	5.97	293.29	3.76
VHF-CVD	22.705	0.445	57.17	5.78	275.96	3.75

図Ⅲ-2-（ロ）A-1（34）　特性比較

２．実用化・事業化見通し

２．１　成果の実用化・事業化に向けた戦略

＜薄膜 Si 太陽電池＞

薄膜 Si 太陽電池は、各構造の太陽電池セルにおいて世界最高効率を更新したが、事業化に必要な変換効率が未達成であったことに加え、他の太陽電池の急激な製造コスト低下に伴いその優位性が弱まっており、高効率・低コスト薄膜シリコン太陽電池の事業化を断念せざるを得ない状況である。

そのため、事業化に向けた戦略としては、薄膜シリコン太陽電池の変換効率向上に資する技術開発を引き続き実施する。

コスト競争力のある薄膜シリコン太陽電池技術を確立し、実用化に結び付けることを目標とする。

＜要素技術＞

本事業で開発した要素技術は、太陽電池分野以外への展開も図る。例えば、高光安定アモルファスシリコン製膜技術は、極薄表面コーティング・パシベーション技術、高度光閉じ込め技術は、他の太陽電池の光閉じ込め構造や光学素子等の太陽電池以外の光マネジメント分野の基盤技術として展開する。また、透明導電膜は、オプトエレクトロニクス分野には不可欠な技術であり、特にディスプレイや光学デバイスに展開可能である。

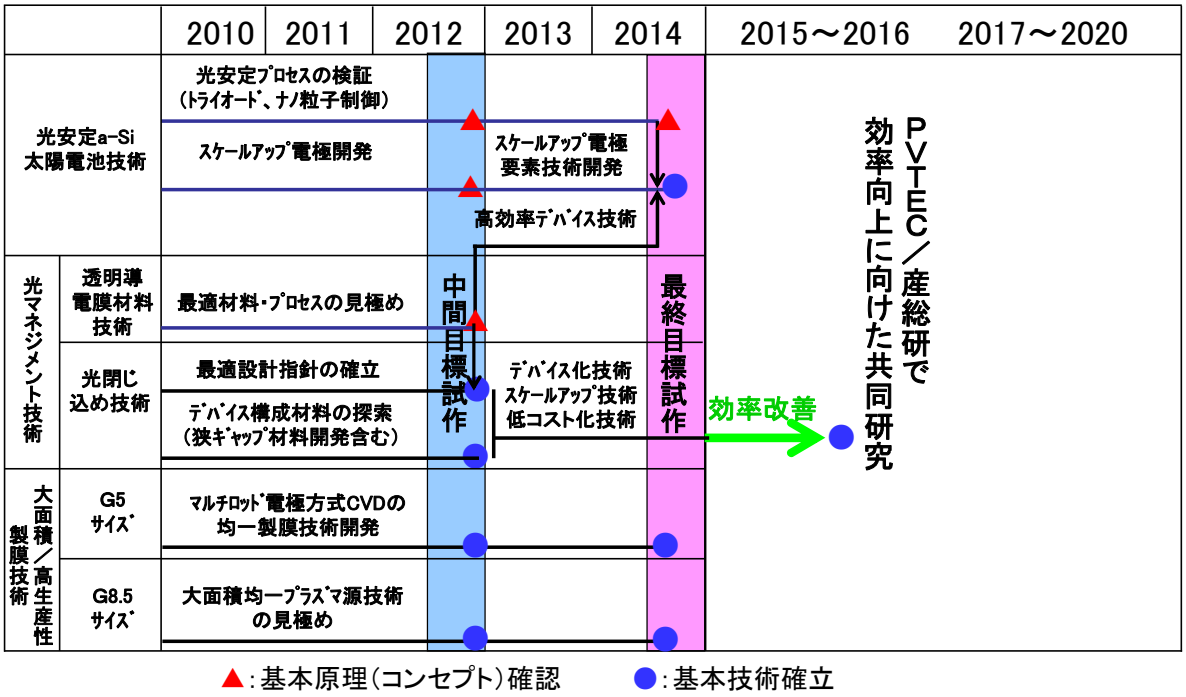
２．２　成果の実用化・事業化に向けた具体的取り組み

PVTEC と産総研で、コスト競争力のある薄膜シリコン太陽電池技術を確立し、実用化に結び付けることを目標とし、2 年間の共同研究を実施する。

この共同研究では、薄膜シリコン太陽電池の変換効率向上に資する技術開発を行う。

①薄膜 Si 太陽電池の高効率化メカニズムの解明

②薄膜 Si 太陽電池の高効率化に向けた光閉じ込め技術の開発



図Ⅲ-2-（ロ）A-2（1）薄膜シリコン太陽電池プロジェクト多接合薄膜シリコン太陽電池の高効率化開発技術の実用化・事業化計画

２．３　成果の実用化・事業化の見通し

薄膜 Si 太陽電池の研究開発状況と太陽光発電市場の現状を鑑み、薄膜 Si 太陽電池の実用化・事業化については、現段階では断念せざるを得ない。

薄膜 Si 太陽電池については、現状では十分な変換効率が達成できていないが、本研究で開発された各種要素技術の展開が進むものと考えられる。

２．３．１　光安定アモルファスシリコン太陽電池技術

①高光安定アモルファスシリコン技術

光劣化を低減する方向性に関する知見は現行の薄膜シリコン太陽電池の産業界に有用である。一方、残存する光劣化を抑制するためには、単なる欠陥密度の低減だけでは不十分であることとの知見に基づき、今後より具体的な打開策を打ち立てていく必要がある。

要素技術の展開の観点では、本事業で開発された要素技術である QCM 法によるクラスタモニタリングや簡易クラスタ取り込み量評価技術をプロセスラインに導入することで、プロセス条件のその場観察を可能とするプロセス管理に適用可能である。また、ガス流・クラスタ除去フィルタを用いたクラスタ取り込み量抑制技術は、大面積化する場合の装置設計指針として活用される。また、本開発の中で明らかにしたアモルファスシリコンに関する新しい知見は広く一般的に活用できるものであり、例えば、アモルファスシリコン／結晶シリコンヘテロ接合太陽電池の分野にも応用できる。

２．３．２　光マネジメント技術

①高度光閉じ込め技術

高度光閉じ込め技術は薄膜 Si 太陽電池に限定され得るものではなく、その基本技術は太陽電池以外の分野でも応用可能である。今回、最も効果的であったハニカム基板技術については、転写技術等の低コスト製造プロセスとの併用によってより実用的な技術となり得るし、本開発の中で明らかにした知見は広く一般的に活用できる光マネジメント技術として光学デバイスに展開できる。

②高透明性 p 層、n 層技術

高透明性 p 層、n 層技術は生産設備の軽微な変更で導入できるものであり、i-p バッファ層等の微結晶シリコンセルの高 V_{OC} 化技術も生産設備の変更なく導入できるものであり、高効率化技術として活用できる。

③高透明性 TCO 層の開発技術

水蒸気導入製膜により In_2O_3:H 膜のスパッタ製膜は、本質的には一般的なスパッタ装置でも実現可能な技術であり大面積化プロセスにも対応可能であるとともに、薄膜 TCO を用いる分野の基盤技術として展開可能である。

④大面積酸化亜鉛(ZnO)系 TCO 基板

生産性に長けた大面積、且つ低コスト生産が可能である酸化亜鉛(ZnO)材料を用いた実用的 TCO 基板は、産業的な TCO 技術として太陽電池以外の分野にも展開可能である。

２．３．３　大面積高生産性製膜技術

①G5 サイズ CVD 装置の高速・高品質微結晶シリコン層製膜技術

生産設備と同レベルの機器にて実現した技術であり、薄膜シリコン太陽電池の効率向上により同種の CVD 装置を用いることによって直ちに産業界で活用できる。

②高品質化微結晶 Si 製膜技術 (G5)

4μm 程度の膜厚まで性能低下がほとんどない高品質微結晶 Si 膜が製膜可能であり、薄膜化による高電圧タイプから厚膜化による高電流タイプまで幅広いデバイス設計に対応可能である。なお、本技術を G5 基板サイズ基板で実現したことは、基礎研究⇒実用化の間の技術・開発のギャップ、いわゆる「死の谷」を乗り越えたことでもあり、迅速に産業に展開できる。

③定在波フリー電極技術（薄膜シリコン太陽電池分野）
TEL Solar 社の"Thin Fab II"に G5 サイズ・2 枚葉 4 段バッチ式 CVD を導入すると、初期投資額が 120MEuro から、100MEuro へ▲20MEuro 削減できる。これは、初期投資額の約 50%を占める発電層 CVD の生産性が 55%向上する為、CVD 投資額が 60MEuro から、2/3 の 40MEuro に削減できるためである。また、Module の発電単価は、0.4Euro から、0.38Euro へ低減する。これは、Module Cost の 18%を占める減価償却費が、120MEuro から、100MEuro になる為である。定在波フリーの大面積プラズマ源は、薄膜シリコン太陽電池分野のみならず、半導体や FPD 産業分野でも大きく貢献できる可能性がある。

（他産業への貢献）
FPD 分野：アモルファスシリコン TFT 形成時、従来技術では、13.56MHz CVD にて、G10 サイズが限界であったが、更なる大面積化が技術的には可能となる。
半導体分野：Dry Etcher にて、励起周波数の更なる高周波数化（例えば、100MHz 超のニーズ有り）とシリコンウエハの 300mmφから 450mmφへの大型化は、従来技術では定在波の問題で両立が困難であったが、本技術（共振伝播技術）の活用により、実現の可能性が見えてきた。

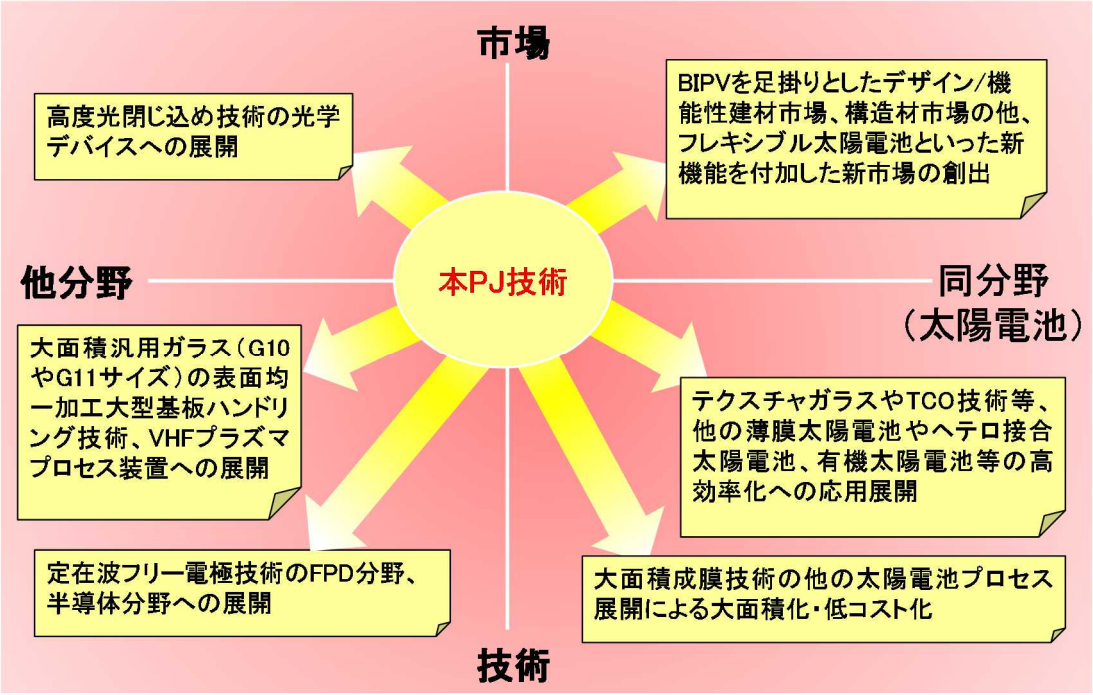
２．３．４　その他の技術
①シリコン系薄膜太陽電池における発電層の欠陥評価
生産現場において非接触かつ非破壊で大面積な試料の評価に展開できる。

②ラマン散乱分光を用いた a-SiGe 膜のナノ構造分析技術
a-SiGe セルを高効率が期待できるハニカム基板上に多接合化する際に活用される。

③バンド構造の直接観察技術
ハニカム基板上の 3 接合など、セル構造の最適バンド構造設計に有効である。

３．波及効果

薄膜シリコン太陽電池で培われてきた技術は、既にディスプレイ分野を中心に多くの技術が他分野に展開されてきたが、本開発で得られた、テクスチャガラスやハニカムテクスチャ構造応用部材、新規裏面反射材料等は他の薄膜太陽電池やヘテロ接合太陽電池、有機太陽電池等の高効率化に今後展開が可能な技術である。



図Ⅲ-2-（ロ）A-3（1）薄膜シリコン太陽電池プロジェクト多接合薄膜シリコン太陽電池の高効率化開発技術の波及効果

また、この高効率化技術により、薄膜シリコン太陽電池の市場でのプレゼンス向上が期待できるが、特に薄膜シリコン太陽電池が得意とする BIPV 市場拡大に対する貢献において、太陽光発電用途の裾野を拡大することだけでなく、デザイン／機能性建材市場の他、フレキシブル太陽電池といった新機能を付加した新たな市場、光学デバイスや FPD 分野への展開を創出していくものと考えられる。

さらに今回の開発は、産総研つくばセンター内に PVTEC つくば究所を集中研として設置し、開発を行った。その際、各社から若手技術者を PVTEC つくば究所に派遣、駐在し、産総研の技術者とともに薄膜シリコンの高効率化や大面積化に関する研究開発を実施した。これらの研究活動を通して、若手技術者の人材育成に大きく貢献することができた。

４．今後の展開

今回事業化を断念せざるを得ない最も大きな理由は、薄膜シリコン太陽電池の事業化に必要な変換効率が達成できなかったためである。本事業の成果を踏まえて、材料レベルまで立ち返った検討を平成 27～28 年度の 2 年間、産総研と PVTEC の共同研究で推進する。コスト競争力のある薄膜シリコン太陽電池技術の確立し、実用化に結び付けることを目標とし、薄膜シリコン太陽電池の効率向上に資する技術開発を行う。

本共同研究と合わせて、本事業で開発された各種要素技術（高光安定アモルファスシリコン技術、高度光閉じ込め技術、極薄ドープ層形成技術高透明性 p 層、n 層技術、高透明性 TCO 層の開発技術、G5 サイズ CVD 装置の高速・高品質微結晶シリコン層製膜技術、ラマン散乱分光を用いた a-SiGe 膜のナノ構造分析技術、バンド構造の直接観察技術、大面積酸化亜鉛(ZnO)系 TCO 基板、シリコン系薄膜太陽電池における発電層の欠陥評価、高品質化微結晶 Si 製膜技術（G5)、定在波フリー電極技術）は、今後、他の薄膜電池やヘテロ接合太陽電池、有機太陽電池等の高効率化に今後展開が可能な技術であり、太陽電池事業への実用化に結びつけたい。

５．特許論文リスト

	H22	H23	H24	H25	H26	終了後	計
特許出願（うち外国出願）	0	6 (3)	0	2	0	0	8(3)件
論文（査読付き）	2	9	12	8	2	8	41 件
研究発表・講演（うち国際会議）	26 (14)	45 (24)	44 (28)	45 (27)	40 (28)	9 (5)	209 件 (126 件)
新聞・雑誌等への掲載	0	0	2	1	0	0	3 件
受賞実績	0	0	1	1	2	1	5 件
展示会への出展	0	0	0	2	1	0	3 件

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	三菱重工業	特願 2011-239623	国内	平成23年 10月31日	未請求	真空処理装置	大坪　栄一郎 竹内　良昭 中尾　禎子
2	三菱重工業	特願 2011-239646	国内	平成23年 10月31日	出願	真空処理装置	中尾　禎子 竹内　良昭 大坪　栄一郎 河合　良信
3	東北大	PCT／JP2012／001072	PCT	平成24年 2月17日	出願	プラズマ処理装置およびプラズマ処理方法	平山　昌樹
4	東北大	PCT／JP2012／001252	PCT	平成24年 2月23日	出願	プラズマ処理装置およびプラズマ処理方法	平山　昌樹
5	東北大	PCT／JP2012／001304	PCT	平成24年 2月24日	出願	プラズマ処理装置およびプラズマ処理方法	平山　昌樹
6	富士電機	特願 2012-054377	国内	平成24年 3月12日	未請求	裏面電極、裏面電極の製造方法、及び薄膜太陽電池	稲員　ふみ
7	三菱重工業	特願 2012-183425	国内	平成 24 年 8 月 22 日	未請求	真空処理装置及び膜厚分布調整方法	増田　拓郎 中尾　禎子 田頭　健二 竹内　良昭
8	三菱重工業	特願 2012-190136	国内	平成 24 年 8 月 30 日	未請求	真空処理装置及び膜厚分布調整方法	竹内　良昭 樋口　琢也 中尾　禎子 大坪　栄一郎

【論文・学会発表】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名	査読	発表年度
1	野々村修一	岐阜大	薄膜シリコン太陽電池	PV Japan SEMI Toutorial	無	2010 年度
2	野々村修一	岐阜大	太陽電池の現状と将来展望	島津サイエンス西日本５周年記念セミナー	無	2010 年度
3	Masahiro Iwata, Michiko Tanaka, Yasushi Sobajima, Toshihiko Toyama, Chitose Sada, Akihisa Matsuda, Hiroaki Okamoto	阪大	Defect-Density Distribution in Microcrystalline Silicon Prepared at High Growth Rate	25th European Photovoltaic Solar Energy Sonference and Exhibition (5th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion)	無	2010 年度
4	Yasushi Sobajima, Jakapan Chantana, Yu Kubota, Yuichi Tsutsui, Masahiro Iwata, Chitose Sada, Toshihiko Toyama, Akihisa Matsuda, Hiroaki Okamoto	阪大	Improvement of Photovoltaic Performance in Microceystalline Silicon Thin Film Solar Cells by Means of Compress Layer	25th European Photovoltaic Solar Energy Sonference and Exhibition (5th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion)	無	2010 年度
5	Shiro Kamanaru, Tomoyuki Nagai, Hiroya Sannnai, Jakapan Chantana, Yasushi Sobajima, Toshihiko Toyama, Chitose Sada, Akihisa Matsuda, Hiroaki Okamoto	阪大	Investigation of Growth Process in P-type μc-Si:H for Thin Film-Si Solar Cells	25th European Photovoltaic Solar Energy Sonference and Exhibition (5th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion)	無	2010 年度
6	Yuichi Tsutsui, Yu Kubota, Jakapan Chantana, Yasushi Sobajima, Toshihiko Toyama, Chitose Sada, Akihisa Matsuda, Hiroaki Okamoto	阪大	Effect of Substrate-Surface Roughness on Defect Density and Photovoltaic Performance in μc-Si:H Solar Cells	25th European Photovoltaic Solar Energy Sonference and Exhibition (5th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion)	無	2010 年度
7	野本淳一，平野友康，宮田俊弘，南　内嗣	金沢工大	ZnO 系透明導電膜の表面構造形成に及ぼす成膜技術等の影響	平成22年度秋季応用物理学会学術講演会	無	2010 年度

8	平野友康，野本淳一，宮田俊弘，南　内嗣	金沢工大	B 添加 ZnO 透明導電膜の得られる膜特性と成膜方法との関係	平成22年度秋季応用物理学会学術講演会	無	2010 年度
9	筒井裕一、篠原義治、武藤裕嵩、傍島靖、佐田千年長、松田彰久、岡本博明	阪大	透明導電膜 InTiO の基礎物性と薄膜 Si 太陽電池への応用	平成22年度秋季応用物理学会学術講演会	無	2010 年度
10	釜鳴志朗、武藤裕嵩、Chantna Jakapan、傍島靖、佐田千年長、松田彰久、岡本博明	阪大	薄膜 Si 太陽電池の特性向上に向けた μc-Si:H ドープ層成長プロセスの検討	平成22年度秋季応用物理学会学術講演会	無	2010 年度
11	傍島靖、岩田大裕、筒井裕一、佐田千年長、松田彰久、岡本博明	阪大	高速製膜微結晶シリコンの界面欠陥密度制御技術と薄膜太陽電池への応用	平成22年度秋季応用物理学会学術講演会	無	2010 年度
12	J. Nomoto, T. Hirano, T. Miyata, O. Ueda and T. Minami	金沢工大	Relationship Between Resistivity Stability and Structure of Transparent Conducting Impurity-doped ZnO Thin Films	The AVS 57th International Symposium & Exhibition	無	2010 年度
13	J. Nomoto, T. Miyata and T. Minami	金沢工大	Optical and Electrical Properties of Transparent Conducting B-doped ZnO Thin Films Prepared by Various Deposition Methods	The AVS 57th International Symposium & Exhibition	無	2010 年度
14	平野友康，野本淳一野口雄介，宮田俊弘，南内嗣	金沢工大	マグネトロンスパッタ ZnO 系透明導電膜における表面テクスチャ構造と成膜方式との関係	平成22年度応用物理学会北陸・信越支部学術講演会	無	2010 年度
15	Kenta Nakahara, Yuki Kawashima, Muneharu Sato, Takeaki Matsunaga, Kousuke Yamamoto, William Makoto Nakamura, Daisuke Yamashita, Hidefumi Matsuzaki, Giichiro Uchida, Naho Itagaki, Kazunori Koga, and Masaharu Shiratani	九大	Cluster-Free B-Doped a-Si:H Films Deposited Using SiH4 + B10H14 Multi-Hollow Discharges	IEEE TENCON 2010	無	2010 年度
16	Kenta Nakahara, Yuki Kawashima, Muneharu Sato, Takeaki Matsunaga, Kousuke Yamamoto, William Makoto Nakamura, Daisuke Yamashita, Hidefumi Matsuzaki, Giichiro Uchida, Naho Itagaki, Kazunori Koga, and Masaharu Shiratani	九大	Cluster-Free B-Doped a-Si:H Films Deposited Using SiH4 + B10H14 Multi-Hollow Discharges	Proceedings of IEEE TENCON 2010	有	2010 年度
17	William Makoto Nakamura, Hidefumi Matsuzaki, Hiroshi	九大	High rate deposition of highly stable a-Si:H films using multi-hollow	Surface and Coatings Technology,	有	2010 年度

	Sato, Yuuki Kawashima, Kazunori Koga, and Masaharu Shiratani		discharges for thin films solar cells	Vol. 205, p. S241		
18	Kenta Nakahara, Yuki Kawashima, Muneharu Sato, Takeaki Matsunaga, Kousuke Yamamoto, William Makoto Nakamura, Daisuke Yamashita, Hidefumi Matsuzaki, Kunihiro Kamataki, Giichiro Uchida, Naho Itagaki, Kazunori Koga, and Masaharu Shiratani	九大	Cluster-free p-type a Si:H films deposited using SiH4 + B10H14 multi-hollow discharges	The 4th International Student Workshop on Electrical Engineering	無	2010 年度
19	中原賢太, 川嶋勇毅, 松永剛明, 佐藤宗治, 山本康介, 中村ウィリアム誠, 内田儀一郎, 山下大輔, 松崎秀文, 板垣奈穂, 古閑一憲, 白谷正治		マルチホロー放電プラズマ CVD 法で堆積した P ドープ a-Si:H 膜の導電率	平成 22 年度応用物理学会九州支部学術講演会	無	2010 年度
20	J. Nomoto, T. Hirano, T. Miyata and T. Minami	金沢工大	Electrical Property Improvements by Inserting a Buffer Layer in Impurity-Doped ZnO Transparent Electrodes Prepared by Magnetron Sputtering Depositions	The 17th Int. Display Workshops(IDW'10)	無	2010 年度
21	J. Nomoto, T. Hirano, T. Miyata and T. Minami	金沢工大	Effects of Superimposing r.f. Power on the Preparation of Impurity-Doped ZnO Transparent Electrodes by d.c. Magnetron Sputtering	The 17th Int. Display Workshops(IDW'10)	無	2010 年度
22	中原賢太, 川嶋勇毅, 松永剛明, 佐藤宗治, 山本康介, 山下大輔, 松崎秀文, 内田儀一郎, 板垣奈穂, 古閑一憲, 白谷正治	九大	SiH4+B10H14 マルチホロー放電プラズマ CVD を用いた B ドーピング a-Si:H の堆積	プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第 14 回 支部大会	無	2010 年度
23	Kenta Nakahara, Yuki Kawashima, Muneharu Sato, Takeaki Matsunaga, Kousuke Yamamoto, William Makoto Nakamura, Daisuke Yamashita, Hidefumi Matsuzaki, Giichiro Uchida, Kunihiro Kamataki, Naho Itagaki, Kazunori Koga, Masaharu	九大	Deposition rate of SiH4+PH3 multi-hollow plasma CVD a-Si:H films	第２０回日本 MRS 学術シンポジウム	無	2010 年度

	Shiratani					
24	Kenta Nakahara, Yuki Kawashima, Muneharu Sato, Takeaki Matsunaga1, Kousuke Yamamoto1, Daisuke Yamashita1,Hidefumi Matsuzaki, Giichiro Uchida, Kunihiro Kamataki, Naho Itagaki, Kazunori Koga, and Masaharu Shiratani	九大	Optical bandgap energy of B-doped a-Si:H films depositedby SiH4+B10H14multi-hollow discharge plasma CVD	The 12th International Workshop on Advanced Plasma Processing and Diagnostics	無	2010 年度
25	T. Hirano, Y. Noguchi, J. Nomoto, T. Miyata and T. Minami	金沢工大	Influence of RTA on Surface Texture-etched AZO Films Prepared by Various Magnetron Sputtering Depositions for Thin-Film Solar Cell Applications	7th International Symposium on Transparent Oxide Thin Films for Electronics and Optics	無	2010 年度
26	J. Nomoto, T. Miyata and T. Minami	金沢工大	Preparation of Transparent Conducting Al- and B-co-doped ZnO Films with High Carrier Mobility and Near-Infrared Transparency by Magnetron Sputtering	7th International Symposium on Transparent Oxide Thin Films for Electronics and Optics	無	2010 年度
27	J. Nomoto, T. Miyata and T. Minami	金沢工大	Preparation of ZnO Films with High Near-infrared Transparency and Carrier Mobility by Magnetron Sputtering with Optimized Impurity Doping	7th International Symposium on Transparent Oxide Thin Films for Electronics and Optics	無	2010 年度
28	傍島靖、Chantana Jakapan、筒井裕一、佐田千年長、松田彰久、岡本博明	阪大	高速製膜微結晶シリコンの製膜初期領域界面欠陥密度制御と太陽電池への応用	第５８回応用物理学関係連合講演会	無	2010 年度
29	M. Kawai et al.	岐阜大	Nano-scale current voltage characteristics of thin film solar cell with light irradiations	Current Applied Physics 10 (2010) pp.5329-5394	有	2011 年度
30	Takuya Matsui、Michio Kondo	産総研	High-Efficiency Microcrystalline Silicon and Microcrystalline Silicon-Germanium Alloy Solar Cells	2011 MRS Spring Meeting	無	2011 年度
31	Yasushi Sobajima, Chitose Sada, Akihisa Matsuda and Hiroaki Okamoto	阪大	Control of Materials and Interfaces in μc-Si:H-based Solar Cells Grown at High Rate	2011 MRS Spring Meeting	無	2011 年度
32	Tadatsugu Minami, Jun-ichi Nomoto, Tomoyasu Hirano, Toshihiro Miyata	金沢工大	Preparation of Impurity-Doped ZnO Transparent Electrodes Suitable for Thin-Film Solar Cell	The 38th International Conference on Metallugical	無	2011 年度

			Applications by Various Types of Magnetron Sputtering Depositions	Coatings & Thin Films (ICMCTF)		
33	H. Natsuhara, T. Tatsuyama, M. Ushiro, M. Furuhashi, T. Fujii, F. Ohashi, N. Yoshida, S. Nonomura	岐阜大	Preparation of SnO_2 thin films at low temperatures with H_2 gas by the hot-wire CVD method	Thin Solid Films, Vol.519, No.14, pp.4538-4541 (2011	有	2011 年度
34	Makoto Konagai	東工大	Novel TCO materials for high efficiency thin-film Si solar cells - high haze ZnO, p-type TCO and Graphene	E-MRS 2011 SPRING MEETING, NICE, FRANCE	無	2011 年度
35	Aswin Hongsingthong, Taweewat Krajangsang, Bancha Janthong, Porponth Sichanugrist, and Makoto Konagai	東工大	EFFECT OF HIGH-HAZE ZnO FILMS FABRICATED ON SODA-LIME GLASS SUBSTRATE FOR THIN-FILM SILICON SOLAR CELLS	37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Washington State Convention Center, Seattle, Washington	無	2011 年度
36	和田英敏 Aswin Hongsingthong, Liping Zhang, Porpoth Sichanugrist, 山田明, 小長井誠	東工大	高ヘイズ ZnO 基板上の p-a-SiO: H を用いた a-Si:H 太陽電池	第８回 「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム、岐阜	無	2011 年度
37	Liping Zhang, Hidetoshi Wada, Shunsuke Kasashima, Porponth, Sichanugrist Yasuyoshi Kurokawa, Makoto Konagai	東工大	The effect of ZnO TCO with patterned morphology on high efficiency a-Si:H solar cells	第８回 「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム、岐阜	無	2011 年度
38	夏目悠祐, 夏原大宗, 細江大祐, 酒井義人, 大橋史隆, 伊藤貴司, 吉田憲充, 野々村修一	岐阜大	光起電力顕微鏡を用いたナノ領域における a-Si 薄膜太陽電池の発電特性評価	第８回 「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム、岐阜	無	2011 年度
39	林功太郎, 寺澤祥, 濱口智成, 吉田憲充, 夏原大宗, 野々村修一	岐阜大	Hot-wire CVD 法による nc-SiC 薄膜のポリタイプ制御の試み	第８回 Cat-CVD 研究会, P3, pp.45-46 (2011)	無	2011 年度
40	野本淳一、平野友康、宮田俊弘、南 内嗣	金沢工大	マグネトロンスパッタ法で作製した ZnO 系透明導電膜の電気的特性に対するバッファレイヤー挿入効果	電子情報通信学会 電子部品・材料研究会 材料デバイスサマーミーティング	無	2011 年度
41	平野友康、野本淳一、宮田俊弘、南 内嗣	金沢工大	マグネトロンスパッタ法による薄膜太陽電池用 AZO 透明導電膜の作製	電子情報通信学会 電子部品・材料研究会 材料デバイスサマーミーティング	無	2011 年度

42	Takuya Matsui、Michio Kondo	産総研	High-Efficiency Microcrystalline Silicon and Microcrystalline Silicon-Germanium Alloy Solar Cells	Materials Research Society Symposium Proceedings 1321 巻 mrss11-1321-a01-06	有	2011 年度
43	Liping Zhang, Ihsanul Afdi Yunaz, Shunsuke Kasashima, Hidetoshi Wada, Aswin Hongsingthong,Taweewat KrajangsangYasuyoshi Kurokawa and Makoto Konagai	東工大	Light management of a-Si:H solar cells using textured zinc oxide with adjustable haze values	Physica Status Solidi C, Vol.8 Isssue 10, p2998-3001 (2011)	有	2011 年度
44	H. Natsuhara, S. Miura, K. Hori, T. Kumasawa, Y. Noda, Z. Xiang qu, F. Ohashi, N. Yoshida and S. Nonomura	岐阜大	Preparation of p-type NiO film for a-Si solar cells	24th International Conference on Amorphous and Nanocrystalline Semiconductors	無	2011 年度
45	Norimitsu Yoshida, Sho Terazawa, Kotaro Hayashi, Tomonari Hamaguchi, Hironori Natsuhara and Shuichi Nonomur	岐阜大	Effects of deposition conditions on the structure of microcrystalline silicon carbide thin films by hot-wire CVD method	24th International Conference on Amorphous and Nanocrystalline Semiconductors	無	2011 年度
46	Yasushi Sobajima, Shirou Kamanaru, Hirotaka Muto, Jakapan Chantana, Chitose Sada, Akihisa Matsuda and Hiroaki Okamoto	阪大	Effect of Thermal Annealing and Hydrogen-Plasma Treatment in Boron-Doped Microcrystalline Silicon	24th International Conference on Amorphous and Nanocrystalline Semiconductors	無	2011 年度
47	Jakapan Chantana, Yanqiu Yang, Yasushi Sobajima, Chitose Sada, Akihisa Matsuda, Hiroaki Okamoto	阪大	Localized Surface Plasmon Enhanced Microcrystalline-Silicon Solar Cells	24th International Conference on Amorphous and Nanocrystalline Semiconductors	無	2011 年度
48	和田英敏,Aswin Hongsingthong Liping Zhang, Porponth Sichanugrist,小長井誠	東工大	高ヘイズ ZnO 基板上での a-Si: H 太陽電池の高効率化	平成 23 年 秋季第 72 回応用物理学会学術講演会、山形	無	2011 年度
49	小松優樹、前田貴紀、傍島靖、佐田千年長、松田彰久、岡本博明	阪大	アモルファスシリコン太陽電池における nip、pin 型構造の作製プロセス制御	平成 23 年 秋季第 72 回応用物理学会学術講演会、山形	無	2011 年度
50	武藤裕嵩、立嵜圭祐、傍島靖、佐田千年長、松田彰久、岡本博明	阪大	微結晶シリコン太陽電池における i 層製膜初期プロセスの制御	平成 23 年 秋季第 72 回応用物理学会学術講演会、山形	無	2011 年度
51	岡本博明、傍島靖、松田彰久	阪大	薄膜シリコン太陽電池の生き残りをかけて	平成 23 年 秋季第 72 回応用物理学会学術講演	無	2011 年度

				会、山形		
52	野本淳一、平野友康、宮田俊弘、南 内嗣	金沢工大	スパッタ成膜された ZnO 系透明導電膜の各種特性に及ぼす不純物添加量の影響	平成 23 年 秋季第 72 回応用物理学会学術講演会、山形	無	2011 年度
53	野口雄介、野本淳一、宮田俊弘、南 内嗣	金沢工大	異なる不純物を添加した ZnO 系透明導電膜の薄膜太陽電池用透明電極への適合性の検討	平成 23 年 秋季第 72 回応用物理学会学術講演会、山形	無	2011 年度
54	野本淳一、宮田俊弘、南 内嗣	金沢工大	スパッタ成膜した ZnO 系透明導電膜のエッチングによる表面凹凸構造形成	平成 23 年 秋季第 72 回応用物理学会学術講演会、山形	無	2011 年度
55	片山 博貴, 吉田 功, 綾 洋一郎, 寺川 朗, 井関 正博	三洋電機	SiH4/H2 プラズマシミュレーション技術の開発	平成 23 年 秋季第 72 回応用物理学会学術講演会、山形	無	2011 年度
56	Toshihiro. Miyata, Tadatsugu Minami	金沢工大	Impurity-doped ZnO thin films deposited by magnetron sputtering appropriate for transparent electrode applications in thin-film solar cells	E-MRS 2011 Fall Meeting (Invited presentation)	無	2011 年度
57	Aswin Hongsingthong, Taweewat Krajangsang, Bancha Janthong, Porponth Sichanugrist, and Makoto Konagai	金沢工大	IMPROVEMENT OF SHORT-CIRCUIT CURRENT IN SILICON -BASED THIN FILM SOLAR CELLS USING ZnO FILMS WITH VERY HIGH HAZE VALUE	26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Hamburg, Germany	無	2011 年度
58	Tadatsugu Minami, Tomoyasu Hirano, Yuusuke Noguchi, Toshihiro Miyata, Jun-ichi Nomoto	金沢工大	Influence of rapid thermal annealing on surface texture-etched Al-doped ZnO films prepared by various magnetron sputtering methods	Thin Solid Films	有	2011 年度
59	浜口智成, 林功太郎, 寺澤祥, 夏原大宗, 吉田憲充, 野々村修一	岐阜大	Hot-wire CVD 法による薄膜 Si 系太陽電池用の微結晶 SiC 薄膜におけるポリタイプ制御とドーピングに関する基礎的研究	第三回薄膜太陽電池セミナー, PP-18, p.56 (2011)	無	2011 年度
60	Tadatsugu Minami, Toshihiro Miyata, Tomoyasu Hirano, Jun-ichi Nomoto	金沢工大	Influence of Target Type on Surface Texture-etched AZO Films Prepared by Magnetron Sputtering for Solar Cell Transparent Electrode Applications	AVS 58th International Symposium & Exhibition,	無	2011 年度
61	Jun-ichi Nomoto, Tomoyasu Hirano, Toshihiro Miyata, Tadatsugu Minami	金沢工大	Influence of Doped Al Content on Electrical Properties and Light Management Obtainable by Texture-etched AZO Films Prepared by DC Magnetron Sputtering	AVS 58th International Symposium & Exhibition,	無	2011 年度
62	宮田俊弘、南　内嗣	金沢工大	酸化亜鉛透明電極の現状 1（招待講演）	第 1 回環境・エネルギー・資源シンポジウム	無	2011 年度

63	Hirotaka Katayama, Yohko Naruse, Isao Yoshida, Yoichiro Aya,Akira Terakawa, Masahiro Iseki	三洋電機	SIMULATION OF VERY HIGH FREQUENCY PLASMA FOR SILANE/HYDROGEN GAS	21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference, (2011)	無	2011 年度
64	Hironori Natsuhara, Xiang Qu Zhuo Me, Yusuke Natsume, Daisuke Hosoe, Masato Kawai, Fumitaka Ohashi, Takashi Itoh, Norimitsu Yoshida and Sshichi Nonomura	岐阜大	Development of photovoltaic microscope for thin film solar cell	21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference,	無	2011 年度
65	Norimitsu Yoshida, Sho Terazawa, Kotaro Hayashi ,Tomonari Hamaguchi, Hironori Natsuhara and Shuichi Nonomura	岐阜大	A Study on preparations of polytypes of microcrystalline silicon carbide thin films for doping layer of silicon thin film solar cells by hot-wire CVD method	21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference,	無	2011 年度
66	Hirotaka Muto, Keisuke Tatsuzaki, Yasushi Sobajima,Chitose Sada, Akihisa Matsuda, Hiroaki Okamot	阪大	Difference of Photovoltaic Performance in Substrate-Type Microcrystalline Silicon Solar Cells Fabricated Using a Variety of n/i-Interface-Formation Process	21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference,	無	2011 年度
67	Yasushi Sobajima, Hirotaka Muto, Yoshihiro Shinohara, Chitose Sada, Akihisa Matsuda, Hiroaki Okamoto	阪大	Fundamental Properties of Titanium Doped Indium Oxide and Its Application to Thin Film Silicon Solar Cells	21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference,	無	2011 年度
68	Takuya Matsui、Hitoshi Sai、Kimihiko Saito、Michio Kond	産総研	Amorphous Silicon Based Thin Film Solar Cells Exhibiting Low Light-Induced Degradation	21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference	無	2011 年度
69	H.Wada, A. Hongsingthong, L. Zhang, P. Sichanugrist and M. Konagai.	東工大	HIGH EFFICIENCY A-Si:H SOLAR CELL FABRICATED ON ULTRA-HIGH-HAZE ZnO COATED GLASS SUBSTRATE	21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference	無	2011 年度
70	A. Hongsingthong, H. Wada, Y. Moriya, P. Sichanugrist and M. Konagai	東工大	DEVELOPMENT OF BORON-DOPED ZnO FILMS WITH NOVEL THIN Zn-RICH FILM AND ITS APPLICATION TO SOLAR CELLS	21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference	無	2011 年度
71	Yasushi Sobajima, Chitose Sada, Akihisa Matsuda and Hiroaki Okamoto	阪大	Control of Materials and Interfaces in μc-Si:H-based Solar Cells Grown at High Rate	MRS Proceedings 2011 Vol. 1321	有	2011 年度

72	Tadatsugu Minami, Toshihiro Miyata, Tomoyasu Hirano, Jun-ichi Nomoto	金沢工大	Reduction of obtainable resistivity in transparent conducting impurity doped ZnO thin films deposited with a very thin buffer layer by magnetron sputtering	2011 Smart Nano+ Micro Materials and Devices	無	2011 年度
73	Yasushi Sobajima, Shirou Kamanaru, Hirotaka Muto, Jakapan Chantana, Chitose Sada, Akihisa Matsuda, Hiroaki Okamoto	阪大	Effect of Thermal Annealing and Hydrogen-Plasma Treatment in Boron-Doped Microcrystalline Silicon	Journal of Non-Crystalline Solids	有	2011 年度
74	Jakapan Chantana, Yanqiu Yang, Yasushi Sobajima, Chitose Sada, Akihisa Matsuda, Hiroaki Okamoto	阪大	Localized Surface Plasmon Enhanced Microcrystalline-Silicon Solar Cells	Journal of Non-Crystalline Solids	有	2011 年度
75	平野友康、野本淳一、宮田俊弘、南 内嗣	金沢工大	スパッタ成膜する ZnO 系透明導電膜の表面テクスチャ構造形成に対する添加不純物及び成膜温度の影響	平成 23 年度応用物理学会北陸・信越支部学術講演会	無	2011 年度
76	野本 淳一, 平野 友康, 宮田 俊弘, 南 内嗣	金沢工大	Si 系薄膜太陽電池用 ZnO 系透明電極における最適な不純物添加の検討	平成23年度応用物理学会北陸・信越支部学術講演会	無	2011 年度
77	Jun-ichi Nomoto, Tomoyasu Hirano, Toshihiro Miyata, Tadatsugu Minami	金沢工大	Preparation of Al-doped ZnO transparent electrodes suitable for thin-film solar cell applications by various types of magnetron sputtering depositions	Thin Solid Films	有	2011 年度
78	Takuya Matsui、Michio Kondo	産総研	Advanced processes and materials for high-efficiency thin film silicon solar cells	MRS Technology Development Workshop -- Photovoltaic Materials and Manufacturing Issues II	無	2011 年度
79	Masaharu Shiratani, Kosuke Hatozaki, Kenta Nakahara, Yuji Hashimoto, Takeaki Matsunaga, Daisuke Yamashita, Hidefumi Matsuzaki, Hyunwoong Seo, Kunihiro Kamataki, Giichiro Uchida, Naho Itagaki, Kazunori Koga	九大	A-Si:H Schottky Cells with Quite Low Light Induced Degradation Fabricated by Multi-hollow Discharge Plasma CVD	4th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials	無	2011 年度
80	波戸浩介, 中原賢太, 橋本優史, 松永剛明, 山下大輔, 松崎秀文, 徐鉉雄, 内田儀一郎, 板垣奈穂, 古閑一憲, 白谷正治	九大	高安定 a-Si:H 膜を用いたショットキーセル特性の光照射時間依存性	第 59 回応用物理学関係連合講演会	無	2011 年度

81	片山 博貴, 成瀬 陽子, 吉田 功, 綾 洋一郎, 寺川 朗, 井関 正博	三洋電機	SiH4/H2 系プラズマシミュレーション技術の開発	第 59 回応用物理学関係連合講演会	無	2011 年度
82	傍島靖、佐田千年長、松田彰久、岡本博明	阪大	微結晶シリコン太陽電池における表面ラフネスの発電特性への影響	第 59 回応用物理学関係連合講演会	無	2011 年度
83	Takuya Matsui、Hitoshi Sai、Bidiville Adrien、Kimihiko Saito、Michio Kondo	産総研	Status of stable a-Si:H and low-band-gap μc-Si1-xGex:H alloy materials	4th International Workshop on Thin Film Silicon, Solar Cells	無	2012 年度
84	Y.Kim, K.Hatozaki, Y.Hashimoto, H.Seo, G.Uchida, K.Kamataki, N.Itagaki, K.Koga, M.Shiratani	九大	In-situ Measurements of Cluster Volume Fraction in Silicon Thin Films Using Quartz Crystal Microbalances	Proceeding of Materials Research Society Symposium Proceedings 2012 MRS Spring Meeting, 1426 (2012) pp. 307-311.	有	2012 年度
85	Y.Kim, T.Matsunaga, H.Seo, G.Uchida, K.Kamataki, N.Itagaki, K.Koga, M.Shiratani	九大	Optical Emission Study forChracterization of Nanoparticle-Suppressed Plasma CVD for Microcrystalline Film Deposition	2012 MRS Spring Meeting	無	2012 年度
86	齋 均	産総研	薄膜シリコン太陽電池用光閉じ込め技術の開発	(独)産業技術総合研究所 太陽光発電工学研究センター 2012 成果報告会	無	2012 年度
87	和田 英敏、西窪 恵一、Porponth Sichanugrist、小長井 誠	東工大	EAGLE-XG ガラスを用いた高ヘイズ ZnO 基板とその a-Si:H 太陽電池応用	第９回次世代の太陽光発電システムシンポジウム	無	2012 年度
88	浜下 大輔、黒川 康良、小長井 誠	東工大	Conductive-AFM 法を用いた p 型ナノ結晶 3C-SiC:H 薄膜の結晶性評価	第９回次世代の太陽光発電システムシンポジウム	無	2012 年度
89	Jun-ichi Nomoto, Yuki Nishi, Toshihiro Miyata, Tadatsugu Minami	金沢工大	Influence of the Kind and Content of Doped Impurities on Impurity-Doped ZnO Transparent Electrode Applications in Thin-Film Solar Cells	ICMCTF 12 - International Conference On Metallurgical Coatings & Thin Films 2012	無	2012 年度
90	Hitoshi Sai, Kimihiko Saito, and Michio Kondo	産総研	Investigation of Textured Back Reflectors With Periodic Honeycomb Patterns in Thin-	IEEE PVSC38, Austin, USA	無	2012 年度

			Film Silicon Solar Cells for Improved Photovoltaic Performance			
91	Y.Hashimoto, K.Hatozaki, Y.Kim, G.Uchida, H.Seo, N.Itagaki, K.Kamataki, K.Koga, M.Shiratani	九大	Deposition of B-doped a-Si:H films with a cluster eliminating filter	The 15th International Workshop on Advanced Plasma Processing and Diagnostics	無	2012 年度
92	Takuya Matsui and Michio Kondo	産総研	Thin-film Silicon Photovoltaics - process, material and device development -	International Union of Materials Research Society - International Conference in Asia - 2012 WeB1-2 (招待講演)	無	2012 年度
93	野本 淳一、宮田 俊弘、南 内嗣	金沢工大	r.f.重畳 DC マグネトロンスパッタ ZnO 系薄膜の表面テクスチャ構造形成と r.f.供給電力との関係	第 73 回応用物理学会学術講演会	無	2012 年度
94	野本 淳一、宮田 俊弘、南 内嗣	金沢工大	スパッタ成膜 ZnO 系透明導電膜の各種特性に及ぼす熱処理の影響と不純物添加量との関係	第 73 回応用物理学会学術講演会	無	2012 年度
95	和田 英敏, 黒川 康良, 西窪 恵一, Porponth Sichanugrist, 小長井誠	東工大	二次元デバイスシミュレーションによる高ヘイズ ZnO 基板上 a-Si:H 太陽電池の性能評価	第 73 回応用物理学会学術講演会	無	2012 年度
96	齋 均, 鯉田 崇, 齊藤公彦, 近藤 道雄	産総研	微結晶シリコン太陽電池の高電流化に向けたハニカムテクスチャ基板の開発	第 73 回応用物理学会学術講演会	無	2012 年度
97	松井 卓矢、齋 均, 齊藤 公彦, 近藤 道雄	産総研	高光安定薄膜シリコン太陽電池の作製	第 73 回応用物理学会学術講演会	無	2012 年度
98	傍島 靖, 木下 翔太, 三坂 修己, 佐田 千年長, 松田 彰久, 岡本 博明	阪大	アモルファス SiO:H 薄膜の成長過程:3.膜成長モデルとプロセス制御	第 73 回応用物理学会学術講演会	無	2012 年度
99	木下 翔太, 小渡 晃平, 三坂 修己, 傍島 靖, 佐田 千年長, 松田 彰久, 岡本 博明	阪大	a-SiO:H 薄膜の成長過程: 1. SiH4/CO2 プラズマ中の気相反応過程	第 73 回応用物理学会学術講演会	無	2012 年度
100	三坂 修己, 谷田 昌弘, 柿本 真之介, 金 賢洙, 木下 翔太, 傍島 靖, 佐田 千年長, 松田 彰久, 岡本 博明	阪大	a-SiO:H 薄膜の成長過程:2.膜の構造解析による表面反応過程診断	第 73 回応用物理学会学術講演会	無	2012 年度
101	前田 貴紀, 木谷 彬彦, 木下 翔太, 傍島	阪大	p 型 a-SiO:H の薄膜シリコン太陽電池への適応性	第 73 回応用物理学会学術講演会	無	2012 年度

	靖, 佐田 千年長, 松田 彰久, 岡本 博明					
102	Takuya Matsui, Hitoshi Sai, Kimihiko Saito and Michio Kondo	産総研	High-efficiency thin-film silicon solar cells with improved light-soaking stability	27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (Frankfurt)	無	2012 年度
103	Hidetoshi Wada, Takehiro Aino, Keiichi Nishikubo, Porponth Sichanugrist, Makoto Konagai	東工大	Highly Textured ZnO Substrate Fabricated on Etched EAGLE-XG Glass and Its Application to a-Si:H Solar Cells	27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (Frankfurt)	無	2012 年度
104	Hirotaka Katayama, Isao Yoshida, Akira Terakawa, Yoichirou Aya, Masahiro Iseki, Makoto Tanaka	三洋電機	GROWTH MECHANISM OF Si THIN FILM BY PECVD TECHNIQUE: EFFECT OF SIH3 AND H RADICAL FLUX ON DEPOSITION RATE	27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (Frankfurt)	無	2012 年度
105	K.Hatozaki, Y.Hashimoto, D.Yamashita, H.Seo, G.Uchida, N.Itagaki, K.Koga, M.Shiratani	九大	Hydrogenated Amorphous Silicon Solar Cells Fabricated by a Multi-hollow Discharge Plasma CVD Method	IUMRS-ICEM 2012	無	2012 年度
106	Y.Hashimoto, K.Nakahara, T.Matsunaga, K.Hatozaki, D.Yamashita, G.Uchida, H.Seo, N.Itagaki, K.Kamataki, K.Koga, M.Shiratani	九大	Deposition of B-doped a-Si:H films using a cluster eliminating filter	IUMRS-ICEM 2012	無	2012 年度
107	Y.Kim, K.Hatozaki, Y.Hashimoto, H.Seo, G.Uchida, K.Kamataki, N.Itagaki, K.Koga, M.Shiratani	九大	Measurements of Cluster Volume Fraction in Silicon Thin Films Using Quartz Crystal Microbalances	IUMRS-ICEM 2012	無	2012 年度
108	Y.Hashimoto, K.Hatozaki, Y. Kim, D.Yamashita, G.Uchida, H.Seo, N.Itagaki, K.Kamataki, K.Koga, M.Shiratani	九大	Temperature dependence of fill factor of a-Si:H Schottky cells	Asia-Pacific Conference on Plasma Science and Technology (11th APCPST)	無	2012 年度
109	Y.Kim, K.Hatozaki, Y.Hashimoto, H.Seo, G.Uchida, K.Kamataki, N.Itagaki, K.Koga, M.Shiratani	九大	Measurements of amount of Si clusters incorporated during film deposition using quartz crystal microbalances	Asia-Pacific Conference on Plasma Science and Technology (11th APCPST)	無	2012 年度

110	Takuya Matsui, Chia-Wen Chang, Kouichi Mizuno, Yoshiaki Takeuchi, and Michio Kondo	産総研	Compensation of native defect acceptors in microcrystalline Ge and $Si_{1-x}Ge_x$ thin films by oxygen incorporation: Electrical properties and solar cell performance	Japanese Journal of Applied Physics, vol.51, 091302-1	有	2012 年度
111	Takashi Koida, Hitoshi Sai, Keigou Maejima, Hajime Shibata, and Michio Kondo	産総研	Approaches and challenges for developing high mobility Transparent conductive oxides for solar cells	4th International Symposium on Transparent Conductive Materials	無	2012 年度
112	齋 均	産総研	薄膜太陽電池の光閉じ込め技術最前線 ~薄膜シリコン太陽電池を中心に	第 4 回薄膜太陽電池セミナー	無	2012 年度
113	Tadatsugu Minami, Tsuyoshi Fujita, Toshihiro Miyata, and Jun-ichi Nomoto	金沢工大	Texture-Etched Surface Structure Control of Transparent Conductive Impurity-Doped ZnO Films Deposited by r.f. Power Superimposed d.c. Magnetron Sputtering	59th AVS International Symposium & Exhibition	無	2012 年度
114	Hitoshi Sai, Kimihiko Saito, and Michio Kondo	産総研	Enhanced photocurrent and conversion efficiency in thin-film microcrystalline silicon solarcells using periodically textured back reflectors with hexagonal dimple arrays	Applied Physics Letters vol. 101, 173901	有	2012 年度
115	Makoto Konagai, Bancha Janthong, Hidetoshi Wada, and Porponth Sichanugrist	東工大	High efficiency a-Si single-junction and a-Si/microcrystalline-Si tandem solar cells with W-textured ZnO deposited on etched glass	The 22th Photovoltaic Science and Engineering Conference (China)	無	2012 年度
116	藤田 強、野本 淳一、宮田 俊弘、南 内嗣	金沢工大	スパッタ成膜した ZnO 系透明導電膜の表面テクスチャ構造形成と結晶学的特性との関係	平成 24 年度応用物理学会北陸・信越支部学術講演会	無	2012 年度
117	Takuya Matsui, Hitoshi Sai, Kimihiko Saito, and Michio Kondo	産総研	Amorphous silicon based thin film solar cells exhibiting low light-induced degradation	Japanese Journal of AppliedPhysics, vol.51, 10NB04-1	有	2012 年度
118	Takuya Matsui and Michio Kondo	産総研	Progress in thin-film siliconsolar cell technology	Global Photovoltaic Conference 2012(Korea)	無	2012 年度
119	P. Sichanugrist, B. Janthong, H. Wada, and M. Konagai	東工大	Development of W-textured ZnO Substrates for	Global Photovoltaic	無	2012 年度

			High-Performance Thin-Film SiSolar Cells	Conference 2012(Korea)		
120	Hidetoshi Wada, Yasuyoshi Kurokawa, Keiichi Nishikubo, Porponth Sichanugrist and Makoto Konagai	東工大	Numerical Analysis for the Performance of a-Si:H Solar Cells Fabricated on Double-Textured ZnO Substrates Using 2-Dimensional Device Simulation	2012 MRS Fall Meeting & Exhibit (Boston)	無	2012 年度
121	Y. Kim, T.Matsunaga, K.Nakahara, G.Uchida, K.Kamataki, N.Itagaki, H.Seo, K.Koga, M.Shiratani	九大	Effects of crystalline nanoparticle incorporation on growth, structure, and properties of microcrystalline silicon films deposited by plasma CVD	Thin Solid Films, 523 (2012) pp. 29-33.	有	2012 年度
122	Jun-ichi Nomoto, Yuki Nishi, Toshihiro Miyata, Tadatsugu Minami	金沢工大	Influence of the Kind and Content of Doped Impurities on Impurity-DopedZnO TransparentElectrode Applications in Thin-Film Solar Cells	Thin Solid Films	有	2012 年度
123	Aswin Hongsingthong, Hidetoshi Wada, Yuki Moriya, Porponth Sichanugrist, and Makoto Konagai	東工大	Development of Boron-Doped ZnO Films with Novel Thin Zn-Rich Film and Their Application toSolar Cells	Jpn. J. Appl. Phys. 51 (2012) 10NB03	有	2012 年度
124	Yasushi Sobajima, Hirotaka Muto, Yoshihiro Shinohara, Chitose Sada, Akihisa Matsuda, and Hiroaki Okamoto	阪大	Fundamental Properties of Titanium-Doped Indium Oxide and Its Application to Thin-Film Silicon Solar Cells	Jpn. J. Appl. Phys. 51 (2012) 10NB05	有	2012 年度
125	Aswin Hongsingthong, Akehiro Aino, Porponth Sichanugrist, Makoto Konagai, Hideto Kuramochi,Ryo Akiike, Hitoshi Iigusa, Kentaro Utsumi, and Tetsuo Shibutami	東工大	Development of Novel Al-Doped Zinc Oxide Films Fabricated on Etched Glass and Their Application to Solar Cells	Jpn. J. Appl. Phys. 51 (2012) 10NB09	有	2012 年度
126	Hitoshi Sai, Kimihiko Saito, and Michio Kondo	産総研	Investigation of Textured Back Reflectors With Periodic Honeycomb Patterns in Thin-Film Silicon Solar Cells for Improved Photovoltaic Performance	IEEE Journal of Photovoltaics, vol. 3, 5	有	2012 年度

127	Y.Kim, K.Hatozaki, Y.Hashimoto, G.Uchida, K.Kamataki, N.Itagaki, H.Seo, K.Koga, M.Shiratani	九大	High Amount Cluster Incorporation in Initial Si Film Deposition by SiH_4 Plasma Chemical Vapor Deposition	Japanese Journal of Applied Physics, 52 (2013) pp. 01AD01-1 - 01AD01-4.	有	2012 年度
127	齋 均	産総研	周期構造等を用いた薄膜太陽電池の光マネジメント技術~薄膜シリコン太陽電池を中心に~	日本学術振興会薄膜第 131 委員会第 257 回委員会・第 263 回研究会	無	2012 年度
129	PVTEC/産総研	PVTEC/産総研	新規光閉じ込め技術開発 デバイス高効率化に向けた新規光閉じ込め技術の開発	平成 24 年度「次世代太陽光発電カンファレンス 2012」	無	2012 年度
130	橋本 優史, 波戸崎 浩介, 金淵 元, 山下 大輔, 内田 儀一郎, 徐 鉉雄, 板垣 奈穂, 鎌滝 晋礼, 古閑 一憲, 白谷 正治	九大	SiH_4マルチホロー放電プラズマの発光分光計測	プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第 16 回支部大会	無	2012 年度
131	橋本 優史, 波戸崎 浩介, 金淵 元, 山下 大輔, 内田 儀一郎, 徐 鉉雄, 板垣 奈穂, 鎌滝 晋礼, 古閑 一憲, 白谷 正治	九大	SiH_4マルチホロー放電プラズマの発光分光計測	プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第 16 回支部大会	無	2012 年度
132	Y.Kim, K.Hatozaki, Y.Hashimoto, H.Seo, K.Kamataki, G.Uchida, N.Itagaki, K.Koga, M.Shiratani	九大	Deposition rate dependence ofsilicon cluster volume fraction in silicon thin films deposited by multi-hollow plasma discharge CVD	The Korea Japan Workshop and AJC Meeting	無	2012 年度
133	Y.Kim, K.Hatozaki, Y.Hashimoto, H.Seo, G.Uchida, K.Kamataki, N.Itagaki, K.Koga, M.Shiratani	九大	Substrate temperature dependence of silcion cluster volume fraction in silicon thin films measured with quartz crystal microbalances	5th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials	無	2012 年度
134	K.Hatozaki, Y.Hashimoto, D.Yamashita, H.Seo, G.Uchida, N.Itagaki, K.Koga, M.Shiratani	九大	Dependence of performance of p-i-n a-Si:H solar cells using stable a-Si:H films on distance between discahrges and substrate	5th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials	無	2012 年度
135	Y.Hashimoto, K.Hatozaki,D.Yamashi	九大	Dependence of Voc of a-Si:H	5th International	無	2012 年度

	ta, K.KamatakiG.Uchida, H.Seo, N.Itagaki, K.Koga, M.Shiratani		solar cells on distance between discharge and substrate	Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials		
136	Hitoshi Sai, Kimihiko Saito, Nana Hozuki, and Michio Kondo	産総研	Relationship between the cell Thickness and the optimum period of textured back reflectors in thin-film microcrystalline silicon solar cells	Applied Physics Letters vol. 102, 053509	有	2012 年度
137	齋 均, 鯉田 崇, 齊藤 公彦, 近藤 道雄	産総研	微結晶シリコン太陽電池におけるテクスチャ構造の最適周期と膜厚の相関	第 60 回応用物理学会春季学術講演会	無	2012 年度
138	傍島 靖, 柿本 真之介, 奥本 凌二, 佐田 千年長, 松田 彰久, 岡本 博明	阪大	低欠陥密度膜実現に向けたアモルファス SiO:H 製膜プロセスの制御	第 60 回応用物理学会春季学術講演会	無	2012 年度
139	鯉田 崇	産総研	スパッタ製膜された ZnO 系透明導電膜の高性能化	透明導電膜の新展開 IV－多様な材料・形成技術の可能性― （シー・エム・シー出版） p129-138	無	2013 年度
140	Hitoshi Sai, Takuya Matsui, Adrien Bideville, Takashi Koida, Kimihiko Saito, Yuji Yoshida, Michio Kondo	産総研	Light Management Using Periodic Textures for Enhancing Photocurrent and Conversion Efficiency in Thin-film Silicon Solar Cells (TFSSC)	2013 MRS Spring Meeting, MRS Symposium Proceedings vol. 1536 (2013) pp.3-16.	有	2013 年度
141	Vladislav Jovanov, Ujwol Palanchoke, Philipp Magnus, Helmut Stiebig, Jurgen Huepkes, Porponth Sichanugrist, Makoto Konagai, Samuel Wiesendanger, Carsten Rockstuhl and Dietmar Knipp	東工大	Light trapping in periodically Textured amorphous silicon thin film solar cells using realistic interface morphologies	OPTICS EXPRESS 21(2103) A595-A606	有	2013 年度
142	Keigou Maejima, Takashi Koida, Hitoshi Sai, Takuya Matsui, Kimihiko Saito, Michio Kondo, Teiji Takagawa	PVTEC	Influence of Deposition Temperature on Characteristics of B-doped ZnO Deposited by Metal-organic Chemical Vapor Deposition	8th International Symposium on Trans-Parent Oxide and Related	無	2013 年度

				Materials for Electronics and Optics		
143	影井 泰次郎、西窪 恵一、Porponth Sichanugrist、小長井　誠	東工大	W-textured ZnO:B TCO 基板におけるテクスチャ形状依存性の研究	第 10 回　「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム、金沢市	無	2013 年度
144	S. Toko, Y. Kim, Y. Hashimoto, Y. Kanemitu, H. Seo, G. Uchida, K. Kamataki, N. Itagaki, K. Koga, and M. Shiratani	九大	Volume fraction of clusters in Si thin films in initial deposition phase of plasma CVD	17th Korea-Japan Workshop on Advanced Plasma Processes and Diagnostics & 4th Workshop for NU-SKKU Joint Institute for Plasma-Nano Materials	無	2013 年度
145	齋　均	産総研	薄膜シリコン太陽電池用高度光閉じ込め構造の開発	（独）産業技術総合研究所 太陽光発電工学研究センター 2013 成果報告会	無	2013 年度
146	Asman Tamang, Porponth Sichanugrist, Vladislav Jovanov, Makoto Konagai, Dietmar Knipp	東工大	Maximizing short circuit currents ofamorphous silicon solar cells by double textured substrates	39th IEEE Photovoltaic Specialists Conf., Tampa, Florida	無	2013 年度
147	S. Toko, Y. Kim, Y. Hashimoto, Y. Kanemitu, H. Seo, G. Uchida, K. Kamataki, N. Itagaki, K. Koga, and M. Shiratani	九大	Effects of grid DC bias on incorporation of Si clusters into amorphous silicon films by multi-hollow discharge plasma CVD	The 12th Asia Pacific Physics Conference (APPC12)	無	2013 年度
148	T.Matsui, H. Sai, K. Saito and M. Kondo	産総研	High-efficiency thin-film silicon solar cells with improved light-soaking stability	Progress in Photovoltaics, vol.21, 1363 (2013)	有	2013 年度
149	Y. Kim, T. Matsunaga, K.Nakahara, H. Seo, K. Kamataki, G. Uchida, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani	九大	Effects of nanoparticle incorporation on properties of micro-crystalline films deposited using multi-hollow discharge plasma CVD	Surf. Coat. Technol., 228 (2013) S550.	有	2013 年度
150	Hidetoshi Wada, Bancha Janthong, Porponth Sichanugrist, and Makoto Konagai	東工大	Improved light trapping effect for thin film silicon solar cells fabricated on W-textured white glass substrates	25th International Conference on Amorphous and Nanocrystalline Semiconductors,	無	2013 年度

				Toronto, Ontario Canada		
151	Norimitsu Yoshida, Yusuke Fukaya, Katsuhiro Ishii, Yosuke Matsuda and Shuichi Nonomura	岐阜大	Photothermal Radiometry for Estimation of Defect Density of Silicon Thin Films with Large Area for Solar Cells	The 25th International Conference on Amorphous and Nano-crystalline Semiconductors	無	2013 年度
152	S. Toko, Y. Kim, Y. Hashimoto, Y. Kanemitu, H. Seo, G. Uchida, K. Kamataki, N. Itagaki, K. Koga, and M. Shiratani	九大	Effects of amplitude modulation of rf discharge voltage on silane plasmas in initial phase	Dry Process Symposium 2013	無	2013 年度
153	Y. Kim, S. Toko, Y. Hashimoto, H. Seo, G. Uchida, K. Kamataki, N. Itagaki, K. Koga and M. Shiratani	九大	Contribution of ionic deposition precursors to Si thin film deposition	Dry Process Symposium 2013	無	2013 年度
154	T. Matsui and M. Kondo	産総研	Advanced materials processing for high-efficiency thin-film silicon solar cells	Solar Energy Materials Solar Cells, vol. 119, 156 (2013)	有	2013 年度
155	古閑一憲, 橋本優史, 金淵元, 都甲将, 内田儀一郎, 徐鉉雄, 板垣奈穂, 白谷正治	岐阜大	クラスタ抑制法を用いた高光安定アモルファスシリコン PIN 太陽電池の作製	電気学会プラズマ研究会	無	2013 年度
156	夏園　皓誠, 宮島　晋介, 和田　英敏, Porponth Sichanugrist, 西窪恵一, 小長井　誠	東工大	ダブルテクスチャ ZnO 基板の光散乱特性	第74回応用物理学会秋季学術講演会、同志社大学	無	2013 年度
157	石井克典, 松田耀右, 吉田憲充, 野々村修一	岐阜大	光熱輻射分光法によるシリコン系薄膜の欠陥密度評価	2013 年(平成 25 年)秋季第 74 回応用物理学会学術講演会	無	2013 年度
158	都甲将, 金淵元, 橋本優史, 金光善徳, 徐鉉雄, 内田儀一郎, 鎌滝晋礼, 板垣奈穂, 古閑一憲, 白谷正治	九大	マルチホロー放電プラズマからのクラスター流出量のガス流速依存性	第 74 回応用物理学会秋季学術講演会	無	2013 年度
159	A. Bidiville, T. Matsui, M. Kondo	産総研	Electrical properties of germanium alloyed layers as a low-band gap absorber for thin film silicon solar cells	第 74 回応用物理学会秋季学術講演会	無	2013 年度
160	橋本優史, 都甲将, 金淵元, 山下大輔, 内田儀一郎, 徐鉉雄, 板垣	九大	シラン放電プラズマ初期のクラスター発生と膜への取り込み	第 74 回応用物理学会秋季学術講演会	無	2013 年度

	奈穂, 鎌滝晋礼, 古閑一憲, 白谷正治					
161	Y. Hashimoto, S. Toko, Y. Kim, D.Yamashita, G. Uchida, H. Seo, K. Kamataki, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani	九大	Effects of filter gap of cluster eliminating filter on cluster eliminating efficiency	The 26th Symposium on Plasma Science for Materials (SPSM-26)	無	2013 年度
162	S. Toko, Y. Kim, Y. Hashimoto, Y. Kanemitu, H. Seo, G. Uchida, K. Kamataki, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani	九大	Dependence of Volume Fraction of Si Clusters in Films on Amplitude Modulation Frequency in Multi-Hollow Discharge Plasma CVD Method	The 26th Symposium on Plasma Science for Materials (SPSM-26)	無	2013 年度
163	Hitoshi Sai, Takashi Koida, Takuya Matsui, Isao Yoshida, Kimihiko Saito, Michio Kondo	産総研	Microcrystalline Silicon Solar Cells with 10.5% Efficiency Realized by Improved Photon Absorption via Periodic Textures and Highly Transparent Conductive Oxide	Applied Physics Express vol. 6 (2013) 104101.	有	2013 年度
164	T.Masuda, K.Tagashira, S.nakao, T.Yamane, E.Otsubo, Y.Takeuchi	三菱重工業	PCVD TECHNOLOGIES FOR LARGE AREA DEPOSITION OF THIN FILM SILICON SOLAR CELLS	28th European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC 2013)	無	2013 年度
165	Hitoshi Sai, Takuya Matsui, Adrien Bideville, Takashi Koida, Kimihiko Saito, Michio Kondo	産総研	Enhanced Light Absorption and Photovoltaic Performance in Microcrystalline Si and SiGe Solar Cells by 2D Periodic Textures and Highly Transparent Conductive Oxides	28th EUPVSEC, Proceedings pp. 2179-2183.	無	2013 年度
166	T.Matsui, H. Sai, T. Suezaki, H.Matsumoto, K. Saito, I. Yoshida and M. Kondo	産総研	Development of highly stable and efficient amorphous silicon based solar cells	28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (Paris)	無	2013 年度
167	S. Toko, Y. Kim, Y. Hashimoto, Y. Kanemitu, H. Seo, G. Uchida, K. Kamataki, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani	九大	Cluster incorporation during amplitude modulated VHF discharge silane plasmas	66th Annual Gaseous Electronics Conference	無	2013 年度
168	M. Shiratani, Y. Hashimoto, Y. Kanemitsu, H. Seo,	九大	Cluster control plasma CVD for fabrication of stable a-Si:H solar cells	66th Annual Gaseous Electronics	無	2013 年度

	G. Uchida, N. Itagaki, K. Koga			Conference		
169	Hiroaki Natsusono, Shinsuke Miyajima, Hidetoshi Wada , Porponth Sichanugrist, Makoto Konagai	東工大	Optical scattering properties of double-textured ZnO substrates	PVSEC-23, Taipei	無	2013 年度
170	Taijiro Kagei, Keiichi Nishikubo, Porponth Sichanugrist and Makoto Konagai	東工大	Study of double-textured ZnO:B TCO substrate with larger feature size	PVSEC-23, Taipei	無	2013 年度
171	Y. Hashimoto, S. Toko, Y. Kim, D. Yamashita, G. Uchida, H. Seo, N. Itagaki, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani	九大	Selective removal of clusters in silane plasmas using cluster eliminating filter	The 23rd International Photovoltaic Scienceand Engineering Conference (PVSEC23)	無	2013 年度
172	Y. Kim, K. Hatozaki, Y. Hashimoto, G. Uchida, K. Kamataki, N. Itagaki, H. Seo, K. Koga, and M. Shiratani	九大	Correlation between Volume Fraction of Silicon Clusters in Amorphous Silicon Films and Optical Emission Properties of Si and SiH	Jpn. J. Appl. Phys., 52 (2013) 11NA07.	有	2013 年度
173	松田耀右, 安井彬紘, 石井克典, 近藤宏紀, 高橋昌吾, 吉田憲充, 野々村修一	岐阜大	光熱輻射分光法を用いたシリコン系薄膜の欠陥密度評価	第 5 回薄膜太陽電池セミナー 2013	無	2013 年度
174	和田敏, Bancha Janthong, 西窪恵一, Porponth Sichanugrist, 小長井誠	東工大	白板ガラスを用いた薄膜 Si 太陽電池用 ZnO 基板による光閉じ込め改善	第 5 回薄膜太陽電池セミナー 2013、名古屋大学	無	2013 年度
175	白谷正治	九大	プラズマ気相粒子制御によるシリコン薄膜太陽電池の高効率化 (Invited)	第 5 回薄膜太陽電池セミナー	無	2013 年度
176	鳥越祥宏, 橋本優史, 都甲将, 金淵元, 山下大輔, 徐鉉雄, 板垣奈穂, 鎌滝晋礼, 古閑一憲, 白谷正治	九大	振幅変調マルチホロー放電プラズマ CVD 法を用いた水素化アモルファスシリコン薄膜の作製	平成 25 年度応用物理学会九州支部学術講演会	無	2013 年度
177	Keigou Maejima, Takashi Koida, Hitoshi Sai, Takuya Matsui, Kimihiko Saito, Michio Kondo, Teiji Takagawa	PVTEC	Influences of deposition temperature on characteristics of B-doped ZnO films deposited by metal-organic chemical vapor deposition	Thin Solid Films 32975(2013), in Press	有	2013 年度

178	S. Toko, Y. Kim, Y. Hashimoto, Y. Kanemitsu, H. Seo, G. Uchida, K. Kamataki, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani	九大	Effects of Amplitude Modulation of Discharge Voltage of Multi-Hollow Silane Discharges on Amount of Clusters Formed in the Discharges	23rd Annual Meeting of MRS-JAPAN 2013	無	2013 年度
179	T.Yamane, S.Nakao, K.Tagashira, T.Masuda, E.Otsubo and Y.Takeuchi	三菱重工業	Advanced Phase Modulation Technology for Gen5-Size VHF Plasma Generation and its Application to Thin Film Silicon Solar cells	8th International Conference on Reactive Plasmas / 31st Symposium on Plasma Processing (ICRP-8/SPP-31)	無	2013 年度
180	S. Toko, Y. Hashimoto, Y. Kanemitu, Y. Torigoe, H. Seo, K. Kamataki, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani	九大	Fine response of deposition rate of Si films deposited by multi-hollow discharge plasma CVD with amplitude modulation	8th International Conference on Reactive Plasmas and 31st Symposium on Plasma Processing	無	2013 年度
181	Y. Torigoe, Y. Hashimoto, S. Toko, Y. Kim, D. Yamashita, H. Seo, N. Itagaki, K. Kamataki,K. Koga, M. Shiratani	九大	Effects of amplitude modulation on deposition of hydrogenated amorphous silicon films using multi-Hollow discharge plasma CVD method	8th International Conference on Reactive Plasmas and 31st Symposium on Plasma Processing	無	2013 年度
182	S. Toko, Y. Hashimoto, Y. Kanemitu, Y. Torigoe, H. Seo, K. Kamataki, N. Itagaki, K. Koga, and M. Shiratani	九大	Effects of Amplitude Modulation of Discharge Voltage on Cluster Amount in Downstream Region of Multi-Hollow Silane Discharge Plasmas Studied by Laser Light Scattering Method	2014 Japan-Korea Joint Symposium on Advanced Solar Cells	無	2013 年度
183	K. Koga, Y. Hashimoto, S. Toko, D. Yamashita, Y. Torigoe, G. Uchida, H. Seo, K. Kamataki, N. Itagaki, and M. Shiratani	九大	Fabrication of highly stable a-Si:H solar cells by suppressing cluster incorporation	2014 Japan-Korea Joint Symposium on Advanced Solar Cells	無	2013 年度
184	M. Shiratani	九大	Characteristics of a-Si:H Cells Fabricated by Amplitude Modulated VHF Discharges	6th International Symposium on Advanced Plasma Science and its	無	2013 年度

				Applications for Nitrides and Nanomaterial /7th International Conference on Plasma Nanotechnology and Science		
185	S. Toko, Y. Hashimoto, Y. Kanemitu, Y. Torigoe, H. Seo, K. Kamataki, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani	九大	Effects of Amplitude Modulation of Discharge Voltage on Volume Fraction of Clusters in Si Thin Films Depoisted by Multi-Hollow Discharge Plasma CVD	6th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterial/ 7th International Conference on Plasma Nanotechnology and Science	無	2013 年度
186	T. Matsui, H. Sai, T. Koida, T. Suezaki, H. Matsumoto, K. Saito, I. Yoshida and M. Kondo	産総研	Recent developments of high-efficiency thin-film silicon solar cells	10th Workshop on the future direction of photovoltaics	無	2013 年度
187	片山　博貴,吉田　功 矢田　茂郎,寺川　朗	パナソニック	SiH_4/H_2系プラズマ中のH原子の重要性	第61回　応用物理学会春季学術講演会(口頭発表)	無	2013 年度
188	都甲将, 橋本優史, 金光善徳, 鳥越祥宏, 徐鉉雄, 鎌滝晋礼, 板垣奈穂, 古閑一憲, 白谷正治	九大	シランプラズマ中のクラスター量に対する振幅変調放電の効果	2014 年 第 61 回応用物理学会春季学術講演会	無	2013 年度
189	齋 均, 前島 圭剛, 松井 卓矢, 鯉田 崇, 吉田 功, 近藤 道雄	産総研	周期構造を有するガラス基板を用いたスーパーストレート型薄膜シリコン太陽電池の検討	2014 年第 61 回応用物理学会春季学術講演会	無	2013 年度
190	齋 均, 松井 卓矢, 鯉田 崇齊藤 公彦, 吉田 功, 近藤 道雄	産総研	モスアイフィルムによるサブストレート型薄膜シリコン太陽電池の光取り込みの改善	2014 年第 61 回応用物理学会春季学術講演会	無	2013 年度
191	片山　博貴 矢田　茂郎 寺川　朗	パナソニック	機能分離型酸化亜鉛テクスチャ基板の開発	第61回　応用物理学会春季学術講演会(口頭発表)	無	2013 年度
192	T. Matsui, A. Bidiville, H. Sai, M. Kondo,T. Suezaki,	産総研	Improved metastability and of a-Si:H solar cells	2014 MRS Spring Meeting & Exhibit	無	2014 年度

	M. Matsumoto, K. Saito, I. Yoshida					
193	齋均、水野英範、吉田功、松原浩司	産総研	フォトニック構造・プラズモニック構造を用いた薄膜シリコン太陽電池の高性能化	電気学会Ｅ分科研究会	無	2014 年度
194	H. Sai	産総研	Development and Progress in Thin Film Si Photovoltaic Technologies	IEEE Photovoltaic Specialists Conference (IEEE PVSC40)	無	2014 年度
195	Hitoshi Sai, Takuya Matsui, Koji Matsubara, Michio Kondo, Isao Yoshida	産総研	11.0%-Efficient Thin Film Microcrystalline Silicon Solar Cells with Honeycomb Textured Substrates	IEEE Photovoltaic Specialists Conference (IEEE PVSC40)	無	2014 年度
196	Hitoshi Sai, Takuya Matsui, Koji Matsubara, Michio Kondo, Isao Yoshida	産総研	11.0%-Efficient Thin Film Microcrystalline Silicon Solar Cells with Honeycomb Textured Substrates	IEEE JOURNAL OF PHOTOVOLTAICS, VOL. 4, NO. 6, NOVEMBER 2014 1349-1353	有	2014 年度
197	I. Yoshida, T.Matsui, H. Sai, T. Suezaki, S. Nakao, K. Maejima, H. Katayama, M.Matsumoto, S. Sugiyama, Y. Takeuchi,M. Ushijima, K. Saito, M. Kondo, M. Tanaka, S. Nonomura, M. Shiratani, M. Konagai, M. Hirayama, and S. Niki	PVTEC	Development and Progress in Thin Film Si Photovoltaic Technologies by Photovoltaic Power Generation Technology Research Association	IEEE Photovoltaic Specialists Conference (IEEE PVSC40)	無	2014 年度
198	齋均	産総研	高効率微結晶シリコン太陽電池の開発	(独)産業技術総合研究所 太陽光発電工学研究センター 2014 成果報告会	無	2014 年度
199	齋均,松井卓矢,鯉田崇,近藤道雄,吉田功	産総研	ハニカムテクスチャ基板を用いた薄膜シリコン太陽電池の高性能化	学振１７５委員会次世代の太陽光発電シンポジウム	無	2014 年度
200	Isao Yoshida Shigeru Niki	PVTEC	Developments on Thin Film Si Photovoltaic Technologies by PVTEC	Grand Renewable Energy Int. Conf. Exhibition (GRE2014)	無	2014 年度
201	Y. Matsuda et al.	岐阜大	PHOTOTHERMAL RADIOMETRY FOR ESTIMATION OF DEFECT	Grand Renewable Energy Int.	無	2014 年度

			DENSITY IN SILICON THIN FILMS	Conf. Exhibition (GRE2014)		
202	L. Meng, S. Miyajima and M. Konagai	東工大	Development of transparent and conductive Al doped Zn1-xMgxO thin film by sol-gel process with two-step annealing	Int. Soc. Optics and photonics (SPIE)	無	2014 年度
203	古閑一憲	九大	太陽電池開発の最前線	九州大学主催 2014 年度先端サマーセミナー（第 6 回研究活動交流会）	無	2014 年度
204	吉田 功, 松井 卓矢, 齋 均,末崎 恭,片山 博貴, 杉山 秀一郎, 中尾 禎子,竹内 良昭, 牛島 満, 斉藤 公彦, 近藤 道雄,田中 誠, 仁木 栄	PVTEC	薄膜シリコン太陽電池コンソーシアムによる開発の現状と今後の展望	平成 26 年秋季第75回応用物理学会秋季学術講演会	無	2014 年度
205	A. Chowdhury	東工大	Amorphous silicon solar cells fabricated on high-quality LPCVD SnO2:F/textured glass	平成 26 年秋季第75回応用物理学会秋季学術講演会	無	2014 年度
206	近藤宏紀, 安井彬紘, 松田耀右, 石井克典, 高橋昌吾, 吉田憲充, 野々村修	岐阜大	光熱輻射分光法によるシリコン系薄膜の欠陥密度評価(Ⅱ)	平成 26 年秋季第75回応用物理学会秋季学術講演会	無	2014 年度
207	齋均, 松井卓矢, 近藤道雄, 中尾禎子, 竹内良昭, 片山博貴, 吉田功	産総研	ハニカムテクスチャ基板を用いた高性能薄膜シリコン太陽電池の開発	平成 26 年秋季第75回応用物理学会秋季学術講演会	無	2014 年度
208	前島圭剛, 鯉田崇, 齋均, 松井卓矢, 吉田功	PVTEC	MOCVD 法による薄膜シリコン太陽電池用 ZnO 透明導電膜の開発	平成 26 年秋季第75回応用物理学会秋季学術講演会	無	2014 年度
209	白谷正治	九大	プラズマ気相粒子制御によるシリコン薄膜太陽電池の高効率化	第 6 回薄膜太陽電池セミナー2013（名古屋大大）	無	2014 年度
210	都甲将, 橋本優史, 金光善徳, 鳥越祥宏, 徐鉉雄, 内田儀一郎, 鎌滝晋礼, 板垣奈穂, 古閑一憲, 白谷正治	九大	膜中クラスター退席分率の AM 変調依存性	第 6 回薄膜太陽電池セミナー2013（名古屋大大）	無	2014 年度
211	H. Sai	産総研	Thin-film Si Solar Cells	6th World Conf. Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6)	無	2014 年度
212	H. Sai, K. Maejima, T. Matsui, T. Koida, M. Kondo, S. Nakao, Y. Takeuchi, H. Katayama and I. Yoshida	産総研	High-efficiency Thin-film Silicon Solar Cells Using Honeycomb Textured Substrates	6th World Conf. Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6)	無	2014 年度

213	T. Matsui, A. Bidiville, H. Sai, T. Suezaki, M. Matsumoto, K. Saito, I. Yoshida and M. Kondo	産総研	High-efficiency Amorphous Silicon Solar Cells Realized by Reduced Light-induced Degradation and Improved Device Design	6th World Conf. Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6)	無	2014年度
214	S. Sugiyama, H. Sai and T. Matsui	シャープ	Effect of Surface Chemical Treatment of MOCVDgrown ZnO (TCO) Layers on The Microcrystalline Silicon Solar Cell Properties	6th World Conf. Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6)	無	2014年度
215	H. Katayama, H. Sai, T. Koida, K. Maejima, I. Yoshida, S. Yata and A. Terakawa.	パナソニック	Development of a Separated-function Type Textured ZnO Substrate for Improving Conversion Efficiency of Thin-film Si Solar Cells	6th World Conf. Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6)	無	2014年度
216	Maejima, T. Koida, H. Sai, T. Matsui and I. Yoshida	PVTEC	Reduction of Light Reflectance of Thin Film Silicon Solar Cells by Insertion of Anti-Reflection Layer between Boron-Doped ZnO Films and Glass	6th World Conf. Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6)	無	2014年度
217	L. Meng, S. Miyajima and M. Konagai	東工大	Effect of Al Addition on the Electrical, Optical and Structural Properties of Sol-gel Derived Zn1-xMgxO Thin Film	6th World Conf. Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6)	無	2014年度
218	Amartya Chowdhury, Porponth Sichanugrist and Makoto Konagai,	東工大	Amorphous SiOx:H as Antireflection Layer for Glass/ZnO Interface of Thin Film A-Si:H Solar Cell	6th World Conf. Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6)	無	2014年度
219	N. Yoshida, K. Ishii, S. Takahashi, Y. Matsuda, A. Yasui, H. Kondo and S. Nonomura	岐阜大	Photothermal Radiometry for Estimation of Spin Density in Si Thin Films	6th World Conf. Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6)	無	2014年度
220	S. Nakao, T. Masuda, K. Tagashira, T. Yamane, E. Otsubo, H. Sai, T. Matsui, I. Yoshida and Y. Takeuchi	三菱重工業	PECVD Technologies for G5-size Thin Film Silicon Solar Cells	6th World Conf. Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6)	無	2014年度
221	S. Toko, Y. Torigoe, Y. Kanemitu, H. Seo, N. Itagaki, K. Koga and M. Shiratani	九大	Effects of Gas Residence Time on Amount of Si Clusters Incorporated into a-Si:H Films	6th World Conf. Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6)	無	2014年度
222	S. Toko, Y. Torigoe,	九大	Cluster Incorporation Control by Hydrogen Silane	67th Annual Gaseous	無	2014年度

	Y. Kanemitsu, H. Seo, K. Koga, M. Shiratani		Mixture in Multi Hollow Discharge Plasma CVD	Electronics Conference		
223	H. Sai, I. Yoshida, K. Matsubara	産総研	Light management technologies in thin-film silicon solar cells	Optical Nanostructures and Advanced Materials for Photovoltaics (PV) 2014 meeting	無	2014 年度
224	Hitoshi Sai	産総研	Toward high-efficiency thin film silicon solar cells: interplay between light trapping structures and film growth	OSA - Light, Energy and the Environmental Congress	無	2014 年度
225	Y. Torigoe, S. Toko, K. Keya, D. Yamashita, H. Seo, N. Itagaki, K. Koga and M. Shiratani	九大	Realization of highly stable a - Si:H film by using cluster eliminating filter	75th IUVSTA Workshop on Sheath Phenomena in Plasma Processing of Advanced Materials	無	2014 年度
226	齋均	産総研	薄膜シリコン太陽電池の高性能化～光閉じ込めと界面制御～	CREST 研究領域公開シンポジウム	無	2014 年度
227	K. Koga, S. Toko, Y. Torigoe, K. Keya, H. Seo, N. Itagaki, M. Shiratani	九大	Cluster suppressed deposition of a-Si:H films by employing non-linear phenomena in reactive plasmas	2015 Japan-Korea Joint Symp. Advanced Solar Cells	無	2014 年度
228	Y. Torigoe, S. Toko, K. Keya, D. Yamashita, H. Seo, N. Itagaki, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani	九大	Effects of hydrogen dilution on stability of a-Si:H films in silane hydrogen mixture multi-hollow discharge plasmas	2015 Japan-Korea Joint Symp. Advanced Solar Cells	無	2014 年度
229	S. Toko, Y. Torigoe, K. Keya, H. Seo, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani	九大	Gas Residence Time Effects of Cluster Incorporation into a-Si:H Films	2015 Japan-Korea Joint Symp. Advanced Solar Cells	無	2014 年度
230	S. Hashimoto, D. Ichida, H. Seo, G. Uchida, D. Yamashita, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani	九大	Fabrication of Si nanoparticles using plasmas in liquid for solar cell applications	2015 Japan-Korea Joint Symp. Advanced Solar Cells	無	2014 年度
231	Y. Torigoe, S. Toko, K. Keya, D. Yamashita, H. Seo, N. Itagaki, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani	九大	Effects of hydrogen dilution on stability of a-Si:H films in silane hydrogen mixture multi-hollow discharge plasmas	2015 Japan-Korea Joint Symp. Advanced Solar Cells	無	2014 年度

232	M. Shiratani	九大	Three kinds of nucleation of films using plasma processes for solar cell applications	2015 Japan-Korea Joint Symp. Advanced Solar Cells	無	2014 年度
233	Hitoshi Sai1, Takuya Matsui1 , Kimihiko Saito , Michio Kondo1 and Isao Yoshida	産総研	Photocurrent enhancement in thin-film silicon solar cells by combination of anti-reflective sub-wavelength structures and light-trapping textures	PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS: RESEARCH AND APPLICATIONS	有	2014 年度
234	齋 均、前島 圭剛、片山 博貴、鯉田 崇、松井 卓矢、近藤 道雄、竹内 良昭、吉田 功	産総研	サブストレート型微結晶シリコン太陽電池における透明導電酸化物膜の影響	第 62 回応用物理学関係連合講演	無	事業終了後
235	松井 卓矢、Bidiville Adrien、前島 圭剛、齋 均、鯉田 崇、末崎 崇、松本 光弘、斉藤 公彦、吉田 功、近藤 道雄	産総研	a-Si:H 太陽電池における光劣化の製膜速度依存性	第 62 回応用物理学関係連合講演	無	事業終了後
236	古閑 一憲、都甲 将、鳥越 祥宏、毛屋 公孝、徐 鉉雄、板垣 奈穂、白谷 正治	九大	水素化アモルファスシリコン薄膜中 Si-H_2結合生成に対するクラスタ混入とラジカル表面反応の寄与	第 62 回応用物理学関係連合講演	無	事業終了後
237	S. Toko, Y. Torigoe, K. Keya, H. Seo, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani	九大	Effects of Gas Flow Rate on Deposition Rate and Amount of Si Clusters Incorporated into a-Si:H Films	7th Int.Symp. Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterial/7th Int. Conf. Plasma Nanotechnology and Science	無	事業終了後
238	T. Matsui, H. Sai, K. Maejima, T. Koida, A. Bidiville, T. Suezaki, M. Matsumoto, H. Katayama, Y. Takeuchi, S. Sugiyama, K. Saito, M. Kondo, I. Yoshida	産総研	Toward high-efficiency multijunction thin-film silicon solar cells: Implementation of stable a-Si:H and advanced light management	E-MRS 2015	無	事業終了後
239	Hitoshi Sai, Keigo Maejima, Takuya Matsui, Takashi Koida, Koji Matsubara, Michio Kondo, Yoshiaki Takeuchi, Shuichiro Sugiyama, Hirotaka Katayama, Isao Yoshida	産総研	High-Efficiency Thin-Film Silicon Solar Cells on Honeycomb Texture	IEEE Photovoltaic Specialists Conference (IEEE PVSC42)	無	事業終了後

240	S. Toko, Y. Kim, Y. Hashimoto, Y. Kanemitu, H. Seo, G. Uchida, K. Kamataki, N. Itagaki, K. Koga, and M. Shiratani	九大	Effects of Grid DC Bias on Incorporation of Si Clusters into Amorphous Silicon Thin Films in Multi-Hollow Discharge Plasma CVD	J. Phys. Soc. Conf. Proc. Vol.1, 015069	有	事業終了後
241	Y. Hashimoto, S. Toko, D. Yamashita, H. Seo, K. Kamataki, N. Itagaki, K. Koga and M. Shiratani	九大	Effects of filter gap of cluster-eliminating filter on cluster eliminating efficiency	J. Phys.:Conf.Series Vol.518, 012007	有	事業終了後
242	S. Toko, Y. Hashimoto, Y. Kanemitu, Y. Torigoe, H. Seo, G. Uchida, K. Kamataki, N. Itagaki, K. Koga and M. Shiratani	九大	Contribution of ionic precursors to deposition rate of a-Si:H films fabricated by plasma CVD	J. Phys.:Conf.Series Vol.518, 012008	有	事業終了後
243	Takuya Matsui,Adrien Bidiville,Keigou Maejima,Hitoshi Sai, Takashi Koida,Takashi Suezaki,Mitsuhiro Matsumoto,Kimihiko Saito,Isao Yoshida and Michio Kondo1	産総研	High-efficiency amorphous silicon solar cells: Impact of deposition rate on metastability	Appl. Phys. Lett. 106, 053901 (2015)	有	事業終了後
244	H. Sai, K. Maejima, T. Matsui, T. Koida, M. Kondo, S. Nakao, Y. Takeuchi, H. Katayama and I. Yoshida	産総研	High-efficiency Thin-film Silicon Solar Cells Using Honeycomb Textured Substrates	Jpn. J. Appl. Phys. (WCPEC-6 special issue)	有	事業終了後
245	Takuya Matsui, Keigou Maejima, Adrien Bidiville1, Hitoshi Sai1, Takashi Koida1, Takashi Suezaki,Mitsuhiro Matsumoto, Kimihiko Saito, Isao Yoshida, and Michio Kondo	産総研	High-efficiency thin-film silicon solar cells realized by integrating stable a-Si:H absorbers into improved device design	Jpn. J. Appl. Phys. 54, 08KB10 (2015) (WCPEC-6 special issue)	有	事業終了後
246	松井卓矢	産総研	トライオード型プラズマ CVD 法を用いた高効率アモルファスシリコン太陽電池の開発	プラズマ・核融合学会誌	無	事業終了後

247	H. Sai et al.	産総研	Triple-junction thin-film silicon solar cell fabricated on periodically textured substrate with a stabilized efficiency of 13.6%	Appl. Phys. Lett. 106, 213902 (2015)	有	事業終了後
248	H. Sai, T. Matsui, K. Maejima, T. Koida, M. Kondo, I. Yoshida, K. Katayama, S. Sugiyama, T. Takagawa, K. Matsubara	産総研	Progress in high-efficiency thin-film silicon solar cells with honeycomb textures	PVSEC25 (Korea)	無	事業終了後
249	T. Matsui, A. Bidiville, K. Maejima, H. Sai1, T. Koida1, T. Suezaki, M. Matsumoto, H. Katayama, Y. Takeuchi, S. Sugiyama, K. Saito, M. Kondo, I. Yoshida, K. Matsubara	産総研	Progress and challenges in a-Si:H based thin-film solar cells	ICANS26	無	事業終了後
250	Hitoshi Sai, Keigo Maejima, Takuya Matsui, Takashi Koida, Koji Matsubara, Michio Kondo, Yoshiaki Takeuchi, Shuichiro Sugiyama, Hirotaka Katayama, and Isao Yoshida	産総研	Effect of Front TCO Layer on Properties of Substrate-Type Thin-Film Microcrystalline Silicon Solar Cells	IEEE JOURNAL OF PHOTOVOLTAICS, VOL. 5, NO. 6, NOVEMBER 2015	有	事業終了後

【受賞】

[1] プラズマ・核融合学会九州・沖縄・山口支部　講演奨励賞
　　橋本 優史「SiH4 マルチホロー放電プラズマの発光分光計測」2012 年 12 月

[2] 第 5 回薄膜太陽電池セミナー2013：優秀発表賞
　　都甲　将 (九州大学)、H25 年 11 月

[3] 6th World Conf. Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6)：Best Paper Award
　　H. Sai et al.,　“High-efficiency Thin-film Silicon Solar Cells Using Honeycomb Textured Substrates”　H26 年 11 月

[4] 2015 Japan-Korea Joint Symp. Advanced Solar Cells：Student Award
　　Y. Torigoe,　“Effects of hydrogen dilution on stability of a-Si:H films in silane hydrogen mixture multi-hollow discharge plasmas”　H27 年 1 月

[5] 42th IEEE Photovoltaic Specialist Conference (IEEE PVSC42) ： Outstanding Technical Contribution Award
　　H. Sai et al.,　“High-Efficiency Thin-Film Silicon Solar Cells on Honeycomb Textures”　H27 年 6 月

【その他の公表（プレス発表等)】

[1] 2012 年 5 月 25 日　高光安定アモルファス Si について日経エレクトロニクス、Tech-On!に掲載（産総研）

[2] 2012 年 12 月 12 日　Hitoshi Sai, Kimihiko Saito, Michio Kondo, “Periodic structures boost performance of thin-film solar cells”, DOI: 10.1117/2.1201211.004606
(米国 International society for Ooptics and photonics のホームページ上に紹介記事掲載：産総研)

[3] 2013 年 3 月 28 日　プレス発表
独立行政法人 産業技術総合研究所, 太陽光発電技術研究組合
「世界最高効率の薄膜微結晶シリコン太陽電池を実現　－　規則構造を使ってより効率良く太陽光を利用　－」

[4] PV Japan 2013/RE2013（2013 年 7 月 24 日～26 日）
「省資源で大面積に作れる薄膜太陽電池(Development of thin-film solar cells at AIST)」（産総研）

[5] イノベーションジャパン２０１３（2013 年 8 月 29 日～30 日）
「次世代量子ドット太陽電池の実現に向けたプラズマプロセス技術（九州大学)」

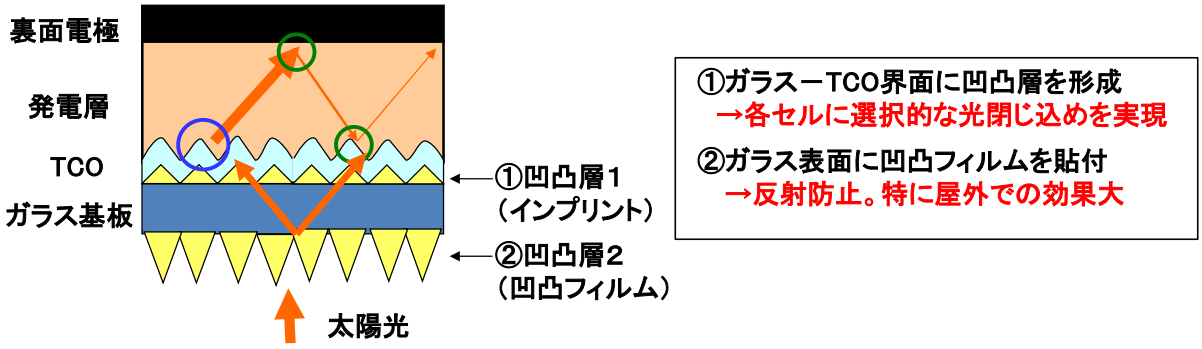
[6] PV Japan 2014/RE2014（2014 年 7 月 27 日～8 月 1 日）
「薄膜シリコン太陽電池の高効率化技術の開発」（産総研）

B 高度構造制御薄膜シリコン太陽電池の研究開発

1. 成果詳細

研究開発項目としては、①新規低空間指向性光閉じ込め技術の開発および②サブサーフェス制御製膜法による新規バンドギャップ制御シリコン系材料の開発について取り組んだ。

① に関しては、その開発概念を図Ⅲ-2-(ロ)-B-1(1)に示す。

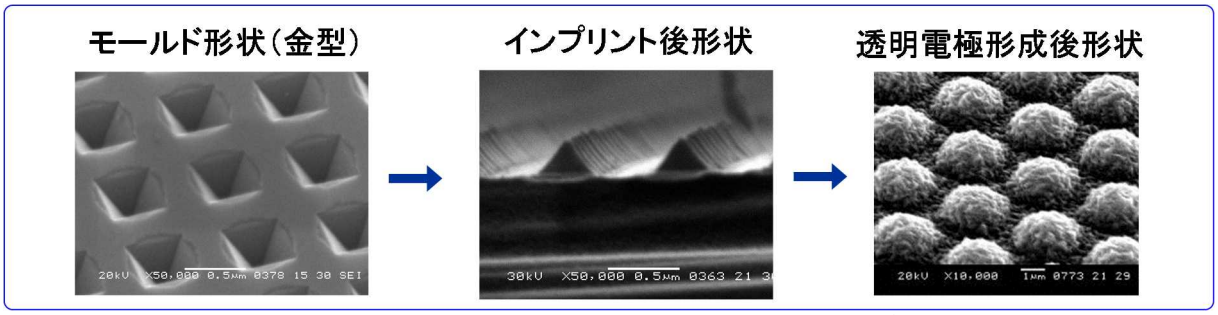


図Ⅲ-2-(ロ)-B-1(1) 光閉じこめ概念図

ナノインプリント技術を用いてガラス基板表面へ凹凸構造を形成する技術を開発し、ガラス上に凹凸サイズを制御した透明電極の形成を行い光散乱の制御を行った。特に周期的に配列した凹凸構造により散乱方向に指向性を持たせることにより、各発電層に最適な光閉じ込めを行う。更にガラス表面に凹凸構造を形成し反射ロスを低減することにより電流向上を図った。この場合の凹凸構造は、安価なエンボスプロセスにより凹凸構造を形成したフィルムをガラス表面に貼り付けることを特徴としている。②に関しては、目的を 3 接合構造(a-Si/a-SiGe/μc-Si)のミドル層である a-SiGe の高性能化と、量産化サイズである大面積 3 接合モジュールの高効率化に絞った検討を実施した。

① 新規低空間指向性光閉じ込め技術の開発

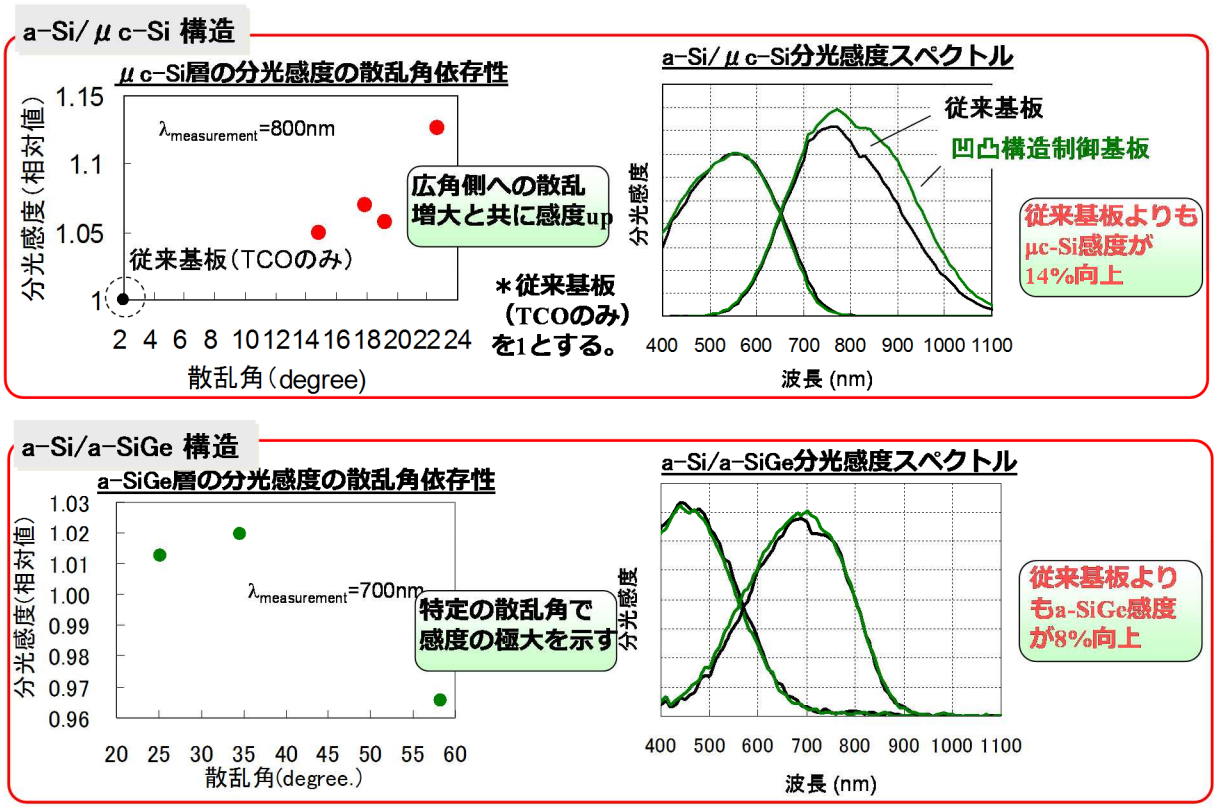
基本的なインプリント技術開発としてメーター角級のでの大面積モジュールでの凹凸構造制御技術に展開すべく最大対応基板サイズ 600mm□の大面積ナノインプリント装置を導入し、インプリント検討を実施した。その結果、転写エリア 500mm□にて均一に所望の形状が形成可能な事を確認した。図Ⅲ-2-(ロ)-B-1(2)はモールド（金型）、ガラス上に形成された凹凸構造の形状、さらに透明電極形成後の形状に関する SEM 写真である。



図Ⅲ-2-(ロ)-B-1(2) 凹凸構造の SEM 写真

単結晶シリコンウエハに対するアルカリエッチングにより、逆ピラミッド構造が周期的に配列した単結晶シリコンウエハをモールド（金型）としている。次にガラス上に凹凸層を形成するための材料を塗布しインプリントする事により、図のようにガラス表面にピラミッドが形成される。引き続き ZnO からなる透明電極を製膜する事により図に示すようなピラミッドの形状を反映した大きなテクスチャと ZnO を形成する事で通常形成される小さなテクスチャからなる透明電極が形成される。特に本プロジェクトにおいては、周期的に配列した凹凸構造を用いる事で、光の散乱方向制御（指向性化）を目指した。特に 3 接合型の太陽電池（a-Si/a-SiGe/μc-Si）のミドル a-SiGe 層ならびにボトムμc-Si 層の吸収波長にマッチした選択的な光閉じ込めの実現を目指した。

まずピラミッドの配列を変更する事で散乱方向を制御した基板について、μc-Si 層並びに a-SiGe 層の分光感度の散乱角依存性を調べた。その結果を図Ⅲ-2-(ロ)-B-1(3)に示す。



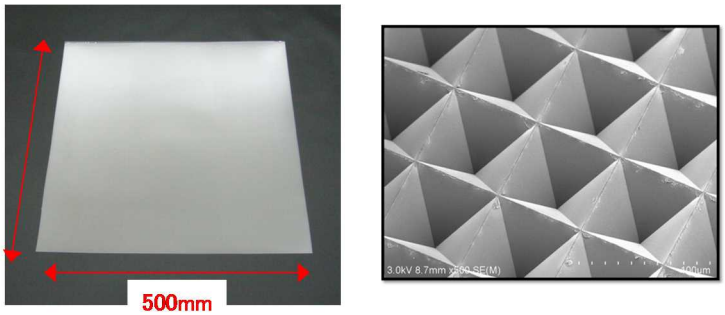
図Ⅲ-2-(ロ)-B-1(3) **分光感度の散乱角依存性**

解析の方法としてはμc-Si 層に関しては波長 800nm での散乱角と分光感度、a-SiGe 層に関しては波長 700nm での散乱角と分光感度の関係について示している。なお分光感度に関しては、TCO のみの基板を従来基板とし、従来基板に対する相対値で示している。その結果μc-Si 層に関しては広角側への散乱と共に感度が向上するが、a-SiGe 層に関しては特定の散乱角で感度の極大を示す。

また、それぞれの最大感度を示す散乱角を有する基板における分光感度スペクトルを示すが、μc-Si 層の感度（積分電流値）は従来基板と比較して 14%、a-SiGe 層の感度は 8%向上している。以上により各要素セルの光閉じ込めに最適な散乱角が明確になった。

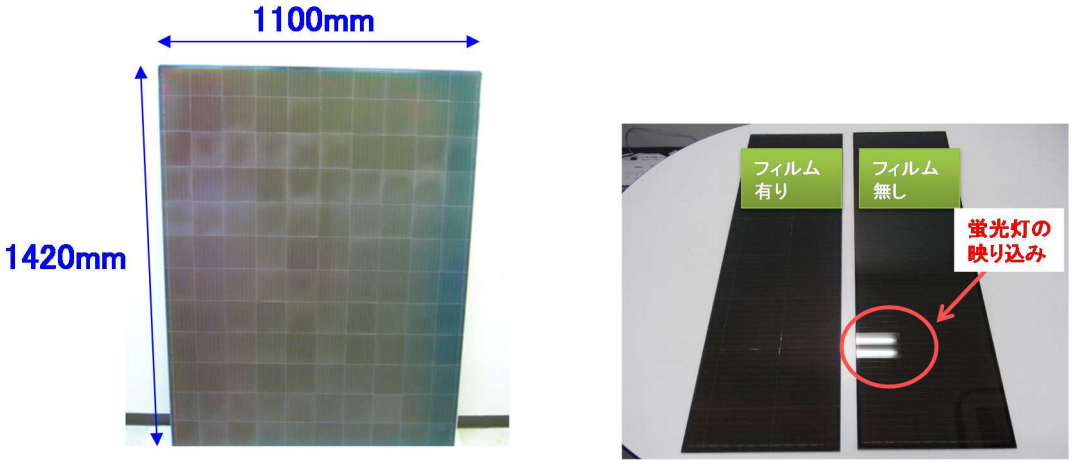
次に 500mm□の凹凸構造付き基板を用いて 3 接合モジュールにより評価を行った。その結果、凹凸が無い場合と比較して電流に関しては向上するが F.F.は逆に低下する。この原因としては①レーザー加工時のダメージと②凹凸構造に起因する Si 層に対する欠陥の発生が考えられる。①に関しては、薄膜シリコン太陽電池に対する集積化においてはレーザー加工により膜分離を行うが、ガラス側からビーム入射を行う場合には凹凸層によりビームが散乱し加工不良が生じてしまい、F.F.低下の要因となりうる。②に関しては、特に凹部に起因する線欠陥が発電層中に発生することにより、同じく F.F.低下の原因となった。よって電流の向上は最大 20%程度が見込まれるが F.F.の低下が著しくなるため、本基板を用いた集積化ならびにこれ以上の大面積化は断念することとした。

次にガラス表面凹凸構造により光閉じこめ検討を実施した。図Ⅲ-2-(ロ)-B-1(4)にフィルム外観写真を示す。



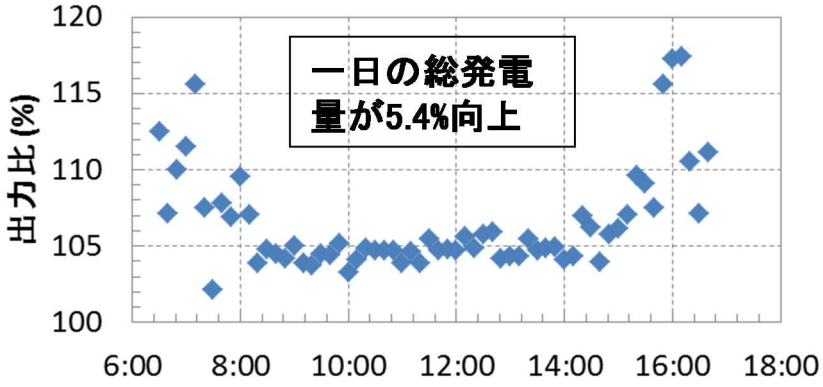
図Ⅲ-2-(ロ)-B-1(4) **フィルム外観写真**

本凹凸構造は、自社開発した高耐候性アクリルフィルムに安価なエンボスプロセスにより凹凸構造を形成している。また構造自体は逆ピラミッド構造であるが、その傾斜角についてはシミュレーション（光線追跡法）をベースに最適化したものである。図Ⅲ-2-(ロ)-B-1(5)にモジュール外観写真を示すが、その効果として出力で 3%の向上を確認すると共に、防眩性も付与されていることがわかる。



図Ⅲ-2-(ロ)-B-1(5) **モジュール外観写真**

また図Ⅲ-2-(ロ)-B-1(6)に屋外での出力特性について示す。通常の AR 膜と比較して朝晩の低入射角での光の反射ロス低減効果が大きくなることで、一日の総発電量が 5.4%向上している。本凹凸構造は、集積化したモジュールに後から貼り付けで形成可能であり、レーザー加工の問題や膜欠陥の問題が生じず、有効な光閉じこめ手段である。



図Ⅲ-2-(ロ)-B-1(6) **屋外出力特性**

② サブサーフェス制御製膜法による新規バンドギャップ制御シリコン系材料の開発

次に 3 接合構造のミドル層である a-SiGe において課題となっている膜中欠陥、光劣化を抑制するためにサブサーフェス制御製膜法の検討を実施した。より具体的には、従来のプラズマ CVD 法では膜形成時に水素化することにより未結合手を終端させ、欠陥密度増加を抑制していたが、サブサーフェス制御製膜法では従来法と異なり、敢えてサブサーフェス（断続的な界面）において欠陥低減処理を行うことで、却って処理効果の増大、膜中閉じ込めを行い、活性層全体の大幅な品質向上を図るものである。

我々は、まず 3 段タンデムセルに対し新規欠陥低減処理（高濃度水素処理）を製膜後に実施することで初期および安定化後特性に対する改善効果を確認した。表Ⅲ-2-(ロ)-B-1(1)に 3 段タンデムセルの処理前後の特性を示す。全てのパラメーターが向上し、Eff.としては 4%の向上がみられた。

初期特性

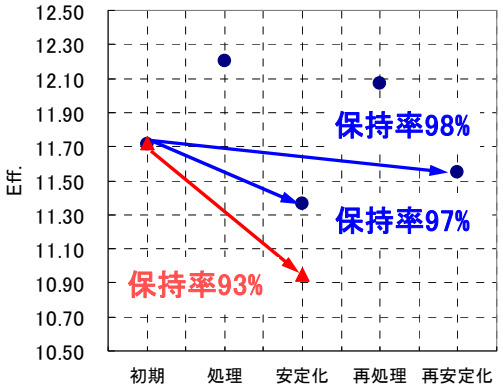
	Voc(V)	Isc(mA)	F.F.(%)	Eff.(%)
処理前	2.09	7.58	73.9	11.7
処理後	2.11	7.79	74.3	12.2

4%向上

表Ⅲ-2-(ロ)-B-1(1)　処理前後の特性比較

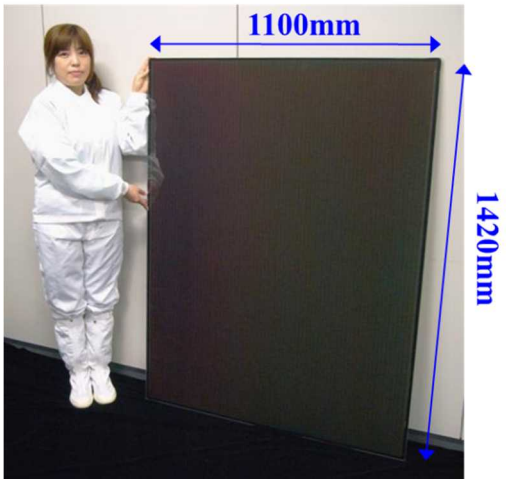
次に光安定化特性について検討した。照射強度 5sun による 1sun550 時間相当の加速劣化試験を実施した結果を図Ⅲ-2-(ロ)-B-1(7)に示す。安定化後特性に関しても処理無しの場合の保持率が 93%であるのに対し、処理を行う事で 97%まで向上した。さらに光安定化後のサンプルを再度、処理を行い光安定化試験を行ったところ、保持率が向上する傾向にあった。
以上の結果より、セルに対する新規欠陥低減処理（高濃度水素処理）の有効性が確認された。

青：処理有り
赤：処理無し

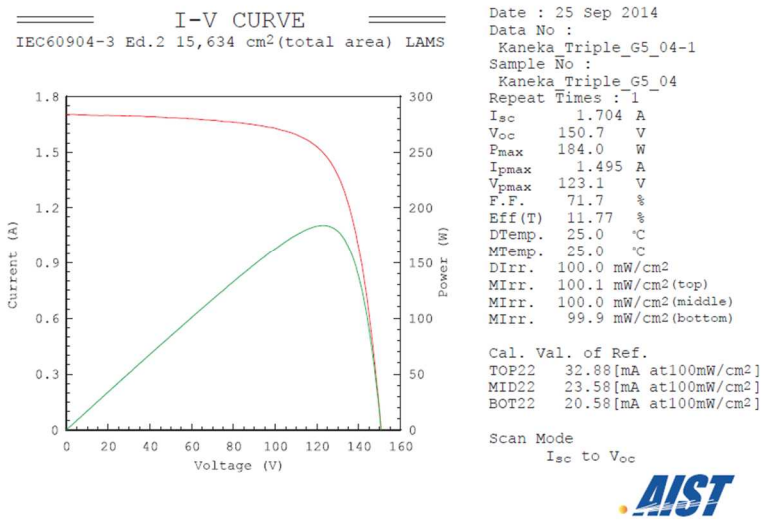


図Ⅲ-2-(ロ)-B-1(7)光安定化特性検討

次にこれらの開発した要素技術をもとに 1420mm×1100mm サイズの大面積モジュールの開発結果を示す。中間評価以降、特に実用化を意識して実用化サイズモジュール（1420×1100mm）の出力向上に最も注力した。検討においては、工場の実機ラインを用いた数千枚の投入規模で集中検討を実施。図Ⅲ-2-(ロ)-B-1(8)にモジュール外観写真を示す。世界で初めて中間層を有する大面積 3 接合モジュール（a-Si/中間層/a-SiGe/中間層/μc-Si）を作成した。図Ⅲ-2-(ロ)-B-1(9)に AIST（産業技術総合研究所）にて測定した結果を示すが、初期出力 184W を達成した。



図Ⅲ-2-(ロ)-B-1(8) **モジュール外観写真**



図Ⅲ-2-(ロ)-B-1(9) VI 測定図

最終目標	研究開発成果	達成度＊1	成果の意義・今後の方向・課題等
・実用化サイズモジュール（モジュールサイズ１４２０×１１００ｍｍ）にて安定化後 ２００Ｗ	**（主成果）** 世界で初めて中間層を有する大面積 3 接合モジュール(a-Si/中間層/a-SiGe/中間層/μc-Si）を**量産機にて作成し、1420×1100ｍｍ：初期 184W（AIST 測定）を達成。** **（開発技術）** ・透明電極の凹凸形状を制御することで、光散乱方向の角度依存性を明確化。 ・ガラス表面凹凸構造により 1420×1100mm サイズの 3 接合モジュールにて 3%向上。 屋外評価の結果、低入射角の光を多く取り込む効果を確認。 ・500mm□内での均一インプリント技術の確立。	○	**（成果の意義）** 実用化可能な技術レベルの大面積 3 接合モジュールの作成を量産機にて実証したこと。 **（課題）** ・光劣化抑制による大面積モジュールの安定化出力改善 ・光閉じこめによる電流向上に加えて、発電層の性能およびプロセス改善による電圧、F.F.の向上。 **（今後の方向）** 初期性能と高い光安定性を両立したセルベースでの技術開発。薄膜系材料の開発。
・モジュールコスト５０円／Ｗに資する技術開発として、変換効率同等で発電層の膜厚を半減する技術の開発	・新規欠陥低減処理により、3 接合セルの光安定化後保持率が 98%に向上。（処理無し 93%） ・2 接合セルにて、ボトム膜厚 1μm で Voc1.47V 効率 13.2%を達成。（電流 12%向上） **（波及効果）** **・本研究を通じて得た薄膜シリコン層による結晶シリコン表面のパッシベーションの改善によりヘテロ結合結晶シリコン太陽電池の変換効率 25.1%の達成に貢献**	△	

＊1　達成度

◎：数値目標クリアに加えて想定以上の付加価値を実証、○：数値目標クリア、△：数値目標未達

2. 実用化・事業化見通し

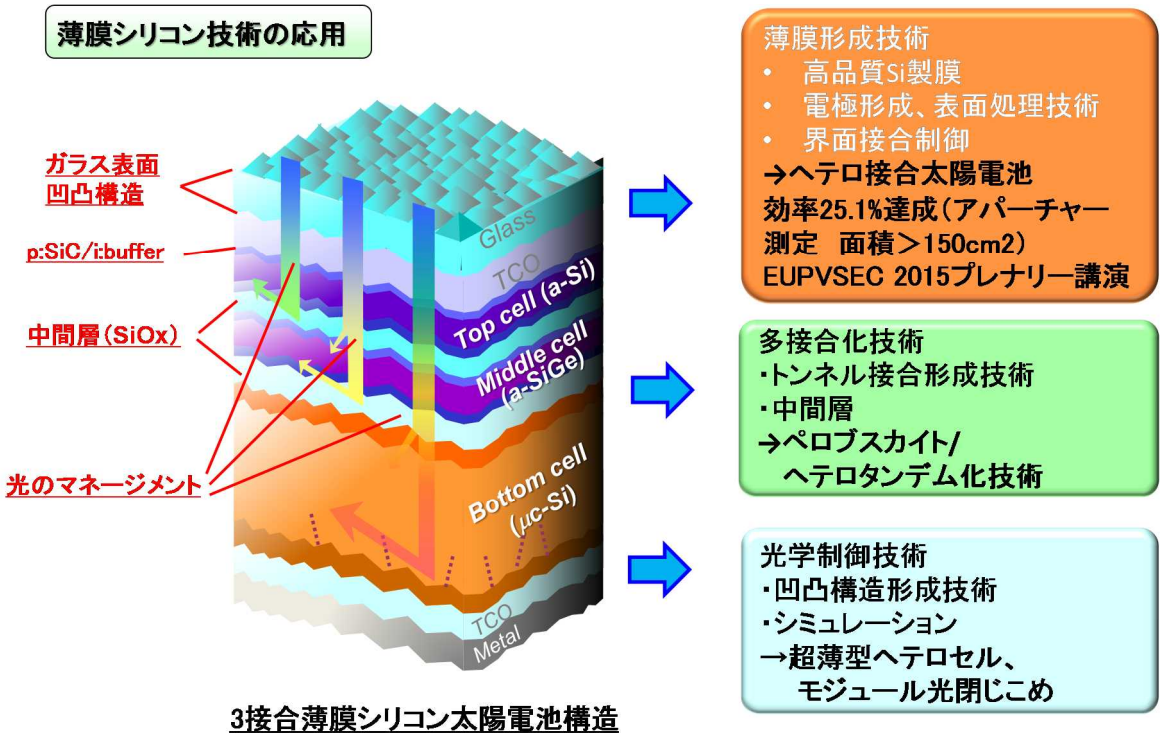
図Ⅲ-2-(ロ)-B-2(1)に弊社の生産工場であるカネカ　ソーラーテック（兵庫県　豊岡市）の外観写真を示す。

図Ⅲ-2-(ロ)-B-2(1)　工場外観写真

弊社は本生産拠点にて2001年よりa-Si/uc-Siハイブリッドモジュールの生産を開始している。本プロジェクトにおける成果として、1420mm×1100mmサイズでの3接合太陽電池の量産化に目処がついたため、2013年よりカネカ　ソーラーテックにより量産を行い同年7月より販売を開始した。特徴として弊社1420mm×1100mmサイズ量産比で初期出力10W高く、3接合化により単位電池当たりの開放電圧は1.5倍まで向上し、パネル当たりの開放電圧は280Vまで向上させる事が可能となった。これらの高電圧の特徴を活かし、瓦一体型モジュール（当社品名：ヴィソラ）、スレート瓦専用モジュール（当社品名：ソルティレックス）、及び据置型（当社品名：グランソーラ）に展開し、屋根と街並みに調和する当社太陽電池の特徴により事業化をすすめている。

3. 波及効果

一方、本プロジェクトにて開発した薄膜シリコン太陽電池技術は、弊社にて開発し量産化したヘテロ接合結晶シリコン太陽電池に展開可能であり既に積極的に開発技術を適用している。図Ⅲ-2-(ロ)-B-3(1)　薄膜シリコン技術の応用概念図にその概念を示す。



図Ⅲ-2-(ロ)-B-3(1)　薄膜シリコン技術の応用概念図

具体的には本プロジェクトで開発した 3 接合薄膜シリコン太陽電池技術のうち、高品質 Si 層製膜技術、透明電極や裏面金属電極などの電極形成技術について、NEDO プロジェクト「太陽光発電システム次世代高性能技術」において開発を進めた「超低コスト高効率 Ag フリーヘテロ接合太陽電池モジュールの研究開発」においても応用展開をした。その成果として両面電極型ヘテロ接合太陽電池における世界最高効率である 25.1%の達成に大きく貢献した。

4.今後の展開

本プロジェクトで開発した大面積 3 接合モジュールに関しては、2013 年より実用化、事業化を行った。しかしながら、最終目標であり結果的に未達であった 200W の達成は、プロジェクトが終了したため社内にて研究を進める。また産業用や住宅用途で結晶系太陽電池に対して競争力を有するには変換効率 15%は必要であるが、早期の達成は困難である。そこで薄膜シリコン太陽電池モジュールが競争力を有する住宅向け屋根用建材、瓦一体型モジュールに特化した事業化戦略を引き続き行う。一方、上記「3.波及効果」にて説明したように薄膜シリコン技術について、現在開発並びに事業化を行っているヘテロ接合太陽電池に応用展開し、ヘテロ接合太陽電池でのより一層の高性能化を行う。具体的には太陽電池セル・モジュールのさらなる高効率化実現に向け、本年度より NEDO が実施するプロジェクト（「高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発」）に参画しており、「結晶 Si 太陽電池をベースとした複合型太陽電池モジュールの開発」をテーマにバックコンタクトヘテロ接合太陽電池とペロブスカイト太陽電池とのタンデム化に取り組んでいく。

５．特許、論文リスト

	H22	H23	H24	H25	H26	終了後	計
特許出願（うち外国出願）	2(0)	3(0)	0	1(0)	0	0	6(0)件
論文（査読付き）	0	1	1	1	0	0	3件
研究発表・講演（うち国際会議）	1(1)	2(2)	1(0)	0	1(1)	1(1)	6(5)件
新聞・雑誌等への掲載	1	2	0	5	0	0	3件
受賞実績	0	0	1	0	0	0	1件
展示会への出展	3	2	2	4	2	1	14件

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外国PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	株式会社カネカ	特願2011-021908	国内	2011/2/3	公開	多接合型薄膜太陽電池	口山　崇
2	株式会社カネカ	特願2011-032510	国内	2011/2/17	公開	薄膜太陽電池	口山　崇
3	株式会社カネカ	特願2011-146316	国内	2011/6/30	公開	薄膜太陽電池	稲木　修
4	株式会社カネカ	特願2011-178060	国内	2011/8/16	公開	薄膜光電変換装置	末崎　恭
5	株式会社カネカ	特願2011-199902	国内	2011/9/13	公開	光電変換装置	目黒　智巳
6	株式会社カネカ	特願 2013-117082	国内	2013/6/3	公開	太陽電池モジュールおよびその製造方法	小泉　玄介

【論文・学会発表】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名	査読	発表年
1	Andrea Feltrin, Tomomi Meguro	Kaneka Corporation	Light scattering and parastitic absorption in thin film silicon solar cells containing metal nanoparticles	Journal of Photonics for Energy, Vol.1, 2011, P017003-1	有り	2011
2	Tomomi Meguro	Kaneka Corporation	Advanced Light Trapping of High-Efficiency Thin Film Silicon Solar Cells	Japanese Journal of Applied Physics,51(2012) 10NB02	有り	2012
3	Andrea Feltrin, Tomomi Meguro	Kaneka Corporation	Advanced light trapping of designs for high efficiency thin film silicon solar cells	Solar Energy Materials & Solar Cells, 119 (2013) 219-227	有り	2013

【受賞】
①山本　憲治　日本学術振興会　第 175 委員会　第 9 回「次世代の太陽光発電シンポジウム」
　イノベイティブ PV 論文賞

C 薄膜シリコンフィルム太陽電池の高速製膜技術の研究

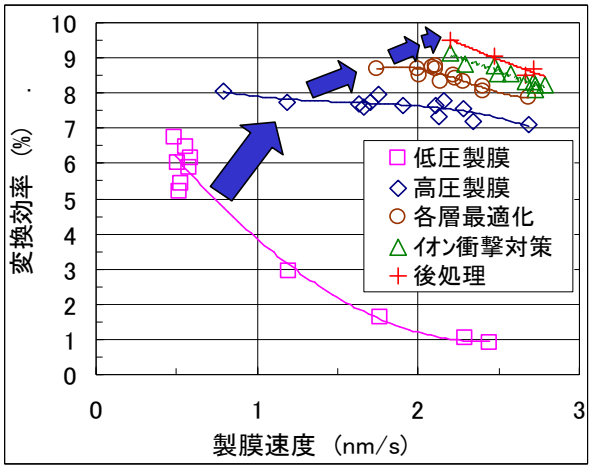
1. 成果詳細

フレキシブル太陽電池の高出力化のために、薄膜シリコン（Si）太陽電池の効率を向上させると共に薄膜 Si を高速で製膜する必要がある。この研究では、高効率の薄膜 Si 太陽電池を高速で製膜する技術、この薄膜 Si 太陽電池を用いて多接合太陽電池を製膜する技術、そして、この太陽電池からモジュールを作製する技術を開発する。

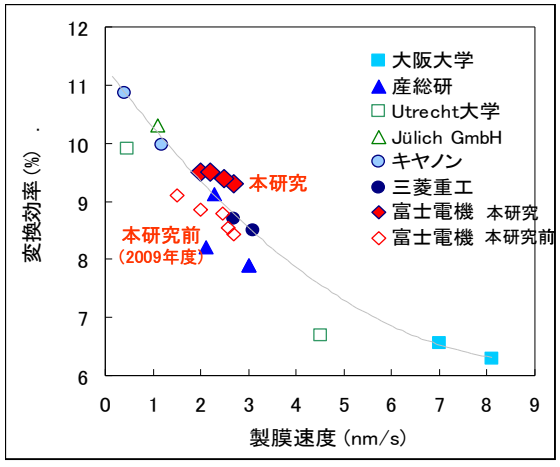
Ⅲ-2-(ロ)-C-1-1　薄膜シリコン太陽電池の高速製膜技術

薄膜 Si 太陽電池の高速製膜技術として、非晶質シリコン（a-Si:H）薄膜や微結晶シリコン（μc-Si:H）薄膜について検討している。その目標（中間目標）は、フィルム基板上のμc-Si:H 太陽電池において製膜速度が 2.0 nm/s 以上で変換効率を 9.5%以上とすることである。

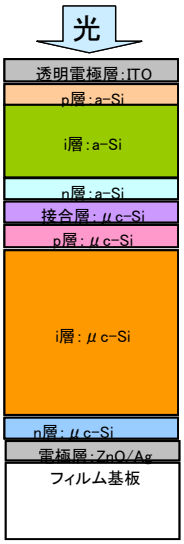
μc-Si:H 太陽電池の高速製膜については、放電パワーを上げて製膜速度を速くすると太陽電池の変換効率が小さくなる傾向がある（図Ⅲ-2-(ロ)-C-1(1)）。これまで、製膜圧力の高圧化やイオン衝撃対策などによって高速製膜領域における変換効率を向上させてきた[Ⅲ-2-(ロ)-C-1(1)]。また、ITO 透明電極と p/i 界面層の最適化、後処理（熱処理）などによって、太陽電池の特性が向上した。イオン衝撃対策としては、高周波プラズマ CVD においてカソードに直流バイアス電圧を印加することによってイオン衝撃のエネルギーを制御する方法を開発した[Ⅲ-2-(ロ)-C-1(2)]。この結果、本研究の実施前において製膜速度 1.5nm/s で変換効率 9.1%であったものが、本研究によって製膜速度 2.2nm/s で変換効率 9.5%までに特性が向上した。これは中間目標を達成するものである。図Ⅲ-2-(ロ)-C-1(2)には、世界の他の研究機関で発表されている太陽電池の効率と製膜速度を載せた[Ⅲ-2-(ロ)-C-1(1)]。他の研究機関と比較して同等の特性が得られており、フィルム基板上においても高い特性が得られることがわかった。



図Ⅲ-2-(ロ)-C-1(1) μc-Si:H太陽電池の製膜速度と変換効率の関係



図Ⅲ-2-(ロ)-C-1(2) μc-Si:H太陽電池の高速高効率に関する研究機関との比較



図Ⅲ-2-(ロ)-C-1(3)
2接合太陽電池の構造

表Ⅲ-2-(ロ)-C-1(1)多接合太陽電池の製膜速度と変換効率

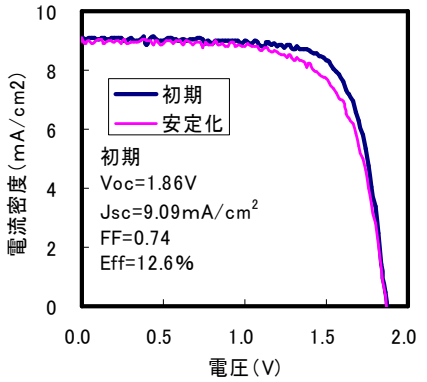
年度	多接合数	製膜速度(nm/s)		変換効率(%)	
		μc-Si:H	a-Si:H	初期	安定化
2009	2接合	1.1	0.3	12.5	10.2
2010	2接合	2.0	0.3	12.3	10.4
2010	3接合	2.0	0.3	12.4	11.7
2012	3接合	2.2	0.83	12.6	11.6
目標		≧ 2.0	≧ 0.67	≧ 14	≧ 13

Ⅲ-2-(ロ)-C-1-2　多接合太陽電池の製膜技術

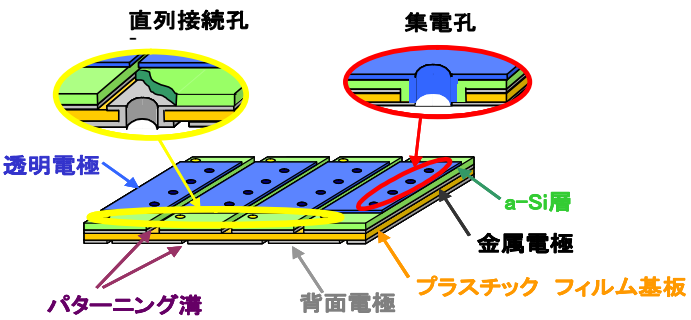
多接合太陽電池の製膜技術において、Ⅲ-2-(ロ)-C-1-1 項で開発したμc-Si:H 太陽電池と a-Si:H 太陽電池を用いて多接合太陽電池を作製している。中間目標はフィルム基板上の多接合太陽電池において初期効率を 14%以上または安定化効率を 13%以上とすることである。ここで、その製膜速度はμc-Si:H 薄膜で 2.0 nm/s 以上、a-Si:H 薄膜で 0.67nm/s 以上である。

多接合太陽電池としては２接合と３接合について検討した。図Ⅲ-2-(ロ)-C-1(3)に２接合太陽電池の構造を示す。３接合太陽電池はμc-Si:H 太陽電池が２層となる。多接合太陽電池の検討としては主に各構成セルの電流マッチングであり、シミュレーションなども利用した。トンネル接合層はμc-Si:H：n 層を用い、その製膜条件を検討した。透明電極として ITO 膜の製膜条件や ITO 以外の材料などについても検討している。

これまでの多接合太陽電池の開発の経緯を表Ⅲ-2-(ロ)-C-1(1)に示す。本研究の開始以前は２接合太陽電池において初期効率 12.5%、安定化効率 10.2%を得ていたが、製膜速度が両者とも目標値より遅かった。次に、高速のμc-Si:H 太陽電池（2nm/s）が作製できるよ



図Ⅲ-2-(ロ)-C-1(4)　３接合太陽電池のIV特性（a-Si:H 0.8 nm/s、μc-Si:H 2.2nm/s）



図Ⅲ-2-(ロ)-C-1(5)　SCAF直列接続構造

うになり、同程度の変換効率を持つ２接合太陽電池が得られた。３接合太陽電池とすると安定化効率が 11.7%に向上した。現在、高速の a-Si:H 太陽電池が作製（0.8nm/s）できるようになり、３接合太陽電池で初期効率 12.6%、安定化効率 11.6%を得ている。そのときの電流電圧曲線を図Ⅲ-2-(ロ)-C-1(4)に示す。

Ⅲ-2-(ロ)-C-1-3　太陽電池モジュール作製技術

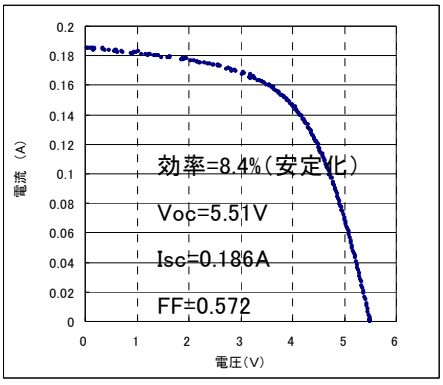
太陽電池モジュール作製技術では、Ⅲ-2-(ロ)-C-1-2 項で開発した多接合太陽電池に直列接続構造を形成し、さらに封止することで太陽電池モジュールを作製している。その目標（最終目標）はフィルム基板上に形成した薄膜 Si 多接合太陽電池を用いて作製したサブモジュール（面積 100cm^{2}以上）において安定化効率を 12%以上とすることである。2012 年度までの内部目標として、直列接続構造よる出力低下を 15%以下とした。

直列接続構造としては、図Ⅲ-2-(ロ)-C-1(5)に示した富士電機独自の構造である SCAF 構造（Series-Connection through Apertures Formed on Film Substrate 構造）を採用した。その特徴は、区画に区切られたユニット太陽電池をフィルムの反対面に形成された背面電極を通して直列に接続している。ユニットの両端に配置された 2 個の直列ホールを通して裏面電極と背面電極が接続され、多数の集電ホールを通して透明電極と背面電極が接続される。使用する多接合太陽電池は現行製品に比べて発電層が厚いため、レーザーによる細線加工の条件などを検討し、SCAF 構造太陽電池を試作した。２接合太陽電池（μc-Si:H/a-Si:H）を用いて４個のユニット太陽電池（面積 17.5cm^2）を直列に接続した。その特性を表Ⅲ-2-(ロ)-C-1(2)に示す。直列接続にともなう出力低下は、当初が 26%であったものが 20%程度に下がったが、内部目標（15%以下）には至っていない。SCAF 構造太陽電池の安定化効率も 8.4%（Voc=5.51V、Isc=0.186A、FF=0.572）で最終目標とはまだ差がある。図Ⅲ-2-(ロ)-C-1(6)にその電流電圧曲線を示す。

研究開発項目ごとの成果・達成度を表Ⅲ-2-(ロ)-C-1(4)に、特許、論文、外部発表等の件数を表Ⅲ-2-(ロ)-C-1(5)に示す。

表Ⅲ-2-(ロ)-C-1(2) SCAF 構造形成による太陽電池の出力低下率

年度	a-Si:H/μc-Si:H 膜厚(nm)	効率(%)			出力低下率
			小面積	直列接続	
2009	700/2500	初期	12.5	9.3	26%
2011	500/2400	安定化	10.1	7.8	23%
2011	700/2400	安定化	10.1	7.9	21%
2011	300/1800	安定化	ー	8.4	ー



図Ⅲ-2-(ロ)-C-1(6) SCAF構造太陽電池のIV特性

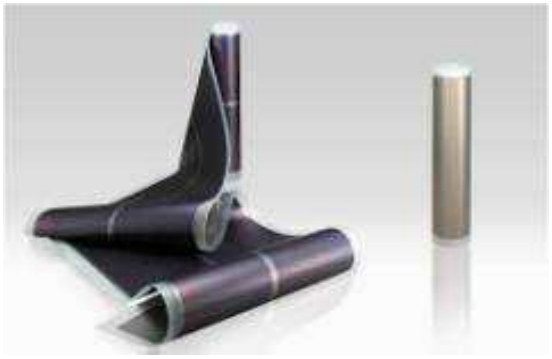
表Ⅲ-2-(ロ)-C-1(4)　研究開発項目ごとの成果・達成度

最終目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために 解決すべき課題
①フィルム基板上にシリコン系薄膜を積層した多接合太陽電池において、変換効率が14%以上（初期）または13%以上(安定化）とする。このときの製膜速度を結晶質シリコン系薄膜で2.0nm/s以上、非晶質シリコン系薄膜で0.67nm/s 以上とする。	①フィルム基板上にアモルファスシリコン（a-Si:H）と微結晶シリコン（μc-Si:H）のセルを積層した多接合太陽電池において、 3接合太陽電池で初期効率12.6%、安定化効率 11.6%を得た。このときのa-Si:Hの製膜速度は0.83nm/s、μc-Si:Hは2.0nm/sである。	△	・a-Si:Hセルの高効率化 ・トンネル接合層の低抵抗化 ・透明電極の低抵抗化/透明化 ・電流マッチング
②このために、結晶質シリコン系単接合太陽電池において、その発電層の製膜速度が2.0nm/s以上で変換効率を9.5%以上とする。	②フィルム基板上のμc-Si:H単接合太陽電池において、製膜速度を 2.2nm/s として変換効率9.5%を得た。	○	

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：△、　未達：×

表Ⅲ-2-(ロ)-C-1(5)　特許、論文、外部発表等の件数（内訳）

	H22	H23	H24	計
特許出願（うち外国出願）	0(0)	4 (1)	0 (0)	4件
論文（査読付き）	0	0	0	0件
研究発表・講演（うち国際会議）	6(3)	0	0	6件
新聞・雑誌等への掲載	1	0	0	1件
受賞実績	0	0	0	0件
展示会への出展	0	0	0	0件



図Ⅲ-2-(ロ)-C-2(1)フレキシブル薄膜Si太陽電池

2. 実用化・事業化見通し

本研究の実用化については、2015 年度までにフレキシブル薄膜 Si 太陽電池に高出力化/高速化に関する要素技術を提供することを目指す。本研究で得られた成果で実用化・事業化の可能性あるのは、①a-Si:H 太陽電池の高速化/高効率化技術と②改良型の SCAF 直列接続構造による高出力化技術である。これらは現行製品（フレキシブル薄膜 Si 太陽電池）に適用可能な技術である（図Ⅲ-2-(ロ)-C-2(1)）。実用化に向けた技術的な課題と対策を以下に整理した。

①a-Si:H 太陽電池の高速化/高効率化技術の課題

・a-Si:H:i 層の高品質化・・・対策は高次シラン低減、イオン衝撃低減

・a-Si:H:i 層以外の層の最適化・・・対策はｐ層やｎ層の改良（界面層、組成）

・大面積製膜・・・対策は工場の製膜装置の利用

②改良型の SCAF 直列接続構造による高出力化技術の課題

・選択加工の実用化検証・・・対策は加工の歩留り、信頼性試験

・直列・集電ホールの小径化・・・対策は短パルス、短波長レーザー加工

・大面積高速加工・・・対策は設備メーカーと工場設備の利用

本研究の成果によりフレキシブル太陽電池の販売拡大が期待される。デザイン屋根や壁を利用した発電の普及、遊休地の利用による発電の普及、非常用電源の普及、非電化地区への電気の供給などが期待される。そのための製品イメージとしては、図Ⅲ-2-(ロ)-C-2(2)に示すように鋼板一体型太陽電池、シート発電装置、モバイル電源などである。フレキシブル太陽電池市場は薄膜 Si 太陽電池においても 20%前後の成長率が期待され、2015 年で 400MW の市場規模が予想される[Ⅲ-2-(ロ)-C-2(1)]。上記の実用化により製造コストが 10%程度削減でき、販売拡大が期待される。

鋼板一体型太陽電池

シート発電装置

モバイル電源

図Ⅲ-2-(ロ)-C-2(2) フレキシブル太陽電池の製品イメージ

3. 波及効果

特に、なし。

4. 今後の展開

中間目標の達成に向けて、a-Si:H セルの高効率化、トンネル接合層の低抵抗化、透明電極の低抵抗化/透明化など各構成要素の改善を行い、さらに電流マッチングによって多接合太陽電池の中間目標（初期効率 14%以上または安定化効率 13%以上）を達成することを目指す。また、SCAF 直列接続構造の改良を進め、直列化による損失を 15%以下（内部目標）とする。そして、この技術を現行製品の出力向上につなげる。

参考文献

Ⅲ-2-(ロ)-C-1(1)　Tsuji Taketo et. al. : LARGE-AREA, LIGHT-WEIGHT FLEXIBLE SOLAR CELLS USING PLASTIC FILM SUBSTRATES, 5th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, 3BO.12.5.

Ⅲ-2-(ロ)-C-1(2)　松山秀昭：直流電圧を印加した高周波プラズマ CVD による薄膜 Si 太陽電池の形成、第 71 回秋季応用物理学会学術講演会、14p-ZB-12。

Ⅲ-2-(ロ)-C-2(1)　大阪マーケティング本部第三事業部編集：2011 年度太陽電池関連技術・市場の現状と将来展望（上巻)、 株式会社富士経済、(2011)、64。

5. 特許論文リスト

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	富士電機	特願2011-276609	国内	H23-12-19	公開前	薄膜太陽電池の製造方法	澤柳悟
2	富士電機	特願2011-175744	国内	H23-8-11	公開前	薄膜太陽電池およびその製造方法	松山秀昭
3	富士電機	特願2011-158631	国内	H23-7-20	公開前	薄膜太陽電池及び薄膜太陽電池の製造方法	松山秀昭
4	富士電機	特願2012-037301	ＰＣＴ 日、米、独中	H24-2-23	公開前 外国移行前	薄膜太陽電池	松山秀昭

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	高野章弘	富士電機	Large-Area and Light-Weight Film Solar Modules	IMID/IDMC/ASIA DISPLAY 2010 T14-1153	なし	2010年
2	大瀬直之	富士電機	フィルム基板上への微結晶シリコン太陽電池の高速製膜技術	第71回秋季応用物理学会学術講演会,14p-ZB-11	なし	2010年
3	松山秀昭	富士電機	直流電圧を印加した高周波プラズマCVDによる薄膜Si太陽電池の形成	第71回秋季応用物理学会学術講演会,14p-ZB-12	なし	2010年
4	大瀬直之	富士電機	プラスチックフィルム基板上の大面積微結晶シリコン太陽電池	第71回秋季応用物理学会学術講演会,14p-ZB-10	なし	2010年
5	辻剛人	富士電機	LARGE-AREA,LIGHT-WEIGHT FLEXIBLE SOLAR CELLS USING PLASTIC FILM SUBSTRATES	5th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion 3BO.12.5	なし	2010年
6	和田雄人	富士電機	Large-Area, Light-weight Flexible Solar Cells Fabricated on Plastic Film Substrates	Third International Workshop on Thin Film Silicon Solar Cells Oral Session 4	なし	2010年

（ハ）CIS・化合物系太陽電池

A CIS系薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発

1. 成果詳細

表.Ⅲ-2-(ハ)-A-1(1)

最終目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
1) サブモジュール変換効率向上 目標：サブモジュール効率18%	サブモジュール効率 18.3%	○	
[追加目標] 2) 低コスト化技術の確立（20%薄膜化） 目標：サブモジュール効率17.5%(20%薄膜化)	サブモジュール効率 17.8% (30%薄膜化)	○	
[再委託目標] 3) セル変換効率向上 目標：セル効率25%	セル効率 20.9% (25%へ向けた要素技術確立)	△	「高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発」プロジェクトで要素技術を合算

達成度→　大幅達成：◎、　達成：○、　達成見込み：△、　未達：×

＜開発概要＞

1) 開発成果及び量産への波及

図. Ⅲ-2-(ハ)-A-1(1)に CIS 太陽電池の変換効率の変遷を示したが、本研究開発における開発成果と、その量産展開について黄印で示した。30cm 角の CIS サブモジュールの変換効率向上が主であるが、本研究開発開始時は変換効率 16.0%であったものが 3 年弱で 17.8%まで向上した。その後、CIS 太陽電池自体のポテンシャルを引き上げる目的で小面積セルの変換効率向上に注力し、2013 年には Cd を含まない CIS セルで世界最高変換効率を達成し、2014 年には Cd フリーCIS にも関わらず、Cd を含む CIS セルの世界最高変換効率を凌駕した。最終年度は小面積セルの改善項目を大面積サブモジュールに落とし込み、30cm 角の CIS サブモジュール 18.3%の変換効率を達成した。また、量産への展開については、開発された要素技術は順次工場展開されており、本研究開発期間だけで工場の変換効率は約 2%向上した。さらに生産量も年産 1GW まで拡大した。

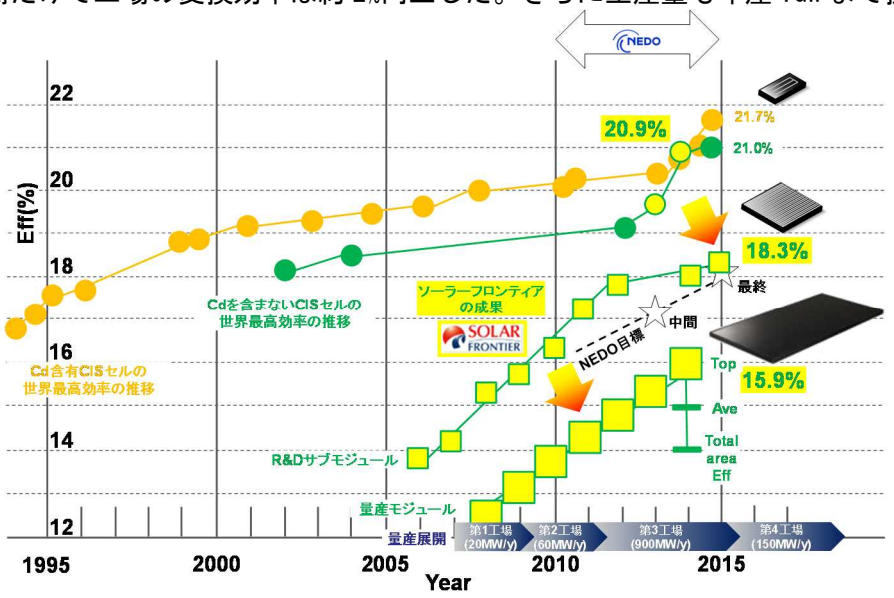


図. Ⅲ-2-(ハ)-A-1(1) CIS 太陽電池の変換効率の変遷

2) 開発項目及び研究協力体制

図. Ⅲ-2-(ハ)-A-1(2)に各種太陽電池のパラメータとロス解析を示すが、小面積セルのボトルネック解析と変換効率 25%に向けた要素技術の開発を東京理科大学が担当した。また、大面積化に伴うロスの改善と、小面積セルで得られた要素技術の落とし込みをソーラーフロンティアが担当した。

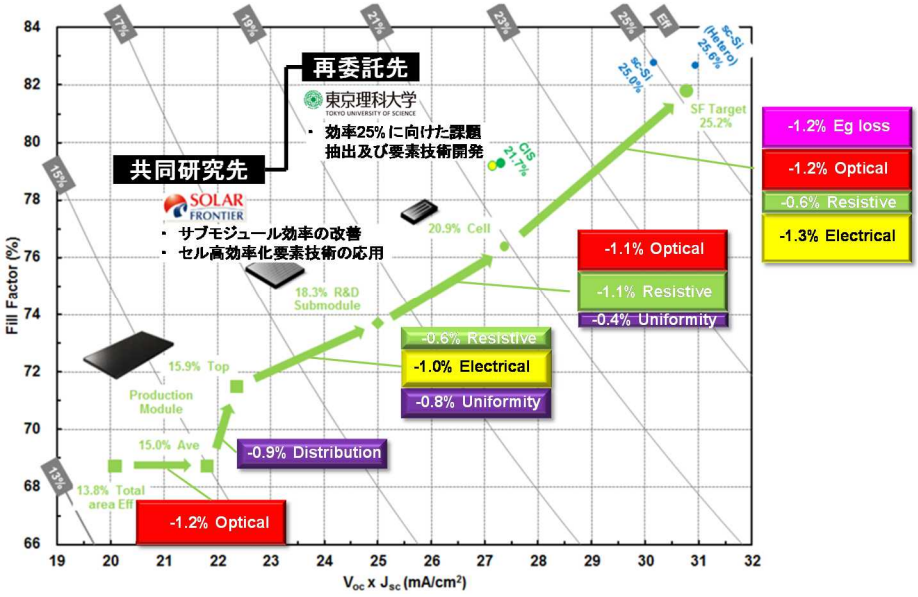


図. Ⅲ-2-(ハ)-A-1(2) 各種太陽電池のパラメータとロス解析

1.1 結晶品質の向上

以下に、本研究開発当初からの開発の流れに沿って成果の詳細を報告する。図.Ⅲ-2-(ハ)-A-1(3)の左図はCIS太陽電池の断面SEM像と、同一点における結晶粒界の様子をEBSD法により観察したものであるが、開発当初よりも硫化の強度を強めることで結晶粒の増大が図られ、それに伴って断面SEM像と共に示したEBIC像の広がりが大きくなっており、CIS光吸収層の結晶品質が向上している事が示唆された。それにより30cm角CISサブモジュールの開放電圧及び短絡電流が共に向上し、変換効率16.3%が達成された。

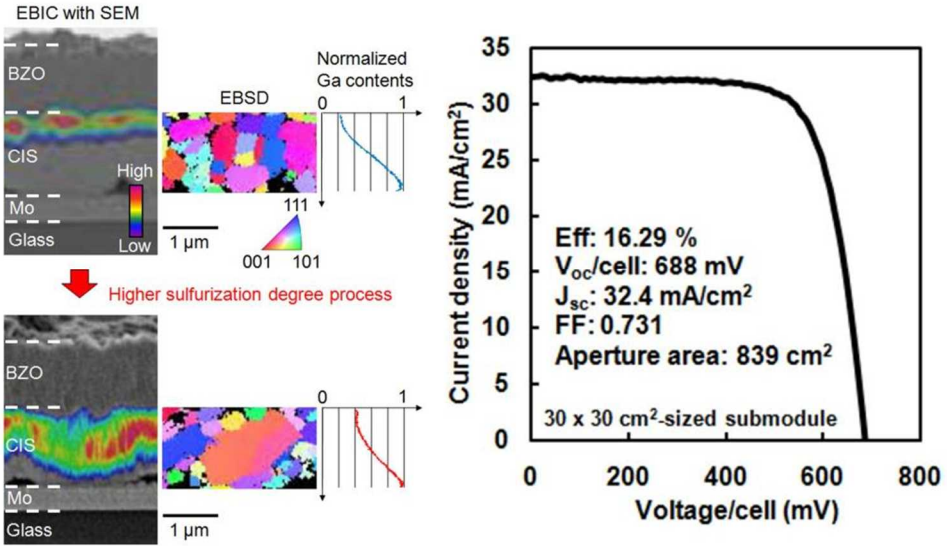


図.Ⅲ-2-(ハ)-A-1(3) 結晶粒径の増大と変換効率の向上

1.2 モジュール設計・面内分布の向上

次に、サブモジュールの集積構造の最適化を図った。図.Ⅲ-2-(ハ)-A-1(4)左図には集積構造の作りこみに必要なパターニングに伴う無効発電領域の幅と1セルの幅の変換効率に与える影響を示した。変換効率向上のためには、まずパターニングに伴う無効発電領域の最小化が必要であるが、本研究開発ではパターニングに必要な3本のスクライブ線の幅を1本あたり50～60umから30～40um程度まで縮小し、且つそれぞれのスクライブ線の間隔を70um程度から20um程度まで縮小する事に成功した。また、無効発電領域の最小化に伴い、最適なセル幅を適用する事で変換効率の最大化を図った。

次に透明電極の表面における光の反射ロスを最小化するために、最適なサイズのテクスチャ及び反射防止膜を導入する事で大幅な変換効率の向上を実現した。また裏面電極からCIS光吸収層、透明電極に至るまで30cm角内の面内分布の改善に努め、最終的に図.Ⅲ-2-(ハ)-A-1(4)右図に示す通り変換効率17.8%を達成した。

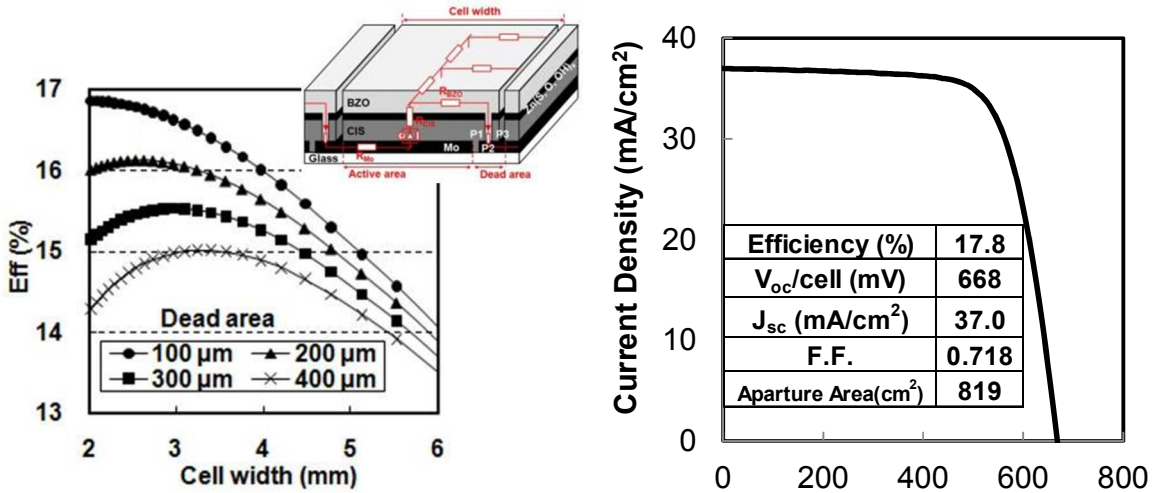
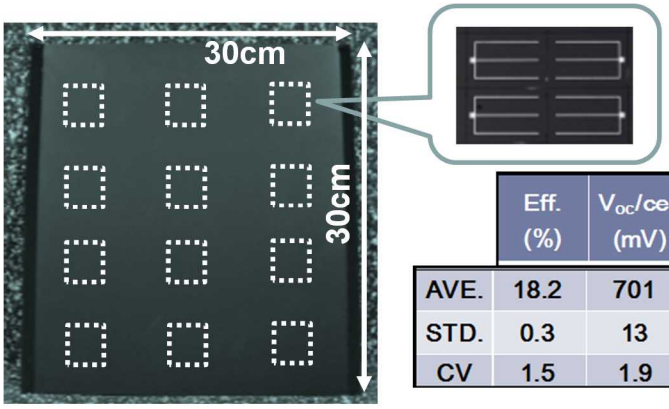


図.Ⅲ-2-(ハ)-A-1(4) 集積構造の最適化による変換効率改善

1.3 セル効率の底上げ

次に、さらなる変換効率改善のために、図.Ⅲ-2-(ハ)-A-1(5)に示すように30cm角サブモジュールの中から小面積セルを切りだし、面内分布を調査した。その結果面内の変換効率分布は±0.3%程で、既に分布は限界近くまで改善されている事がわかった。また、この際、30cm角サブモジュールの中から切り出した小面積セルに反射防止膜を施し変換効率を測定したところ、19.7%の変換効率を得た。これは2013年当時のCdを含まないCISセルの世界最高効率に達していた。



	Eff. (%)	V_{oc}/cell (mV)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF	R_s (Ω/cm^2)	R_{sh} (Ω/cm^2)	V_{oc} X J_{sc} (mW/cm^2)
AVE.	18.2	701	34.6	0.749	0.75	1273	24.3
STD.	0.3	13	0.5	0.004	0.07	197	0.3
CV	1.5	1.9	1.6	0.5	9.2	15	1.3

図.Ⅲ-2-(ハ)-A-1(5) 30cm角サブモジュール内のセル効率の分布

そこで、サブモジュール効率の向上にはセル効率の底上げが必要と判断し、まずは変換効率25%の単結晶シリコン太陽電池をベンチマークとし、CIS太陽電池の詳細なロス解析を行った。図.Ⅲ-2-(ハ)-A-1(6)に30cm角サブモジュールから切り出したCISセルのロス解析結果を示すが、単結晶シリコンと比較して開放電圧は同等程度まで達しているのに対し、短絡電流は大幅に劣っている事がわかった。

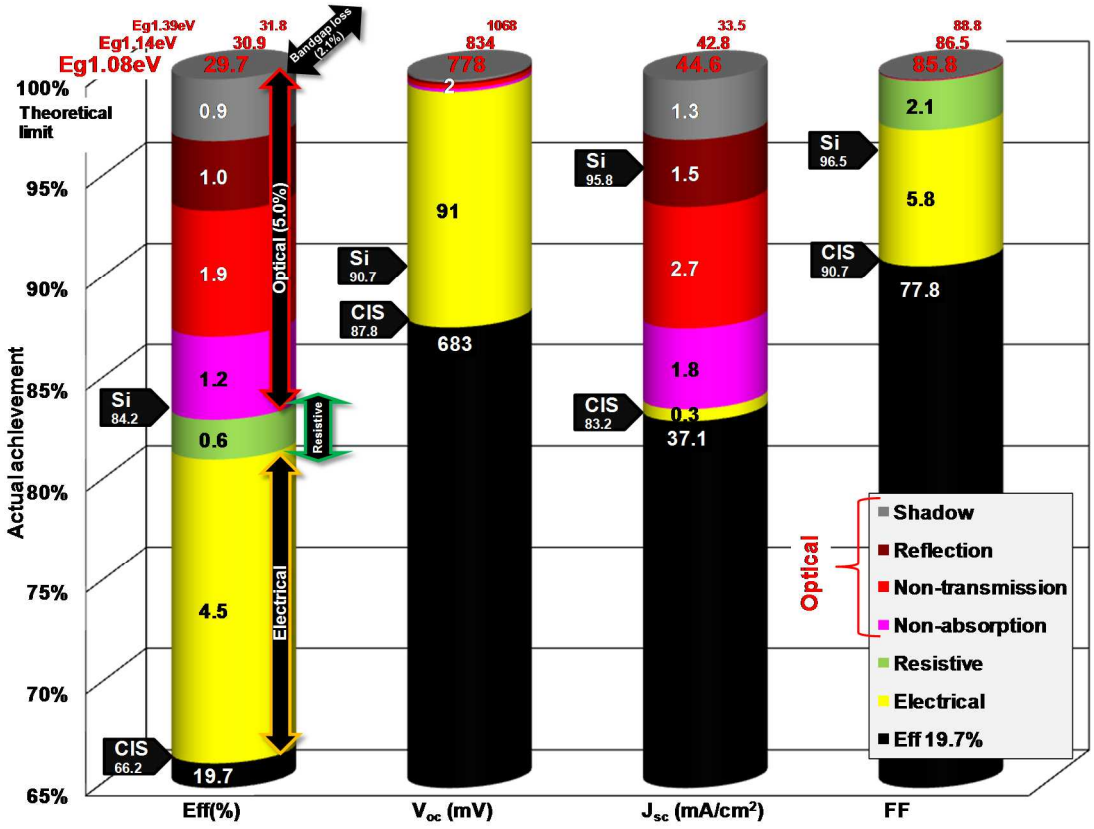


図.Ⅲ-2-(ハ)-A-1(6)30cm角サブモジュールから切り出したCISセルのロス解析

上記の短絡電流のロスの詳細な解析を行った所、大きな要素を占めているのが透明電極の長波長光の透過ロスと CIS 光吸収層の吸収ロスによるものと判明した。透明電極の長波長光ロスに関してはキャリア濃度が高過ぎる事によるフリーキャリア吸収が原因であるが、製膜プロセスの改善により移動度を向上させることで、シート抵抗を保ったままキャリア濃度を下げる事に成功し、長波長光の透過率が向上した。また、CIS 光吸収層に関しては光吸収層の膜厚が薄すぎて光を吸収しきれていないわけではなく、CIS 太陽電池特有の 2 重バンド傾斜構造に起因するものであることがわかった。CIS 太陽電池では表面側と裏面側に向けてバンドギャップが広くなる深さプロファイルを持つが、長波長の光はバンドギャップの最も狭い部分だけで吸収される。しかしながらバンドギャップの最も狭い部分の幅が非常に狭かったため、長波長光を吸収しきれていなかった事がわかった。そこで 2 重バンド傾斜構造のプロファイルを最適化して、バンドギャップの最も狭い部分の幅を数 100um 程度増大させることで長波長光を十分吸収させる事に成功した。図. Ⅲ-2-(ハ)-A-1(7)は上記透明導電膜及び光吸収層の改善前後の電流電圧特性及び外部量子効率を示したものだが、長波長光領域の大幅な改善により短絡電流が改善している事がわかる。これにより図. Ⅲ-2-(ハ)-A-1(8)に示す通り変換効率は 20.9%に達し、Cd を含む CIS セルも含めたすべての CIS セルにおいて 2014 年時の世界最高変換効率を達成した。

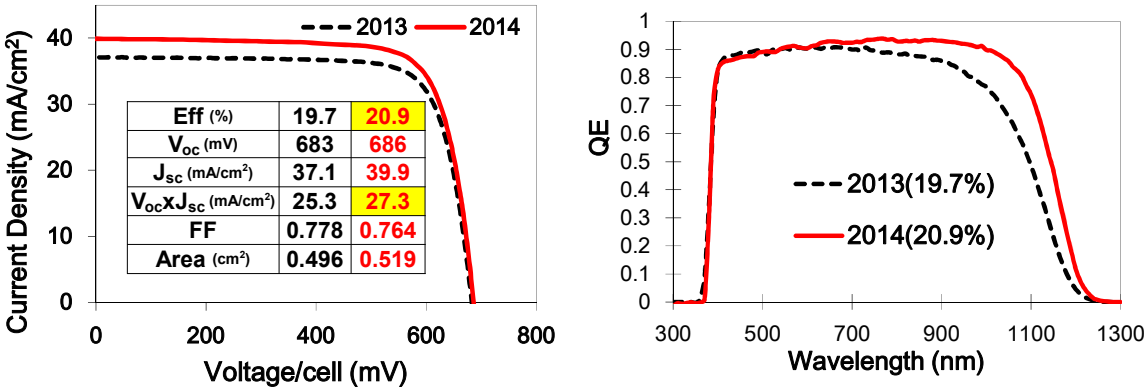


図. Ⅲ-2-(ハ)-A-1(7) 透明導電膜及び光吸収層改善前後の電流電圧特性及び外部量子効率

Classification[a]	Efficiency (%)	Area[b] (cm^2)	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm^2)	Fill Factor (%)
Cells (chalcogenide)					
CIGSS (Cd free)	20.9 ± 0.7	0.5192 (ap)	0.6858	39.91[f]	76.4

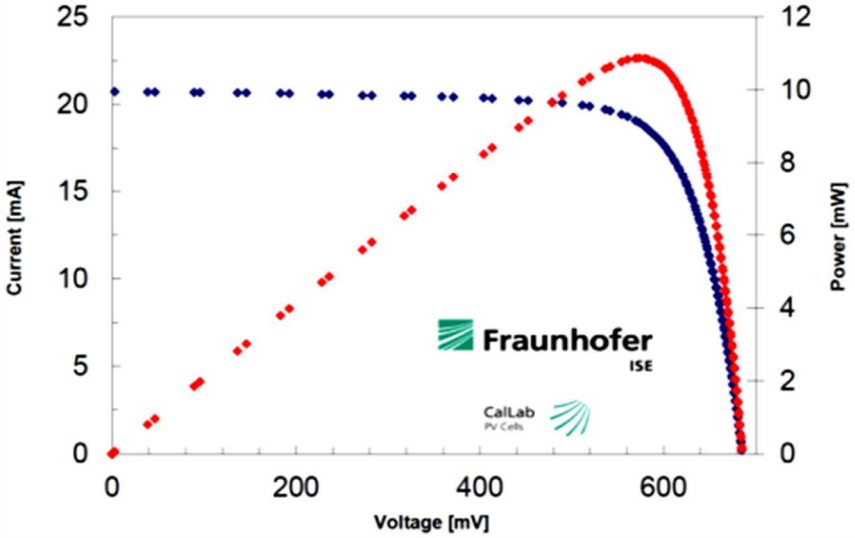


図. Ⅲ-2-(ハ)-A-1(8) 2014 年時世界最高効率を達成したセルの電流電圧特性

1.4 小面積技術のインストール

小面積セルの底上げを図った後、同要素技術を 30cm 角サブモジュールに展開した。集積構造の設計や分布の調整などが再度必要であるため、最適化は途中段階で有るが、30cm 角サブモジュールで図.Ⅲ-2-(ハ)-A-1(9)左図に示す通り、変換効率 18.3%を達成した。

また、本開発で得られた知見を、CIS 光吸収層膜厚を削減した低コスト CIS サブモジュールにも適用し高性能化を図った。特に光吸収層の膜厚は薄いまま十分な光吸収を得るために、深さ方向の 2 重バンド傾斜構造の最適化を図った。バンドギャップが最も狭くなる領域の幅を最大化する事で、CIS 光吸収層の膜厚を目標を超える 30%削減した状態で図.Ⅲ-2-(ハ)-A-1(9)右図に示す通り、変換効率 17.8%を達成した。

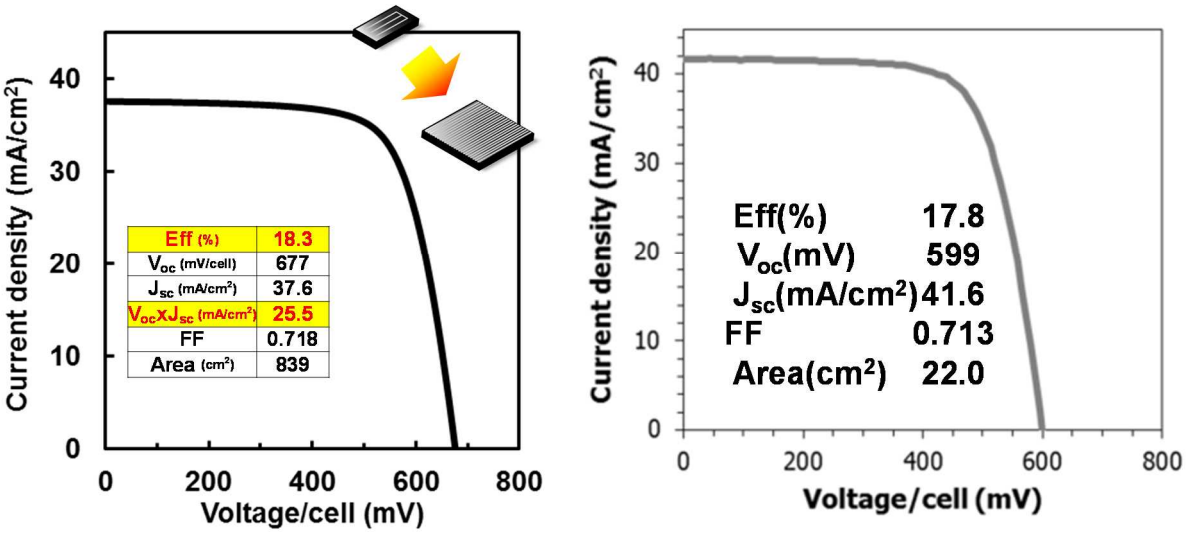
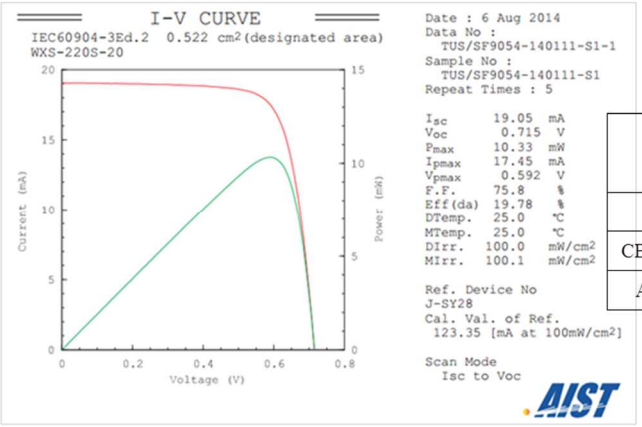


図.Ⅲ-2-(ハ)-A-1(9)　標準膜厚(左)及び、30%薄膜化(右)した CIS 光吸収層を有する CIS サブモジュールの電流電圧特性

1.5 25%に向けた要素技術開発

さらに、今後の CIS 太陽電池のさらなる変換効率改善に向けた要素技術の開発も実施した。要素技術の検討では様々なアイテムの検証を行ったが、下記に示す 2 つのアイテムが特に有望である事がわかった。

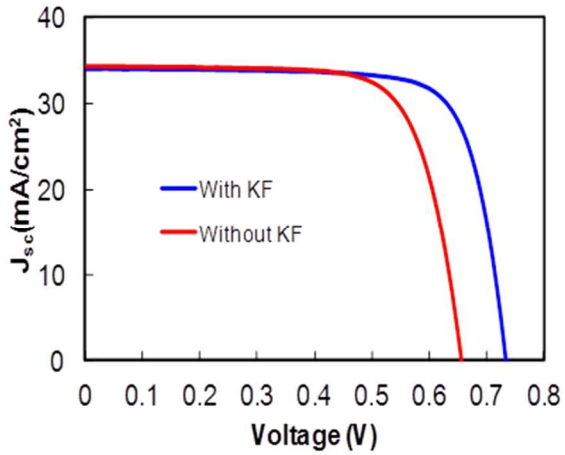
1 つは CIS 光吸収層と透明電極の間に形成する新型バッファ層に関する技術であり、これまで CBD 法で形成していた Zn 系バッファ層を ALD 法を用いたバッファ層に改良するものであるが、製膜条件の改善により図. Ⅲ-2-(ハ)-A-1(10)左図に示す通りドライバッファ法を用いた CIS 太陽電池で世界最高効率である 19.8%を達成した。同じ CIS 光吸収層を用いて各種バッファ層の比較を行った結果を図. Ⅲ-2-(ハ)-A-1(10)右図に示すが、従来の CBD 法を用いた Cd 系及び Zn 系バッファを上回る変換効率を ALD 法を用いた Zn 系バッファで実現した。本技術を前述の 2014 年時に世界最高効率を達成した CIS セルに導入するためには若干の課題が残されているが、開放電圧が従来品に比べ 20～30mV 程度向上する特徴はどの実験でも顕著に再現しており、将来的に非常に有望な技術と考えられる。



Buffer	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF	Eff_{total} (%)	S (cm^2)
CBD-CdS	0.704	35.4	0.737	18.4	0.507
CBD-ZnS(O,OH)	0.689	36.7	0.750	19.0	0.527
ADL-Zn(O,S)	0.718	36.5	0.743	19.4	0.522

図. Ⅲ-2-(ハ)-A-1(10) ALD 法によるドライバッファを用いた CIS セルの電池特性

もう一つの有望な要素技術は CIS 光吸収層の表面をフッ化カリウムでパッシベーションする技術である。図. Ⅲ-2-(ハ)-A-1(11)に示す通り、フッ化カリウム処理によって特に開放電圧が飛躍的に向上する事が確認された。こちらも前述の 2014 年時に世界最高効率を達成した CIS セルに導入するためには若干の課題が残されているが、開放電圧が従来品に比べ 20～40mV 程度向上する特徴はどの実験でも顕著に再現しており、将来的に非常に有望な技術と考えられる。前述の新型ドライバッファと本パッシベーション技術の導入により今後、変換効率 25%に大きく近付く事が期待される。



J-V parameters	Without KF	With KF
J_{sc}(mA/cm^2)	34.4	34.1
V_{oc}(V)	0.656	0.734
FF	0.731	0.766
Rsh (KΩ/cm^2)	1.04	1.80
Rs(Ω/cm^2)	0.498	0.38
η(%)	16.5	19.2

図. Ⅲ-2-(ハ)-A-1(11) フッ化カリウム処理前後の電流電圧特性の変化

2. 実用化・事業化見通し

当社は NEDO 委託研究開発で得られた成果を、製造基盤技術として適用し、2006 年 10 月から生産規模を拡大しながら商業生産を継続している。今後、当社の CIS 技術の国際競争力をさらに向上するためにも、本プロジェクトの成果を実生産に適用することが不可欠と考えている。しかしながら、本プロジェクトの成果は、 30cm サイズの集積構造もしくは小面積の単セル構造における要素技術であり、作製枚数も少なく、生産歩留まりを議論できるレベルにはない。今後、大面積薄膜での面内均一性と製造プロセスの繰り返し再現性の確認を担保するための検証を行った後、本プロジェクトの成果を、工場での生産技術に順次適用していく予定である。

3. 波及効果

本プロジェクトの成果によって、CIS 系太陽電池が多結晶 Si 太陽電池モジュールより高性能化できることを示唆した。このことは、現在においても製造コストが低いと考えらえる CIS 系太陽電池の可能性が、経済的な面だけではなく性能的な面においても高い可能性を有していることを示している。今後、本プロジェクトの成果が実用化されていくことによって、さらに高性能で低コストの CIS 系太陽電池が市場に供給されていくことが予想できる。

4. 今後の展開

4.1 実用化に対する課題、今後の方針

小面積の単セル構造における要素技術は、集積構造での性能確認へと発展させていく。また、集積構造で性能確認できている要素技術に関しては、製品サイズでの大面積薄膜での面内均一性と製造プロセスの繰り返し再現性の確認を担保するための検証を行う。上記確認がとれた後、工場での生産技術に順次適用し、量産での性能・歩留り・稼働率の検証、信頼性試験の後、製品にインストールされる。

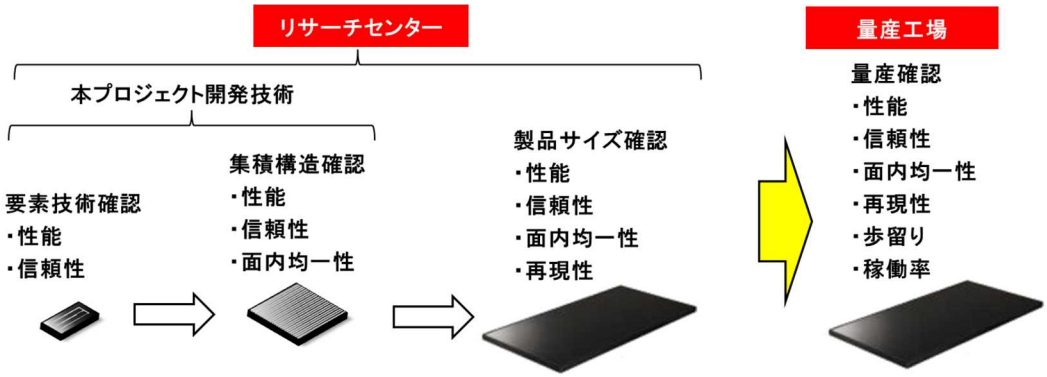


図. Ⅲ-2-(ハ)-A-4(1) 開発から量産までのフロー

4.2 実用化・事業化に向けた具体的取り組み

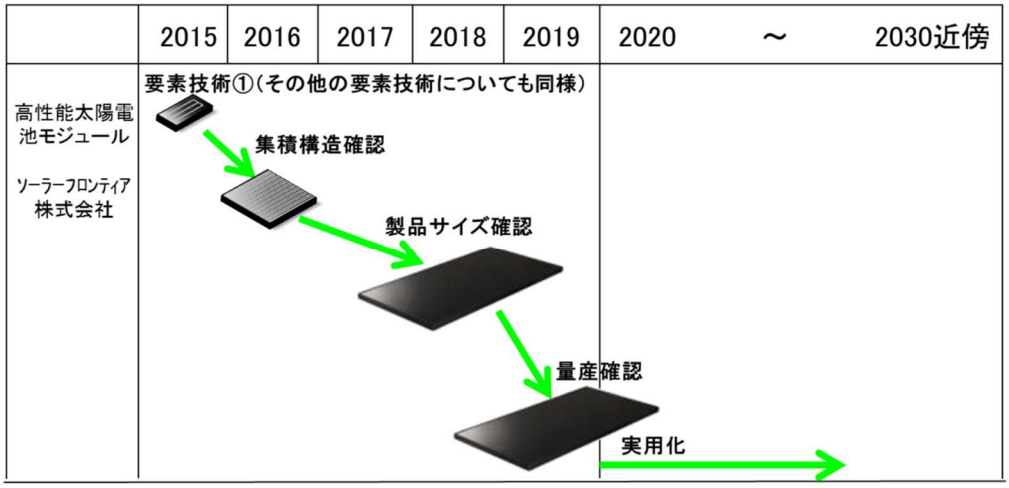


図. Ⅲ-2-(ハ)-A-4(2) 実用化へ向けたスケジュール

5. 特許論文リスト

<全体の成果>

	H22	H23	H24	H25	H26	終了後	計
特許出願（うち外国出願）	0(0)	5(0)	6(2)	8(6)	5(4)	5(5)	29(17)件
論文（査読付き）	0(0)	4(4)	3(3)	4(4)	2(2)	1(1)	14(14)件
研究発表・講演（うち国際会議）	1(1)	15(14)	5(5)	6(5)	10(8)	6(5)	43(38)件
新聞・雑誌等への掲載（うちプレスリリース）	53(1)	132(3)	25(2)	272(5)	88(2)	171(2)	741(15)件
受賞実績	0	1	0	0	0	0	1件
展示会への出展	6	4	2	7	3	3	25件

5.1 ソーラーフロンティア

	H22	H23	H24	H25	H26	終了後	計
特許出願（うち外国出願）	0(0)	5(0)	6(2)	8(6)	5(4)	5(5)	29(17)件
論文（査読付き）	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)件
研究発表・講演（うち国際会議）	1(1)	4(3)	1(1)	4(3)	7(5)	6(5)	23(18)件
新聞・雑誌等への掲載（うちプレスリリース）	52(1)	131(3)	24(2)	270(5)	87(2)	171(2)	735(15)件
受賞実績	0	0	0	0	0	0	0 件
展示会への出展	6	4	2	6	3	3	24 件

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外国PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	ソーラーフロンティア	特願 2011-191451	国内	2011/09/02	登録済み	薄膜太陽電池およびその製造方法	杉本 広紀
2	ソーラーフロンティア	特願 2011-233445	国内	2011/10/24	出願係属中	太陽電池及びその製造方法、太陽電池モジュール	千葉 善之、山浦敏明
3	ソーラーフロンティア	特願 2011-257927	国内	2011/11/25	登録済み	薄膜太陽電池モジュール及びその製造方法	杉本 広紀、石川佳祐、近藤 真司
4	ソーラーフロンティア	特願 2011-264011	国内	2011/12/01	出願係属中	ＣＩＳ系薄膜太陽電池、及びその製造方法	中田時夫、小林大造
5	ソーラーフロンティア	特願 2012-070521	国内	2012/03/27	放棄・拒絶	集積型薄膜太陽電池モジュールにおける分離溝の形成方法	山浦 敏明、濱田勉、角中 浩伸、濱野 幹雄
6	ソーラーフロンティア	特願 2012-261515	国内	2012/11/29	出願係属中	化合物系薄膜太陽電池	浅野 明彦、山浦敏明、八木岡 剛、長橋 正典、砂山英樹、斉藤 雅弘
7	ソーラーフロンティア	特願 2012-264707	国内	2012/12/03	出願係属中	薄膜太陽電池の製造方法	砂山 英樹、浅野明彦、斉藤 雅弘
8	ソーラーフロンティア	特願 2012-286186	国内	2012/12/27	出願係属中	化合物系薄膜太陽電池及びその製造方法	浅野 明彦
9	ソーラーフロンティア	特願 2012-286187	国内	2012/12/27	出願係属中	化合物系薄膜太陽電池の製造方法	浅野 明彦
10	ソーラーフ	特願 2013-	国内	2013/04/03	出願係属	薄膜太陽電池	浅野 明彦、山浦

	ロンティア	078104			中		敏明、砂山 英樹、斉藤 雅弘
１１	ソーラーフロンティア	特願 2013-147092	国内	2013/07/12	出願係属中	薄膜太陽電池及び薄膜太陽電池の製造方法	岩田 恭彰、杉本 広紀、白間 英樹
１２	ソーラーフロンティア	特願 2014-266693	国内	2014/12/26	出願係属中	太陽電池の製造方法	堀口 恭平、岩田 恭彰、谷川 優美、冨田 仁、森本 卓也、木島 駿介
１３	ソーラーフロンティア	PCT/JP2012/071309	PCT	2012/08/23	各国移行済み	薄膜太陽電池およびその製造方法	杉本 広紀
１４	ソーラーフロンティア	US14/241797	外国	2012/08/23 (2014/2/27)	出願係属中	THIN FILM SOLAR CELL AND MANUFACTURING METHOD THEREFOR	杉本 広紀
１５	ソーラーフロンティア	EP12828604.4	外国	2012/08/23 (2014/2/24)	出願係属中	THIN FILM SOLAR CELL AND MANUFACTURING METHOD THEREFOR	杉本 広紀
１６	ソーラーフロンティア	CN201280042191.7	外国	2012/08/23 (2014/2/28)	出願係属中	薄膜太陽電池およびその製造方法	杉本 広紀
１７	ソーラーフロンティア	PCT/JP2012/080382	PCT	2012/11/22	各国移行済み	薄膜太陽電池モジュール及びその製造方法	杉本 広紀、石川 佳祐、近藤 真司
１８	ソーラーフロンティア	US14/359616	外国	2012/11/22 (2014/5/21)	出願係属中	THIN-FILM SOLAR CELL MODULE AND METHOD FOR PRODUCING SAME	杉本 広紀、石川 佳祐、近藤 真司
１９	ソーラーフロンティア	EP12851787.7	外国	2012/11/22 (2014/5/23)	出願係属中	THIN-FILM SOLAR CELL MODULE, AND METHOD FOR PRODUCING SAME	杉本 広紀、石川 佳祐、近藤 真司
２０	ソーラーフロンティア	CN201280057822.2	外国	2012/11/22 (2014/5/23)	出願係属中	薄膜太陽電池モジュール及びその製造方法	杉本 広紀、石川 佳祐、近藤 真司
２１	ソーラーフロンティア	PCT/JP2013/082883	PCT	2013/12/06	各国移行済み	化合物系薄膜太陽電池及びその製造方法	浅野 明彦
２２	ソーラーフロンティア	US14/654870	外国	2013/12/06 (2015/6/23)	出願係属中	COMPOUND THIN-FILM PHOTOVOLTAIC CELL AND METHOD OF MANUFACTURING THEREOF	浅野 明彦

２３	ソーラーフロンティア	EP13866575.7	外国	2013/12/06 (2015/6/24)	出願係属中	COMPOUND THIN-FILM PHOTOVOLTAIC CELL AND METHOD OF MANUFACTURING THEREOF	浅野 明彦
２４	ソーラーフロンティア	PCT/JP2013/082884	PCT	2013/12/06	各国移行済み	化合物系薄膜太陽電池の製造方法	浅野 明彦
２５	ソーラーフロンティア	US14/654872	外国	2013/12/06 (2015/6/23)	出願係属中	METHOD OF MANUFACTURING COMPOUND THIN-FILM PHOTOVOLTAIC CELL	浅野 明彦
２６	ソーラーフロンティア	EP13867620.0	外国	2013/12/06 (2015/6/24)	出願係属中	METHOD OF MANUFACTURING COMPOUND THIN-FILM PHOTOVOLTAIC CELL	浅野 明彦
２７	ソーラーフロンティア	PCT/JP2014/057850	PCT	2014/03/20	各国移行済み	薄膜太陽電池	浅野 明彦、山浦 敏明、砂山 英樹、斉藤 雅弘
２８	ソーラーフロンティア	US14/178029	外国	2014/03/20 (2015/9/25)	出願係属中	THIN-FILM PHOTOVOLTAIC CELL	浅野 明彦、山浦 敏明、砂山 英樹、斉藤 雅弘
２９	ソーラーフロンティア	PCT/JP2014/066310	PCT	2014/06/19	出願係属中	薄膜太陽電池及び薄膜太陽電池の製造方法	岩田 恭彰、杉本 広紀、白間 英樹

【論文・学会発表】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名	査読	発表年
1	H. Sugimoto, Y. Chiba, Y. Kawaguchi, T. Morimoto, T. Yagioka, M. Nagahashi, T. Miyano, S. Kijima, T. Aramoto, Y. Tanaka, H. Hakuma, S. Kuriyagawa and K. Kushiya	ソーラーフロンティア	Progress Toward 17% Efficiency in Large Area CIS-Based Thin-Film Submodules	国際会議発表：5th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Valencia, Spain	—	平成 22 年 9 月
2	H. Sugimoto, T. Yagioka, M. Nagahashi, Y. Yasaki, Y. Kawaguchi, T.	ソーラーフロンティア	Achievement of Over 17% Efficiency with 30x30cm2-Sized Cu(InGa)(SeS)2 Submodules	国際会議発表：37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference,	—	平成 23 年 6 月

	Morimoto, Y. Chiba, T. Aramoto, Y. Tanaka, H. Hakuma, S. Kuriyagawa and K. Kushiya			Seattle, WA, USA		
3	森本卓也, 八木岡剛, 長橋正典, 河口由佳, 千葉善之, 杉本広紀, 田中良明, 白間英樹	ソーラーフロンティア	30 cm 角 CIS サブモジュールにおける 17%達成	国内学会発表：学振第 175 委員会第 8 回シンポジウム, じゅうろくプラザ, 岐阜	—	平成 23 年 6 月
4	Hiroki Sugimoto, Yuka Kawaguchi, Yuusuke Yasaki, Tetsuya Aramoto, Yoshiaki Tanaka, Hideki Hakuma, Satoru Kuriyagawa and Katsumi Kushiya	ソーラーフロンティア	Challenge to 18% EFFICIENCY with 30x30cm2-Sized Cu(InGa)(SeS)2 Submodules in Solar Frontier	国際会議発表：26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Hamburg, Germany	—	平成 23 年 9 月
5	Shunsuke Kijima, Takuya Morimoto, Takeshi Yagioka, Masanori Nagahashi, Yoshiyuki Chiba, Hiroki Sugimoto, Yoshiaki Tanaka, Hideki Hakuma, Satoru Kuriyagawa and Katsumi Kushiya	ソーラーフロンティア	Effects of Grain Structure on Cu(InGa)(SeS)2 Thin-Film Submodules	国際会議発表：21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference, Fukuoka, Japan	—	平成 23 年 11 月
6	Motoshi Nakamura, Yoshiyuki Chiba, Shunsuke Kijima, Kyouhei Horiguchi, Yoshihiko Yanagisawa, Yuko Sawai, Keisuke Ishikawa, and Hideki Hakuma	ソーラーフロンティア	Achievement of 17.5% Efficiency With 30 × 30cm2-sized Cu(In,Ga)(Se,S)2 Submodules	国際会議発表：38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Austin, Texas, USA	—	平成 24 年 6 月
7	岩田恭彰, 深澤一仁, 中村元志, 加藤拓也, 杉本広紀, 田中良明, 白間英樹	ソーラーフロンティア	高品質光吸収層を用いた高効率 CIS 太陽電池の開発	国内学会発表：学振第 175 委員会第 10 回シンポジウム, 石川県立音楽堂, 石川	—	平成 25 年 5 月
8	Motoshi Nakamura, Yamaguchi Kouji, Yoshiyuki Chiba, Hideki Hakuma, Taizo Kobayashi, and Tokio Nakada	ソーラーフロンティア	Achievement of 19.7% efficiency with a small-sized Cu(InGa)(SeS)2 solar cells prepared by sulfurization after selenizaion process with Zn-based buffer	国際会議発表：39th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Tampa, Florida, USA	—	平成 25 年 6 月
9	Hiroki Sugimoto	ソーラーフロンティア	Development of high efficiency Cu-chalcogenide thin-film solar modules	国際会議発表：2013 JSAP-MRS Joint Symposia, Kyoto, Japan	—	平成 25 年 9 月
10	Hiroki Sugimoto	ソーラーフ	High Efficiency CIGS Solar Modules Fabricated	国際会議発表：Seminar on	—	平成 25 年 9 月

		ロンティア	by Selenization Process	High Efficiency CIGS Solar Cells, Kyoto, Japan		
11	杉本 広紀	ソーラーフロンティア	CIS/CZTS の成長技術	国内学会発表：学振第 161 委員会 第 86 回研究会「太陽電池用結晶成長の科学と技術の新展開」，名古屋大学，愛知	―	平成 26 年 4 月
12	Motoshi Nakamura, Nobutaka Yoneyama, Kyouhei Horiguchi, Yasuaki Iwata, Koji Yamaguchi, Hiroki Sugimoto, and Takuya Kato	ソーラーフロンティア	Recent R&D Progress in Solar Frontier's Small-sized Cu(InGa)(SeS)2 Solar Cells	国際会議発表：40th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Denver, Colorado, USA	―	平成 26 年 6 月
13	Hiroki Sugimoto	ソーラーフロンティア	High efficiency and large volume production of CIS-based modules	国際会議発表：40th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Denver, Colorado, USA	―	平成 26 年 6 月
14	Hiroki Sugimoto	ソーラーフロンティア	Development of high efficiency and high productivity CIS-based module	国際会議発表：GRAND RENEWABLE ENERGY 2014, Tokyo, Japan	―	平成 26 年 7 月
15	杉本 広紀	ソーラーフロンティア	セレン化硫化法によるカルコゲナイド薄膜形成の反応過程	国内学会発表：学振第 175 委員会 夏の学校 2014 CIGS・CZTS 薄膜の作製プロセスと太陽電池，龍谷大学，京都	―	平成 26 年 8 月
16	Takuya Kato, Rui Kamada, Shunsuke Adachi, and Hiroki Sugimoto	ソーラーフロンティア	Cu(In,Ga)(S,Se)2 Thin-Film Solar Cells with Zn-Based Double Layered Buffers Deposited by CBD and ALD	国際会議発表：29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Amsterdam, The Netherlands	―	平成 26 年 9 月
17	H. Sugimoto, M. Nakamura, N. Yoneyama, K. Horiguchi, Y. Iwata, K. Yamaguchi and T. Kato	ソーラーフロンティア	Development of high efficiency CIS-based solar cells	国際会議発表：6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Kyoto, Japan	―	平成 26 年 11 月
18	H. Sugimoto, S. Adachi, M. Nakamura, N.	ソーラーフロン	Achievement of over 18% efficiency on 30x30cm2-sized Cu(In,Ga)(Se,S)2	国際会議発表：2015 European Materials	―	平成 27 年 5 月

	Yoneyama, A. Handa, R. Kamada, T. Kato	ティア	Submodules	Research Society Spring Meeting, Lille, France		
19	Motoshi Nakamura, Takuya Kato, Rui Kamada, Hiroki Sugimoto	ソーラーフロンティア	Current Status at Solar Frontier: From Fundamental Research to Industrial Mass Production of Cd-free Cu(In,Ga)(Se,S)2 Solar Cell	国際会議発表：42nd IEEE Photovoltaic Specialists Conference, New Orleans, Louisiana, USA	—	平成 27 年 6 月
20	Rui Kamada, Motoshi Nakamura, Shunsuke Adachi, Takuya Kato, Hiroki Sugimoto	ソーラーフロンティア	Evaluation of “rollover” in Cu(In,Ga)(Se,S)2 thin film solar cells using Suns-Voc measurements	国際会議発表：42nd IEEE Photovoltaic Specialists Conference, New Orleans, Louisiana, USA	—	平成 27 年 6 月
21	加藤 拓也	ソーラーフロンティア	セレン化法による CIS 太陽電池の高効率化	国内学会発表：学振第 175 委員会 夏の学校 2015 化合物薄膜太陽電池の高効率化 変換効率 25%を目指して，龍谷大学，京都	—	平成 27 年 9 月
22	Takuya Kato, Kimihiko Kitani, Hiroki Sugimoto	ソーラーフロンティア	Capacitance and Admittance Studies on Metastable and Sodium-Related Defects in Cu(In,Ga)(S,Se)2 Thin Film Solar Cell	国際会議発表：31st European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Hamburg, Germany	—	平成 27 年 9 月
23	Kimihiko Kitani, Takuya Kato, Hiroki Sugimoto	ソーラーフロンティア	Characterization of Na Depleted Cu(In,Ga)(S,Se)2 Thin-Film Solar Cell	国際会議発表：31st European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Hamburg, Germany	—	平成 27 年 9 月

【受賞】

なし

5.2 東京理科大学

	H22	H23	H24	H25	H26	終了後	計
特許出願（うち外国出願）	0	0	0	0	0	0	0件
論文（査読付き）	0	4	3	4	2	1	14件
研究発表・講演（うち国際会議）	0	11	4	2	3	0	20件
新聞・雑誌等への掲載	1	1	1	2	1	0	6件
受賞実績	0	1	0	0	0	0	1件
展示会への出展	0	0	0	1	0	0	1件

【特許】
なし

【論文・学会発表】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名	査読	発表年
1	Y. Yatsushiro, H. Nakakoba, T. Mise, T. Kobayashi and T. Nakada	青山学院大学	Effects of Antimony Doping on Cu(In$_{1-x}$,Ga$_x$)Se$_2$ Thin Films and Solar Cells	Jpn. J. Appl. Phys. 51(10) (2012) 10NC25	有	2012
2	H. Nakakoba, Y. Yatsushiro, T. Mise, T. Kobayashi and T. Nakada	青山学院大学	Effects of Bi incorporation on Cu(In$_{1-x}$,Ga$_x$)Se$_2$ Thin Films and Solar Cells	Jpn. J. Appl. Phys. 51(10) (2012) 10NC24	有	2012
3	K. Nakashima, T. Kumazawa, T. Kobayashi, T. Mise and T. Nakada	青山学院大学	Wide-Gap Cu(In,Ga)Se$_2$ Solar Cells with Zn(O,S) Buffer Layers Prepared by Atomic Layer Deposition	Jpn. J. Appl. Phys. 51(10) (2012) 10NC15	有	2012
4	T. Kobayashi, K. Yamauchi, T. Mise and T. Nakada	青山学院大学	Transparent Conducting ZnO:B Thin Films Grown by Ultraviolet Light Assisted Metal Organic Chemical Vapor Deposition Using Triethylboron for Cu(In,Ga)Se$_2$ Solar Cells	Jpn. J. Appl. Phys. 51(10) (2012) 10NC09	有	2012
5	T. Nakada, T. Kobayashi, T. Kumazawa and H. Yamaguchi	青山学院大学	Impacts of Post-Treatments on Cell Performance of CIGS Solar Cells with Zn-Compound Buffer Layers	IEEE Journal of Photovoltaics, Vol. 3, No. 1, (2013)461-466	有	2013
6	T. Kobayashi, K. Yamauchi, and T. Nakada	青山学院大学	Comparison of Cell Performance of ZnS(O,OH)/CIGS Solar Cells with UV-Assisted MOCVD-ZnO:B and Sputter-Deposited ZnO:Al Window Layers	IEEE Journal of Photovoltaics, Vol. 3, No. 3, (2013) 1079-1083	有	2013

7	T. Kobayashi, T. Nakada	青山学院大学	Efficient Cu(In,Ga)Se_2 Thin Film Solar Cells with Reduced Thickness of ZnS(O,OH) Buffer Layer	Solar Energy Materials and Solar Cells Vol. 117(2013)526-530	有	2013
8	T. Kobayashi, H. Yamaguchi and T. Nakada	青山学院大学	Effects of Combined Heat and Light-Soaking on Device Performance of Cu(In,Ga)Se_2 Solar Cells with ZnS(O,OH) Buffer Layer	Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Vol. 22, Issue 1, (2014), 115-121	有	2014
9	T. Kobayashi, Z. Jehl and T. Nakada	東京理科大学	Post-treatment Effects on ZnS(O,OH)/Cu(In,Ga)Se_2 Solar Cells Deposited Using Thioacetamide-ammonia Based Solution	Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 123, (2014) 197-202	有	2014
10	T. Kobayashi and T. Nakada	東京理科大学	Effects of post-deposition treatments on transparent conducting ZnO:B thin films grown by MOCVD	Japanese Journal of Applied Physics 53, 05FA03(2014)05FA03-1~5	有	2014
11	T. Kobayashi, H. Yamaguchi1, Zacharie Jehl Li Kao, H. Sugimoto, T. Kato, H. Hakuma, and T. Nakada	東京理科大学 ソーラーフロンティア	Impacts of surface sulfurization on Cu(In_{1-x},Gax)Se_2 thin-film solar cells	Progress in Photovoltaics: Research and Applications, (2014), DOI:10.1002/pip.2554	有	2014
12	I. Khatri, I. Matsuyama, H. Yamaguchi, H. Fukai and T. Nakada: "Surface Sulfurization of MBE-Grown CIGS Thin Films and Devices	東京理科大学	Surface Sulfurization of MBE-Grown CIGS Thin Films and Devices	Japanese Journal of Applied Physics 54, 08KC10 , (2015)1-4	有	2015
13	T. Kobayashi, Z. Jehl-Li-Kao, and T.Nakada	東京理科大学	Temperature dependentcurrent-voltage and admittancespectroscopy on heat-light soaking effects ofCu(In,Ga)Se_2 solar cells with ALD-Zn(O,S) and CBD-ZnS(O,OH) buffer layers	Solar Energy Materials & Solar Cells 143 (2015)159-167	有	2015
14	T.Kobayashi, Z. Jehl Li Ko, T. Kato, H. Sugimoto and T. Nakada	東京理科大学 ソーラーフロンティア	A comparative study of Cd- and Zn-compound buffer layers on Cu(In_{1-x},Ga_x)(S_y,Se_{1-y})$_2$ thin film solar cells	Prog. Photovolt: Res. Appl. (2015) DOI: 10.1002/pip.2695	有	2015
15	T. Nakada, Y. Honishi, Y. Yatsushiro, and H. Nakakoba	青山学院大学	Impacts of Sb and Bi Incorporations on CIGS Thin Films and Solar Cells	Proc. 37th IEEE Photovoltaic Specialist	無し	2011

				Conf. (Seattle, June 2011)		
16	T. Nakada	青山学院大学	Buffer Layers and Transparent Conducting Oxides for CIGS-based Thin Film Solar Cells	Proc. 21st International Photovoltaic Science and Engineering Conf. (Fukuoka, Nov 2011)5B-3I-01	無し	2011
17	T. Nakada	青山学院大学	Current R&D of Chalcopyrite-Based Thin Film Solar Cells at AGU	The 6th Korea-China-Japan Intern. Symp. on Photovoltaics (Busan, Sep. 2011) pp-300~312	無し	2011
18	T. Nakada	青山学院大学	CIGS Thin Film Solar Cells -Present Status and Future Prospect	Sungkyun Intern. Solar Forum 2011(Sungkyunkwan, Jun. 2011).	無し	2011
19	T. Kobayashi, K. Yamauchi, T. Mise and T. Nakada	青山学院大学	Growth of ZnO:B Thin Films by Photo-Assisted MOCVD Method and Its Application to CIGS Solar Cells	Technical Digest 21st International Photovoltaic Science and Engineering Conf. (Fukuoka, Nov 2011) 5B-30-03	無し	2011
20	T. Kumazawa, K. Nakashima,T. Mise and T. Nakada	青山学院大学	Wide Gap CIGS Solar Cells with Sputtered-Zn (O,S) Buffer Layers	Technical Digest 21st International Photovoltaic Science and Engineering Conf. (Fukuoka, Nov 2011) 2D-3P-13	無し	2011
21	K. Yamauchi, T. Kobayashi, T. Mise and T. Nakada	青山学院大学	ZnO-Based Window Layers by MOCVD Process for CIGS Solar Cells	Technical Digest 21st International Photovoltaic Science and Engineering Conf. (Fukuoka, Nov 2011) 2D-3P-22	無し	2011
22	K. Nakashima, K. Toyokazu, T. Mise and T. Nakada	青山学院大学	Wide Gap CIGS Solar Cells with ALD-Zn (O,S) Buffer Layers	Technical Digest 21st International Photovoltaic Science and Engineering	無し	2011

				Conf. (Fukuoka, Nov 2011) 2D-3P-14		
23	Y. Yatsushiro, H. Nakakoba, T. Mise and T. Nakada	青山学院大学	Effects of Sb Incorporation on CIGS Thin Films and Solar Cells	Technical Digest 21st International Photovoltaic Science and Engineering Conf. (Fukuoka, Nov 2011) 3D-3P-28	無し	2011
24	H. Nakakoba, Y. Yatsushiro, T. Mise and T. Nakada	青山学院大学	Effects of Bi Incorporation on CIGS Thin Films and Solar Cells	Technical Digest 21st International Photovoltaic Science and Engineering Conf. (Fukuoka, Nov 2011) 3D-3P-26	無し	2011
25	T. Nakada, Y. Honishi, Y. Yatsushiro, and H. Nakakoba	青山学院大学	Impacts of Sb and Bi Incorporations on CIGS Thin Films and Solar Cells	Proc. 37th IEEE Photovoltaic Specialist Conf. (Seattle, June 2011)	無し	2011
26	T. Kobayashi, K. Yamauchi and T. Nakada	青山学院大学	Comparison of cell performance of ZnS(O,OH)/CIGS solar cells with MOCVD-ZnO:B and sputter-deposited ZnO:Al window layers	Proc. 38th IEEE Photovoltaic Specialist Conf. (Austin, June 2012)	無し	2012
27	T. Nakada, T. Kobayashi, T. Kumazawa, H. Yamaguchi	青山学院大学	Impacts of Post-treatments on Cell Performance of CIGS Solar Cells with Zn-Compound Buffer Layers	Proc. 38th IEEE Photovoltaic Specialist Conf. (Austin, June 2012)	無し	2012
28	T. Kobayashi and T. Nakada	青山学院大学	High Efficiency Thinner-ZnS(O,OH)/CIGS Thin Film Solar Cells	Proc. 27th European Photovoltaic Solar Energy Conf., (Frankfurt, 2012) pp. 2240-2243	無し	2012
29	T. Nakada, T. Kobayashi, K. Yamauchi, and H. Yamaguchi	青山学院大学	Revised Conduction Band Offset of High Efficiency CBD-ZnS(O,OH)/CIGS Thin Film Solar Cells	E-MRS 2012 Spring Meeting, Symposium:B, (2012. 5), 08-2	無し	2012
30	M. Nakamura, K. Yamaguchi, Y. Chiba, H. Hakuma, T. Kobayashi and T.	東京理科大学 ソーラーフロン	Achievement of 19.7% efficiency with a small-sized $Cu(InGa)(SeS)_2$ solar cells prepared by	Proc. of 39th IEEE Photovoltaic Specialists	無し	2013

	Nakada	ティア	sulfurization after selenizaion process with Zn-based buffer	Conference, (2013. 6)		
31	T. Nakada	東京理科大学	Effects of Sulfur incorporation on CIGS-based solar cells - Re-visit and present status	23rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference, (2013. 10, Taiwan) 3I2	無し	2013
32	T. Kobayashi, Z. J. L. Kao and T. Nakada:	東京理科大学	Transparent conducting ZnO:B window layer deposited by MOCVD for narrow bandgap CIGS-based bottom cells for spectral splitting device application	6th International Symposium on Innovative Solar Cells, (2014. 1)	無し	2014
33	I. Khatri, I. Matsuyama, H. Yamaguchi and T. Nakada:	東京理科大学	Surface Sulfurization of MBE-Grown $Cu(In_{1-x},Ga_x)Se_2$ Thin Films and Devices	6th world conf. on photovoltaic energy conversion (2014, 11, Kyoto) 3Mo.3.5	無し	2014
34	H. Matumori, I. Khatri, H. Fukai, I. Matsuyama, T. Nakada	東京理科大学	Epitaxial Growth of CIGS Thin Films on Mo-Coated Sapphire Substrates	19th International Conference on Ternary and Multinary Compounds, (Niigata, Japan. 2014, P4-131)pp-161	無し	2014

【受賞】
PVSEC-21 Student Paper Award
K.Nakashima, T.Kumazawa, T.Kobayashi, T.Mise and T.Nakada
"Wide-gap CIGS solar cells with ALD-Zn(O,S) buffer layers"
PVSEC-21 2D-3P-14 (2011/11/29 Fukuoka, Japan)

B CZTS系薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発

1. 成果詳細

表. Ⅲ-2-(ハ)-B-1(1)

最終目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
1) サブモジュール変換効率向上 目標： サブモジュール効率13%	サブモジュール効率 11.8% (2年半で約3%の向上)	△	サブモジュール、セル共に同様の課題を有しており、開放電圧向上が必要。
2) セル変換効率向上 目標： セル効率15%	セル効率 11.9% (ボトルネック特定)	△	

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：△、　未達：×

＜開発概要＞

図. Ⅲ-2-(ハ)-B-1(1)に CZTS 太陽電池の変換効率の変遷を示したが、本研究開発における開発成果について黄印で示した。本研究開発は 7cm 角の CZTS サブモジュールの変換効率向上が主であるが、本研究開発開始時はサブモジュールの変換効率 9.2%であったものが 2 年半で約 3%向上し 11.8%まで向上した。CZTS 太陽電池は大面積化が難しい材料であり、2015 年現在でも CZTS セルからサブモジュールへの大面積化に成功している機関は世界中で本コンソーシアム以外には存在しない。本研究開発の最終目標であるサブモジュール効率 13%までは達さなかったものの、小面積 CZTS セルの世界最高変換効率は 12.6%であり、本研究成果はサブモジュールで小面積セルの世界最高効率に迫るものである。

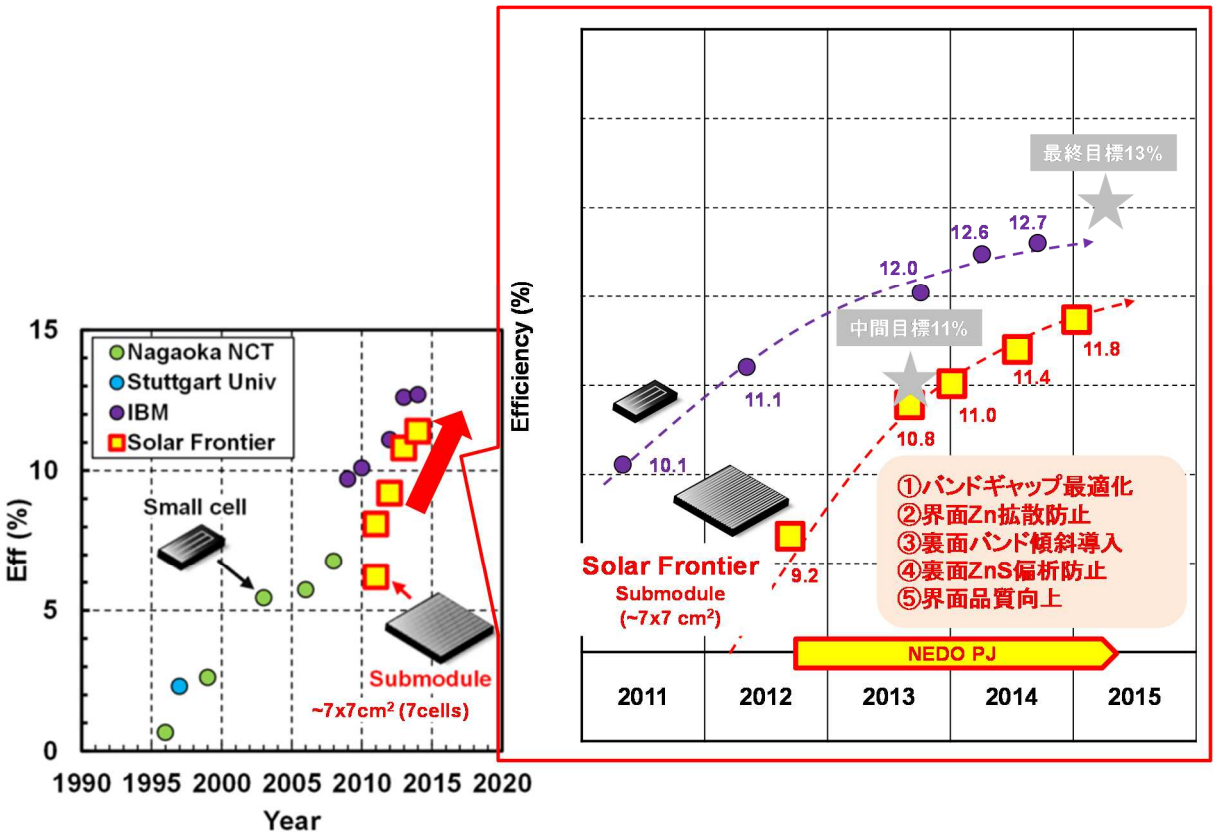


図. Ⅲ-2-(ハ)-B-1(1) CZTS 太陽電池の変換効率の変遷

1.1 バンドギャップ最適化

以下に、本研究開発当初からの開発の流れに沿って成果の詳細を報告する。本研究開発当初はCZTSのバンドギャップ調整はまだ行われておらず、バンドギャップ1.45eV程度のCZTS光吸収層を用いていた。図.Ⅲ-2-(ハ)-B-1(2)にCZTS光吸収層のバンドギャップと開放電圧の関係を示すが、バンドギャップが大きい程、開放電圧のロスが大きい事がわかる。しかしながらバンドギャップが小さすぎると理論限界効率自体が下がるため、1.15eVあたりに最適なバンドギャップが存在する。これはCIS系薄膜太陽電池全般に共通の特徴で、CIS太陽電池と同様に高い変換効率を得るためには、バンドギャップを小さめに調整する必要があった。そこで、CZTSのSの代わりにSeを混合してバンドギャップを小さくし、最適化を行った。図.Ⅲ-2-(ハ)-B-1(3)にCZTS光吸収層のS/(S+Se)比とバンドギャップ、IV特性の関係を示す。その結果、S/(S+Se)比0.22程度で開放電圧と短絡電流の積は最大となる事がわかった。しかしながら図.Ⅲ-2-(ハ)-B-1(3)右図に示すようにIVカーブの形状がS字となる問題が新たに発生した。

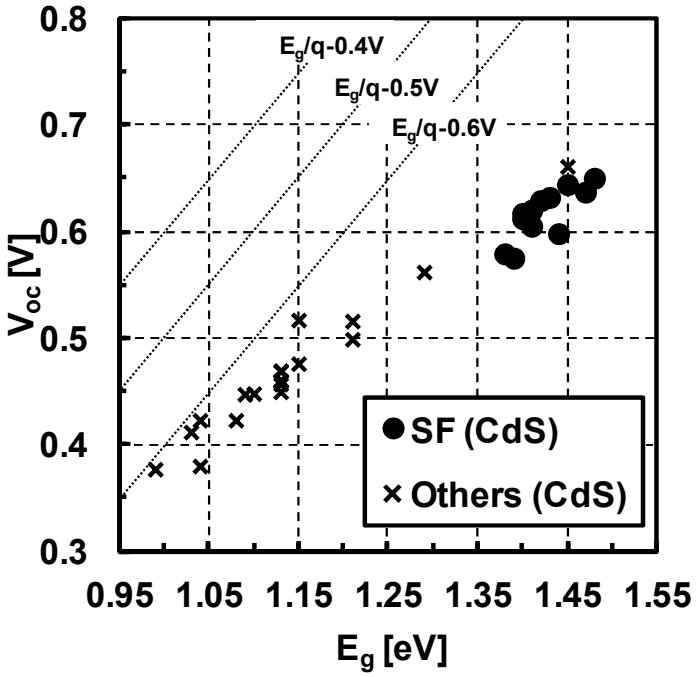


図.Ⅲ-2-(ハ)-B-1(2) CZTS光吸収層のバンドギャップと開放電圧の関係

	S/Ⅵ	Eff (%)	V_{oc} (mV/cell)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF	V_{oc} x J_{sc} (mW/cm^2)	E_g (eV)
(A)	0.03	3.81	450	32.6	0.260	14.7	1.01
(B)	0.22	6.30	494	33.2	0.384	16.4	1.05
(C)	1	8.82	706	20.7	0.605	14.6	1.44

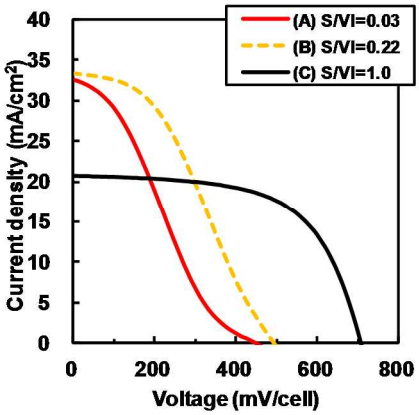
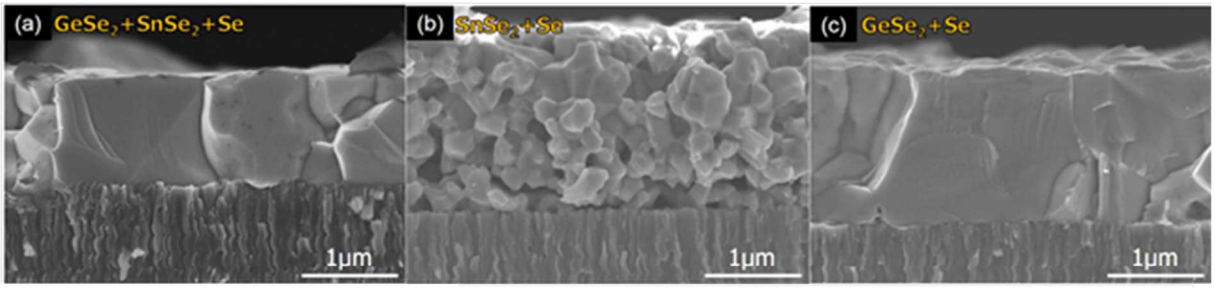
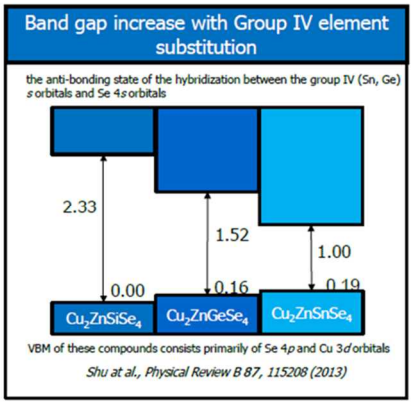


図.Ⅲ-2-(ハ)-B-1(3) CZTS光吸収層のS/(S+Se)比とバンドギャップ、IV特性の関係

CZTS 系光吸収層のバンドギャップを調整する方法は S のサイトに Se を混合する他に、Sn のサイトに Ge や Si を混合する方法も存在する。例えば Se100%の CZTSe ベースで考えるとバンドギャップは図.Ⅲ-2-(ハ)-B-1(4)の左下の図 に示すように、Ge を混合する事で 1.0eV から 1.52eV までバンドギャップを調整する事ができる。本研究開発では前述の Se を混合したバンドギャップの最適化の他に、Ge を混合したバンドギャップの最適化も試みた。Ⅲ-2-(ハ)-B-1(4)に Ge を混合した CZTS セルの断面 SEM 像を示すが、$GeSe_2$ を結晶成長中に供給する独自の製膜プロセスを開発し、結晶粒を増大させる事に成功した。その結果 Ge を混合した CZTS セルの変換効率はⅢ-2-(ハ)-B-1(4)右下の図に示すように 10.0%に達した。これは Ge を混合した CZTS セルの世界最高効率である。





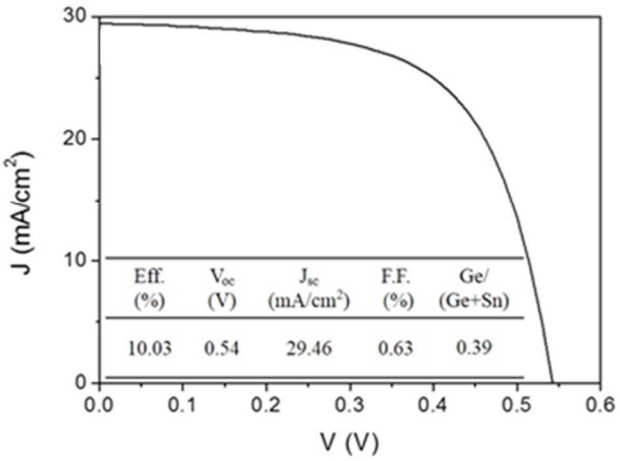
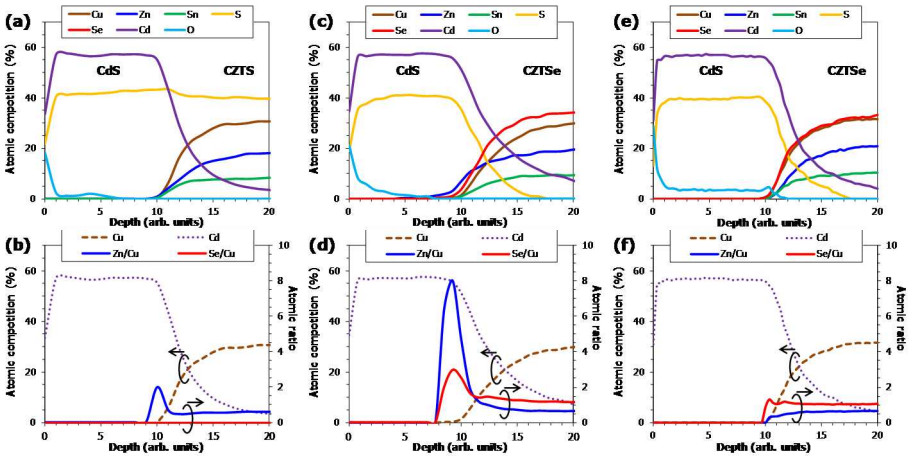


図.Ⅲ-2-(ハ)-B-1(4) Ge を混合した CZTS セルの断面 SEM 像と IV 特性

1.2 界面 Zn　拡散防止

光吸収層のバンドギャップ最適化に伴い、CZTS に Se を混合したが、CZTS 光吸収層と CdS バッファ層の界面起因で太陽電池のフィルファクターが大きく悪化する事がわかった。そこで原因を調査するため元素拡散の詳細なエネルギー計算を行った。結果を図.Ⅲ-2-(ハ)-B-1(5)左図に示すが CZTS に Se を混合すると Zn の拡散エネルギーが低くなる事がわかった。CZTS 光吸収層と CdS バッファ層の元素プロファイルを XPS 法により分析した結果を図.Ⅲ-2-(ハ)-B-1(5)右図に示すが、Se を混合した CZTS の場合、特に CdS バッファ側に CZTS 光吸収層から Zn が拡散して不具合を生じている事がわかった。そこで、Zn 拡散を防止すべく、バッファ層製膜プロセスの最適化を行い最終的に図.Ⅲ-2-(ハ)-B-1(5)(f)に示す通り Se を混合した CZTS でも Zn 拡散を防止する事に成功した。図.Ⅲ-2-(ハ)-B-1(6)左図に CZTS 光吸収層と CdS バッファ層界面のバンドプロファイルを UPS 法により分析した結果を示すが、改善前は Zn が CdS バッファ層に拡散する事によりバンド障壁が非常に高くなっているのに対し、改善後は Zn 拡散が防止された事によりバンド障壁が下がり、IV カーブの整流性が良くなり、図.Ⅲ-2-(ハ)-B-1(3)で生じていたような S 字の IV カーブが解消される事が確認された。これにより図.Ⅲ-2-(ハ)-B-1(6)右図に示す通りサブモジュール変換効率 10.8%を達成した。



	四元系化合物	
	$Cu_2ZnSnSe_4$	Cu_2ZnSnS_4
Zn拡散	1.15 eV	1.35 eV
Sn拡散	2.50 eV	2.94 eV

図.Ⅲ-2-(ハ)-B-1(5)　光吸収層/バッファ層界面の元素プロファイル

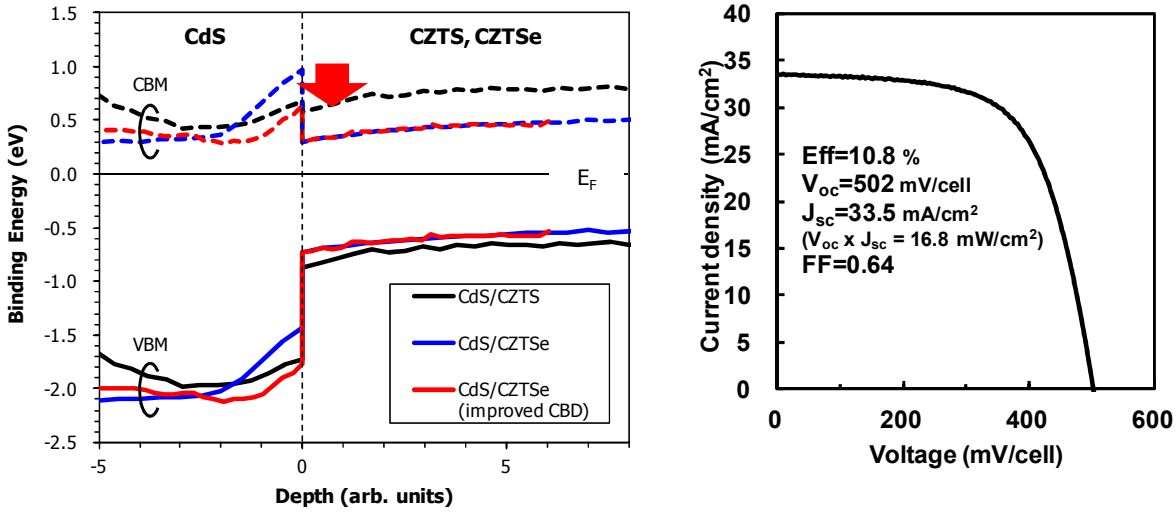


図.Ⅲ-2-(ハ)-B-1(6)　改善前後の光吸収層/バッファ層界面のバンドプロファイル及び改善後の IV カーブ

1.3 裏面バンド傾斜導入

CZTS 太陽電池のさらなる高性能化のために、高効率 CIS 太陽電池で導入されている深さ方向 2 重バンド傾斜プロファイルの導入を試みた。特に高効率な CIS 太陽電池では裏面側に向かって Ga 濃度を上昇させ伝導帯を上げ、電子の収集効率を高めている。また表面側に向かっては S 濃度を上昇させ価電子帯を下げ、ホールバリアを形成して表面再結合を抑制している。CZTS においても元素含有量を変化させた場合の価電子帯・伝導帯の挙動を把握する事が非常に重要である。そこで、IPES 法及び UPS 法を用いて S 濃度を変化させた CZTS の価電子帯・伝導帯の挙動を調査した。また、同時に CdS バッファ層とのバンド接合性についても調査した。結果を図. Ⅲ-2-(ハ)-B-1(7)に示すが、CZTS 光吸収層では S 濃度を高める程、主に伝導帯側が高まりバンドギャップが広がる事がわかった。また、S/(S+Se)比を 0.2 程度にとどめることでバッファ層とのバンド接合性が良好になる事も確認された。

そこで、まず図. Ⅲ-2-(ハ)-B-1(8)に示すように裏面側に S 濃度を高めた元素プロファイルを導入したところ、サブモジュール効率 11.0%を達成した。しかしながら Voc と Jsc の積は向上したものの FF が低下してしまう問題が発生した。

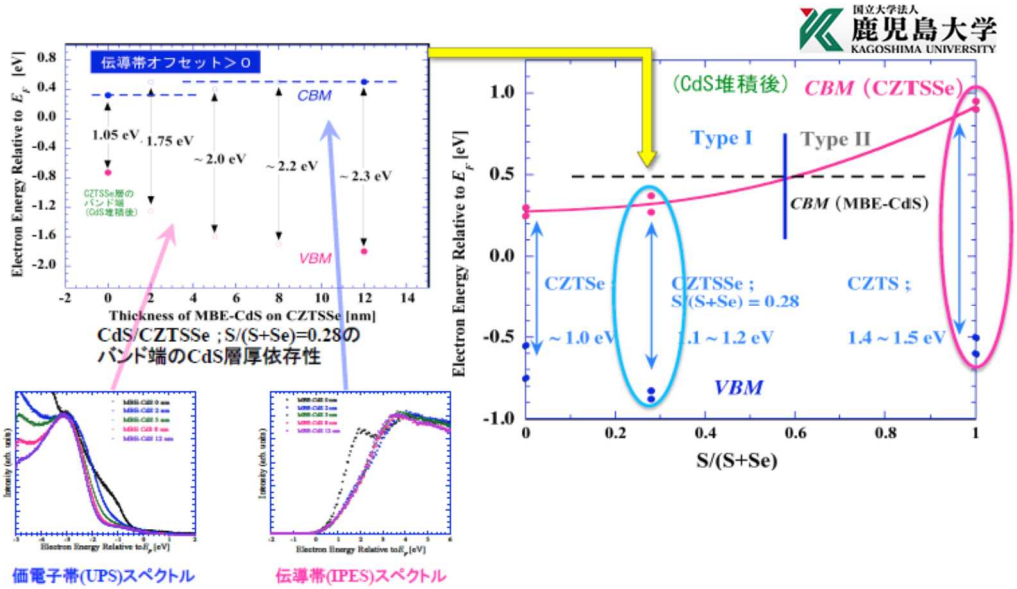


図. Ⅲ-2-(ハ)-B-1(7) CZTS 光吸収層の S/(Se+S)比と価電子帯・伝導帯の関係

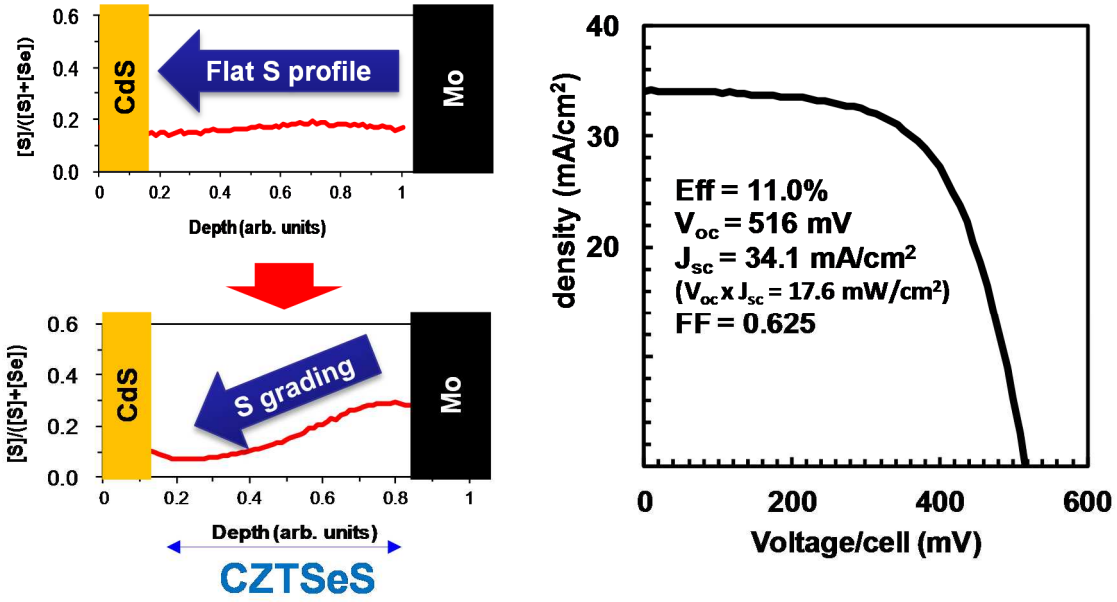


図. Ⅲ-2-(ハ)-B-1(8) 裏面 S 傾斜プロファイルと改善後の IV カーブ

1.4 裏面 ZnS 偏析防止

裏面 S 傾斜プロファイルを導入後の FF の低下について SIMS 法や TEM-EDX 法により CZTS 光吸収層内の元素プロファイルを調査した結果を図. Ⅲ-2-(ハ)-B-1(9)左図に示す。両分析から明らかに CZTS 光吸収層と Mo 裏面電極の界面に異相として ZnS が偏析している事が確認された。そこで、CZTS 光吸収層製膜プロセスの最適化を行った所、裏面側の ZnS の偏析を抑制する事に成功した。これにより Voc x Jsc の積の値を高めたまま FF を維持する事が可能となり、図. Ⅲ-2-(ハ)-B-1(9)右図に示すようにサブモジュール効率 11.4%を達成した。

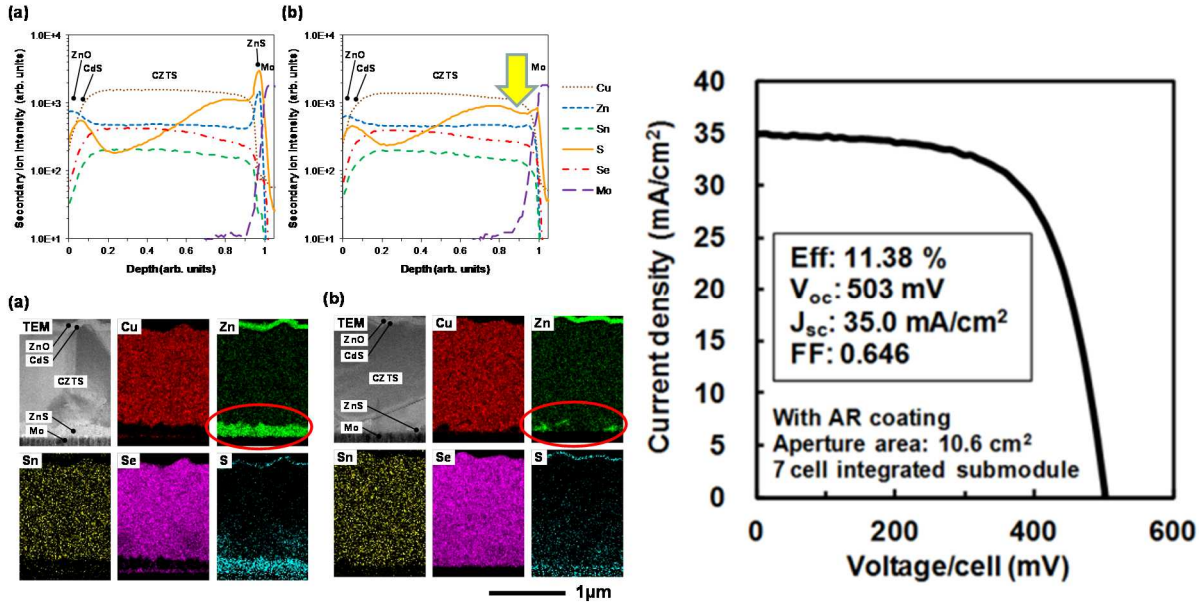


図. Ⅲ-2-(ハ)-B-1(9)　SIMS 法、TEM-EDX 法による CZTS 光吸収層内の元素プロファイルおよび裏面 ZnS 抑制後の IV カーブ

1.5 界面品質向上

CZTS 太陽電池の高性能化のために、前述の CZTS 光吸収層の改善だけでなく、CdS バッファ層との界面品質の向上に取り組んだ。その結果バッファ層製膜前の表面パッシベーション処理が高効率な CZTS 太陽電池を安定的に作製するために重要であることがわかった。図. Ⅲ-2-(ハ)-B-1(10)に本研究開発で開発した独自の表面パッシベーション技術の効果を示すが、HCl エッチング及びチオウレア処理をすることで量子効率が大場派に改善し、変換効率が改善する事がわかった。

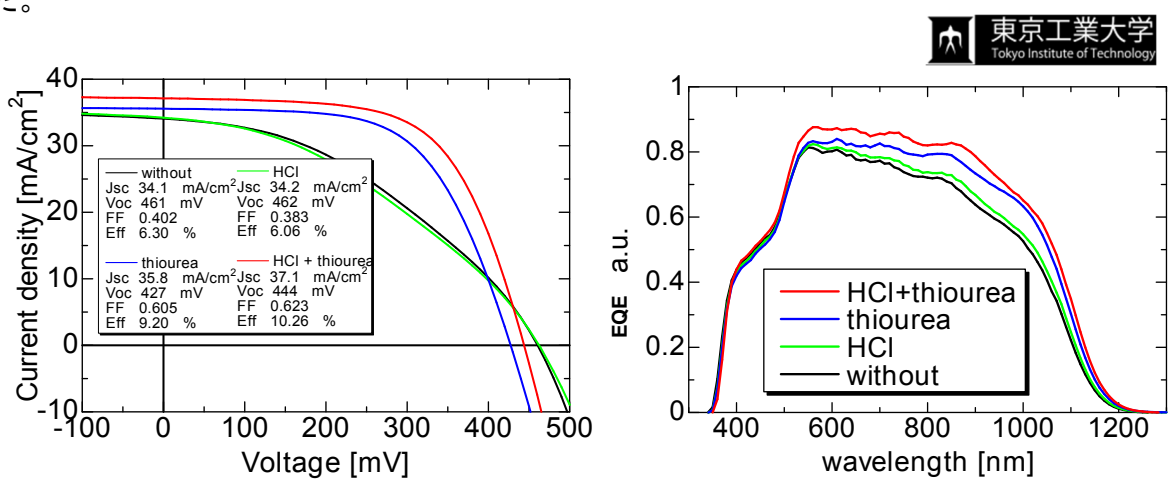


図. Ⅲ-2-(ハ)-B-1(10)　光吸収層表面処理と IV カーブ及び外部量子効率の関係

また、前述の表面パッシベーション処理後のアニルも効果的である事がわかり、図.Ⅲ-2-(ハ)-B-1(11)に示すように200℃程度でアニルする事によりCZTS光吸収層のPLライフタイムが向上し、変換効率が改善する事がわかった。

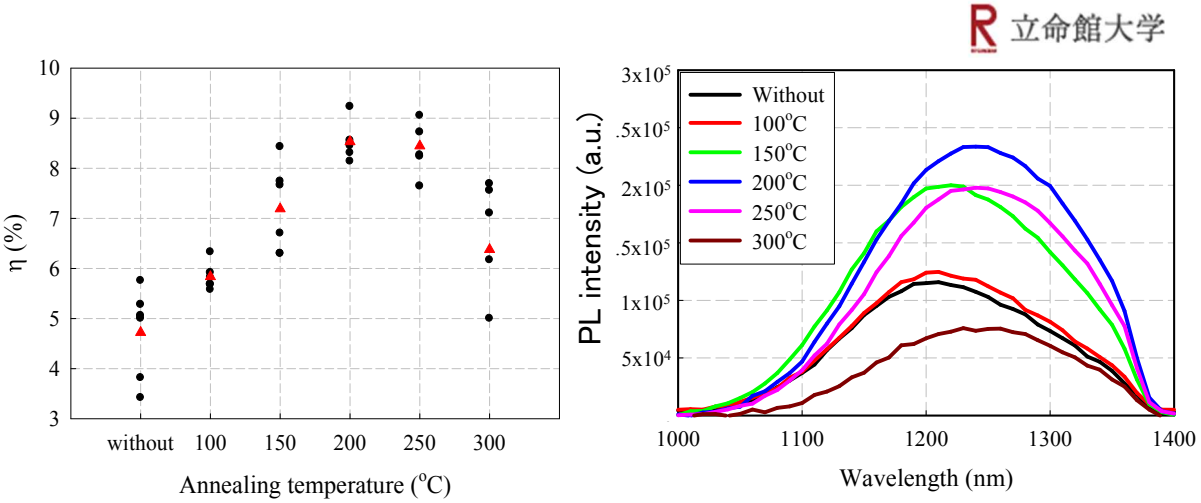
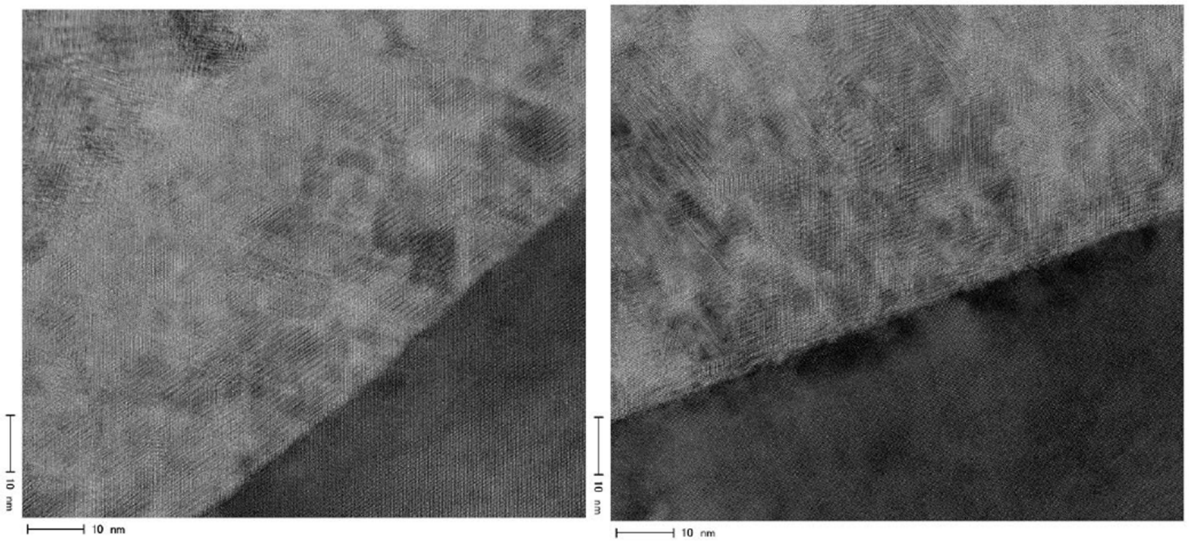


図.Ⅲ-2-(ハ)-B-1(11)　表面処理後のアニル温度と変換効率及びPLライフタイムの関係

さらに前述の表面パッシベーション処理及びアニルの有無によるCZTS光吸収層とCdSバッファ層界面の接合状態を詳細にTEM法で分析した結果を図.Ⅲ-2-(ハ)-B-1(12)に示す。特に図.Ⅲ-2-(ハ)-B-1(12)(b)はCZTSセル効率11.9%が得られた品質の高いものであるが、CZTS光吸収層最表面とCdSバッファ層界面が不明瞭になっており、エピ成長に伴う格子歪と思われる領域が観測されており、CZTS光吸収層上にCdSバッファ層がエピ成長しやすくなっている事も高効率の一因であると思われる。



(a)表面処理及びアニル無　　(b)表面処理及びアニル有

図.Ⅲ-2-(ハ)-B-1(12)　表面処理及びアニル有無におけるCdS/CZTS界面のTEM像

また CdS/CZTS 界面だけでなく CdS バッファ層の改良も試みた。様々なコンビネーションを調査した結果、まず図. Ⅲ-2-(ハ)-B-1(13)左図に示す通り、CdS バッファ層と TCO の間に高抵抗 ZnO 層(ND 層)を導入する事で、光照射に伴う変換効率の向上が顕著となる事がわかった。さらに CdS バッファ層の上部に非常に薄く In_2S_3 バッファ層を積層したハイブリッドバッファ構造とすることで、シャント抵抗の改善に伴い FF が大きく向上する事がわかった。以上、ND 層とハイブリッドバッファ構造を適用した新バッファを導入する事で、図. Ⅲ-2-(ハ)-B-1(13)右図に示す通りサブモジュール効率 11.8%を達成した。

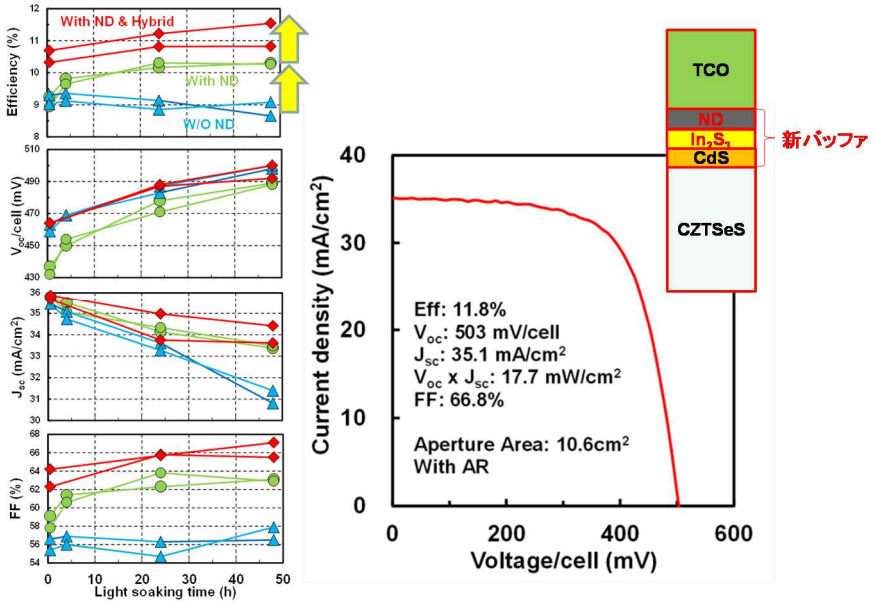


図. Ⅲ-2-(ハ)-B-1(13)　光照射に伴う電池特性の変化とバッファ層の影響

1.6 現状と今後の課題

現在 CIS サブモジュールは 18.3%の変換効率が得られており、前述の CZTS サブモジュールとは約 6%の変換効率差が存在する。パラメータを比較すると短絡電流や FF は両者に大きな乖離はなく、ギャップの大部分は開放電圧の差に起因する。CZTS の開放電圧は CIS と比較して 150～200mV 程度低い。本研究開発でボトルネック分析を行った結果を図. Ⅲ-2-(ハ)-B-1(14)にまとめるが、今後は CZTS 光吸収層表面の再結合抑制技術と、CZTS 光吸収層自体のポテンシャル揺らぎの抑制技術が高効率化のためのキーとなると考えられる。

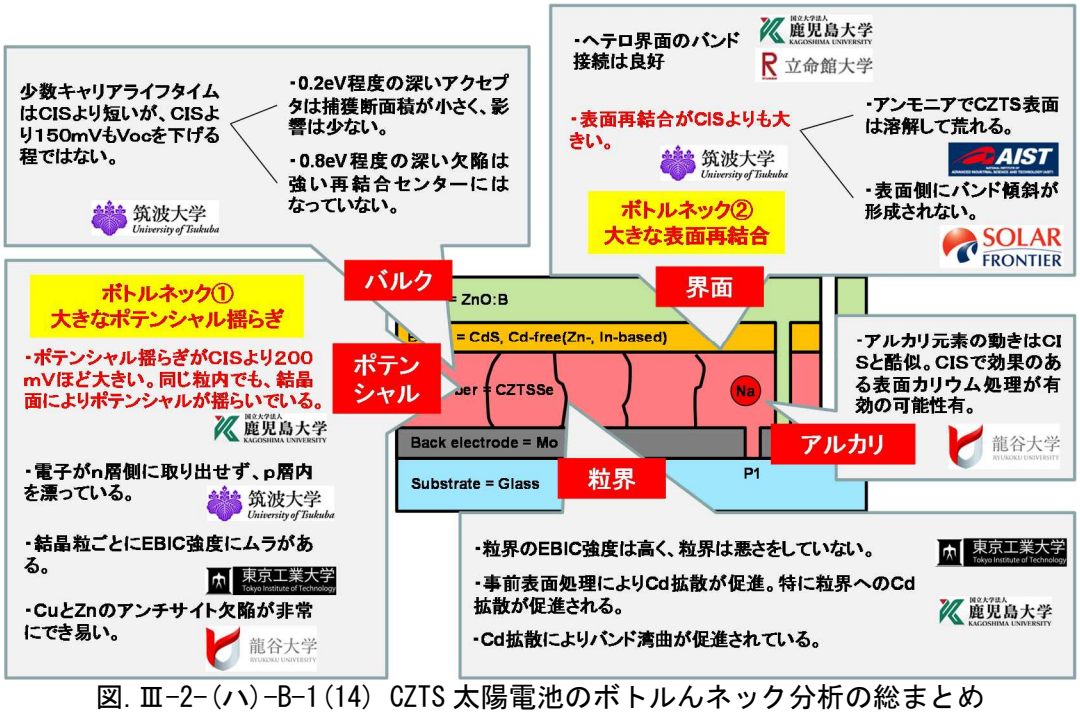


図. Ⅲ-2-(ハ)-B-1(14)　CZTS 太陽電池のボトルんネック分析の総まとめ

2. 実用化・事業化見通し

基本的に CIS 技術の量産展開とフローは全く同一であり、材料とプロセス条件の置き換えのみで CZTS 技術への置き換えを図る。ただし、CZTS 技術は第一段階である性能の実証をクリアしていないため、ボトルネック打開に向けた基礎研究が当面の主体となる。特に経済性計算が成り立ちうるレベルである変換効率（CIS 技術の変換効率マイナス 2%以内）に達した後、量産へ向けた検討に移行する。

3. 波及効果

本プロジェクトは、世界で初めて CZTS 技術を量産まで視野に入れ開発を実施したものであり、CZTS 技術を実用化するための課題が明確となった。本プロジェクトで開発された要素技術の一部は直近の CIS 技術の改善にも寄与するものであり、 CIS 技術の開発加速に寄与するものと思われる。また、本プロジェクトは初めてカルコゲナイド系薄膜太陽電池の開発をオールジャパン体制のコンソーシアムで実施したものであり、密な協力体制が構築された。本ネットワークは今後の開発においても有効に機能すると考えられる。

4. 今後の展開

4.1 実用化に対する課題、今後の方針

小面積の単セル構造における要素技術は、集積構造での性能確認へと発展させていく。また、集積構造で性能確認できている要素技術に関しては、製品サイズでの大面積薄膜での面内均一性と製造プロセスの繰り返し再現性の確認を担保するための検証を行う。上記確認がとれた後、工場での生産技術に順次適用し、量産での性能・歩留り・稼働率の検証、信頼性試験の後、製品にインストールされる。

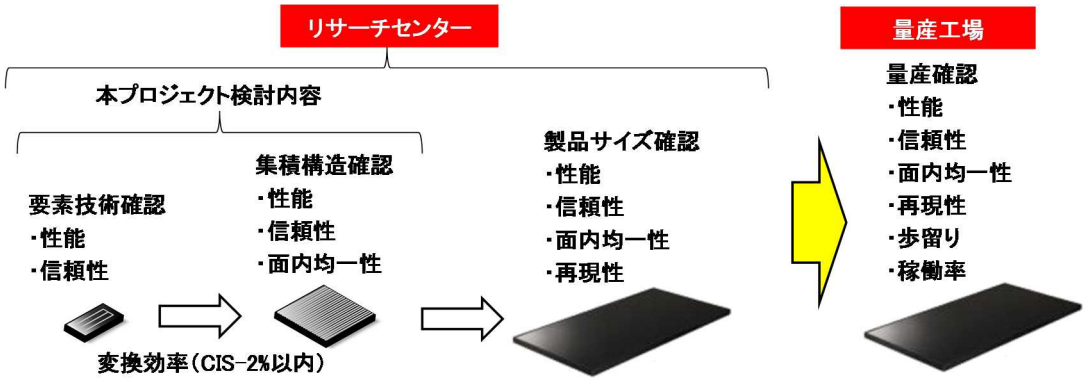


図. Ⅲ-2-(ハ)-B-4(1) 開発から量産までのフロー

4.2 実用化・事業化に向けた具体的取り組み

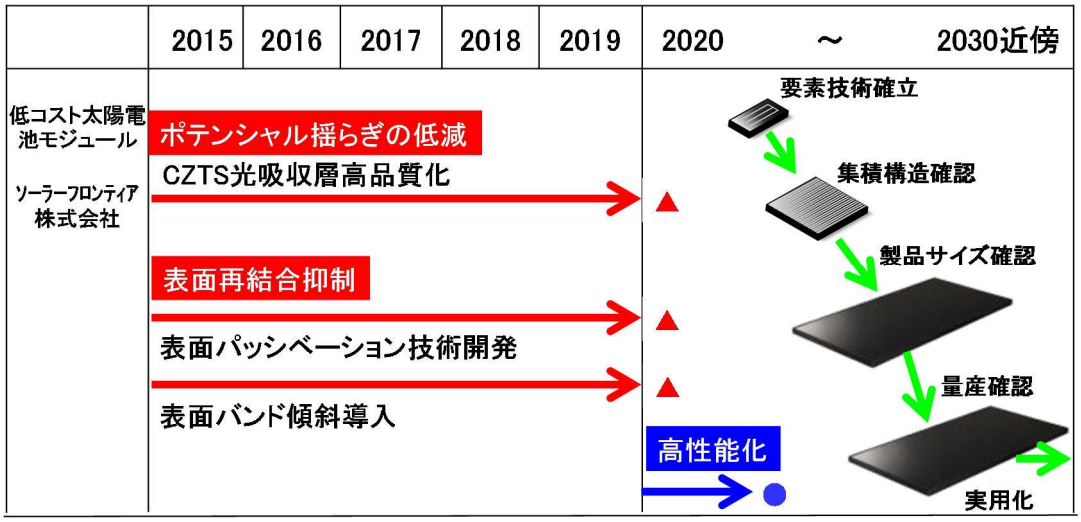


図. Ⅲ-2-(ハ)-B-4(2) 実用化へ向けたスケジュール

5. 特許論文リスト

<全体の成果>

	H22	H23	H24	H25	H26	終了後	計
特許出願（うち外国出願）			0(0)	1(0)	2(1)	2(1)	5(2)件
論文（査読付き）			0(0)	4(2)	10(8)	9(9)	23(19)件
研究発表・講演（うち国際会議）			6(3)	25(12)	33(23)	7(2)	71(40)件
新聞・雑誌等への掲載（うちプレスリリース）			6(1)	0	5(0)	0	11(1)件
受賞実績			0	0	1	0	1件
展示会への出展			0	0	0	1	1件

5.1 ソーラーフロンティア

	H22	H23	H24	H25	H26	終了後	計
特許出願（うち外国出願）			0(0)	1(0)	2(1)	1(1)	4(2)件
論文（査読付き）			0	0	0	0	0件
研究発表・講演（うち国際会議）			3(2)	6(5)	5(1)	1(1)	15(9)件
新聞・雑誌等への掲載（うちプレスリリース）			6(1)	0	1(0)	0	7(1)件
受賞実績			0	0	0	0	0件
展示会への出展			0	0	0	0	0件

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外国PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	ソーラーフロンティア	特願 2013-085922	国内	2013/04/16	出願係属中	太陽電池及び太陽電池の製造方法	廣井 誉、杉本 広紀、加藤 拓也、酒井 紀行
2	ソーラーフロンティア	特願 2014-105964	国内	2014/05/22	出願係属中	太陽電池	杉本 広紀、加藤 拓也、酒井 紀行
3	ソーラーフロンティア	PCT/JP2014/060732	PCT	2014/04/15	出願係属中	太陽電池及び太陽電池の製造方法	廣井 誉、杉本 広紀、加藤 拓也、酒井 紀行
4	ソーラーフロンティア	PCT/JP2015/062430	PCT	2015/04/23	出願係属中	太陽電池	杉本 広紀、加藤 拓也、酒井 紀行

【論文・学会発表】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名	査読	発表年
1	Takuya Kato, Homare Hiroi, Noriyuki Sakai, Satoshi Muraoka, Hiroki Sugimoto	ソーラーフロンティア	Characterization of front and back interfaces on Cu2ZnSnS4 thin-film solar cells	国際会議発表：：27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Frankfurt, Germany	—	平成24年9月
2	H. Sugimoto, H. Hiroi, N. Sakai, S. Muraoka, C. Liao, T. Kato	ソーラーフロンティア	Development of high efficiency CZTS submodules	国際会議発表：：9th Workshop on the Future Direction of Photovoltaics, Tokyo, Japan	—	平成25年3月
3	加藤 拓也，杉本 広紀，白間 英樹	ソーラーフロンティア	CZTS 太陽電池モジュールの開発	国内学会発表：：第60回応用物理学会発表：春季学術講	—	平成25年3月

				演会，神奈川工科大学		
4	Homare Hiroi, Noriyuki Sakai, Takuya Kato, Hiroki Sugimoto	ソーラーフロンティア	High voltage Cu2ZnSnS4 submodules by hybrid buffer layer	国際会議発表：：39th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Tampa, Florida, USA	—	平成25年6月
5	Hiroki Sugimoto, Christopher Liao, Homare Hiroi, Noriyuki Sakai, Takuya Kato	ソーラーフロンティア	Lifetime improvement for high efficiency Cu2ZnSnS4 submodules	国際会議発表：：39th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Tampa, Florida, USA	—	平成25年6月
6	Takuya Kato, Homare Hiroi, Noriyuki Sakai, Hiroki Sugimoto	ソーラーフロンティア	Buffer/absorber interface study on Cu2ZnSnS4 and Cu2ZnSnSe4 based solar cells: band alignment and its impact on the solar cell performance	国際会議発表：：28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France	—	平成25年9月
7	Hiroki Sugimoto	ソーラーフロンティア	Development of high efficiency Cu-chalcogenide thin-film solar modules	国際会議発表：：2013 JSAP-MRS Joint Symposia, Kyoto, Japan	—	平成25年9月
8	H. Sugimoto, N. Sakai, T. Kato	ソーラーフロンティア	Over 10% efficiency Cu2ZnSn(S,Se)4 submodules	国際会議発表：：23rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference, Taipei, Taiwan	—	平成25年10月
9	杉本 広紀	ソーラーフロンティア	CZTS太陽電池の現状と課題	国内学会発表：：学振第175委員会「化合物薄膜太陽電池分科会」第2回研究会，長岡高専	—	平成25年12月
10	杉本 広紀	ソーラーフロンティア	CIS/CZTSの成長技術	国内学会発表：：学振第161委員会第86回研究会「太陽電池用結晶成長の科学と技術の新展開」，名古屋大学，愛知	—	平成26年4月
11	Takuya Kato, Noriyuki Saki, Hiroki Sugimoto	ソーラーフロンティア	Efficiency improvement of Cu2ZnSn(S,Se)4 submodule with graded bandgap and reduced backside ZnS segregation	国際会議発表：：40th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Denver, Colorado, USA	—	平成26年6月

12	杉本 広紀	ソーラーフロンティア	セレン化硫化法によるカルコゲナイド薄膜形成の反応過程	国内学会発表：：学振第175委員会 夏の学校2014 CIGS・CZTS 薄膜の作製プロセスと太陽電池, 龍谷大学	—	平成26年8月
14	杉本 広紀	ソーラーフロンティア	Cu2ZnSn(S,Se)4 ［CZTS］太陽電池の現状と展望	国内学会発表：：応用電子物性分科会 研究例会 化合物半導体太陽電池の現状と展望, 京都	—	平成27年2月
15	Homare Hiroi, Yasuaki Iwata, Kyouhei Horiguchi, Shunsuke Adachi, Noriyuki Sakai, Hiroki Sugimoto	ソーラーフロンティア	960mV Open Circuit Voltage Chalcopyrite Solar Cell	国際会議発表：：42nd IEEE Photovoltaic Specialists Conference, New Orleans, Louisiana, USA	—	平成27年6月

【受賞】

なし

5.2 東京工業大学

	H22	H23	H24	H25	H26	終了後	計
特許出願（うち外国出願）			0	0	0	0	0 件
論文（査読付き）			0	0	0	1(1)	1(1)件
研究発表・講演（うち国際会議）			0	1(0)	1(1)	2(1)	4(2)件
新聞・雑誌等への掲載			0	0	0	0	0 件
受賞実績			0	0	0	0	0 件
展示会への出展			0	0	0	0	0 件

【特許】
なし

【論文・学会発表】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名	査読	発表年
1	仲順秋男，古田健人，酒井紀行，加藤拓也，杉本広紀，黒川康良，山田明	東京工業大学	$Cu_2ZnSn(S,Se)_4$ の表面処理による変換効率改善	第 61 回応用物理学会春季学術講演会（国内会議）	無	平成 26 年 3 月
2	K.Furuta, N.Sakai, T.Kato, H.Sugimoto, Y.Kurokawa, A.Yamada	東京工業大学	Improvement of $Cu_2ZnSn(S,Se)_4$ solar cells efficiency by surface treatment	19th International Conference on Ternary and Multinary（国際会議）	有	平成 26 年 9 月
3	K.Furuta, N.Sakai, T.Kato, H.Sugimoto, Y.Kurokawa, A.Yamada	東京工業大学	Improvement of $Cu_2ZnSn(S,Se)_4$ solar cells efficiency by surface treatment	Physica Status Solidi C12 (2015) 704	有	平成 27 年 6 月
4	古田健人，渡辺　基，酒井紀行，加藤拓也，杉本広紀，山田明	東京工業大学	$Cu_2ZnSn(S,Se)_4$ 薄膜太陽電池の光吸収層への表面処理の評価	第 76 回応用物理学会秋季学術講演会（国内会議）	無	平成 27 年 9 月
5	K.Furuta, M.Watanabe, N.Sakai, T.Kato, H.Sugimoto, A.Yamada	東京工業大学	Evaluation of thiourea treated $Cu_2ZnSn(S,Se)_4$ solar cells	25th International Photovoltaic Science and Engineering Conference and Exhibition（国際会議）	有	平成 27 年 11 月

【受賞】
なし

5.3 立命館大学

	H22	H23	H24	H25	H26	終了後	計
特許出願（うち外国出願）			0	0	0	0	0件
論文（査読付き）			0	0	2	3	5件
研究発表・講演（うち国際会議）			0	1(0)	3(1)	0(0)	4(1)件
新聞・雑誌等への掲載			0	0	0	0	0件
受賞実績			0	0	0	0	0件
展示会への出展			0	0	0	0	0件

【特許】
なし

【論文・学会発表】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名	査読	発表年
1	D. Hironiwa, N. Matsuo, N. Sakai, T. Katou, H. Sugimoto, J. Chantana, Z. Tang, T. Minemoto	立命館大学, ソーラーフロンティア	Sputtered (Zn,Mg)O buffer layer for band offset control in $Cu_2ZnSn(S,Se)_4$ solar cells	【論文】Japanese Journal of Applied Physics 53 (2014) 106502-1-6.	有	H26
2	D. Hironiwa, J. Chantana, N. Sakai, T. Katou, H. Sugimoto, T. Minemoto	立命館大学, ソーラーフロンティア	Application of Multi-Buffer Layer of (Zn,Mg)O/CdS in $Cu_2ZnSn(S,Se)_4$ Solar Cells	【論文】Current Applied Physics 15 (2015) 383-388.	有	H27
3	N. Matsuo, D. Hironiwa, J. Chantana, N. Sakai, T. Kato, H. Sugimoto, T. Minemoto	立命館大学, ソーラーフロンティア	Evaluation of sputtering damage in $Cu_2ZnSn(S,Se)_4$ solar cells with CdS and (Cd, Zn)S buffer layers by photoluminescence	【論文】Jpn. J. Appl. Phys. 54 (2015) 042302-1-5.	有	H27
4	D. Hironiwa, N. Sakai, T. Kato, H. Sugimoto, Z.Tang, J. Chantana, T. Minemoto	立命館大学, ソーラーフロンティア	Impact of Annealing Treatment Before Buffer Layer Deposition on $Cu_2ZnSn(S,Se)_4$ Solar Cell	【論文】Thin Solid Films 582 (2015) 151-153.	有	H27
5	D. Hironiwa, R. Takai, J. Chantana, N. Sakai, T. Katou, H. Sugimoto, T. Minemoto	立命館大学, ソーラーフロンティア	Effect of ammonia etching on structural and electrical properties of Cu2ZnSn(S,Se)4 absorbers	【論文】Appl. Surf. Sci. 335 (2015) 209-213.	有	H27
6	D. Hironiwa, N. Sakai, T. Kato, H. Sugimoto, R. Takai, J. Chantana, T. Minemoto	立命館大学, ソーラーフロンティア	Impact of Annealing Treatment Before Buffer Layer Deposition on $Cu_2ZnSn(S,Se)_4$ Solar Cell	【国際会議】2014 European Material Research Society Spring Meeting(Lille)	無	H26

7	廣庭大輔，加藤拓也、杉本広紀、白間英樹、田中良明、高井諒、Jakapan Chantana、峯元高志	立命館大学，ソーラーフロンティア	$Cu_2ZnSn(S_x,Se_{1-x})4$ 太陽電池へのバッファ層形成前のアニール処理効果	【国内学会】 第 61 回応用物理学会春季学術講演会、青山学院大学	無	H26
8	松尾寿大、廣庭大輔、石崎雄也、酒井紀行、加藤拓也、杉本広紀、峯元高志	立命館大学，ソーラーフロンティア	フォトルミネッセンスを用いた $Cu_2ZnSn(S,Se)_4$ 太陽電池のスパッタダメージの定量化	【国内学会】 第 11 回「次世代の太陽光発電」シンポジウム、宮崎観光ホテル	無	H26
9	松尾寿大、廣庭大輔、酒井紀行、加藤拓也、杉本広紀、峯元高志	立命館大学，ソーラーフロンティア	$Cu_2ZnSn(S,Se)_4$ 太陽電池におけるハイブリッドバッファ層の検討	【国内学会】 第 62 回応用物理学会春季学術講演会，東海大学	無	H27

【受賞】

なし

5.4 産業技術総合研究所

	H22	H23	H24	H25	H26	終了後	計
特許出願（うち外国出願）			0(0)	0(0)	0(0)	1(0)	1(0)件
論文（査読付き）			0(0)	0(0)	4(4)	0(0)	4(4)件
研究発表・講演（うち国際会議）			1(1)	4(2)	9(5)	1(0)	15(8)件
新聞・雑誌等への掲載			0	0	1	0	1件
受賞実績			0	0	0	0	0件
展示会への出展			0	0	0	0	0件

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外国PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	中鉢良治	特願 2015-113043	国内	2015年6月3日		太陽電池とその製造方法	反保衆志、Kim Shinho、Kim Kangmin、柴田肇、松原浩司、仁木栄

【論文・学会発表】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名	査読	発表年
1	Y. Hirata, et al.	岐阜大学、産業技術総合研究所	Dielectric functions of $Cu_2ZnSnSe_4$ and Cu_2SnSe_3 semiconductors	Journal of Applied Physics, 117, 015702 (2015)	有	2015
2	K.M. Kim, et al.	産業技術総合研究所	$Cu_2ZnSnSe_4$ thin-film solar cells fabricated using Cu_2SnSe_3 and ZnSe bilayers	Applied Physics Express 8, 042301 (2015)	有	2015
3	K.M. Kim, et al.	産業技術総合研究所	Narrow-bandgap Cu2Sn1-xGexSe3 thin film solar cells	Materials Letter 158, 205 (2015)	有	2015
4	S. Kim, et al.	産業技術総合研究所	Ge-incorporated Cu2ZnSnSe4 thin-film solar cells with efficiency greater than 10%	Solar Energy Materials & Solar Cells 印刷中	有	2015
5	H. Tampo et al.	産業技術総合研究所	$Cu_2ZnSnSe_4$ Solar Cells Grown by Coevaporation	IUMRS, Busan, Korea, 2012/8/28	無	2012
6	H. Tampo et al.	産業技術総合研究所	Automatic fixed composition of $Cu_2ZnSnSe_4$-based materials by coevaporation method	MRS Spring Meeting , San Francisco, 2013/4/2	無	2013
7	K. M. Kim et al.	産業技術総合	Effect of substrate temperature on the growth of	2013 JSAP-MRS joint	無	2013

		研究所	Cu_2SnSe_3 Thin Films,	symposia, Kyoto, 2013/9/1		
8	帖地、他	鹿児島大学、産業技術総合研究所	MBE-CdS/CZTSSe 界面バンド接続のその場 PES/IPES 評価	第 74 回応用物理学会秋季学術講演会、同志社大学、2013/9/17	無	2013
9	平手、他	岐阜大学、産業技術総合研究所	分光エリプソメトリーによる $Cu_2ZnSnSe_4$ 薄膜の光吸収係数評価	第 74 回応用物理学会秋季学術講演会、同志社大学、2013/9/17	無	2013
10	帖地、他	鹿児島大学、産業技術総合研究所	MBE-CdS/CZTSSe 界面の in-situ PES/IPES 評価; VI 族混晶比依存性	第 61 回応用物理学会春季学術講演会、青山学院大学、2014/3/18	無	2014
11	箕浦、他	岐阜大学、産業技術総合研究所	分光エリプソメトリーを用いた Cu2SnSe3 薄膜の光学特性評価	第 61 回応用物理学会春季学術講演会、青山学院大学、2014/3/18	無	2014
12	K. M. Kim et al.	産業技術総合研究所	Chracterization of Cu_2SnSe_3 thin films prepared by coevaporation and postannealing	Grand Renewable Energy 2014、東京ビックサイト、2014/7/31	無	2014
13	K. M. Kim et al.	産業技術総合研究所	ゲルマニウム添加した Cu_2SnSe_3 薄膜の成長及びその太陽電池特性	応用物理学会，北海道大学、2014/09/18	無	2014
14	S. Kim et al.	産業技術総合研究所	The investigation of Ge substitution effects in $Cu_2ZnSnSe_4$ Thin film solar cells	応用物理学会，北海道大学、2014/09/18	無	2014
15	S. Minoura et al.	岐阜大学、産業技術総合研究所	Optical properties of $Cu_2ZnSnSe_4$ and Cu_2SnSe_3 thin films studied by spectroscopic ellipsometry,	6th World Conference on Photovoltaic Energy Converion , Kyoto International Conference Center, 2014/11/25	無	2014
16	S. Kim et al.	産業技術総合研究所	The investigation of Ge substitution effects in $Cu_2ZnSnSe_4$,	The 6th World Conference on Photovoltaic Energy Converion , Kyoto International Conference Center 、2014/11/25	無	2014
17	M. A. Halim et al.	筑波大学、産業技術	Minority-carrier lifetime in $Cu2ZnSn(S,Se)_4$ thin films with different Cu/Sn ratio	The 6th World Conference on Photovoltaic	無	2014

		総合研究所		Energy Converion , Kyoto International Conference Center, 2014/11/26		
18	X. Luo et al.,	産業技術総合研究所	Effect of Cu/Sn Ratio on defect properties of $Cu2ZnSn(S,Se)_4$ thin film	The 6th World Conference on Photovoltaic Energy Converion , Kyoto International Conference Center, 2014/11/26	無	2014
19	S. Kim et al.	産業技術総合研究所	The investigation of Ge incorporation effects in Cu2ZnSnSe4 thin-film solar cells (2)	第 76 回応用物理学会秋季学術講演会, 15a-2M-11, 2015/9/15	無	2015

【受賞】
なし

5.5 筑波大学

	H22	H23	H24	H25	H26	終了後	計
特許出願（うち外国出願）			0	0	0	0	0件
論文（査読付き）			0	0	0	2	2件
研究発表・講演（うち国際会議）			0	5 (1)	5 (5)	1 (0)	11(6)件
新聞・雑誌等への掲載			0	0	1	0	1件
受賞実績			0	0	0	0	0件
展示会への出展			0	0	0	0	0件

【特許】
なし

【論文・学会発表】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名	査読	発表年
1	櫻井岳暁	筑波大学	アドミッタンススペクトロスコピーによる電子物性評価	国内学会発表：学振第 175 委員会化合物薄膜太陽電池分科会 使える・理解できる化合物薄膜太陽電池のキャラクタリゼーション，龍谷大学，京都	—	平成 25 年 8 月
2	Takeaki Sakurai	筑波大学	Defect characterization for chalcogenide thin film absorbers	国際会議発表：The 2nd Malaysia-Japan Joint Workshop on Compound Solar Cells and Systems, Selangor, Malaysia	—	平成 26 年 1 月
3	M. Islam, M. Halim, C. Jyo, T. Sakurai, N. Sakai, T. Kato, H. Sugimoto , H. Tampo, H. Shibata, S. Niki, K. Akimoto	筑波大学，ソーラーフロンティア，産総研	Al/Cu2ZnSn(S,Se)4 ショットキ ジャンクションのアドミッタンススペクトロスコピー	国内学会発表：第 61 回応用物理学会春季学術講演会，青山学院大学，神奈川	—	平成 26 年 3 月
4	M. Islam, M. Halim, C. Jyo, T. Sakurai, N. Sakai, T. Kato, H. Sugimoto , H. Tampo, H. Shibata, S. Niki, K. Akimoto	筑波大学，ソーラーフロンティア，産総研	Cu2ZnSn(S,Se)4 薄膜太陽電池 のトランジェントフォトキャパシタンス スペクトロスコピー	国内学会発表：第 61 回応用物理学会春季学術講演会，青山学院大学，神奈川	—	平成 26 年 3 月
5	M. Halim, M. Islam, C. Jyo, T. Sakurai, N. Sakai, T. Kato, H. Sugimoto , H. Tampo, H. Shibata,	筑波大学，ソーラーフロンティア，産総	二波長フォトルミネッセンス分光による Cu2ZnSnS4（CZTS）のキャラクタリゼーション	国内学会発表：第 61 回応用物理学会春季学術講演会，青山学院大学，神奈川	—	平成 26 年 3 月

	S. Niki, K. Akimoto	研				
6	X. Luo, M. Islam, M. Halim, C. Xu, T. Sakurai, N. Sakai, T. Kato, H. Sugimoto, H. Tampo, H. Shibata, S. Niki, K. Akimoto	筑波大学, ソーラーフロンティア, 産総研	Defect study of Cu2ZnSn(S,Se)4 thin film with different Cu/Sn ratio by admittance spectroscopy	国際会議発表：40th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Denver, Colorado, USA	—	平成 26 年 6 月
7	M. Halim, M. Islam, X. Luo, C. Xu, T. Sakurai, N. Sakai, T. Kato, H. Sugimoto, H. Tampo, H. Shibata, S. Niki, K. Akimoto	筑波大学, ソーラーフロンティア, 産総研	Study of recombination process in Cu2ZnSnS4 thin film using two-wavelength excited photoluminescence	国際会議発表：40th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Denver, Colorado, USA	—	平成 26 年 6 月
8	Takeaki Sakurai	筑波大学	Electrical and optical characterization of compound semiconductors for solar cells	国際会議発表：9th International Conference on Ternary and Multinary Compounds, Niigata, Japan	—	平成 26 年 9 月
9	M. Halim, M. Islam, X. Luo, C. Xu, T. Sakurai, N. Sakai, T. Kato, H. Sugimoto, H. Tampo, H. Shibata, S. Niki, K. Akimoto	筑波大学, ソーラーフロンティア, 産総研	Minority-carrier Lifetime in Cu2ZnSn(S,Se)4 Thin Films with Different Cu/Sn Ratio	国際会議発表：6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Kyoto, Japan	—	平成 26 年 11 月
10	X. Luo, M. Islam, M. Halim, T. Sakurai, N. Sakai, T. Kato, H. Sugimoto, H. Tampo, H. Shibata, S. Niki, K. Akimoto	筑波大学, ソーラーフロンティア, 産総研	Effect of Cu/Sn Ratio on Defect Properties of Cu2ZnSn(S,Se)4 Thin Film	国際会議発表：6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Kyoto, Japan	—	平成 26 年 11 月
12	M. Halim, M. Islam, X. Luo, C. Xu, T. Sakurai, N. Sakai, T. Kato, H. Sugimoto, H. Tampo, H. Shibata, S. Niki, K. Akimoto	筑波大学, ソーラーフロンティア, 産総研	Study of time-resolved photoluminescence (TR-PL) in Cu2Zn-Sn(S,Se)4 thin films with different Cu/Sn ratio	国内学会発表：第 62 回応用物理学会春季学術講演会, 東海大学, 神奈川	—	平成 27 年 3 月
13	M. Islam, M. Halim, T. Sakurai, N. Sakai, T. Kato, H. Sugimoto, H. Tampo, H. Shibata, S. Niki, K. Akimoto	筑波大学, ソーラーフロンティア, 産総研	Determination of deep-level defects in Cu2ZnSn(S,Se)(4) thin-films using photocapacitance method	学術誌投稿論文：Appl. Phys. Lett., 106, 243905	有	平成 27 年
14	M. Halim, M. Islam, X. Luo, T. Sakurai, N. Sakai, T. Kato, H. Sugimoto, H. Tampo, ; Shibata, S. Niki, K. Akimoto	筑波大学, ソーラーフロンティア, 産総研	Study of time-resolved photoluminescence in Cu2ZnSn(S,Se)(4) thin films with different Cu/Sn ratio	学術誌投稿論文：Jpn. J. Appl. Phys., 54, 08KC15	有	平成 27 年

【受賞】

なし

5.6 龍谷大学

	H22	H23	H24	H25	H26	終了後	計
特許出願（うち外国出願）			0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)件
論文（査読付き）			0(0)	4(2)	2(0)	2(2)	8(4)件
研究発表・講演（うち国際会議）			1(0)	7(4)	8(7)	0(0)	16(11)件
新聞・雑誌等への掲載			0	0	0	0	0件
受賞実績			0	0	1	0	1件
展示会への出展			0	0	0	1	1件

【特許】
なし

【論文・学会発表】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名	査読	発表年
1	T. Maeda T. Wada	龍谷大	First-principles studies on Cd doping in $CuInSe_2$ and related compounds during chemical bath deposition of CdS buffer layer	Jpn. J. Appl. Phys. 5, 061201 (2013) (DOI: 10.7567/JJAP.52.061201)	○	2013.5.21
2	T. Maeda T. Wada	龍谷大	First-Principles Study on Diffusion of Cd in $CuInSe_2$	Mater. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 1538, pp. 179-183 (2013). (DOI:10.1557/opl.2013.1002)	○	2013.8.1
3	T. Maeda S. Nakamura T. Wada	龍谷大	First-principles calculations of diffusion of constituent atoms inCu_2ZnSnS_4 and $Cu_2ZnSnSe_4$	Proceeding of 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition(28th EU PVSEC)		2013.11.20
4	T. Maeda A. Kawabata T. Wada	龍谷大	First-principles calculations of diffusion of Na in $CuInSe_2$ and $CuGaSe_2$	Technical Digest of PVSEC-23, 3-P-50.		2013.10.28
5	Maeda A. Kawabata T. Wada	龍谷大	First-Principles Study on Alkali-Metal Effect of Li, Na and K in $CuInSe_2$ and $CuGaSe_2$	Technical Digest of the 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6), 3MoO.3.3.		2014.11.27
6	Shigemi T. Wada	龍谷大	First-Principles Study on Interface between $Cu_2ZnSn(S,Se)_4$ and Back Electrode, Mo and Other	Technical Digest of the 6th World Conference on Photovoltaic Energy		2014.11.27

			Metals	Conversion (WCPEC-6), 3WePo.6.12		
7	T. Maeda, A. Kawabata, T. Wada	龍谷大	First-principles study on alkali-metal effect of Li, Na, and K in Cu_2ZnSnS_4 and $Cu_2ZnSnSe_4$	Phys. Status Solidi C 12, No. 6, 631–637 (2015). (DOI 10.1002/pssc.201400345)	○	2015.5.26
8	T. Maeda, A. Kawabata, T. Wada	龍谷大	First-principles study on alkali-metal effect of Li, Na, and K in $CuInSe_2$ and $CuGaSe_2$	Jpn. J. Appl. Phys., 54, 08KC20.(2015).(doi:10.7567/JJAP.54.08KC20)	○	2015.6.28
9	和田隆博 中村哲士 高 峰 前田 毅	龍谷大	Cu_2ZnSnS_4 系太陽電池化合物の材料設計	2013 年 第 60 回応用物理学会春季学術講演会(神奈川工科大学)		2013.3.27
10	T. Maeda T. Wada	龍谷大	First-principles study on diffusion Cd and Zn in $CuInSe_2$	2013MRS Spring Meeting & Exhibition		2013.4.3
11	前田 毅 和田隆博	龍谷大	第一原理計算による $CuInSe_2$ 中の Cd および Zn 拡散に関する研究	日本学術振興会 産学協力研究委員会 次世代の太陽光発電システム第 175 委員会 第 10 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム		2013.5.23
12	前田 毅 和田隆博	龍谷大	$CuInSe_2$ 系化合物薄膜太陽電池材料における化学結合と材料設計	第 8 回日本セラミックス協会 関西支部学術講演会		2013.7.26
13	繁實章夫 和田隆博	龍谷大	第一原理計算による化合物薄膜太陽電池の光吸収層/Mo 界面に関する研究	第 74 回応用物理学会秋季学術講演会		2013.9.17
14	T. Maeda S. Nakamura T. Wada	龍谷大	First principles calculations on diffusion of Cu, In, Ga atoms in $Cu(In,Ga)Se_2$	2013 JSAP-MRS Joint Symposia		2013.9.20
15	T. Maeda S. Nakamura T. Wada	龍谷大	First-principles calculations of diffusion of constituent atoms in Cu_2ZnSnS_4 and $Cu_2ZnSnSe_4$	28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (28th EU PVSEC)		2013.10.1
16	T. Maeda A. Kawabata T. Wada	龍谷大	First-principles calculations of diffusion of Na in $CuInSe_2$ and $CuGaSe_2$	PVSEC-23		2013.10.28
17	T. Wada T. Maeda	龍谷大	Development of Cu Chalcogenide Photovoltaic Materrials,$CuInSe_2$, Cu_2ZnSnS_4, Cu_2SnS_3 and Related Compounds	The 40th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC-40) [招待講演]		2014.6.8

18	T. Maeda T. Wada	龍谷大	First-principles insight into difference of Cu_2ZnZnS_4 and $Cu_2ZnZnSe_4$ from $CuInSe_2$	Grand Renewable Energy 2014 (GRE2014) international conference		2014.7.27
19	T. Wada T. Maeda	龍谷大	Development of Cu Chalcogenide Photovoltaic Materrials, $CuInSe_2$, Cu_2ZnSnS_4 and Related Compounds	The 15th IUMRS-International Conference in Asia (IUMRS-ICA 2014) [招待講演]		2014.8.24
20	T. Maeda T. Wada	龍谷大	First Principles insights on characteristics of $CuInSe_2$ and Cu_2ZnSnS_4 based photovoltaic semiconductors	19th International Conference on Ternary and Multinary Compounds (ICTMC-19)		2014.9.1
21	T. Maeda T. Wada	龍谷大	First-principles study on alkali-metal effect of Li, Na, and K in Cu_2ZnSnS_4 and $Cu_2ZnSnSe_4$	19th International Conference on Ternary and Multinary Compounds(ICTMC-19)		2014.9.1
22	T. Maeda A. Kawabata T. Wada	龍谷大	First-principles Study on Alkali-metal Effect of Li, Na, and K in $CuInSe_2$ and $CuGaSe_2$	6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6)		2014.11.24
23	A. Shigemi T. Wada	龍谷大	First-principles Study on Interface Between $Cu_2ZnSn(S,Se)_4$ and Back Electrode, Mo and Other Metals	6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6)		2014.11.24
24	前田 毅 和田隆博	龍谷大	第一原理計算による $CuInSe_2$ 系太陽電池材料中の原子拡散の評価と薄膜作製プロセス	第 53 回セラミックス基礎科学討論会		2015.1.9

【受賞】

Tsuyoshi Maeda: Young Researcher Award
ICTMC-19(International Conference Ternary and Multinary Compound)
September 1-5, 2014, Toki Messe(Niigata Convention Center), Niigata, Japan
TiTle “First-Principles study on alkali-metal effect of Li, Na, and K in Cu_2ZnSnS_4 and $Cu_2SnSnSe_4$”
Authors : **T. Maeda**, A. Kawabata and T. Wada
Affiliations : Department of Materials Chemistry, Ryukoku University

5.7 鹿児島大学

	H22	H23	H24	H25	H26	終了後	計
特許出願（うち外国出願）			0	0	0	0	0件
論文（査読付き）			0(0)	0(0)	2(2)	1(1)	3(3)件
研究発表・講演（うち国際会議）			1	1	3(3)	2	7(3)件
新聞・雑誌等への掲載			0	0	1	0	1件
受賞実績			0	0	0	0	0件
展示会への出展			0	0	0	0	0件

【特許】
なし

【論文・学会発表】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名	査読	発表年
1	N. Terada, H. Morita, K. Chochi, S. Yoshimoto, M. Mitsunaga, S. Ishizuka, H. Shibata, A. Yamada, K. Matsubara, S. Niki	Kagoshima Univ, AIST	Characterization of electronic structure of oxysulfide buffers and band alignment at buffer/absorber interfaces in Cu(In,Ga)Se_2-based solar cells	Japanese Journal of Applied Physics 53, 05FW09 (2014).	有	平成26年
2	M. Hiroi, T. Higashiuchi, T. Ogawa, I. Shigeta, M. Ito, H. Manaka, N. Terada	Kagoshima Univ.	Substitution Effects in the Antiferromagnetic Heusler Compound Ru2CrSi	J, PS Conf. Proc., Vol.3, pp.014024,-(2014).	有	平成26年
3	Norio Terada, Sho Yoshimoto, Kosuke Chochi, Takayuki Fukuyama, Masahiro Mitsunaga a,Hitoshi Tampo, Hajime Shibata, Koji Matsubara, Shigeru Niki, Noriyuki Sakai,Takuya Katou, Hiroki Sugimoto	Kagoshima Univ, AIST, Showa Shell Sekiyu (Solar Frontier)	Characterization of electronic structure of $Cu_2ZnSn(S_xSe_{1-x})_4$ absorber layer and CdS/$Cu_2ZnSn(S_xSe_{1-x})_4$ interfaces by *in-situ* photoemission and inverse photoemission spectroscopies	Thin Solid Films vol.582, pp.166–170 (2015).	有	平成27年
4	寺田教男，森田英揮，帖地宏典，吉本翔，桐原彬嘉，仁木栄，反保衆志，柴田肇，松原浩司，白間英樹，杉本広紀，加藤拓也	鹿児島大、産総研、昭和シェル石油（ソーラーフロンティア）	CZTS 系材料の物性・界面評価（正・逆光電子分光法による CZTS，CZTSe 光吸収層の電子構造評価）	第 60 回応用物理学会春期学術講演会		平成25年

5	帖地宏典，森田英揮，吉本翔，福山貴之，反保衆志，柴田肇，松原浩司，仁木栄，酒井紀行，加藤拓也，杉本広紀，寺田教男	鹿児島大、産総研、昭和シェル石油（ソーラーフロンティア）	MBE-CdS/CZTSSe 界面の in-situ PES/IPES 評価；VI 族混晶比依存性	第 61 回応用物理学会春期学術講演会		平成 26 年
6	N. Terada, S. Yoshimoto, K. Chochi, T. Fukuyama, M. Mitsunaga, H. Tampo, H. Shibata, K. Matsubara, S. Niki, N. Sakai, T. Kato, H. Sugimoto	Kagoshima Univ, AIST, Showa Shell Sekiyu (Solar Frontier)	Characterization of electronic structure of CZTSSe absorber layer and CdS/CZTSSe interfaces by PES/IPES	2014 Spring Meeting European Materials Research Society		平成 26 年
7	M. Mitsunaga, Y. Suwahara, K. Sasaki, H. Tampo, H. Shibata, K. Matsubara, S. Niki, Y. Tanaka, H. Sugimoto, T. Kato, N. Terada	Kagoshima Univ, AIST, Showa Shell Sekiyu (Solar Frontier)	Study of band alignment at ZnMgO/CZTSSe interface by in-situ PES/IPES	IUMRS-ICA		平成 26 年
8	K. Chochi, S. Yoshimoto, T. Fukuyama, M. Mitsunaga, K. Obara, T. Okuda, T. Fukano, S. Tajima, K. Higuchi, N. Terada	Kagoshima Univ.	In-situ Characterization of band alignment at CdS/CZTS Interface;Impact of post-annealing	WCPEC 2014		平成 26 年
9	諏訪原裕貴，光永将宏，佐々木一成，宇高雄亮，反保衆志，柴田肇，松原浩司，仁木栄，酒井紀行，加藤拓也，杉本広紀，寺田教男	鹿児島大、産総研、昭和シェル石油（ソーラーフロンティア）	$Zn_{1-x}Mg_xO/Cu_2ZnSn(S, Se)_4$ 界面のバンド接続の in-situ 評価	第 62 回応用物理学会春季学術講演会		平成 27 年
10	宇高雄亮，諏訪原裕貴,川村末洋，高木信一，川崎健太，柴田肇，松原浩司，仁木栄，酒井紀行，加藤拓也，杉本広紀，寺田教男	鹿児島大、産総研、昭和シェル石油（ソーラーフロンティア）	$Zn_{1-x}Mg_xO/Cu_2ZnSn(S_ySe_{1-y})_4$ 界面バンド接続の in-situ 評価	第 76 回応用物理学会秋季学術講演会		平成 27 年

【受賞】

なし

C フレキシブル CIGS 太陽電池モジュール高効率化研究

1. 成果詳細

1.1 課題1の成果

「課題１：フレキシブル基板上の CIGS 集積型モジュール作製技術の開発
10×10cm 基板で達成した性能を大面積（30×30cm)、高生産性条件（高速成膜、ロール・トゥ・ロールプロセス）にて実現する。」に関する成果詳細を報告する。

表Ⅲ-2-(ハ)-C-1(1)

最終目標		研究開発成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
課題１：30cm□フレキシブル CIGS 集積型モジュールで変換効率 18%以上を達成する		作成プロセスの構築は（下記(a)）は完了したがこの工程で作成した集積型太陽電池の性能確認に至っていない。	×	インジュウム法規制に伴う設備対応が必要。
(a)	Roll toRoll プロセス開発（アルバック/富士フイルム） ・真空成膜装置開発（アルバック） ・レーザスクライブ装置開発および処方設計（富士フイルム）	Roll toRoll による CIGS 層、Na 供給層、裏面電極層を形成する製膜装置の開発およびプロセス構築まで完了し、以下の素子性能を確認した。 (1)変換効率　13.6％（ 3cm 金属箔基板)、 (2)変換効率　11.5％（ 3cm□ポリマー基板) ※成膜レートを 0.04 μm/min（ﾊﾞｯﾁ蒸着機）　⇒0.13μm/min までの高速化達成	○	研究目標達成により終息する。
(b)	CIGS 層の高速製膜・高性能化プロセス開発、および Na 供給層のプロセス開発（富士フイルム/産総研）	課題に対する各種処方検討を行い下記の性能を達成した。 絶縁層付金属箔基板 ①10cm□　効率 15.9% ② 3cm□サイズ　効率 18.1% ポリマー基板 ① 10cm□　　効率 7.3% ② 3cm□　　効率 14.1%	×	インジュウム法規制に伴う設備対応が必要。
(c)	フレキシブル基板上でのスクライブ技術開発（富士フイルム/産総研）	Mo 下地電極レーザスクライブ条件を見直し加工損傷による電流リーク量を 10-6A/cm2 から太陽電池変換効率に影響を及ぼさない 10-8A/cm2 まで抑制した。	○	研究目標達成により終息する。
(d)	バッファー層形成技術 確立（富士フイルム） ・30cm□バッファー層形成技術 ・Cd フリーバッファー層形成技術	30cm□サイズでの面内バッファー層膜厚分布を±15%以下に抑えることができた。この分布による変換効率のバラツキは 0.5%以下である。 Zn（O,S)系バッファー層材料設計を完了し、CdS バッファー層素子同等の変換効率 17.4％（ 3cm□サイズ）のセル性能を達成した。	○	
(e)	軽量封止モジュール技術（富士フイルム）	当社ガスバリアフィルムを用いることより、ガラス使用モジュールと比べ遜色ない、ポリカーボーネート 軽量モジュー	○	

		ルの耐候性、耐久性を実現した。 (1)1000H 85℃、85%（IEC61730 規格指定条件）にて、変換効率の低下がないことを確認し、バリアフィルムの有効性を実証した。 (2)IEC61646 規格検証項目の内、ポリカーボネート導入に伴う耐性項目（紫外線劣化、ヒートショックを重点的に確認し規格を満たしていることを確認した。		

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：△、　未達：×

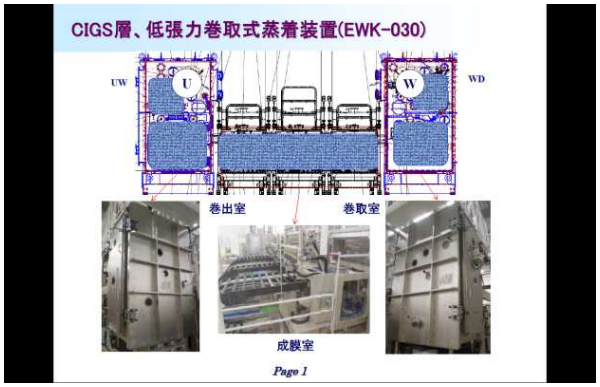
1.2 課題1の個別成果説明

表Ⅲ-2-(ハ)-C-1(1)に記載されている個別テーマの成果詳細を説明する

(a) Roll to Roll 真空製膜装置開発（アルバック/富士フイルム）

(a-1)CIGS 層蒸着装置巻取り機構（薄物基板対応）（アルバック）

ローラーフォーメーション、ガイドローラー構造等を最適化することによって、適正な低張力を維持しつつ、成膜中の基板温度を 400℃以上に設定した状態においても、所定膜厚の CIGS 層を形成し、WD ローラー側に正常に巻き取れることを確認出来た（図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(1)）。



図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(1) Roll to Roll 真空製膜装置

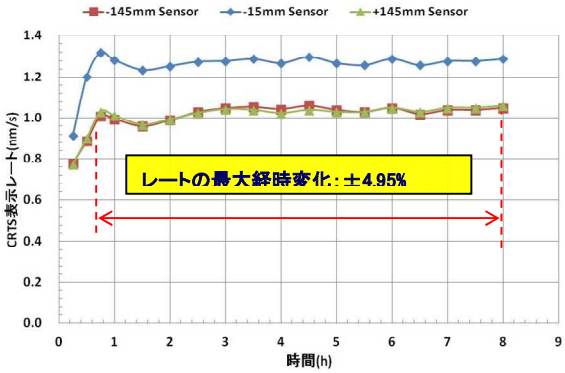
(a-2)基板加熱 IR ランプ・ヒーターの長寿命化（アルバック）

IR ランプ・ヒーター端子部の構造改良及び運用ソフトを最適化することによって、Se 蒸気の雰囲気においても、長時間使用可能なヒーターを作製した。現状３００時間程度以上の耐久寿命を確認した。

(a-3)In、Ga 成膜用蒸発源の膜厚分改善（アルバック）

バッチ装置を用い、ソース単体の蒸発レート分布の経時変化 data を取得し、使用条件及び、その補正方法に関する知見を得た。

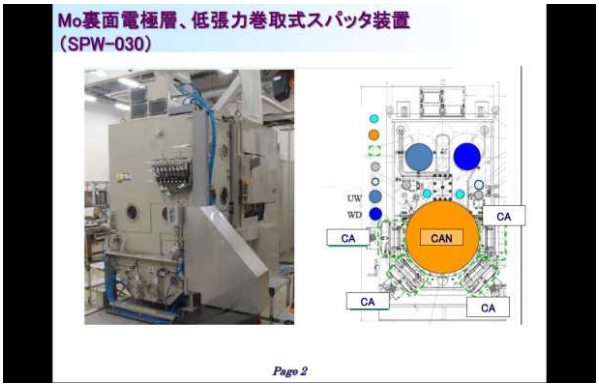
CRTM（水晶振動子モニター）で蒸発レートのモニタリングを行いながら、ラインソース約 8 時間の蒸着レート調整実験を行った結果、一定時間間隔でパワー補正を行うことによって、図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(2)のように昇温開始 45 分後から 8 時間後まで、レートの経時変化を５%以内に制御可能なことが明らかになった。経時的に均一な膜厚分布・安定な膜組成を得ることができる制御的因子についての知見を得ることができた。



図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(2) 蒸発源安定性

(a-4)Se 蒸発源構成材料の耐食性改善（アルバック）

貴金属やセラミックス等 Se 耐性の高い壁材料評価を行い、より信頼性のある蒸発源構造材及びその表面処理技術に関する data を取得し、今後の恒久的構造材料についての知見を得た。



図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(3) 裏面電極スパッタ装置

(a-5)裏面電極用スパッタ成膜装置　プロセス改善（アルバック）

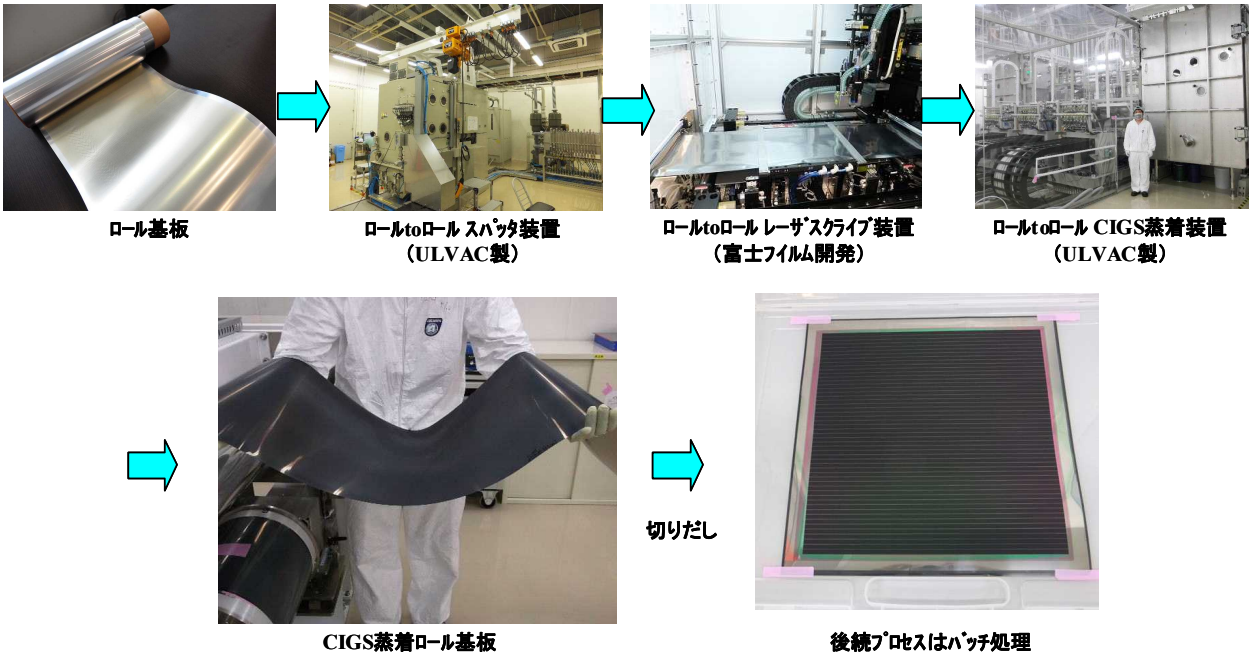
開口マスクの構造を最適化した。基板搬送方向の着膜制限効果によって、有効範囲において膜厚分布約±3%を得ている。同時に、基板幅方向に明瞭な非着膜部分が形成することによって、スパッタ成膜中に基板上に堆積する電荷が、クーリング・ローラー側に絶縁破壊することを防止でき、基板エッジ部分における異常放電痕発生が抑制した（図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(3)）。

(a-6)裏面電極用スパッタ成膜装置 自動運転ソフト（アルバック）

自動運転ソフトを完成し、真空排気～成膜完了までを指定のレシピに従って運転出来ることが可能になった。

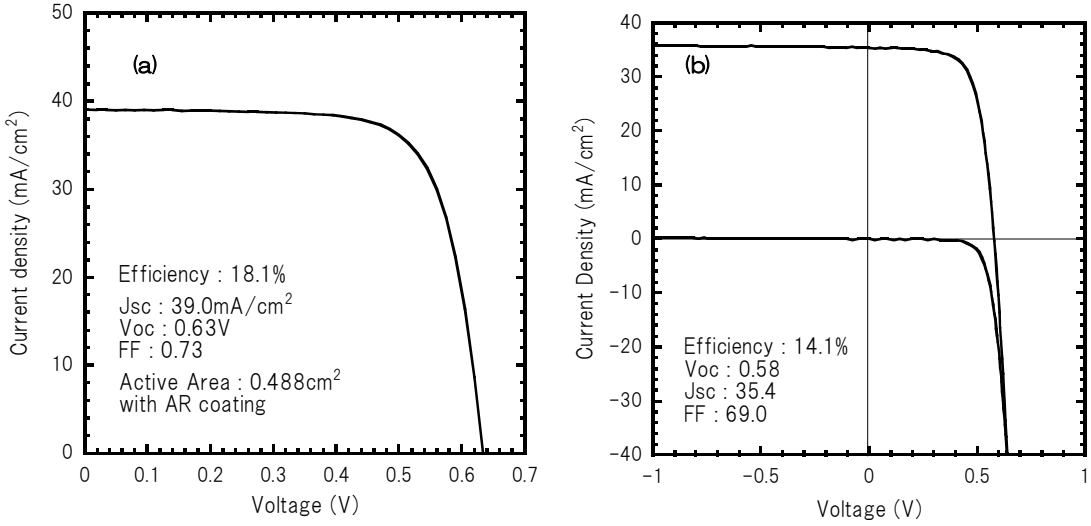
(a-7) Roll to　Roll プロセス構築（富士フイルム）

CIGS 蒸着までの Roll to　Roll プロセス構築を完了し 30cm×30cm サイズ試作評価プロセス構築を完了した（図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(4)）。30cm×30cm サイズでの効率確認まで至っていないが、小面積セルでの変換効率は金属基板、ポリマー基板において夫々13.6%、11.5%を確認した。



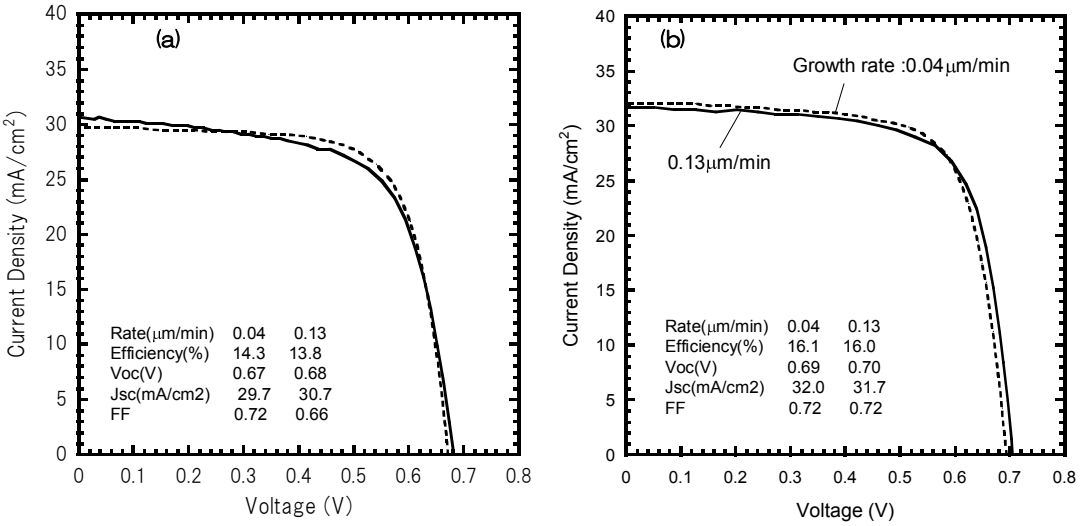
図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(4)　Roll to Roll　プロセス構築

(b) CIGS 層の高速製膜・高性能化プロセス開発、および Na 供給層のプロセス開発
（富士フイルム/産総研）
絶縁層付金属箔基板を用いた場合変換効率　15.9%（69.9cm2）、18.1%（0.488cm2　Active-area 効率）、ポリマー基板上では効率　7.3%（72.0cm2）、14.1%（0.492cm2　Active-area 効率）が得られた（図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(5)）。これら結果のベースとなった各要素技術に関して説明する。



図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(5)　(a) 金属箔基板,(b)ポリマー基板

(b-1) Cu(In,Ga)Se2 光吸収層の高速成膜

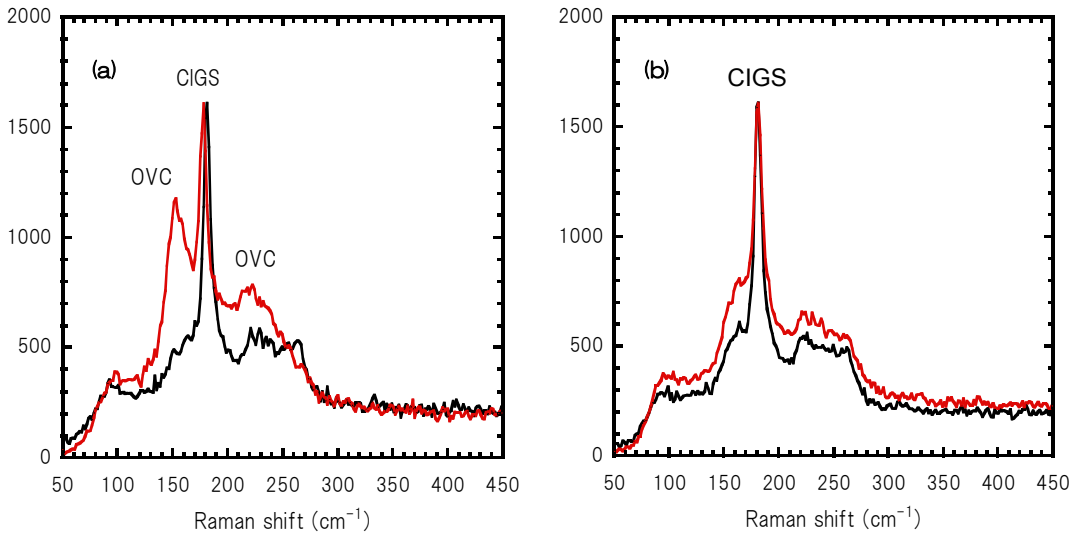


図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(6) 高速成膜により変換効率の低下
(a)改良前　　(b)改良後

多元同時蒸着法を用いた Cu(In,Ga)Se2 光吸収層の成膜を行っている。研究レベルでは 0.04m/min 以下の低成長速度で Cu(In,Ga)Se2 膜を成膜しているが量産化には適しない。Cu(In,Ga)Se2 光吸収層の成膜速度を 0.04μm/min から 0.13μm/min へと高速化（約 3 倍速）しても特性低下が生じないプロセス改良を行った(図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(6))。

改良前素子の電圧-電流特性は、高速化によりフィルファクタ値低下、変換効率低下が見られた（図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(6) (a))。このフィルファクタ値の低下は、太陽電池の等価回路におけるシャント抵抗値の低下に該当するものであった。

図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(7)は改良前後の処方の Cu(In,Ga)Se2 膜表面のラマンスペクトルである。黒線のスペクトルが通常成膜速度の CIGS 膜、赤線のスペクトルが高速化プロセスのそれである。改良した処方においては高速成膜した膜の OVC 相由来のピークが減少している。ここでいう OVC とは Cu(In,Ga)3Se5、Cu(In, Ga)5Se8 などが該当する。



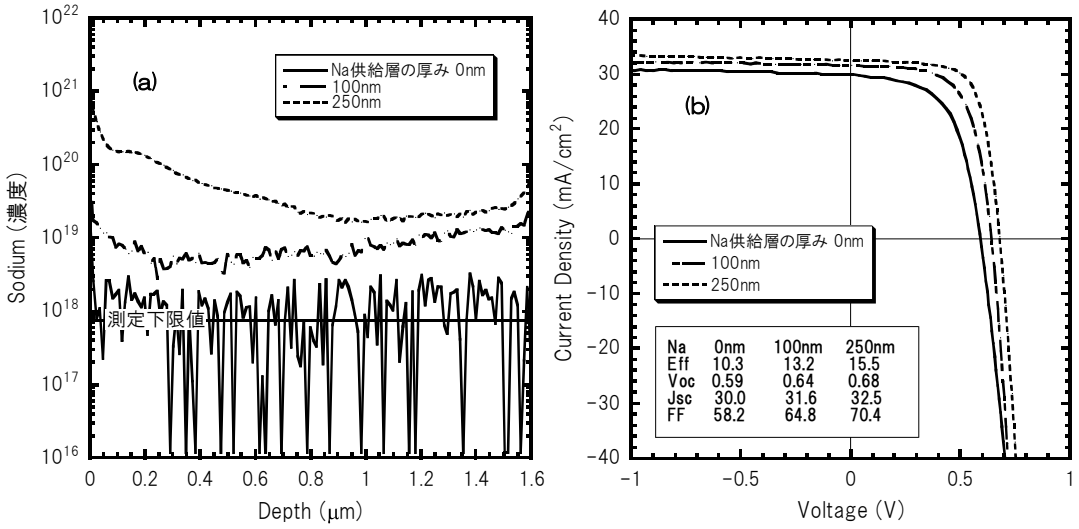
図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(7) 高速成膜品のラマンスペクトル
(a)改良前　　(b)改良後

(b-2) Na 供給層のプロセス開発

Cu(In,Ga)Se2 膜にナトリウムを添加するとキャリア濃度が増大し、開放電圧値および変換効率が向上することが知られている。ソーダライムガラスを基板として用いた場合にはガラス中に含まれているナトリウムが熱拡散により、ガラス基板から Cu(In,Ga)Se2 膜に添加される。

我々が用いた金属箔基板やポリマー基板はナトリウムを含有していないため、ナトリウムを添加手段が別途必要になる。そこで基板上にナトリウムを含んだ層を設け、ガラス基板と同様の効果が得られるようにした。このナトリウム供給層の厚みを制御することで Cu(In,Ga)Se2 膜へのナトリウム添加量を制御できる。図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(8) (a)、(b)は、それぞれナトリウム供給層厚みと Cu(In,Ga)Se2 膜中ナトリウム濃度、太陽電池セル特性関係を夫々示したものである。

添加するナトリウム量を増やすことで開放電圧値 Voc、短絡電流密度 Jsc、フィルファクタ FF が向上し変換効率 Eff が向上した。なおナトリウム供給層の厚みを一定以上の値とするとセル性能は飽和する。これらを考慮し、我々は最適なナトリウム供給層の厚みを設定した。

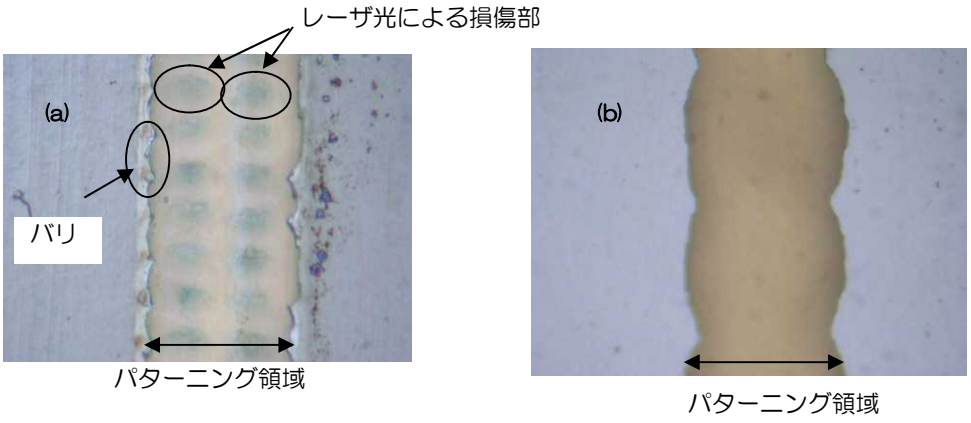


図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(8) (a)膜中 Na と(b)素子特性

(c) フレキシブル基板上での Roll to Roll スクライブ技術開発（富士フイルム、産総研）

裏面電極となるモリブデン膜はスパッタ法により成膜した。CIGS 太陽電池に用いるモリブデン膜には「レーザ加工に適した基板との密着性」、「低い抵抗率」、「ナトリウム拡散性」を満たすことが求められる。しかし「レーザ加工に適した基板との密着性」と「低い抵抗率」とは相反する性能であることがわかり最適化が必要となった。またフレキシブル基板はガラス基板よりもレーザスクライブ加工適性範囲が狭いため、この観点も踏まえて最適化を行う必要がある。モリブデン裏面電極のパターニングには YAG の第 2 高調波レーザ（波長 532nm）を用い、パターニング幅は部分重ね書きによる 60μm として最適化を行った。

絶縁層付きフレキシブル金属基板は従来のガラス基板と違い非透明であるため、ガラス基板と同等のスクライブ条件では基板自体がアブレーションされてしまう（図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(9) (a))。スクライブ後の表面状態はパターニング部におけるモリブデンの除去が不均一であり、中央 2 ヵ所にレーザにより基板自体が損傷した跡がある。このパターニング部の絶縁性能を評価したところ、200V の電圧印加時において 10-6A/cm2 以上の電流リークが発生しており、集積型 CIGS 太陽電池の変換効率を低下させる要因となる。この問題を解決するためレーザ光のパルス幅、照射方法、レーザビーム形状を見直した。その結果、図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(9) (b)に示すようにモリブデンを均一に除去する条件を確立し絶縁性能としても 200V の電圧印加時に 10-9A/cm2 程度と変換効率に影響を及ぼさないレベルにまで改善できた。



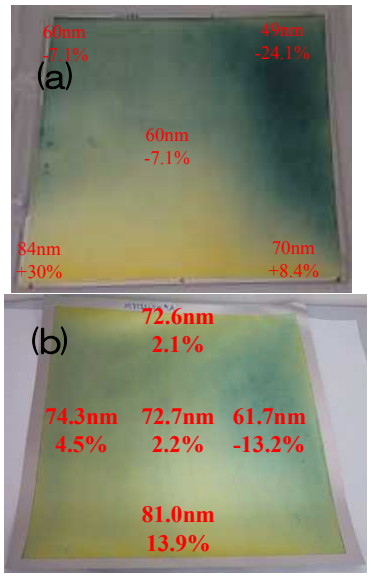
図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(9)　(a)改良前と(b)改良後

(d)バッファー層形成技術 確立（富士フイルム）

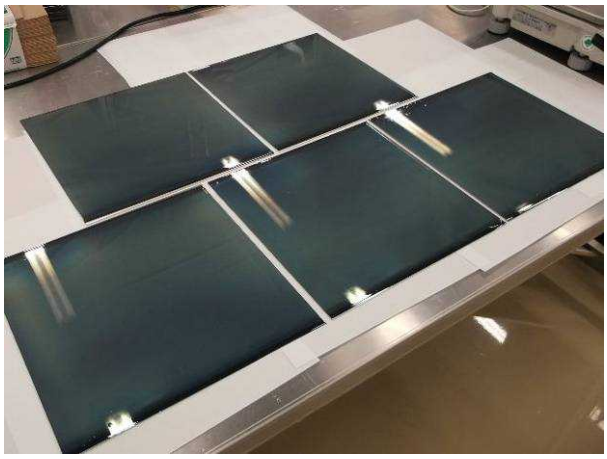
(d-1)30cm サイズ、均一バッファー層形成技術

大面積基板に対する CdS バッファー膜成膜は化学析出（CBD）法により行った。開発当初、金属箔基板上に CdS を成膜した試料の膜厚分布が-24%から+30%と非常に大きく目視でも色むらが大きく見られた（図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(10) (a)改良前)。これは CBD 溶液が基板に対して均一に触れておらず、均一に化学反応が行われていないことによるものであった。装置改造により基板ができるだけ CBD 薬液に均一に触れる整流性の高い液相成膜プロセスを開発し、膜厚分布を±15%以下にまで抑制すことが可能となった（図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(10) (b)改良後)。
この膜厚分布±15%による変換効率の面内変動は 0.5%以下であることが、バッファー層膜厚を意図的に変化させた別の検討から明らかになっており、高い均一化が達成できた考える。

図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(11)はこの成膜プロセス改良後に金属箔基板よりハンドリングが困難なポリマー基板上に成膜した Cu(In,Ga)Se2 膜へ CdS バッファ層を成膜したものである。液相成長時の乱流影響を受けやすいしなやかなポリマー基板の場合も、このプロセスで均一なバッファ層成膜で実現できている。

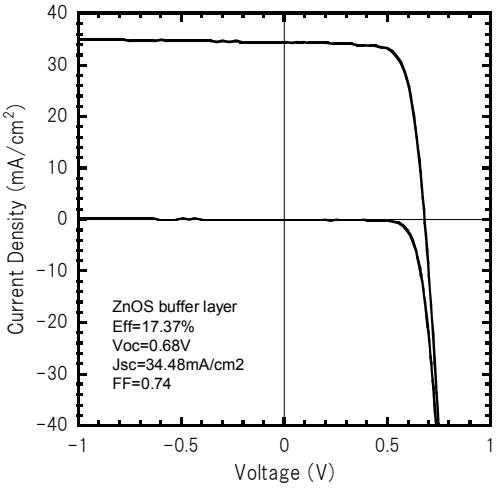


図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(10)
30cm サイズバッファー層分布
(a)改良前と(b)改良後



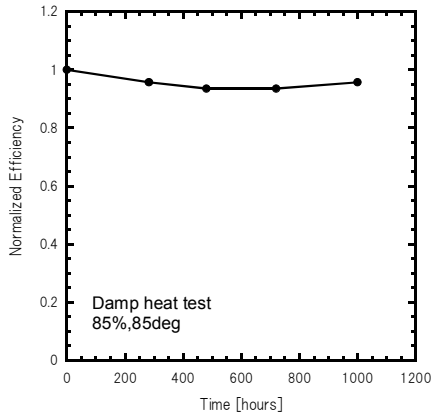
図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(11)
30cm サイズ　ポリマー基板上/CIGS 上に形成されたバッファー層

(d-2)Cd フリーバッファー層形成技術
バッファ層に関し Cd フリー化の検討を行った。Zn(O,S)系バッファー層形成に関しては、処方確立（豊橋科技大)、CIGS／Zn（O,S）界面形成指針（鹿児島大）の協力を得るとともの界面形成に関わる欠陥順位評価（筑波大）をあわせて行った。
また、この材料系を用いる場合下地となる CIGS 膜表面処方や上層となる透明電極の処方が素子の変換効率に影響を及ぼす。この要素を考慮して最適設計を行った。
以上の指針をもとに小面積セルにて変換効率 17.4%と CdS バファー層素子と同等な性能が得られている（図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(12))。



図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(12)
Zn(O,S)系バッファー層を用いた素子特性

(e)軽量封止モジュール技術（富士フイルム）
バリアフィルムとバックシートで集積型 CIGS 太陽電池を挟んだモジュール構造 DH 試験（85℃85%RH）を実施し問題ないことを確認した（図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(13))
またポリカーボネートを用いる封止構造に関する懸念項目に対して環境試験を行い良好な結果を得たため、同構造を用いた太陽電池が耐久性を満たす目処がついた（図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(14))。なお、一部の試験項目は太陽電池ではなく擬似構造を用いて評価している。



図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(13) ダンプヒート試験

IEC61646 要検証項目		評価項目	検証方法	結果
10.17	降雹試験	外観 出力低下	降雹試験	○

IEC61730-2 要検証項目		評価項目	検証方法	結果
MST23	火炎試験	落ち火 火炎伝播	火炎試験	○
MST54	耐UV試験	外観	サンシャインカーボンアーク試験	○
MST51	TC 50cycle	外観 出力低下	TC試験	○
MST52	HFC 10cycle		HFC試験	○
MST53	DH 1000h		DH試験	○

図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(14) 環境試験結果と擬似構造モジュール（壁掛けタイプ）

1.3. 課題 2 の成果

「課題 2：CIGS 高効率化技術の開発
禁制帯幅 1.4～1.5eV のワイドギャップ CIGS 太陽電池の高効率化を狙う。粒界・欠陥・界面・表面を徹底評価し、損失要因を解明することで技術的指針を明確にする。」に関する成果詳細を報告する。

表Ⅲ-2-(ハ)-C-1(2)

最終目標		研究開発成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
CIGS 高効率化技術の開発		禁制帯幅 1.4～1.5eV のワイドギャップ CIGS 太陽電池の高効率化を目指すにあたり、粒界・欠陥・界面・表面を評価、損失要因を解明	○	研究目標達成により研究は終息する。
(f)	高効率化のための基本指針明確化（産総研）	(1)CIGS/バッファー層界面近傍の CIGS 層に K（ｶﾘｭｳﾑ）添加により n 型化を促進したことで変換効率 20.6%（小面積セル、in-house 測定）を達成。 (2) ワイドギャップ CGS 太陽電池の変換効率は 11.0%であり、世界最高効率である。 (3) 2cm□集積モジュールで 18.3%の変換効率を達成した。	○	
(g)	CIGS 結晶欠陥の検出・同定と欠陥低減化技術の開発（筑波大）	0.8eV 欠陥が再結合中心となることを明らかにした。この欠陥抑制により 2%程度の変換効率向上が見込める。	○	
(h)	界面・粒界・縦貫断面電子構造評価・制御技術の開発（鹿児島大）	(1)Zn（O,S）バッファ層は高 S/（S+O）比により電子障壁が形成されることを解明し、この比率を低減化することで障壁低減により更なる高効率化が期待できることを確認した。 (2) ポリマー基板素子の CIGS 膜中には組成揺らぎによるカルコパイライト系電子構造が認められ界面接続には Ga 濃度低減等が必要であることを示した。	○	
(ｉ)	新規ﾊﾞｯﾌｧ層材料のｳｪｯﾄﾌﾟﾛｾｽによる形成技術の開発（豊橋科技大）	Zn（O,S）系バッファー層形成に関する処方、プロセス開発を完了した。	○	

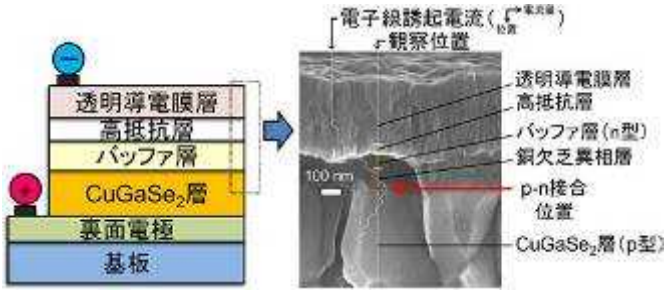
達成度→　大幅達成：◎、　達成：○、　達成見込み：△、　未達：×

1.4　課題 2 の個別成果説明

表Ⅲ-2-(ハ)-C-1(2)に記載されている個別テーマの成果詳細について説明する

(f)高効率化のための基本指針明確化（産業総合技術研究所）

ワイドギャップ CIGS 太陽電池の高効率化技術の開発を目指して、３段階法におけるアルカリ金属元素制御技術に重点をおき CIGS 表面付近への K（カリウム）添加技術の開発を行った。３段階法による CIGS 薄膜の製膜後に、真空中で KF（フッ化カリウム）を蒸着するという方法である。この方法により、太陽電池の開放電圧（VOC）および形状因子（FF）の値が大幅に向上し、in-house 測定での active area の変換効率であるが青板ガラス基板 CIGS 小面積セルで 20.6%という高い変換効率を得ることに成功した。解析の結果、表面に K 添加した CIGS 薄膜は、表面付近の銅の組成比が減少していることが明らかとなった。表面における銅の減少がバッファ層からの Cd（カドミウム）拡散を促進し、PN 接合の位置が CIGS/CdS ヘテロ接合界面から CIGS 膜中に移動したことが特性改善に寄与したと推定される。



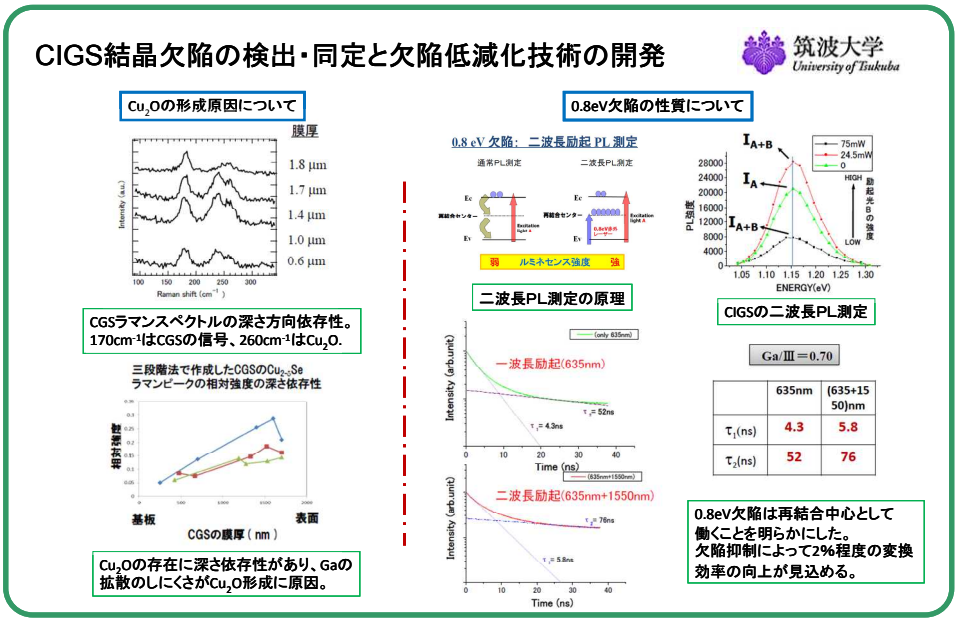
図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(15)電子線誘起電流(EBIC)法による $CuGaSe_2$太陽電池のp-n接合の観察。
EBIC信号ピークがOVC/CGS界面に見られる。

また CGS の製膜中における Se と Ga の供給量の比（以下 P[Se]/[Ga]と表記）に注目し、得られた CGS 太陽電池のデバイス特性の P[Se]/[Ga]依存性を調べた。変換効率は P[Se]/[Ga] = 70 の付近で最高値を示す。この最適条件での変換効率は 11.0%であり CGS 太陽電池としては世界最高効率である。この CGS 太陽電池の PN 接合は従来のバッファ層と CGS 層界面にはなく、銅欠乏異相層と CGS 層の界面ヘテロ接合である（図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(15)）。

CIGS 太陽電池のデバイスシミュレーション技術を開発し様々な条件下におけるデバイスの性能をシミュレートした。特に CdS/CIGS ヘテロ接合界面におけるキャリア再結合中心の存在がヘテロ界面における伝導帯の不連続と太陽電池性能の関係に与える影響を精査し実際の太陽電池のパラメータと比較することで高効率な CIGS 太陽電池を得るためのデバイス作製指針を得た。

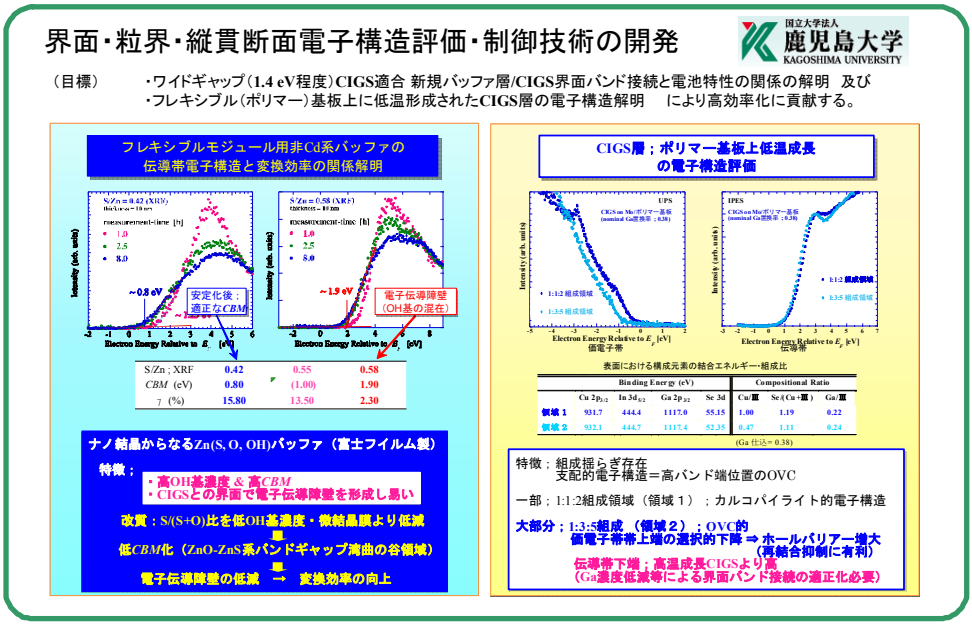
(g)CIGS 欠陥の検出・同定と欠陥低減化技術開発（筑波大学）

CIGS 膜中の Cu2O 欠陥の膜厚方向依存性を明らかにし、Ga の拡散阻害要因の可能性を示唆した。また、二波長 PL 解析から 0.8eV 欠陥の解消が 2%程度の効率向上に繋がることを示唆



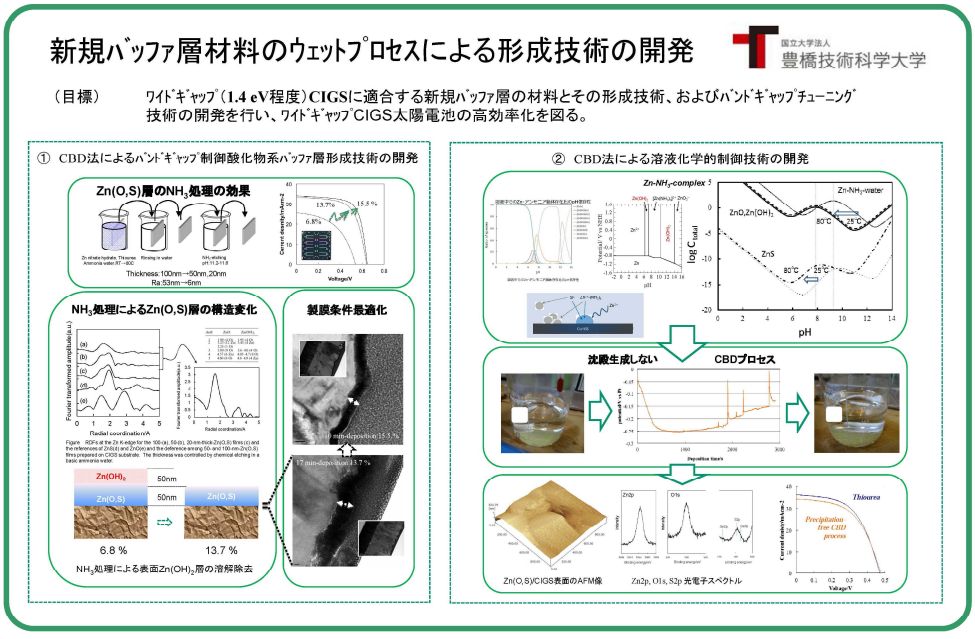
図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(16) CIGS 欠陥の検出・同定と欠陥低減化技術開発

(h) 界面・粒界・縦貫断面電子構造評価・制御技術の開発（鹿児島大）
Zn（O,S）バッファ層は高 S/（S+O）比と電子障壁の関係性を明らかにし、更なる高効率化に繋がることを確認した。また、富士フイルムにて試作した CIGS 素子表面の大部分が OVC 組成を有しており、高効率化のためには Ga 濃度低減等よる界面バンド接続の適性化が必要であることを示した。



図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(17)　界面・粒界・縦貫断面電子構造評価・制御技術

(i)新規バッファ層材料のウェットプロセスによる形成技術開発（豊橋科学技術大学）
Ｚｎ（O,S）系バッファー層形成技術構築を行った。形成後のバッファー層表面の NH3 処理効果の素子特性改善効果を明らかにした。また、溶液温度と PH 制御により沈殿生成物が発生しない処方を確立した。後者は、大面積成膜装置用大型設備の設計を容易にするものでありその意義は大きい。



図Ⅲ-2-(ハ)-C-1(18)　新規バッファ層材料ウェットプロセス技術開発

2. 実用化・事業化見通し

平成 25 年 1 月よりインジウム化合物(CIGS が該当する)が特別管理物質（特化則）に指定されたことを受け、平成 26 年１月から関連設備に対する発散抑制措置設置が義務化された。発散抑制装置設置に関して、共同研究先であるアルバック社、産業技術総合研究所、労基署、コンサルタント等の関係部門の協力仰ぎ設置仕様の具体化検討を行った。この結果大型 Roll to Roll 設備に対する関連投資額が大きいことが明らかになり、NEDO 様と協議の上研究中断を決定し現在に至っている。

発散抑制装置の設置義務化は、大型設備を必要とする商品化研究設備や製造設備の投資額増大と運転コストの増加をもたらす。このため事業採算性への負荷が無視できず、研究の継続と事業化を断念するとの結論に至った。

3. 波及効果

大きくは、下記のような太陽電池事業意外の分野への波及効果がある。

（1）この技術蓄積が、NEDO プロジェクトで進められる光による水素発生等、日本独自の技術発展に寄与。⇒4.今後の展開

（2）基礎研究として高効率化に取り組んだ産総研、筑波大学、豊橋技術科学大学、鹿児島大学における研究者育成への貢献。

（3）ロール・トゥ・ロールの装置開発を得意とするアルバック社においても、本事業における新たな視点での装置開発は社内の技術者育成、技術蓄積に貢献。

4. 今後の展開

4.1 成果の実用化に向けた戦略

CIGS 薄膜太陽電池は、その製作プロセスにおけるエネルギー消費量が他の太陽電池に比べ小さいことが一般的に認識されている。しかしながら、プロジェクト期間中にインジュウム化合物が特定化学物質に指定されたため取扱作業全般が規制の対象となった。この規制遵守には生産環境に強力な粉塵除去設備が必要であり、生産工程におけるエネルギー負荷の増加が見込まれる。我々は当事業で培った技術を転用し環境負荷が少ない環境・ｴﾈﾙｷﾞｰ事業確立に向けた研究開発の推進を行っていく。

4.2 成果の実用化向けた具体的取り組み

本事業において培った技術を人工光合成プロジェクト（＊1）の水素生成光触媒に転用すべく検討を開始している。同プロジェクトでは、既に水分解による水素製造技術に関して世界最高レベルの太陽エネルギー変換効率２%を達成した（＊2)。

当社技術による高効率 CIGS 膜は水素生成光触媒として優れた性能を示すことが確認できたため、当面インジュウム化合物特化則への対応が可能な小スケール研究により CIGS の有用性を見極めていく。また、将来に向けた高効率化にはインジュウムを含まない高効率 CGS 膜の実現が望まれており特化則対応が不要になる可能性がある。また CIGS 膜形成以外にも、本事業で培った透明電極形成技術、軽量モジュール封止技術、連続薄膜形成技術等の要素技術も同プロジェクトへの転用が可能である。

（*1）二酸化炭素原料化基幹化学品製造プロセス技術開発

（*2）http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100372.html

4.3 成果の実用化の見通し

人工光合成の具体的な実用化・事業化のマイルストーンは同プロジェクトに譲りたい。人工光合成は太陽電池とは異なる市場性を有しているが、太陽電池開発により培った多くの要素技術とのシナジー効果を期待できる分野でもあり“日本発”の環境負荷低減技術として実用化が期待される。

5. 特許論文リスト

表Ⅲ-2-(ハ)-C-5(1)　【成果普及】

	H22	H23	H24	H25	H26	終了後	計
特許出願（うち外国出願）	0	3(0)	3(0)	7(0)	6(0)	0	19 件(0)
論文（査読付き）	3(3)	3(3)	1(1)	2(2)	3(3)	0	12 件(0)
研究発表・講演（うち国際会議）	1	10(5)	3(1)	0	0	0	14 件(0)
新聞・雑誌等への掲載	0	2	0	1	3	0	6 件
受賞実績	0	1	0	0	0	0	1 件
展示会への出展	0	0	0	1	1	0	2 件

表Ⅲ-2-(ハ)-C-5(2)【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外国PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	富士フイルム株式会社	特願2011-158142	国内	平成23年7月19日	放棄	薄膜太陽電池およびその製造方法	矢後　栄郎 浅野　武史
2	富士フイルム株式会社	特願2011-192896	国内	平成23年9月5日	放棄	化学浴析出装置	河野　哲夫 新井　洋
3	富士フイルム株式会社	特願2011-192897	国内	平成23年9月5日	放棄	バッファ層の製造方法および光電変換素子の製造方法	河野　哲夫 新井　洋
4	富士フイルム株式会社	特願2012-123351	国内	平成24年5月30日	拒絶理由	光電変換素子および光電変換素子の製造方法	村上　直樹 森脇　健一
5	富士フイルム株式会社	特願2012-254083	国内	平成24年11月20日	審査請求	光電変換素子および光電変換素子のバッファ層の製造方法	佐藤　圭吾 河野　哲夫
6	富士フイルム株式会社	特願2012-286560	国内	平成24年12月28日	審査請求	光電変換素子および光電変換素子のバッファ層の製造方法	佐藤　圭吾
7	富士フイルム株式会社	特願2013-059985	国内	平成25年3月22日	公開	太陽電池およびその製造方法	村上　直樹
8	富士フイルム株式会社	特願2013-068571	国内	平成25年3月22日	審査請求	太陽電池モジュール	野田　和宏
9	富士フイルム	特願2013-	国内	平成25年4	公開	光電変換素子および太陽電池	森脇　健一 山中　英生

	株式会社	081258		月 9 日			
10	富士フイルム株式会社	特願 2013-092613	国内	平成 25 年 4 月 25 日	公開	光電変換素子の製造方法	加賀　洋史
11	富士フイルム株式会社	特願 2013-099325	国内	平成 25 年 5 月 9 日	公開	水溶液組成物	佐藤　圭吾
12	富士フイルム株式会社	特願 2013-098679	国内	平成 25 年 5 月 8 日	公開	水溶液組成物、金属硫化物薄膜、金属硫化物粒子および光電変換素子	佐藤　圭吾
13	富士フイルム株式会社	特願 2013-107998	国内	平成 25 年 5 月 22 日	公開	太陽電池	浅野　武史
14	富士フイルム株式会社	特願 2014-028330	国内	平成 26 年 2 月 18 日	公開	太陽電池	大郷　毅
15	富士フイルム株式会社	特願 2014-036038	国内	平成 26 年 2 月 26 日	公開	光電変換素子、太陽電池及び光電変換素子の製造方法	加賀　洋史
16	富士フイルム株式会社	特願 2014-036039	国内	平成 26 年 2 月 26 日	公開	光電変換素子、太陽電池及び光電変換素子の製造方法	椙山　卓郎 和田　大我 加賀　洋史
17	富士フイルム株式会社	特願 2014-039802	国内	平成 26 年 2 月 28 日	公開	光電変換素子および太陽電池	森脇　健一 森　淳一 菅原　美博 椙山　卓郎
18	富士フイルム株式会社	特願 2014-039817	国内	平成 26 年 2 月 28 日	公開	光電変換素子および太陽電池	森脇　健一 森　淳一 菅原　美博 椙山　卓郎 高橋　裕之
19	独立行政法人産業技術総合研究所	特願 2014-006763		平成 26 年 1 月 17 日	公開	太陽電池の製造方法及び太陽電池	柴田　肇 上川　由紀子 仁木　栄

【学会発表】

番号	発表者	所属	発表媒体	発表タイトル	発表年月日
1	南宮麻紀 森脇健一 祐谷重徳 大郷毅 石塚尚吾 仁木栄	富士フイルム株式会社	第 58 回応用物理学関係 連合講演会 講演予稿集	フレキシブル金属基板上に作製した 集積型 CIGS 太陽電池	平成 23 年 3 月 27 日（講演会中止）
2	村上直樹 森脇健一 南宮麻紀 大郷 毅 祐谷重徳 石塚尚吾 仁木 栄	富士フイルム株式会社	37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC-37)	Monolithically integrated CIGS sub-modules fabricated on new structured flexible substrates	平成 23 年 6 月 22 日
3	野本麻紀 大郷 毅 森脇健一 村上直樹 祐谷重徳 石塚尚吾 仁木 栄	富士フイルム株式会社	第 21 回太陽光発電 国際会議 (PVSEC-21)	Monolithically integrated CIGS sub-modules on stainless steel substrates with insulating layers	平成 23 年 11 月 29 日
4	石塚尚吾 山田昭政 古江重紀 柴田 肇 仁木 栄	独立行政法人産業技術総合研究所	第 72 回応用物理学会 学術講演会	蒸着法における Se 源と (In,Ga) 2Se3 および CI GS 薄膜の構造変化	平成 23 年 8 月 30 日
5	古江重紀 石塚尚吾 山田昭政 柴田 肇 松原浩司 仁木 栄 他	独立行政法人産業技術総合研究所	第８回「次世代の太陽 光発電システム」 シンポジウム	CIGS 光吸収層の薄膜化における裏面電極構造の検討	平成 23 年 6 月 30 日
6	古江重紀 山田昭政 石塚尚吾 松原浩司 柴田 肇 仁木 栄	独立行政法人産業技術総合研究所	PVSEC21(1B-3O-06)	EFFICIENCY ENHANCEMENT OF THINNER CIGS SOLAR CELLS	平成 23 年 12 月 2 日
7	仁木 栄 石塚尚吾 古江重紀 松原浩司 柴田 肇 山田昭政 他	独立行政法人産業技術総合研究所	IUMRS-ICA 2011 12th International Conference in Asia	Current Status and Future Prospects of the CIGS Technology	平成 23 年 9 月 20 日
8	仁木 栄 石塚尚吾 古江重紀 松原浩司 柴田 肇 山田昭政他	独立行政法人産業技術総合研究所	“ Challenges in Cu-Compound Photovoltaics” Workshop	High-Efficiency CIGS Submodules	平成 23 年 9 月 10 日

9	仁木　栄	独立行政法人産業技術総合研究所	The 6th Korea-China-Japan Joint Symposium on Photovoltaics	Research and Development of CIGS Solar Cells and Submodules at AIST	平成 23 年 9 月 30 日
10	仁木　栄	独立行政法人産業技術総合研究所	PVSEC21(2B-3O-02)	HIGH-EFFICIENCY CIGS SUBMODULES BY MULTI-STAGE EVAPORATION	平成 23 年 12 月 2 日
11	仁木　栄 石塚尚吾 古江重紀 柴田 肇 松原浩司 山田昭政 他	独立行政法人産業技術総合研究所	第 72 回応用物理学会 学術講演会	CIGS 太陽電池のポテンシャル-組成・欠陥制御から高性能低コスト	平成 23 年 8 月 29 日
12	S. Furue S. Ishizuka H. Komaki H. Tampo A. Yamada H. Shibata K. Matsubara S. Niki	独立行政法人産業技術総合研究所	International Union of Materials Research Society-International Conference in Asia 2012	Fabrication of Flexible CIGS Solar Cells and Submodules	平成 24 年 8 月 28 日
13	大郷毅	富士フイルム株式会社	第 24 回 PVTEC 技術交流会	集積型フレキシブル CIGS 太陽電池	平成 24 年 8 月 23 日
14	古江重紀 上川由紀子 石塚尚吾 小牧弘典 山田昭政 松原浩司 柴田肇 仁木栄	独立行政法人産業技術総合研究所	第 73 回応用物理学会 学術講演会	フレキシブル CIGS 太陽電池の高効率化	平成 24 年 9 月 11 日

【論文発表】

番号	発表者	所属	発表タイトル	発表誌名	査読	発表年月日
1	K. Moriwaki, M. Nomoto, S. Yuuya, N. Murakami, T. Ohgoh, K. Yamane, S. Ishizuka, S. Niki	富士フイルム株式会社	Monolithically integrated flexible Cu(In,Ga)Se2 solar cells and submodules using newly developed structure metal foil substrate with a dielectric layer	Solar Energy Materials and Solar Cells	有	平成 24 年 5 月
2	石塚尚吾 仁木栄	独立行政法人産業技術総合研究所	Challenges for Highly Efficient Flexible CIGS Submodules	Proceedings of the 25th EUPVSEC/5th WCPEC	有	平成 22 年 10 月

3	石塚尚吾 山田昭政 仁木栄	独立行政法人 産業技術総合 研究所	Monolithically integrated CIGS submodules fabricated on flexible substrates	Proceedings of the 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference	有	平成 22 年 12 月
4	石塚尚吾 山田昭政 仁木栄	独立行政法人 産業技術総合 研究所	Monolithically integrated flexible Cu(In,Ga)Se2 solar cellsubmodules	SOLAR ENERGY MATERIALS AND SOLAR CELLS 94 (2010)	有	平成 22 年 12 月
5	石塚尚吾 山田昭政 仁木　栄 他	独立行政法人 産業技術総合 研究所	Texture and morphology variations in (In,Ga)2Se3 and Cu(In,Ga)Se2 thin films grown with various Se source conditions	Progress in Photovoltaics	有	平成 23 年 4 月
6	古江重紀 山田昭政 石塚尚吾 松原浩司 柴田　肇 仁木　栄 他	独立行政法人 産業技術総合 研究所	EFFICIENCY ENHANCEMENT OF THINNER CIGS SOLAR CELLS	Technical digest of PVSEC21(1B-3O-06)	有	平成 23 年 12 月 2 日
7	仁木　栄	独立行政法人 産業技術総合 研究所	HIGH-EFFICIENCY CIGS SUBMODULES BY MULTI-STAGE EVAPORATION	Technical digest of PVSEC21(2B-3O-02)	有	平成 23 年 12 月 2 日
8	S. Ishizuka A. Yamada Paul J. Fons H. Shibata S. Niki	独立行政法人 産業技術総合 研究所	Impact of a binary Ga2Se3 precursor on ternary CuGaSe2 thin-film and solar cell device properties	APPLIED PHYSICS LETTERS 103, 143903 (2013)	有	平成 25 年 10 月 1 日
9	Y. Kamikawa-Shimizu H. Komaki A. Yamada S. Ishizuka M. Iioka H. Higuchi M. Takano K. Matsubara H. Shibata S. Niki	独立行政法人 産業技術総合 研究所	Highly Efficient Cu(In,Ga)Se2 Thin-Film Submodule Fabricated Using a Three-Stage Process	Applied Physics Express 6, 112303 (2013)	有	平成 25 年 11 月 11 日
10	S. Ishizuka A. Yamada Paul J. Fons Y.	独立行政法人 産業技術総合 研究所	Buried p-n junction formation in CuGaSe2 thin-	APPLIED PHYSICS LETTERS 104, 031606 (2014)	有	平成 26 年 1 月 24 日

	Kamikawa-Shimizu H. Komaki H. Shibata S. Niki		film solar cells			
11	S. Ishizuka A. Yamada Paul J. Fons H. Shibata S. Niki	独立行政法人産業技術総合研究所	Structural tuning of wide-gap chalcopyrite CuGaSe2 thin films and highly efficient solar cells: differences from narrow-gap Cu(In,Ga)Se2	PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS: RESEARCH AND APPLICATIONS DOI: 10.1002/pip.2464	有	平成 26 年 1 月 24 日
12	S. Ishizuka A. Yamada Paul J. Fons H. Shibata S. Niki	独立行政法人産業技術総合研究所	Interface Alkali Diffusion Control in Chalcopyrite Thin-Film Solar Cells	Applied Materials and Interfaces	有	平成 26 年 6 月

【受賞】
平成 23 年　37th IEEE-PVSC にてベストポスター賞を受賞
村上直樹 他
「Monolithically integrated CIGS sub-modules fabricated on new structured flexible substrates」

D CIGS薄膜太陽電池モジュールにおける低コスト化技術の開発
１．成果詳細

1.1. Se 化技術開発
1.1. 1. 概要
セレン化法は高価なH2Seガスを使用しており、コストダウンするにはH2Seガスの使用量を削減する必要がある。本テーマでは、CIGS太陽電池におけるH2Seガス供給量が与える膜質および性能への影響を明確にし、供給量低減による低コストCIGS薄膜の形成技術を開発することを目的とする。

STEP1として、H2Seガス供給量がCIGS薄膜の膜質および性能への与える影響を調査した。従来のSe化プロセスの条件で、H2Seガス供給量を低減させた結果、開放電圧が低下し、変換効率の低下を確認した。また同時にCIGS薄膜の分析結果からH2Seガス供給量を低減するにつれて、CIGS薄膜表層のGa/Ⅲ比(以下表層Ga/Ⅲ比とする)が低くなり、さらにCIGS光吸収層の結晶粒径が縮小する。また今回の調査では、従来のSeガス供給量に対して83%以上供給することでカルコパイライト構造を維持できることが分かった。

STEP2として、Se化反応を促進させる手段の検討を行った。従来のSe化プロセスの処理温度を上げることにより、CIGS薄膜の表層Ga/Ⅲ比の向上と結晶粒径の増大を確認出来た。この結果、H2Seガスの供給量を低減した条件でも充分にH2Seガスを供給して作製したセルと同等の太陽電池特性を得ることが出来た。今後、さらに変換効率を上げる為に2つの課題を今回の実験で抽出する事が出来た。まず処理温度を上げることによりCIGS薄膜の表層Ga/Ⅲ比において基板面内のバラツキが大きくなる事。もう一方はVoc×Isc(VI積)が下がる事の2つである。

STEP3として、課題の1つであった表層Ga/Ⅲ比のバラツキを低減させることにより、変換効率を向上させて、W単価を下げる検討を行なった。H2Seガスの供給タイミングを従来の中温領域から高温領域に変えることにより、狙い通り表層Ga/Ⅲ比のバラツキが19%低減し、モジュール変換効率が向上した。結果として、製造コストを2.16円/W削減可能な成膜技術を確立した。
STEP1~3 を基にさらに変換効率を上げるには、高いバンドギャップを有する CIGS 光吸収層とバッファ層とのバンドオフセットを考慮した新しいバッファ層を開発する必要がある。

1.1.2. 背景・目的
p 型光吸収層である CIGS は、多源蒸着法、セレン化法、電着法、ナノ粒子印刷法など様々な成膜法が提案されている。現在、多くの研究機関では多源蒸着法の一種である 3 段階法を採用しており、研究機関で変換効率 18%以上の高効率 CIGS 太陽電池が得られるようになってきた。一方、ホンダソルテックでは大面積化、量産化の観点からセレン化法を採用している。しかしながら、セレン化法は Se が金属と反応しやすいことを利用した方法で、高価な H2Se などのガスを使用する必要がある。そのため、コストダウンには高価な H2Se などのガスの使用量を削減する事が効果的である。その一方で、Se ガス濃度と Se と金属との化学反応は密接な関係にある。CIGS は室温で安定な構造としてカルコパイライト型結晶構造をもつが、その結晶構造を形成する為に Cu-In-Ga プリカーサーへ Se 化中に一定以上の Se ガス量を供給する必要である。

本テーマでは、CIGS 薄膜太陽電池における Se ガス供給量の組成および太陽電池特性への影響を明確にし、Se ガスの供給量低減および処理温度を上げる事によって低コスト CIGS 薄膜の形成技術を開発することを目的とする。

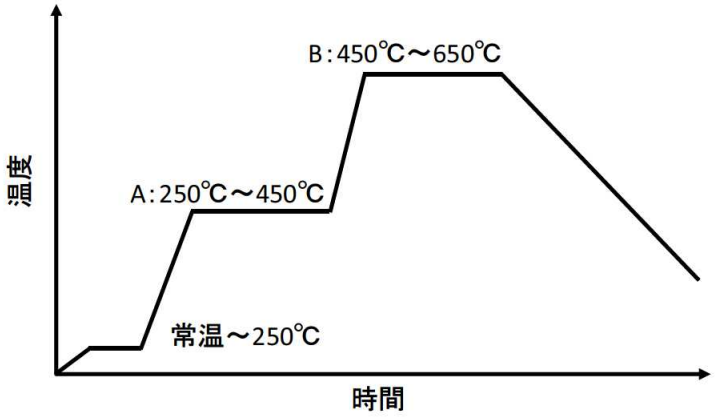
1.1.3. 開発内容
1.1.3.1. 後段 Se ガス供給量変更による影響評価(STEP1)
H2Seガス供給量がCIGS薄膜の膜質および性能へ与える影響を調査するため、H2Seガスの供給量を変化させてCIGS薄膜を作成した。図4.1.1にホンダソルテックで用いているSe化法の処理プロセスを示した。ここではA:250℃~450℃の処理工程を中段、B:450℃~650℃での処理工程を後段とそれぞれ表している。

図4.1.2に後段H2Seガス供給量を100%、88%、83%、75%と変化させて作製したCIGS薄膜それぞれの表層Ga/Ⅲ比とバルクのSe/Metal比を示した。このとき量産で使用している後段H2Seガス供給量を100%としている。図より、後段H2Seガス供給量を低減することで表層Ga/Ⅲ比が低下することが分かった。これはH2Seガス供給量を低減させたことでCIGS薄膜表層近傍でのCuGaSe2の生成

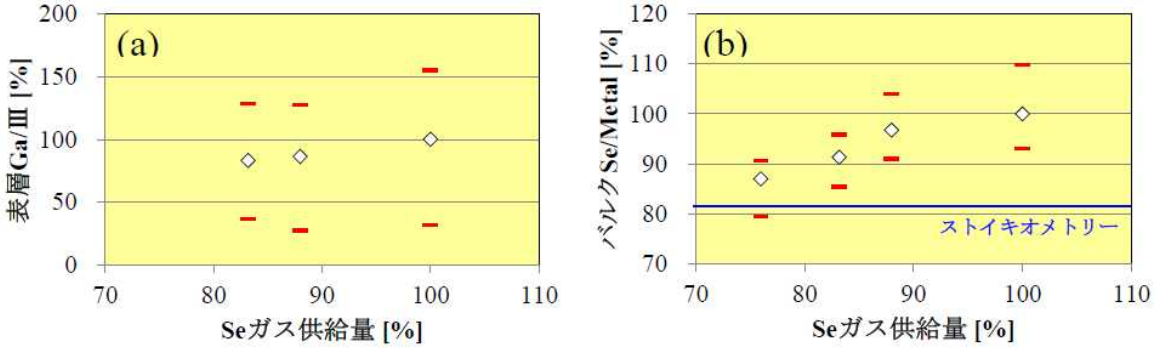
量が減少したことが原因と考えられる。また、供給量を低減することでバルクSe/Metal比が低減していることも分かる。しかしながら、バルクのSe/Metal比はストイキオメトリー以上であり、CIGS薄膜はカルコパイライト構造が形成されていると考えられる。

図4.1.3に後段H2Seガス供給量を100%から83%にした時のCIGS薄膜の結晶粒径の変化を示した。図4.1.3より後段H2Seガス供給量を低減するとCIGS薄膜の結晶粒径が縮小していることが分かる。これはガス供給量を減少させたことでSe化反応が抑制されたためと考えられる。

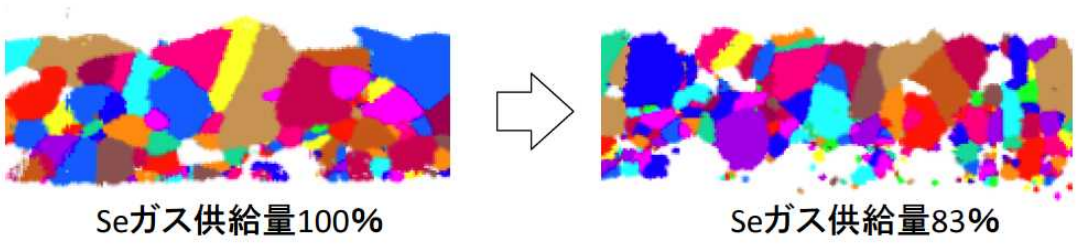
図 4.1.4 に後段 H2Se ガス供給量を 100%から、88%、83%と変化させて作製した太陽電池それぞれの出力特性を示す。図 4.1.4 より、後段 H2Se ガス供給量を低減すると Voc が低下し、Isc と FF は一定となることから VI 積が低下し、Pmax が低下することが分かる。



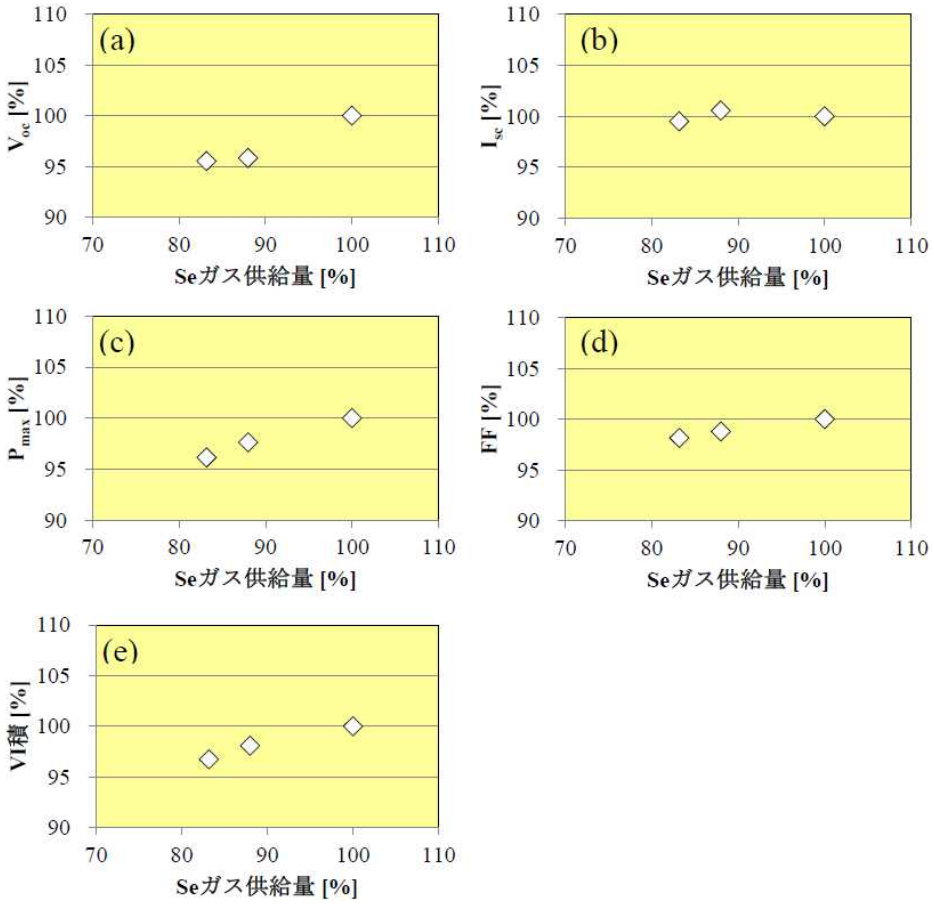
図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(1) Se 化法の処理プロセス



図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(2) 後段H2Seガス供給量に対するCIGS薄膜の物性
(a)表層Ga/Ⅲ比(b)バルクSe/Metal比



図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(3) 後段H_2Seガス供給量低減による結晶粒径の変化



図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(4) 後段Se供給量に対する太陽電池出力特性
(a)V_{oc} (b)I_{sc} (c)P_{max} (d)FF (e)VI 積

1.1.3.2. 処理温度変化の影響調査(STEP2)

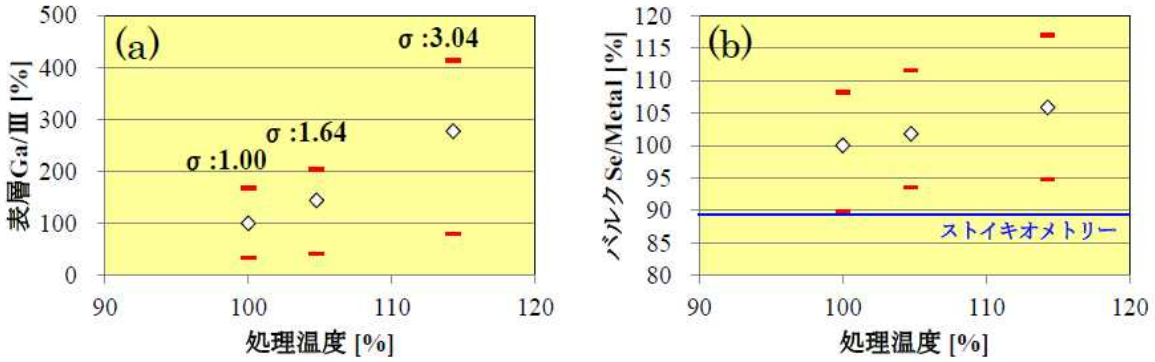
1.1.3.1.でガス供給量を低減させるとSe化反応の抑制により、CIGS薄膜の表層Ga/Ⅲ比の低下と結晶粒径が縮小する問題があることがわかった。そこで、Se化反応を促進させるために従来のSe化方法に対して、Seガス濃度を83%の状態で処理温度を最大114%まで上げる実験を行った。

図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(2)に処理温度をそれぞれ 100%、105%、114%と変化させてバッチ処理により作製した CIGS 薄膜の表層 Ga/Ⅲ比とバルク Se/Metal 比を示した。図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(2)より処理温度を上げると表層 Ga/Ⅲ比とバルク Se/Metal 比が増加することが分かる。一方で、処理温度を上げると基板面内の表層 Ga/Ⅲ比のバラつきが大きくなることも分かった。これは処理温度を上げたことで基板面内の温度分布が大きくなったためと考えられる。

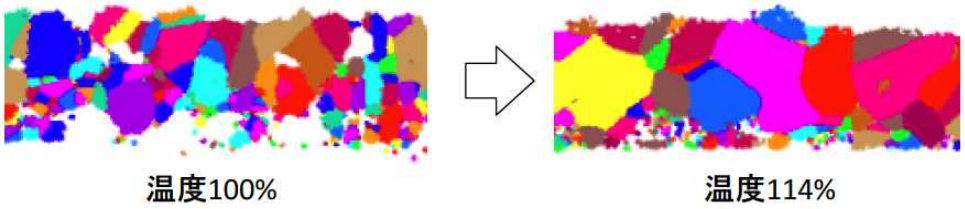
図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(3)に処理温度を100%から114%に変化させたときのCIGS薄膜の結晶粒を示した。図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(3)より処理温度を増加させるとCIGSの結晶粒径も増大していることが分かる。従って、Seガス供給量を減少させた状態でCIGS結晶粒径を増加させるためには、処理温度を上げることが効果的であることが分かった。

図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(4)に処理温度を100%、105%、114%と変化させてそれぞれ作製したモジュールの太陽電池出力特性を示した。図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(4)より処理温度を上げると、105%まではVocが向上、Iscが低下、FFが一定になっていることからVI積が一定となりPmaxが一定となっていることが分かる。しかしながら温度を114%にした場合はVI積が低下し、Pmaxも低下していることが分かる。

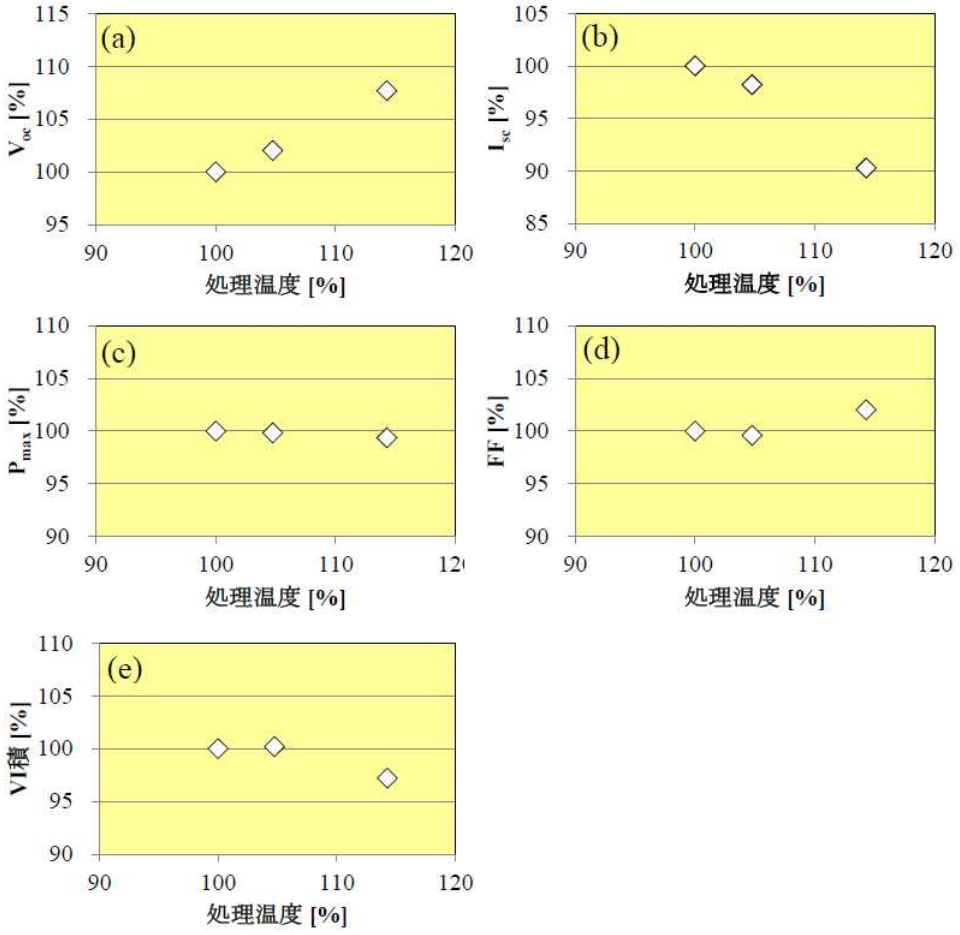
この原因の一つとしては、処理温度を上げたことにより CIGS 薄膜の表層 Ga/Ⅲ比が増加している事から、CIGS 表層のバンドギャップが広がり、図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(5)に示すようにバンドオフセットがスパイク型からクリフ型に変化したためと考えられる。このバンドオフセットの不整合を防ぐためには CIGS のバンドギャップの調整(表層 Ga/Ⅲ比の調整)、もしくは InS バッファ層のバンドギャップを調整することでバンドオフセットをスパイクの状態にする必要がある。



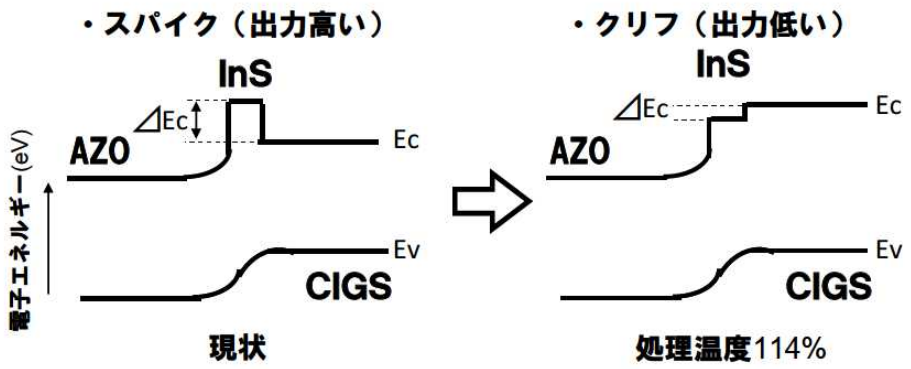
図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(5) 処理温度に対するCIGS薄膜の物性
(a)表層Ga/Ⅲ比(b)バルクSe/Metal比



図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(6) 処理温度上昇に対する結晶粒径の変化



図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(7) 処理温度に対する太陽電池出力特性

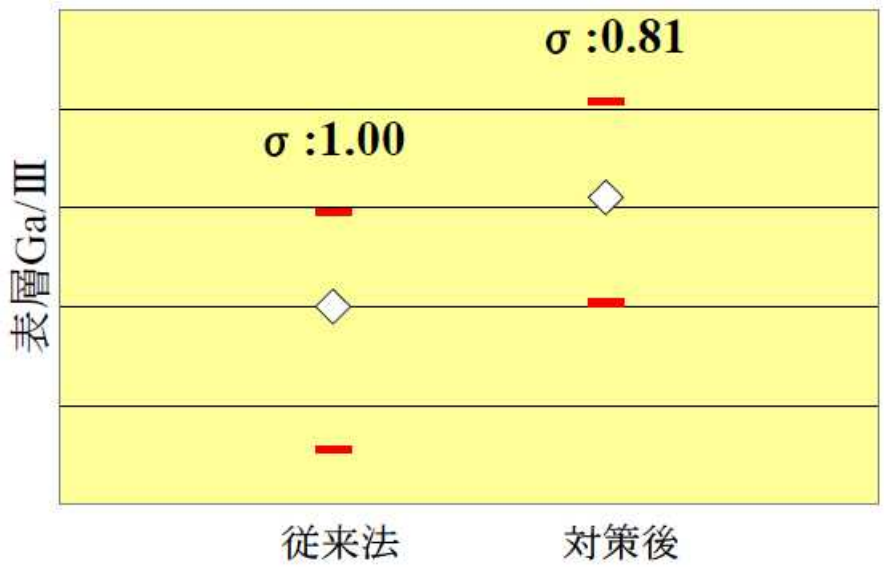


図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(8) CIGSバンドギャップ上昇によるバンドオフセットの変化図

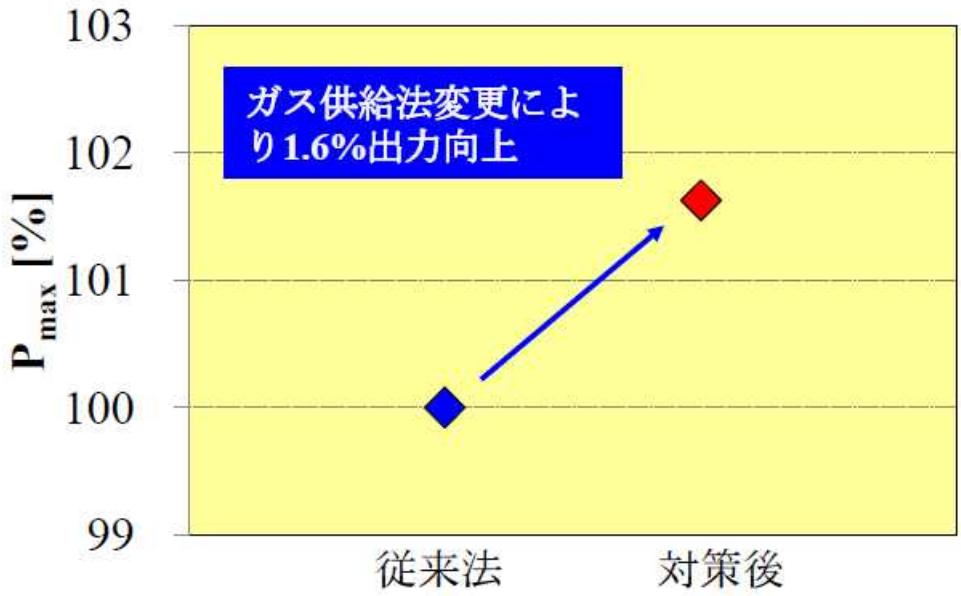
1.1.3.3. ガス供給法の変更による組成分布改善(STEP3)

処理温度を上げた際にCIGS薄膜の表層Ga/Ⅲ比の基板面内バラツキが大きくなるという課題が新たにわかった。そこで、表層Ga/Ⅲ比のバラツキを抑える対策としてH2Seガスの供給タイミングを変える実験を行った。

図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(9)にガス供給タイミングを変更して作製した CIGS 薄膜の表層 Ga/Ⅲ比を示した。ガスの供給法を変化させることにより、基板面内の表層 Ga/Ⅲ比のバラツキを 19%低減させることが出来ている。この方法により作製したモジュールの Pmax 変化を図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(10)に示した。この結果、ガス供給タイミングを変更したことで Pmax を 1.6%上げることに成功した。Se ガス供給法を変更することで表層 Ga/Ⅲ比のバラツキを抑えられ、モジュールの出力特性が向上することが分かった。このことから前述の 1.1.3.2 の高温処理化に伴う CIGS 薄膜の表層 Ga/Ⅲ比のバラつき増加は、Se ガス供給タイミングの変更によって改善可能と推測され、成膜条件の調整によって更なる出力改善が見込める。



図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(9) ガス供給法を変化させたときの表層Ga/Ⅲ比の変化



図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(10) ガス供給法を変化させたときのP_{max}の変化

1.1.1.4. 結論

H2Seガス供給量とCIGS薄膜の組成と出力影響を調べた結果、Seガスの供給量を従来比83%以上でカルコパイライト構造を持つCIGS薄膜を得られたが、CIGS薄膜の表層Ga/Ⅲ比の低下と結晶粒径の縮小という課題も明らかになった。

この課題の対策の為、Seガスの供給量を低減した状態でSe化時の処理温度を上げてCIGSモジュールを試作し評価した。その結果、目論見通り表層Ga/Ⅲ比と結晶粒径を従来と同等にできる条件が判明したが、表層Ga/Ⅲ比の基板面内バラツキの増大とVI積の低下という2つの課題が新たに見つかった。

前者については H2Se ガス供給法を変更することで基板面内のバラツキを抑え、出力を 1.6%上げることが出来た。また、この段階において 2.16 円/W 削減可能な量産向け成膜技術を確立した。今後さらにモジュール変換効率を上げ、コスト削減を進めるには InS バッファ層/CIGS 薄膜界面のバンドオフセットを制御し、VI 積を上げる必要がある。

1.2. バッファ層成膜技術開発

1.2.1. 概要

ホンダソルテックのバッファ層は In を含む原料を元に、In 系化合物{In(O,S,OH)}を化学浴析出法で成膜している。本テーマでは、バッファ層成膜に使用する薬品量を低減させることで、従来の製造コストに対して 50%のコスト削減を目標とした。現行に対し 70%まで薬品量を減量しても太陽電池特性の維持が可能であり、これによって 1.6 円/W のコストダウンが可能であることが分かった。しかしながら、使用薬品量の低減による膜厚低下によって、コスト削減目標の薬品量では太陽電池特性の低下が見られた。今後はバッファ層の成膜プロセスを改良することで、膜厚の低下を抑制し特性維持が必要と考えられる。

1.2.2. 背景・目的

一般的にn型高抵抗バッファ層はCd、Zn、Inなどの化合物薄膜であり、代表的な材料としてCdS、ZnS、In2S3がある。研究機関等で用いられているCIGS太陽電池用材料は化学用析出法(以下CBD法)により形成されたCdSが主流である。しかし、CdSは有害物質であるカドミウムを含んでおり、環境負荷低減のためにバッファ層のカドミウムフリー化が求められている。

ホンダでは、CdSに代わるバッファ層の材料として、環境影響負荷の小さいIn2S3バッファ層の技術開発を行ってきた。成膜にはCBD法を用いており、①低温での処理を行う前段、②高温での

処理を行う後段の2段階に分けられた処理プロセスによってバッファ層を形成している。反応の初期段階ではInSの核種となるコロイド粒子In(OH)3が基板表面を被膜し、後段の高温状態でpHが徐々に低下すると共にIn2S3が生成されていく。

上述の反応によって、In 系混合膜(硫化インジウム、酸化インジウム、水酸化インジウムの混合物：In(O,S,OH))のバッファ層を形成する。また、この反応は後段の温度を上げることによっても促進させることなどができる。しかしながら In2S3 バッファ層に含まれる In は高価であるため、このバッファ層成膜に使用する In 系化合物を含む薬品の使用量を抑えることがコストダウンに効果的である。

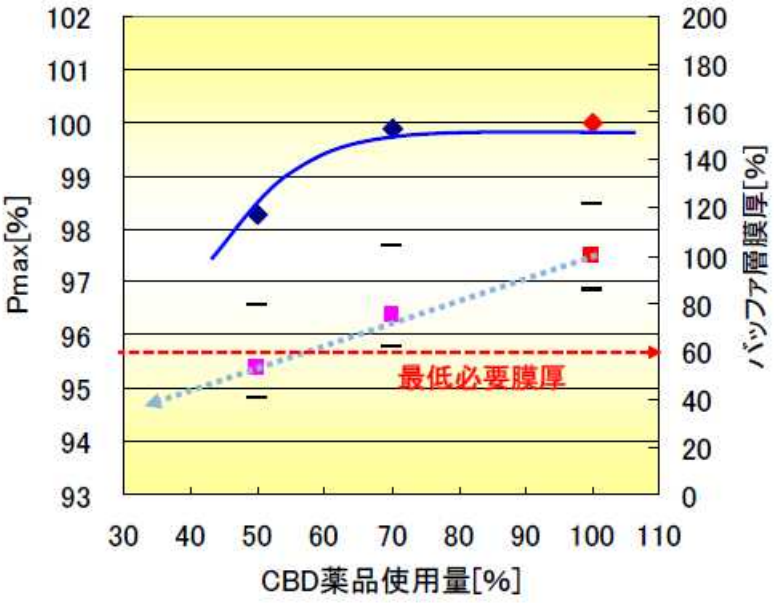
本テーマではコストダウン施策として、バッファ層成膜に使用する薬品量の低減を目指しており、CBD 工程におけるバッファ層成膜メカニズムを明確化するとともに、モジュールの性能・製造タクトを維持した状態で、使用する薬品量を 50%に低減しモジュール製造コストの削減を図る。

1.2.3. 開発内容

1.2.3.1. 薬品量削減に伴う課題の抽出

始めにCBD に用いる薬品量とバッファ層の膜厚と太陽電池特性の影響について検証を行った。バッファ層の膜厚評価は蛍光X 線(XRF)を用いて行い、モジュールサイズで太陽電池特性を評価している。

薬品量は量産条件(100%)に対し、70%、50%の 3 水準で評価を行い、薬品使用量と膜厚、モジュール Pmax の相対値を図 4.2.1 に示した。量産条件から徐々に薬品量を低減させると、薬品量に比例して膜厚が低下し、基準に対し 50%のモジュールで太陽電池特性が低下した。



図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(11) CBD薬品量と出力・膜厚の関係

従来の技術開発から、現状のバッファ層で 60%以上の膜厚が必要とされており、この結果からCBD 薬品使用量が 60%を下回ると、太陽電池特性が低下することが予測できた。また、膜厚の低下と性能低下には相関性があることが予測されたため、表Ⅲ-2-(ハ)-D-1(1)に他の太陽電池特性について膜厚との相関性をまとめた。薬品量が 50%時での性能低下は Voc と FF(主に Rsh と I0)の低下に起因するものであることが表からわかる。ここで、特性値については薬品量 100%の性能に対する割合で算出している。

表Ⅲ-2-(ハ)-D-1(1) CBD 薬品量と太陽電池特性の一覧

薬品量	P_{max}	V_{oc}	I_{sc}	FF	R_s	R_{sh}	I_0	N 値
100%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
70%	99.90%	99.90%	99.80%	100.1%	83.00%	90.00%	141.0%	104.0%
50%	97.80%	98.90%	99.70%	99.10%	70.00%	84.00%	364.0%	110.0%

CBD中は前段の反応初期にIn2S3の結晶核となるIn2(OH)3が基板上に付着し、反応後半でInSの核成長が進行すると考えられている。その為、薬品量を削減した条件では後段の反応が充分に進行していなかったと考えられ、CBD後の膜にはIn2(OH)3が多く存在し、In2S3が少ない状態にあったと推察される。CIGS薄膜はその基板面内の組成分布にバラつきがあり、不均一な抵抗を持っている。その為、大面積基板では特にバッファ層には一定以上の抵抗(膜厚)が必要となるが、膜厚の減少によって抵抗を保てなくなった為、漏れ電流が増加していると考えられる。また、In2(OH)3の存在により、界面付近の再結合を増加させていると考えられ、RshやI0の劣化を引き起こしていると考えられる。

一方で、薬品量が 70%の条件で作製したモジュールはその太陽電池特性が量産条件と同等を示しており、現状の製造コストから 1.6 円/W の削減が可能であることが分かった。すなわち、量産条件の膜厚に対して 80%以上であれば特性が維持出来る。しかしながら、目標である 2.6 円/W のコストダウンにはさらに 20%の薬品量低減が必要となる為、少量の薬品量でも膜厚を保持できる成膜プロセスの改良について検討した。

1.2.3.2. 膜厚を制御するパラメータの選定

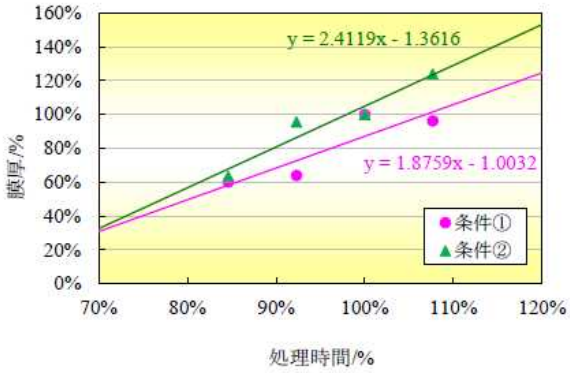
1.2.3.1.より、太陽電池特性を維持する為には80%以上の膜厚が必要であり、製造コストを更に減少させるため膜厚を増加させる手法を確立しなければならない。そこで、CBD工程において膜厚を制御すると考えられる処理温度、薬品量、撹拌速度、処理時間の4種のパラメータについて小面積基板を用いて検証を行った。

4種のパラメータについて表Ⅲ-2-(ハ)-D-1(2)に示したように条件出しを行い、小面積試験にて50㎜×50㎜サイズのガラス基板上に成膜し膜厚の変化を評価した。この結果を図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(12)～図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(15)に示し、各パラメータの成膜レート影響率値を表4.2.3にまとめた。これらの結果から、すべてのパラメータにおいて膜厚の増加が見込めることが分かったが、量産装置のスペックの上限やタクトの厳守といった観点から、『撹拌速度』に照準を絞った。

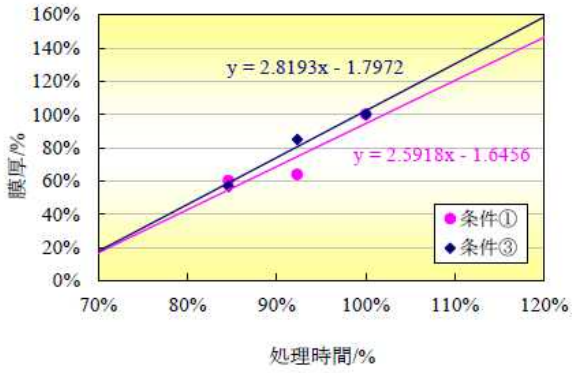
撹拌速度の増加により、バッファ層の成長核となる In2(OH)3 粒子が CIGS 基板上で生成しやすくなり、昇温や処理時間延長を行わなくても基板上に粒子が付着しやすくなり、膜厚を増加させる事が可能となったと考えられる。

表Ⅲ-2-(ハ)-D-1(2) 小面積試験条件一覧

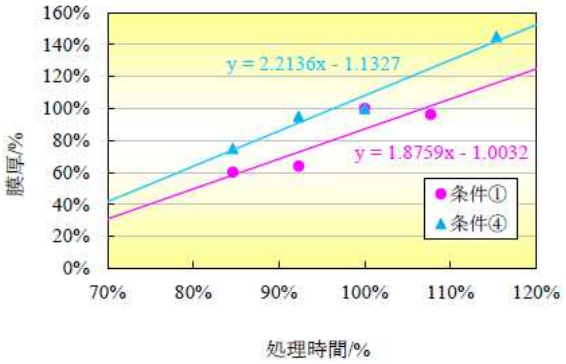
条件	記号	処理温度	薬品量	撹拌速度	処理時間
条件①	●	通常	通常	通常	通常
条件②	▲	増加	通常	通常	通常
条件③	◆	通常	増加	通常	通常
条件④	▲	通常	通常	増加	通常
条件⑤	◆	通常	通常	通常	増加



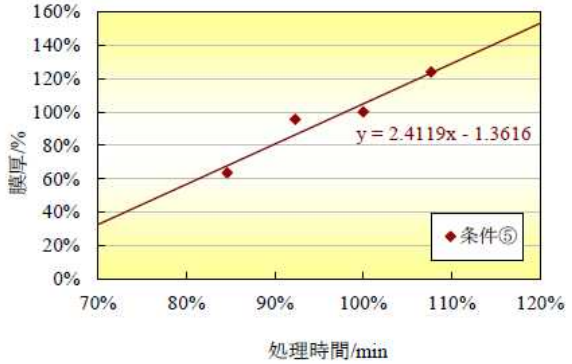
図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(12)
膜厚の処理温度と時間依存性



図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(13)
膜厚の薬品量と時間依存性



図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(14)
膜厚の薬液撹拌速度と時間依存性



図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(15)
膜厚と処理時間依存性

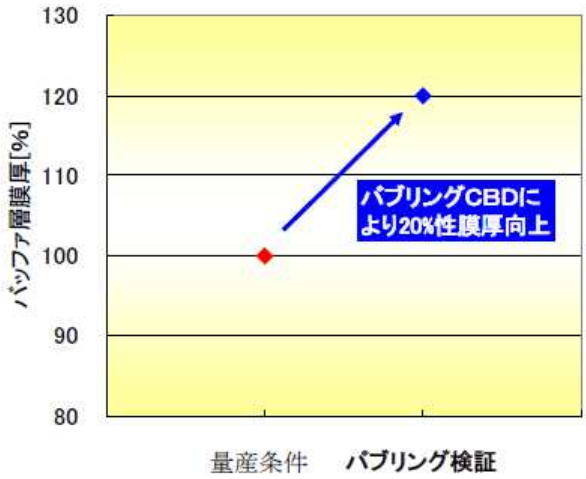
表Ⅲ-2-(ハ)-D-1(3) 成膜レートの向上率一覧

	成膜レート向上率
処理温度増加	＋ 9.0%
薬品量増加	＋18.0%
撹拌速度加速	＋29.1%
処理時間延長	10min 延長に対し＋18.0%

1.2.3.3. バブリングCBD による膜厚コントロール

1.2.3.2.で撹拌速度の増加がバッファ層膜厚に影響することを明らかにした為、現行装置を用いて撹拌速度を上げる手法の一つとして、バブリングCBD を検討した。バブリングCBD とは、バッファ層成膜中に槽内へ気泡(バブル)を送り込み、槽内の薬液の撹拌を促すことを目的とする膜堆積手法である.

量産設備を用いてバブリング CBD により製膜したバッファ層の膜厚を図 4.2.6 に示した。図に示されるようにバブリングを行いながら成膜を行うことで、量産条件に対して 20%の膜厚増加を確認した。従ってバブリング CBD によって、現行装置でタクト増加と設備投資なく薬品量削減によって生じる膜厚低下を補填出来ることが分かった。



図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(16) バブリングによる膜厚影響

1.2.4. 結論

薬品量とバッファ層膜厚と太陽電池特性の影響を検証した結果、量産条件に対して 70% の薬品量で太陽電池特性の維持が可能で、これにより 1.6 円/W の製造コスト削減が可能であることを明らかにした。しかしながら、70%未満では膜厚低下によって太陽電池特性が低下してしまい、目標値である 2.64 円/W の達成には課題が残った。直近の検証により、バブリング CBD で量産条件に対して 20%の膜厚増加を確認できており、今後はモジュールサイズでの太陽電池特性の評価を検討する。

1.3.光吸収層薄膜化技術開発

1.3.1. 概要

CIGS光吸収層薄膜化の実現に向けた要素技術として、P3パターニング工程のレーザー化検証を行った。低価格なレーザー種を選択し、レーザー出力、ラップ幅の最適な条件を検証した。その条件を大面積基板でテスト加工し太陽電池性能評価を実施したところ、量産品と同等の太陽電池特性が得られる加工条件が得られた。また、懸念されていたレーザーによる熱影響やクラック等も見られなかったことから、P2-P3スクライブライン間距離の狭小により、今後更なる性能向上も見込まれる。

1.3.2. 背景・目的

一般的にCIGS太陽電池モジュールの光吸収層は、十分に光を吸収できる膜厚として2μm程度であることが知られている。さらなるコスト削減策としてCIGS光吸収層の薄膜化が考えられるが、薄膜化に伴って光を十分に吸収できなくなり量子効率が低下してしまう。そこで、基板や透明導電膜をテクスチャ構造にし、光閉じ込め効果により効率低下分を補完する技術が開発されてきた。テクスチャ構造にした基板を用いたCIGS太陽電池における小面積(～0.5cm2)での技術研究は報告されているが、現状では量産化技術の確立までは至っていない。量産化を困難にしている理由の1つにP2、P3のパターニング技術の課題があげられる。

P2はバッファ層成膜後にCIGS光吸収層/ バッファ層を切削し、セル内直列回路を形成するための加工工程であり、P3は透明導電膜成膜後に、CIGS光吸収層/ バッファ層/ 透明導電膜層を切削し、セル間の分離を行うための加工工程である。いずれの工程も先端幅100μm以下の針を使用して加工を行い、高精度な加工位置と加工深さ、直進性、最小限のクラック、加えてそれらの再現性などが求められる。また、P2-P3ライン間は電極形成のために使用され、発電に寄与しないことから、発電面積向上のためにはP2-P3ライン間距離を出来るだけ狭くすることが重要である。現行の針による機械的加工は接触加工である為、凹凸基板に対しての加工が困難であり、かつクラックも発生しやすい。その為、非接触式加工であるレーザーを用いたパターニング技術が対策の一つとして考えられる。しかしながら、凹凸があるが故のレーザー焦点距離の変化や膜厚や組成の面内分布など、被加工側の要素によって安定加工が難しくなる可能性も考えられる。また

レーザーの熱による影響も懸念され、照射時の熱によりP3ライン周囲の膜が変質してしまうようであれば、FF低下や発電面積の縮小(Isc低下)が起こる。

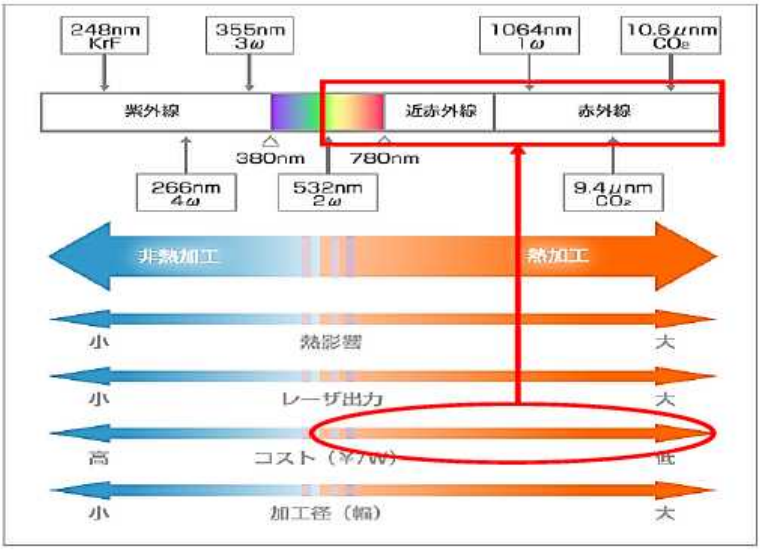
本研究開発では、上記レーザーパターニングの基本特性を考慮しながら、基板凹凸化技術とそれに合わせたパターニング技術(P2、P3 レーザー化等)を開発し、CIGS 光吸収層を量産条件より薄膜化しモジュール製造コストを削減する。コスト目標は現在の製造原価比で-5.4 円/W と定めた。平成 24-25 年度は P3 レーザー化の技術確立を行うべく、レーザー種の選定および加工条件についての検討を行った。

1.3.3. 開発内容

1.3.3.1. レーザー種の選定

本項では低コストレーザー加工技術を実現するためにレーザー種の検討と選定を行った。本研究開発は製造コスト削減を目的とし、消費電力や持続性に有利なパルス幅を持つパルスレーザーを用いた。

レーザー波長は図 4.3.1 に示した中の低コストで加工できる波長域中で、かつ CIGS 太陽電池が吸収できる波長域である A と B の 2 種類の波長を選定した(波長：A<B)。この 2 種類のレーザーを用いてテスト加工・評価を行った。加工条件は表Ⅲ-2-(ハ)-D-1(4)とし、この条件で数セルの小面積太陽電池を作製し、その特性評価を行った。評価用太陽電池を作製するにあたり、P2 工程はメカニカル加工(量産装置)、P3 工程をレーザー加工とした。P3 のレーザー加工状態を太陽電池性能の FF で評価した。



図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(17) レーザー波長とコストの関係

表Ⅲ-2-(ハ)-D-1(4) レーザー加工条件

波長 A

		パルスラップ率［%］	
		0%	50%
レーザ出力	低	○	○
	中	○	○
	高	○	○

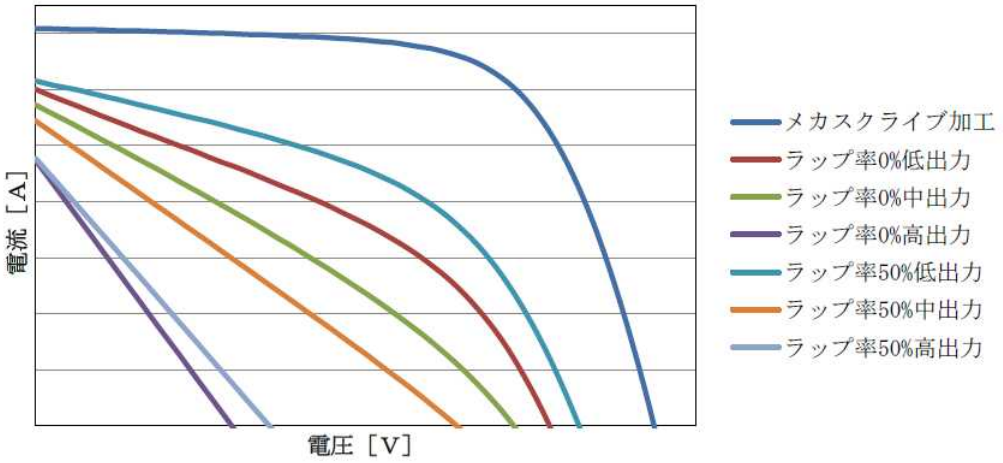
波長 B

		パルスラップ率［%］	
		0%	50%
レーザ出力	低	○	○
	高	○	

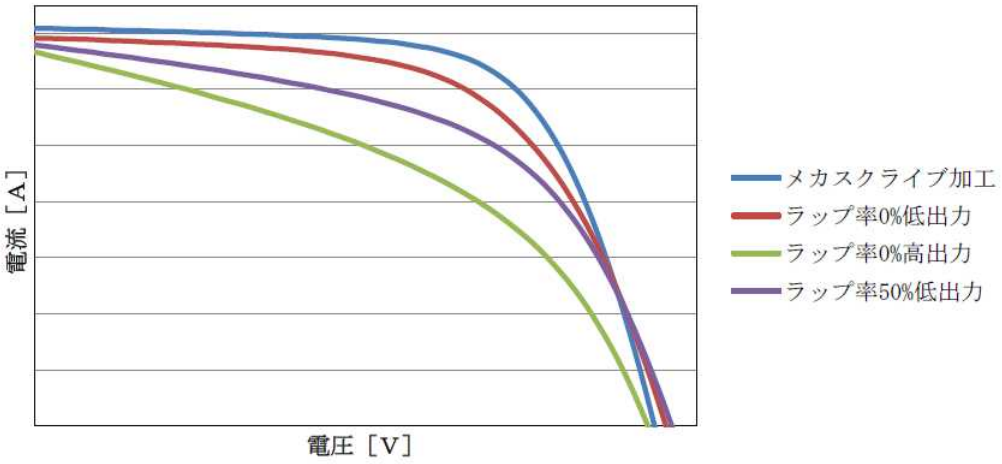
○：加工を行う条件

決定した条件で加工した太陽電池のI-V測定結果を図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(18)、図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(19)に示した。また、加工条件に対するFFの測定結果を表3.2に示した。表4.3.2から波長Bのパルスラップ率0%、低出力の加工条件のFFが最も良く、レーザー出力が大きくなるにつれてFFも悪くなることが分かる。

波長 A で加工したサンプルは I-V 測定結果より Rsh が低い傾向が見られ、漏れ電流が多くなっていることが考えられる。このためレーザー加工をした断面(図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(17))の抵抗分布測定を行い、加工状態を調べた。結果を図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(18)、図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(19)に示した。結果を図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(18)はパルスラップ率 0%、低出力で加工した断面、図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(19)はパルスラップ率 0%、高出力で加工した断面である。低出力で加工したものは CIGS 層が除去できていないことがわかる。同様に高出力で加工したものも CIGS 層が除去できていないことが見受けられる。この結果より CIGS 層の未除去箇所があるため漏れ電流が増加し、FF が低下したものと考えられる。波長 A で加工を行うためには更に出力を上げ、CIGS 層を全て除去する加工を行う必要がある。



図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(18) 波長AのI-V特性



図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(19) 波長BのI-V特性

表Ⅲ-2-(ハ)-D-1(5) 加工条件とFFの関係

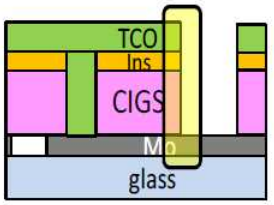
波長 A

		パルスラップ率［%］	
		0%	50%
レーザ出力	低	59%	71%
	中	46%	39%
	高	55%	38%

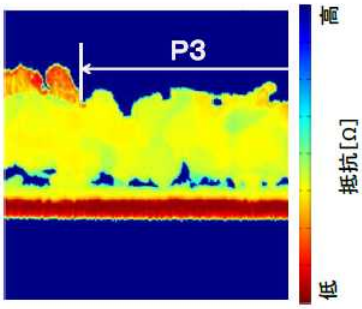
波長 B

		パルスラップ率［%］	
		0%	50%
レーザ出力	低	90%	81%
	高	66%	

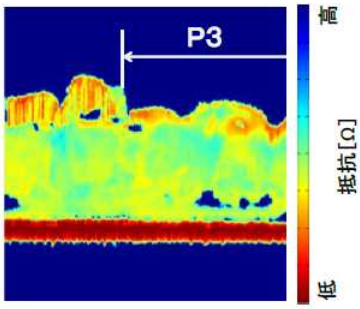
※メカスクライブ加工の FF を基準(100%)とした相対値で表記



図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(20)
抵抗分布測定箇所



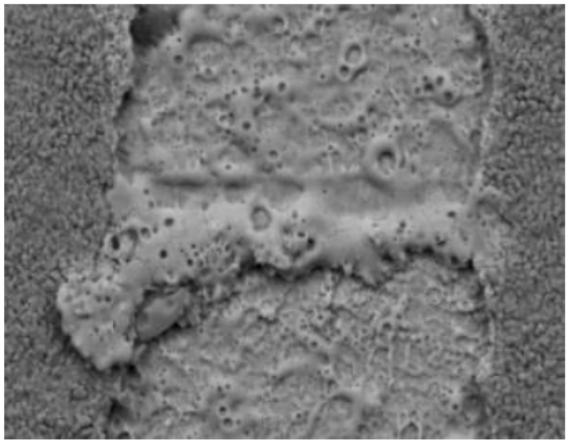
図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(21)
波長Aラップ率0%
低出力加工の抵抗分布



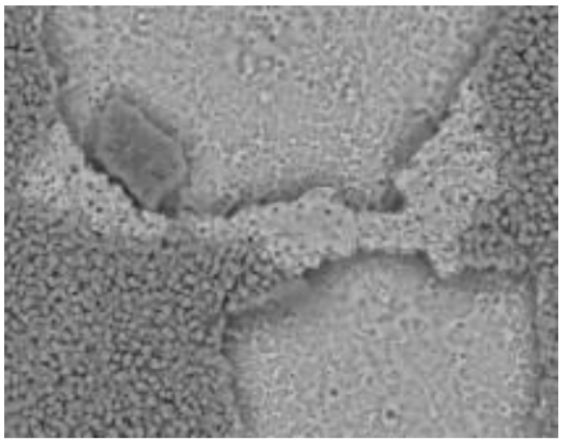
図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(22)
波長Aラップ率0%
高出力加工の抵抗分布

波長Bのパルスラップ率0%、高出力とパルスラップ率50%、低出力で加工したサンプルはI-V測定結果よりRshが低い傾向が見られ、漏れ電流が多くなっていることが考えられる。これは加工状態が図4.3.7の様になっており、パルスとパルスのラップ箇所が溶融し、隣のセルと接合することで漏れ電流を発生させていると推測される。波長Bはパルスラップ率や出力が過大であることで溶融するため、本条件より小さなパルスラップ率と出力にする必要がある。

また、最もFFの高い結果が得られた波長Bのパルスラップ率0%、低出力の加工状態は図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(21)の様になっており、パルスの端に膜の未除去箇所が確認できる。これはパルスの端のエネルギーが低く、十分なエネルギーが得られないことが原因だと考えられる。今後、パルスラップ率を最適化することで未除去箇所をなくし、メカスクライブ加工同等のFFを得ることが期待できる。



図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(23) 膜の溶融箇所



図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(24) 膜の未除去箇所

以上より、波長Bのパルスラップ率0%、低出力がテスト条件中で1番良い加工状態となり、パルスラップ率を変化させることでメカスクライブ同等の性能を得られる見込みがあることが分かった。よって、本研究開発では波長B、低出力のパルスレーザーを採用した。

1.3.3.2.加工条件の最適化

1.3.3.1 で決定したレーザーを使用し、パルス幅、周波数固定を固定した上でレーザー出力とパルスラップ率を変化させて加工状態の確認や太陽電池性能評価を実施した。加工条件を下表Ⅲ-2-(ハ)-D-1(6)にまとめた。

表Ⅲ-2-(ハ)-D-1(6) P3レーザー加工実験条件

		パルスラップ率[%]				
		10	20	30	40	50
レーザ出力(相対値)	50		◎			
	75	◎	◎	◎	△	△
	100		◎			
	125		△			
	150		△			

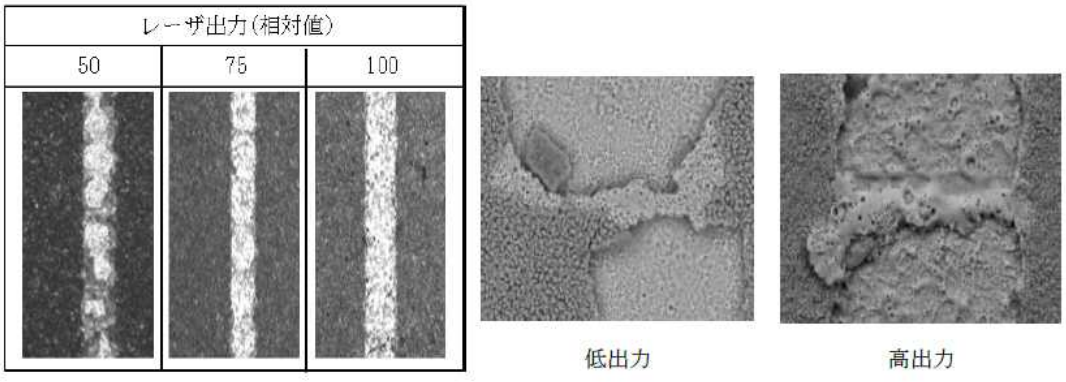
※◎：SM サイズ(720×455mm)と 100×100mm 基板の両方に加工

△：100×100mm 基板のみ加工

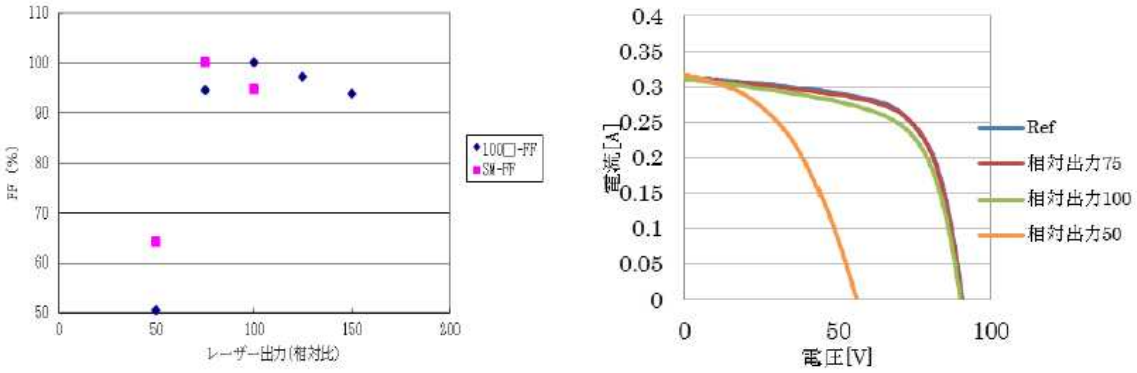
レーザー出力は基準を 100 とした相対値で表記

次にパルスラップ率を20%に固定し、レーザー出力を変化させた結果を図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(22)、図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(23)に示した。レーザー出力の低いサンプルでは、所々に膜の未除去部分が見られた。出力が大きくなるにつれ膜未除去部分の出現率は低下するものの、パルスのエッジ部分での膜溶融が反比例的に増加した。これらの事象は、レーザー出力の増加によりパルス当たりのエネルギーが増加し、膜に与える熱量が大きくなることに起因している。

また、これらの条件で加工した基板の太陽電池性能評価を行った結果が図 4.3.10 である。基板サイズは 100×100mm と、720×455mm サイズ(Sub Module：以下 SM と表記)の 2 種類を使用した。P3 工程の役割はセル間の分離であることから、ここでは太陽電池性能に関わるパラメータのうち FF のみのデータを示す。図中での FF 挙動は、あるレーザー出力を極大とした曲線を描いていることがわかる。膜が未除去であるとセルの分離不十分により Rsh が低下し、膜が溶融すると CIGS の低抵抗化によりその箇所がリーク源となり、同じく Rsh が低下する。今回の条件では唯一、SM サイズ/ 出力 75 のサンプルがメカスクライブ品と同等の FF を示した。一方で、100×100mm サイズにおいてはレーザー出力 100 が最適条件であり SM サイズの結果とは異なっている。これは基板サイズが大きくなるにつれて膜厚・組成等の面内分布が大きくなり、全体で最適となる条件が異なるためであると考えられる。



図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(25) レーザー出力ごとの加工状態比較

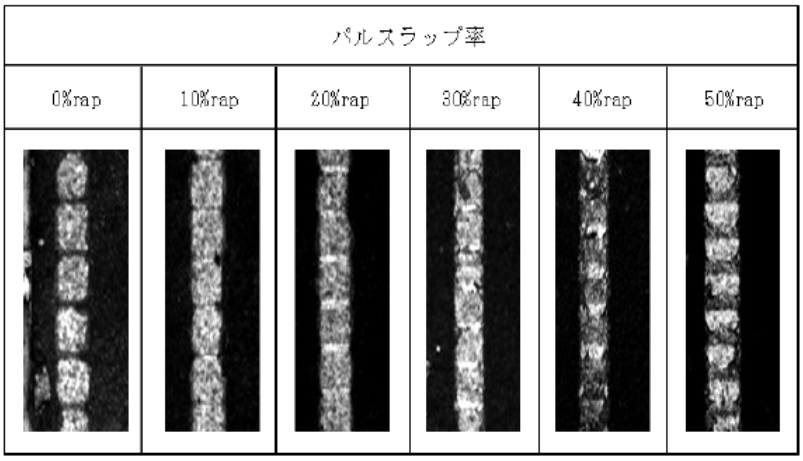


図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(26) レーザー出力ごとFF比較、I-Vカーブ

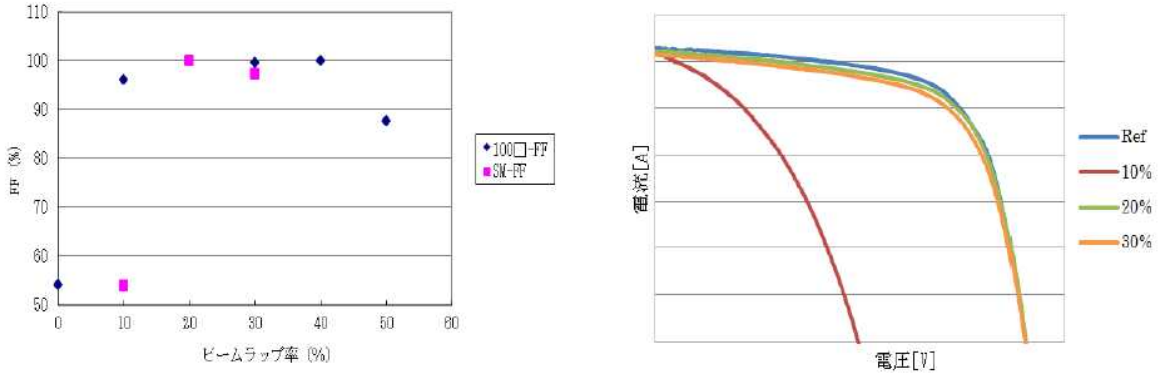
続いて、レーザー出力を75に固定し、パルスのラップ率を変化させて比較を行った。パルスラップ率は、パルス幅を一定としてレーザー加工速度によって制御を行っている。パルスラップ率と基板表面の加工状態は図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(24)のようになった。

ラップ率0%の条件ではビームの立ち上がり・立ち下がり時間の関係から、パルス端部でエネルギー不足となる部分が生じ、膜を完全に除去出来ていないが、ラップ率を上げることで連続したきれいなラインを形成出来た。(図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(24))また、図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(25)にラップ率を変更して加工した基板で作製した太陽電池のIVカーブを示した。ラップ率が上がるに従って電池性能が改善している事がわかる。この時、ビームラップ率20%のサンプル(SMサイズ)がメカスクライブ品と同等のFFを示した。ビームラップ率もレーザー出力と同様に、あるラップ率を極大とした曲線になっている。

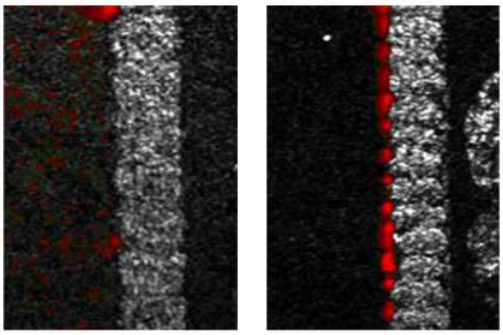
図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(26)はラップ率の異なる 2 サンプルの漏れ電流を可視化した分析結果であり、赤色発光箇所は漏れ電流が発生している部分である。図より、ラップ率が大きくなるにつれて発光箇所は増加していることがわかる。周囲より低抵抗になっている発光箇所を顕微鏡で観察すると膜溶融が見られた。レーザー出力が大きい場合と同様、レーザー照射によって与えられる熱量が大きくなると、狙いとしていた加工ラインだけでなくその周囲にまで熱が拡散し、CIGS 膜が除去しきれずに溶融したような加工形状になる。その結果、CIGS の低抵抗化によって漏れ電流が発生し、FF 低下を引き起こす原因となったと考えられる。



図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(27) パルスラップ率ごとの加工状態比較



図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(28) ビームラップ率ごとFF比較、I-Vカーブ※Ref品のFFを100%とおく



図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(29) リーク箇所発光分析

1.3.4. 結論

コスト要件を満たし、なおかつ P3 レーザー化の実現可能性があるレーザー種を選定することができた。このレーザーを用いて加工の条件を最適化することによって、メカスクライブ品と同等の性能が得られ、P3 レーザー化が可能であることを実証した。加えて、加工状態の改善による電池性能向上が可能であることが判明したため、更なるコストダウンも見込める。しかしながら、CIGS 凹凸基板への加工性、装置設計、吸収層薄膜化による光吸収量低下を補填する光閉じ込め効果技術の検証が未実施であるため、今後検証を行っていく。

※1：レーザエージェンシーHP／レーザー加工知識／レーザー発振器選定のポイント
http://www.laser-ac.com/basic/02_02.php より参照

1.4. モジュール構造開発

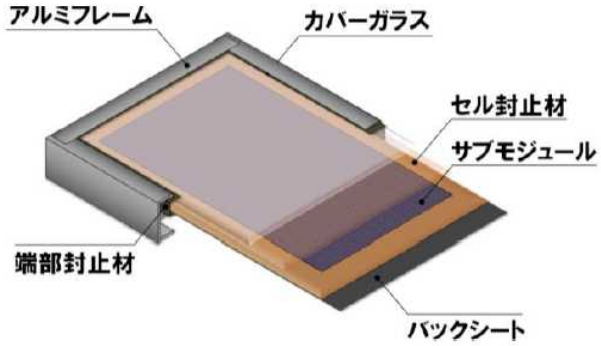
1.4.1. 概要

大幅なコストダウンが可能なフレーム・端部封止レス技術の開発を行った。新規封止材を用いたフレームレス構造モジュールで高温高湿試験・温度サイクル試験・結露凍結試験・促進耐候試験を実施し十分な耐候性と JIS 規格適合性を有していることを確認した。提案する構造では、部材・製造工程の省略などにより、従来構造に比べてモジュール製造コストを W 当り 8.16 円削減可能である。

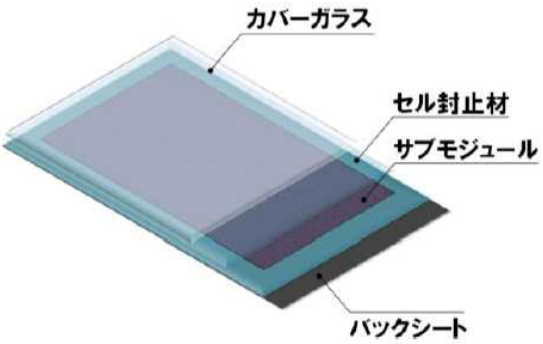
1.4.2. 背景・目的

これまでに開発してきたモジュールの構造は図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(27)(a)のように、受光面にカバーガラス、裏面にバックシートを配しエチレン・酢酸ビニル共重合体(以下 EVA)樹脂にてセルを封止した上で、モジュール周囲の積層面を端部封止材により封止しアルミフレームを組み付けている。これらの構造材のうちカバーガラス、アルミフレーム、バックシート等がコストの大多数を占めるが、材料価格の削減余地は少ない。従って、大幅なコスト削減のためにはモジュール

の構造自体を変更し、機能統合による部材の削減が有効となる。本テーマではフレームレス構造を実現することでモジュール製造コスト削減を目指し、今期は耐久試験による長期信頼性の検証を行い、6.48 円/W を削減できる構造開発を行う。



図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(30)(a) 従来構造



図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(31)(b) フレームレス構造

提案するフレームレス構造：図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(28)(b)は従来構造と同様にカバーガラス／セル封止材／サブモジュール／セル封止材／バックシートの順に積層した構造である。 端部封止材とフレームを使用せず、それぞれの機能をセル封止材と支持架台が担う。従来構造に比べて大幅なコストダウンが可能であり、加えてモジュール重量の低減も期待できる。

薄膜太陽電池における、フレームレス・端部封止レス構造の主な課題としては(1)耐湿性の確保(2)紫外線耐性の確保が挙げられる。端部封止無しとすることでモジュール内に水分が侵入しやすくなり、従来構造よりも劣化が早くなると考えられる。本テーマでは特性の異なる複数の樹脂材料を選定し、それぞれ耐候性の検証を行った。

1.4.3. 開発内容

1.4.3.1. セル封止材耐湿性の検証

CIGS太陽電池の透明導電膜層に用いられるアルミニウムドープ酸化亜鉛(以下AZO)は酸素空孔に水分吸着することにより高抵抗化することが知られている。また、一般にセル封止材として用いられるEVAは加水分解により遊離酢酸が生じるため、AZOを腐食し同様に高抵抗化を引き起こす。したがってセル封止材には、水分子を通しにくいこと、遊離酸の原因となる酢酸ユニットが少ない分子構造であることが求められる。

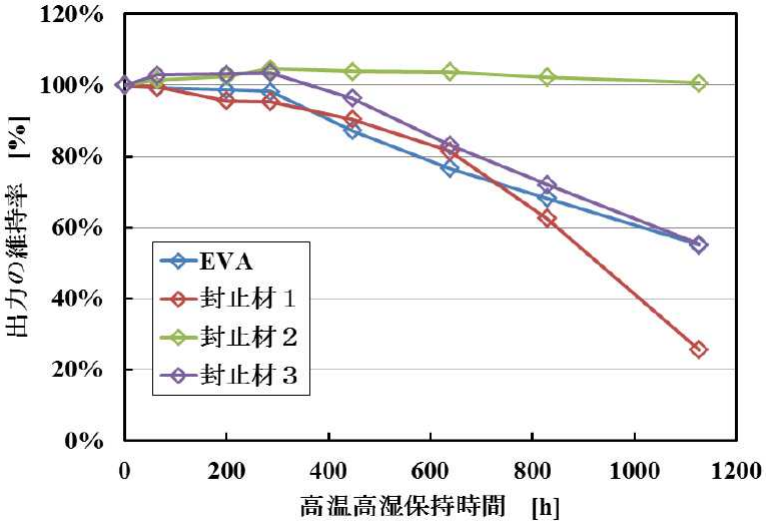
表Ⅲ-2-(ハ)-D-1(7)に本テーマで検証を行ったセル封止材の特性を示す。

表Ⅲ-2-(ハ)-D-1(7) セル封止部材の物性値

封止材		EVA	封止材 1	封止材 2	封止材 3
透湿度	(%) EVA を 100 とする	100	4	60	15
接着力	(%) EVA を 100 とする	100	142	215	115

製造コスト低減のため、いずれも非架橋、キュアレスの部材を選定している。これらの封止材を用いて、10cm×10cmのミニモジュールを真空ラミネート方式で作製し、高温高湿試験(JISC8991)により耐湿性の評価を行った。

図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(29)にそれぞれの封止材で作製したモジュールの試験結果を示す。



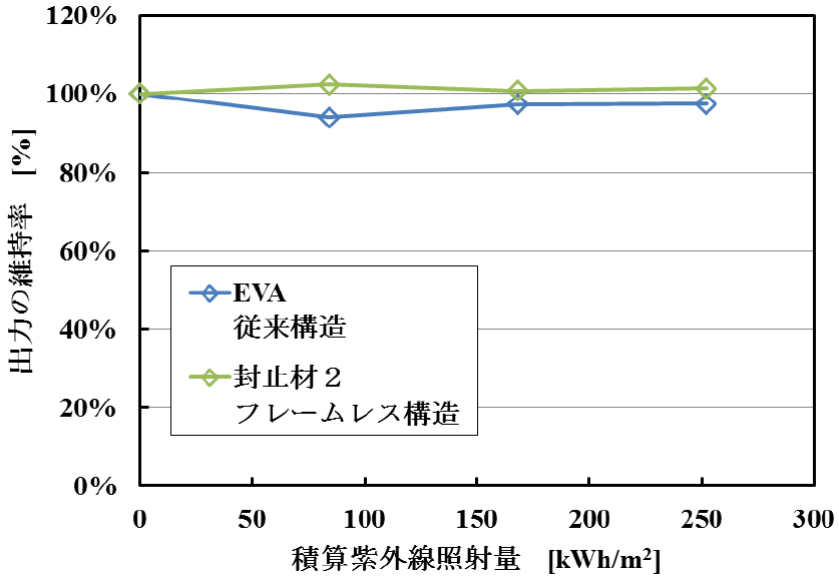
図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(32) ミニモジュール高温高湿試験結果

水分の侵入という観点では透湿度の小さい封止材1が優れると予想されたが、封止材2のみが1000時間経過後も初期出力を維持している。封止材2は、1、3と比べて透湿度が高いにも関わらず、AZOの高抵抗化が見られない。この結果は、封止材に求められる特性がこれまで議論されてきた透湿度だけでないことを示している。封止材2はガラス密着力が強くAZOとも強固に接着することで酸素空孔との反応を防いでいると考えられ、今後はAZO/セル封止材界面の接着状態を確認し、耐湿性寿命との関係を明らかにする必要がある。

1.4.3.2. セル封止材紫外線耐性の検証

前項で耐湿性に優れていた封止材2の紫外線耐性を促進耐候性試験で検証した。水分の侵入による影響を評価するため、紫外線照射と結露を4時間毎に繰り返すサイクル試験とした。比較対象として従来構造のミニモジュールを作製し試験を行った。

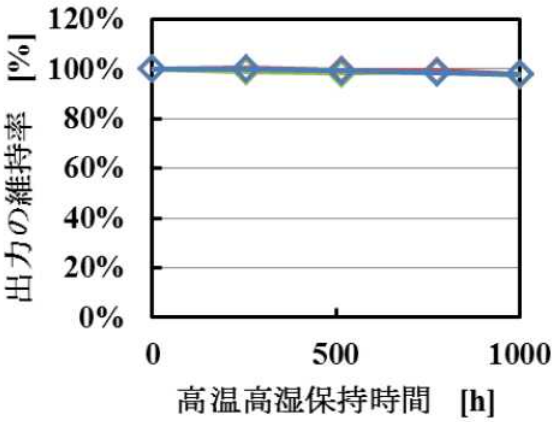
図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(30)に促進耐候性試験結果を示す。波長域 300-400nm の紫外線を積算で252kWh/m2 照射後において、従来構造・フレームレス構造共に出力の低下および外観上の劣化は見られなかった。より長期の耐久性確認と、屋外暴露試験との相関確認が今後の課題となる。



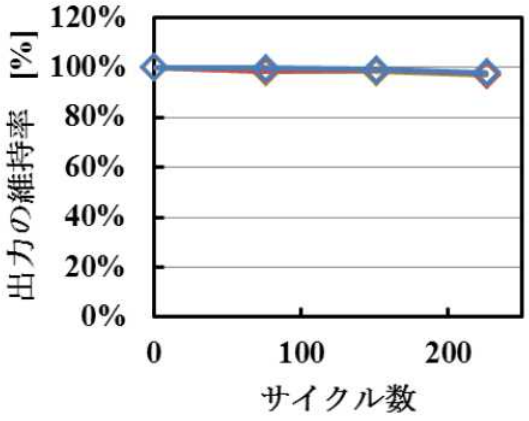
図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(33) ミニモジュール促進耐候性試験結果

1.4.3.3. 大面積モジュールでの耐候性検証

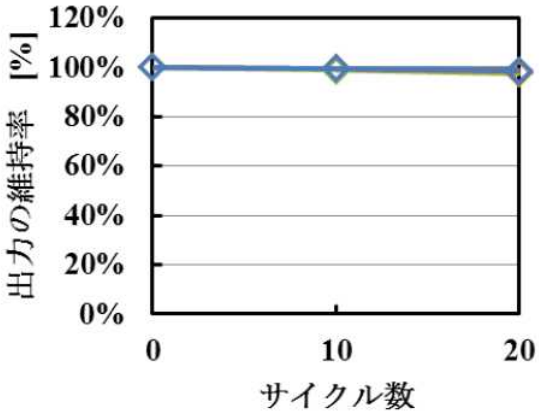
前記の封止材2を用いて、現行量産ラインで140cm×75cmの大面積モジュールの試作を行い、JIS規格(C8991)の適合性検証を行った。 図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(31)、図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(32)、図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(33)にそれぞれ高温高湿試験、温度サイクル試験、結露凍結試験の結果を示す。また、それぞれの試験後の絶縁抵抗を湿潤漏れ電流試験で評価した。



図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(34)
大面積モジュール高温高湿試験結果



図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(35)
大面積モジュール温度サイクル試験結果



図Ⅲ-2-(ハ)-D-1(36) 大面積モジュール結露凍結試験結果

いずれの試験においても出力の低下、外観上の不適合は見られず、試験後の絶縁抵抗は全て300MΩ・m2 以上となり十分高い値を維持できている。今後は、モジュールの支持工法を確立し、JIS 規格で規定されている、一連の試験シーケンスを実施し要求事項を満たすことを示す必要がある。

1.4.4. 結論

大面積モジュールにて各種耐候性試験を実施した結果、①製造コストを今回の削減目標値であった6.48円/Wに対して8.1円/W削減する見通しを確立、②新構造でJIS規格を満たす耐候性を確保、③モジュール重量78g/Wを達成、の三つの成果が得られた。

今後更なるコスト改善に繋がる課題として①モジュール端部構造の最適化、②支持工法の確立が挙げられる。モジュール端部構造の最適化について、フレームレス構造の場合、モジュール端部とセル間の距離、端部の開口面積は耐湿性寿命に影響を与えることがわかっている為、これらを適切に設計し、より長期的にモジュールの性能を維持していくことが求められる。支持工法の確立について、これまでの開発により、モジュール製造コストの低減の見通しを立てることができているが、支持架台も含めたシステム全体でのコスト削減も課題となる。これまでと同等以下のコストでフレームレスモジュールを取り付け可能な架台を検討中であり、機械的荷重試験などで一定の成果を得ている。商品化に向けてコストと施工性、信頼性を満たす支持工法を確立する必要がある。

最終目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
①Se 化技術開発 ガス低減量限界値の見極め (1.7 円/W 削減)	・H2Se ガスの供給量は従来のプロセスの 83%以上でカルコパイライト構造が保てること。 ・セレン化条件を従来から 114%に高温化すると CIGS 薄膜表層で Ga/Ⅲ元素比が高くなること。 これらの 2 つのセレン化条件の最適化により、2.16 円/W 削減可能なプロセスを確立した。	◎	
②バッファ層成膜技術開発 薬剤使用量低減限界値見極め (1.3 円/W)	・本研究では使用する薬品量を低減させることで、量産条件に対して 50%のコスト削減を目標とした。使用薬品量とバッファ層膜厚には相関があり、従来製法に対し 70%の薬品量で同等の太陽電池特性が得られ、1.4 円/W 削減見込みを確立した。	○	
③吸収層薄膜化技術開発 P3 レーザー選定完了 (レーザー種、加工条件)	・CIGS 光吸収層薄膜化の実現に向けた要素技術として、P3 パターニング工程のレーザー化検証を行った。低価格なレーザー種を選択し、レーザー出力、ラップ幅の最適な条件を検証した。その条件を大面積基板でテスト加工し太陽電池性能評価を実施したところ、量産品と同等の太陽電池特性が得られる加工条件が得られた。	○	
④モジュール構造開発 6.48 円/W コストダウンした実大モジュールでの耐久性確認	・低コストモジュールの実現のために、端部封止レスで耐候性を有するモジュール構造の開発を行った。試作したモジュールは JIS 規格に基づき、高温高湿試験・温度サイクル試験・結露凍結試験・促進耐候試験を実施し、十分な耐候性を有していることを確認した。新しいモジュール構造では、部材・製造工程の削減などにより、従来構造に比べてモジュール製造コストを 8.16 円/W 削減可能である。	○	

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：△、　未達：×

２．実用化・事業化見通し

平成２６年１月事業終了のため省略

３．波及効果

平成２６年１月事業終了のため省略

４．今後の展開

平成２６年１月事業終了のため省略

５．特許論文リスト

	H22	H23	H24	H25	H26	終了後	計
特許出願（うち外国出願）			0	0	1	0	1 件
論文（査読付き）			0	0	0	0	0 件
研究発表・講演（うち国際会議）			0	0	0	0	0 件
新聞・雑誌等への掲載			0	0	0	0	0 件
受賞実績			0	0	0	0	0 件
展示会への出展			0	0	0	0	0 件

【特許】

番号	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	出願人
1	特願 2014- 17109	国内	2014/1/31	公開	太陽電池の製造方法	本田技研工業株式会社

E 反射式集光型太陽光発電システムの研究開発

1. 成果詳細

最終目標と達成状況を下表に示す。開発項目は全て達成することができた。

表　Ⅲ-2-(ハ)-E-1 (1) 最終目標と達成状況

最終目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
「集光性能」 集光倍率　500 倍以上 光学効率　70%以上	 集光倍率 : 800 倍 光学効率 : 80%	◎	
「発電コスト」 設備コスト 4 億円/MW 発電コスト 23 円/kWh	 4 億円/MW 23 円/kWh	○	
「耐久性」 国内実証試験 半年間連続運転	 岡山県内試験場にて実施 平成 24 年 7 月より 25 年 2 月まで	○	

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：△、　未達：×

各開発項目の開発結果を、下記に述べる。

（１）集光性能

ミラーを使った反射による集光の光学設計は、Light Prescription Innovation（ＬＰＩ）及び長岡技術科学大学が担当した。幾何学的集光倍率５００倍以上、集光効率７０％以上、集光の許容角度±１度以上を条件として開発を進め、幾何学的集光倍率８００倍、集光効率８０％、許容角度±１．３度を達成した。

ＬＰＩの一次集光器（ＰＯＥ）と二次集光器（ＳＯＥ）の形状を下図に示す。

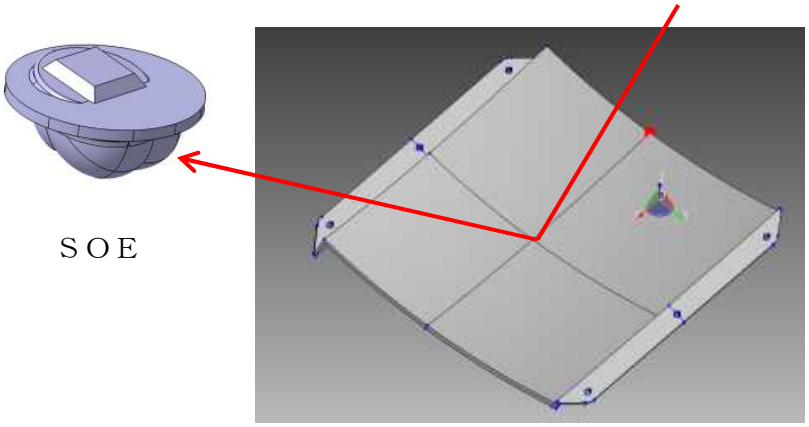


図　Ⅲ-2-(ハ)-E-1（1）ＰＯＥとＳＯＥの形状

屋外試験の様子を下図に示す。

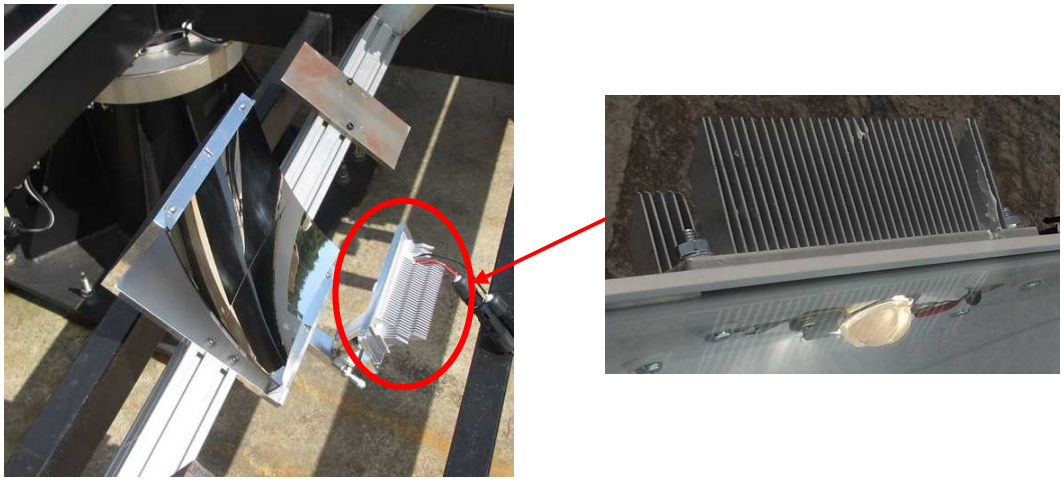


図　Ⅲ-2-(ハ)-E-1（2）屋外試験

（２）放熱性能

コンピュータ解析と実験により基礎データを求めて、屋外試験によりＣＰＶ裏面温度を計測した結果、外気温４０℃換算で９６℃を達成した。

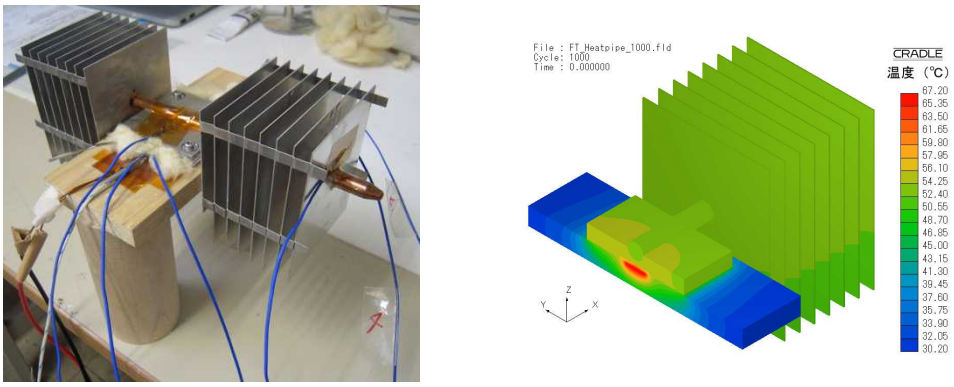


図　Ⅲ-2-(ハ)-E-1（3）コンピュータ解析と基礎実験

（３）発電コスト

１）設備コスト

構造体、駆動機構、電気・制御、現場工事を三井造船が担当し、ハウジング、一次集光器、ＣＰＶモジュールの集光モジュールを自動車部品メーカーが担当し、二次集光器を岡本硝子が担当して、製造コストを積算した結果、中間目標の設備コスト約４億円／MWを達成できた。

最終目標の設備コスト約３．３億円／MWは、米国での実証試験（定格出力合計１００ｋW）向けに、定格出力１０ｋW機を１０台生産する過程において、量産効果を確認し、正確な製造コストを把握することにより、達成することができると考えている。

２）発電コスト

米国アリゾナ州フェニックス（ＤＮＩ：２，５００ｋＷｈ／m^2／年）に設置すると、年間の発電量は、シミュレーション結果１，７５７MWｈ／年と推定され、設備コスト４億円／MWの場合の発電コストは２３円／ｋＷｈに、設備コスト３．３億円／MWの場合の発電コストは１９円／ｋＷｈになり、中間目標及び最終目標を達成できた。

（４）耐久性

岡山県玉野市に実証試験機を設置し、７月中から実証試験を開始し、現在も実験を継続している。実証試験機を下図に示す。当初は、実験担当者が立ち会っていたが、現在は無人運転を行っており、部品が太陽熱で変形する等の不具合の発生もなく、変換効率も安定しており、順調に実証試験が進んでいる。来年１月ごろには、中間目標値である半年間の連続運転を達成できる見込みである。

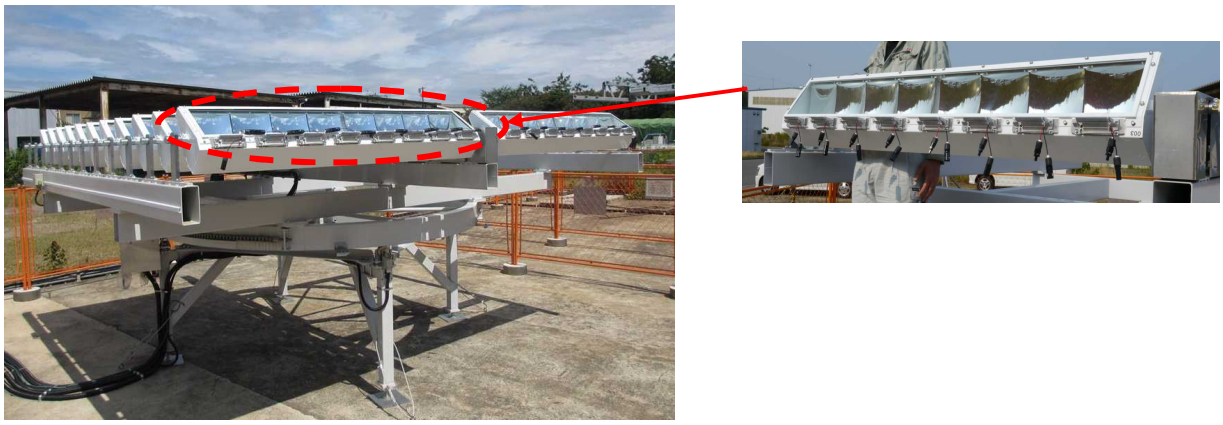


図　Ⅲ-2-(ハ)-E-1 (4) 実証試験機

2. 実用化・事業化見通し

成果の最終目標の達成可能性を下表に示す。

表　Ⅲ-2-(ハ)-E-2 (1) 平成 26 年度末および平成 29 年度末の最終目標と達成見通し

研究課題	最終目標 （平成26年度末）	達成見通し
①発電コスト	■22円／kWh	■自動車部品メーカー（自動車のﾍｯﾄﾞﾗｲﾄの製造技術の応用等）と組むことにより、設備コスト3億円／MWを、達成できると考えており、米国サンベルト地帯（DNI 2,000 kWh/m²/年）で、最終目標を達成可能と考えている。
②安定稼働	■平均発電効率25%を1年間程度連続して継続	■今年度後半の実環境連続運転で、不具合を潰し、米国での実証試験で最終目標を達成可能と考えている。

現時点の設備コスト４億円／MWは、世界の先頭集団（ＡＭＯＮＩＸ，ＳｏｌＦｏｃｕｓ，Ｓｏｉｔｅｃ等）の現時点の設備コスト３．３億円／MW程度（コンサルタントの調査結果）より高いが、米国での実証試験（定格出力合計１００ｋW）向けに、定格出力１０ｋW機を１０台生産する過程において、量産効果を確認し、正確な製造コストを把握することにより、最終目標の３．３億円／MWを達成することができると考えている。

世界の先頭集団は、ペデスタルタイプの構造を採用しているが、本事業は、カルーセルタイプの構造を採用した。カルーセルタイプの特長の一つに、強風が吹いても揺れが小さく集光効率が落ち難いことがある。集光型太陽光発電の最も有望市場である米国サンベルト地帯は、強風の日が多くあると聞いている。従って、カルーセルタイプは、ペデスタルタイプよりも、発電時間が多くなり、同じ設備コストならば、発電コストが安くなるはずである。

しかし、ＰＶの設備コストは今年になって大幅に下落し、世界の先頭集団は、懸命なコス

トダウンを行っている。本事業が、最終目標の設備コスト３．３億円／MW、発電コスト１９円／MWｈ（米国アリゾナ州フェニックス）を達成しても、ＰＶに対抗できないが、次の目標である設備コスト２．７億円／MW、発電コスト１４円／MWｈ（米国アリゾナ州フェニックス）を達成すれば、ＰＶは高温地帯では発電効率が下がること、土地の使用面積が多いことにより、ＰＶと棲み分けができると考えている。

3. 波及効果

（１）産業分野

１）関連産業に新たなビジネス提供

自動車部品、射出成型、金属蒸着、駆動機器ﾒｰｶｰ等が、再生可能エネルギー分野へ進出することができる。

２）集光型太陽光セルメーカー

現在よりもっと集光倍率の高い（約１８００倍）集光型太陽光セルの開発を促す可能性がある。

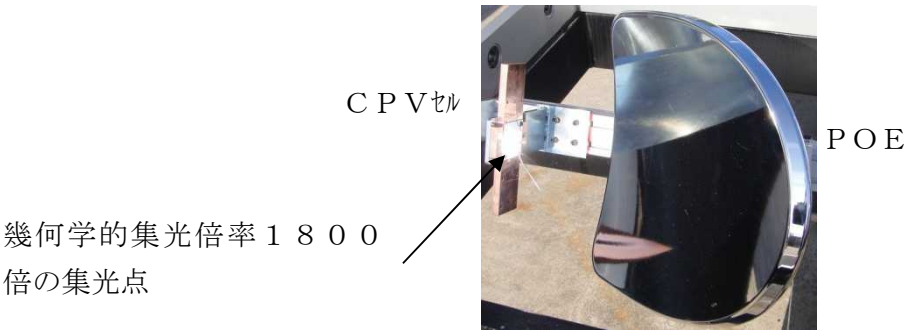


図　Ⅲ-2-(ハ)-E-3（1）幾何学的集光倍率１８００倍の集光

３）省エネ推進

集光型太陽光発電装置の設置できないビルの屋上、駐車場の屋上等に設置し、省エネを推進し、日陰を提供する。

（２）研究開発や人材育成

長岡技術科学大学機械系山田准教授の研究室は、

①世界トップレベルのＬＰＩ社の設計に匹敵／凌駕する最適化手法を構築中であり、

②光学設計分野の優れた人材を育成している。

4. 今後の展開

（１）ビジネスモデル

最初の市場は、米国サンベル地帯、特にカリフォルニア州を想定している。カリフォルニアで事業展開するためのビジネスモデルを下図に示す。

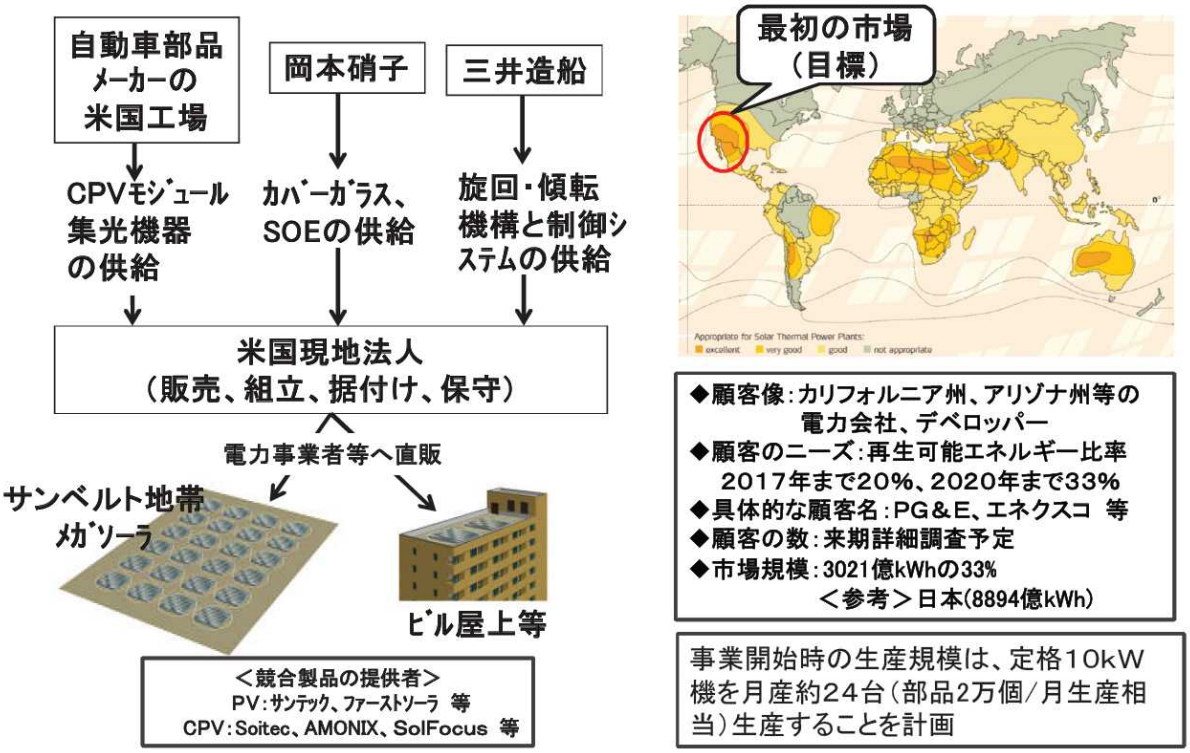


図　Ⅲ-2-(ハ)-E-4（1）カリフォルニアでのビジネスモデル

カリフォルニア州、再生可能エネルギーの比率を、２０１７年までに２０％、２０２０年までに３３％まで引き上げることを決定し、カリフォルニア州の需要電力量は、３０２１億ｋＷｈで、日本の８８９４億ｋＷｈと比べて、十分な市場規模である。

カリフォルニア州の市場に参入するために、米国に現地法人を設立する。事業開始時の生産規模は、既存の生産設備を使って量産効果が出せる最小の生産量である部品生産量２万個／月、つまり、定格１０ｋW機を月産２４台とする。

（２）今後の展開

２０１５年に実用化し、２０１６年に事業化するために、今年度の国内実証試験に続いて、２０１４年に米国カリフォルニア州で定格出力１００ｋW程度の実証試験を行うことを計画している。

米国の実証試験で、性能及び耐久性を実証し、更に米国の電力会社と系統連係を行い、国際規格及び米国規格をクリアする。事業化の展開を下図に示す。

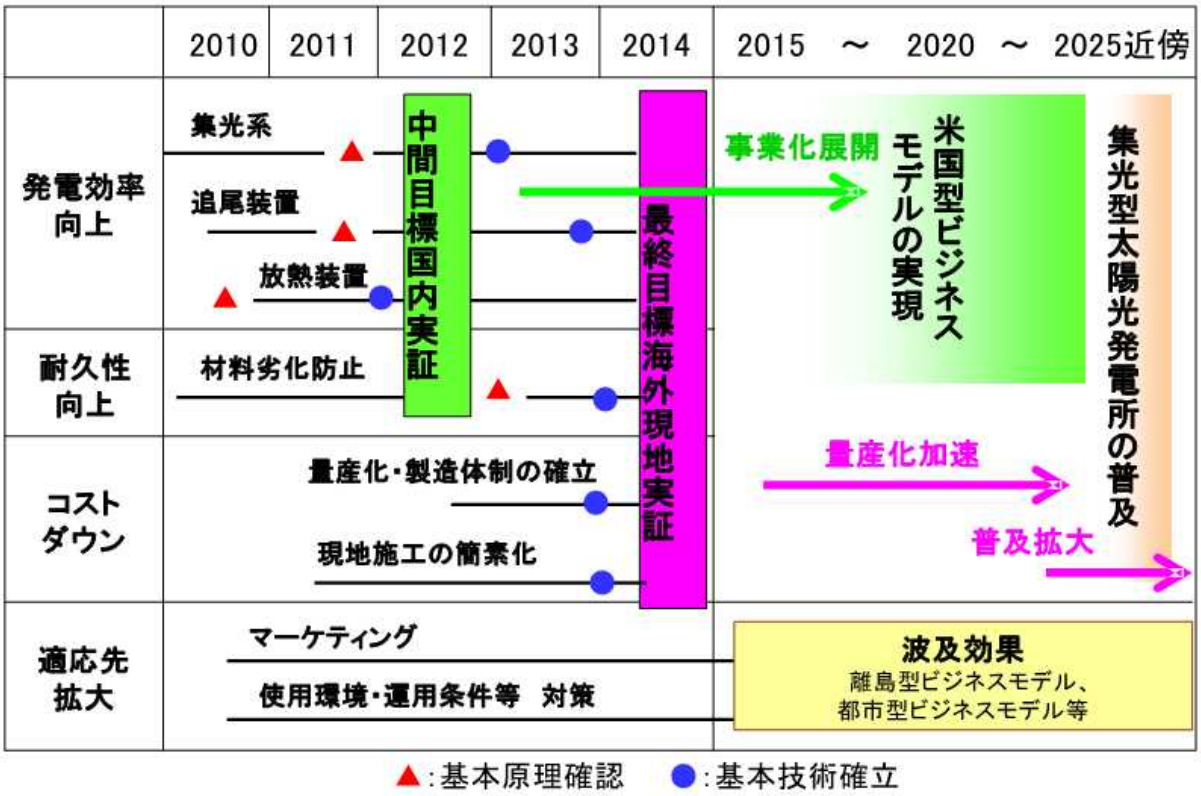


図　Ⅲ-2-(ハ)-E-4 (2) 事業化の展開

5. 特許論文リスト

採択されて以降、特許の出願、論文の発表は行っていないが、現時点でも特許の出願、論文のテーマは持っている。

特許の出願については、ＰＯＥを精度良く組み立てる方法や、その精度を効率的に検査する方法等、ノウハウの属する事項が多いので、権利化の方法を検討している。

論文の発表については、実証試験結果がまとまり次第、数件の論文を発表する予定である。知的財産権、成果の普及を下表に示す。

	H21 (2009)	H22 (2010)	H23 (2011)	H24 (2012)	H25 (2013)	H26 (2014)	計
特許出願（うち外国出願）	0	0	1	0	0	0	1 件
論文（査読付き）	0	0	0	1	0	0	1 件
研究発表・講演（うち国際会議）	0	0	0	6	0	0	6 件
新聞・雑誌等への掲載	0	0	3	2	0	0	5 件
受賞実績	0	0	0	0	0	0	0 件
展示会への出展	0	0	0	1	0	0	1 件

（ニ）色素増感太陽電池

A　ガラス基板型色素増感太陽電池（電圧型）の研究開発

1. 成果詳細

色素増感太陽電池の市場投入には、変換効率および信頼性の向上が必要不可欠であり、それらを実現するためには、従来技術の延長にない画期的な技術を創出することが必要であり、新規材料開発やメカニズム解析などの基礎研究から、デバイス化、製造プロセス技術開発まで、産学連携による研究開発が求められる。

本プロジェクトでは、大学の基礎的な研究成果に対し、民間（無機材料メーカー、有機材料メーカー、デバイスメーカー）企業が強みとするモノづくり力を持ち寄ることで、実用化に向けた強力な推進力を生みだす研究開発体制を構築すした。これにより、色素増感太陽電池の早期実用化に向けた要素技術を世界に先駆けて創出することを目指すものである。

本研究提案では、色素増感太陽電池における三つの研究開発分野、つまり

“太陽光発電デバイス（セル・モジュール）開発”

“各種材料（酸化物半導体、色素、電解液）開発”

“メカニズム解析研究”

の総合研究体制を構築し、それらの３つの研究グループが協調して、色素増感太陽電池の研究開発に取り組み、そのシナジー効果を最大限に発揮させる。

色素増感太陽電池は下記の“三層”からなる ナノヘテロ界面から構成される。

“酸化物半導体電極”

“増感色素”

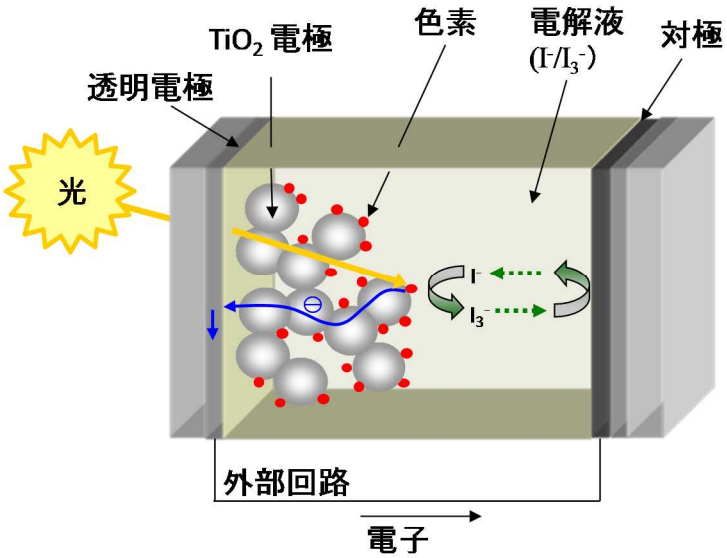
“電解液”

これら“三層”の機能のバランスにより太陽電池としての機能が発現する。つまり、“三層”の“協調”を最大限に生かすことが高効率／高耐久性デバイスを実現する。これは、“三層”それぞれの部材において高性能材料を開発する“材料開発グループ”、そして、“三層”で起こる様々な光誘起反応（電子注入、再結合等）や材料の劣化機構を解析する“メカニズム解析グループ”、そして、得られる成果を統合し高効率、高耐久性セルおよびモジュールを開発する“セル・モジュール開発グループ”を構築することで実行した。これらの研究開発グループが結集し、お互いの研究成果のフィードバックを通して研究開発を加速し、目標の達成を実現する。

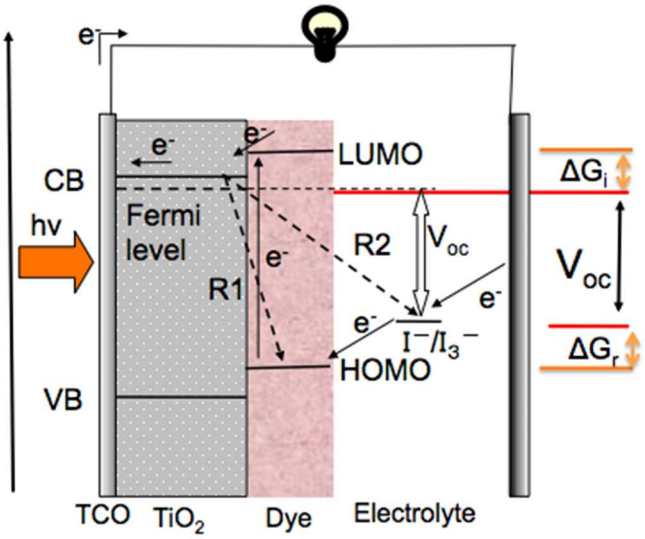
(1)-1　高効率化技術／シングルセル

①　色素増感太陽電池の高効率化の指針

色素増感太陽電池（図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(1)）における電荷分離は半導体・色素・電解液界面で起きる（図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(2)）。効率良く電荷分離が起きる為には、色素から半導体への注入に対して色素の LUMO と半導体の導電帯下端電位に約 0.2V の電位差が、また色素の HOMO とレドックス対の酸化還元電位の差に 0.6V が経験的に必要とされてきた。しかしながらその電位差が変換効率向上を妨げる大きな原因である。そこでこれらの電位差（自由エネルギー差、ΔG）を低減する材料を開発する事で高効率化を狙う。



図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(1)　色素増感太陽電池の構成概略図



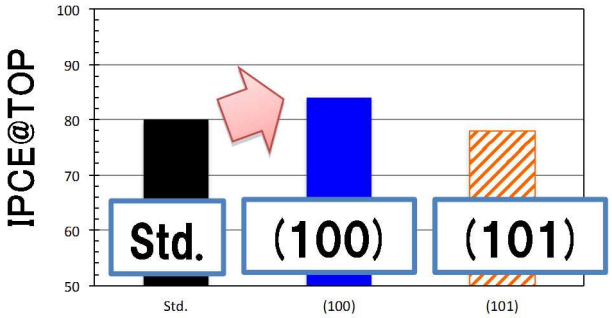
図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(2)　色素増感太陽電池のエネルギーダイアグラム

ΔG を低減させる場合、一般的には順方向の電子移動は遅くなり、逆電子移動（再結合）の速度は速くなる。そこで材料のエネルギーレベルを制御すると同時に、移動速度を制御する機能も同時に取り込まなければならない。よって以下の５項目の開発が必要となる。

1　電子注入効率の高い酸化チタンの開発
2　電荷再結合を抑制する色素の開発
3　還元し易い色素の開発
4　再結合を抑制し、色素を還元し易いレドックス対の開発
5　長波長化／高吸収係数色素の開発（ΔG 低減に伴う周辺技術）

②　電子注入効率の高い酸化チタンの開発（住友大阪セメント株式会社、信州大学）

電子注入に必要な ΔG として約 0.2eV 必要な理由として、通常の酸化チタン粒子の表面にさまざまな結晶面が露出していることが原因として考えられる。そこで異なる結晶面が選択関に露出した酸化チタン粒子を合成し、太陽電池の性能の酸化チタン面依存性を評価した。

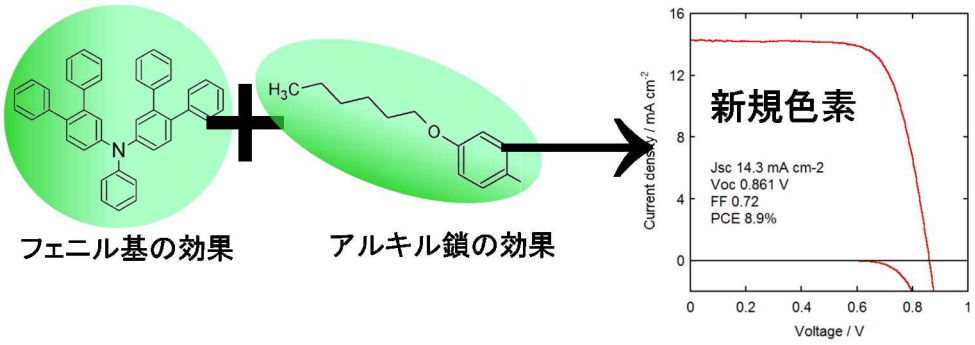


図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(3)　異なる結晶面を持つ酸化チタン粒子を用いた色素増感太陽電池の外部量子収率（IPCE）の評価結果

評価の結果、伝導体準位が低い(100)面粒子の最大外部量子収率が、通常粒子（Std.）および(101)面粒子より約 3%向上（色素 MK34/Co 錯体電解液）することが確認でき、伝導体準位（ΔGi）制御による電子注入効率の向上が確認できた。

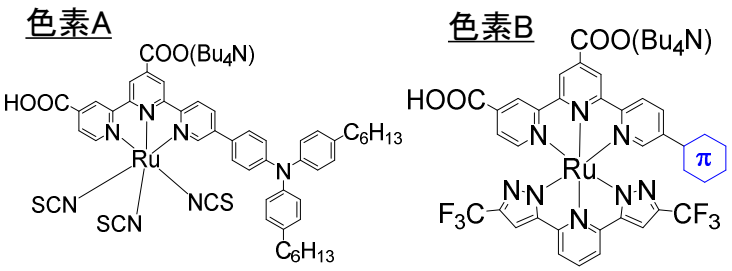
③　電荷再結合を抑制する色素の開発（信州大学、産業技術総合研究所）

標準的なヨウ素レドックス対と比較して ΔG を低減するレドックス対を用いた場合、一般的に電荷再結合速度は速くなる。そこで色素分子に電荷再結合を抑制する機能を付加しなければならない。そこで、最初に、有機色素に対して、アルキル鎖、または立体障害となる部位を様々な分子骨格に付加したところ、再結合速度が低下し、開放電圧が向上する色素構造を見出し、900mV 以上の開放電圧を得ることが出来た（Co 錯体電解液使用）。これらの結果を比較する事で付加するアルキル鎖の場所と長さに関する設計指針が得られた。



図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(4)　アルキル鎖を持つ有機色素とそれを用いた太陽電池の性能

次に、Ru 錯体色素と Co 錯体電解液を用いた系に対して、アルキル鎖、または立体障害となる部位を様々な色素分子骨格に付加して効果を検証したところ、開放電圧が飛躍的に向上する色素構造を見出した。従来、Ru 錯体色素と Co 錯体電解液を用いたセルでは、電荷再結合が大きく、太陽電池として機能しなかったが、本検討により、大幅な変換効率の向上が見込める色素材料と電解液材料の組み合わせによる電池特性を確認することができた。



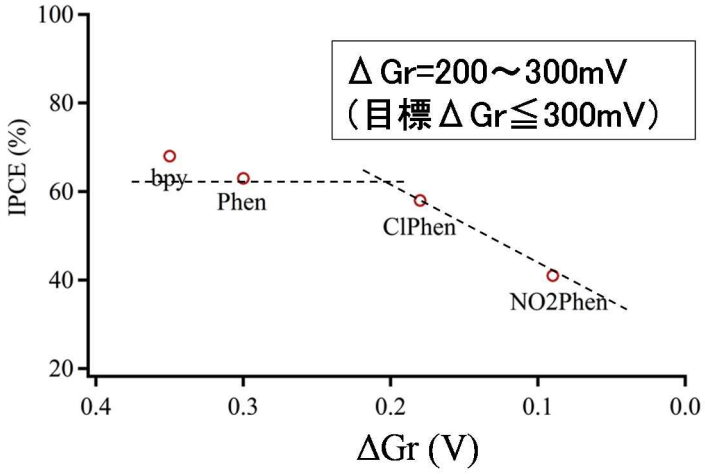
	Jsc mA/cm²	Voc V	FF	Effi. %
色素A	3.7	0.62	0.64	1.3
色素B	10.1	0.80	0.70	5.7

図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(5)　Ru 錯体色素と Co 錯体電解液を用いたセルの電池特性

④　還元し易い色素の開発

（信州大学　独立行政法人 産業技術総合研究所）

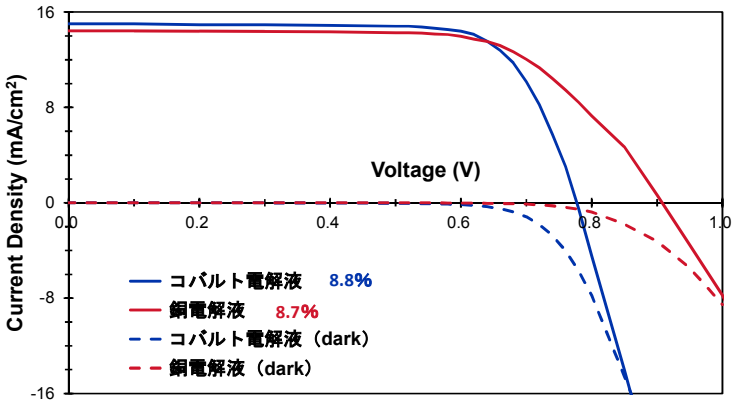
レドック対の酸化還元電位がよりポジティブな値を持つ場合、一般的に色素カチオンを還元する速度は遅くなる。その場合、酸化チタンに注入した電子が色素カチオンを還元し、変換効率は低下する。そこでドナー部位の構造が異なる色素を用いて、電解液の酸化還元電位と色素の最高被占軌道のエネルギー差ΔGr と外部量子効率（IPCE）との相関を評価した。ΔGr≦300mV となる色素構造を見出すことが目標であるが、本検討によりΔGr=200～300mV となる色素構造を見出すことができ、この指針に添って色素を設計することで ΔG を低減することができると考えられる。



図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(6)　ΔGr と IPCE の相関評価

⑤　電荷再結合を抑制し、色素を還元し易いレドックス対の開発（メルク株式会社）

高い電圧を得るためには、酸化還元電位がより卑であり、酸化チタン中の電子との電荷再結合を抑制でき、色素を容易に還元可能な酸化還元種の開発が必要となる。本検討では、Co 錯体に比して酸化還元電位が卑となる Cu 錯体電解液の開発を行った。Cu 錯体電解液は、中心元素のコスト、分子サイズ、電解液への溶解度のすべてで Co 錯体電解液に対して優位性がある。評価の結果、Cu 錯体電解液のセルにおいて Voc=0.91V を達成することができた、

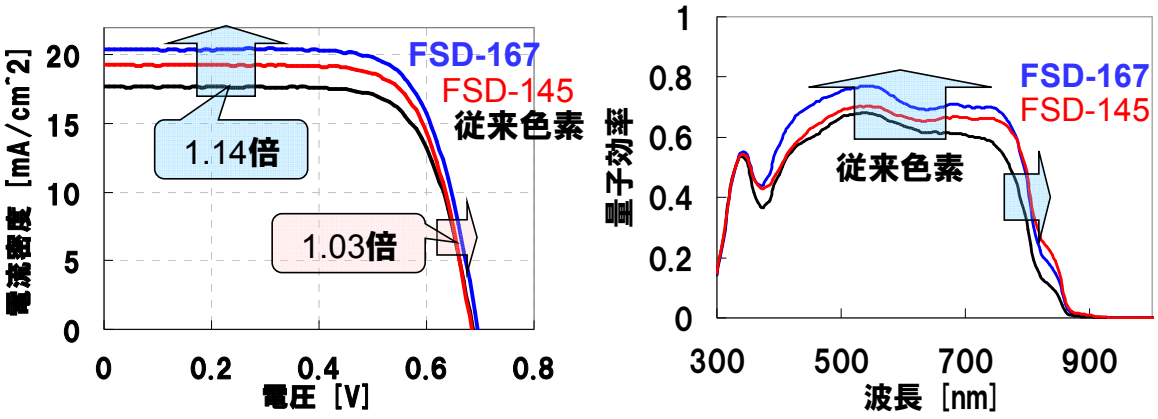


図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(7)　Cu 錯体電解液の配位子と酸化還元電位の関係

⑥　長波長化／高吸収係数色素の開発

⑥－１　ターピリジン Ru 色素の短波可視域の ε 向上と長波長化による Jsc 向上の検討
（富士フイルム株式会社）

平成 24 年度までの色素開発において、色素のモル吸光係数を高めることで世界最高効率となる 11.9%を示す色素を開発することができた（後述）。当該色素に対して、長波長化することで、Jsc を向上させ、同時に電荷再結合を抑制させることで Voc を向上する試みを行った。その結果、当該色素に対して Jsc で 1.14 倍、Voc で 1.03 倍向上（変換効率では 1.17 倍）し、Jsc 向上と Voc 向上を両立する色素設計技術を獲得することができた。

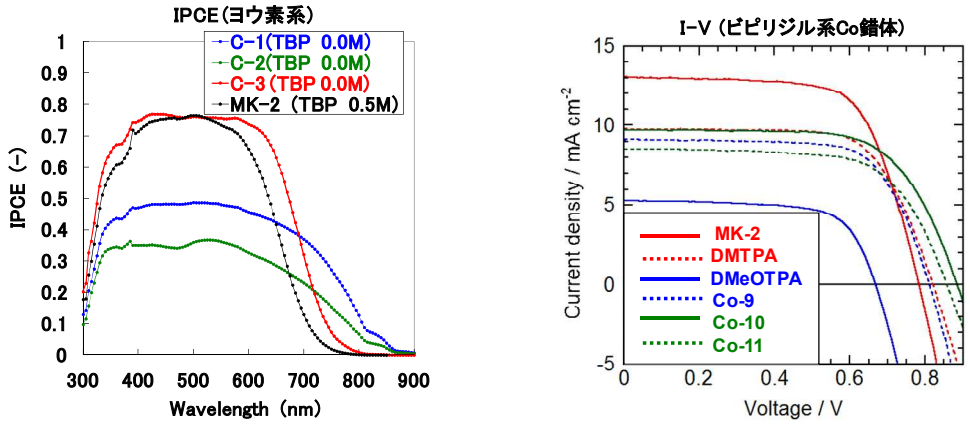


図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(8)　新設計ターピリジン系 Ru 色素の電池特性と外部量子効率

⑥－２　D-π-A 型有機色素のπ共役系改良、及び高電圧化　(綜研化学株式会社)

IPCE 波長端 900nm(高電流化)を目標として、有機色素 MK-2 骨格をベースとしたπ共役系改良の検討を行った。MK-2(ベンチマーク、800nm)と比較し IPCE 波長端を伸ばすことに成功し、色素 C-2 及び C-3 では目標に近いレベルの 880nm まで達成することができた。(左図)

高電圧化目的で、Co 錯体レドックス向けの有機色素開発を行った。ベース色素骨格を統一し、逆電子移動を抑制するのに有用な導入置換基設計に注力した検討を行い、置換基効果を確認できた。効果が UP する置換基を導入した色素 Co-10 及び Co-11 では、Voc=0.88-0.89 まで上げることができた。(右図)



図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(９)　新設計ターピリジン系 Ru 色素の電池特性と外部量子効率

⑥－３　カクテルセル用色素開発

（九州工業大学、新日鉄住金化学株式会社）

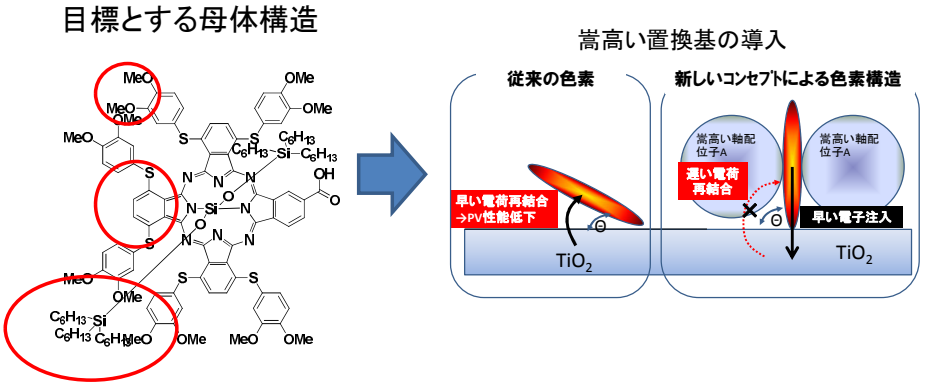
色素増感太陽電池の長波長の感度を向上させる方策として、短波長色素と長波長色素を同時に酸化チタンへ吸着させるカクテルセル化がある。カクテルセルによる変換効率 15%達成のためには、

①カクテル吸着用長波長色素の開発：　吸収ピーク波長＞800nm

②短波長化色素にて変換効率 10%＋長波長化色素で変換効率 5%＝変換効率 15%

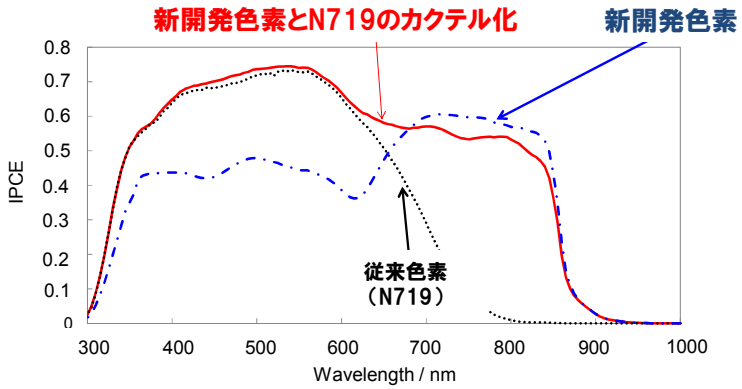
が必要である。

①の達成のため、下図の色素母体構造を選定し、①-1. ドナー置換基による HOMO-LUMO の調整、①-2. α、α’ 位導入による長波長化、①-3. 嵩高い置換基を導入することによる色素の会合抑制および分子の吸着状態の改善を図った。



図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(10)　吸収ピーク波長＞800nm 色素の開発

従来のカクテル化では、外部量子効率（IPCE）は、各色素の IPCE の加算にならなかったが、本検討の結果、従来色素（N719 色素）と新開発色素の IPCE はほぼ各色素の合計にすることが可能となり、Jsc 向上のためのカクテルセルの有効性を示すことができた。

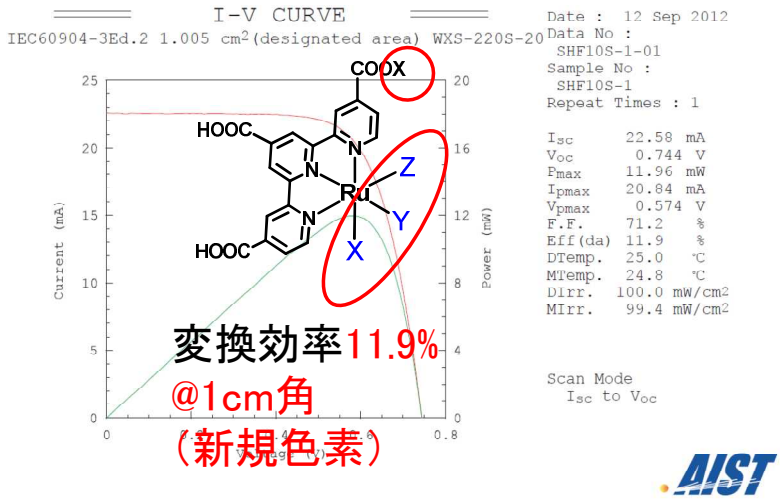


図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(11)　吸収ピーク波長＞800nm 色素の開発

⑦　セル化技術（シャープ株式会社、富士フイルム株式会社）

平成２３年度までの酸化チタンの表面、色素吸着状態や電解液の制御検討において、既存色素（Black Dye）を用いた 1cm 角セルにおいて、中間目標である変換効率 11.0%（AIST 測定）を達成することができた。

さらに、本技術に対して、富士フイルム株式会社が開発した新規色素を適用して検討を行った結果、世界最高効率となる変換効率 11.9%を達成することができた。



図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(12)　新規色素を用いた色素増感太陽電池の IV 特性

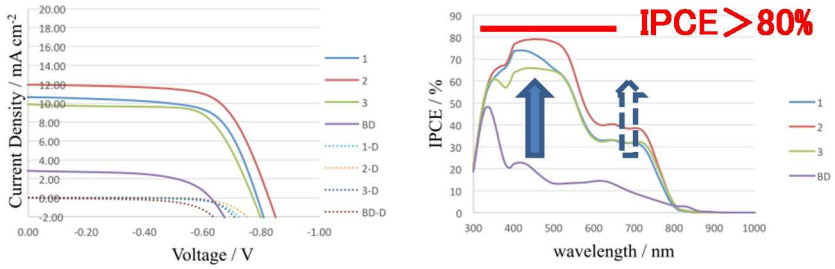
⑧　最終目標（変換効率 15%）達成へのシナリオ（シングルセル）

ΔG を低減する材料を用いた場合、色素から酸化チタンへの電子移動反応と酸化還元種による酸化色素の還元が遅くなり、電荷再結合速度が速くなる問題がある。しかし、本検討で行った

１．結晶面制御酸化チタンの開発
２．電荷再結合を抑制する色素開発
３．低ΔGr でも還元しやすい色素開発
４．電荷再結合が小さいレドックス対の開発
５．長波長化／高吸収係数色素／カクテル色素の開発

を終結し、色素の設計指針、低減の可能性を示された酸化チタンとコバルト錯体を用いることで従来では電池として動作をしなかった Ru 錯体色素（高 Jsc）と Co 錯体電解液（高 Voc）の組み合わせで Voc=0.83V、IPCE（最大値）＞80%を達成することができた。

Compound (Electrolyte)	Voc / V	Jsc / m A cm^{-2}	FF	PCE(%)
1	0.80	10.6	0.69	5.8
2	0.83	12.0	0.68	6.7
3	0.77	9.9	0.70	5.3
BD	0.63	2.9	0.59	1.1



図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(13)　Ru 錯体色素と Co 錯体色素を組み合わせたセルの電池特性と IPCE

上記検討結果では、Jsc が低いため期待した変換効率の向上が見られていない。これは IPCE で示しているように 600nm 以上の長波長の感度が低下しているためである。この原因の１つとしては、色素吸着量の絶対的な不足が挙げられる。Ru 錯体色素の場合、凝集抑制の目的で共吸着剤を添加しており、そのために吸着量および長波長光の吸収が減少している。よって、解決策としては、共吸着剤フリーの色素の適用による色素吸着量増加により Jsc を向上（～22mA/cm^2）させることが解決策として考えられる。

また、変換効率 15%を目指すには、Voc＝0.83V では不足であり、再結合抑制効果が最も大きい MK121 色素（Voc=0.9V）の設計指針を適用し、0.9V まで向上させる必要がある。

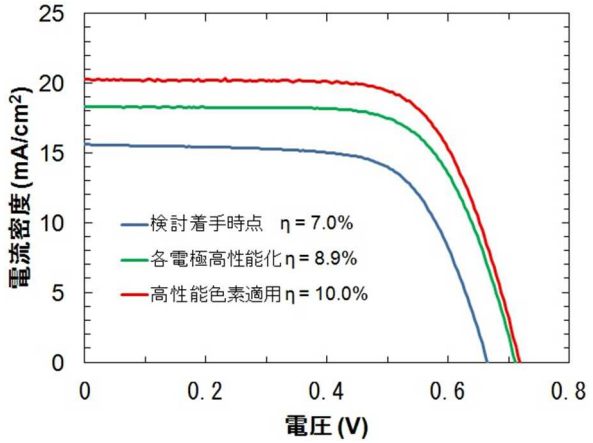
以上の施策により、(Jsc=22mA/cm^2)×(Voc=0.9V)×(FF=0.75V)≒15%が達成可能になると考えている。

(1)-2　高効率化技術／モジュール

（シャープ株式会社、住友大阪セメント株式会社、富士フイルム株式会社）

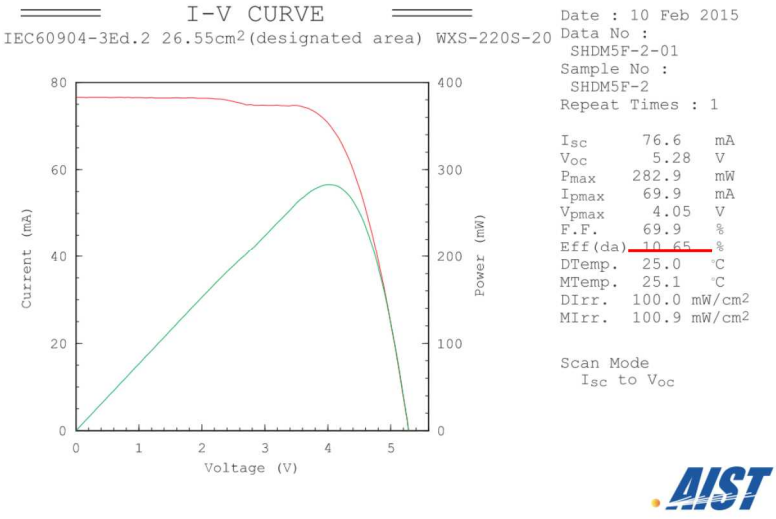
平成 24 年度までの検討において、低コストと量産化には、TCO 基板の 1 枚（低コスト化）、モジュールの高集積密度化（低コスト化）、少プロセス数（量産化）であることが必須と考え、低コスト・量産型色素増感太陽電池モジュールには、TCO 基板一枚構造の代表的構造であるモノリシック型が最有力であるとした。

モジュールの高効率化検討においては、住友大阪セメント株式会社がモジュール化材料開発を行い、全印刷積層型色素増感セルにおいて、変換効率 10.0%を達成することができた。



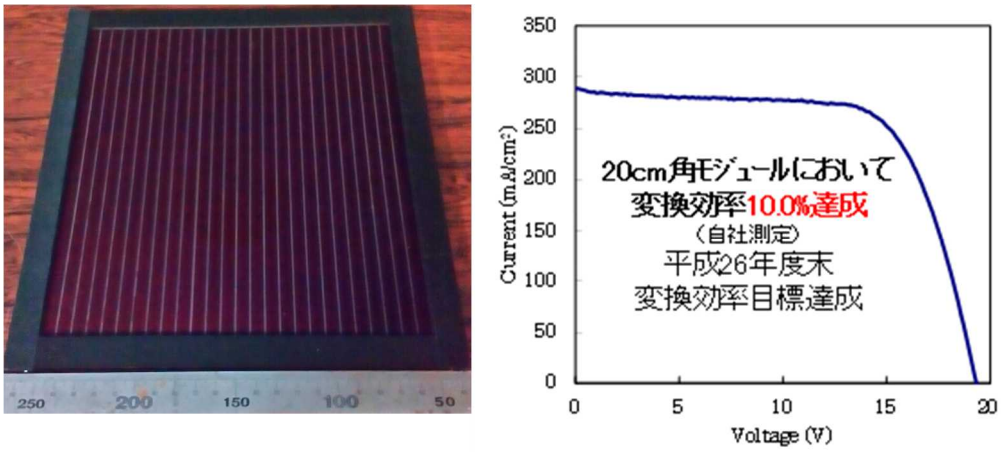
図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(14)　全印刷積層型色素増感セル（5mm 角）の IV 特性

さらに、富士フイルム株式会社の色素開発技術、弊社の高精度・高集積化技術を、5cm 角モジュールにおいて、変換効率 10.6%（AIST 測定値）を達成することができた。



図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(15)　5cm 角モジュールの IV 特性

また、上記技術に大面積均一成膜化技術を適用することにより、20cm 角モジュールにおいて変換効率 10.0%（自社測定）を達成することができ、平成 26 年度末変換効率の目標を達成した。



図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(16)　20cm 角モジュールの写真と IV 特性

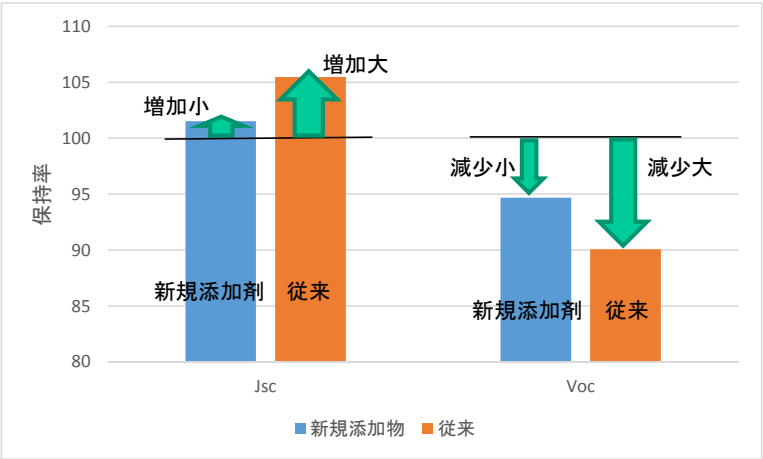
(2) 信頼性向上技術

① 劣化メカニズムの解明と信頼性向上技術開発

（シャープ株式会社、産業技術総合研究所）

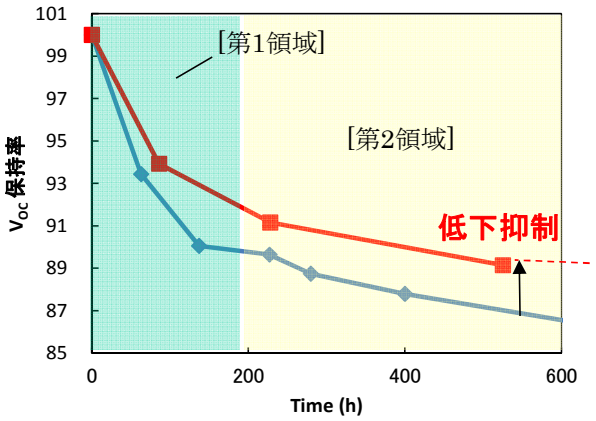
色素増感太陽電池が最も弱いとされるストレスは熱である。そこで、耐熱性向上のために、劣化過程を分離し、個々の劣化反応の抑制を試みた。具体的には、、耐久性試験時間の初期（第 1 領域～150 時間）と試験時間 150 時間以降（第 2 領域）に分轄し、それぞれの時間領域における劣化反応の抑制をシャープ株式会社と産業技術総合研究所において新規添加剤開発のより実施した。

第 1 領域（～150 時間）では、Jsc が向上し、Voc が低下する変化が起こる。これは伝導帯準位のシフトが起こっており、劣化ではなく物理量の変化によるものと推定される。しかしながら、Jsc の向上による電圧降下（IR ロス）が増加することで FF が低下するという性能低下がおこる。この性能低下を抑制するため、第 1 領域の Jsc と Voc の変化を抑制する新規添加剤の開発を行った。その結果、従来と比べて大幅に Jsc と Voc の変化を抑制することが可能となった。



図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(17)　新規添加剤による Jsc と Voc の変化の抑制

次に、第 2 領域に対する劣化抑制を抑制を行った。第 2 領域では、Jsc は維持するが Voc が低下する。この劣化に対する有効な電解液を開発して耐熱性試験を行った。その結果、第 2 領域での Voc の低下を抑制することが可能となった。



図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(18)　第 2 領域における新規添加剤による Voc の低下抑制

② モジュールの高信頼性化技術開発

（シャープ株式会社、産業技術総合研究所、メルク株式会社、住友大阪セメント株式会社、富士フイルム株式会社）

上記検討結果をふまえ、JIS 規格 C8693 試験のため 5cm 角モノリシック集積サブモジュールを作製し、耐熱性試験（B-1）、耐湿性試験（B-2）、温湿度サイクル試験（A-2）、耐光性試験（A-5）を行った。

試験名	試験条件	試験結果
温湿度サイクル試験 A-2	−40℃⇔85℃85%RH 10 cylcle	**初期変換効率10.0%（ap.） 性能保持率10%以内(10cycle)**
耐光性試験 A-5	照度255W/m² 500時間 （波長:300－700nm）	**初期変換効率10.0%（ac.） 性能保持率10%以内(500h)**
耐熱性試験 B-1	85℃ 1000時間	**初期変換効率10.0%（ac.） 性能保持率10%以内(1000h)**
耐湿性試験 B-2	85℃ 85%RH 1000時間	**初期変換効率10.0%（ac.） 性能保持率10%以内(500h)**

表Ⅲ-2-(ニ)-A-1(1)　第 2 領域における新規添加剤による Voc の低下抑制

その結果、温湿度サイクル試験（A-2）、耐光性試験（A-5）、耐熱性試験（B-1）において性能低下 10%以内を達成することができた（耐湿試験（B-2）試験は目標達成見込み）。

２．実用化・事業化見通し

2.1 成果の実用化・事業化に向けた戦略

昨今の政策（FIT）により太陽電池が著しく普及し、結晶シリコン太陽電池の価格およびワット単価が下落し、新規の太陽電池の参入が難しくなっている。そのような状況の中、色素増感太陽電池の商品化のためには、色素増感太陽電池の特長を活かした新規の市場開拓が必要である。

１つには色素増感太陽電池の変換効率が光入射角に依存せず、散乱光に対しても高い発電効率を示す特長を活かし、ビル壁面やマンションのベランダへ傾斜角 90 度で設置（壁面設置）する用途が新規市場として挙げられる。また、低光量下においても開放電圧の低下が少なく、効率良く発電できる特長を活かした屋内で使用する環境センサー用電源などが新規市場として考えられる。これらの用途に限らず、色素増感太陽電池の特長を活かした新規市場を開拓していく必要がある。

2.2 成果の実用化・事業化に向けた具体的取り組み

屋外での想定用途である壁面設置においても、実環境下での発電量と長期安定性が必要不可欠である。実環境下での発電量は、有機系先導技術開発における検討おいて、モジュールの屋外暴露試験を実施し、東西南北面 90 度設置を想定した使用環境における発電量を実測することで、色素増感太陽電池の他の太陽電池に対する優位性を示すデータを得ている。

また、最も懸念される信頼性の観点においては、本プロジェクトにおいて JIS 規格 C8938 の試験（耐熱性、耐湿性、耐光性、温湿度サイクル）を実施し、物理・化学の原点に立ち戻った劣化メカニズム解析を行うことで劣化挙動の理解と抑制を行うことで、目標である性能低下 10%以内達成し（一部未達)、実用化・商品化に必要な信頼性を確保できた。

屋内用途の市場においても、半屋外や屋外の場合と同じで、色素増感太陽電池の発電特性や信頼性の確保は重要であり、入射光量の小さいモジュールの北面 90 度設置における発電特性において、定格の 1.8 倍の発電量を示すことなどが判明し、低光量下での応用商品への適用が期待される。また、屋内でも温度上昇が懸念される場合には、JIS 規格 C8938 の耐熱性試験において実施した温度による性能低下抑制技術をそのまま適用できる。

ただし、屋内では、照射光による太陽電池への入力が非常に小さく、動作可能なアプリケーションは限られている。本プロジェクトでは、その点を鑑み、具体的なアプリケーションを想定して屋内での色素増感太陽電池による発電、充電、動作の検討を行い、屋内における太陽電池の応用用途の可能性について示すことができた。

2.3 成果の実用化・事業化の見通し

屋内用途を想定したアプリケーションは、使用環境が屋外用途に比べて厳しくないため、直近の市場投入となり得る。課題は、低コストで作製可能な量産プロセスの確立と投入市場の見極めである。

量産プロセスの確立では、一枚の基板から複数の太陽電池を作製する技術や、時間を要する電解液の注入工程の簡略化技術、性能および信頼性のバラツキを抑える貼り合せ技術の検討が重要であり、これらに関しては、継続研究を実施することにより、目標とする仕様に近づきつつある。

もう一つの課題である投入市場の見極めでは、世間のニーズを的確に捉えて、他の太陽電池では不可能な用途と市場の開発を行えれば、色素増感太陽電池の早期商品化は可能であると考えている。

また、色素増感太陽電池の壁面設置用途での実用化を鑑みた場合、本プロジェクトにおける高信頼性化検討において、JIS 規格 C8938 の試験（耐熱性、耐湿性、耐光性、温湿度サイクル）を実施し、性能低下 10%以内を達成しているが、実使用を考慮すると、500h, 1000h の試験時間では不十分であり、今後更なる試験の継続と高信頼性化が必要と考えられる。このため、壁面設置用途での実用化は、屋内用途での実用化の次段階の目標になると考えられる。

３．波及効果

（１）当該分野への波及効果(技術的・人材育成)

- 変換効率 10.4% @1cm 角（2005.8 AIST 測定/Sharp）の達成以降、世界最高効率の足踏みが続いていたが、本プロジェクト成果で、11.0%（AIST 測定）を達成、さらに、富士フイルム株式会社と共同開発した色素、さらに住友大阪セメント株式会社の電極材料、メルク株式会社の電解液材料を用いることで 11.9%（AIST 測定）を達成したことにより、産官学の技術連携システムの有効性を示すことが出来たと共に、高効率化技術研究開発のさらなる進展が予測される。
- 低コスト・量産型の集積型サブモジュールで変換効率 10.65%（AIST 測定）を達成したことと、信頼性向上技術の進展により、実用化への期待が高まった。
- 大きなコンソーシアムでのプロジェクト体制の下で、複数の企業・大学・公的研究機関での密度の高い人材交流が行われており、産官学それぞれにおいて将来指導的立場に立てる人材育成に貢献。

（２）関連分野への波及効果(技術的・経済的・社会的)

- 有機エレクトロニクス材料技術、及び可視光光触媒や人工光合成などの光電変換関連技術のレベルアップなどの技術的な波及効果が期待できる。
- 色素増感太陽電池の特長を生かした設置場所の提案など、太陽電池の潜在市場の開拓にも、大きな影響（波及効果）を与えるものと予想される。

４．今後の展開

2．実用化の見通しに記載の通り、本プロジェクトで実施したモジュールの高効率化および信頼性の基礎データの取得により、更なる実用化の期待が高まるが、最初に屋内用途市場に対して、色素増感太陽電池の既存太陽電池と異なった特徴を生かした新規市場開拓（環境センサー用電源等）を行うことができる可能性があり、これによる太陽電池全体の市場拡大を目指す。

また、信頼性 JIS 規格 C8938 などをさらに長期間実施し、色素増感太陽電池用の加速係数の算出などを実施して信頼性を確保し、半屋外・屋外における新規用途開拓を目指す。

５．特許論文リスト

	H22	H23	H24	H25	H26	終了後	計
特許出願（うち外国出願）	2(0)	24(0)	41(13)	48(21)	6(4)	3(0)	124(38)件
論文（査読付き）	1	0	3	6	8	2	20 件
研究発表・講演（うち国際会議）	4(0)	20(3)	13(4)	26(3)	28(12)	2(0)	93(22)件
新聞・雑誌等への掲載	0	1	0	1	0	0	2 件
受賞実績	0	1	0	1	0	0	2 件
展示会への出展	0	1	1	3	1	0	5 件

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	富士フイルム株式会社	特願 2011-081209	国内	2011 年 3 月 31 日	みなし取下げ	色素、光電変換素子、 及び光電気化学電池	大森 皓司 小林 克 木村 桂三
2	富士フイルム株式会社	特願 2011-177756	国内	2011 年 8 月 15 日	登録	色素、光電変換素子及び光電気化学電池	大森 皓司 小林 克 木村 桂三 佐藤 寛敬
3	富士フイルム株式会社 国立大学法人信州大学	特願 2011-195638	国内	2011 年 9 月 8 日	みなし取下げ	色素、これを用いた光電変換素子及び光電気化学電池	小林 克 木村 睦 森 正悟
4	富士フイルム株式会社	特願 2011-208549	国内	2011 年 9 月 26 日	みなし取下げ	光電変換素子及び光電気化学電池、並びにこれに用いられる金属錯体色素	薄 達也 谷 征夫 小林 克
5	富士フイルム株式会社	特願 2011-214661	国内	2011 年 9 月 29 日	みなし取下げ	光電変換素子及び光電気化学電池、これに用いる色素	薄 達也 谷 征夫 小林 克
6	富士フイルム株式会社	特願 2011-214662	国内	2011 年 9 月 29 日	登録	光電変換素子及び光電気化学電池、並びにこれに用いられる金属錯体色素	薄 達也 谷 征夫 小林 克
7	富士フイルム株式会社	特願 2011-214663	国内	2011 年 9 月 29 日	登録	光電変換素子及び光電気化学電池、並びにこれに用いられる金属錯体色素	薄 達也 谷 征夫 小林 克
8	富士フイルム株式会社	特願 2011－216659	国内	2011 年 9 月 30 日	登録	光電変換素子及びこれを用いた光電気化学電池	小林 克 薄 達也 佐藤 寛敬 濱田 和博
9	富士フイルム株式会社	特願 2011－275124	国内	2011 年 12 月 15 日	出願継続中	光電変換素子及び色素増感太陽電池	佐々木 晃逸 野村 公篤
１０	富士フイルム株式会社	特願 2011－275129	国内	2011 年 12 月 15 日	みなし取下げ	金属錯体色素、光電変換素子、色素増感太陽電池、色素溶液、および化合物	谷 征夫 小林 克 野村 公篤
１１	富士フイルム株式会社	特願 2011－284561	国内	2011 年 12 月 26 日	登録	光電変換素子及び色素増感太陽電池	濱田 和博 小林 克

１２	富士フイルム株式会社	特願 2012－42466	国内	2012 年 2 月 28 日	出願継続中	光電変換素子、金属錯体色素、色素増感太陽電池用色素吸着液組成物、色素増感太陽電池およびその製造方法	佐々木 晃逸 谷 征夫 小林 克
１３	富士フイルム株式会社	特願 2012－61232	国内	2012 年 3 月 16 日	出願継続中	金属錯体色素、光電変換素子、色素増感太陽電池、色素増感電池用色素吸着組成液、色素増感太陽電池用半導体電極、及び色素増感太陽電池の製造方法	佐々木 晃逸 野村 公篤 小林 克
１４	富士フイルム株式会社 国立大学法人信州大学	特願 2012-74832	国内	2012 年 3 月 28 日	登録	色素、これを用いた光電変換素子及び光電気化学電池	小林 克 木村 睦 森 正悟
１５	富士フイルム株式会社	特願 2012-78147	国内	2012 年 3 月 29 日	放棄	光電変換素子、色素増感電池用色素吸着組成液、色素増感太陽電池用半導体電極、色素増感太陽電池の製造方法および光電変換素子用金属錯体色素	小林 克 谷 征夫
１６	富士フイルム株式会社	特願 2012-78148	国内	2012 年 3 月 29 日	みなし取下げ	金属錯体色素、光電変換素子、色素増感太陽電池、色素溶液および化合物	谷 征夫 小林 克 野村 公篤
１７	富士フイルム株式会社	特願 2012-218750	国内	2012 年 9 月 28 日	みなし取下げ	光電変換素子、色素増感太陽電池、金属錯体色素、色素溶液、色素吸着電極および色素増感太陽電池の製造方法	渡辺 康介 小林 克
１８	富士フイルム株式会社	特願 2012-232400	国内	2012 年 10 月 19 日	出願継続中	金属錯体色素、光電変換素子、色素増感太陽電池、色素溶液および化合物	谷 征夫 小林 克 野村 公篤
１９	富士フイルム株式会社	特願 2012-218753	国内	2012 年 9 月 28 日	みなし取下げ	光電変換素子及び色素増感太陽電池	野村 公篤 佐藤 寛敬 小林 克
２０	富士フイルム株式会社	特願 2012-218754	国内	2012 年 9 月 28 日	みなし取下げ	光電変換素子及び色素増感太陽電池	野村 公篤 佐藤 寛敬 小林 克
２１	富士フイルム株式会社	特願 2012-211587	国内	2012 年 9 月 26 日	登録	光電変換素子、光電気化学電池およびこれに用いる金属錯体色素	谷 征夫 薄 達也 小林 克
２２	富士フイルム株式会社	特願 2012-211586	国内	2012 年 9 月 26 日	登録	光電変換素子、光電気化学電池およびこれに用いられる金属錯体色素	薄 達也 谷 征夫 小林 克
２３	富士フイルム株式会社	特願 2012-218755	国内	2012 年 9 月 28 日	みなし取下げ	金属錯体色素、光電変換素子、色素増感太陽電池、色素溶液および色素吸着電極	小林 克 野村 公篤
２４	富士フイルム株式会社	特願 2012-252699	国内	2012 年 11 月 16 日	みなし取下げ	金属錯体、金属錯体色素、光電変換素子、色素増感太陽電池、色素溶液、色素吸着電極及び色素増感太陽電池の製造方法	渡辺 康介 谷 征夫 佐藤 寛敬 小林 克
２５	富士フイルム株	特願 2012-252702	国内	2012 年 11 月 16	出願継続中	金属錯体色素、光電	渡辺 康介

	式会社			日		変換素子、色素増感太陽電池、色素溶液、色素吸着電極及び色素増感太陽電池の製造方法	谷 征夫 小林 克
２６	富士フイルム株式会社	特願 2012-252701	国内	2012 年 11 月 16 日	みなし取下げ	電変換素子、色素増感太陽電池、金属錯体色素、色素溶液、色素吸着電極および色素増感太陽電池の製造方法	渡辺 康介 佐々木 晃逸 佐藤 寛敬 小林 克
２７	富士フイルム株式会社	特願 2012-252700	国内	2012 年 11 月 16 日	みなし取下げ	光電変換素子、色素増感太陽電池、金属錯体色素、色素溶液、色素吸着電極および色素増感太陽電池の製造方法	谷 征夫 渡辺 康介 小林 克
２８	富士フイルム株式会社	特願 2012-275139	国内	2012 年 11 月 17 日	みなし取下げ	光電変換素子、色素増感太陽電池、金属錯体色素、色素溶液、色素吸着電極および色素増感太陽電池の製造方法	渡辺 康介 佐々木 晃逸 小林 克
２９	富士フイルム株式会社	特願 2013-22419	国内	2013 年 2 月 7 日	みなし取下げ	金属錯体、金属錯体色素、光電変換素子、色素増感太陽電池、色素溶液、色素吸着電極及び色素増感太陽電池の製造方法	渡辺 康介 谷 征夫 小林 克
３０	富士フイルム株式会社	特願 2013-062890	国内	2013 年 3 月 25 日	みなし取下げ	金属錯体色素、光電変換素子、色素増感太陽電池および金属錯体色素を含有する色素溶液	谷 征夫 小林 克
３１	富士フイルム株式会社	特願 2013-062891	国内	2013 年 3 月 25 日	みなし取下げ	金属錯体色素、光電変換素子、色素増感太陽電池および金属錯体色素を含有する色素溶液	佐藤 寛敬 谷 征夫 小林 克
３２	富士フイルム株式会社	特願 2013-062888	国内	2013 年 3 月 25 日		光電変換素子、色素増感太陽電池、金属錯体、金属錯体色素、色素溶液、色素吸着電極および色素増感太陽電池の製造方法	佐々木 晃逸 渡辺 康介 谷 征夫 小林 克
３３	富士フイルム株式会社	特願 2013-062892	国内	2013 年 3 月 25 日	みなし取下げ	光電変換素子、色素増感太陽電池、金属錯体色素を含有する色素吸着液および光電変換素子の製造方法	小林 克 谷 征夫
３４	富士フイルム株式会社	特願 2013-062893	国内	2013 年 3 月 25 日	みなし取下げ	光電変換素子、色素増感太陽電池およびこれに用いる金属錯体色素	谷 征夫 小林 克 渡辺 康介
３５	富士フイルム株式会社	特願 2013-062889	国内	2013 年 3 月 25 日	みなし取下げ	光電変換素子、色素増感太陽電池、金属錯体、金属錯体色素、色素溶液、色素吸着電極および色素増感太陽電池の製造方法	佐々木 晃逸 渡辺 康介 谷 征夫 小林 克
３６	富士フイルム株式会社	特願 2013-062894	国内	2013 年 3 月 25 日	みなし取下げ	光電変換素子、光電気化学電池およびこれに用いる金属錯体	谷 征夫 小林 克

						色素	
３７	富士フイルム株式会社	特願 2013-062895	国内	2013 年 3 月 25 日	みなし取下げ	光電変換素子、色素増感太陽電池、金属錯体色素、色素溶液、色素吸着電極および色素増感太陽電池の製造方法	谷 征夫 渡辺 康介 小林 克
３８	富士フイルム株式会社	特願 2013-077276	国内	2013 年 4 月 2 日	出願継続中	光電変換素子、光電気化学電池およびこれに用いる金属錯体色素	谷 征夫 薄 達也 小林 克
３９	富士フイルム株式会社	特願 2013-129046	国内	2013 年 6 月 19 日	みなし取下げ	光電変換素子、色素増感太陽電池、金属錯体色素、色素溶液、色素吸着電極および色素増感太陽電池の製造方法	渡辺 康介 谷 征夫 佐々木 晃逸 佐藤 寛敬 小林 克
４０	富士フイルム株式会社	特願 2013-142175	国内	2013 年 7 月 5 日	みなし取下げ	光電変換素子、色素増感太陽電池、金属錯体色素、配位子、色素溶液、色素吸着電極および色素増感太陽電池の製造方法	渡辺 康介 谷 征夫 佐藤 寛敬 小林 克
４１	富士フイルム株式会社	特願 2013-156799	国内	2013 年 7 月 29 日	出願継続中	光電変換素子および色素増感太陽電池	渡辺 康介 小林 克
４２	富士フイルム株式会社	特願 2013-156800	国内	2013 年 7 月 29 日	出願継続中	光電変換素子および色素増感太陽電池	野村 公篤 佐藤 寛敬 小林 克 渡辺 康介
４３	富士フイルム株式会社	特願 2013-156801	国内	2013 年 7 月 29 日	出願継続中	金属錯体色素、光電変換素子、色素増感太陽電池、色素溶液および色素吸着電極	小林 克 野村 公篤
４４	富士フイルム株式会社	特願 2013-156802	国内	2013 年 7 月 29 日	出願継続中	光電変換素子、色素増感太陽電池、金属錯体色素および金属錯体色素を溶解してなる色素溶液	野村 公篤 佐藤 寛敬 小林 克
４５	富士フイルム株式会社	特願 2013-151149	国内	2013 年 7 月 19 日	みなし取下げ	光電変換素子、色素増感太陽電池、金属錯体色素、色素溶液、色素吸着電極および色素増感太陽電池の製造方法	渡辺 康介 谷 征夫 佐々木 晃逸 佐藤 寛敬 小林 克
４６	富士フイルム株式会社	特願 2013-205533	国内	2013 年 9 月 30 日	みなし取下げ	光電変換素子、色素増感太陽電池、金属錯体色素、色素溶液、色素吸着電極および色素増感太陽電池の製造方法	渡辺 康介 谷 征夫 佐々木 晃逸 佐藤 寛敬 綱 和宏 小林 克
４７	富士フイルム株式会社	特願 2013-235218	国内	2013 年 11 月 13 日	出願継続中	光電変換素子、色素増感太陽電池、金属錯体色素、色素溶液、色素吸着電極および色素増感太陽電池の製造方法	渡辺 康介 谷 征夫 佐々木 晃逸 佐藤 寛敬 綱 和宏 小林 克
４８	富士フイルム株式会社	特願 2013-235217	国内	2013 年 11 月 13 日	出願継続中	金属錯体、金属錯体色素、光電変換素子、色素増感太陽電池、色素溶液、色素吸着電極および色素増感太陽電池の製造方法	渡辺 康介 谷 征夫 佐々木 晃逸 小林 克 佐藤 寛敬
４９	富士フイルム株式会社	特願 2013-273192	国内	2013 年 12 月 27 日	出願継続中	光電変換素子、色素増感太陽電池およびこれに用いる金属錯	渡辺 康介 佐藤 寛敬 谷 征夫

						体色素	藤原 良 綱 和宏 小林 克
５０	富士フイルム株式会社	特願 2013-273193	国内	2013 年 12 月 27 日	出願継続中	光電変換素子、色素増感太陽電池およびこれに用いる金属錯体色素	渡辺 康介 佐藤 寛敬 谷 征夫 小林 克
５１	富士フイルム株式会社	特願 2013-258323	国内	2013 年 12 月 13 日	出願継続中	光電変換素子、色素増感太陽電池、金属錯体色素、色素溶液、色素吸着電極および色素増感太陽電池の製造方法	渡辺 康介 佐々木 晃逸 小林 克
５２	富士フイルム株式会社	特願 2014-024942	国内	2014 年 2 月 12 日	みなし取下げ	光電変換素子、色素増感太陽電池およびこれに用いる金属錯体色素	谷 征夫 小林 克
５３	富士フイルム株式会社	特願 2014-044444	国内	2014年3月6日	出願継続中	金属錯体色素、光電変換素子、色素増感太陽電池および金属錯体色素を含有する色素溶液	佐藤 寛敬 谷 征夫 小林 克
５４	富士フイルム株式会社	特願 2014-052685	国内	2014 年 3 月 14 日	出願継続中	金属錯体色素、光電変換素子、色素増感太陽電池および金属錯体色素を含有する色素溶液	谷 征夫 小林 克
５５	富士フイルム株式会社	特願 2014-050910	国内	2014 年 3 月 13 日	出願継続中	光電変換素子、色素増感太陽電池およびこれに用いる金属錯体色素	谷 征夫 小林 克 渡辺 康介
５６	富士フイルム株式会社	特願 2014-061008	国内	2014 年 3 月 24 日	出願継続中	光電変換素子、色素増感太陽電池およびこれに用いる金属錯体色素	谷 征夫 小林 克
５７	富士フイルム株式会社	特願 2014-061009	国内	2014 年 3 月 24 日	出願継続中	光電変換素子、色素増感太陽電池、金属錯体色素を含有する色素吸着液および光電変換素子の製造方法	小林 克 谷 征夫
５８	富士フイルム株式会社	特願 2014-122901	国内	2014 年 6 月 13 日	出願継続中	光電変換素子、色素増感太陽電池、金属錯体色素、配位子、色素溶液、色素吸着電極および色素増感太陽電池の製造方法	渡辺 康介 谷 征夫 佐藤 寛敬 小林 克
５９	富士フイルム株式会社	PCT/JP2012/074275	PCT	2012 年 9 月 21 日	各国移行済み	光電変換素子及び光電気化学電池、並びにこれに用いられる金属錯体色素	薄 達也 谷 征夫 小林 克
６０	富士フイルム株式会社	PCT/JP2012/073623	PCT	2012 年 9 月 14 日	各国移行済み	光電変換素子及び光電気化学電池、これらに用いられる色素	薄 達也 谷 征夫 小林 克
６１	富士フイルム株式会社	PCT/JP2012/082033	PCT	2012 年 12 月 11 日	放棄	光電変換素子及び色素増感太陽電池	佐々木 晃逸 野村 公篤
６２	富士フイルム株式会社	101147268	TW	2012 年 12 月 13 日	放棄	光電変換素子及び色素増感太陽電池	佐々木 晃逸 野村 公篤
６３	富士フイルム株式会社	PCT/JP2013/053293	PCT	2013 年 2 月 12 日	放棄	光電変換素子、金属錯体色素、色素増感太陽電池用色素吸着液組成物、色素増感太陽電池およびその製造方法	佐々木 晃逸 谷 征夫 小林 克
６４	富士フイルム株式会社	102106277	TW	2013 年 2 月 22 日	放棄	光電変換素子、金属錯体色素、色素増感	佐々木 晃逸 谷 征夫

						太陽電池用色素吸着液組成物、色素増感太陽電池およびその製造方法	小林 克
６５	富士フイルム株式会社 国立大学法人信州大学	PCT/JP2012/072076	PCT	2012 年 8 月 30 日	各国移行済み	色素、これを用いた光電変換素子及び光電気化学電池	小林 克 木村 睦 森 正悟
６６	富士フイルム株式会社	PCT/JP2012/079563	PCT	2012 年 11 月 14 日	各国移行済み	金属錯体色素、光電変換素子、色素増感太陽電池、色素溶液および化合物	谷 征夫 小林 克 野村 公篤
６７	富士フイルム株式会社	101143295	TW	2012 年 11 月 20 日	出願継続中	金属錯体色素、光電変換素子、色素増感太陽電池、色素溶液および化合物	谷 征夫 小林 克 野村 公篤
６８	富士フイルム株式会社	PCT/JP2012/074780	PCT	2012 年 9 月 26 日	各国移行済み	電変換素子、光電気化学電池およびこれに用いる金属錯体色素	谷 征夫 薄 達也 小林 克
６９	富士フイルム株式会社	PCT/JP2012/074779	PCT	2012 年 9 月 14 日	各国移行済み	光電変換素子、光電気化学電池およびこれに用いられる金属錯体色素	薄 達也 谷 征夫 小林 克
７０	富士フイルム株式会社	PCT/JP2013/056724	PCT	2013 年 3 月 12 日	各国移行済み	金属錯体色素、光電変換素子、色素増感太陽電池、色素増感太陽電池用色素吸着組成液、色素増感太陽電池用半導体電極および色素増感太陽電池の製造方法	佐々木 晃逸 野村 公篤 小林 克
７１	富士フイルム株式会社	102109263	TW	2013 年 3 月 15 日	出願継続中	金属錯体色素、光電変換素子、色素増感太陽電池、色素増感太陽電池用色素吸着組成液、色素増感太陽電池用半導体電極および色素増感太陽電池の製造方法	佐々木 晃逸 野村 公篤 小林 克
７２	富士フイルム株式会社	PCT/JP2013/075950	PCT	2013 年 9 月 25 日	各国移行済み	金属錯体色素、光電変換素子、色素増感太陽電池、色素溶液および色素吸着電極	小林 克 野村 公篤
７３	富士フイルム株式会社	PCT/JP2013/074295	PCT	2013 年 9 月 10 日	各国移行済み	光電変換素子および色素増感太陽電池	野村 公篤 佐藤 寛敬 小林 克 渡辺 康介
７４	富士フイルム株式会社	102134902	TW	2013 年 9 月 27 日	出願継続中	光電変換素子及び色素増感太陽電池	野村 公篤 佐藤 寛敬 小林 克 渡辺 康介
７５	富士フイルム株式会社	PCT/JP2013/074615	PCT	2013 年 9 月 12 日	各国移行済み	光電変換素子、色素増感太陽電池、金属錯体色素および金属錯体色素を溶解してなる色素溶液	野村 公篤 佐藤 寛敬 小林 克
７６	富士フイルム株式会社	102135041	TW	2013 年 9 月 27 日	出願継続中	光電変換素子及び色素増感太陽電池	野村 公篤 佐藤 寛敬 小林 克
７７	富士フイルム株式会社	PCT/JP2013/074294	PCT	2013 年 9 月 10 日	各国移行済み	光電変換素子および色素増感太陽電池	渡辺 康介 小林 克
７８	富士フイルム株式会社	102134906	TW	2013 年 9 月 27 日	出願継続中	光電変換素子、色素増感太陽電池、金属錯体色素、色素溶液、色素吸着電極お	渡辺 康介 小林 克

						よび色素増感太陽電池の製造方法	
７９	富士フイルム株式会社	PCT/JP2013/083660	PCT	2013年12月16日	各国移行済み	光電変換素子、色素増感太陽電池、金属錯体色素、色素溶液、色素吸着電極およ び色素増感太陽電池の製造方法	渡辺 康介 佐々木 晃逸 小林 克
８０	富士フイルム株式会社	102146455	TW	2013年12月16日	出願継続中	光電変換素子、色素増感太陽電池、金属錯体色素、色素溶液、色素吸着電極およ び色素増感太陽電池の製造方法	渡辺 康介 佐々木 晃逸 小林 克
８１	富士フイルム株式会社	PCT/JP2013/080884	PCT	2013年11月15日	放棄	金属錯体、金属錯体色素、光電変換素子、色素増感太陽電池、色素溶液、色素吸着電極および色素増感太陽電池の製造方法	渡辺 康介 谷 征夫 佐々木 晃逸 小林 克 佐藤 寛敬
８２	富士フイルム株式会社	102141557	TW	2013年11月15日	放棄	金属錯体、金属錯体色素、光電変換素子、色素増感太陽電池、色素溶液、色素吸着電極及び色素増感太陽電池の製造方法	渡辺 康介 谷 征夫 佐々木 晃逸 小林 克 佐藤 寛敬
８３	富士フイルム株式会社	PCT/JP2013/080883	PCT	2013年11月15日	各国移行済み	光電変換素子、色素増感太陽電池、金属錯体色素、色素溶液、色素吸着電極およ び色素増感太陽電池の製造方法	渡辺 康介 谷 征夫 佐々木 晃逸 佐藤 寛敬 綱 和宏 小林 克
８４	富士フイルム株式会社	102141558	TW	2013年11月15日	出願継続中	光電変換素子、色素増感太陽電池、金属錯体色素、色素溶液、色素吸着電極およ び色素増感太陽電池の製造方法	渡辺 康介 谷 征夫 佐々木 晃逸 佐藤 寛敬 綱 和宏 小林 克
８５	富士フイルム株式会社	PCT/JP2014/060108	PCT	2014年4月7日	各国移行済み	光電変換素子、色素増感太陽電池およびこれに用いる金属錯体色素	渡辺 康介 佐藤 寛敬 谷 征夫 藤原 良 綱 和宏 小林 克
８６	富士フイルム株式会社	PCT/JP2014/057892	PCT	2014年3月20日	各国移行済み	金属錯体色素、光電変換素子、色素増感太陽電池および金属錯体色素を含有する色素溶液	谷 征夫 小林 克
８７	富士フイルム株式会社	PCT/JP2014/057758	PCT	2014年3月20日	放棄	光電変換素子、色素増感太陽電池およびこれに用いる金属錯体色素	谷 征夫 小林 克 渡辺 康介
８８	富士フイルム株式会社	PCT/JP2014/057463	PCT	2014年3月19日	各国移行済み	光電変換素子、色素増感太陽電池およびこれに用いる金属錯体色素	谷 征夫 小林 克
８９	富士フイルム株式会社	103110796	TW	2014年3月24日	出願継続中	光電変換素子、色素増感太陽電池、金属錯体、金属錯体色素、色素溶液、色素吸着電極および色素増感太陽電池の製造方法	佐々木 晃逸 渡辺 康介 谷 征夫 小林 克

９０	富士フイルム株式会社	103113201	TW	2014 年 4 月 10 日	出願継続中	光電変換素子、色素増感太陽電池およびこれに用いる金属錯体色素	渡辺 康介 佐藤 寛敬 谷 征夫 藤原 良 綱 和宏 小林 克
９１	富士フイルム株式会社	103110959	TW	2014 年 3 月 25 日	出願継続中	金属錯体色素、光電変換素子、色素増感太陽電池および金属錯体色素を含有する色素溶液	谷 征夫 小林 克
９２	富士フイルム株式会社	103110954	TW	2014 年 3 月 25 日	出願継続中	金属錯体色素、光電変換素子、色素増感太陽電池および金属錯体色素を含有する色素溶液	佐藤 寛敬 谷 征夫 小林 克
９３	富士フイルム株式会社	103110955	TW	2014 年 3 月 25 日	放棄	光電変換素子、色素増感太陽電池およびこれに用いる金属錯体色素	谷 征夫 小林 克 渡辺 康介
９４	富士フイルム株式会社	103110795	TW	2014 年 3 月 24 日	出願継続中	光電変換素子、色素増感太陽電池およびこれに用いる金属錯体色素	谷 征夫 小林 克
９５	富士フイルム株式会社	PCT/JP2014/067138	PCT	2014 年 6 月 27 日	放棄	光電変換素子、色素増感太陽電池、金属錯体色素、配位子、色素溶液、色素吸着電極および色素増感太陽電池の製造方法	渡辺 康介 谷 征夫 佐藤 寛敬 小林 克
９６	富士フイルム株式会社	103122930	TW	2014 年 7 月 3 日	放棄	光電変換素子、色素増感太陽電池、金属錯体色素、配位子、色素溶液、色素吸着電極および色素増感太陽電池の製造方法	渡辺 康介 谷 征夫 佐藤 寛敬 小林 克
97	信州大学	特願 2011-195638	国内	2011/9/8		色素、これを用いた光電変換素子及び光電気化学電池	木村睦 他
98	信州大学	特願 2012-74832	国内	2012/3/28		色素、これを用いた光電変換素子及び光電気化学電池	木村睦 他
99	信州大学 富士フイルム株式会社	特願 2014-183419	国内	2014/9/9		色素、これを用いた光電変換素子及び光電気化学電池	小林克、木村睦、 河野隆広
100	独立行政法人産業技術総合研究所	特願 2013-254203	国内	2013 年 12 月 9 日		かさ高い置換基を持つトリフェニルアミンを電子供与性基とした有機色素化合物及びそれを用いた半導体薄膜電極、光電変換素子、光電気化学太陽電池	甲村長利、村上拓郎
101	住友大阪セメント（株）	特願 2012-183142	国内	2012 年 8 月 22 日	取下げ	色素増感型太陽電池用ペースト、多孔質光反射絶縁層、及び色素増感型太陽電池	八久保鉄平 高野真悟

102	住友大阪セメント（株）	特　願　2013-180141	国内	2013 年 8 月 30 日	公開	ペースト、光電変換膜および色素増感太陽電池	八久保鉄平 高野真悟
103	住友大阪セメント（株）	特　願　2013-192363	国内	2013 年 9 月 17 日	公開	酸化チタン微粒子および色素増感太陽電池	八久保鉄平 高野真悟
104	住友大阪セメント（株）	PCT/JP2013/72338	PCT	2013 年 8 月 21 日	公開	色素増感型太陽電池用ペースト、多孔質光反射絶縁層、及び色素増感型太陽電池	八久保鉄平 高野真悟
105	シャープ株式会社	特願 2011-253937	国内	2011 年 11 月 12 日	公開	湿式太陽電池および湿式太陽電池モジュール	福井篤　他
106	シャープ株式会社	特願 2011-254135	国内	2011 年 11 月 21 日	公開	光電変換素子および光電変換素子モジュール	古宮良一　他
107	シャープ株式会社	特願 2012-273636	国内	2012 年 12 月 10 日	公開	光電変換素子	福井篤　他
108	シャープ株式会社	特願2015-083469	国内	2015 年 4 月 15 日	出願	ソーラー充電器	渡辺佑樹　他
109	シャープ株式会社	特願2015-083470	国内	2015 年 4 月 15 日	出願	モバイル電子機器用ケース	芝原メディ　他
110	シャープ株式会社　富士フイルム株式会社	特願 2015-105248	国内	2015 年 5 月 25 日	出願	光電変換素子および色素増感太陽電池	山中良亮　他
111	メルク株式会社	特願 2011-282339	国内	2013 年 7 月 4 日	出願	コバルト電解質、電解液、色素増感太陽電池およびコバルト電解質の製造方法	川田健太郎　他
112	国立大学法人九州工業大学、新日鉄住金化学株式会社	特願 2010-195240	国内	2010/9/1	優先権子出願 2011-021390 登録 5585779	色素増感太陽電池	早瀬修二、パンディー・シャム・スデル、山口能弘
113	国立大学法人九州工業大学、新日鉄住金化学株式会社	特願 2010-195699	国内	2010/9/1	優先権子出願 2011-021390 登　録 5585779	色素増感太陽電池	早瀬修二、パンディー・シャム・スデル、山口能弘
114	国立大学法人九州工業大学、新日鉄住金化学株式会社	特願 2011-070220	国内	2011/3/28	不登録	シアニン色素並びにシアニン色素を用いた色素増感太陽電池及び光電変換素子	早瀬修二、パンディー・シャム・スデル、山口能弘 藤野 健一 越智 紀章
115	国立大学法人九州工業大学、新日鉄住金化学株式会社	特願 2011-070221	国内	2011/3/28	不登録	シアニン色素並びにシアニン色素を用いた色素増感太陽電池及び光電変換素子	山口能弘、早瀬修二、パンディー・シャム・スデル、藤野健一、
116	国立大学法人九州工業大学、新日鉄住金化学株式会社	特願 2011-257863	国内	2011/11/25	不登録	光電変換素子用のスクアリリウム色素、これを使用する光電変換素子及び色素増感太陽電池	早瀬修二、パンディー・シャム・スデル、山口能弘
117	国立大学法人九州工業大学、新日鉄住金化学株式会社	特願 2012-067436	国内	2012/3/23	審査請求	ポリメチン色素前駆体、その前駆体の骨格を含むスクアリリウム色素、それを用いた色素増感太陽電池、光電変換素子	早瀬修二、パンディー・シャム・スデル、山口能弘
118	国立大学法人九州工業大学、新	特願 2012-114539	国内	2012/5/18	審査請求	ポルフィリン色素並びにポルフィリン色	早瀬修二、パンディー・シャム・スデル、山口能

	日鉄住金化学株式会社					素を用いた色素増感太陽電池及び光電変換素子	弘、藤野健一、越智紀章、岡本悦哉
119	国立大学法人九州工業大学、新日鉄住金化学株式会社	特願 2012-114540	国内	2012/5/18	審査請求	フタロシアニン色素並びにフタロシアニン色素を用いた色素増感太陽電池及び光電変換素子	早瀬修二、山口能弘、
120	国立大学法人九州工業大学、新日鉄住金化学株式会社	特願 2012-114541	国内	2012/5/18	審査請求	フタロシアニン色素並びにフタロシアニン色素を用いた色素増感太陽電池及び光電変換素子	早瀬修二、パンディー・シャム・スデル、山口能弘、藤野健一、越智紀章、岡本悦哉
121	国立大学法人九州工業大学、新日鉄住金化学株式会社	特願 2013-045530	国内	2013/3/7	公開	フタロシアニン色素、これを用いた色素増感太陽電池及び光電変換素子	早瀬修二、パンディー・シャム・スデル、山口能弘越智紀章
122	新日鉄住金化学株式会社	特願 2014-044021	国内	2014/3/6	未公開	フタロシアニン色素、これを用いた色素増感太陽電池及び光電変換素子	山口能弘、太田剛、越智紀章、長浜拓男
123	新日鉄住金化学株式会社	特願 2015-036390	国内	2015/2/26	未公開	フタロシアニン色素、これを用いた色素増感太陽電池及び光電変換素子	山口能弘、太田剛、越智紀章、長浜拓男

【論文・学会発表】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名	査読	発表年
1	増尾隼也、森　正悟、木村　睦	信大	非対称性配位子によるルテニウム錯体の合成と色素増感太陽電池への応用	電気化学会	無	平成23年3月
2	増尾隼也、森　正悟、木村　睦	信大	色素増感太陽電池用広波長吸収色素材料の開発	日本化学会	無	平成23年3月
3	増尾隼也,小淵和通,正木成彦,森　正悟,木村　睦	信大	機能性側鎖を持つ新規ルテニウム錯体の合成と色素増感太陽電池への応用	2011年電気化学会秋季大会	無	平成23年9月10日
4	正木成彦,小川潤一,奥田一浩,森　正悟	信大	色素増感太陽電池における電子拡散係数及び電子寿命の温度依存性	〃	無	〃
5	内山貴之,長縄亮太,甲村長利,原浩二郎,森　正悟	信大、産総研	臭素レドックス対を用いた色素増感太陽電池における色素構造の影響	〃	無	〃
6	増尾隼也,小淵和通,正木成彦、森　正悟,木村　睦	信大	光捕集基を持つ新規ルテニウム錯体を用いた色素増感太陽電池	日本化学会第92春季年会	無	平成24年3月25日
7	小川潤一,甲村長利,植村　由,原浩二郎,森　正悟	信大、産総研	色素増感太陽電池における色素カチオンの還元速度に与える色素の部分電荷の影響	電気化学会第79回大会	無	平成24年3月30日
8	増尾隼也,小淵和通,正木成彦,村上拓郎、森　正悟,木村　睦	信大、産総研	機能分離したルテニウム錯体を用いた色素増感太陽電池の高効率化	〃	無	〃
9	正木成彦、梶山真吾、甲村長利、森正悟	信大、産総研	ダブルアンカー型カルバゾール色素を用いた色素増感太陽電池	第１回　有機太陽電池ワークショップ	無	平成24年4月20日
10	Masaki, Naruhiko; Uchiyama, Takayuki; Murakami, Takurou; Uemura, Yu; Koumura, Nagatoshi; Kimura, Mutsumi;	信大、産総研	Fabrication of Efficient MK-dye Sensitized Solar Cell Based on Cobalt Complex Redox Couple	19th International Conference on Photochemical Conversion and Storage of Solar Energy	無	平成24年8月4日

	MORI, Shogo			(IPS-19)		
11	M. J. Griffith, J. Masuo, M. Kimura, and S. Mori	信大	Investigating Strategies to Increase the Photovoltage of N749 (Black Dye) Sensitized TiO_2 Solar Cells	第２回　有機太陽電池ワークショップ	無	平成25年１月10日
12	正木成彦,吉井信裕,甲村長利,木村睦,森正悟	信大	カルバゾール色素増感太陽電池のセル特性におけるコバルト錯体電解液組成の影響	2013年電気化学会秋季大会	無	平成25年9月27日
13	中澤覚,木村睦,森正悟	信大	Co錯体レドックス対を用いた色素増感太陽電池におけるRu錯体色素の配位子の性能への影響	〃	無	〃
14	吉井信裕,正木成彦,村上拓郎,甲村長利,森正悟,木村睦	信大、産総研	コバルト錯体電解質を用いた色素増感太陽電池における有機色素構造の最適化	〃	無	〃
15	河野隆広, 正木成彦, 森 正悟,木村睦	信大	光捕集基を持つ新規ルテニウム錯体を用いた色素増感太陽電池	日本化学会第93春季年会	無	平成26年3月29日
16	小川潤一,甲村長利,森正悟	信大	色素増感太陽電池における色素カチオンの還元速度と色素分子構造の関係	電気化学会第81回大会	無	平成26年3月30日
17	Shogo Mori	信大	Some factors influencing the reduction rate of dye cation in dye-sensitized solar cells	HOPV2015（スイス）	無	平成26年5月
18	Shogo Mori, Junichi Ogawa, Nobuhiro Yoshii, Nagatoshi Koumura, Mutsumi Kimura	信大、産総研	Effect of dye structure on the reduction rate of dye cation in dye-sensitized solar cells	IUPAC（フランス）	無	平成26年7月
19	小川潤一,甲村長利,森正悟	信大、産総研	色素増感太陽電池における色素のドナー部位の構造と色素カチオンの還元速度との関係	電気化学会第８２回大会	無	平成27年3月
20	森正悟	信大	高効率色素増感太陽電池に向けた電荷移動制御	日本化学会第94春季年会	無	平成27年3月
21	Mutsumi Kimura, Junya Masuo[a], Yuki Tohata, Kazumichi Obuchi, Naruhiko Masaki, Takurou N. Murakami, Nagatoshi Koumura, Kojiro Hara, Atsushi Fukui, Ryohsuke Yamanaka,Shogo Mori	信大、産総研、シャープ	Improvement of TiO2/Dye/Electrolyte Interface Conditions by Positional Change of Alkyl Chains in Modified Panchromatic Ru Complex Dyes	Chemistry-A European Journal	有	平成25年１月
22	Murakami, Takurou N.; Koumura, Nagatoshi; Uchiyama, Takayuki; et al.	信大、産総研	Recombination inhibitive structure of organic dyes for cobalt complex redox electrolytes in dye-sensitised solar cells	Journal of Materials Chemistry A	有	平成25年１月
23	Uchiyama, Takayuki; Murakami, Takurou; Yoshii, Nobuhiro; Uemura, Yu; Koumura, Nagatoshi; Masaki, Naruhiko; Kimura, Mutsumi; MORI, Shogo	信大、産総研	An Increase of Energy Conversion Efficiency by Decreasing Cobalt Redox Electrolyte Diffusion Resistance in Dye-Sensitized Solar Cells	Chemistry Letters	有	平成25年3月
24	Murakami, Takurou N.; Koumura, Nagatoshi; Kimura, Mutsumi; et al.	信大、産総研	Structural Effect of Donor in Organic Dye on Recombination in Dye-Sensitized Solar Cells with Cobalt Complex Electrolyte	Langmuir	有	平成２６年３月
25	H. Matsuzaki, TN. Murakami, N. Masaki, A. Furube, M. Kimura, S. Mori,	信大、産総研	Dye Aggregation Effect on Interfacial Electron-Transfer Dynamics in Zinc Phthalocyanine-Sensitized Solar Cells,	Journal of Physical Chemistry C	有	平成２６年７月

26	J. Ogawa, N. Koumura, K. Hara, S. Mori	信大、産総研	Deceleration of dye cation reduction kinetics by adding alkyl chains to the pi-conjugated linger of dye molecules	Japanese Journal of Applied Physics	有	平成２６年１２月
27	村上拓郎、甲村長利、舩木敬、木村　睦、森　正悟	産業技術総合研究所、信州大学	トリフェニルアミン系有機色素を用いた色素増感太陽電池の高効率化	電気化学会第 82 回大会	無	2015
28	村上拓郎、甲村長利	産業技術総合研究所	Advance of The Dye-sensitized Solar Cells with The High-voltage and Robust Organic Dye	AIST-NREL Joint Workshop on Photovoltaics	無	2014
29	村上拓郎	産業技術総合研究所	色素増感太陽電池の実用化に向けた取り組みと今後の有機系太陽電池の展望	信州コロイド＆界面科学研究会　第１０回記念 セミナー	無	2014
30	村上拓郎	産業技術総合研究所	有機色素を用いた高性能色素増感太陽電池開発の取組み	GIC 第 39 回研修セミナー	無	2014
31	村上拓郎、甲村長利、木村睦、森正悟	産業技術総合研究所、信州大学	Recombination Inhibitive Donor Structure of Organic Dye for Cobalt Complex Redox Electrolyte in Dye-sensitized Solar Cells	The 65th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry	無	2014
32	村上拓郎、吉田英里、甲村長利	産業技術総合研究所	Study of Heat Stability of Dye-sensitized Solar Cells at 85 °C Using Carbazole Dye with Phosphonic Acid Anchoring groups	The 65th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry	無	2014
33	村上拓郎、吉田英里、甲村長利	産業技術総合研究所	Advances in Dye-sensitized Solar Cells with Organic Dyes	有機太陽電池つくば地区交流会　第 3 回交流会	無	2014
34	村上拓郎	産業技術総合研究所	コバルト錯体レドックス電解液と有機色素を用いた色素増感太陽電池の高効率化	熊本県産業技術振興協会　材料・地域専門部会第３回技術講演会	無	2014
35	甲村長利	産業技術総合研究所	界面制御を考慮した機能性有機色素材料の開発と色素増感太陽電池への応用	熊本県産業技術振興協会　材料・地域専門部会第３回技術講演会	無	2014
36	甲村長利	産業技術総合研究所	界面制御を指向した機能性有機色素材料の開発と色素増感太陽電池への応用研究	平成２５年度第 2 回崇城大学有機エレクトロニクス講演会	無	2014
37	村上拓郎，吉田英里, 加藤隆二，甲村長利	産業技術総合研究所、日本大学	ホスホン酸吸着基を有するカルバゾール色素の色素増感太陽電池特性と耐熱性	2013 年電気化学会秋季大会	無	2013
38	村上拓郎	産業技術総合研究所	色素増感太陽電池における電気化学インピーダンス法の実際	電気化学会　関東支部 第 49 回学際領域セミナー	無	2013
39	村上拓郎	産業技術総合研究所	コバルト錯体レドックスを用いた色素増感太陽電池の高効率化	環太平洋国際大学国際科学教育研究所第 1 回 IPU・みなとみらいシンポジウム	無	2013
40	村上拓郎	産業技術総合研究所	Performance Enhancement of Dye-sensitized Solar Cells with Organic Dyes	AM-FPD '13	無	2013
41	村上拓郎、吉田英里、甲村長利	産業技術総合研究所	Carbazole Dye with Phosphonic Acid Anchoring Group for Heat-stable Dye-sensitized Solar Cells	The 9th International Symposium on Electrochemical Impedance Spectroscopy	無	2013
42	甲村長利、村上拓郎、正木成彦、木村睦、森正悟、他	産業技術総合研究所、	Sterically Hindered Organic Dyes for Dye-sensitized Solar Cells with Cobalt	11th International Symposium on	無	2013

		信州大学	Complex Redox Electrolytes	Functional pi-Electron Systems		
43	村上拓郎	産業技術総合研究所	コバルト錯体レドックスを用いた色素増感太陽電池の高効率化	第 16 回機能性分子シンポジウム	無	2013
44	甲村長利、村上拓郎	産業技術総合研究所	カルバゾール系有機色素を用いた色素増感太陽電池	表面技術協会関東支部第 84 回講演会	無	2012
45	村上拓郎	産業技術総合研究所	色素増感太陽電池の低コスト化・高効率化技術の開発	第 6 回自己組織化討論会 つくばセミナーハウス	無	2012
46	甲村長利	産業技術総合研究所	カルバゾール系有機色素を用いた色素増感太陽電池	東京工業大学環境エネルギー機構 エネルギーセンター「太陽電池部門」、有機太陽電池シンポジウム	無	2012
47	村上拓郎、木村睦、甲村長利、森正悟、他	産業技術総合研究所、信州大学	酸化チタン／コバルト電解液界面における逆電子移動抑制効果を有する有機色素ドナー構造の探索	第 1 回有機太陽電池ワークショップ	無	2012
48	吉田英里、村上拓郎、原浩二郎、甲村長利	産業技術総合研究所	リン酸基をアンカーに用いた新規MK色素の開発と高耐久性色素増感太陽電池への応用	第 1 回有機太陽電池ワークショップ	無	2012
49	村上拓郎、正木成彦、木村睦、甲村長利、森正悟	産業技術総合研究所、信州大学	酸化チタン／コバルト電解液界面における逆電子移動抑制効果を有する有機色 素ドナー構造の探索	2012 年 電気化学会第 79 回大会	無	2012
50	吉田英里、村上拓郎、原浩二郎、甲村長利	産業技術総合研究所	リン酸基をアンカーに用いた新規 MK 色素の開発と高耐久性色素増感太陽電池への応用	日本化学会第 92 春季年会	無	2011
51	甲村長利	産業技術総合研究所	色素増感太陽電池に用いる機能性有機色素分子の開発	筑波大学学際物質科学研究センター第 15 回機能性分子シンポジウム	無	2011
52	甲村長利	産業技術総合研究所	色素増感太陽電池における酸化チタン上の色素吸着量の光電変換特性に及ぼす影響	第八回有機元素化学セミナー	無	2011
53	吉田英里、村上拓郎、原浩二郎、甲村長利	産業技術総合研究所	High Adsorption Stability of MK Dye with Phosphonic Anchoring Group for Dye-Sensitized Solar Cells	The 6th aceanian conference on Dye-sensitized and organic solar cells -DSC-6	無	2011
54	村上拓郎、正木成彦、甲村長利、木村睦、森正悟、他	産業技術総合研究所、信州大学	Combination of Organic Dye and Cobalt Complex Redox Couples for Dye-sensitized Solar Cells (2)	The 6th aceanian conference on Dye-sensitized and organic solar cells -DSC-6	無	2011
55	村上拓郎、正木成彦、甲村長利、木村睦、森正悟、他	産業技術総合研究所、信州大学	有機色素とコバルト錯体電解液を用いた色素増感太陽電池（１）	2011 年 電気化学秋季大会	無	2011
56	村上 拓郎	産業技術総合研究所	ZnO / TiO2 Core-shell Electrodes for Dye-sensitized Solar Cells	Japan-UK Dye-Sensitized & Organic Photovoltaic Workshop (Oxford University)	無	2011
57	甲村長利、原浩二郎	産業技術総合研究所	Development of Carbazole Dyes for Efficient Molecular Photovoltaics	Heterocycles	有	2012
58	植村由、村上拓郎、甲村長利	産業技術総合研究所	Crown Ether-Substituted Carbazole Dye for Dye-Sensitized Solar Cells: Controlling the Local Ion Concentration at the TiO2/Dye/Electrolyte Interface	Journal of Physical Chemistry C	有	2014
59	村上拓郎、甲村長利、木村睦、森正悟	産業技術総合研究所	Structural effect of donor in organic dye on recombination in dye-sensitized solar cells with cobalt complex electrolyte	Langmuir	有	2014

60	村上拓郎、吉田英里、甲村長利	産業技術総合研究所	Carbazole dye with phosphonic acid anchoring groups for long-term heat stability of dye-sensitized solar cells	Electrochimica Acta	有	2014
61	村上拓郎、甲村長利、正木成彦、木村睦、森正悟、他	産業技術総合研究所、信州大学	Recombination inhibitive structure of organic dyes for cobalt complex redox electrolytes in dye-sensitised solar cells	Journal of Materials Chemistry A	有	2013
62	村上拓郎、他	産業技術総合研究所	Efficiency Enhancement of ZnO-based Dye-sensitized Solar Cells by Low-temperature TiCl4 Treatment and Dye Optimization	Journal of Physical Chemistry C	有	2013
63	村上拓郎、他	産業技術総合研究所	Optimum Particle Size of ZnO for Dye-sensitized Solar Cells	Chemistry Letters	有	2013
64	古部昭広，砂原賢二，加藤隆二，張雪華，甲村長利，原浩二郎	産業技術総合研究所	高機能化カルバゾール系有機色素を用いた色素増感太陽電池におけるフェムト秒電子注入過程	応用物理学関係連合講演会	無	2011
65	古部昭広、村田重夫、Subrata MAHANTA、加藤隆二、松本一	産業技術総合研究所	色素増感太陽電池における電子注入過程におよぼすイオン液体電解液の効果	光化学討論会	無	2011
66	古部昭広、村田重夫、松崎弘幸、加藤隆二、福井篤、扇谷恵、山中良亮	産業技術総合研究所	フェムト秒拡散反射過渡吸収分光による色素増感太陽電池の電子注入評価：光劣化時の注入効率	電気化学会第７９回大会	無	2012
67	Subrata Mahanta, Akihiro Furube, Hiroyuki Matsuzaki, Hajime Matsumoto and Ryuzi Katoh	産業技術総合研究所	Electron injection efficiency in N719/TiO_2 in presence of room temperature ionic liquid solvents probed by femtosecond transient absorption spectroscopy: Effect of varying anions.	電気化学会第７９回大会	無	2012
68	松崎弘幸，古部昭広，村上拓郎，正木成彦，森　正悟，木村　睦	産業技術総合研究所	フタロシアニン錯体色素を用いた色素増感太陽電池におけるフェムト秒電子注入ダイナミクス	電気化学会第７９回大会	無	2012
69	今村　剛，矢口かおり，古部昭広，村上拓郎，甲村長利，原浩二郎，加藤隆二	産業技術総合研究所	色素増感太陽電池における増感色素の光安定性：Ru系色素	電気化学会第７９回大会	無	2012
70	古部昭広，松本　一	産業技術総合研究所	ヨウ素レドックス電解液の耐熱性評価	電気化学会第７９回大会	無	2012
71	Akihiro Furube	産業技術総合研究所	Ultrafast Spectroscopy on Dye-sensitized Solar Cells: Effect of Electrolyte	ICYRAM2012	無	2012
72	Subrata Mahanta, Akihiro Furube, Hiroyuki Matsuzaki, Takurou N. Murakami, and Hajime Matsumoto	産業技術総合研究所	Electron Injection Effciency in Ru-Dye sensitized TiO_2 in the Presence of Room Temperature Ionic Liquid Solvents Probed by Femtosecond Transient Absorption Spectroscopy: Effect of Vary	J. Phys. Chem. C 2012, 116, 20213-20219	有	2012

			ing Anions			
73	松崎弘幸, 古部昭広, 村上拓郎, 正木成彦, 森　正悟, 木村　睦	産業技術総合研究所	亜鉛フタロシアニン錯体を用いた色素増感太陽電池における電子注入ダイナミクス	応用物理学会学術講演会	無	2012
74	Mahanta Subrata・古部昭広・松崎弘幸・村上拓郎・松本一・加藤隆二	産業技術総合研究所	Studied electron injection efficiency of N719/TiO_2 system in room temperature ionic liquid environments using femtosecond transient absorption	光化学討論会	無	2012
75	S. Mahanta, A. Furube, H. Matsuzaki, T. N. Murakami, H. Matsumoto and R. Katoh	産業技術総合研究所	Electron injection dynamics and efficiency of dye-sensitized TiO_2 film in ionic liquid revealed by femtosecond transient absorption spectroscopy	Asian Photochemistry Conference	無	2012
76	松本一、村上拓郎古部昭広	産業技術総合研究所	イオン液体を用いた色素増感太陽電池の熱安定性	イオン液体討論会	無	2012
77	Subrata Mahanta, 古部昭広, 松崎弘幸, 村上拓郎, 松本一, 加藤隆二	産業技術総合研究所	色素増感太陽電池における電子注入ダイナミクスの電解液依存性: 溶媒及び添加物効果	応用物理学関係連合講演会	無	2013
78	松本一、村上拓郎古部昭広	産業技術総合研究所	ヨウ化物溶融塩を用いた色素増感太陽電池の性能に及ぼすチオシアネート塩の添加効果	電気化学会第８０回大会	無	2013
79	松本一、村上拓郎古部昭広	産業技術総合研究所	N719色素を用いた色素増感太陽電池の加熱劣化挙動に及ぼす電解液組成の影響	電気化学会第８０回大会	無	2013
80	松崎弘幸, 古部昭広, 村上拓郎, 正木成彦, 森　正悟, 木村　睦	産業技術総合研究所	亜鉛フタロシアニン錯体を用いた色素増感太陽電池における界面電子移動ダイナミクス	光化学討論会	無	2013
81	MAHANTA, Subrata; FURUBE, Akihiro; MA TSUZAKI, Hiroyuki; MURAKAMI, Takurou; MATSUMOTO, Hajime; (Nihon Univ.) KATOH, Ryuzi.	産業技術総合研究所	Electron injection efficiency of N719/TiO_2 system in the presence of three different organic solvents: a femtosecond transient absorption study	光化学討論会	無	2013
82	加藤　隆二	産業技術総合研究所	色素増感太陽電池電解液の光触媒反応機構	光化学討論会	無	2013
83	Ryuzi Katoh	産業技術総合研究所	Primary Processes in Dye-sensitized Solar Cells Studied by Transient Laser Spectroscopy	日本化学会 東北支部大会	無	2013
84	Ryuzi Katoh	産業技術総合研究所	Mechanism of UV-photocatalytic React	日本化学会 東北支部	無	2013

			ion of Electrolyte Solution for Dye-sensitized Solar Cells	大会		
85	Subrata Mahanta, Akihiro Furube, Hiroyuki Matsuzaki, Takurou Murakami, Hajime Matsumoto and Ryuzi Katoh	産業技術総合研究所	Study of Electron Injection Efficiency of N719/TiO2 System in Different Room Temperature Ionic Liquid (IL) Environments By Using Femtosecond Transient Absorption Spectroscopy: Effect of Varying Viscosity	225th ECS Meeting	無	2014
86	Akihiro FURUBE, Subrata MAHANTA, Hiroyuki MATSUZAKI, Takurou MURAKAMI, Hajime MATSUMOTO, Ryuzi KATOH	産業技術総合研究所	Electron injection dynamics of N719/TiO2 system in different room temperature ionic liquid (IL) environments by femtosecond transient absorption spectroscopy: Effect of varying viscosity	IPS-20	無	2014
87	加藤　隆二	産業技術総合研究所	分光計測手法を駆使した色素増感太陽電池の動作機構の解明	錯体化学会討論会	無	2014
88	古部昭広、Mahanta Subrata、松崎 弘幸、加藤隆二、福井篤、扇谷恵、山中良亮	産業技術総合研究所	フェムト秒拡散反射過渡吸収分光による色素増感太陽電 池の電子注入評価:熱劣化時の注入効率	光学討論会	無	2014
89	Ryuzi Katoh	産業技術総合研究所	Mechanism of degradation of electrolyte solutions for dye-sensitizedsolar cells under ultraviolet light irradiation	Chem. Phys. Lett. 619 (2015) 36-38.	有	2014
90	古部昭広, Subrata Mahanta, 松崎弘幸, 村上拓郎, 松本一, 加藤隆二	産業技術総合研究所	色素増感太陽電池における電子注入ダイナミクスにおけるイオン液体溶媒の効果	固体・表面光化学討論会	無	2014
91	加藤　隆二	産業技術総合研究所	色素増感半導体ナノ微粒子膜のベイポクロミック挙動と電子注入過程に及ぼす効果	電気化学会第82回大会	無	2015
92	Subrata Mahanta, Hiroyuki Matsuzaki, Takurou N. Murakami, Ryuzi Katoh, Hajime Matsumoto, and Akihiro Furube	産業技術総合研究所	Modulation of Electron Injection Dynamics of Ru-Based Dye/TiO2 System in the Presence of Three Different Organic Solvents: Role of Solvent Dipole Moment and Donor Number	ChemPhysChem 16 (2015) 1657 – 1662	有	2015
91	Kentaro KAWATA, Hiroki YOSHIZAKI, Tomohisa GOTO, Kazuhiro KATO, Sabine RENKER	メルク株式会社	Nondestructive Three-Dimensional Observation of the Electrolyte in a Dye-Sensitised Solar Cell Combined with the Local Photocurrent Dynamics	Japanese Journal of Applied Physics	有	2012
92	Kentaro KAWATA, Koichi TAMAKI, Hiroki YOSHIZAKI, Tomohisa GOTO Kazuhiro KATO, Sabine RENKER	メルク株式会社	Electrolyte Development for Dye-Sensitised Solar Cells	The 7th Asia-Pacific Conference on Dye-Sensitized and Organic Solar Cells (DSC-OP	無	2012

				V7)		
93	○川田 健太郎・玉木 浩一・吉崎 浩樹・後藤 智久・加藤 一弘・ザビネ レンカー	メルク株式会社	イオン液体を用いた色素増感太陽電池電解液の研究開発	第３回イオン液体討論会	無	2012
94	川田 健太郎	メルク株式会社	色素増感太陽電池向け電解液開発	月刊ファインケミカル、和文総説	無	2013
95	川田 健太郎	メルク株式会社	色素増感太陽電池電解液の最新技術と COSMO-RS 法を用いた設計について	第65回マテリアルズ・テーラリング研究会	無	2013
96	○玉木 浩一・川田 健太郎	メルク株式会社	COSMO 法によるイオン液体を含む溶液の電離度の推定と色素増感太陽電池への応用	第36回溶液化学シンポジウム	無	2013
97	○玉木 浩一・川田 健太郎・後藤 智久・加藤 一弘	メルク株式会社	COSMO-RS 法を用いた金属錯体溶液の酸化還元電位および電離度の推算と色素増感太陽電池への応用	電気化学会第81回大会	無	2014
98	Kentaro KAWATA, Koichi TAMAKI, Tomohisa GOTO, Kazuhiro KATO	メルク株式会社	Advanced Materials for Use in Dye-Sensitised and Perovskite Photovoltaics	The 14th Hybrid and Organic Photovoltaics Conference (HOPV14)	無	2014
99	Kentaro KAWATA, Koichi TAMAKI, Tomohisa GOTO, Kazuhiro KATO, Hiroki YOSHIZAKI	メルク株式会社	Alternative Redox Couples for the Dye-Sensitised Solar Cell Electrolyte	The 65th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (ISE2014)	無	2014
100	Kentaro KAWATA, Koichi TAMAKI, Tomohisa GOTO, Kazuhiro KATO, Hiroki YOSHIZAKI	メルク株式会社	Organic Hole Transport Materials for Perovskite PV	The 14th International Conference on Solution processed Semiconductor Solar Cells (SSSC14)	無	2014
101	○玉木 浩一・川田 健太郎・後藤 智久・加藤 一弘・三浦 偉俊・井上 由紀子	メルク株式会社	ヨウ素代替電解液を用いた色素増感太陽電池	2014年電気化学秋季大会	無	2014
102	Kentaro KAWATA, Koichi TAMAKI, Francisco FABREGAT-SANTIAGO	メルク株式会社	Materials and Process Development for Perovskite Solar Cell	The 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6)	無	2014
103	Kentaro KAWATA, Koichi TAMAKI, Tomohisa GOTO, Kazuhiro KATO	メルク株式会社	The Failure Mode Analysis of Perovskite Solar Cells	The 9th Asia-Pacific Conference on Dye-Sensitized and Organic Solar Cells (DSC-OPV9)	無	2014
104	S. Hayase, Y. Ogomi, J. Usagawa, K. Uzaki, S. Pandey, M. Kono, and Y. Yamaguchi	九州工業大学、新日鉄住金化学	New dye sensitized solar cells consisting of 3D photoanode	RE2010 Yokohama	無	2010

105	宇崎 健史郎, 井上 喬文, Shyam S. Pandey, 尾込裕平, 河野 充, 山口 能弘, 早瀬修二	九州工業大学、新日鉄住金化学	メッシュ電極を用いたタンデム型色素増感太陽電池	第 7 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム 北九州国際会議場	無	2010
106	山口　能弘	新日鉄住金化学	色素増感太陽電池の開発	依頼講演 （財）福岡県産業・科学技術振興財団 福岡 IST イノベーションクラブ	無	2011
107	山口　能弘	新日鉄住金化学	「低コスト色素増感太陽電池の開発・技術動向と応用及び今後の展開	依頼講演 日本情報センター	無	2011
108	Shyam S. Pandey, Naotaka Fujikawa, Rie Watanabe, Yuhei Ogomi, Shuzi Hayase Yoshihiro Yamaguchi,	九州工業大学、新日鉄住金化学	Novel far red sensitizing unsymmetrical squaraine dye containing pyroloquinoline moiety for dye sensitized solar cells	ＰＶＳＥＣ－２１（福岡）	無	2011
109	藤川直耕、尾込、Pandey, 山口能弘、早瀬修二	九州工業大学、新日鉄住金化学	フタロシアニン色素を用いた近赤外太陽電池	日本化学会	無	2013
110	Shivashimpi Gururaj M・Pandey Shyam S. 渡辺 理恵・尾込 裕平・山口 能弘・早瀬 修二	九州工業大学、新日鉄住金化学	非対称スクアリリウム色素における アンカーの影響と光増感作用	日本化学会第 92 春季年会(2012)	無	2012
111	藤川直耕、沈、西村、Shivashimpi、尾込、Pandey、山口、馬、早瀬	九州工業大学、新日鉄住金化学	ハイブリッド色素増感太陽電池用近赤外色素の IPCE 向上に向けた分子設計	日本化学会	無	2014
112	Shivashimpi Gururaj、Pandey、Hayat、藤川、尾込、山口、早瀬	九州工業大学、新日鉄住金化学	Synthesis, Characterization and Aggregations Studies of Phosphorous Phthalocyanine Towards its Application in Dye Sensitized Solar Cells	日本化学会	無	2014
113	西村昭美、藤川、Shivashimpi、尾込、Pandey、山口、馬、早瀬	九州工業大学、新日鉄住金化学	近赤外色素を用いたハイブリッド型色素増感太陽電池に関する研究	電気化学会	無	2014
114	Hayat Azwar、Shivashimpi、西村、藤川、尾込、Pandey、山口、馬、早瀬	九州工業大学、新日鉄住金化学	Photovoltaic performance of Dye Sensitized Solar Cells consisting of P-Substituted Phthalocyanine	電気化学会	無	2014
115	Shivashimpi, Yuhei Ogomi, Qing Shen, Shyam S. Pandey, Yoshihiro Yamaguchi, Tingli Ma,and Shuzi Hayase	九州工業大学、Electro-Communications 大学、新日鉄住金化学	HybridType Dye Sensitized Solar Cells based on near IR dye and visible dye	IUMRS-2014	無	2014

116	Shyam S. Pandey1; Naotaka Fujikawa, Gururaj M. Shivashimpi; Yuhei Ogomi; Yoshihiro Yamaguchi; Abderrazzak Douhal and Shuzi Hayase	九州工業大学、新日鉄住金化学, Castilla-la Mancha 大学	Prospects nad Problems with Squaraine Dyes	IUMRS-2014	無	2014
117	Kenshiro Uzaki, Terumi Nishimura, Jun Usagawa, Yorikazu Yoshida, Shuzi Hayase, Mitsuru Kono, Yoshihiro Yamaguchi	九州工業大学、新日鉄住金化学	3D-dye-sensitized solar cells consisting of TCO-less structures -Aiming at high efficiency from the view point of light harvesting and charge collection-	Solar Energy Materials & Solar Cell, 231, 021204	有	2010
118	Gururaj M. Shivashimpi, Shyam S. Pandey, Rie Watanabe, Naotaka Fujikawa, Yuhei Ogomi, Yoshihiro Yamaguchi and Shuzi Hayase	九州工業大学、新日鉄住金化学	Novel unsymmetrical squaraine dye bearing cyanoacrylic acid anchoring group and its photosensitization behaviour.	Tetrahedron Letters; Vol. 53, No.40, Pages 5437-5440.(2012).	有	2012
119	Shyam S. Pandey, Naotaka Fujikawa, Rie Watanabe, Yuhei Ogomi, Yoshihiro	九州工業大学、新日鉄住金化学	Dye-Sensitized Solar Cells based on Novel Far-red Sensitizing Unsymmetrical Squaraine	Jpn. J. Appl. Phys. 51, 10NE12 (2012).	有	2012
120	Shyam S. Pandey, Rie Watanabe, Naotaka Fujikawa, Gururaj M. Shivashimpi, Yuhei Ogomi, Yoshihiro Yamaguchi, Shuzi Hayase	九州工業大学、新日鉄住金化学	Effect of extended conjugation on photovoltaic performance of dye sensitized solar cells based on unsymmetrical squaraine dyes	Tetrahedron, 69 2633-2639, 2013	有	2013
121	Gururaj M. Shivashimpi, Shyam S. Pandeya, Rie Watanabe, Naotaka Fujikawa, Yuhei Ogomi, Yoshihiro Yamaguchi, Shuzi Hayase	九州工業大学、新日鉄住金化学	Effect of nature of anchoring groups on photosensitization behavior in unsymmetrical squaraine dyes	Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 273, 1-7, 2014	有	2014
122	Azwar Hayat, Gururaj M. Shivashimpi, Terumi Nishimura, Naotaka Fujikawa, Yuhei Ogomi, Yoshihiro Yamaguchi, Shyam S. Pandey, Tingli Ma, Shuzi Hayase	九州工業大学、新日鉄住金化学	Dye sensitized solar cells based on axially ligated phosphorus-phthalocyanine dyes	Applied Physics Express 8(4):047001 (2015).	有	2015
123	Shyam S. Pandey[1], Takuya Morimoto[1], Naotaka Fujikawa[1], Yuhei Ogomi[1], YoshihirYamaguchi[-2], and Shuzi Hayase[1]	九州工業大学、新日鉄住金化学	A combined theoretical and experimental approaches towards designing NIR dyes for dye-sensitized solar cells.	（１）2nd Universiti Putra Malaysia – Kyushu Institute of Technology Inte rnational Symposium on Applied Engineering and Sciences (SAES 2014：学会) （２） Journal of Engineering Science and Technology	有	2014
124	Gururaj M Shivashimpi, Shyam S Pandey, Azwar Hayat, Naotaka Fujikawa, Yuhei Ogomi, Yoshihiro Yamaguchi, Shuzi Hayase	九州工業大学、新日鉄住金化学	Far-red sensitizing octatrifluorobutoxy phosphorous triazatetrabenzocorrole: Synthesis, spectral characterization and aggregation studies	Chemistry 、 289, 53～ 59, (2014)	有	2014

【受賞】

- 第 12 回　国際ナノテクノロジー総合展・技術会議（H25.1.30-2.1）にて本研究成果発表が受賞理由の１つとなり、グリーンナノテクノロジー部門賞を受賞（富士フイルム）
- PVSEC-21 Young Researcher Paper Award (July, 2011)

“Improvement of the conversion efficiency of a monolithic type dye-sensitized solar module”

Ryoichi Komiya、Atsushi Fukui、Norio Murofushi、Naoki Koide、Ryosuke Yamanaka、Hiroyuki Katayama（シャープ株式会社）

B　ガラス基板型色素増感太陽電池(電流型)の研究開発

1. 成果詳細

a. 大面積・高耐久性色素増感太陽電池モジュールの研究開発

本委託研究では、色素増感太陽電池の耐久性目標として、JIS規格C8938の各試験(温湿度サイクル、耐熱性、耐湿性、温度サイクル、光照射)を実施し、30cm角程度のモジュールにおいて相対効率低下10 %以内であることを目標とした。前委託研究の研究成果は、η(ac)≒8 %の5 cm角セル(図Ⅲ-2-(ニ)-B-1(1))において、各試験での相対効率低下1 %以内であった。この高い耐久性は、集電配線部の保護層・セルの封止構造・電解液の組成・セルのパッケージなどについて改善を行った結果として達成したものである。本委託研究では、5 cm角セルを大型化する際に問題となる欠陥、特に集電配線保護膜のピンホール発生確率を下げる改良を行った。

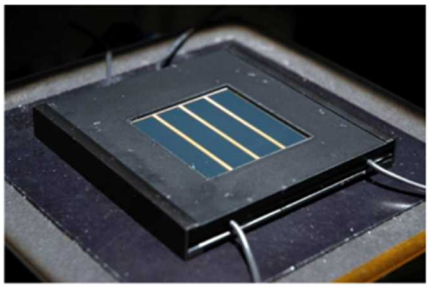


図 Ⅲ-2-(ニ)-B-1(1)　5 cm角セルの外観

集電配線は、これを覆うようにガラスフリットペーストを塗布、焼成して形成したガラスフリット保護層により電解液から隔離している。そのため、配線腐食を抑制するためには、ガラスフリット保護層を均一に成膜する必要がある。そこで、均一な形態が実現できる非鉛系低融点ガラスフリット材料及び焼成条件の検討を行った。図Ⅲ-2-(ニ)-B-1(2)に代表的な3つの組成パターンの非鉛ガラスフリットを500℃で焼成したときの表面SEM観察結果を示す。

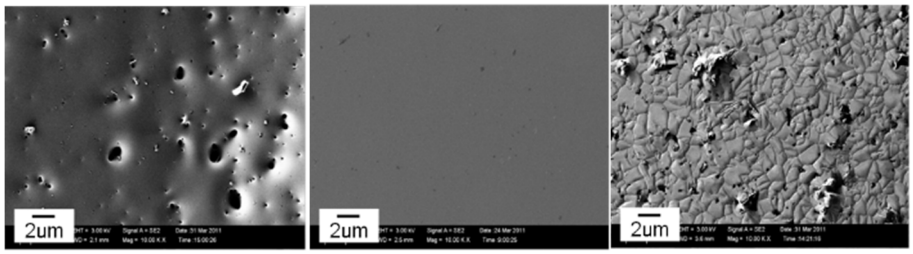


図 Ⅲ-2-(ニ)-B-1(2)　500 ℃で焼成したガラスフリット3種の表面のSEM像

非鉛系低融点ガラスフリットは組成ポリシーによりピンホールの発生確率が大きく変わることが分かり、結果として図Ⅲ-2-(ニ)-B-1(1)中央のグループに属するガラスフリット材料が望ましいと判断できた。さらに、各要素セルの発電性能が大きくばらつくと直列モジュールとしての発電性能が大きく低下することから、セルの発電性能のばらつきを小さくするために、以下の検討を行った。

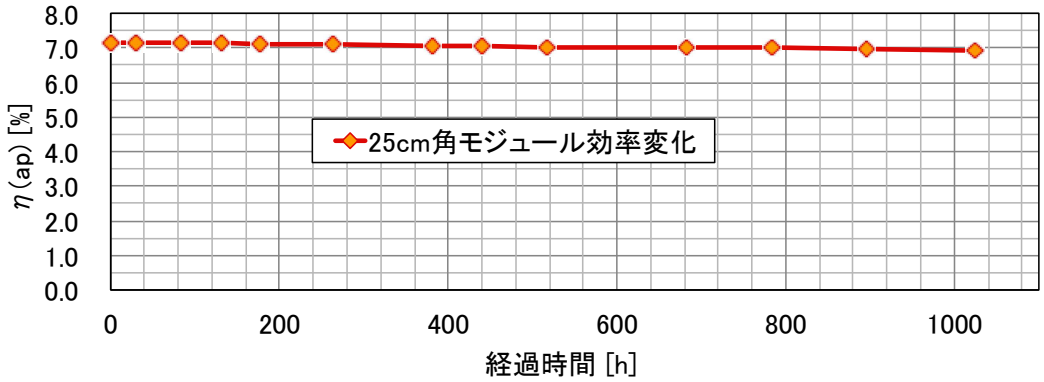
(1) 焼成温度の最適化
(2) 50 cm角エリアでの多積層スクリーン印刷および複数回焼成(500 ℃程度)を実施した上で、光電極および配線部の印刷精度100 μm以下の達成
(3) 均一な色素吸着を実現する色素担持装置の開発
(4) 高精度封止装置の開発

(5) 最適な集電配線構造についての解析的手法による設計の実施
(6) 各ユニットセル間を最短で接続する方法の開発

上記の開発を行ったうえで、2 つのユニットセルからなる 25 cm 角の 2 直列モジュール(図Ⅲ-2-(ニ)-B-1(3))を作製し、その変換効率改善および耐久試験を実施した。

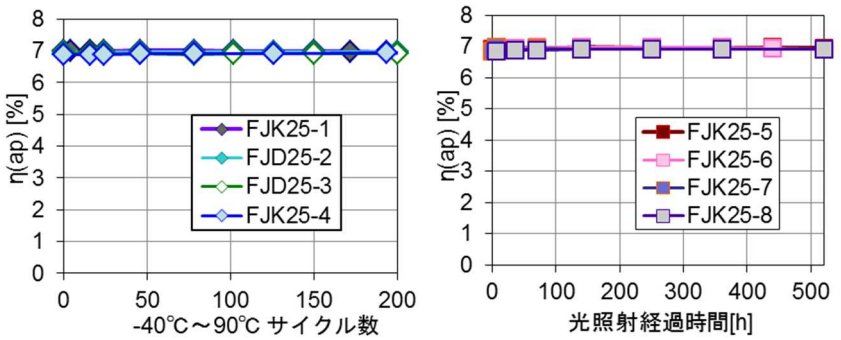
図 Ⅲ-2-(ニ)-B-1(3) 25 cm 角モジュールの外観

本モジュールでは、2 つのユニットセル間に非発電部となる直列接続部を持つ 25 cm 角モジュールでも、アパーチャーあたりの変換効率 η (ap) = 7.4 %の値を得る事に成功した。しかしながら本モジュールのユニットセル効率を 5 ㎝角セルと比べると、Voc, FF のそれぞれが 1 割程度低い値となり、改善すべき課題であることが分かった。また前述の改善の結果、25 cm 角でも性能低下を抑えることに成功し、η (ap) = 7.2 %の 25 cm 角モジュールにおいて B-2 試験(85 ℃, 85 %RH, 1000 時間)後の相対効率低下 3 %を達成した(図Ⅲ-2-(ニ)-B-1(4))。



図Ⅲ-2-(ニ)-B-1(4) 25 cm 角モジュールでの耐湿性試験 B-2 における変換効率変化

また温度サイクル試験 A-1(-40 ℃～90 ℃, 200 サイクル)ならびに連続光照射試験 A-5(1 sun 疑似太陽光照射, 500 時間)でも図Ⅲ-2-(ニ)-B-1(5)の通り、規定時間内でのモジュール性能低下は確認されず、η (ap)のプロットは全て同一直線上に載る様な形状となった。これらから、開発した 25 cm 角モジュールでは本プロジェクトの耐久性目標である相対効率低下 10 %以内に対し、大幅に高い耐久性を達成する事ができた。



図Ⅲ-2-(ニ)-B-1(5)　25 cm 角モジュールを用いた温度サイクル試験 A-1(左図)
ならびに連続光照射試験 A-5(右図)での変換効率変化

この 25 cm 角モジュールで開発した電極作製・封止プロセス改善技術は 50 cm 角モジュールにも適用し、後述の屋外耐久性実証用のサンプルとして使用した。

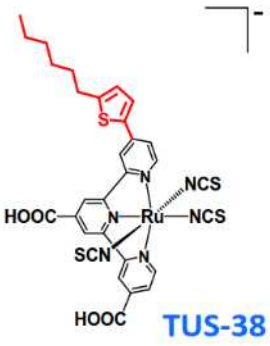
さらに 25 cm 角の 2 直列構造のモジュールで達成した η (ap) = 7.4 %の変換効率をさらに向上させるための以下の開発を行った。

(1) 集電抵抗低減のための FEM シミュレーションによる配線設計、直列分割設計の最適化。
(2) ナノコンポジットイオンゲル技術による電荷移動抵抗低減
(3) BlackDye 色素構造をベースとした新規長波長吸収色素の開発
(4) BlackDye 系統色素の精製技術向上による難分離不純物成分の除去
(5) 光電極製作時のコンタミネーションや封止する際の熱劣化の防止
(6) チタニア多孔膜の光マネジメント構造・色素吸着条件・電解液組成の最適化

上述したフジクラの開発技術に加え、本研究開発の共同研究先である東京理科大学との技術協力も並行して進めた。東京理科大では

(1) 入射光の発電膜内での光路長を最大化する酸化チタンの粒径及び粒子凝集構造
(2) 逆電子移動を防止する酸化チタンナノ粒表面への異種コーティング
(3) 色素担持溶媒組成と吸着温度の最適化
(4) BlackDye 系統の新規高吸光度色素の開発(図Ⅲ-2-(ニ)-B-1(6))
(5) BlackDye 色素に対する共増感組成、共吸着剤組成の検討
(6) 電解液への 4 級アンモニウム塩添加による漏れ電流抑制
(7) 電解液抵抗を削減するイミダゾリウムヨウ化物塩の探索

といった開発を本事業として行い、表Ⅲ-2-(ニ)-B-1(1)の通り学内での測定では1 cm^2セルで12.45%、また図Ⅲ-2-(ニ)-B-1(7)のとおり産総研における性能測定において変換効率11.8 %とヨウ素系電解液を用いた色素増感太陽電池として世界最高レベルの高効率化技術を実現したため、その電極構造を大面積モジュールにも反映した。



表Ⅲ-2-(ニ)-B-1(7)
東京理科大開発の1cm²サイズDSC性能

J_{sc} (mA/cm²)	V_{oc} (V)	FF	η (%)
24.3	0.713	0.697	12.07
24.8	0.717	0.700	12.45
25.3	0.708	0.692	12.40
25.3	0.708	0.693	12.41
25.3	0.708	0.693	12.41

図 Ⅲ-2-(ニ)-B-1(6) 東京理科大開発の高性能
新規色素の構造例（TUS-38）

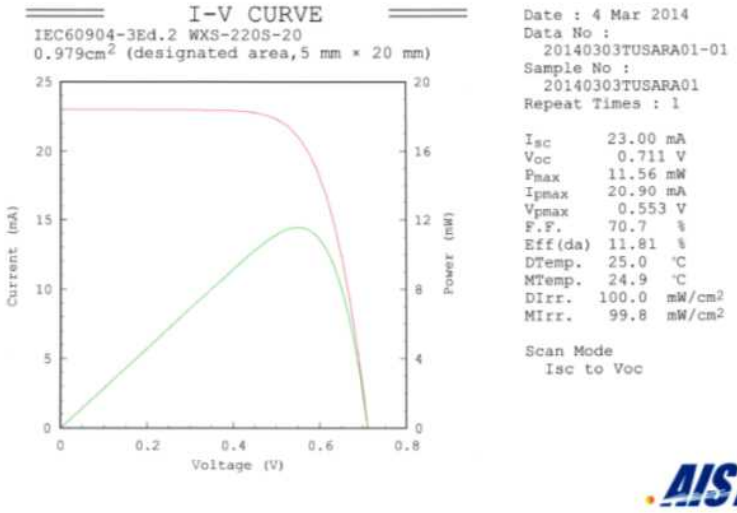


図 Ⅲ-2-(ニ)-B-1(7) 東京理科大製作の1cm²サイズDSCの産総研性能測定結果

モジュール開発の予備段階では 5cm 角サイズのモジュールを用いたが、上記の開発技術を用いたセルでは 25 cm² のアパーチャにおいて η (ap) = 10.6 %、開口率 92 %の発電部あたりでは η (ac) = 11.5 %を得ることができた。そこで太陽電池性能測定の標準機関である産総研での性能測定を行った。この際の性能測定結果を図Ⅲ-2-(ニ)-B-1(8)に、測定に使用したものと同型の 5cm セルの外観を図Ⅲ-2-(ニ)-B-1(9)に示す。

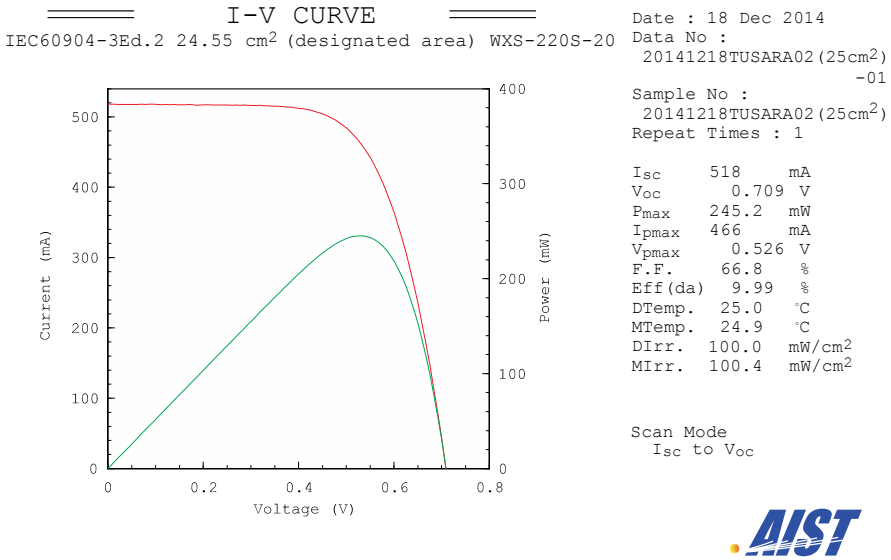


図 Ⅲ-2-(ニ)-B-1(8)
2014 年 12 月に産総研にて測定戴いた 5 cm 角セル(TUSARA02)の性能測定結果

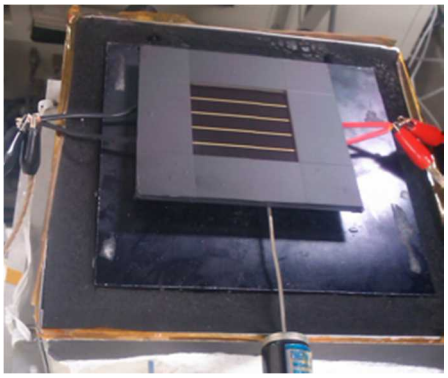


図 Ⅲ-2-(ニ)-B-1(9) 測定用 5 cm 角セルの外観

この結果は、当時の色素増感太陽電池のミニモジュールサイズでの世界最高値 9.9 %(Sony, 17.11 cm^2)をより広い面積で超えた値であったため、世界最高効率の更新として認められ、2015 年 1 月発行の Solar cell efficiency table にフジクラと東京理科大の共同成果として本結果の変換効率 10.0±0.4 %が色素増感太陽電池のミニモジュールにおける新記録として記載された（記載されたのはほぼ同性能の 6 月測定の結果)。その後、プロジェクト終了時点までに社内測定で η (ap) ≒10.39%が最大出力として得られた。

次に同設計による 25 cm 角モジュールを作製した。作製したモジュールの産総研での測定結果を図図 Ⅲ-2-(ニ)-B-1(10)に示す(チタニア膜剥離のため 2 直列減らした 4 直列モジュール、25 cm×17 cm, アパーチャ 425 cm^2、社内測定では η (ap)=8.94%、 η (ac)=9.56%)。

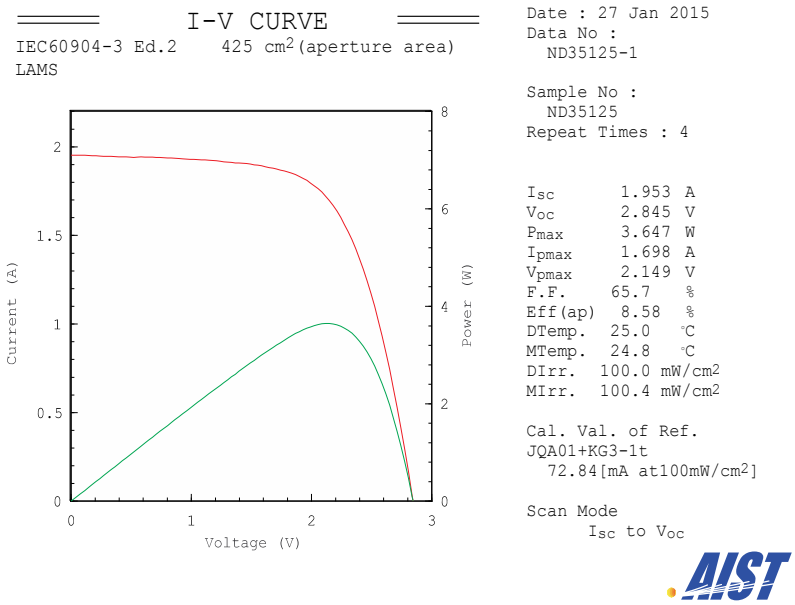


図 Ⅲ-2-(ニ)-B-1(10) 4 直列サブモジュール
(25 cm×17 cm, アパーチャ 425 cm^2)の産総研での性能測定結果

このモジュールは 8.58 %の変換効率であったが、この短絡電流値は 5 cm 角セルと比べてまだ 14 %程低い値である。この差の内 5 %程は開口率による差と考えられるが、それ以外の分はモジュール作製における 5 cm 角セルとの差の部分となるため、さらなる改善の余地が残っていると言える。

b. 色素増感太陽電池モジュールの屋外耐久性実証

前項に記載した 50 cm 角モジュールを使用して、屋外フィールド試験を実施した。アパーチャ変換効率 6 %程度の 50 cm 角 DSC モジュールを屋外南向きの架台に設置すると太陽電池性能測定の標準条件である 1 sun(1000 W/m^2)照射時よりも低照度の条件においてその変換効率が向上する事が、実際の動作条件下でも確認できた。図Ⅲ-2-(ニ)-B-1(11)に本試験において計測された、入射光量と変換効率の相関を示す。この図から判る通り、1.0 sun 入射時の変換効率が 6 %程度である事に対し、0.3 sun 程度の入射光量では変換効率 8 %となり、更に 0.1 sun 付近の領域では 10 %を超える変換効率が算出値として得られている。この 0.1 sun 程度の低光量域での変換効率向上の傾向は、色素増感太陽電池が他の太陽電池よりも有利となり得る特性の 1 つと言える。

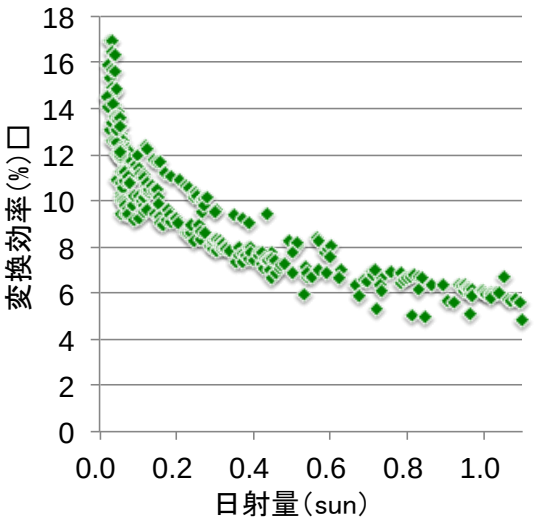


図 Ⅲ-2-(ニ)-B-1(11)　屋外試験時における入射光量とモジュール変換効率の相関

開発した 50 cm 角モジュールの屋外耐久性を評価するため、出力を 1 sun の疑似太陽光照射下で測定後、フジクラの屋外サイトに、2014/2/14 から北面設置した。設置期間中のモジュール温度は 0 ℃から 37 ℃の範囲で変化した。また、この間モジュールは晴天、雨天、降雪等様々な気象環境に曝された。設置期間終了後、再び 1 sun の疑似太陽光照射下で出力を測定した。試験開始時点及び設置から 1 年経過後の IV 測定結果を図Ⅲ-2-(ニ)-B-1(12)に示す。屋外に 1 年設置した結果、試験開始時点よりも短絡電流値が向上したことがわかる。この原因として、電解液の酸化チタン電極内への浸透が考えられる。また、外観に異常は確認できなかった。このように、開発した 50 cm 角モジュールが、屋外の実環境下でも約 1 年間劣化しないことを確認できた。

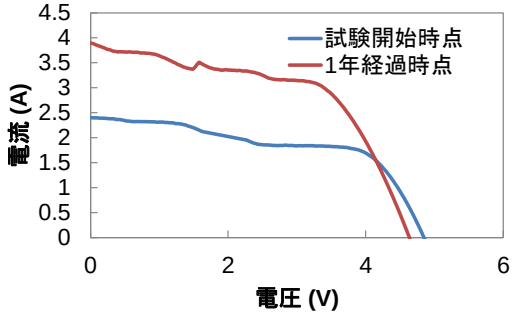


図 Ⅲ-2-(ニ)-B-1(12)　フジクラ屋外北壁面サイトでの試験開始時点と 1 年間設置した後の 50 cm 角モジュールの IV 曲線；測定条件：1 sun 疑似太陽光照射下

また、有機系太陽電池実用化先導技術開発事業の一環として実施した試験においても同様に 1 年間の安定動作を確認することができており、開発した色素増感太陽電池モジュールの屋外耐久性を実証することができたと考えている。

c. 色素増感太陽電池モジュールの低照度高性能化技術開発

屋外サイトの実証評価により、北壁面のような低照度環境下で DSC モジュールが高い発電性能を発揮することがわかったため、この特性をより高めるための技術開発を実施した。

DSC の低照度特性を下げる要因として酸化チタンや FTO 導電膜から電解液への逆電子移動

の影響が大きい。この漏れ電流の低減に向けて、逆電子移動の防止層としてチタニアの緻密膜を形成する検討を実施した。これにはチタニア前駆体溶液をスピンコート法で FTO 導電ガラス表面あるいは酸化チタン多孔質上へ塗布した後、焼成する手法を用いた。緻密膜の無い通常の光電極、FTO 上に緻密膜のある光電極、多孔質の上から緻密膜を成膜した光電極の 3 種を作製し、従来のヨウ素系ではなく、電極からの漏れ電流の影響が強く出るといわれている、コバルト系レドックス電解液での性能評価を 1 sun 光で行った。この測定結果を図Ⅲ-2-(ニ)-B-1(13)に示す。

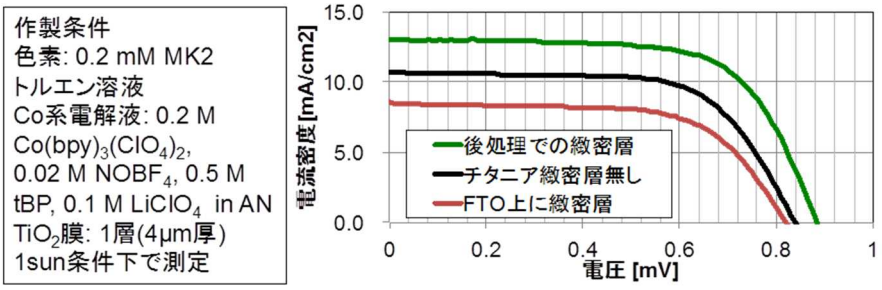
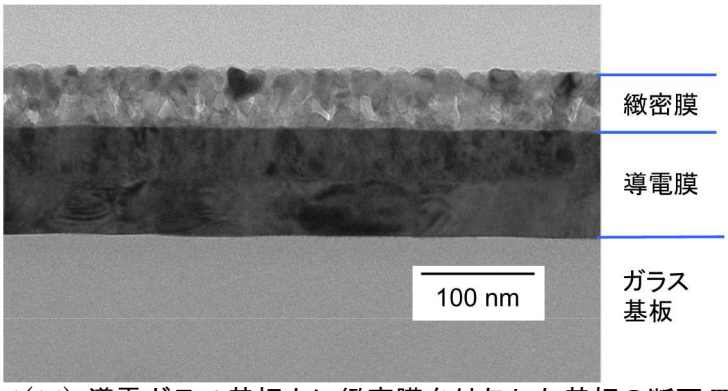


図 Ⅲ-2-(ニ)-B-1(13) 緻密膜作製法を変えて作製したコバルトレドックス使用 5 mm 角セルの作製条件と IV 曲線

通常の光電極の表面に後処理で緻密膜を付与した光電極において最も良好な性能を示した一方、緻密膜を付与しなかった通常の光電極では、短絡電流が上記後処理緻密膜付与のセルと比べ 8 割程度に減少してしまった。また FTO 上に緻密膜を付与した電極では予想に反し、緻密膜無しの光電極よりも更に電流値が減少した。これは発電部の多孔質チタニアと FTO 導電面の間に緻密膜が入る形となり、この緻密層が持つ絶縁性により取り出せる電流が減ったものと考えられる。

この緻密層断面 TEM 観察を行った。その結果を図Ⅲ-2-(ニ)-B-1(14)に示す。

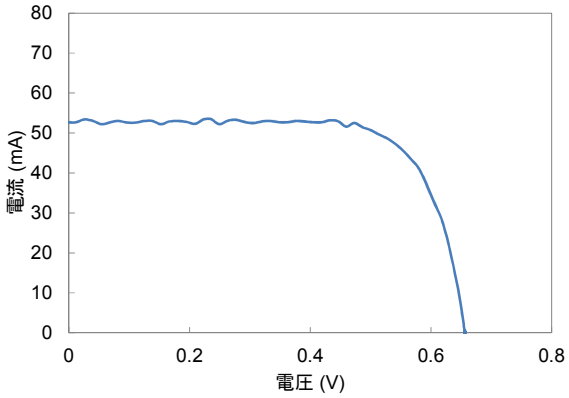


図Ⅲ-2-(ニ)-B-1(14) 導電ガラス基板上に緻密膜を付与した基板の断面 TEM 観察像

TEM 像と電子回折の結果から、チタニア緻密膜は 20 nm 程度のルチル構造のチタニア粒子からなる構造であったが、逆電子を防止したうえ、導電性を損なわないためには数 nm オーダー以下のアナターゼ構造の膜が望ましい。本技術が完成した際に期待される性能向上効果は高いため、低照度でより高性能のモジュールを達成できるよう、引き続き緻密で薄い膜を得るための開発を進めていく。

前項の緻密膜とは別の漏れ電流抑制技術として、漏れ電流抑制を考慮して東京理科大で開発した新規電解液添加剤組成を 5 cm 角セルに応用することにより、低照度環境下の発電性能の向上を目指した。図Ⅲ-2-(ニ)-B-1(15)に、漏れ電流抑制技術を適用した 5 cm 角セルを、日射量 8.5 mW/cm² (約 0.1 sun)の窓際において IV 測定した際の風景を、図Ⅲ-2-(ニ)-B-1(16)にその測定結果を示す。漏れ電流が効果的に抑制されたため、形状因子(FF)が 0.742 と高い値となり、約 0.1 sun の低照度環境下で 12 %を越える変換効率を得ることができた。

図Ⅲ-2-(ニ)-B-1(15)
約 0.1 sun の環境下での測定風景



電流(mA)	電圧(V)	FF	η_{ap}(%)
52.7	0.656	0.742	12.2

図Ⅲ-2-(ニ)-B-1(16)
約 0.1 sun 環境下での IV 測定結果

２．実用化・事業化見通し

2.1 成果の実用化・事業化に向けた戦略

フジクラでは DSC 実用化の入り口としてエネルギーハーベスティング（環境発電）の分野、次のステップとして BIPV など屋外の日射制限のある場所での発電用途への適用を考えている。エネルギーハーベスティング分野は当該分野に係わる市場の規模が急速に成長すると見込まれており、2020 年には 12 兆円の市場規模に至るとの報告がある。このうち、ここに適用される太陽電池モジュールのマーケットは 2500 億円程度と試算されている。当初の環境発電ではμA オーダーの微小消費電力の装置を小型太陽電池などで動作させるパターンが多くなると見込まれるが、本助成事業でフィールド実証を行った集電配線型 DSC モジュールは北面への設置でも 0.1～0.5W 程度の電力供給が可能なため、従来の小型太陽電池や一次電池では十分な電力が得られず、日照の向きや商用電源の用意など、設置場所・設置条件に大きな制約を受けていたが、本事業の技術を利用することで非常に自由度の高い設置が可能になると考えている。このような用途は東日本大震災後に特に要望が高まってきている。この技術は日本国内のみならず、電化の進んでいない地域を含め世界的に展開可能なものであり、周辺システムも含めて関連技術・商品の海外輸出が期待出来る。

主たる設置先には道路、鉄道、河川敷、山間部などが挙げられるが、これらの場所を管理するインフラ事業者に対しては、電力・通信ケーブル等の販売・工事／施工・サービス提供と言った当社の既存営業ネットワークを活用することが可能で、（その他の潜在顧客を含め）展示会などの機会を利用して探索を進めていく。

事業化の障害となる要因には、原材料の安定確保と他社特許回避の問題がある。DSC はこれから急速に立ち上がる製品であるため、現段階で専用材料（酸化チタンナノ粒子や色素など）の供給体制が万全とは言えず懸念がある。また近年 DSC に関する権利範囲の広い特許が複数成立しており、これらについて使用権の取得も必要となる。これら 2 つの課題は一社では対応出来ないが、DSC 事業化を見込む他のメーカーと公的機関の間で強固に連携して交渉を進めていく必要がある。

2.2 成果の実用化・事業化に向けた具体的取り組み

展示会における市場へのアピールや、既存営業ネットワークなどを活用して屋外用途への DSC 顧客の探索を進めている。

具体的な取り組みとしては、潜在顧客に対し DSC の発電能力の理解を深めるため、弊社が別途屋内用途向けに開発し、既に実用化している DSC と、それを電源とした客先評価用小型ワイヤレスセンサーネットワークシステムを活用し、本事業の具体化に向け、貸し出しによる実証テストや実働デモンストレーションといった顧客探索活動を進めている。このような活動が結果的に本事業の実用化に向けた成果にも繋がる見込みである。

2.3 成果の実用化・事業化の見通し

現在までの顧客探索状況から DSC の性能／特性に需要があることははっきりしている。顧客は室内のような極低照度で設置工事、メンテナンスフリーでデバイスを動作させるような典型的なエネルギーハーベスティングだけでなく、屋外のある程度明るい場所で、日射状態や方角を気にせずに太陽電池独立電源が設置ができることにも興味をもつ例が少なからずあるため、このような用途では本委託事業で開発した北壁面設置で最適な性能を発揮する集電配線型 DSC が適すると考えている。ただし、上述の通り事業化の障害となる特許や原材料の課題については早急に解決していく必要がある。

３．波及効果

本研究成果による DSC は、林間やビルの壁面などの日陰を含む、設置環境を問わない屋外用電源として最適なものであり、屋外エネルギーハーベスティングシステムの有力電源である。そのため、立ち上がりつつある広域ワイヤレスセンシング分野の市場拡大に貢献が期待される。このような分野は、例えば NEDO で現在実施中の「社会課題対応システム開発プロジェクト」（ロボット・機械システム部）や、「クリーンデバイス社会実装推進事業」（電子･材料・ナノテクノロジー部）などで技術開発が進められており、その関連成果を実製品に応用する際の駆動電源用途として本成果は大いに利用され、顧客利便性を高めるものと期待される。

４．今後の展開

本研究成果の DSC を実際に想定分野（広域ワイヤレスセンシング分野など）へ適用していくためには、DSC モジュール単独ではなく、蓄電や電圧変換などを含めたシステムとしての安定電源供給を可能とし、そのうえでのさらなるコストダウンが必要となる。動作電圧向上を含めた出力向上を行うことで、構造が簡素でデザイン自由度の高い単セルモジュールによる電源システムを製作できるようになるため、本 PJT の継続研究によりこの実現を狙う。また本研究成果による DSC は屋外の過酷な条件で長期間使用されるため、実環境での長期信頼性試験を引き続き継続し、実寿命（MTTF）解析と、信頼性評価方法の標準化を進める必要がある。このため有機系太陽電池実用化先導技術開発の成果の活用と、自社試験サイト評価を継続して実施していく。ただし１０年を超える長期の信頼性を実際に確認するには当面至らないことから、当初は短期保証の用途で顧客/市場探索を進めて行き、需要の動きに注目しながら適切な時期に生産を開始する。これにより拡大市場での実績を作り、安定顧客の確保による販売量拡大とコストダウンを狙う。

５．特許論文リスト

	H22	H23	H24	H25	H26	終了後	計
特許出願（うち外国出願）	5 (0)	4 (0)	0 (0)	2 (2)	0 (0)	0 (0)	11(2)件
論文（査読付き）	6	4	3	2	8	0	23 件
研究発表・講演（うち国際会議）	9(3)	8(5)	4(1)	7(5)	3(2)	0 (0)	31(16)件
新聞・雑誌等への掲載	3	2	1	0	0	1	7 件
受賞実績	1	2	2	0	0	0	5 件
展示会への出展	2	1	1	1	1	0	6 件

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外国PCT	出願日	状態	名　　称	発明者
1	(株)フジクラ 東京理科大学	特願 2012-019353	国内	2012/1/31	審査請求中	色素増感太陽電池	山口岳志 荒川裕則 他 2 名
2	(株)フジクラ	特願 2012-056502	国内	2012/3/13	取下げ(PCT出願)	太陽電池用バックシート及びバックシート付き太陽電池	土井克浩
	同上	PCT/JP2013/53618	PCT	2013/2/15	公開	同上	同上
3	(株)フジクラ	特願 2012-078709	国内	2012/3/30	未請求取下げ	作用極の製造方法および作用極並びに色素増感太陽電池の製造方法および色素増感太陽電池	松井浩志
4	(株)フジクラ	特願 2012-081443	国内	2012/3/30	取下げ(PCT出願)	色素増感太陽電池	土井克浩
	同上	PCT/JP2013/54429	PCT	2013/2/15	公開	同上	同上
5	(株)フジクラ 東京理科大学	特願 2012-083235	国内	2012/3/30	国内優先取下げ	光増感色素及びこれを有する色素増感太陽電池	山口岳志 荒川裕則 他 2 名
6	(株)フジクラ	特願 2012-146268	国内	2012/6/29	審査請求中	非水溶液の脱水方法及び脱水非水溶液の製造方法	土井克浩
7	(株)フジクラ	特願 2012-146269	国内	2012/6/29	審査請求中	電気化学素子用電解質及びこれを用いた色素増感太陽電池	土井克浩
8	(株)フジクラ 東京理科大学	特願 2012-197767	国内	2012/9/7	審査請求中	光増感色素及びこれを有する色素増感太陽電池	山口岳志 荒川裕則 他 2 名
9	(株)フジクラ	特願 2012-214929	国内	2012/9/27	審査請求中	光電変換素子用電解質及びこれを用いた光電変換素子	松井浩志 他 1 名
10	(株)フジクラ	特願 2012-214930	国内	2012/9/27	審査請求中	光電変換素子用電解質及びこれを用いた光電変換素子	松井浩志 他 1 名
11	(株)フジクラ 東京理科大学	特願 2013-57407	国内	2013/3/19	公開	光増感色素及びこれを有する色素増感太陽電池	山口岳志 荒川裕則 他 1 名

【論文・学会発表】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名	査読	発表年
1	T. Yamaguchi, T. Miyabe, T. Ono, H. Arakawa	東京理科大学	Synthesis of novel β-diketonate bis(bipyridyl) Os(II) dyes for utilization of infrared light in dye-sensitized solar cells	Chem. Commun.	有	2010 年 5 月
2	H. Arakawa, T. Yamaguchi, T. Sutou, Y. Koishi, N. Tobe, D. matsumoto, T. Nagai	東京理科大学	Efficient dye-senstized solar cell sub-modules	Current Applied Physics	有	2010 年 5 月
3	Takahiko Ono, Takeshi Yamaguchi, Hironori Arakawa	東京理科大学	Influence of dye adsorption solvent on the performance of a mesoporous TiO2 dye-sensitized solar cell using infrared organic dye	Journal Solar Energy Engineering	有	2010 年 5 月
4	T. Yamaguchi, N. Tobe, D. Matsumoto, T. Nagai, H. Arakawa	東京理科大学	Highly efficient plastic-substrate dye-sensitized solar cells with validated conversion eficiency of 7.6%	Solar Energy Materials & Solar Cells	有	2010 年 5 月
5	松井浩志	フジクラ	大面積色素増感太陽電池の開発状況	月刊ディスプレイ 8 月号	無	2010 年 8 月
6	小野孝彦、山口岳志、荒川裕則	東京理科大学	有機色素MK-2を用いた色素増感太陽電池-色素吸着溶媒が太陽電池の性能に及ぼす影響-	日本太陽エネルー学会誌	有	2010 年 9 月
7	小野孝彦、山口岳志、荒川裕則	東京理科大学	メソポーラスSnO2光電極を用いた色素増感太陽電池-SnO2光電極の酸化物薄膜による表面修飾効果-	日本太陽エネルー学会誌	有	2010 年 10 月
8	岡田顕一、松井浩志、田辺信夫	フジクラ	色素増感太陽電池の屋外発電特性	フジクラ技報 No.120	無	2011 年 4 月
9	Hironobu Ozawa, Hiroki Kawaguchi, Yu Okuyama and Hironori Arakawa	東京理科大学	Synthesis and Characterization of a Novel Ruthenium Complex Bearing A Curcumin Derivative Ligand and Its Application to Dye-Sensitized Solar Cells	Chem. Lett.	有	2011 年 6 月
10	Hironobu Ozawa, Megumi Awa, Takahiko Ono and Hironori Arakawa	東京理科大学	Effects of Dye Adsorption Solvent on the Performances of the Dye- Sensitized Solar Cells Based on Black Dye	Chem. Asian J.	有	2012年1月
11	岡田顕一、下平幸輝、遠藤克佳、山田直、田辺信夫	フジクラ	環境発電用色素増感太陽電池モジュール	フジクラ技報 No.121	無	2012年2月
12	Hironobu Ozawa, Hiroki Kawaguchi, Yu Okuyama and Hironori Arakawa	東京理科大学	Characterization of Photovoltaic Performance of the Dye-Sensitized Solar Cell with a Novel Ruthenium Complex Having a Bisdimethoxy-curcumin as a Ligand	Ambio	有	2012年3月
13	Hironobu Ozawa, Ryosuke Shimizu and Hironori Arakawa	東京理科大学	Significant Improvement of the Conversion Efficiency of Black-Dye-Based Dye- Sensitized Solar Cells by Cosensitization with Organic Dye	RSC Adv.	有	2012年3月
14	H. Ozawa, Y. Okuyama and H. Arakawa	東京理科大学	Effective Enhancement of the Performance of Black- Dye-Based Dye-Sensitized Solar Cells by Metal-Oxide Surface Modification of TiO_2 Photoelectrode	Dalton Trans.	有	2012年4月
15	松井浩志	フジクラ	色素増感太陽電池	化学と工業 2012年4月号	無	2012年4月

	Hironobu Ozawa, Shohei Oura, Ryosuke Shimizu, Hironori Arakawa	東京理科大学	Synthesis of a Novel Ruthenium Sensitizer Bearing an Ortho-Dicarboxyphenyl Group as an Anchoring Unit for Dye-Sensitized Solar Cells	Chem. Lett	有	2012年11月
16	Hironobu Ozawa, Yu Okuyama, Hironori Arakawa	東京理科大学	Effects of Cation Composition in the Electrolyte on the Efficiency Improvement of Black Dye-Based Dye-Sensitized Solar Cells	RSC Adv	有	2013年1月
17	Hironobu Ozawa, Yasuyuki Yamamoto, Kei Fukushima, Satoshi Yamashita, Hironori Arakawa	東京理科大学	Synthesis and Characterization of a Novel Ruthenium Sensitizer with a Hexylthiophene-Functionalized Terpyridine Ligand for Dye-Sensitized Solar Cells	Chem. Lett	有	2013年8月
18	Hironobu Ozawa, Hiroki Kawaguchi, Yu Okuyama, Hironori Arakawa	東京理科大学	Ruthenium Sensitizers with 2,2'-Bipyrimidine or a 5,5'-Disubstituted 2,2'-Bipyrimidine Ligand : Synthesis, Photo- and Electrochemical Properties, and Application to Dye-Sensitized Solar Cells	Eur. J. Inorg. Chem	有	2013年10月
19	Hironobu Ozawa, Yu Okuyama, Hironori Arakawa	東京理科大学	Dependence of the Efficiency Improvement of Black-Dye-Based Dye-Sensitized Solar Cells on Alkyl Chain Length of Quaternary Ammonium Cations in Electrolyte Solutions	ChemPhysChem	有	2014年4月
20	Naoyuki Shibayama, Hironobu Ozawa, Masahiro Abe, Yousuke Ooyama, Hironori Arakawa	東京理科大学	A New Cosensitization Method Using the Lewis Acid Sites of a TiO2 Photoelectrode for Dye-Sensitized Solar Cells	Chem. Commun.	有	2014年6月
21	Hironobu Ozawa, Takahito Sugiura, Ryosuke Shimizu, Hironori Arakawa	東京理科大学	Novel Ruthenium Sensitizers Having Different Numbers of Carboxyl Groups for Dye-Sensitized Solar Cells: Effects of the Adsorption Manner at the TiO2 Surface on the Solar Cell Performance	Inorg. Chem.	有	2014 年 9 月
22	Hironobu Ozawa, Takahiro Kuroda, Shohei Harada, Hironori Arakawa	東京理科大学	Efficient Ruthenium Sensitizer with a Terpyridine Ligand Having a Hexylthiophene Unit for Dye-Sensitized Solar Cells: Effects of the Substituent Position on the Solar Cell Performance	Eur. J. Inorg. Chem.	有	2014年10月
23	Hironobu Ozawa, Shunsuke Honda, Daichi Katano, Takahito Sugiura, Hironori Arakawa	東京理科大学	Novel Ruthenium Sensitizers with a Dianionic Tridentate Ligand for Dye-Sensitized Solar Cells: the Relationship Between the Solar Cell Performances and the Electron-Withdrawing Ability of Substituents on the Ligand	Dalton Trans.	有	2014年11月
24	Hironobu Ozawa, Kei Fukushima, Takahito Sugiura, Ayako	東京理科大学	Ruthenium Sensitizers Having an Ortho-Dicarboxyl Group as an	Dalton Trans.	有	2014年11月

	Urayama, Hironori Arakawa		Anchoring Unit for Dye-Sensitized Solar Cells: Synthesis, Photo- and Electrochemical Properties, and Adsorption Behavior to the TiO2 Surface			
25	Hironobu Ozawa, Yuki Tawaraya, Hironori Arakawa	東京理科大学	Effects of the Alkyl Chain Length of Imidazolium Iodide in the Electrolyte Solution on the Performance of Black-Dye-Based Dye-Sensitized Solar Cells	Electrochim. Acta	有	2015年1月
26	Hironobu Ozawa, Yasuyuki Yamamoto, Hiroki Kawaguchi, Ryosuke Shimizu, Hironori Arakawa	東京理科大学	Ruthenium Sensitizers with a Hexylthiophene-Modified Terpyridine Ligand for Dye-Sensitized Solar Cells: Synthesis, Photo- and Electrochemical Properties, and Adsorption Behavior to the TiO2 Surface	ACS Appl. Mater. Interfaces	有	2015年2月
27	松井浩志	フジクラ	大面積色素増感太陽電池の開発状況	高分子学会主催 第29回無機高分子シンポジウム	-	2010年6月
28	Hironori Arakawa, et al.	東京理科大学	Efficient DSC Sub-Modules and Their Long-Term Stability	IPS-18	-	2010年7月
29	Hironori Arakawa, et al.	東京理科大学	Preparation and characterization studies on efficient dye-sensitized solar cells	The 2nd Summer School of Dye-sensitized Solar Cells	-	2010年7月
30	荒川裕則、小石祐太朗、山口岳志	フジクラ	N719色素を用いた色素増感太陽電池の耐久性向上に関する研究	2010年電気化学秋季大会	-	2010年9月
31	松井浩志、岡田顕一、山口岳志、田辺信夫、荒川裕則	フジクラ	屋外耐久性色素増感太陽電池の開発	第59回高分子討論会	-	2010年9月
32	Hironori Arakawa, et al.	東京理科大学	Development of highly efficient dye-sensitized solar cell sub-modules	NANO 2010	-	2010年9月
33	Nobuo Tanabe	フジクラ	Recent Progress in DSC Module Development at Fujikura Ltd.	DSC-IC 2010	-	2010年11月
34	Hironori Arakawa, et al.	東京理科大学	Fabrication of Efficient Dye-Sensitized Solar Cell Sub-Modules	POEM2010	-	2010年11月
35	Takeshi Yamaguchi, Daisuke Matsumoto, Hiroshi Matsui, Nobuo Tanabe, Hironori Arakawa	フジクラ	Highly Efficient 20 cm-by-20 cm Dye-Sensitized Solar Cell Sub-Module and Their Durability Tests	ISEPD2011	-	2011年1月
36	Hironori Arakawa, et al.	東京理科大学	Toward development of efficient and stable dye-sensitized solar cell modules	JSPS-RSAS Joint Conference "Capturing the sun"	-	2011年5月
37	山口岳志、松井浩志、田辺信夫、荒川裕則	フジクラ	高効率・高耐久性色素増感太陽電池モジュールの開発状況	第8回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム	-	2011年6月
38	Kenichi Okada, Kouki Shimomura, Nobuo Tanabe	フジクラ	Dye-sensitized solar cell for energy havesting devices	14th Asian Chemical Congress 2011	-	2011年9月
39	Hironori Arakawa, et al.	東京理科大学	Efficiency Improvement of Black-Dye-Sensitized Solar Cells Using Ionic Liquid Electrolyte	The 6th Aceanian Conference on Dye-sensitized and Organic Solar Cells	-	2011年10月
40	Hironobu Ozawa, Hironori Arakawa, et al.	東京理科大学	Synthesis of a Novel Ruthenium Complex Having Bisdemethoxycurcumin as a ligand and Its Application to	The 6th Aceanian Conference on Dye-sensitized and Organic Solar	-	2011年10月

			Dye-sensitized Solar Cells	Cells		
	Hironori Arakawa, et al.	東京理科大学	Improvement of Solar Cell efficiency Over 11.0% by Optimized-Confining Effect of TiO2 Photoelectrode in a Black-Dye-Sensitized Solar Cell	PVSEC-21	-	2011年11月
41	田辺 信夫	フジクラ	色素増感太陽電池の調書とそれを活かした応用	PV Japan セミナー	-	2011年12月
42	遠藤克佳、岡田顕一、松井浩志、田辺信夫	フジクラ	屋内向け高効率色素増感太陽電池の開発	日本化学会第92春季年会	-	2012年3月
43	山口岳志	フジクラ	大面積色素増感太陽電池の開発状況	エレクトロニクス実装学会　マイクロ・ナノファブリケーション研究会　第17回公開研究会	-	2012年9月
44	Hironobu Ozawa, Hironori Arakawa, et al.	東京理科大学	Ruthenium Complexes Having Ortho- Dicarboxyphenyl Group as an Anchoring Unit for Dye-Sensitized Solar Cells	The 7th Aceanian Conference on Dye-sensitized and Organic Solar Cells	-	2012年10月
45	松井浩志	フジクラ	フジクラにおける色素増感太陽電池の開発状況と環境発電への応用	東京理科大 総合研究機構 太陽光発電研究部門 第3回シンポジウム	-	2013年1月
46	松井浩志	フジクラ	色素増感太陽電池の特徴および環境発電への応用	PV EXPO 2013 専門技術セミナー PV-8	-	2013年2月
47	Hironori Arakawa, et al.	東京理科大学	Optimization of Electrolyte Compositions for Efficiency Improvement up to 12% in Black-dye- based Dye-sensitized Solar Cells	EUPVSEC 2013	-	2013年9月
48	Takahito Sugiura, Hironori Arakawa, et al.	東京理科大学	Effects of Introduction of the Other Carboxyl Groups to Terpyridine Ligand Having Ortho-Dicarboxyphenyl Unit of Ruthenium Sensitizer on the Performance of Dye-Sensitized Solar Cell	EUPVSEC 2013	-	2013年9月
49	Hironori Arakawa, et al.	東京理科大学	Efficiency Improvement of the Black-dye-based Solar Cells	The 8th Aceanian Conference on Dye-sensitized and Organic Solar Cells	-	2013年11月
50	Hironobu Ozawa, Hironori Arakawa, et al.	東京理科大学	Ruthenium Sensitizers Having an O-Dicarboxyl Unit for Dye-Sensitized Solar Cells	The 8th Aceanian Conference on Dye-sensitized and Organic Solar Cells	-	2013年11月
51	山口岳志	フジクラ	高耐久性5 cm角色素増感太陽電池の開発	日本化学会第94春季大会	-	2014年3月
52	勝亦 健治	フジクラ	6-(2-キノリニル)-2,2'-ビピリジン配位子を持つ近赤外吸収Ru錯体色素の合成とそれを用いた色素増感太陽電池	電気化学会第81回大会	-	2014年3月
53	H. Matsui	フジクラ	Development of DSC Module for Energy Harvesting Applications in Fujikura	International Conference on Dye-sensitized Solar Cell (NIMS Conference)	-	2014年3月
54	Hironori Arakawa, et al.	東京理科大学	Highly efficient black-dye-based dye-sensitized solar cells - Effects of dye solvent and electrolyte	GRE2014	-	2014年7月

			components			
	Hironori Arakawa, et al.	東京理科大学	Optimization of Electrolyte Solution for Highly Efficient Black-Dye-Based Dye-Sensitized Solar Cells	WCPEC-6	-	2014年11月
55	松井浩志	フジクラ	低照度向け色素増感太陽電池の開発	有機太陽電池研究コンソーシアム 第12回 定例研究会	-	2015年3月

【受賞】

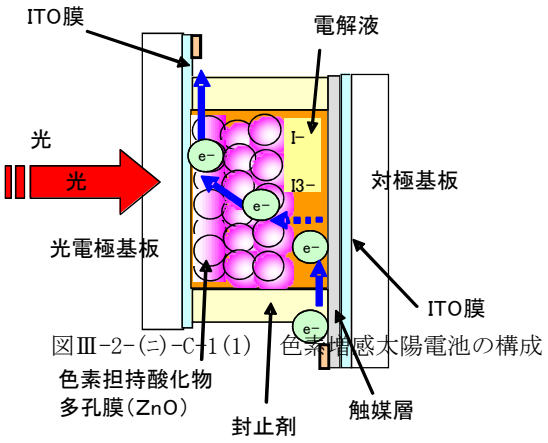
・PVSEC-21 2011 年 12 月　Best Paper Award（東京理科大学）
・PVSEC-21 2011 年 12 月　Student Paper Award（東京理科大学）　など

C　プラスチック基板型色素増感太陽電池の研究開発

1. 成果詳細

本テーマではフィルム基板を用いた色素増感太陽電池の実用化を目的に開発を進めた。本テーマは平成 25 年度末で終了となったため、終了時点までの成果について以下に示す。

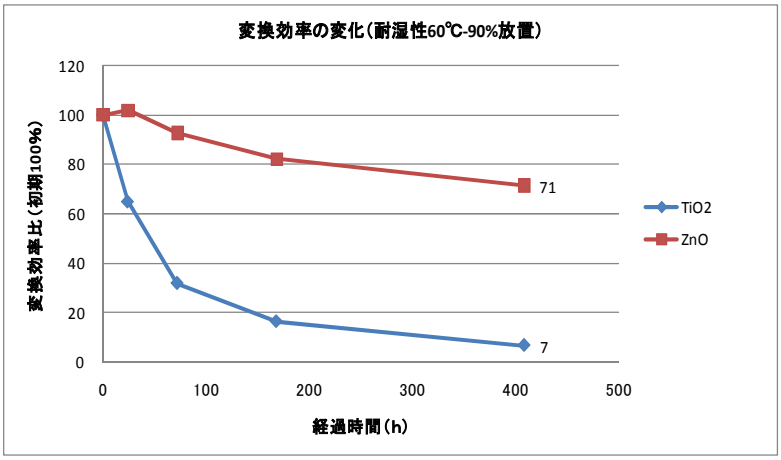
フィルム型色素増感太陽電池を開発する上で、ガラス基板型と最も異なる点は高温焼成できない点である。そのため、光電極の酸化半導体多孔膜は低温成膜で特性を出せるものでなければならない。また、フィルムはたわみやすく、そのままではガラス基板に比べてバリア性に劣るため、耐久性確保についても難易度が高いのが現実である。しかし、これら大きな技術的なハードルをクリアすることで、他には真似の出来ない価値ある取り組みとなり、シリコン太陽電池との差異化が実現できると考えられる。目標達成と実用化のため、山形大学では色素開発や低温製膜技術開発を担当し、桐蔭横浜大学では電解液・対極等の高性能部材開発およびモジュール構成技術の開発を担当し、それらフィルム基板型に特化した開発技術を結集して、グンゼが実用型基板フィルムおよびモジュール製造技術の開発を進めた。



図Ⅲ-2-(ニ)-C-1(1)　色素増感太陽電池の構成

開発初期において、半導体層としては酸化亜鉛膜と酸化チタン膜の耐環境性を検討した。イオン液体型電解液を用いた系で実用性を判断するべく、特にバリア機能を付与せずに太陽電池セルを高温高湿環境（60℃-90%）に放置し、特性の変化を観察した。その結果、現在使用しているフィルム型ＤＳＣにおいては耐久性の点で酸化亜鉛膜のほうが優位であることがわかった。これは、酸化亜鉛膜は酸化チタン膜と比べて、科学的に不安定な面もあるが、逆に 100℃以下の低温でも反応性が高いことが低温成膜での膜質や膜密着性の向上につながったためと考えられる。

しかしながら、バリア性や密着を向上させた場合、効率向上の観点からは酸化チタンが優位となる可能性も示唆されていた。そこで中間評価までは酸化亜鉛と酸化チタンの両方を並行して進めることとした。



図Ⅲ-2-(ニ)-C-1(2)　酸化亜鉛膜と酸化チタン膜の耐久性評価

(1) 高効率化技術の開発

(a) 温水処理効果（山形大学）

酸化亜鉛ナノ微粒子のスクリーン印刷による高速成膜とこれを温水に浸し、酸化亜鉛の溶解再析出反応を利用して非加熱でネッキング促進する手法を開発した。 温水処理によって、導電パスが形成されると同時に膜の基板への密着性が向上するためであり、高温で熱処理した場合と同等の性能が得られている。さらに温水処理に用いる温水に酸化マグネシウムを飽和しておくことで、酸化亜鉛表面が改質され、再結合が抑制されて電圧を向上できることを見出した。

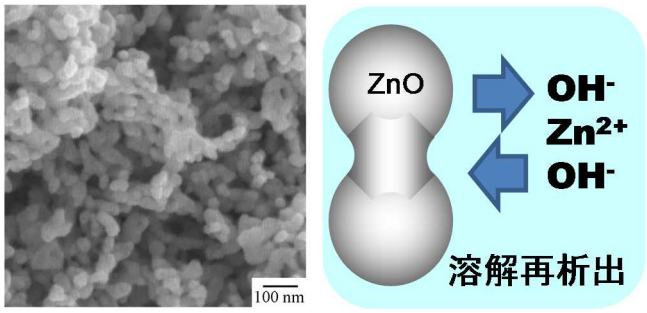


図 Ⅲ-2-(ニ)-C-1(3)酸化亜鉛ナノ粒子のＳＥＭ写真

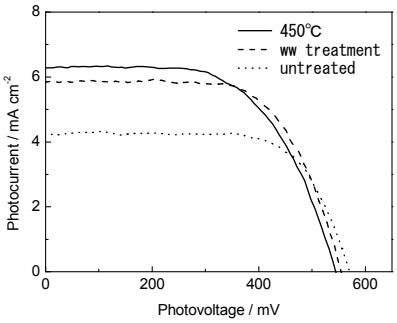


図 Ⅲ-2-(ニ)-C-1(4)温水処理による Jsc の向上

(b)色素の積層吸着技術の開発（グンゼ）

本研究開発では基板として、耐熱性・バリア性の観点から PEN（ポリエレンナフタレート）フィルムを用い、これに透明導電膜として ITO 膜（シート抵抗 20Ω/□）を付与したものを標準的に使用した。また、酸化亜鉛膜はスクリーン印刷で成膜し、酸化亜鉛微粒子の選定による膜質の改善と電解液中のヨウ素濃度の最適化により、セル特性の向上を進めた。酸化亜鉛型ではルテニウム色素が適さず有機色素に限定されるため、色素吸収波長領域が狭く特性低下の原因になっていた。そこで、2 種の有機色素の活用を検討したが、単に混合するだけでは吸収波長領域が拡大しないばかりか逆に IPCE の低下につながってしまう。そのために互いに色素の特徴を損なわない組合せが必要であり、色素の開発とその色素の吸着状態を制御する必要があった。多くの組合せを検討した結果シアニン系新規色素とダブルアンカー型インドリン色素を用いて吸着状態を制御することにより、酸化亜鉛光電極に固有の強色増感効果を示し、吸収波長範囲の拡大によって、大幅にセル性能を向上することができた。

さらに、酸化亜鉛膜の構造について検討を進めた結果、従来の 30nm 径の微粒子だけでなく、450nm 径の酸化亜鉛粒子を重量比 50%加えることで、電流値が上昇することを見出し、セル効率 5.8%を達成した。

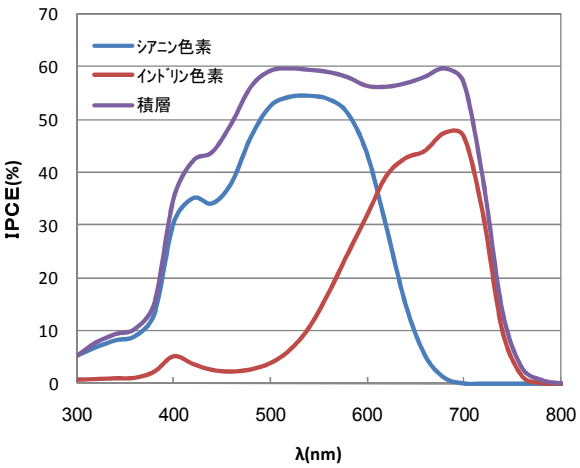
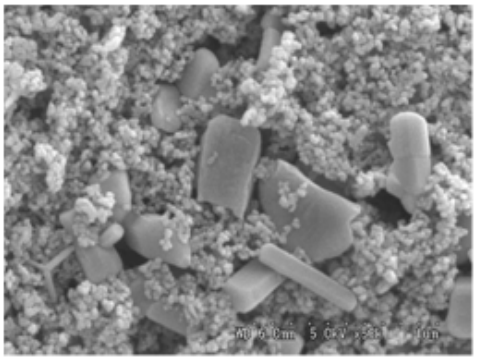


図 Ⅲ-2-(ニ)-C-1(5) 強色増感効果を示すアクションスペクトル



φ450nm 粒子を添加した酸化亜鉛膜の SEM 写真（×50,000）

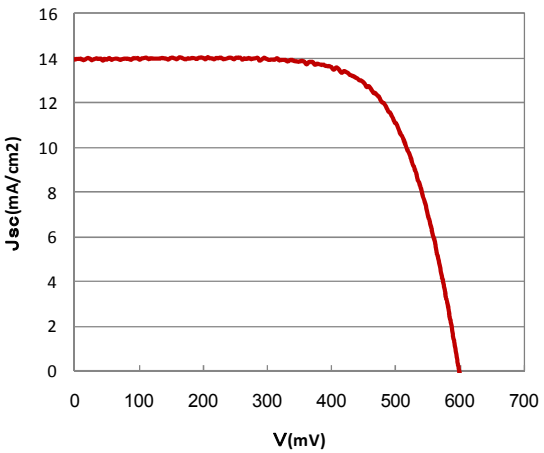
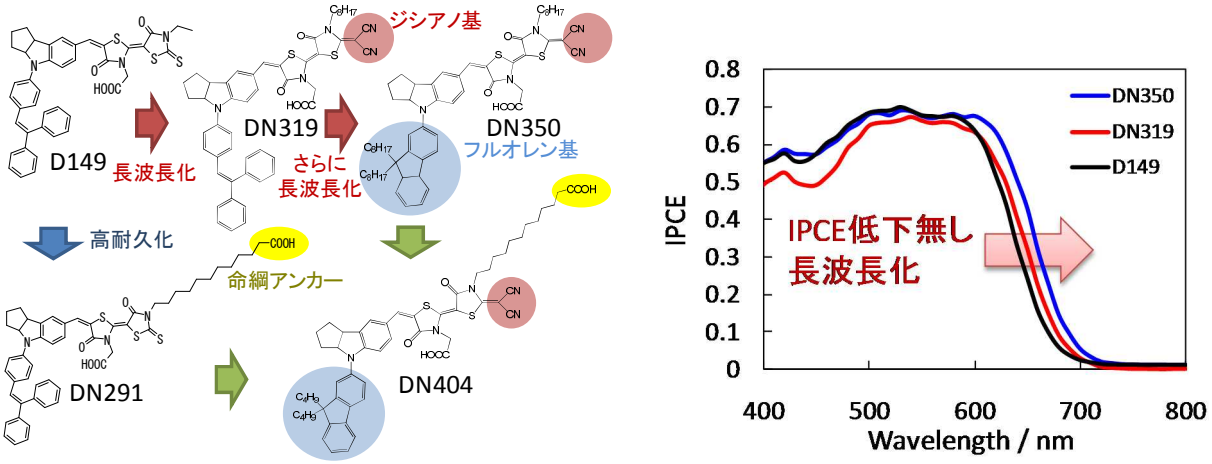


図 Ⅲ-2-(ニ)-C-1(6) 強色増感効果を用いたフィルムセルのＩＶカーブ

(C)高性能色素の開発（山形大学）

従来より HOMO-LUMO ギャップの縮小による長波長化は様々試みられてきたが、電荷分離効率が低下して IPCE が低下する例が多く見られていた。本検討により、電子アクセプタとなるダブルロダニン部位に電子吸引性のジシアノ基を導入することで、長波長化と同時に HOMO 準位のポジティブシフトを実現、D149 と同等の IPCE を保ったまま長波長化することに成功した。さらにインドリン N 上にフルオレンを導入することでさらなる長波長化を実現した。この結果、変換効率は D149 の 4.6%に対して、3 割アップの 5.8%にまで向上した。

さらに、D149 は電解液中に脱離しやすく、実用的な耐久性が得られない問題があった。ダブルアンカー化は耐久性の向上に有効であるが、どこにサブアンカーを導入するかが課題となっていた。検討の結果、アクセプタ部位に、π 電子系に影響を及ぼさないように長鎖のメチレンを介して導入すると、IPCE 低下を生じることなく耐久性が大幅に向上することが分かった 。さらに向上の余地はあるものの、高効率化と高耐久化を同時に達成し、より実用的な色素とするための設計方針を明らかにすることが出来た 。



図Ⅲ-2-(ニ)-C-1(7)　酸化亜鉛フィルム型セルのＩＶ特性とアクションスペクトル

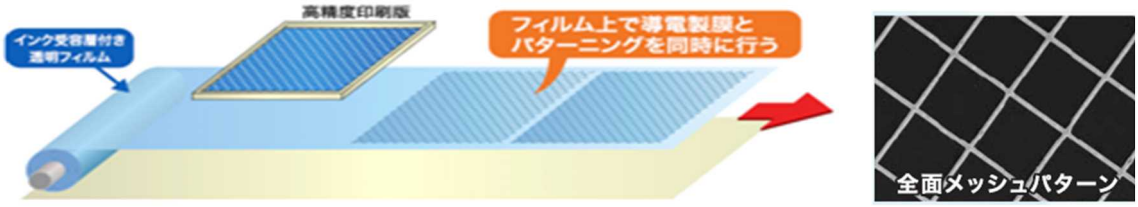
(d)フィルム基板上色素増感太陽電池セルの高効率化（桐蔭横浜大学）

TiO_2 ナノ粒子分散バインダーフリーペースト塗布液に用いて ITO(酸化インジウムスズ)-PEN(ポリエチレンナフタレート)透明導電プラスチックフィルム基板に TiO_2 ナノ多孔膜を低温製膜によって 10μm 以下の厚みで被覆して作製したフィルム電極基板を、Ru 錯体色素ならびにインドレニン系色素によって増感してフィルム光電極を作製した。ここで、ITO 導電膜表面を、真空スパッタ法によって厚さ 10nm 程度の TiO_2 の緻密層で被覆し、再結合をブロッキングするバッファー層を形成した。高沸点溶媒を用いるヨウ素イオン系酸化還元電解系をメディエイターに用い、対極には、白金コロイドを溶液塗布で低温製膜した透明導電フィルムを用いて、フレキシブルフィルム型色素増感太陽電池を作製した。バッファー層の設置によって光電変換特性は光電流密度と開回路電圧（V_{oc}）において向上し、バッファー層の厚みと組成（Ti の酸化度合）を最適化することで、吸光係数の高いインドレン色素で増感した厚みが 3.5μm の TiO_2 膜では 5%以上の変換効率が得られ、Ru 錯体色素（N719）で増感した厚みが 7μm 以上の TiO_2 膜では 6%以上の変換効率が得られた。さらに効率を高めるために、TiO_2 膜の基板上の密着強度の改良、吸光係数の高い Ru 錯体系増感色素の選択、そして、ITO-PEN フィルムの光透過率を高める工夫などを行った結果、最終的に変換効率は 6.65%まで向上した（V_{oc} 0.75V）。

(2)モジュール製造技術の開発

(a)メタルメッシュ基板の活用（グンゼ）

フィルム基板型セルとモジュールについて、主にスクリーン印刷と真空貼り合せによる組立試作ラインを構築し、セルとモジュールの安定な製造条件を確立した。これにより、材料や工程の評価スピードを向上させ、前記の特性改善につなげることができた。将来的には、更なる高生産性と低価格化に向けた製造技術開発を目指しており、それに適する各種の塗布成膜方法の検討も行っている。さらに、自社製の大面積微細印刷金属メッシュ電極フィルムの適応も透明電極代替として検討している。

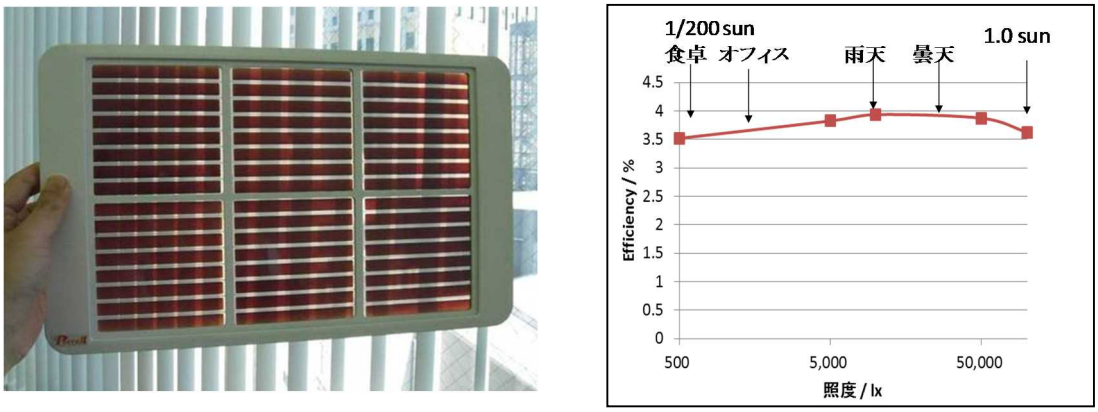


図Ⅲ-2-(ニ)-C-1(8)　メタルメッシュ基板の製造例とメッシュパターン

(b)ＰＥＤＯＴ対極を用いた両面発電型モジュール試作（桐蔭横浜大学）

フィルム型色素増感太陽電池の特徴を最大限に活かしたモジュール構成の検討および試作を実施した。塗布型のＰＥＤＯＴ/白金複合対極を用いて、６セル直列の両面発電型フィルム太陽電池（サイズ 140×55㎜、厚さ 0.5㎜、重量 10g）のモジュールの試作を行い、最大出力は 0.22W（Voc≧4Ｖ）、変換効率は 3.5%以上であった。

また、このモジュールの特徴として、1sun から低光量 1/200sun（500lux 相当）までの範囲で、変換効率 3.5%、Voc3.5V 以上を維持し、フィルム型色素増感太陽電池が光量変動に対して安定な出力を持ち、実用性に優れていることを証明した。



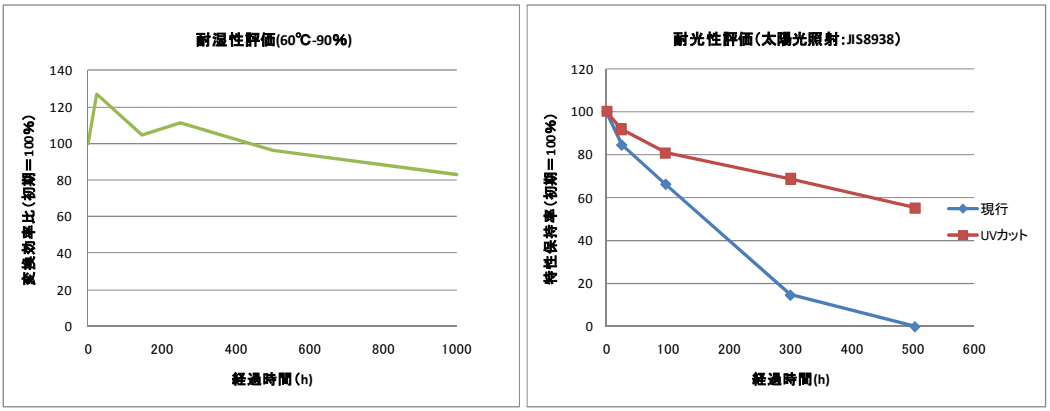
図Ⅲ-2-(ニ)-C-1(9)　両面発電型モジュールと光量変動と出力の関係

(3)耐久性向上技術の開発（グンゼ）

耐久性向上の取り組みについては、水や酸素のセル内への浸入を抑える方法と、それらがセル内に侵入しても微量であれば性能劣化につながらない方法がある。これらを実現するために、フィルム基板の検討と非ヨウ素系電解液の開発を行った。

まず、耐高温高湿性について、単セルでは 60℃90％ＲＨ条件の 1000 時間をクリアすることができた。しかし、85℃85％ＲＨ条件では劣化が大きく、現在のところ、目標未達である。モジュールではさらに劣化しやすくなる傾向であるが、ガスバリアフィルムのラミネートにより耐湿熱性も向上できることを確認した。また、耐光性については、ＵＶカットフィルム

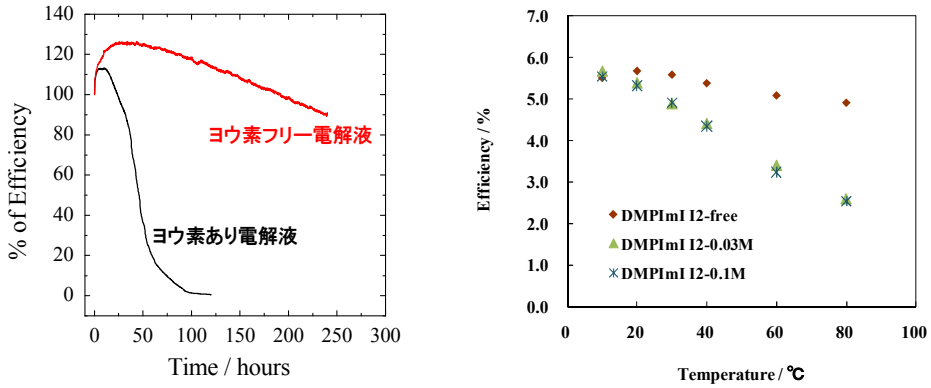
の装着や表面ＵＶカットコートにより、耐光試験での効率半減劣化時間を 100 時間から 500 時間に向上させることができた。いずれに関しても、耐久性向上の手法は見出しており、今後の取り組みにより JIS 規格Ｃ8938 の達成は可能であると考えている。



図Ⅲ-2-(ニ)-C-1(10)　耐久性能評価結果（60℃-90%、耐光性）

(b) ヨウ素フリー電解液の開発（桐蔭横浜大学）

また、耐久性向上の取り組みとして、ＩＴＯフィルム電極と組み合わせる電解液として、電極基板への腐食劣化の害の小さいヨウ素フリー型の電解液を開発した。従来のヨウ素系電解液に比べて耐久性が飛躍的に向上するだけでなく、0～80℃までの動作環境温度に対する影響も受けにくいことを確認しており、実用性という点でも非常に優れた電解液と言える。また、ヨウ素に対して腐食しやすい銀メッシュフィルム基板が使用できる可能性もあり、低コスト化が期待できる。



図Ⅲ-2-(ニ)-C-1(11)　ヨウ素フリー電解液の耐久性に及ぼす効果

(4) 実証試験の実施（グンゼ）

本研究では、フィルム型色素増感太陽電池の特徴である“薄い、軽量、フレキシブル、デザイン性“を活かしてシリコン太陽電池とは異なる新規用途開拓を目指している。特に、住宅用途に向けては、再委託先である積水化学工業にて実験住宅での半屋外的な場所にモジュールを設置し実証試験を行った。想定する DSC のメリットを把握するため、住宅の窓に DSC を設置し、a-Si 太陽電池との違いについて評価を行った。実証評価にあたり、住宅の窓(屋内）に設置することを想定した信頼性試験として温度サイクル（-10℃⇔60℃）試験を実施し、フィルムモジュールは若干の低下は見られるが、試験可能レベルと判断し、実証試験を開始した。

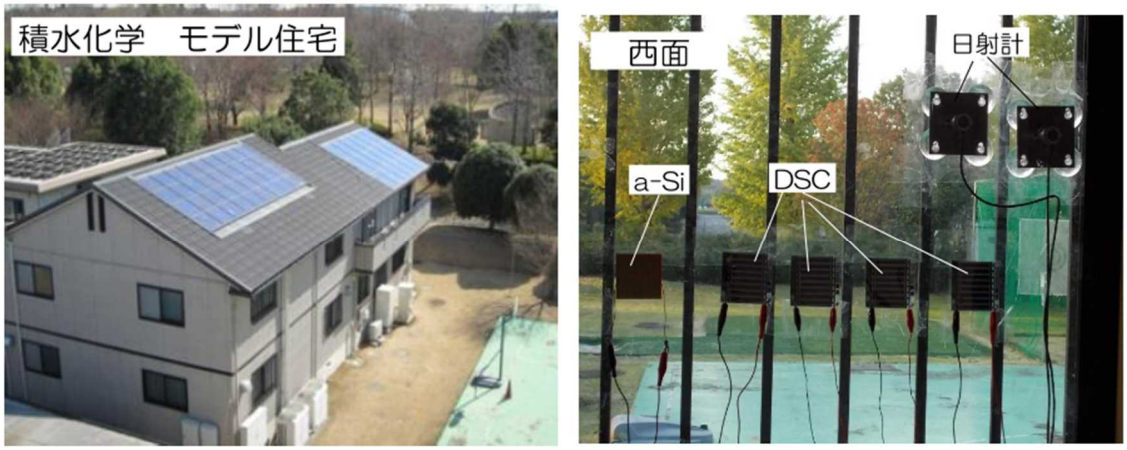


図 Ⅲ-2-(ニ)-C-1(12)　モデル住宅での実証試験の様子

実証試験では DSC と a-Si 太陽電池について、照度の異なる条件（南面・西面、晴天時・曇天時・雨天時）で一日の出力変化測定を行った。これまで、低照度条件における出力に関して DSC の優位性は確認できていたが、日射の少ない条件だけでなく、晴天時においても DSC は、a-Si と同等以上の性能が発現することがわかった。このようにフィルム基板を用いた DSC でこのような結果が得られたということは実用化に向けて非常に有意義なことである。

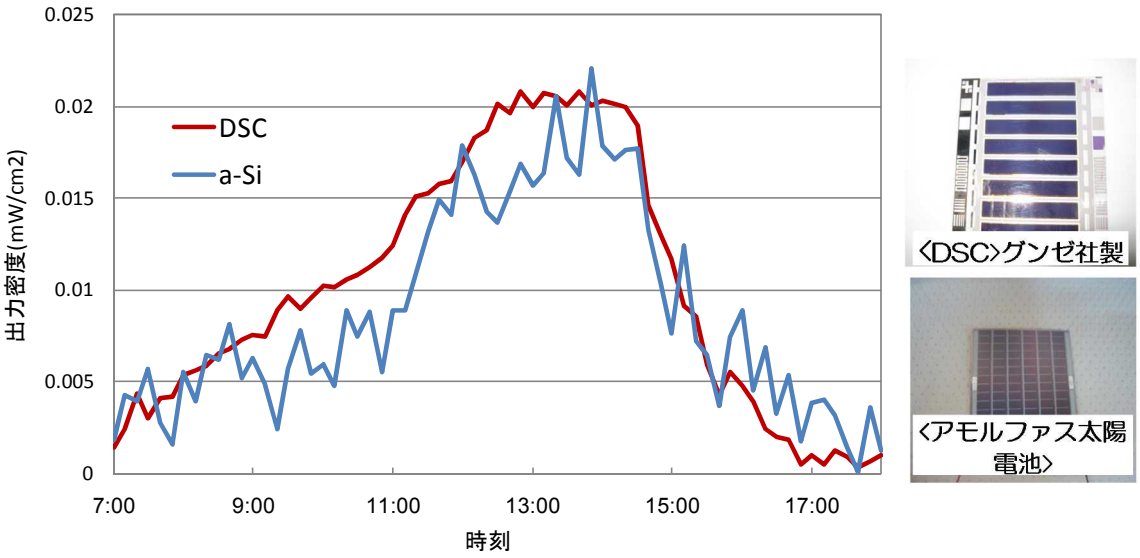


図 Ⅲ-2-(ニ)-C-1(13) 実証試験の結果（晴天時）と使用したモジュール

（５）超薄板ガラスを用いた軽量フレキシブル DSC の試作（グンゼ）

上記の検討により、着実に変換効率は向上し、様々な点で技術的な進歩は見られたが、フィルム上で目標効率 10%には達しなかった。目標達成には 18mA／cm² 以上の短絡電流密度（Jsc）が必要であると考えられ、低温焼成条件での達成は難しいことが予想された。そこで、これまでの知見を活かして厚さ 100μm のフレキシブルな超薄型ガラスを用いた光電極基板上に色素増感太陽電池セルを作製したところ、変換効率 8.1%を得た。ハンドリングや安全性等の課題はあるが、軽量・薄型・フレキシブル性能を有した DSC の一つの方向性であると考える。今後、反射防止膜付きフィルムの組合せや他の条件の最適化により、効率 10%の達成も可能ではないかと考えられる。

表 Ⅲ-2-(ニ)-C-1(4) 超薄板ガラス基板を用いたセル

試験区	Jsc (mA / cm^2)	Voc (mV)	F.F	η (%)
超薄板ガラス（100μm厚）	15.86	701	0.727	8.08

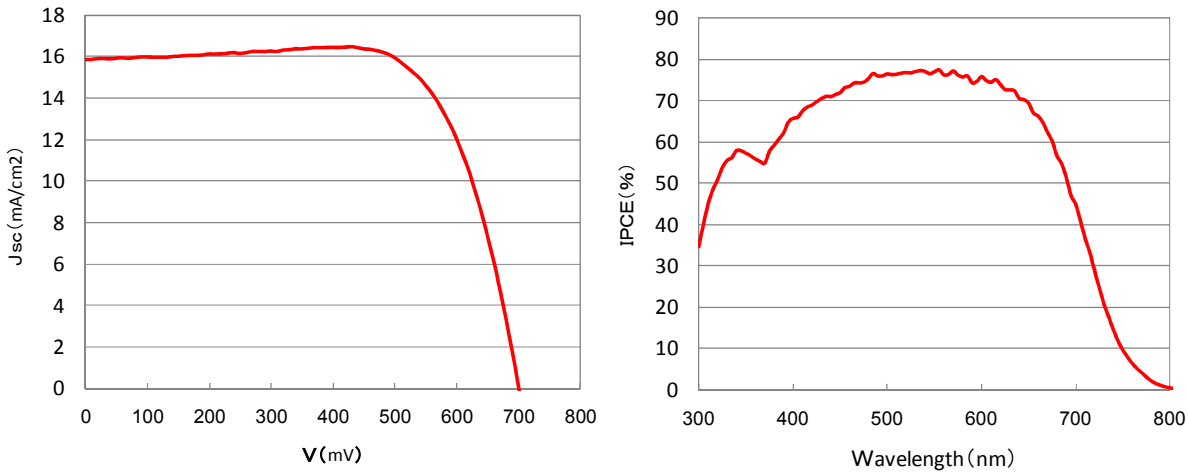


図 Ⅲ-2-(ニ)-C-1(14) 超薄板ガラスを用いたセルの IV カーブとアクションスペクトル

２．実用化・事業化見通し

(1)実用化の可能性

(a)有機太陽電池の産業化に向けた基本的な考え方

色素増感太陽電池を含めたすべての有機系太陽電池は、結晶シリコン等の無機接合太陽電池との比較において基本的な耐久性に劣ることは、材料上避けられない（JIS 耐光堅牢試験（ブルースケール）最高級フタロシアニンをもっても無機材料に及ばない)。したがって、有機系太陽電池の開発は、シリコンを置き換える可能性に向けるのではなく、シリコンとの共存において、シリコンにとって困難な産業化の分野で、電源として実用化することを目指すことがもっとも社会貢献が大きく、市場の波及効果も大きいと考える。

(b)色素増感太陽電池の独自性能を伸ばした産業化

色素増感太陽電池は、固体太陽電池との比較で、明らかな優位点がある。第一に、電気化学反応に支えられた安定な電圧（低光量下で変動しない出力電圧)、第二に、両面発電を可能にする構造である。第三には、真空・焼成を使わない印刷・塗布工程によって、軽量で変形可能なモジュールを安価に供給できることである。複数の実証試験によって、光量の３桁低い条件でも、充電に必要な電圧を出力できること、また、両面発電によって、ユーザーが効率から予想する以上の電力を取得できることがわかっている。

(C) 色素増感太陽電池の使用を求めるユーザーの現状

グンゼコンソーシアムのメンバー企業・大学に、試験的に使用を求めるユーザーは、多くが太陽電池を電源として搭載する機器のメーカーであり、その数は昨年の地震災害後、急増している。ユーザーはニーズにおいてシリコン、薄膜太陽電池等が使用できないことを予め調査済みで、軽量フレキシブル、そして回路に依存せず低光量でも動作する安定な出力を求めている。

３．波及効果

(1)研究開発成果が及ぼす波及効果

低価格で軽量のフィルム型色素増感太陽電池モジュールが製品化できれば、設置場所を選ばず利便性の高い太陽電池として、太陽電池の普及を一挙に促進することができる。また、フィルム型色素増感太陽電池は、設置場所や建物強度の問題でシリコン太陽電池の設置が現状困難な場所への設置が可能であり、太陽電池の新しい用途を開拓することができる。

(2)国内生産と波及誘発効果

軽量低価格なフィルム型色素増感太陽電池の量産によって、基板となる樹脂フィルム、透明電極、酸化亜鉛、色素、電解液溶媒、触媒等の原材料の需要が高まり、国内原料メーカーの売上増加に寄与する。また、フィルム型色素増感太陽電池の製造プロセスは、独自の生産技術を必要とするので、成膜やセル組立工程での新規製造装置の開発と生産が必要になり、半導体やＦＰＤ製造装置メーカーの次期主力事業になりうる。また、フィルム太陽電池モジュールの設置に当たっては、蓄電池やインバータ等の付帯設備や施工作業も必要となるため、それらの業界への波及効果も見込まれる。

さらに、新興国の急激な経済発展と、全世界的な資源とエネルギーの需要の急騰に対して、設置場所を選ばない発電装置であるフィルム型色素増感太陽電池は、低価格化を実現することによって国際競争力の高い輸出製品になると考えられる。

４．今後の展開

わが国の電力消費の形態は今後大きく変化することが指摘されている。経済産業省グリーン IT 推進協議会、富士経済等の調査、に基づくと、全国の電力消費量（2005 年現在で約 10000 億ｋWh/年）に占める、照明（約 30%）、冷蔵庫、・空調等のモーター（約 60%）、熱電等のインフラ電力量は、省エネに進歩とともに横ばいに入ってきている一方で、IT・エレクトロニクス機器の消費電力量が急増傾向にある。IT（PC, サーバー、ディスプレイ）、エレクトロニクス（TV、AV、携帯端末、電話）はともに電力消費でつながっており、その消費電力量（470 億ｋWh/年）は、下図に示すように（経産省 IT 推進議）、情報量の急増（2025 年までに 2006 年比 200 倍）に相当して急増する。しかし、IT 機器は一方で、電力制御技術として上記のインフラ設備の電力量を押し下げる重要な効果をもつ。これによる電力節約効果は約 1000 億 kWh と見積もられる。この結果として、日本の総電力量は全体で横ばいになりながらも、IT 機器自身の消費電力量の割合が増加すると予想される。

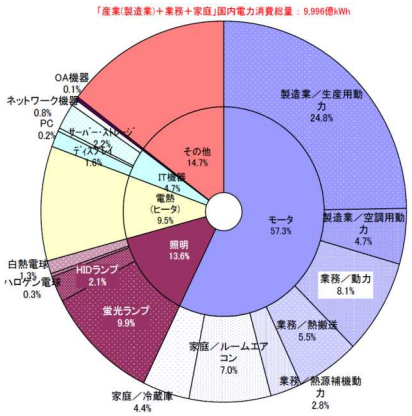


図 Ⅲ-2-(ニ)-C-4(1)
全国の消費電力総量に占める割合

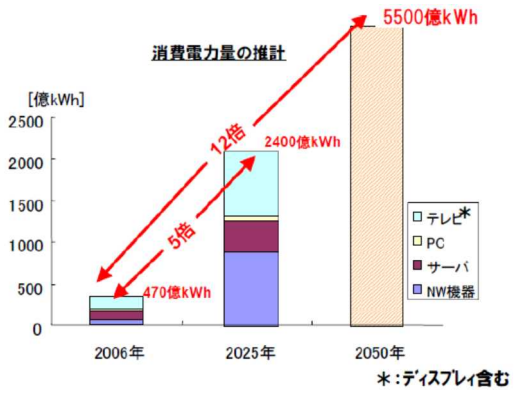
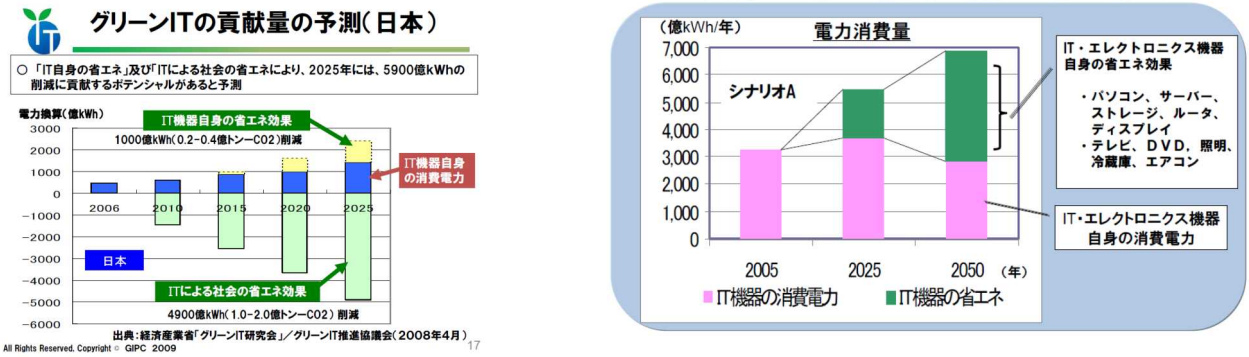


図 Ⅲ-2-(ニ)-C-4(2)
Ｉ Ｔ機器の全国総電力消費量の推移



図Ⅲ-2-(ニ)-C-4(3)　Ｉ Ｔ機器の普及による省エネ効果（億ｋWh／全国）の予測

以上のように、日本経済は IT 依存の活動がますます高まり、明らかに小型 IT 機器を支援する電力供給の重要性が高まると予想できる。携帯電話、PC 等の充電、待ち受け電力、さらには電池の消費も、すべて IT 機器の電力消費に含まれる。小型 IT 機器はすべて直流（DC）対応であり、これらを系統電力に依存せずに駆動させるための太陽電池の供給は、日本の電力消費軽減に大きくつながる。そして、この目的に合った太陽電池は、あらゆる光環境で駆動が可能で、かつ安全性の高い軽量の光発電素子である。世帯が、家庭の安全を確保していくために、IT が省エネを支える家電製品は今後も急増する方向にあり、頭脳となる IT 機器

は電力的にも極力自立型であることが望まれる。軽量 DSSC はこの目的に合致した光発電機器であり、耐久性が 10 年程度であっても交換が容易であれば問題は生じない。(軽量 DSSC モジュールが、将来の電力供給と省エネに貢献する効果は、最大 100 億ｋWh/年のレベルと期待でき、その経済効果は極めて大きく、開発が急務である。)

このエネルギー需要の動きは、既に始まっており、グンゼコンソーシアムのメンバーに寄せられたユーザーからの問い合わせ（IT 機器支援型の光発電）は、以上の目的に関連したものが多い。そして、軽量フレキシブル・低光量対応可能が必須となっている。

５．特許論文リスト

	H22	H23	H24	H25	H26	終了後	計
特許出願（うち外国出願）	2	3	4(1)	1	0	0	10(1)件
論文（査読付き）	8	4	8	10	2	0	32 件
研究発表・講演（うち国際会議）	32(5)	65(32)	40(16)	14(3)	0	0	151(56)件
新聞・雑誌等への掲載	1	1	7	0	0	0	9 件
受賞実績	1	1	1	0	0	0	3 件
展示会への出展	6	4	5	0	0	0	15 件

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外国PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	グンゼ株式会社	特願2011-28542	国内	2011年2月14日	出願	色素増感太陽電池を使用した点灯装置とその表示装置	岡部稔、岡本俊紀、広瀬貞一
2	グンゼ株式会社	特願2011-140186	国内	2011年6月24日	出願	色素増感太陽電池を使用したモーター回路	岡部稔、岡本俊紀、広瀬貞一
3	グンゼ株式会社	PCT/JP2013/059113	PCT	2013年3月27日	出願	色素増感太陽電池及び色素増感太陽電池の製造方法	広瀬貞一、岡本俊紀、松根未和、矢野亨、長田広幸、青山洋平
4	グンゼ株式会社	特願2013-224587	国内	2013年12月20日	出願	シート状の台座シート、及び、これを用いたシート状発電装置	松根未和、田中秀樹、広瀬貞一
5	学校法人桐蔭学園、日立造船㈱	2011-202497	国内	2011/9/6	出願	色素増感太陽電池における対向電極の製造方法、色素増感太陽電池の製造方法および色素増感太陽電池	宮坂　力、池上和志
6	学校法人桐蔭学園	実願 2012-001203	国内	2012/3/5	出願	光発電可能な車両用日除け装置	宮坂　力、手島健次郎、池上和志
7	学校法人桐蔭学園	特願 2012-145021	国内	2012 年 6 月 28 日	出願	有機無機積層構造からなる光電変換素子とその製造方法	

8	株式会社アイテック	2011-056005		2011年3月14日	出願	酸化チタン微粒子の製造方法、およびその製造方法によって製造される酸化チタン微粒子	
9	国立大学法人　山形大学	2012-195745		2012年9月6日	出願	酸化亜鉛多孔体及びその製造方法	
10	国立大学法人 山形大学	2012-283076		2012年12月26日	出願	酸化ススナノ微粒子の製造方法	

【論文・学会発表】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名	査読	発表年
1	広瀬貞一、松根未和	グンゼ株式会社	The Improvement of Plastic Film DSC	国際会議「色素増感・有機太陽電池に関するアジア会議」DSC-OPV6でのポスター発表		2011年10月17日
2	岡本俊紀	グンゼ株式会社	NEDOプロジェクトでのフィルムDSCの進捗状況	ユニバーサルソーラーセル研究会での口頭発表		2011年10月24日
3	広瀬貞一	グンゼ株式会社	フィルム型色素増感太陽電池の開発について	山形異業種交流会でのショートプレゼン		2012年3月2日
4	広瀬貞一	グンゼ株式会社	フィルム型軽量低価格色素増感太陽電池の研究開発	次世代太陽光発電カンファレンス2012（口頭、ポスター）		2012年12月20日
5	松原圭佑	グンゼ株式会社	プラスチックフィルム基板を用いた色素増感太陽電池の性能向上	第81回電気化学会		2014年3月29日
6	S. Morita, M. Ikegami, T. -C. Wei, and T. Miyasaka	桐蔭横浜大	Quantum conversion enhancement with TiOx compact layer for ITO plastic film-based low-temperature-processed dye-sensitized photoelectrode	論文 ChemPhysChem.,15, 1-5(2014)		2014年2月24日

7	A. Alberti, G. Pellegrino, G. G. Condorelli, C. Bongiorno, S. Morita, A. La Magna, and T. Miyasaka	桐蔭横浜大	Efficiency enhancement in ZnO:AI-based dye-sensitized solar cells structured with sputtered TiO2 blocking layers	論文 J. Phys. Chem. C, 2014, 118, 6576-6585.		2014年
8	A. Ishii and T. Miyasaka	桐蔭横浜大	A metallocene molecular complex as visible-light absorber for high-voltage organic-inorganic hybrid photovoltaic cells	論文 ChemPhysChem, 2014, 15, 1028-1032.		2014年
9	N. Sakai, M. Ikegami, and T. Miyasaka	桐蔭横浜大	MgO-hybridized TiO2 interfacial layers assisting efficiency enhancement of solid-state dye-sensitized solar cells	論文 Appl. Phys. Lett., 2014, 104, 063303.		2014年
10	N. Sakai, T. Miyasaka, and T. N. Murakami	桐蔭横浜大	Efficiency enhancement of ZnO-based dye-sensitized solar cells by low-temperature TiCl4 treatment and dye optimization	論文 J. Phys. Chem. C, 2013, 117, 10949-10956		2013年
11	X.-H. Zhang, J. Ogawa, K. Sunahara, Y. Cui, Y. Uemura, T. Miyasaka, A. Furube, N. Koumura, K. Hara, and S. Mori	桐蔭横浜大	Alternation of charge injection and recombination in dye-sensitized solar cells by the addition of nonconjugated bridge to organic dyes	論文 J. Phys. Chem. C, 2013, 117, 2024-2031		2013年
12	T. Okumura, T. Sugiyo, T. Inoue, M. Ikegami, and T. Miyasaka	桐蔭横浜大	Nickel oxide hybridized carbon film as an efficient mesoscopic cathode for dye-sensitized solar cells	論文 J. Electrochem. Soc., 2013, 160, H155-H159		2013年
13	S. Morita, T. -C. Wei, M. Ikegami, and T. Miyasaka	桐蔭横浜大	Tri-functional Nb205 nano-islands coated on an indium tin oxide layer for a highly efficient dye-sensitized plastic photoanode	論文 J. Power Sources, 240, 753-758(2013)		2013年10月15日

14	H.-Wei Chen, C. -W Kung, C. -M. Tseng, T. -C. Wei, N. Sakai, S.Morita, M.Ikegami, T. Miyasaka, and K. -C. Ho	桐蔭横浜大	Plastic based dye-sensitized solar cells using Co9S8 acicular nanotube arrays as the counter electrode	論文 J. Mater. Chem. A, 1, 13759-13768(2013).		2013年9月11日
15	H.-Wei Chen, Y.-D. Chiang, C.-Wei Kung, N.Sakai, M.Ikegami, Y.Yamauchi, K. C.-W. Wu, T. Miyasaka, K.-C. Ho	桐蔭横浜大	Highly efficient plastic-based quasi-solid-state dye- sensitized solar cells with light-harvesting mesoporous silica nanoparticles gel-electrolyte	論文 J. Power Sources, 245, 411-417(2014).		2013年7月4日
16	宮坂力、Yu-TingHuan、池上和志	桐蔭横浜大	Fabrication of high efficienct full-plastic dye-sensitized solar cells by enhancement of blocking compact layer	The 8th Aseanian Conference on Dye-sensitized and Organic Solar Cells (DSC-OPV8) (韓国、釜山)		2013年11月23日
17	宮坂　力	桐蔭横浜大	進化する有機系の高効率太陽電池の開発	第44回中化連秋季大会（静岡大学浜松キャンパス)		2013年11月2日
18	宮坂力、Yu-TingHuan、池上和志	桐蔭横浜大	フルプラスチック色素増感太陽電池の超薄ブロッキング層による高効率化	2013年電気化学秋季大会（東京工業大学)		2013年9月27日
19	池上　和志，宮坂　力	桐蔭横浜大	フレキシブル色素増感太陽電池の開発とエネルギーハーベスト	日本セラミックス協会秋季シンポジウム（信州大学長野キャンパス)		2013年9月4日
20	宮坂　力	桐蔭横浜大	色素増感型とハイブリッド型有機太陽電池の開発	第58回高分子夏季大学（広島国際会議場)		2013年7月18日
21	宮坂　力	桐蔭横浜大	色素増感太陽電池の新しい方向と印刷式製造技術	フォトンテクノロジー技術部会（東京、機械振興会館)		2013年6月26日

22	宮坂　力	桐蔭横浜大	**軽量、光透過性太陽電池パネルの開発**	公益財団法人かずさＤＮＡシンポジウム　（京都大学東京オフィス）		2013 年 4 月 15 日
23	宮坂　力	桐蔭横浜大	**色素増感太陽電池と有機系ハイブリッド太陽電池の最新動向**	パワーエレクトロニクス学会４月定例研究会（大阪市）		2013 年 4 月 13 日
24	青山孝介，池上和志，宮坂力	桐蔭横浜大	**スプレー法による酸化チタンの高速低温成膜と色素増感特性**	電気化学会第 80 回大会（東北大）		2013 年 3 月 30 日
25	梶田直人，池上和志，宮坂力	桐蔭横浜大	**延伸安定性を有するフレキシブル色素増感太陽電池の作製**	同上		同上
26	森田紗織，池上和志，宮坂力	桐蔭横浜大	**インドリン色素の共増感酸化チタン電極における吸着制御の検討**	同上		同上
27	酒井誠弥，池上和志，宮坂力	桐蔭横浜大	**酸化マグネシウム/酸化チタン緻密層を用いた高効率全固体色素増感太陽電池**	同上		同上
28	宮坂力	桐蔭横浜大	**プリンタブル色素増感ハイブリッド太陽電池の開発**	日本化学会第 93 回春季年会(立命館大学)		2013 年 3 月 23 日
29	宮坂力、石井あゆみ	桐蔭横浜大	**色素増感と有機薄膜を融合した固体ハイブリッド太陽電池**	書籍：人工光合成、実用化に向けた最新技術(出版社：情報機構)		2013 年 3 月 22 日
30	奥村拓郎，杉生剛，井上鉄也，池上和志，宮坂力	桐蔭横浜大	**Nickel Oxide Hybridized Carbon Film as an Efficient Mesoscopic Cathode for Dye-Sensitized Solar Cells**	Journal of Electrochemical Society, 160, H155-H159(2013)		2013 年 1 月 4 日
31	奥村拓郎，杉生剛，井上鉄也，池上和志，宮坂力	桐蔭横浜大	**Study on counter eloctrode for dye-sensitized solar cells using carbon materials**	Hitz Technical Review, 73, 21-27(2012).		2012 年 10 月
32	酒井誠弥，池上和志，宮坂力	桐蔭横浜大	**Synergistic Effect of Ultra Thin MgO and TiO2 Compact Underlayer for Dye-sensitized Solar Cells**	Material Research Society Fall Meeting		2012 年 11 月 26 日
33	宮坂　力	桐蔭横浜大	**Dye-sensitized and hybrid sensitized solar cells**	The Southeastern		2012 年 11 月 15 日

			toward next generation organic photovoltaics	Regional Meeting of the American Chemical Society 2012		
34	宮坂　力	桐蔭横浜大	Development of dye-sensitized thin semiconductor solar cells printed on ITO-plastic films	4th International Symposium on Transparent Conductive Materials (TCM 2012)		20112年10月22日
35	宮坂　力	桐蔭横浜大	Towards optimal combination of photovoltaic devices for facade and architectural applications	The 7th Aseanian Conference on Dye-sensitized and Organic Solar Cells (DSC-OPV7)		20112年10月27日
36	森田沙織、池上和志、石井あゆみ，宮坂　力	桐蔭横浜大	High efficiency dye-sensitized solar cells using thin TiO2 films co-sensitized by indoline dyes	Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science (PriME 2012		20112年10月8日
37	Tzu Chien Wei，池上和志，宮坂　力	桐蔭横浜大	Immobilization of polymer-protected platinum nanocluster on plastic substrate for highly efficient dye-sensitized plastic solar cell	同上		同上
38	宮坂　力	桐蔭横浜大	薄膜プラスチック色素増感太陽電池の高効率化開発	光電気化学研究懇談会2012年講演会		2012年9月4日
39	宮坂　力	桐蔭横浜大	Solar energy conversion and storage with dye-sensitized mesoporous semiconductors prepared by printing technologies	First International Workshop on Nano Materials for Energy Conversion & Fuel Cell (NMEC-1)		2012年8月22日

40	宮坂力、森田沙織、Tzu Chien Wei, 池上和志	桐蔭横浜大	Efficiency enhancement for organic dye-sensitized plastic solar cell with thin printed TiO2 films	International Conference on the Conversion and Storage of Solar Energy (IPS-19)		2012年7月29日
41	Xin Li, 石井あゆみ、宮坂 力	桐蔭横浜大	Extremely thin photoanodes consisting of TiO2 nanosheets for flexible solid state dye-sensitized solar cells	同上		同上
42	Tzu Chien Wei, 池上和志, 宮坂 力	桐蔭横浜大	Nano-platinum coating for low cost, high efficiency counter electrode in dye-sensitized solar cell	同上		同上
43	酒井誠弥, 宮坂 力	桐蔭横浜大	Solid-state dye-sensitized solar cells composed of titanium-dioxide-hybridized porous zinc oxide filmss and organic whole conductors	同上		同上
44	宮坂 力	桐蔭横浜大	Quantum conversion and power generation with dye-sensitized and hybrid semiconductor photovoltaic cells	The 3rd International Symposium on Molecular Photonics		2012年6月25日
45	宮坂 力	桐蔭横浜大	色素増感メソポーラス半導体を用いる塗布型光電変換素子の開発（学会賞受賞講演）	日本写真学会年次大会		2012年5月29日
46	森田紗織, 池上和志, 宮坂力	桐蔭横浜大	有機色素の共吸着による色素増感太陽電池の薄膜高効率化	電気化学会第79回大会（浜松）		2012年3月31日
47	石井あゆみ, 宮坂力	桐蔭横浜大	有機-無機ハイブリッド構造を有する薄膜太陽電池の開発 2 ホール輸送層の検討	同上		同上
48	奥村拓郎, 杉生剛, 井上鉄也, 池上和志, 宮坂力	桐蔭横浜大	酸化ニッケルを用いる色素増感太陽電池用カーボン対極の高性能化	同上		同上
49	梶田直人, 池上和志, 宮坂力	桐蔭横浜大	金属メッシュ電極を用いた色素増感太陽電池の大面積化	同上		同上
50	青山孝介, 池上和志, 宮坂力	桐蔭横浜大	スプレー法による低温成膜酸化チタン電極の高効率化	同上		同上

51	石井あゆみ，宮坂力	桐蔭横浜大	有機-無機ハイブリッド構造を有する薄膜太陽電池素子の開発	日本化学会第92春季年会		2012年3月27日
52	宮坂　力	桐蔭横浜大	Future prospective of dye-sensitized solar cell and its high performance development	The China International Conference on High-Performance Ceramics (CICC-6)		2011年11月7日
53	宮坂　力，池上和志，石井あゆみ，伊奈隼人	桐蔭横浜大	Photo-rechargeable capacitor (dye-sensitized photocapacitor) with ionic liquid electrolytes	The 6th Aceanian Conference on Dye-sensitized and Organic Solar Cells (DSC-OPV6)		2011年10月18日
54	佐藤克芳，宮坂　力，池上和志	桐蔭横浜大	Towards optimal combination of photovoltaic devices for facade and architectural applications	同上		同上
55	石井あゆみ，宮坂　力	桐蔭横浜大	Control of molecular arrangement in inorganic-organic hybrid photovoltaic cells	同上		同上
56	田村壮礼，池上和志，宮坂　力	桐蔭横浜大	Electrolyte compositions for dye-sensitized solar cells showing constant energy conversion efficiencies in wide temperature range	同上		同上
57	酒井誠弥，H.J.Snaith，池上和志，宮坂　力，村上拓郎	桐蔭横浜大	Metal oxide-coated zinc oxide photoelectrode for dye-sensitized solar cell	同上		同上
58	小島陽広，池上和志，宮坂　力	桐蔭横浜大	Wet process technologies of making primer layer and platinum catalytic layer for plastic dye-sensitized solar cell	同上		同上
59	伊奈隼人，　池上和志，手島健次郎，　宮坂　力	桐蔭横浜大	イミダゾリウム系イオン液体を電解液に用いた色素増感光キャパシタの光充放電特性-2	電気化学会2011年秋季大会(新潟)		2011年9月10日
60	青山孝介，　池上和志，宮坂　力	桐蔭横浜大	低温成膜酸化チタンの薄膜を用いる色素増感太陽電池の高効率化	同上		同上

61	田村壮礼，池上和志，宮坂　力	桐蔭横浜大	A quasi-solid dye-sensitized solar cell with polyvinyl alcohol-based electrolytes	62nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (ISE)		2011年9月15日
62	酒井誠弥，池上和志，宮坂　力，村上拓郎	桐蔭横浜大	TiO_2-Ccoated ZnO photoelectrodes for dye-sensitized solar cells with controlled back electron transfer	同上		同上
63	宮坂　力	桐蔭横浜大	Future prospective of dye-sensitized photovoltaic cells with mesoscopic printable materials	GDCh Wissenschaftsforum Chemie 2011（ドイツ化学会年会）		2011年9月7日
64	宮坂　力	桐蔭横浜大	Efficiency enhancement of printed thin film sensitized solar cells	Japan-UK Dye-Sensitised & Organic Photovoltaic workshop		2011年7月27日
65	宮坂　力,池上和志	桐蔭横浜大	Printed photovoltaic devices based on molecular and solid-state light-harvesting sensitizers	3rd international Conference on Hybrid and Organic Photovoltaics(HOPV2011)		2011年5月16日
66	宮坂　力	桐蔭横浜大	Toward printable sensitized solar cells using molecular and solid-state light harvesters	The Spring Meeting of Korean Electrochemical Society (韓国電気化学会)		2011年4月7日
67	中島　暁彦	岐阜大学	酸化亜鉛電析膜の脱ドープによるNIR色素増感機能向上	第21回東海地区光電気化学研究会		2010年7月23日
68	磯谷　佳孝	岐阜大学	電析酸化亜鉛を用いた色素増感型太陽電池のプロセスエンジニアリング	第21回東海地区光電気化学研究会		2010年7月23日
69	吉田　司	岐阜大学	色素増感太陽電池の開発と応用事例	愛知県産業技術研究所尾張繊維技術センターセミナー		2010年8月5日
70	市瀬　圭吾	岐阜大学	バルク窒化ガリウム単結晶上への酸化亜鉛のエピタキシャル電析	第41回電気化学秋季大会		2010年9月2日

71	磯谷　佳孝	岐阜大学	**酸化亜鉛電析法を用いた色素増感太陽電池のプロセスエンジニアリング**	第41回電気化学秋季大会		2010年9月3日
72	中島　暁彦	岐阜大学	**酸化亜鉛電析膜の脱ドープによるNIR色素増感機能向上**	第41回電気化学秋季大会		2010年9月3日
73	堀　茂雄	岐阜大学	**電解析出法による多孔質酸化亜鉛薄膜の構造制御**	第41回電気化学秋季大会		2010年9月3日
74	河方　信吾	岐阜大学	**酸化亜鉛電析膜のナノ構造と光電極機能の相関解明**	第41回電気化学秋季大会		2010年9月3日
75	関谷　友裕	岐阜大学	**電解析出法を用いた酸化亜鉛/色素/チオシアン酸銅固体太陽電池の作製**	第41回電気化学秋季大会		2010年9月3日
76	藤本　准子	岐阜大学	**水溶性イミダゾール置換ポルフィリンによる光合成スペシャルペアモデルの構築**	第27回有機合成化学セミナー		2010年9月3日
77	河方　信吾	岐阜大学	**酸化亜鉛電析膜のナノ構造と光電極機能の相関解明**	2010年秋季第71回応用物理学会学術講演会		2010年9月14日
78	吉田　司	岐阜大学	**半導体／色素ハイブリッド薄膜の選択的な自己組織化電析**	2010年秋季第71回応用物理学会学術講演会		2010年9月14日
79	市瀬　圭吾	岐阜大学	**バルク窒化ガリウム単結晶上への酸化亜鉛のエピタキシャル電析**	2010年秋季第71回応用物理学会学術講演会		2010年9月17日
80	吉田　司	岐阜大学	**酸化亜鉛光電極を用いたプラスチック太陽電池の研究開発**	電気化学会東海支部主催「電気化学を指向したものつくり講習会」		2010年9月24日
81	吉田　司	岐阜大学	**電解めっきを用いたプラスチィック太陽電池の開発**	㈱電子ジャーナル第646回テクニカルセミナー「めっき技術を用いた太陽電池の製造」		2010年9月24日
82	堀　茂雄	岐阜大学	**電解析出法による多孔質酸化亜鉛/エオシンY複合薄膜の構造制御**	第41回中部化学関係学協会支部連合秋季大会		2010年11月6日
83	塩田 貴大	岐阜大学	**N-(2-置換フェニル)インドリン色素の酸化亜鉛色素増感太陽電池への応用**	第41回中部化学関係学協会支部連合秋季大会		2010年11月6日

84	尾崎 洋佑	岐阜大学	ピロメテン色素の色素増感太陽電池への応用	第41回中部化学関係学協会支部連合秋季大会		2010年11月6日
85	草場 潤	岐阜大学	インドリンをドナー部位に有するスチリル色素の酸化亜鉛色素増感太陽電池への応用	第41回中部化学関係学協会支部連合秋季大会		2010年11月6日
86	藤本　准子	岐阜大学	水溶性イミダゾール置換ポルフィリンの会合制御とpH依存性	第41回中部化学関係学協会支部連合秋季大会		2010年11月6日
87	平野　敬祐	岐阜大学	酸化亜鉛薄膜を用いた色素増感太陽電池に用いるヨウ素/ヨウ化物電解液の最適化	第41回中部化学関係学協会支部連合秋季大会		2010年11月7日
88	藤吉　徹	岐阜大学	酸化亜鉛太陽電池に用いる新規色素の機能評価	第41回中部化学関係学協会支部連合秋季大会		2010年11月7日
89	孫　麗娜	岐阜大学	Electrodeposition of p-CuSCN Nanorod and its dye-sensitozed photocathodic property	The 9th International Conference on Nano-Molecular Electronics		2010年12月15日
90	吉田　司	岐阜大学	Electrochemical Self-Assembly of Inorganic/Organic Nano-Hetero Junction Solar Cells	11th International Symposium on Biomimetic Materials Processing (BMMP-11)		2011年1月26日
91	市瀬　圭吾	岐阜大学	Precise Structual Control in Electrodeposition of Znic Oxide Thin Films	11th International Symposium on Biomimetic Materials Processing (BMMP-11)		2011年1月26日
92	孫　麗娜	岐阜大学	Cathodic Electrodeposition of p-CuSCN Nanorod and its Dye-sensitized Photocathodic Property	11th International Symposium on Biomimetic Materials Processing (BMMP-11)		2011年1月26日
93	吉田　司	岐阜大学	カラフル太陽電池が創る未来予想図	岐阜市・岐阜商工会議所主催岐阜地域産学官連携交流会2011		2011年2月17日

94	孫　麗娜	岐阜大学	Electrochemical Fabrication of ZnO/Dye/CuSCN Nano Hetero-Junction Solar Cells	Sixth International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics（地震の為、中止）		2011年3月17日
95	藤本 准子	岐阜大学	イミダゾール置換ポルフィリン金属錯体による色素増感太陽電池	日本化学会第91春季年会（地震の為、開催中止）		2011年3月27日
96	小川祐司	岐阜大学	8-ヒドロキシキノリンと安息香酸を置換したポルフィリンの合成とその金属錯化	日本化学会第91春季年会（地震の為、開催中止）		2011年3月27日
97	市瀬　圭吾	岐阜大学	バルク窒化ガリウム単結晶上へ電析した酸化亜鉛薄膜のエピタキシー決定因子の解明	電気化学会第78回大会（地震の為、開催中止）		2011年3月29日
98	平野　敬祐	岐阜大学	微粒子酸化亜鉛薄膜を用いた色素増感太陽電池の電解液に加える添加物の探索	電気化学会第78回大会（地震の為、開催中止）		2011年3月29日
99	堀　茂雄	岐阜大学	電析酸化亜鉛電極構造の色素増感太陽電池特性への影響	電気化学会第78回大会（地震の為、開催中止）		2011年3月30日
100	Keigo Ichinose	岐阜大学	Heteroepitaxial electrodeposition of ZnO on GaN Bulk Crystals	The 6th International Symposium on Intergrated Molecular/Materials Engineering(ISIMME2011)		2011年6月7日
101	Tsukasa Yoshida	岐阜大学	Low-cost, light weight and colorful plastic film solar cells by electrodeposition and screen printing of ZnO porous electrodes	The 6th International Symposium on Integrated Molecular/Materials Engineering(ISIMME2011)		2011年6月8日

102	河方 信吾	岐阜大学	酸化亜鉛電析膜のナノ構造と光電極機能の相関解明	電気化学会東海支部主催第22回東海地区光電気化学研究会		2011年7月22日
103	磯谷 佳孝	岐阜大学	多孔質酸化亜鉛を用いた色素増感太陽電池のプロセスエンジニアリング	電気化学会東海支部主催第22回東海地区光電気化学研究会		2011年7月22日
104	吉田　司	岐阜大学	ナノ構造参加亜鉛を用いたフィルム型軽量低価格太陽電池	㈱島津製作所・島津サイエンス西日本㈱主催「島津サイエンス西日本（㈱）刈谷支店開所記念セミナー」		2011年9月7日
105	公門 保明	岐阜大学	ポーラス結晶酸化亜鉛電析膜を用いたELデバイスの作製	2011年電気化学会秋季大会		2011年9月9日
106	市瀬 圭吾	岐阜大学	バルク窒化ガリウム単結晶上へ電析した酸化亜鉛薄膜の電析条件とエピタキシーとの関係解明	2011年電気化学会秋季大会		2011年9月9日
107	平野敬祐	岐阜大学	色素増感太陽電池への応用における酸化亜鉛薄膜の表面処理効果および電解質溶液の検討	2011年電気化学会秋季大会		2011年9月9日
108	堀　茂雄	岐阜大学	酸化亜鉛ナノ構造制御及び色素増感太陽電池特性評価	2011年電気化学会秋季大会		2011年9月9日
109	保田 ゆづり	岐阜大学	ダブルアンカー色素を用いた酸化亜鉛太陽電池の性能評価	2011年電気化学会秋季大会		2011年9月9日
110	Shigeo Hori	岐阜大学	Nanostructure control in electrodeposition of ZnO/eosinY hybrid thin films	62nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (ISE)		2011年9月11日
111	Yasuaki Kimikado	岐阜大学	Electroluminescent device employing electrodeposited porous crystalline ZnO	62nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (ISE)		2011年9月11日

112	Keigo Ichinose	岐阜大学	Factors determining heteroepitaxial electrodeposition of ZnO on GaN bulk single crystals	62nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (ISE)		2011年9月11日
113	Yuzuri Yasuda	岐阜大学	Novel double anchor indoline dyes with high efficiency and stability for ZnO solar cells	62nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (ISE)		2011年9月11日
114	Tsukasa Yoshida	岐阜大学	Electrochemical Self-Assembly towrds Inorganic/Organic Nano/Heterojunction Solar Cells	62nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (ISE)		2011年9月13日
115	吉田　司	岐阜大学	Electrochemically induced complex formation between xanthene dyes and ZnO for fabrication of plastic solar cells	錯体化学会第61回討論会　ミニシンポジウム「New Development on Metal Complex Chemistry toward Conversion and Storage of Solar Energy - From Natural and Artificial Photosyntheses to Solar Cells」		2011年9月17日
116	Shinji Higashijima	岐阜大学	Highly Efficient New Indoline Dye Having Strong Electron-Withdrawing Group for Zinc Oxide Dye-Sensitized Solar Cell	The Fifth East Asia Symposium on Functional Dyes & Advanced Materials		2011年9月28日
117	Toshimasa Suzuki	岐阜大学	Nanostructure Control of ZnO Thin Films by Electrodeposition and Its Influence to Dye-Sensitized Solar Cell Performance	The 6th Aceanian Conference on Dye-sensitized and organic Solar Cells(DSC-6)		2011年10月17日

118	Yuzuri Yasuda	岐阜大学	Novel Double Anchor Indoline Dyes with Improved Efficiency for ZnO Solar Cells	The 6th Aceanian Conference on Dye-sensitized and organic Solar Cells(DSC-6)		2011年10月17日
119	Tsukasa Yoshida	岐阜大学	Low-cost and light weight plastic DSSCs employing ZnO photoelectrodes	The 6th Aceanian Conference on Dye-sensitized and organic Solar Cells(DSC-6)		2011年10月18日
120	吉田　司	岐阜大学	ナノ構造酸化亜鉛電極を用いた軽量低価格フィルム型太陽電池	高分子学会主催「11-4ポリマーフロンティア21」		2011年11月4日
121	塩田 貴大	岐阜大学	置換インドリン色素の酸化亜鉛色素増感太陽電池への応用	第42回中部化学関係学協会支部連合秋季大会		2011年11月5日
122	東嶋 伸治	岐阜大学	フルオレン置換インドリン骨格を有する色素の開発	第42回中部化学関係学協会支部連合秋季大会		2011年11月5日
123	保田 ゆづり	岐阜大学	ダブルアンカーインドリン色素による酸化亜鉛太陽電池の耐久性向上	第42回中部化学関係学協会支部連合秋季大会		2011年11月5日
124	鈴木 俊正	岐阜大学	酸化亜鉛複合膜のナノ構造制御と色素増感太陽電池特性の評価	第42回中部化学関係学協会支部連合秋季大会		2011年11月5日
125	後藤 耕治	岐阜大学	インドリン色素の広帯域化による酸化亜鉛太陽電池の高効率化	第42回中部化学関係学協会支部連合秋季大会		2011年11月5日
126	岩本 卓也	岐阜大学	CuSCN/dye ハイブリッド電析膜のナノ構造評価	第42回中部化学関係学協会支部連合秋季大会		2011年11月5日
127	Keigo Ichinose	岐阜大学	Control of Crystallographic Orientation in Electrodeposition of ZmO Thin in the Presence of Structure Directing Agents	日本真空協会主催 15th International Conference on Thin Films (ICTF-15)		2011年11月8日

128	Toshimasa Suzuki	岐阜大学	Nanostructure Control of ZnO Thin Films by Electrodeposition ffor Dye-sensitized Solar Cells	日本真空協会主催 15th International Conference on Thin Films (ICTF-15)		2011年11月9日
129	Keigo Ichinose	岐阜大学	Heteroepitaxial Growth of ZnO Thin Films on GaN Bulk Single Crystals by Electrodeposition	日本真空協会主催 15th International Conference on Thin Films (ICTF-15)		2011年11月9日
130	Tomohiro Sekiya	岐阜大学	Electrochemical Fabrication of Nano-Heterojunction for Solid-State Dye-Sensitized Solar Cells	日本真空協会主催 15th International Conference on Thin Films (ICTF-15)		2011年11月9日
131	Tsukasa Yoshida	岐阜大学	Electrochemically Self-assembled Zno/Rhodamine Hybrid 2D-Nanostructure towards One-Pot Synthesis of Solar Cells	日本真空協会主催 15th International Conference on Thin Films (ICTF-15)		2011年11月9日
132	吉田　司	岐阜大学	軽量低価格フィルム型太陽電池の研究開発	東海化学工業会セミナー「エネルギーの現状、震災後の展望～創る・蓄える・活かす～」		2011年11月25日
133	Yasuaki Kimikado	岐阜大学	Electroluminescent device employing porous crystalline ZnO thin Films by electrodeposition	ISETS'11組織委員会、名古屋大学エコトピア科学研究所主催 International Symposium on Eco Topia Science2011(ISETS'11)		2011年12月10日
134	Shingo Kawakata	岐阜大学	Nanostructure control of ZnO/EosinY Hybrid Thin Fil, s by Electrodeposition and Its Influences for Dye-Sensitized Solar cells Performances	ISETS'11組織委員会、名古屋大学エコトピア科学研究所主催 International Symposium on Eco Topia Science2011(ISETS'11)		2011年12月11日

135	保田 ゆづり	山形大学	ダブルアンカー色素を用いた酸化亜鉛太陽電池の高耐久化と高性能化	日本化学会第92春季年会2012		2012年3月25日
136	岩本 卓也	山形大学	電析法によるCuSCN/dye複合薄膜のナノ構造制御	電気化学会第79回大会		2012年3月29日
137	馬場 寛人	山形大学	ダブルアンカー色素のアルキル鎖長が酸化亜鉛太陽電池に与える影響	電気化学会第79回大会		2012年3月29日
138	堀　茂雄	山形大学	多孔質ZnOナノ結晶の構造制御及び太陽電池評価	電気化学会第79回大会		2012年3月31日
139	保田 ゆづり	山形大学	長波長化されたインドリン色素を用いた酸化亜鉛太陽電池の高性能化	電気化学会第79回大会		2012年3月31日
140	鈴木 俊正	山形大学	電析法によるCuSCN/dye/ZnOナノヘテロ接合型太陽電池の作製及び電池特性評価	電気化学会第79回大会		2012年3月31日
141	Lina Sun	山形大学	Electrodeposition of p-CuSCN Nanorod and its Dye-Sensitized Photocathodic Property	第一回有機太陽電池ワークショップ		2012年4月20日
142	Lina Sun	山形大学	Electrochemically Self-Assembled ZnO/Rhodamine Hybrid 2D-Nanostructure towards One-Pot Synthesis of Solar Cells	第一回有機太陽電池ワークショップ		2012年4月20日
143	萬関 一広	山形大学	チタン酸コロイドのナノ集積構造形成を利用する酸化チタン微粒子の高速水熱合成と色素増感太陽電池への応用	第一回有機太陽電池ワークショップ		2012年4月20日
144	吉田 司	山形大学	酸化亜鉛の低温製膜を主軸とした有機系太陽電池の研究開発	第一回有機太陽電池ワークショップ		2012年4月21日
145	小嶋 晴彦	山形大学	P型半導体の高分子材料と低分子色素を用いた酸化亜鉛逆型有機薄膜太陽電池	第一回有機太陽電池ワークショップ		2012年4月21日
146	吉田　司	山形大学	軽量低価格フィルム太陽電池の研究開発	第２６回イノベーションデザインラボ		2012年8月22日
147	吉田　司	山形大学	ナノ構造酸化亜鉛電極の電解合成と有機太陽電池への応用	平成２４年度資源、素材関係学協会合同秋季大会		2012年9月11日

148	吉田　司	山形大学	無機/有機ナノハイブリッド薄膜の自己組織化電析と太陽電池への対応	平成２４年度化学系学協会東北大会		2012年9月16日
149	吉田　司	山形大学	Nanostructured Inorganic/Organic Hybrid Thin Films for Solar Cell Applications	International Workshop on Green Photonics at NAIST		2012年10月3日
150	Kazuhiro Manseki	山形大学	Rapid Synthesis of High Performance TiO2 Nanoparticles for Dye-Sensitized Solar Cells Employing Microwave and Supercritical Water	Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science		2012年10月8日～12日
151	吉田　司	山形大学	有機太陽電池は救世主たり得るのか？	第１１回英弘シンポジウム		2012年11月1日
152	吉田　司	山形大学	有機太陽電池に用いるナノ構造無機化学物電極材料の合成	第二回有機太陽電池ワークショップ		2013年1月10日～12日
153	吉田　司	山形大学	酸化亜鉛の低温製膜を軸としたフィルム系太陽電池の研究開発	本格研究ワークショップIN熊本		2013年1月15日
154	吉田　司	山形大学	Synthesis of Inorganic Nanostructures for Organic Solar Cell Applications	International Conference on the Evaluation &Standardization of Organic Photovoltaics		2013年1月26日～28日
155	吉田　司	山形大学	色素増感太陽電池と太陽光発電の技術動向について	村山地域地球温暖化対策協議会		2013年3月6日
156	Junki Fujii	山形大学	Field Electron Emission from Carbon Nanotube/ZnO Composite Films Prepared by Electrodeposition	Seventh International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics		2013年3月17日～19日
157	吉田　司	山形大学	有機太陽電池研究開発の現状と展望　～有機太陽電池のためのナノ構造無機材料の開発	株式会社ケミクレア講演会		2013年3月21日
158	小川　優太	山形大学	p-CuSCNナノ構造の電気化学的創成と有機太陽電池への応用	公益社団法人電気化学会創立第８０周年記念大会		2013年3月29日～31日

159	黒滝 隼人	山形大学	多孔質酸化亜鉛の低温製膜による色素増感太陽電池の研究開発	公益社団法人電気化学会創立第８０周年記念大会		2013年3月29日～31日
160	Tsukasa Yoshida	山形大学	Inorganic nanostructures for Organic Solar Cells	Solar Energy for World Peace		2013年8月17日
161	藤島　環	山形大学	ITO/Nafion/CNT/CoPc　修飾電極を用いた炭酸ガスの電気化学的還元	2013年電気化学会秋季大会		2013年9月28日
162	Asdim	山形大学	Microwave Synthesis of Size-Controllable SnO2 Nanocrystals for Dye-Sensitized Solar Cells	2013年電気化学会秋季大会		2013年9月28日
163	季　明	山形大学	有機色素コバルト錯体レドックス対を用いた色素ぞうかん酸化亜鉛太陽電池の評価	2013年電気化学会秋季大会		2013年9月28日
164	Tsukasa Yoshida	山形大学	Inorganic Nanostructures for Organic Solar Cells	International Symposium for the 70th Anniversary of the Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan		2013年9月28日
165	M. Matsui,	岐阜大学	X-ray Crystallographyof D149 Ethyl Ester	Bull. Chem. Soc. Jpn.		2010
166	M. Matsui	岐阜大学	Highly Efficeint Substituent Triple Rhodanine Indoline Dyes in Zinc Oxide Dye-sensitized Solar Cell	Tetrahedron.		2010
167	M. Matsui	岐阜大学	Substituent Effets in a Duble Rhodanine Indoline Dye on Performance of Zinc Oxide Dye-sensitized Solar Cell	Dyes Pigm.		2010
168	Y. Sakuragi	岐阜大学	Aggregation of Indoline Dyes as Sensitizers for ZnO Solar Cells	J. Photochem. Photobiol. A: Chem		2010
169	S. Haller	岐阜大学	Design of a hierarchical structure of ZnO by electrochemistry for ZnO-based dye-sensitized solar cells	Physica Status Solidi A		2010

170	K.Ichinose	岐阜大学	The Effect of Pre-treatments of F-Doped SnO2 Substrates for Cathodic Nucleation of ZnO Crystals in Aqueous ZnCl2 Solution with Dissolved O2	Electrochemistry		2010
171	J. Zhang	岐阜大学	Effect of Anchoring Groups on Electrochemical Self-assembly of ZnO/xanthene Dye Hybrid Thin Film	Phys. Chem. Chem. Phys		2010
172	藤本　准子	岐阜大学	イミダゾール置換ポウルフィリン金属錯体による色素増感太陽電池	J.Tetrahedron Lett.		2010
173	Masaki Matsui	岐阜大学	Comparison of performance between benzoindoline and indoline dyes in zinc oxide dye-sensitized solar cell	Dyes Pigm		2011
174	Shinji Higashijima	岐阜大学	Highly efficient new indoline dye having strong electron-withdrawing group for zinc oxide dye-sensitized solar cell	Tetrahedron		2011
175	Lina Sun	岐阜大学	Cathodic electrodeposition of p-CuSCN nanorod and its dye-sensitized photocathodic property	Physics Pcocedia		2011
176	Jingbo Zhang	岐阜大学	Spectroelectrochemical studies on redox reactions of eosin Y and its polymerization with Zn2+ Ions	Journal of Electroanalytical Chemistry		2011
177	Masaki Matsui	岐阜大学	N-(2-Alkoxyphenyl)-Substituted Double Rhodanine Indoline Dyes for Zinc Oxide Dye-sensitized Solar Cell	Tetrahedron 68		2012
178	屋根　剛	山形大学	スクリーン印刷法による色素増感酸化亜鉛太陽電池の作製	塗装工学　第47巻　4号		2012年4月30日
179	Asdim	山形大学	Aggregation Behavior of Differently Substituted Ru(II)-Complex Dyes as Sensitizers for Electrodeposited ZnO Solar Cells	Journal of Photochemistry &Photobiology A:Chemistry242		2012年8月15日

180	Tsukasa Yoshida	山形大学	Dye-Sensitized Solar Cell Fabrication by Screen Printing of ZnO Nanoparticles and their Dissolution/Recrystallization in Warm Water	Trends in Advanced Sensitized and Organic Solar Cells		2012年10月
181	Dmytro Sydoroy	山形大学	Electrochemically Assembled Planar Hybrid Poly(3-methylthiophene)/ZnO Nanostructured Composites	Electrochimica Acta 81		2012年10月30日
182	萬関　剛	山形大学	Development of Electrodeposition System Employing 8 Rotating Disc Electrodes for Highly Reproducible Synthesis of Zinc Oxide Thin Films	Electrochemistry 第80号		2012年11月5日
183	Junki Fujii	山形大学	Field Electron Emission from Carbon Nanotube/ZnO Composite Films Prepared by Electrodeposition	Japanese Journal of Applied Physics		2013
184	Kazuhiro Manseki	山形大学	Size-controlled Synthesis of Anisotropic TiO2 Single Nanocrystals Using Microwave Irradiation and their Application for Dye-Sensitized Solar Cells	Dalton Trans 42		2013年1月7日
185	Melanie Rudolph	山形大学	Influence of indoline dye and coadsorbate molecules on photovoltaic performance and recombination in dye-sensitized solar cells based on electrodeposited ZnO	Journal of Electroanalytical Chemistry		2013年10月10日

【その他発表等のリスト】
表Ⅲ-2-(ニ)-C5(7) （グンゼ）

番号	項目	内容	年度
1	新聞､メディア	びわこ放送「滋賀経済ＮＯＷ」番組にて、フィルムＤＳＣを紹介	2011
2	展示会	Nanotech　2011（東京ビッグサイト）	2010
3	展示会	岐阜市交流会（岐阜市商工会議所）	2010
4	展示会	社内総合展示会（大阪サンライズビル）	2010

5	展示会	ＫＲＰ展示会（京都リサーチパーク）	2010

表Ⅲ-2-(ニ)-C5(8)（岐阜大、山形大）

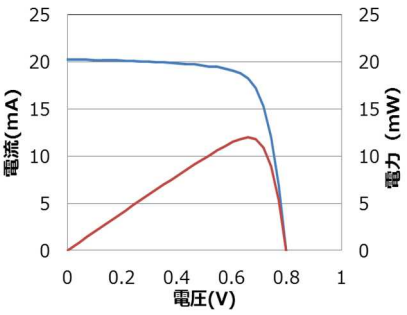
番号	項目	内容	年度
1	受賞	The Fifth East Asia Symposium on Functional Dyes & Advanced Materials ベストポスター賞	2011
2	展示会	PV JAPAN 2011（幕張メッセ）	2011

表Ⅲ-2-(ニ)-C5(9)（桐蔭横浜大学）

番号	項目	内容	年度
1	新聞､メディア	日刊工業新聞掲載「色素増感太陽電池、プラ基板で薄型化、室内照明でも発電」	2010
2	新聞､メディア	日刊工業新聞掲載「光キャパシター高性能化：電極に酸化ルテニウム粒子混合」	2012
3	新聞､メディア	日刊工業新聞，2012年7月31日，「色素増感と有機薄膜融合：新型太陽電池を開発」	2012
4	新聞､メディア	日刊工業新聞，2012年8月20日，「色素増感太陽電池、フィルム型を実証」	2012
5	新聞､メディア	読売新聞，2013年3月14日朝刊，「次世代太陽電池、実用化へ一歩」	2012
6	雑誌	宮坂 力，“色素増感太陽電池の開発―現状と課題―”，日本写真学会誌，76，260-265(2012)	2012
7	雑誌	宮坂 力，“色素増感太陽電池の開発動向とプラスチックモジュール化”，月刊ディスプレイ， 3月号,10-16（2012）.	2012
8	雑誌	宮坂 力，“プリンタブルなプラスチック色素増感太陽電池とポリマー材料技術”， Polyfile，49， 30-36（2012）.	2012
6	受賞	日本化学会関東支部大会学生講演賞	2010
7	受賞	日本写真学会2012年度学術賞	2012
8	展示会	第5回新エネルギー世界展示会「PV JAPAN」（パシフィコ横浜）	2010
9	展示会	第4回国際太陽電池展「PV EXPO2011」（東京ビッグサイト）	2010
10	展示会	The 6th Aceanian Conference on Dye-sensitized and Organic Solar Cells（別府）	2011
11	展示会	PV JAPAN 2011（幕張メッセ）	2011
12	展示会	東芝科学館サイエンスフェスタ（東芝科学館）	2011
13	展示会	PV JAPAN 2011（幕張メッセ）	2012

(ホ)有機薄膜太陽電池
A　汎用型有機薄膜太陽電池の研究開発
1.　成果の詳細

1.1　東芝
1.1.1　セル変換効率の向上
高効率化には、高Ｖｏｃ化、高Ｊｓｃ化、高ＦＦ化及び素子特性の最適化が課題である。
これまでの検討で、Ｖｏｃは発電層用材料のＰ型材料やＮ型材料のエネルギー準位で制御できることがわかっている。高Ｖｏｃ化や高Ｊｓｃ化、高ＦＦ化のために行った施策は、①π共役系を拡張した長波長域まで光を吸収するｌｏｗ－ｂａｎｄｇａｐ化Ｐ型材料の開発、②光透過ロス低減のための光マネージメント（光閉じ込め構造等の検討)、③再結合ロス低減のための不純物低減、④直列抵抗低減のための素子界面のバンドマッチング、⑤並列抵抗改善のための欠陥や不純物低減、⑥ナノ相分離構造の最適化、⑦素子作成・評価環境の改善、⑧最適セルのナノ構造解析、等である。

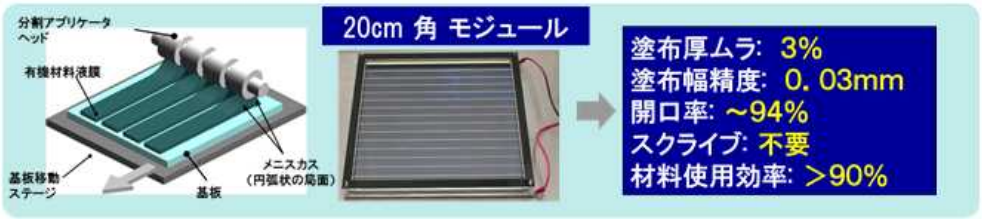


セル	1cm角
Jsc (mA/cm²)	20.2
Voc (V)	0.796
Pmax (mW)	12.0
FF	0.744
効率 (%)	12.0

図Ⅲ-2-（ホ）-A-1（1）　変換効率１２．０%の１ｃｍ×１ｃｍのセル特性

また、開発当初、セル構造は順構成を採用していたが逆構成へと変えたところ、効率向上、及び耐熱性向上の効果が見られた。エネルギーダイアグラムによる材料選択において、順構成と逆構成での電極やバッファ層の材料が異なり、その際の反射率や腐食耐性の差が効率や耐久性の違いを生むと推測されるが、全原因ははっきりしていない。逆構成でのセル効率は１２．０%（自社測定）を達成した。Efficiency Table ver.46 には、１１．０%が掲載された。

1.1.2　塗布プロセスの開発
溶媒の乾燥挙動の相違によるモルフォロジー差、そのことに起因する性能差が予想されるため、塗布方法の開発を行った。更に、有機薄膜太陽電池においても高効率なモジュールを開発するには、無機系太陽電池と同様に集積構造が必須であり、有効受光面積をできるだけ大きくする等、効率が最大となるモジュール設計を進めた。モジュールの成膜法としてメニスカス塗布法を開発したが、これはナノサイズの厚さの薄膜を均一に塗布できる独自技



図Ⅲ-2-（ホ）-A-1（2）　メニスカス塗布

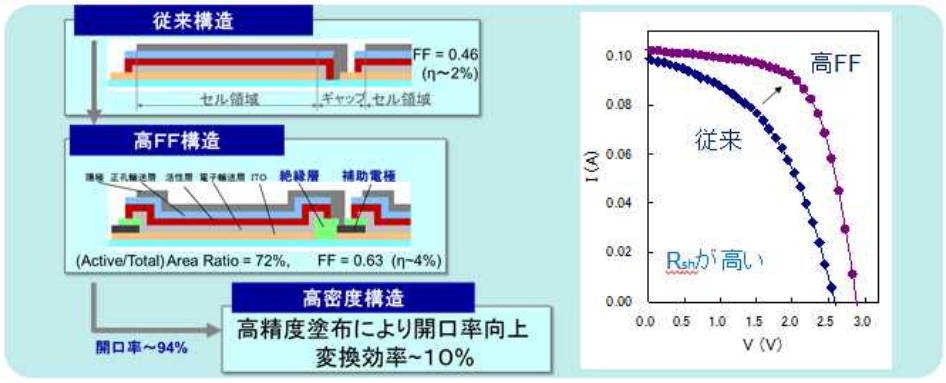
術であり、分割アプリケータを用いることでストライプ状のパターン塗布を行うことが可能となった。開発の結果、塗布厚ムラ３%、塗布幅精度０．０３mm、開口率～９４%、スクライブ不要、材料使用効率９０%以上を達成することができた。高精度パターニングが可能になったことから、塗布後にセルを分割するスクライブの工程が不要になり、簡素で低コストのモジュール製造プロセスを実現できる可能性が高まったことは大きな成果と言える。

1.1.3　モジュール変換効率の向上
モジュール高効率化の基本施策として、① 電極端面のリーク電流低減による電流向上、② メニスカス塗布装置の印刷精度、膜厚精度向上、実効開口率の極大化、③光学＆電界計算で、高効率材料の特性に合わせたモジュール基板、素子設計、④ 反射防止、光閉じ込め等による光マネージメントを実施した。
モジュール構造設計では、ストライプ状のセルを直列接続する構造を基本とし、セルの効率特

性を可能な限りモジュールにおいても再現することを目指した。具体的には、開口率（セル有効部の面積率）の向上と、発電時の局所的なリーク電流の抑制を念頭に置いて設計した。

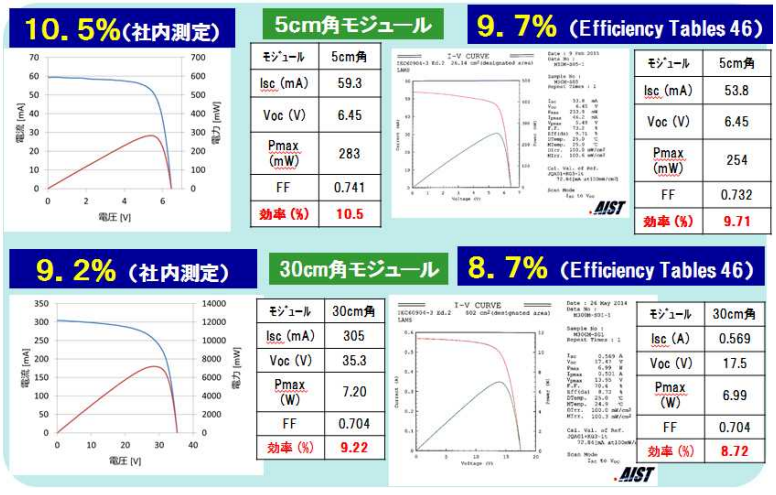
シミュレーション技術の開発は、モジュール設計やメニスカス塗布技術の開発に対して重要な指針を与えるもので、有機薄膜太陽電池開発には必要不可欠な開発アイテムである。特に、モジュールのストライプセルの幅、セル間ギャップ幅、ＩＴＯ電極抵抗、陰極抵抗、補助電極の抵抗値などの設計値を決定するにあたり、実験で全てを最適化することは事実上不可能であり、シミュレーションによる最適化が極めて有効であった。

発電部の幅（ストライプセル幅）は、狭い値に設定することでＩＴＯ陽極における電流損失を抑制すると共に、セル間のギャップを極力狭く(1.32㎜)設計することで開口率の向上を図った。非発電部を狭くしたことで、活性層や中間層の塗布幅精度を著しく向上する必要が生じたが、上記メニスカス塗布の開発によりこれを実現できた。また、有機薄膜太陽電池においては上下の電極が１００ｎｍ程度の薄膜を介して対峙するため、セル端部における電界集中などで電流リークが生じ、ＦＦの低下ひいては変換効率の低下を招来する可能性が高いことを勘案し、絶縁層を設けた。絶縁層のサイズや材料を最適化することで、高開口率を維持したままＦＦの低下を抑制出来た。さらに、補助電極でセル間の電気的接続を改良するとともに、モジュール周縁部の電極取り出し位置にも同層を設けＩＴＯ層における電流損失を抑制した。これらの設計により開口率約９４％を実現するとともに、モジュールの並列抵抗（Ｒsh）と開放電圧（Ｖoc)、曲率因子（ＦＦ）に有意な改善が観察された（図Ⅲ-2-（ホ）-A-1（3））。



図Ⅲ-2-（ホ）-A-1（3）　モジュールの高 FF 構造

これらの施策の結果により１ｃｍ角セルで変換効率１２％の材料／素子構造を用いて、５ｃｍ角モジュール変換効率１０．５％、３０ｃｍ角モジュール変換効率９．２％が得られた。EfficiencyTables ver.46 では、ミニモジュール９．７％、モジュールでは８．７％が最高効率として掲載された（図Ⅲ-2-（ホ）-A-1（4））。



図Ⅲ-2-（ホ）-A-1（4）　モジュールの発電特性

1.1.4　ＪＩＳ規格Ｃ８９３８の環境試験・耐久性試験

ＪＩＳ規格Ｃ８９３８の環境試験・耐久性試験を行った。５項目があり、モジュールにおいて相対効率低下１０％以内を目指すことが耐久性の目標である。ただし、有機薄膜太陽電池に対する耐久性試験方法は現時点でまだ規格化されていないため、アモルファスシリコン太陽電池を対象としたＣ８９３８を適用した。本試験の加速条件下で相対効率低下１０％以内が達成されることでおよそ１０年の製品寿命を予測するものである。ただし、有機薄膜太陽電池とアモルファスシリコン太陽電池では動作機構が異なることから、加速係数も異なると予想され、議論が必要である。試験の結果相対効率の低下率は、温度サイクル試験４．５％、温湿度サイクル試験

２．０％、光照射試験７．７％、耐熱性試験２．９％、耐湿性試験０％であった。ただし、光照射試験では４２０ｎｍ以下をカットするフィルターを挿入している。

1.1.5　ＥＩＰＶ（電子機器組込型太陽電池；ElectronicsIntegrated Photovoltaic）の試作

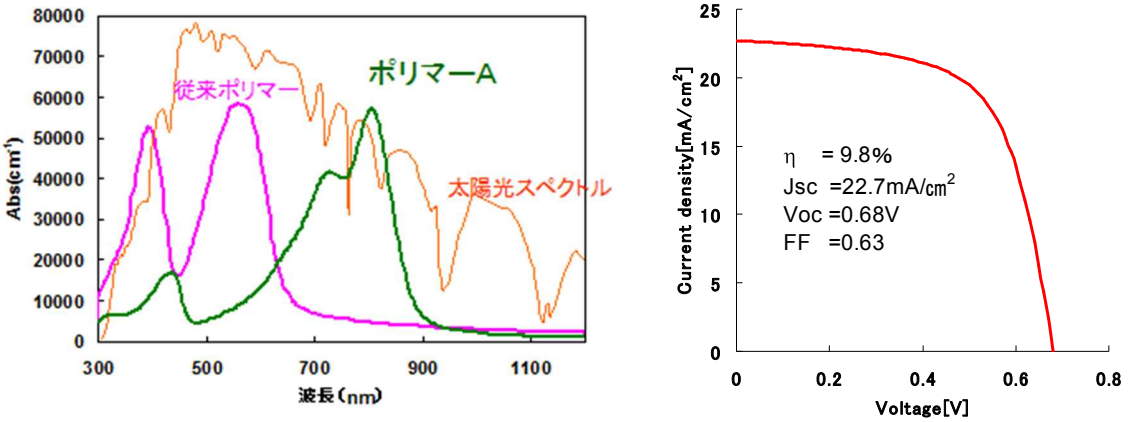
有機薄膜太陽電池は分光感度スペクトルと光源スペクトルとのマッチングが良いことから室内での効率が高く、ＥＩＰＶに向いている。そのため、有機薄膜太陽電池を搭載した電子棚札や環境センサー、人感センサーを試作した。　有機薄膜太陽電池は屋内光源に対する効率が高いことから、屋内向けＥＩＰＶから事業化されると予想されている。その意味では、ＥＩＰＶの試作は重要な成果の一つである。

1.2　住友化学

当社は、主に、高分子系有機薄膜太陽電池モジュールの研究開発を担当し、有機薄膜太陽電池の高効率発電ポリマーの開発、高効率モジュールの開発、耐久性の向上に取り組んだ。

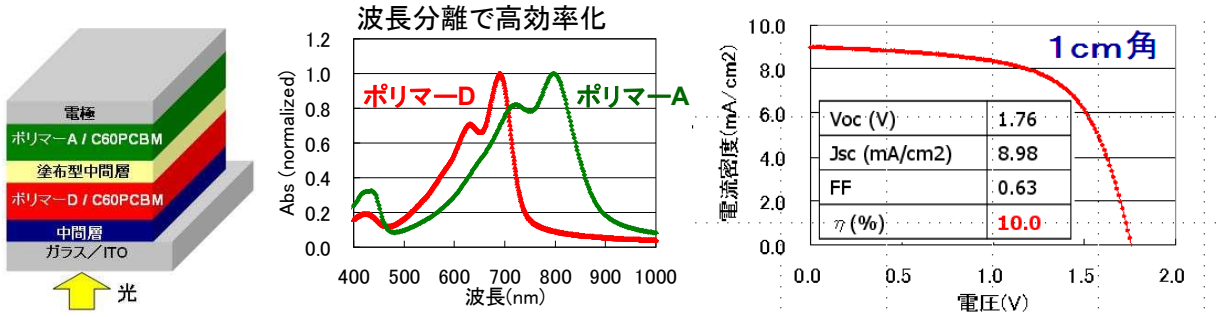
1.2.1　材料技術、セル技術

セル変換効率 12%を目標に、900nm の長波長域まで吸収を持つ当社独自材料（ポリマーA）のモルフォロジー制御、膜厚最適化、抵抗ロス低減などの高効率化検討を進めた結果、シングルセルで 9.8%を達成した。

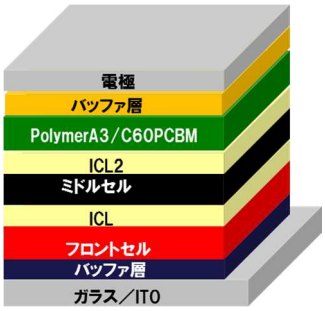


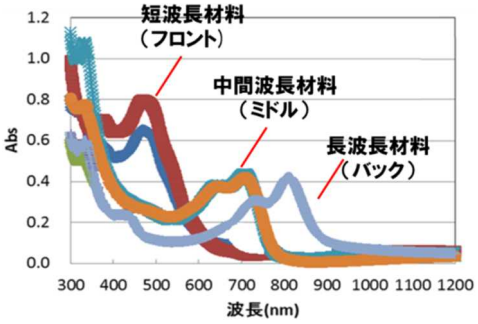
図Ⅲ-2-（ホ）-A-1（5）　ポリマーA の吸収特性と、シングル

また、波長分離による高効率化を目的に各種波長を吸収するポリマー材料を開発。それらを活用したタンデムセルで、効率 10.0%、トリプルタンデムで 10.4%を達成した。



図Ⅲ-2-（ホ）-A-1（6）　タンデムセルの素子構造、吸収特性と効率



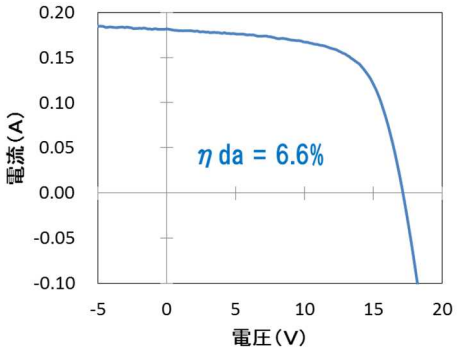


	効率	Jsc (mA/cm²)	Voc(V)	FF
社内測定	10.4	7.27	2.29	0.629

図Ⅲ-2-（ホ）-A-1（7）　トリプルタンデムセルの素子構造、吸収特性と効率

1.2.2　モジュール技術

モジュール効率 10%を目標に、高効率化検討を進めた。開口率の向上、集積構造の工夫、塗布条件検討、欠陥低減の工夫等により 20cm 角ガラスモジュールで 6.6%、フレキシブルモジュールで効率 2.0%を達成した。



	Isc (mA)	Voc (V)	FF	効率 (%)
高透明電極	153	6.4	0.45	2.0
従来ITO	121	6.0	0.40	1.2

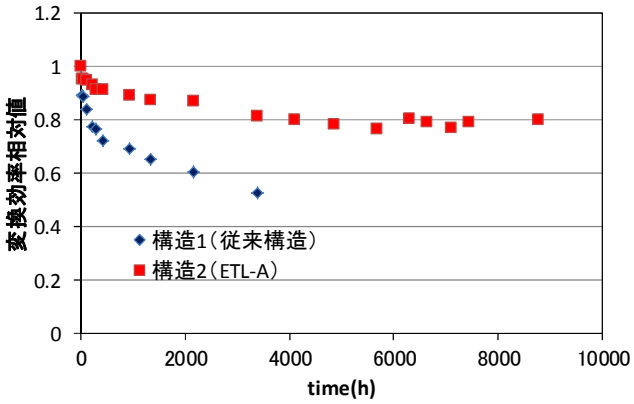
図Ⅲ-2-（ホ）-A-1（9）フレキシブルモジュールの出力特性（裏面電極；真空蒸着Ａｇ）

図Ⅲ-2-（ホ）-A-1（8）２０ｃｍ角サブモジュールのＩＶ曲線

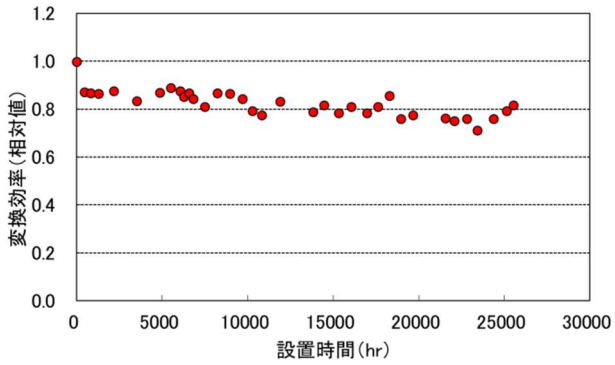
1.2.3.　耐久性

耐久性については、JISC8938 試験条件で効率低下 10%以内を目標に改良を進めた。バッファー層および封止方法の条件検討により初期効率 約７％のセルで JIS 規格 C8938 の試験条件である①温度ｻｲｸﾙ、②温湿度ｻｲｸﾙ、③光照射、④耐熱、⑤耐湿度試験での相対効率低下 10%以内を確認した。また、長期連続光照射試験（1SUN, 65℃）においては 8000 hr（8 年相当）経過後でも初期効率の 80%以上の効率を確認した。屋外実環境試験では、モジュールの屋外試験で、25000 時間（2.9 年間）経過後でも初期効率の 80%以上の効率を確認した。

試験項目	結果
温度サイクル試験	○（-10%）
温湿度サイクル試験	○（-9%）
光照射試験	○（-8%）
耐熱性試験	○（-3%）
耐湿性試験	○（-5%）



図Ⅲ-2-（ホ）-A-1（10） ＪＩＳ試験項目の達成状況



図Ⅲ-2-（ホ）-A-1（11） 屋外曝露試験の耐久性試験の結果とＯＰＶパネル

1.3 出光興産

1.3.1 出光興産

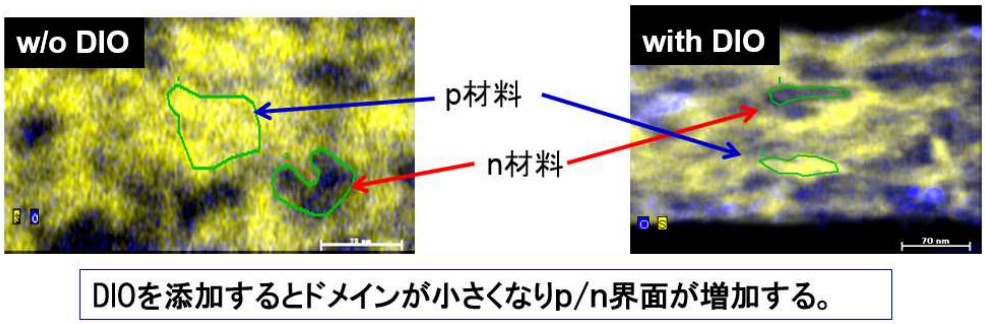
中間評価までの前半 2 年間においては、蒸着型材料を中心に要素技術を材料、セル構成（タンデム素子)、モジュールに分け、高効率化、高耐久性のための技術開発を行った。蒸着プロセスを最適化して、シングルセルにおいて、６％以上の効率を得た。

後半の 2 年半においては、前半の知見を活用し、塗布法による p 型層、n 型層を用いたタンデム素子を高効率目標の為のアイテムと位置づけ、低コストを実現する可能性の高い塗布型素子用の材料開発と塗布型中間層の開発に集中し、材料においてはタンデム素子用の短波長吸収材料に取り組み塗布型で変換効率 8%以上を達成した。

1.3.2 産総研

タンデム化の為の要素技術の開発および、塗布型有機薄膜太陽電池における要素技術の開発に関するテーマで研究開発を行った。タンデム化においては、特に Al doped zinc oxide (AZO)を n 型バッファ層とするタンデム素子を開発した。

また、塗布型有機薄膜太陽電池に関しては、バルクヘテロ発電層の相分離構造を明らかにするために、走査透過型電子顕微鏡（STEM）による断面観察を行った。試料は p 型ポリマーとフラーレン誘導体 PCBM の（１：１）混合膜である。図Ⅲ-2-（ホ）-A-1（12）は、p 型材料のみに含まれる S 元素をマッピングした画像で、明るい方が p 型材料である。添加剤の DIO なしでは大きいドメインが観測されるが、DIO 添加試料では相分離構造が微細になり、界面の面積が増加している。このため、DIO の添加による効率向上が起こっているものと考えられる。



図Ⅲ-2-（ホ）-A-1（12）　STEM を用いた元素マッピング

1.3.3.　千葉大学

標準デバイス（ＣｕＰｃ／Ｃ６０）の電荷輸送挙動の検討およびケルビン法或いは光収量電子分光法による有機薄膜太陽電池を形成する材料の電子構造の検討を行った。その結果、ＣｕＰｃとＣ６０で、バンドベンディングの存在を確認でき、発電に寄与する内部電場と考えられる。またバッファ層ＢＣＰでは巨大表面分極（ＧＳＰ）の存在を示唆する結果が得られ、その方向は陰極での電子取出しが容易となる向きとなっていることが判った。

1.3.4.　キヤノントッキ株式会社

大型の太陽電池製造に向けてセルのモジュール化を検討した。その結果２０ｃｍ角、　変換効率５．１％の低分子蒸着型の太陽電池モジュールの試作に成功した。

1.4　京都大学

「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発有機薄膜太陽電池モジュール創製に関する研究開発」サブテーマ-4「材料・構造最適化技術の研究開発」において、京都大学では①p 型材料の開発、②n 型材料の開発、③機構解明の研究、④素子性能の最適化の 4 つの項目について研究を進め、OPV 開発の基礎基盤にかかわる新コンセプトを提案するとともに必要なシーズを提供することにより、セル効率 12%及びモジュール効率 10%達成に貢献するとともに、各項目について所期の目標を達成した。

先ず、性能向上を目的とした材料開発研究を企業グループと連携して実施するとともに、新構造素子技術の開発により、独自にセル効率 10%を達成するとともに、機構解明研究では独自の固体 NMR などの手法を開発し、素子特性を評価することにより、薄膜構造も解析に成功した。また、素子特性の最適化研究では、新たな素子構造と評価手法を用い、未封止セルでの 1 年以上の長期耐久性を実証した。

1.4.1　p 型材料の開発、

新規 p 型材料については、J モデル、V モデルの設計指針の下に新規構造の探索を行い、2,5-チエノキノジメタン構造を主鎖に有する新規共役系高分子 PQD の開発により 1000 nm まで吸収を広げることに成功した。また、ナフトビスチアジアゾール（NTz）をアクセプターユニットとするドナー・アクセプター型ポリマーPNTz4T を開発し、$PC_{71}BM$ とのバルクヘテロ接合素子にて効率 10%を達成した。

1.4.2　n 型材料の開発、

新規 n 型材料については、高純度化によるセル効率の向上を図るとともに、第一還元電位を測定することにより *V*oc を予め予測することが可能となったことから PCBM を超える高い *V*oc をもつフラーレン誘導体を設計合成するとともに、開環フラーレンなど 30 種類を超える新規化合物ライブラリーの調製に成功しコンソ内企業グループに提供した。

1.4.3　機構解明の研究

高効率化の条件を明らかにするために、アクティブ層内のドナー/アクセプター(D/A)の階層構造を解析するための固体 NMR 法を確立した。独自に開発した固体 NMR 測定による BHJ 素子の D/A 相分離構造解析手法を *rr*P3HT：$PC_{61}BM$ 系に適用し、熱処理による変換効率向上が、20-40 nm オーダーでの相分離に起因することを明らかにした。同手法を 3 位アルキル側鎖長の異なるポリチオフェン：$PC_{61}BM$ 系に適用し、側鎖の違いが D/A 相分離構造に大きく影響し、さらに効率向上に反映することを解明し、高分子側鎖が、溶解度、移動度のみならず、相分離構造にも大きく影響していることを明らかにした。

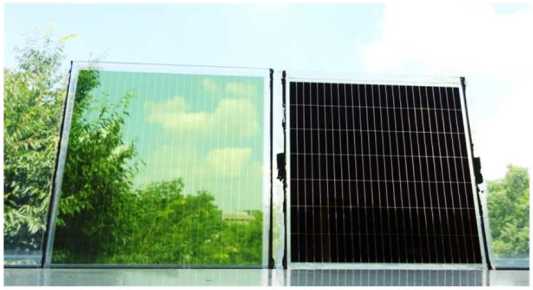
1.4.4　素子性能の最適化

素子特性の最適化を迅速に行える分光感度法・薄膜作製法の二つの手法開発に成功した。各種構成の順構造、逆構造セルを作製し、素子構造と効率の相関を明らかにし、無機バッファー層を導入した逆構造セルでの優れた特性を明らかにするとともに、連携企業のｐ型材料を用いて最適化効率9.6%を得ることに成功した。また、一年以上の長期耐久性テストを行い無機バッファー層を導入した逆構造素子が安定性においても優れた特性を維持できることを実証し、大きな劣化要因はFF低下にあり、素子を構成する各層界面の安定性が重要であることを明らかにした。

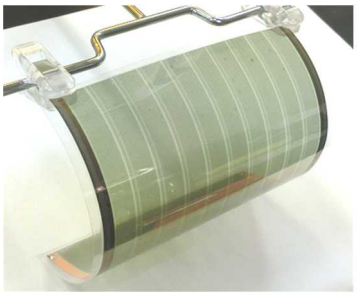
2. 実用化・事業化見通し

結晶シリコン太陽電池と比較して、有機薄膜太陽電池は多くの特長を有している。その中でも、用途、アプリケーションを検討するうえで重要となる特長を具体的に説明する。

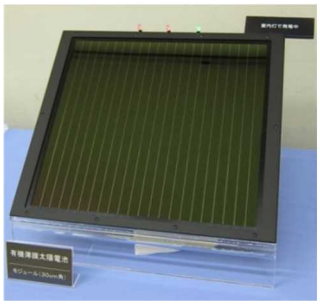
第１の特長は、薄型、軽量であり、フレキシブル化に優れ、またカラフルであることからデザインの自由度が大きい点である。さらに、透明性を活かした窓での発電等も考えられる。この特長を活かして、種々の試作を行った。試作例をⅢ-2-（ホ）-A-2（1）に示す。



透明モジュール

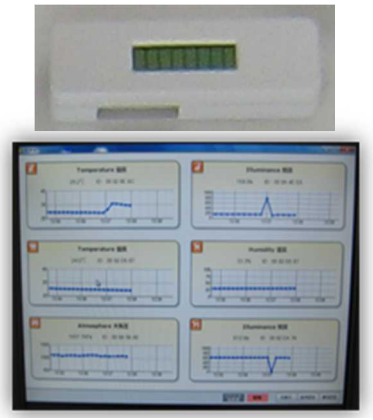


フレキシブルモジュール



３０ｃｍ×３０ｃｍモジュール

電子棚札

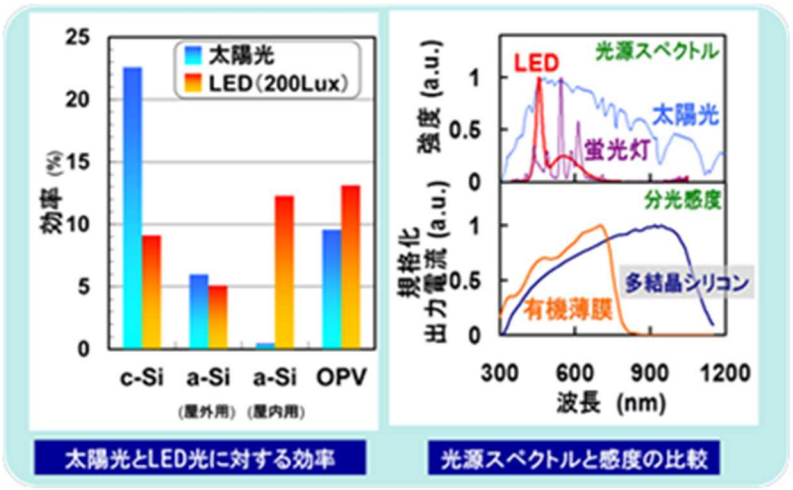


スマート環境センサー

Ⅲ-2-（ホ）-A-2（1）　各種有機薄膜太陽電池試作品

第２の特長は屋内照明光あるいは低照度下での変換効率に優れていることである。作製したモジュールを使い、室内光および低照度下での発電効率を結晶シリコン太陽電池、及びアモルファスシリコン太陽電池と比較検討した。

変換効率を太陽光（1 sun）及び LED 室内照明（200lux）の下で測定した結果をⅢ-2-（ホ）-A-2（2）に示す。結晶シリコン太陽電池の場合、室内光下（200lux）では太陽光下の 0.40 倍に低下するが、有機薄膜太陽電池の場合には 1.37 倍に上昇し、ａ－Ｓｉ太陽電池をも凌駕する高効率（13. 1%）が得られた。この結果は、LED 照明の発光波長範囲と有機薄膜太陽電池の感光波長範囲が、結晶シリコン太陽電池の場合に比べて似通っていることに起因しており、室内照明下では有機薄膜太陽電池が他の太陽電池よりも有利であることを示している。屋内設置型への応用が有力な候補であると言える



Ⅲ-2-（ホ）-A-2（2）　　室内照明下における変換効率

第３の特長は、塗布プロセスでの製造が可能であり、多様なサイズや形状に対応し易く、製造設備への投資額が少なくて済む、という点である。

これら有機薄膜系太陽電池の特長を生かす手法にフレキシブル化があり、その実用化を見極める必要がある。その特長とは、a. 製造プロセス開発による低コスト化、b. 有機薄膜系太陽電池の特長を活かした用途開発が挙げられる。

a. については、既に導入済みであるロール・ツー・ロール検討設備を使い、プロセス開発と低コスト化ポテンシャルの実証を進めた。現時点では、効率が最大 2%程度と低く、実用化には、更なる高効率化などの課題がある。一方、将来的に理想的な効率や生産性が確保できれば、独自のコスト試算では、結晶シリコン太陽電池と比較して、固定費が一桁安価であり、特に小規模生産の場合に有利と考えられる。

b. については、住友化学が住友共同電力との共同で、有機薄膜系太陽電池パネルの屋外曝露試験を実施し、シリコン系太陽電池に対する特長を把握した。また、有機薄膜系太陽電池の用途として想定される 水平な屋根、垂直な壁、窓などへ設置など、実用化を想定した評価を進めた。その結果、有機薄膜太陽電池は、夏場などの高温になりやすい条件で、シリコン太陽電池対比、発電量が多いなどの特長が認められた。また、日射量の小さい北側での設置で、シリコン太陽電池対比、発電量が多いなどの特長も認められた。今後は、これらの有機薄膜太陽電池の特長を生かした用途での実用化が期待される。

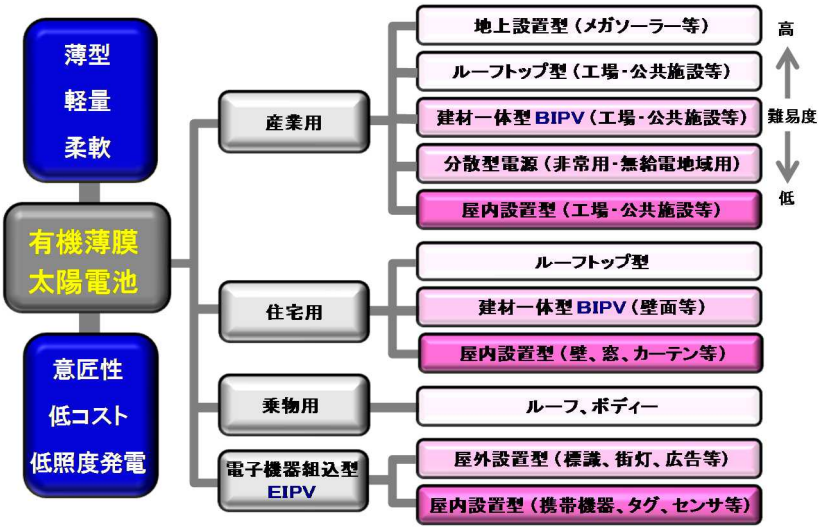
耐久性については、ガラス基板での有機薄膜太陽電池にて、JIS8938 の耐久性試験をクリアーし、更に、屋外暴露試験にて、3 年程度の間、大きな効率低下が認められない良好な結果が得られた。屋根置きなどの 10～20 年程度の長期間使用が想定される用途を前提とする場合は、更なる長期の耐久性の確認を継続する必要があるものと考えられる。

また、EIPV を想定した場合、薄膜太陽電池のベンチマーク先はアモルファスＳｉ太陽電池となる。アモルファスＳｉ太陽電池は屋外向け、屋内向けと別れており、すでに事業化されている。室内照明に対する効率がアモルファスＳｉ太陽電池より高いとしても面積の拡大が許されるデバイスの場合、効率のアドバンテージは小さくなってしまう。そこで、搭載面積に限りがある腕時計向けの電源として検討を進めている。腕時計は、近年、ＧＰＳ付きが発売され、必要な発電能力は高くなってきている。また、有機薄膜太陽電池は室内照明に対してだけではなく、太陽光に対しても発電能力がアモルファスＳｉ太陽電池より高いため、太陽直射光による急速充電が可能である。屋内照明光か、太陽光かどちらかを選択する必要があるアモルファスＳｉ太陽電地とは大きく異なる点である。材料コスト、プロセスコストは、まだ割高だが、面積が小さいため、腕時計のコストに対する有機薄膜太陽電池のコストが小さく、大量生産による材料費の低減が十分でなくとも、利益は確保できる可能性がある。効率、耐久性のみならず、コストや設備投資費用を含めて検討を進めている。

また、本プロジェクトでは、OPV コンソーシアムの 3 企業と連携し、OPV セル・モジュール効率で世界最高の認証データを得るなど当初予想を上回る成果を挙げることができた。今後、本事業の成果を基に、高効率なフレキシブル有機太陽電池の実用化への道筋を開くことが重要となることから、有機太陽電池研究コンソーシアムを平成 25 年に設立し、OPV の周辺技術

を持つ企業10社とともにセンサーネットワーク、農業用等への用途展開を目指した分科会を立ち上げいずれも国の支援するプロジェクトへと展開した。今後は、ペロブスカイト系有機太陽電池を含めた有機太陽電池の市場化への展開を進めていく計画である。

最後に、Ⅲ-2-（ホ）-A-2（3）に有機薄膜太陽電池の多様なアプリケーション、Ⅲ-2-（ホ）-A-2（4）にＯＰＶの製品イメージを示す。用途に応じて、それぞれの課題に対する目標レベルが異なると考えられる。今後は、ユーザーとしての意見や情報収集を行い、仕様を明確化し、製品化のための技術開発の検討を進める。



Ⅲ-2-（ホ）-A-2（3）　有機薄膜太陽電池の特徴とアプリケーション検討

Ⅲ-2-（ホ）-A-2（4）　ＯＰＶの製品イメージ

3. 波及効果

3.1 技術的・経済的・社会的波及効果

a. 次世代太陽電池市場における我国の覇権奪還につながる成果と期待する。

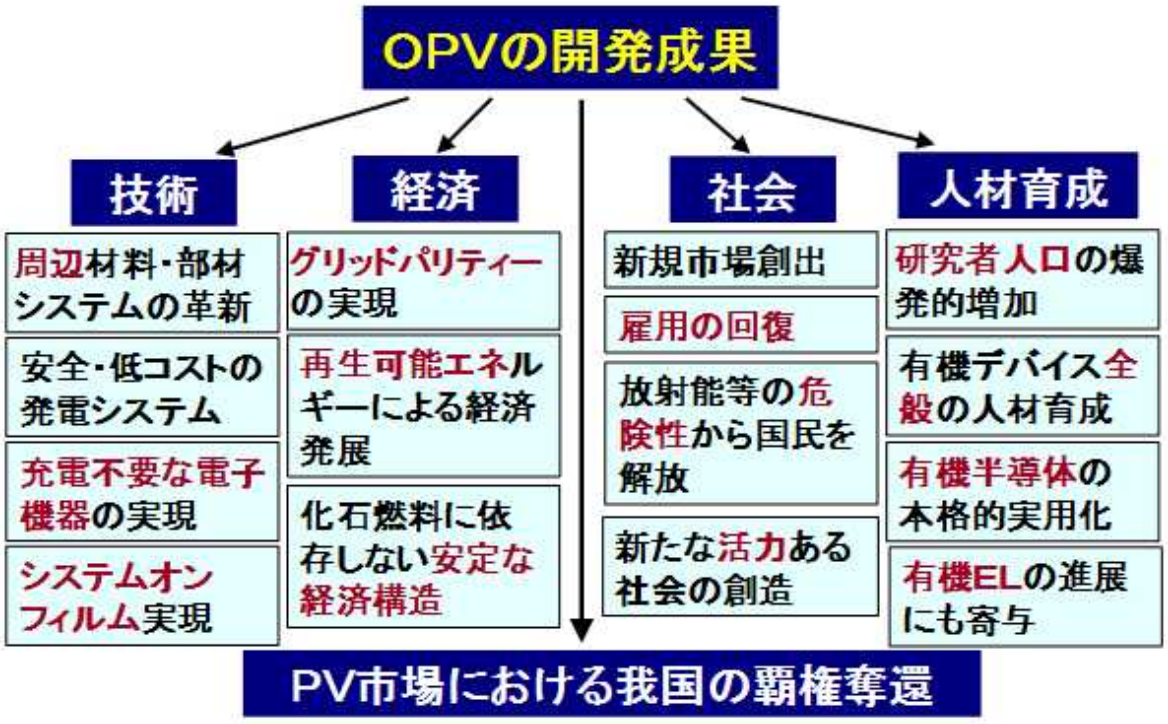
b. 技術的には、単に有機薄膜太陽電池セル技術の開発に留まらず、周辺材料・周辺部材・システムにおいても技術革新を誘発するとともに、安全で低コストの発電システムや充電の不要な電子機器の開発を促す。さらに、印刷による低コスト製造技術の開発は、他の電子デバイスの製造技術にも変革をもたらし、高機能・低コストデバイスの実現を可能にする。

c. 経済的には、グリッドパリティーを実現し再生可能エネルギーによる我が国の経済発展を促すとともに、化石燃料に依存しない安定な経済構造をもたらす。

d. 社会的には、新規市場の創出によって雇用を回復すると共に、放射能等の危険性から国民を解放し、新たな活力ある社会を生み出す。

3.2 当該分野の研究開発や人材育成の促進

近年の有機薄膜太陽電池開発の進展は、当該分野における研究者人口の爆発的増加を招来し、広く有機デバイス全般の研究開発や人材育成にも多大の効果をもたらしつつある。有機薄膜太陽電池開発の成功は、有機半導体技術の本格的な実用化を促すのみならず、技術的には有機薄膜太陽電池に先行してきた有機ＥＬディスプレイや有機ＥＬ照明などの進展にも寄与することは疑いない。



Ⅲ-2-（ホ）-A-3（1）　波及効果

4. 今後の展開

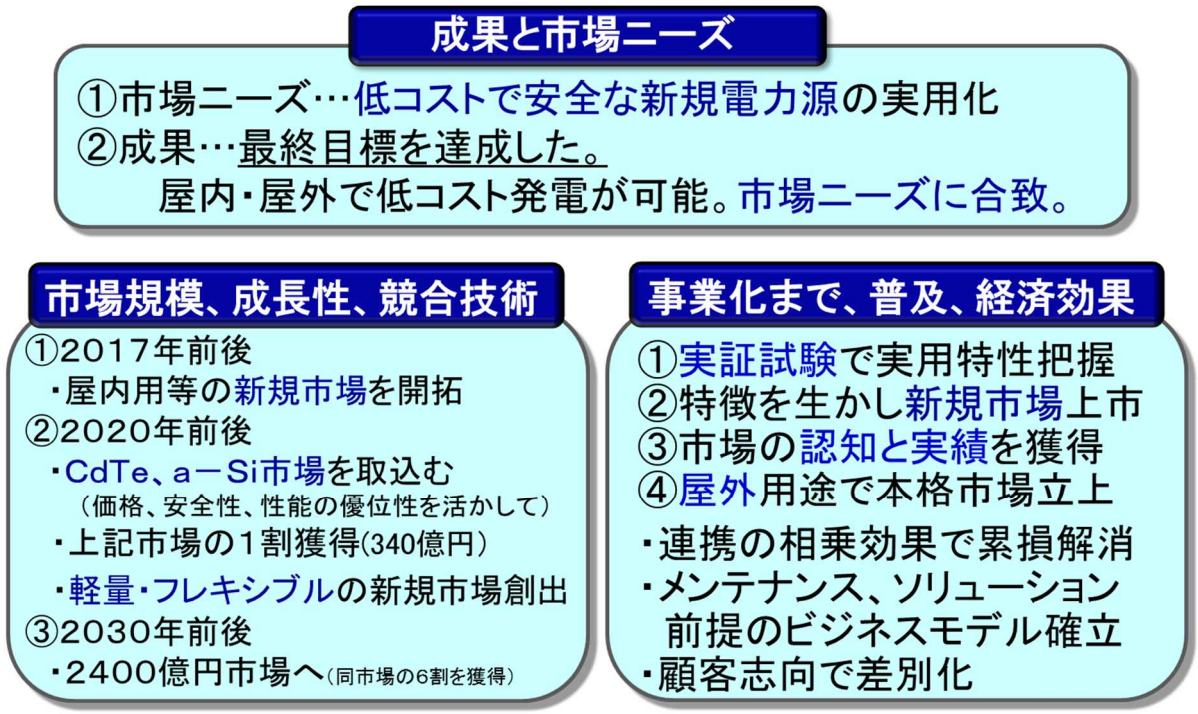
これまでの調査より、室内用エネルギーハーベスティング技術（屋内設置型ＥＩＰＶ）への展開を第１フェーズ、限界集落用独立電源（オフグリッド中小発電システム）や建材一体型（垂直な外壁、北側斜面、内壁）といった中小規模発電システムへの展開を第２フェーズ、住宅の屋根置きやメガソーラ（オングリッド発電システム）への展開を第３フェーズとする事業化計画を作成した。

また、当面は高効率化を最重要課題としてガラス基板、タンデム及び塗布型の構成に重点特化して開発を進め、数年後にフレキシブルプラ基板による低価格化に移行する方針で開発を急ぐ予定である。

アプリケーション開発に加え、有機薄膜太陽電池の特性を考慮したビジネスモデルの検討も行った。特に有機薄膜太陽電池の寿命特性を考慮すると、イニシャルコストは極力低く抑えて（出来ればゼロ）市場を立ち上げ、パネルの定期交換を含むメンテナンスやソリューションビジネスで適正な利潤を回収するモデルが適していると思われる。この場合パネルの低コスト化が必須となるが、このようなビジネスモデルと組み合わせることによって他国に対して差別化を図り、ＰＶ市場における我が国の覇権を奪還する。

また、ＯＰＶのコスト、安全性、性能の優位性を活かしてＣｄＴｅ、ａ－Ｓｉ市場の取り込み、及び軽量・フレキシブルの特性を活かした新規市場創出を目指す。

本コンソーシアムでは、各委託先が連携して技術開発を進めている。今後事業化ステージにおいても、各委託先が持つ強みを最大限に活かしながら連携を深め、新市場創出を目指していく。



参考：富士経済「2014年版 太陽電池関連技術・市場の現状と将来展望」

Ⅲ-2-（ホ）-A-4（1）　今後の展開

5. 特許論文リスト

（総計）

	H22	H23	H24	H25	H26	終了後	計
特許出願（うち外国出願）	１４	３９	３２	２１	３６	０	１４２（４８）件
論文（査読付き）	０	８	６（１）	５（１）	６	３（１）	２８（３）件
研究発表・講演（うち国際会議）	４（１）	１０（４）	１６（４）	１６（３）	１０（２）	０	５６（１４）件
新聞・雑誌等への掲載	０	０	３	１	２	０	６件
受賞実績	０	０	０	２	２	０	４件
展示会への出展	０	０	０	３	３	０	６件

【特許】

（１）東芝

番号	出願者	出願番号	国内外国PCT	出願日	状態	発明の名称	発明者
1	株式会社東芝	P2011-057039	国内	平成23年3月15日	登録	有機薄膜太陽電池モジュール及びサブモジュール	高山　暁、中尾英之、小野昭彦、稲葉道彦
2	株式会社東芝	P2011-059905	国内	平成23年3月17日	登録	太陽電池モジュール	大岡青日、斉藤三長、細矢雅弘、岩永寛規、稲葉道彦
3	株式会社東芝	P2011-073426	国内	平成23年3月29日	登録	ポリマーおよびそれを用いた太陽電池、太陽光発電システム	岩永寛規、相賀史彦、細矢雅弘、斉藤三長、大岡青日、小野昭彦
4	株式会社東芝	P2011-206437	国内	平成23年9月21日	登録	薄膜太陽電池モジュール	高山　暁、大岡青日、中尾英之、工藤由紀、稲葉道彦
5	株式会社東芝	P2011-206541	国内	平成23年9月21日	登録	有機薄膜太陽電池	浦野妙子、小野昭彦、斉藤三長、細矢雅弘、稲葉道彦
6	株式会社東芝	201210066992.9（中国）	外国	平成24年3月14日	登録	有機薄膜太陽電池モジュール及びサブモジュール	高山　暁、中尾英之、小野昭彦、稲葉道彦

7	株式会社東芝	13/419473（米国）	外国	平成 24 年 3 月 14 日	出願	有機薄膜太陽電池モジュール及びサブモジュール	高山　暁、中尾英之、小野昭彦、稲葉道彦
8	株式会社東芝	201210071371.X（中国）	外国	平成 24 年 3 月 16 日	登録	太陽電池モジュール	大岡青日、斉藤三長、細矢雅弘、岩永寛規、稲葉道彦
9	株式会社東芝	13/422127（米国）	外国	平成 24 年 3 月 16 日	登録	太陽電池モジュール	大岡青日、斉藤三長、細矢雅弘、岩永寛規、稲葉道彦
10	株式会社東芝	13/429653（米国）	外国	平成 24 年 3 月 26 日	出願	ポリマーおよびそれを用いた太陽電池、太陽光発電システム	岩永寛規、相賀史彦、細矢雅弘、斉藤三長、大岡青日、小野昭彦
11	株式会社東芝	P2012-074491	国内	平成 24 年 3 月 28 日	登録	ポリマーおよびそれを用いた太陽電池、太陽光発電システム	岩永寛規、小野昭彦、相賀史彦
12	株式会社東芝	P2012-241875	国内	平成 24 年 11 月 1 日	出願	ポリマーおよびそれを用いた有機薄膜太陽電池	中野義彦、五反田武志、早瀬留美子、工藤由紀
13	株式会社東芝	P2012-213104	国内	平成 24 年 9 月 26 日	登録	太陽電池モジュール	中尾英之、高山　暁、小野昭彦、大岡青日、稲葉道彦
14	株式会社東芝	P2012-213150	国内	平成 24 年 9 月 26 日	公開	太陽電池モジュール	高山　暁、大岡青日、中尾英之、工藤由紀、小野昭彦、稲葉道彦
15	株式会社東芝	P2014-544526	国内	平成 24 年 10 月 29 日	出願	ポリマーおよびそれを用いた有機薄膜太陽電池、ならびにその電池を具備してなる電子機器	中野義彦、五反田武志、早瀬留美子、工藤由紀
16	株式会社東芝	P2012-252328	国内	平成 24 年 11 月 16 日	登録	太陽電池及び太陽電池モジュール	中尾英之、高山　暁、大岡青日
17	株式会社東芝	13/752475（米国）	外国	平成 25 年 1 月 19 日	登録	ポリマーおよびそれを用いた太陽電池、太陽光発電システム	岩永寛規、小野昭彦、相賀史彦
18	株式会社東芝	201310050646.6（中国）	外国	平成 25 年 2 月 8 日	出願	ポリマーおよびそれを用いた太陽電池、太陽光発電システム	岩永寛規、小野昭彦、相賀史彦

19	株式会社東芝	P2013-138234	国内	平成 25 年 7 月 1 日	出願	太陽電池、太陽電池モジュール及び太陽電池の製造方法	高山　暁、大岡青日、中尾英之、小野昭彦
20	株式会社東芝	P2013-196819	国内	平成 25 年 9 月 24 日	公開	太陽電池及び太陽電池モジュール	工藤由紀、中尾英之、高山　暁、小野昭彦、大岡青日
21	株式会社東芝	P2013-136977	国内	平成 25 年 6 月 28 日	公開	ポリマーとそれを用いた太陽電池	中野義彦、五反田武志、森　茂彦、早瀬留美子
22	株式会社東芝	14/022452（米国）	外国	平成 25 年 9 月 10 日	終結	太陽電池モジュール	高山　暁、大岡青日、中尾英之、工藤由紀、小野昭彦、稲葉道彦
23	株式会社東芝	14/027526（米国）	外国	平成 25 年 9 月 16 日	出願	太陽電池モジュール	中尾英之、高山　暁、小野昭彦、大岡青日、稲葉道彦
24	株式会社東芝	201310423203.7（中国）	外国	平成 25 年 9 月 16 日	終結	太陽電池モジュール	高山　暁、大岡青日、中尾英之、工藤由紀、小野昭彦、稲葉道彦
25	株式会社東芝	P2013/079293（PCT）	PCT	平成 25 年 10 月 29 日	終結	ポリマーおよびそれを用いた有機薄膜太陽電池、ならびにその電池を具備してなる電子機器	中野義彦、五反田武志、早瀬留美子、工藤由紀
26	株式会社東芝	102139623（台湾）	外国	平成 25 年 10 月 31 日	出願	ポリマーおよびそれを用いた有機薄膜太陽電池、ならびにその電池を具備してなる電子機器	中野義彦、五反田武志、早瀬留美子、工藤由紀
27	株式会社東芝	14/078902（米国）	外国	平成 25 年 11 月 13 日	出願	太陽電池及び太陽電池モジュール	中尾英之、高山　暁、大岡青日
28	株式会社東芝	P2014-60063	国内	平成 26 年 3 月 24 日	出願	ポリマーとそれを用いた太陽電池	中野義彦、森　茂彦、五反田武志、相賀史彦、早瀬留美子
29	株式会社東芝	P2014/062398（PCT）	PCT	平成 26 年 5 月 8 日	出願	太陽電池及び太陽電池モジュール	工藤由紀、中尾英之、高山　暁、小野昭彦、大岡青日

30	株式会社東芝	P2014/002939 (PCT)	PCT	平成 26 年 6 月 3 日	出願	ポリマーとそれを用いた太陽電池	中野義彦、五反田武志、森　茂彦、早瀬留美子
31	株式会社東芝	P2014/066740 (PCT)	PCT	平成 26 年 6 月 24 日	出願	太陽電池、太陽電池モジュール及び太陽電池の製造方法	高山　暁、大岡青日、中尾英之、小野昭彦
32	株式会社東芝	103121768 (台湾)	外国	平成 26 年 6 月 24 日	出願	ポリマーとそれを用いた太陽電池	中野義彦、五反田武志、森　茂彦、早瀬留美子
33	株式会社東芝	P2014-181652	国内	平成 26 年 9 月 5 日	出願	光電変換素子、光電変換素子の配線基板、光電変換素子の製造方法、および光電変換構造体	五反田武志、森　茂彦、斉藤三長、大岡青日、都鳥顕司、中尾英之、高山　暁
34	株式会社東芝	P2014-192261	国内	平成 26 年 9 月 22 日	出願	光電変換素子	五反田武志
35	株式会社東芝	P2014-193127	国内	平成 26 年 9 月 22 日	出願	光電変換素子および光電変換素子の製造方法	五反田武志、斉藤三長、森　茂彦
36	株式会社東芝	P2014-192518	国内	平成 26 年 9 月 22 日	出願	光電変換装置	丁　香美、飯田敦子、五反田武志、中尾英之、森　茂彦、都鳥顕司
37	株式会社東芝	P2014-233690	国内	平成 26 年 11 月 18 日	出願	光電変換装置	五反田武志、森　茂彦、信田直美、都鳥顕司、朝倉太郎
38	株式会社東芝	P2014-235012	国内	平成 26 年 11 月 19 日	出願	有機薄膜太陽電池	丁　香美、五反田武志、都鳥顕司
39	株式会社東芝	P2014-234865	国内	平成 26 年 11 月 19 日	出願	光発電モジュールを有する電子棚札	斉藤三長、朝倉太郎
40	株式会社東芝	P2015-33906	国内	平成 27 年 2 月 24 日	出願	太陽電池とその製造方法	飯田敦子、中尾英之、大岡青日、五反田武志、早瀬留美子、丁　香美、都鳥顕司

41	株式会社東芝	P2015-046239	国内	平成 27 年 3 月 9 日	出願	太陽電池モジュール	森　茂彦、五反田武志、中尾英之、丁　香美、松井明洋、大岡青日、都鳥顕司
42	株式会社東芝	P2015-46475	国内	平成 27 年 3 月 9 日	出願	太陽電池モジュールおよびその製造方法	中尾英之、大岡青日
43	株式会社東芝	P2015-047349	国内	平成 27 年 3 月 10 日	出願	光電変換素子および太陽電池	松井明洋、五反田武志、都鳥顕司
44	株式会社東芝	P2015-051360	国内	平成 27 年 3 月 13 日	出願	太陽電池モジュール	森　茂彦、五反田武志、丁　香美、松井明洋、大岡青日、朝倉太郎、都鳥顕司
45	株式会社東芝	P2015/001421 (PCT)	PCT	平成 27 年 3 月 13 日	出願	ポリマーとそれを用いた太陽電池	中野義彦、森　茂彦、五反田武志、相賀史彦、早瀬留美子
46	株式会社東芝	P2015-53614	国内	平成 27 年 3 月 17 日	出願	光電変換装置および光電変換装置の製造方法	中尾英之、高山　暁、大岡青日
47	株式会社東芝	P2015-56510	国内	平成 27 年 3 月 19 日	出願	太陽電池モジュール	飯田敦子、五反田武志、中尾英之、大岡青日、早瀬留美子、森　茂彦、都鳥顕司
48	株式会社東芝	P2015-056141	国内	平成 27 年 3 月 19 日	出願	光電変換素子とその製造方法	大岡青日、中尾英之
49	株式会社東芝	P2015-57355	国内	平成 27 年 3 月 20 日	出願	有機光電変換素子及びその製造方法	森　茂彦、五反田武志、中野義彦、斉藤三長、都鳥顕司、早瀬留美子、信田直美、大岡青日、中尾英之、朝倉太郎、細矢雅弘
50	株式会社東芝	P2015-058639	国内	平成 27 年 3 月 20 日	出願	ポリマーとそれを用いた太陽電池	中野義彦、森　茂彦、五反田武志、早瀬留美子

51	株式会社東芝	104108968（台湾）	外国	平成 27 年 3 月 20 日	出願	ポリマーとそれを用いた太陽電池	中野義彦、森　茂彦、五反田武志、相賀史彦、早瀬留美子
52	株式会社東芝	P2015-59851	国内	平成 27 年 3 月 23 日	出願	塗布装置、塗布方法及び塗布プログラム	中尾英之、大岡青日
53	株式会社東芝	P2015-59411	国内	平成 27 年 3 月 23 日	出願	ポリマーとそれを用いた太陽電池	中野義彦、森　茂彦、五反田武志、相賀史彦、早瀬留美子
54	株式会社東芝	P2015-61585	国内	平成 27 年 3 月 24 日	出願	ポリマーとそれを用いた太陽電池	中野義彦、森　茂彦、五反田武志、相賀史彦、早瀬留美子
55	株式会社東芝	P2015-061587	国内	平成 27 年 3 月 24 日	出願	光電変換素子および光電変換素子の製造方法	大岡青日、中尾英之
56	株式会社東芝	P2015-61830	国内	平成 27 年 3 月 25 日	出願	光電変換素子およびその製造方法	五反田武志、丁　香美、飯田敦子、斉藤三長、中野義彦
57	株式会社東芝	P2015-067663	国内	平成 27 年 3 月 27 日	出願	塗布装置および塗布方法	中尾英之、大岡青日
58	株式会社東芝	P2015-68300	国内	平成 27 年 3 月 30 日	出願	光電変換素子およびその製造方法	大岡青日、飯田敦子、中尾英之、都鳥顕司、五反田武志
59	株式会社東芝	P2015-074226	国内	平成 27 年 3 月 31 日	出願	光発電モジュール	斉藤三長、朝倉太郎

（2）住友化学

番号	出願者	出願番号	国内外国PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	住友化学	特願 2010-230291	国内	平成 22 年 10 月 13 日	出願	高分子化合物及びそれを用いた有機光電変換素子	上谷保則、吉村研
2	住友化学	特願 2010-245934	国内	平成 22 年 11 月 2 日	出願	高分子化合物及びそれを用いた有機光電変換素子	上谷保則、吉村研
3	住友化学	特願 2010-263266	国内	平成 22 年 11 月 26 日	出願	高分子化合物及びそれを用いた有機光電変換素子	上谷保則、吉村研
4	住友化学	特願 2011-005739	国内	平成 23 年 1 月 14 日	出願	有機光電変換素子	上谷保則
5	住友化学	特願 2011-071898	国内	平成 23 年 3 月 29 日	出願	有機光電変換素子およびその製造方法	上谷保則
6	住友化学	特願 2011-097977	国内	平成 23 年 4 月 26 日	出願	マルチ接合構造光電変換素子およびその製造方法	上谷保則

7	住友化学	特願 2011-214046	国内	平成 23 年 9 月 29 日	出願	高分子化合物及びそれを用いた有機光電変換素子	上谷保則、吉村研
8	住友化学 京都大学	特願 2011-216631	国内	平成 23 年 9 月 30 日	出願	有機光電変換素子	梅山有和、今堀博、三宅邦仁
9	住友化学	PCT/JP2011/073278	PCT	平成 23 年 10 月 4 日	公開	高分子化合物及びそれを用いた有機光電変換素子	上谷保則、吉村研
10	住友化学	100136430 台湾	外国	平成 23 年 10 月 7 日	公開	高分子化合物及びそれを用いた有機光電変換素子	上谷保則、吉村研
11	住友化学	特願 2011-229440	国内	平成 23 年 10 月 19 日	出願	高分子化合物及びそれを用いた有機光電変換素子	上谷保則、吉村研
12	住友化学	PCT/JP2011/074888	PCT	平成 23 年 10 月 21 日	公開	高分子化合物及びそれを用いた有機光電変換素子	上谷保則、吉村研
13	住友化学	特願 2011-238429	国内	平成 23 年 10 月 31 日	出願	高分子化合物及びそれを用いた光電変換素子	上谷保則、吉村研
14	住友化学 鳥取大学	特願 2011-238300	国内	平成 23 年 10 月 31 日	出願	フラーレン誘導体	伊藤敏幸、上谷保則
15	住友化学	PCT/JP2011/075884	PCT	平成 23 年 11 月 2 日	公開	高分子化合物及びそれを用いた有機光電変換素子	上谷保則、吉村研
16	住友化学	100143080 台湾	外国	平成 23 年 11 月 24 日	公開	高分子化合物及びそれを用いた有機光電変換素子	上谷保則、吉村研
17	住友化学	PCT/JP2012/050533	PCT	平成 24 年 1 月 5 日	出願	有機光電変換素子	上谷保則
18	住友化学	101100757 台湾	外国	平成 24 年 1 月 9 日	出願	有機光電変換素子	上谷保則
19	住友化学	PCT/JP2012/056047	PCT	平成 24 年 3 月 2 日	出願	有機光電変換素子およびその製造方法	上谷保則
20	住友化学	101107426 台湾	外国	平成 24 年 3 月 6 日	出願	有機光電変換素子およびその製造方法	上谷保則
21	住友化学	PCT/JP2012/061003	PCT	平成 24 年 4 月 18 日	出願	マルチ接合構造光電変換素子およびその製造方法	上谷保則
22	住友化学	特願 2012-126748	国内	平成 24 年 6 月 4 日	出願	組成物及びそれを用いた電子素子	池滝何以、吉村研
23	住友化学 京都大学	特願 2012-126978	国内	平成 24 年 6 月 4 日	出願	光電変換素子	今堀博、三宅邦仁
24	住友化学 京都大学	特願 2012-195188	国内 (優)	平成 24 年 9 月 5 日	出願	光電変換素子	梅山有和、今堀博、三宅邦仁
25	住友化学 京都大学	PCT/JP2012/73934	PCT	平成 24 年 9 月 19 日	出願	光電変換素子	梅山有和、今堀博、三宅邦仁
26	住友化学	特願 2013－082700	国内	平成 25 年 4 月 11 日	出願	化合物およびそれを用いた電子素子	吉村研、上谷保則
27	住友化学	PCT/JP2013/065124	PCT	平成 25 年 6 月 4 日	出願	組成物及びそれを用いた電子素子	池滝何以、吉村研
28	住友化学 鳥取大学	特願 2013－142700	国内	平成 25 年 7 月 8 日	出願	フラーレン誘導体	上谷保則、伊藤敏幸

29	住友化学	US14004694	PCT(移行)	平成 25 年 9 月 12 日	出願	METHOD OF PRODUCING ORGANIC PHOTOELECTRIC CONVERSION DEVICE	上谷保則
30	住友化学	CN201280014865.2	PCT(移行)	平成 25 年 9 月 24 日	出願	有机光电转换元件的制造方法	上谷保則
31	住友化学	特願 2013－234701	国内	平成 25 年 11 月 13 日	出願	ホスフィンオキサイド化合物を含むバッファー層及びこれを用いた光電変換素子	池滝何以
32	住友化学	特願 2013－234702	国内	平成 25 年 11 月 13 日	出願	色素を含むバッファー層及びこれを用いた光電変換素子	池滝何以
33	住友化学 鳥取大学	特願 2013－246470	国内(優)	平成 25 年 11 月 28 日	出願	フラーレン誘導体	伊藤敏幸、松本恵、上谷保則、吉村研
34	住友化学	特願 2014－018231	国内	平成 26 年 2 月 3 日	出願	有機光電変換素子	池滝何以
35	住友化学	US14405099	PCT(移行)	平成 26 年 12 月 2 日	出願	COMPOSITION AND ELECTRONIC DEVICE USING THE SAME	池滝何以、吉村研
36	住友化学	特願 2014-254823	国内	平成 26 年 12 月 17 日	出願	組成物およびそれを用いた有機半導体素子	梶弘典、福島達也、石橋寛隆、吉村研、上谷　保則

（３）出光興産

番号	出願者	出願番号	国内外国PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	出光興産	特願 2011-079772	国内	平成 23 年 3 月 31 日	放棄番号８へ	有機薄膜太陽電池及び有機薄膜太陽電池モジュール	前田竜志、東海林弘
2	出光興産	特願 2011-197703	国内	平成 23 年 9 月 9 日	放棄番号 17～19 へ	有機薄膜太陽電池材料	安川圭一、池田秀嗣、前田竜志
3	出光興産	特願 2012-001311	国内	平成 24 年 1 月 6 日	放棄番号 27～29 へ	有機光電変換素子及び有機薄膜太陽電池モジュール	前田竜志、東海林弘、安川圭一
4	出光興産	特願 2012-029340	国内	平成 24 年 2 月 14 日	審査請求	光電変換素子、及びその製造方法	町田佳美、東海林弘
5	出光興産	特願 2012-029522	国内	平成 24 年 2 月 14 日	審査請求	有機薄膜太陽電池素子用材料、及びそれを用いた有機薄膜太陽電池	奥田文雄、柴田充、町田佳美、前田竜志

6	出光興産	特願 2012-030357	国内	平成 24 年 2 月 15 日	公開	有機薄膜太陽電池材料及びそれを用いた有機薄膜太陽電池	安川圭一、奥田文雄、町田佳美
7	出光興産	特願 2012-046511	国内	平成 24 年 3 月 2 日	審査請求	有機薄膜太陽電池	前田竜志、東海林弘
8	出光興産	PCT/JP2012/002175	PCT	平成 24 年 3 月 29 日	放棄番号 9～13 へ	有機薄膜太陽電池及び有機薄膜太陽電池モジュール	前田竜志、東海林弘
9	出光興産	14/001844 US	外国	平成 24 年 3 月 29 日	公開	有機薄膜太陽電池及び有機薄膜太陽電池モジュール	前田竜志、東海林弘
10	出光興産	12764013.4 EPC	外国	平成 24 年 3 月 29 日	審査請求	有機薄膜太陽電池及び有機薄膜太陽電池モジュール	前田竜志、東海林弘
11	出光興産	2013-7025371 KR	外国	平成 24 年 3 月 29 日	出願	有機薄膜太陽電池及び有機薄膜太陽電池モジュール	前田竜志、東海林弘
12	出光興産	201280013489.5 CN	外国	平成 24 年 3 月 29 日	審査請求	有機薄膜太陽電池及び有機薄膜太陽電池モジュール	前田竜志、東海林弘
13	出光興産	101111574 台湾	外国	平成 24 年 3 月 30 日	公開	有機薄膜太陽電池及び有機薄膜太陽電池モジュール	前田竜志、東海林弘
14	出光興産	特願 2012-121141	国内	平成 24 年 5 月 25 日	放棄番号 20 へ	有機薄膜太陽電池及び有機薄膜太陽電池モジュール	前田竜志、安川圭一、池田秀嗣
15	出光興産	特願 2012-176916	国内	平成 24 年 8 月 9 日	公開	有機太陽電池モジュール	町田佳美
16	出光興産	特願 2012-181413	国内	平成 24 年 8 月 20 日	公開	有機薄膜太陽電池モジュール	前田竜志、高橋純一、東海林弘
17	出光興産	特願 2013-532437	国内優先	平成 24 年 9 月 4 日	出願	有機薄膜太陽電池材料	安川圭一、池田秀嗣、前田竜志
18	出光興産	特願 2013-532439	国内優先	平成 24 年 9 月 4 日	出願	有機太陽電池	安川圭一、池田秀嗣、前田竜志
19	出光興産	PCT/JP2012/005593	PCT	平成 24 年 9 月 4 日	公開	有機薄膜太陽電池材料	安川圭一、池田秀嗣、前田竜志
20	出光興産	PCT/JP2012/005595	PCT	平成 24 年 9 月 4 日	放棄番号 21 へ	有機太陽電池	安川圭一、池田秀嗣、前田竜志
21	出光興産	101132189 台湾	外国	平成 24 年 9 月 4 日	公開	有機太陽電池	安川圭一、池田秀嗣、前田竜志
22	出光興産	特願 2012-203425	国内	平成 24 年 9 月 14 日	公開	有機太陽電池システム	前田竜志、東海林弘
23	出光興産	特願 2012-212890	国内	平成 24 年 9 月 26 日	公開	アザジピロメテン化合物を含む有機薄膜太陽電池材料	安川圭一、池田秀嗣、町田佳美

24	出光興産	特願 2012-222105	国内	平成 24 年 10 月 4 日	公開	有機太陽電池	前田竜志、 東海林弘
25	出光興産	特願 2012-224882	国内	平成 24 年 10 月 10 日	公開	ジベンゾピロメテン化合物を含む有機薄膜太陽電池材料	安川圭一、 町田佳美
26	出光興産	特願 2012-239419	国内	平成 24 年 10 月 30 日	公開	タンデム型有機薄膜太陽電池	東海林弘、 前田竜志、 町田佳美
27	出光興産	特願 2013-552351	国内 優先	平成 24 年 12 月 26 日	出願	有機光電変換素子及び有機薄膜太陽電池モジュール	前田竜志、 東海林弘、 安川圭一
28	出光興産	PCT/JP2012/ 008316	PCT	平成 24 年 12 月 26 日	公開	有機光電変換素子及び有機薄膜太陽電池モジュール	前田竜志、 東海林弘、 安川圭一
29	出光興産	102100341 台湾	外国	平成 25 年 1 月 4 日	公開	有機光電変換素子及び有機薄膜太陽電池モジュール	前田竜志、 東海林弘、 安川圭一
30	出光興産	特願 2013-050531	国内	平成 25 年 3 月 13 日	公開	アントラジチオフェン化合物、アントラジチオフェン化合物を含む有機薄膜太陽電池材料、及び該有機薄膜太陽電池材料を用いた有機薄膜太陽電池	安川圭一
31	出光興産	特願 2013-050532	国内	平成 25 年 3 月 13 日	公開	ジシアノキノジメタン化合物、ジシアノキノジメタン化合物を含む有機薄膜太陽電池材料、及び該有機薄膜太陽電池材料を用いた有機薄膜太陽電池	安川圭一、 町田佳美
32	出光興産	特願 2013-071368	国内	平成 25 年 3 月 29 日	出願	ＩｎＣｌＰｃを含む有機薄膜太陽電池	町田佳美、 前田竜志、 東海林弘
33	出光興産	特願 2013-070818	国内	平成 25 年 3 月 29 日	出願	有機太陽電池	前田竜志
34	出光興産	特願 2014-058544	国内	平成 26 年 3 月 20 日	出願	縮環系シクロペンタジチオフェン骨格を有するポリマー及びそれを用いた有機薄膜太陽電池材料	池田秀嗣、 奥田文雄、 町田佳美、 前田竜志
35	出光興産	特願 2014-062339	国内	平成 26 年 3 月 25 日	出願	ベンゾジチオフェン骨格を有するポリマー及びそれを用いた有機薄膜太陽電池材料	奥田文雄、 池田秀嗣、 町田佳美、 前田竜志

36	出光興産	特願 2014-144077	国内	平成 26 年 7 月 14 日	出願	高分子化合物及びそれを用いた有機薄膜太陽電池材料	奥田文雄、前田竜志、町田佳美、安川圭一
37	出光興産	特願 2014-146209	国内	平成 26 年 7 月 16 日	出願	有機太陽電池	前田竜志、奥田文雄、池田秀嗣
38	出光興産	特願 2014-223712	国内	平成 26 年 10 月 31 日	出願	ベンゾフラノチオフェン化合物及びそれを用いた有機薄膜太陽電池材料	安川圭一、池田秀嗣、柏村 孝、近藤浩史
39	出光興産	特願 2014-256645	国内	平成 26 年 12 月 26 日	出願	新規なポリマー及びそれを用いた有機薄膜太陽電池材料	柏村 孝、安川圭一、池田秀嗣、近藤浩史

（4）京都大学

番号	出願者	出願番号	国内外国PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	永岡昭二 熊本大学 京都大学 西日本長瀬産業	特願 2010-204842	国内	平成 22 年 9 月 13 日	出願	研磨剤およびその製造方法、ならびに研磨液	永岡昭二、城崎智洋、堀川真希、永田正典、伊原博隆、高藤誠、佐川尚、吉川暹、佐藤賢、田上梨紗
2	京都大学 増田喜男	特願 2010-246866	国内	平成 22 年 11 月 2 日	出願	太陽電池および太陽電池の製造方法	吉川暹、佐川尚、藤田静雄、李在衡、池之上卓己、増田喜男
3	大阪市立工業研究所 京都大学 JX 日鉱日石エネルギー	特願 2011-008117	国内	平成 23 年 1 月 18 日	出願	フラーレン誘導体およびそれを用いた光電変換素子	大野敏信、高尾優子、森脇和之、松元深、伊藤貴敏、岩井利之、吉川暹、佐川尚、中村勉、内田聡一、池田哲

4	京都大学	特願 2011-046888	国内	平成 23 年 3 月 3 日	出願	新規化合物，電荷輸送材料および有機デバイス	若宮淳志、西村秀隆、村田靖次郎、福島達也、梶弘典
5	京都大学 東京大学	特願 2011-053597	国内	平成 23 年 3 月 10 日	出願	有機色素材料およびそれを用いた色素増感型太陽電池	若宮淳志、谷口拓弘、ジョアン・ティング・ディ、瀬川浩司
6	住友化学 京都大学	特願 2011-216631	国内	平成 23 年 9 月 30 日	出願	光電変換素子	梅山有和、今堀博、三宅邦仁
7	京セラ 京都大学	06756852.7 欧州 特許番号 1900859	外国	平成 23 年 8 月 10 日	出願	Composite Comprising Array of Needle-like Crystal, Method for Producing the Same, Photovoltaic Conversion Element, Light Emitting Element, and Capacitor	Yoshikawa, Susumu; Aranami, Junji
8	京セラ 京都大学	200680018681.8 中国	外国	平成 23 年	出願	Composite Comprising Array of Needle-like Crystal, Method for Producing the Same, Photovoltaic Conversion Element, Light Emitting Element, and Capacitor	Yoshikawa, Susumu; Aranami, Junji
9	大阪市立工業研究所 京都大学 JX 日鉱日石エネルギー	PCT/JP2012/050800 米国	PCT	平成 23 年	出願	フラーレン誘導体及びそれを用いた光電変換素子	大野敏信、高尾優子、森脇和之、松元深、伊藤貴敏、岩井利之、吉川暹、佐川尚、中村勉、内田聡一、池田哲

≪特許査定日：2011 年 2 月、出願国：US、出願番号：11/991,365、発明の名称：有機薄膜光電変換素子及びその製造方法、発明者：吉川暹、上原赫、早川明伸、基礎出願：特願 2005-258527, 2006-066674≫

【論文・学会発表】

1. 東芝

◎新聞発表

日経新聞：平成２４年９月１１日

日刊工業新聞：平成２４年９月２０日

半導体産業新聞：平成２５年２月２７日
日経産業新聞：平成２５年４月１０日
日経新聞：平成２６年７月２９日
電気新聞：平成２６年８月１９

◎雑誌
日経エレクトロニクス：平成

◎展示会
ナノテク展：平成２５年
再生可能エネルギー世界展：平成２５年
ナノテク展：平成２６年
再生可能エネルギー世界展：平成２６年

◎論文発表

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	斉藤三長、大岡青日、細矢雅弘	東芝	マルチスロープセル構造の有機薄膜太陽電池	東芝レビュー2011 VOL.66 No.3	無	H23 年
2	細矢雅弘 斉藤三長	東芝	新たなセル構造と高効率化	OPTRONICS	無	H23 年
3	斉藤三長、大岡青日、細矢雅弘	東芝	低コストと高性能を実現する有機薄膜太陽電池技術	東芝レビュー2012 VOL.67 No.1	無	H24 年
4	都鳥顕司、他	東芝	ＯＰＶの進捗・成果の概要	東芝レビュー成果号	無	H26 年
5	都鳥顕司、他	東芝	ＯＰＶセル／モジュール開発について発表	東芝レビュー	無	H26 年
6	都鳥顕司、他	東芝	ＯＰＶセル／モジュール開発について発表	Toshiba Review（英語版）	無	H26 年
7	Shigehiko Mori	Toshiba	Organic Photovoltaic Module Development with Inverted Device Structure	2014 MRS Fall Meeting proceedings	有	H26 年

◎学会発表

番号	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
1	平成２２年６月３０日	国際学会 Renewable Energy 2010	Efficiency enhancement by sloped cell architecture in organic photovoltaics	Masahiro Hosoya and Mitsunaga Saito
2	平成２４年９月１２日	2012 年秋季応用物理学会学術講演会	（注目講演）有機薄膜太陽電池モジュールの開発	細矢雅弘，大岡青日，中尾英之，五反田武志，早瀬留美子，中野義彦，斉藤三長
3	平成２５年１月１７日	第7回 京都大学発 新技術セミナー講演	有機薄膜太陽電池の用途展開と実用化への課題	細矢雅弘
4	平成２５年２月２８日	PV EXPO2013 専門セミナー講演	有機薄膜太陽電池モジュールの開発と今後の展開	細矢雅弘

5	平成２５年 ２月２８日	学術振興会 情報科学用有機材料第１４２委員会 「有機光エレクトロニクス部会 第５３回研究会」講演	有機薄膜太陽電池モジュールの開発	細矢雅弘
6	平成２５年 ３月２３日	日本化学会第 93 春季年会(2013)	有機薄膜太陽電池モジュール	細矢雅弘，大岡青日，中尾英之，五反田武志，森茂彦，信田直美，早瀬留美子，中野義彦，斉藤三長
7	平成２５年 ３月２６日	応用物理学会有機分子・バイオエレクトロニクス分科会 第５回有機薄膜太陽電池サテライトミーティング	モジュール化技術	細矢雅弘
8	平成２５年 ４月	光機能材料研究会 第４３回講演会	有機薄膜太陽電池モジュールの開発	斉藤三長
9	平成２５年 ６月	日本化学会Ｒ＆Ｄ懇話会	有機薄膜太陽電池モジュールの開発	細矢雅弘、他
10	平成２５年 ６月	EM-NANO 2013 (応物学会)	Module Development for Organic Thin-Film Photovoltaics	M. Hosoya, et., al.
11	平成２５年 ６月	有機系太陽電池 つくば地区研究会	有機薄膜太陽電池モジュールの開発	細矢雅弘、他
12	平成２５年 １０月	28th EU PVSEC　(仏)	Module Development for Organic Thin-Film Photovoltaics	M. Hosoya, et., al.
13	平成２５年 １１月	DSC-OPV8 (国際学会、韓国)	Module Development for Organic Thin film Photovoltaics	M. Hosoya, et., al.
14	平成２５年 １２月	材料関連トレンド技術	先端半導体材料技術	信田直美
15	平成２６年 ３月	高分子学会第２３回光反応・電子用材料研究会講座	有機薄膜太陽電池モジュールの開発状況	斉藤三長
16	平成２６年 ３月	応用物理学会	逆構成有機薄膜太陽電池モジュールの開発	五反田武、他
17	平成２６年 ３月	応用物理学会	有機薄膜太陽電池の室内光での特性評価について	早瀬留美子、他
18	平成２６年 ７月	学振 175 委員会　第１１回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウムの招待講演	ＯＰＶセル／モジュール開発について発表	五反田武志、他

19	平成２６年７月	ＧＲＥ２０１４（国際学会、東京）	Module Development for Polymer Solar Cells	M. Hosoya, et., al.
20	平成２６年９月	平成26年度NEDO新エネルギー成果報告会	有機薄膜太陽電池モジュール創製に関する研究開発	都鳥顕司、他
21	平成２６年１０月	日本化学会「ＣＳＪ化学フェスタ」講演	ＯＰＶセル／モジュール開発について発表	中尾英之、他
22	平成２６年１１月	MRS（国際会議、ボストン）	Organic photovoltaic module development with inverted device structure	Shigehiko Mori, et. al.
23	平成２７年３月	電気化学会	ＯＰＶについての招待講演	五反田武志、他
24	平成２７年３月	電気化学会	ＯＰＶバッファ層についての招待講演	丁香美、他
25	平成２７年３月	応用物理学会	ＯＰＶセルについて発表	森茂彦、他

2.住友化学

◎論文発表

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	吉村研, 三宅邦仁	住友化学	有機薄膜太陽電池とポリマー材料の開発動向	工業材料, 2011年9月号, p.27		H23 年
2	K. Yoshimura, K. Matsumoto, Y. Uetani, S. Sakumichi, S. Hayase, M. Kawatsura, T. Itoh	住友化学	Thiophene-Substituted Fulleropyrrolidine Derivatives as Acceptor Molecule in a ThinFilm Organic Solar Cell	Tetrahedron 68 (2012) 3605-3610	○	H24 年
3	Ken Yoshimura, Kiyotaka Sugawara, Sigeki Sakumichi, Kei Matsumoto, Yasunori Uetani, Shuichi Hayase, Toshiki Nokami, Toshiyuki Itoh	住友化学	Photovoltaic Properties of OPV Devices Using cis- and trans-2,5-Diarylfulleropyrrolidines as acceptor Partners with P3HT on an ITO Electrode with or without PEDOT:PSS	Chem. Lett.,Vol.42, 1209-1211.	○	H25 年

◎学会発表

番号	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
1	2010 年 1 月 19 日	第 186 回有機エレクトロニクス材料研究会	印刷太陽電池と関連材料の最新動向 ～有機薄膜太陽電池用材料の開発～	吉村研
2	2011年6月25日	第35回有機電子移動化学討論会，九州大学，ポスター発表	フレロピロリジンを用いた有機薄膜太陽電池の開発	作道成樹，松本恵，吉村研，上谷保則，早瀬修一，川面基，伊藤敏幸
3	2011年10月9日	220th ECS Meeting - Boston, MA，USA，ポスター発表	Fulleropyrrolidine Derivatives as an Acceptor Molecule in a Thin Layer Organic Solar Cell	K. Matsumoto, K. Yoshimura, Y. Uetani, S. Hayase, M. Kawatsura and T. Itoh
4	2011年11月5日	第34回情報化学討論会，神戸大学，ポスター発表	フレロピロリジン誘導体の軌道エネルギーに対する 置換基効果	早瀬修一*，松本 恵，吉村 研，伊藤敏幸，上谷保則
5	2011年11月21日	10th International Symposium on Organic Reactions (ISOR10)，Keio University, Yokohama，ポスター発表	Design of Fulleropyrrolidine Derivatives as an Acceptor Molecule in a Thin Layer Organic Solar Cell	S. Sakumichi, K. Matsumoto, K. Yoshimura,Y. Uetani, S. Hayase, M. Kawatsura, T. Itoh
6	2011年11月28日	2011 MRS Fall Meeting & Exhibit, Boston，ポスター発表	Highly Efficient Solar Cell Based on Conjugated Polymers	吉村研
7	2011年12月1日	第21回太陽光発電国際会議，福岡，口頭発表	HIGHLY EFFICIENT SOLAR CELLS BASED ON CONJUGATED POLYMERS	三宅邦仁
8	2011年12月6日	第38回有機典型元素化学討論会，金沢，口頭発表	チオフェン置換フレロピロリジンの有機薄膜太陽電池素子機能	吉村研，松本恵，上谷保則，作道成樹，早瀬秀一，川面基，伊藤敏幸
9	2011年12月13日	「中国地域太陽電池フォーラム」産学官ビジネスマッチング交流会，広島，ポスター発表	有機薄膜太陽電池のｎ型材料として応用可能なフレロピロリジン誘導体の開発	吉村研，松本恵，上谷保則，早瀬修一，川面基，伊藤敏幸*
10	2012年5月22日	10th International Conference on Heteroatom Chemistry, Kyoto, Poster, PA-54	Thiophene-Substituted Fulleropyrrolidine Derivatives as Acceptor Molecules in a Thin Film Organic Solar Cell	Ken Yoshimura, Kei Matsumoto, Yasunori Uetani, Shigeki Sakumichi, Shuichi Hayase, Motoi Kawatsura, Toshiyuki Itoh
11	2012年6月22日	第36回有機電子移送化学討論会，東京、口頭発表、O16	チオフェン置換基を持つフレロピロリジンの太陽電池素子機能	作道成樹・松本恵・吉村研・上谷保則・早瀬修一・伊藤敏幸

12	2012年9月6日	The 2012 International Conference on Flexible and Printed Electronics (ICFPE2012), Tokyo, Invited, S7-I1	Recent Progress in Materials for Organic Photovoltaics	Ken Yoshimura, Takehito Kato, Ken-ichiro Ohya, Makoto Kitano, Yasunori Uetani, Toshiyuki Itoh, Shuji Doi
13	2012年11月26日	2012 MRS Fall Meeting & Exhibit, Boston, Poster, O3.30	Thiophene-Substituted Fulleropyrrolidine Derivatives for a Thin Film Organic Solar Cell	Ken Yoshimura, Kei Matsumoto, Yasunori Uetani, Shigeki Sakumichi, Shuichi Hayase, Toshiyuki Itoh
14	2012年11月27日	2012 MRS Fall Meeting & Exhibit, Boston, Poster, O6.37	Recent Progress in the Development of OPV at Sumitomo Chemical	Ken Yoshimura, Ken-ichiro Ohya, Takehito Kato, Makoto Kitano, Yasunori Uetani, Shuji Doi
15	2012年12月7日	高分子エレクトロニクス研究会	当社OPVの開発状況	北野真
16	2012年3月24日	日本化学会第93回春季大会	有機薄膜太陽電池のアクセプター素子となるチオフェン置換基フレロピロリジン誘導体	菅原清高・作道成樹・吉村 研・上谷保則・早瀬修一・野上敏材・伊藤敏幸
17	2013年6月20日	第37回有機電子移動化学討論会，岡山，ポスター発表	有機薄膜太陽電池のアクセプターとなるアリール置換基フレロピロリジン誘導体の開発	菅原清高，松本　恵，作道成樹，吉村研，上谷保則，早瀬修一，野上敏材，伊藤敏幸
18	2013年12月6日	第40回有機典型元素化学討論会,東大阪，口頭発表	有機薄膜太陽電池のためのフラーレン系新規アクセプターの開発	松本　恵，菅原清高，吉村　研，上谷保則，伊藤敏幸
19	2014年3月29日	電気化学会第81回大会	有機薄膜太陽電池のためのフラーレン系新規アクセプターの開発	松本 恵，菅原清高，吉村 研，上谷保則，野上敏材，伊藤敏幸
20	2014年3月30日	日本化学会第94回春季年会	有機薄膜太陽電池のアクセプターとして有用なメタノフラーレン類の開発	菅原清高，松本　恵，吉村　研，上谷保則，伊藤敏幸
21	2014年9月18日	平成26年度NEDO新エネルギー成果報告会	有機薄膜太陽電池モジュール創製に関する研究開発	三宅邦仁、他

（３）出光興産

◎論文発表

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	東海林弘	出光興産	低分子系　有機薄膜太陽電池の展開	オプトエレクトロニクス６月号		H23 年
2	S. Machida, Y. Ozawa J. Takahashi H. Tokairin Y. Nakayama H. Ishii	千葉大学 出光興産	Low Energy Photoemission Study of C60/rubrene/Au Interfaces in Practical Device Thickness	Applied Physics Express **6** (2013) 025801	○	H24 年

3	中村浩昭	出光興産	有機薄膜太陽電池の動向	光産業技術振興協会平成23年度光技術動向調査委員会報告書		H24 年
4	Y. Nakayama T. Luan Nguyen S. Machida Y, Osawa Y. Sato Y. Noguchi H. Ishii H. Tokairin	千葉大学 出光興産	Complete Demonstration of the Valence Electronic Structure Inside a Practical Organic Solar Cell Probed byLow Energy Photoemission	Advanced Energy Materials,4, (2014) 1301354	○	H25 年
5	中村浩昭	出光興産	有機薄膜太陽電池の動向	光産業技術振興協会平成24年度光技術動向調査委員会報告書		H25 年
6	Y. Tanaka Y. Noguchi K. Oda Y. Nakayama J. Takahashi H. Tokairin H. Ishii	千葉大学 出光興産	Evaluation of Internal Potential Distribution and Carrier Extraction Properties ofOrganic Solar Cells through Kelvin Probe and Time-of-Flight measurments	Journal of Applied Physics **116**, (2014)114503	○	H26 年
7	中村浩昭	出光興産	有機薄膜太陽電池の動向	光産業技術振興協会平成25年度光技術動向調査委員会報告書		H26 年
8	R. Maeda, H. Tokairin, J. Takahashi, Y. Yoshida	出光興産 東工大 産総研	In-Situ Measurements of thePhotoconductivity of Multi-Layered Organic PhotovoltaicDevices Using Impedance Spectroscopy	Advances in Materials Physics and Chemistry, 5, (2015)47.	○	H27 年
9	R. Maeda, H. Tokairin, H. Ikeda J. Takahashi, Y. Yoshida	出光興産 東工大 産総研	Carrier Dynamics of p-n Heterojunction Organic Photovoltaic Cells Analyzed by a Novel Graphic Representation of Impedance Spectroscopy	Advances in Materials Physics and Chemistry, 5, (2015)1	○	H27 年

◎学会発表

番号	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
1	2011年3月23日	応用物理学会有機分子バイオエレクトロニクス分科会 第3回　有機太陽電池サテライトミーティング（口頭発表）	低分子系　有機薄膜太陽電池の開発	前田竜志
2	2011年3月25日	第58回応用物理学関連連合講演会（口頭発表）	低分子リニアヘテロアセン誘導体を用いた有機薄膜太陽電池	前田竜志、岩本伸太郎 池田陽一、東海林弘 松浦正英、中村浩昭 池田秀嗣
3	2011年5月25日	センシングデバイス研究会（口頭発表）	低分子系　有機薄膜太陽電池の開発	前田竜志
4	2012年3月14日	応用物理学会有機分子バイオエレクトロニクス分科会 第3回　有機太陽電池サテライトミーティング（口頭発表）	低分子系　有機薄膜太陽電池の開発	東海林弘
5	2012年6月29日	第9回日本写真学会光機能性材料セミナー（口頭発表）	「有機太陽電池の電子構造:測定法から研究動向まで	石井久夫(千葉大学)
6	2012年9月2日	第72回応用物理学会講演会（口頭発表）	ケルビン法による有機太陽電池内部電界分布評価	田中有弥、野口裕、 石井久夫（千葉大） 安川圭一、東海林弘
7	2013年3月18日	Seventh International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics（口頭発表）	In-situ measurement of Photoconductivity of Multi- -layered Organic Photo- -voltaic device by Impedance Spectroscopy	前田竜志、東海林弘、 高橋淳一、吉田郵司（産総研）
8	2013年4月1日	2013 MRS Spring Meeting（口頭発表）	High Performance Tandem Organic Photovoltaic Cells Based on Both Small Molecules and Conjugated Polymers for Each Cells	前田竜志、町田佳美 井関勇介、東海林弘、 楠本正（出光） 五反田武志（東芝） 小江宏幸、吉田郵司 （産総研）

9	2013年9月20日	第74回応用物理学会学術講演会（口頭発表）	低エネルギー高感度光電子検出法による有機太陽電池素子の実測：素子内部の電位分布とギャップ内準位	中山泰生、T. Luan Nguyen、町田真一、大澤佑介、佐藤友哉、野口裕、石井久夫（千葉大）、東海林弘（出光）
10	2015年3月13日	第62回応用物理学会春季学術講演会（口頭発表）	高感度紫外光電子分光および光電子収量分光によるPTB7:PC70BM混合膜の電子構造観察	佐藤友哉、中山泰生、石井久夫（千葉大）、中村浩昭（出光）

（４）京都大学

◎論文発表

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	Chaolumen, H. Enno, M. Murata, A. Wakamiya, Y. Murata	京都大学	Dibenzo[*a*,*f*]perylene Bisimide: Effects of Introducing Two Fused Rings	Chem. Asian J., 9, 3136-3140 (2014)	○	H26 年
2	R. Zhang, T. Futagoishi, M. Murata, A. Wakamiya, Y. Murata	京都大学	Synthesis and Structure of an Open-Cage Thiafullerene $C_{69}S$: Reactivity Differences of an Open-Cage C_{70} Tetraketone Relative to Its C_{60} Analogue	J. Am. Chem. Soc., 136, 8193-8196 (2014)	○	H26 年
3	T. Futagoishi, M. Murata, A. Wakamiya, T. Sasamori, Y. Murata	京都大学	Expansion of Orifices of Open C_{60} Derivatives and Formation of an Open $C_{59}S$ Derivative by Reaction with Sulfur.	Org. Lett., 15, 2750-2753 (2013)	○	H25 年
4	Y. Morinaka, M. Nobori, M. Murata, A. Wakamiya, T. Sagawa, S. Yoshikawa, Y. Murata	京都大学	Synthesis and Photovoltaic Properties of Acceptor Materials Based on the Dimerization of Fullerene C_{60} for Efficient Polymer Solar Cells	Chem. Commun., 49, 3670-3672 (2013)	○	H25 年
5	T. Umeyama,Y. Watanabe, E. Douvogianni, H. Imahori	京都大学	Effect of Fluorine Substitution on Photovoltaic Properties of Benzothiadiazole-Carbazole Alternating Copolymers	J. Phys. Chem. C, 117, 21148-21157 (2013).	○	H25 年
6	T. Umeyama, Y. Watanabe, M. Oodoi, D. Evgenia, T. Shishido,	京都大学	Synthesis of Low Bandgap Polymers Based on Thienoquinodimethane Units and Their Applications to Bulk Heterojunction Solar Cells	J. Mater. Chem., 22, 24394-24402 (2012).	○	H24 年

7	I. Osaka, M. Shimawaki, H. Mori, I. Doi, E. Miyazaki, T. Koganezawa, K. Takimiya	京都大学	Synthesis, Characterization, and Transistor and Solar Cell Applicationsof A Naphthobisthiadiazole -Based Semiconducting Polymer	J. Am .Chem. Soc., 134, 3498-3507 (2012)	○	H24 年
8	T. Umeyama, K. Hirose, K. Noda, K. Matsushige, T. Shishido, Y. Matano, N. Ono, H. Imahori	京都大学	Thermal Conversion of Precursor Polymer to Low Bandgap Conjugated Polymer Containing Isothianaphthene Dimer Subunits	J. Phys. Chem. C, 116, 1256-1264 (2012).	○	H24 年
9	T. Umeyama, M. Oodoi, N.V.Tkachencko, H. Lemmetyinen, H. Imahori, *et.al.*	京都大学	Synthesis and Photovoltaic Properties of Thiophene- Imide-Fused Thiophene Alternating Copolymers with Different Alkyl Side Chains	J. Mater. Chem., 21, 12454-12461 (2011).	○	H23 年
10	M. Murata, Y.Morinaka, Y. Murata, O. Yoshikawa, T. Sagawa, S. Yoshikawa	京都大学	Modification of σ-Framework of [60]Fullerene for Bulk-Heterojunction Solar Cells.	Chem. Commun., 47, 7335-7337 (2011).	○	H23 年
11	P. Ruankham, L. Macaraig, T. Sagawa, H. Nakazumi, S. Yoshikawa	京都大学	Surface Modification of ZnO Nanorods with Small Organic Molecular Dyes for Polymer-Inorganic Hybrid Solar Cells	The Journal of Physical Chemistry C, Vol. 115 (48), pp. 23809-23816, 2011	○	H23 年
12	T. Fukushima, H. Kimura, Y. Shimahara, H. Kaji	京都大学	Solid-state NMR of phase separation behavior of regioregular P3HT :PCBM in bulk heterojunction organicSC	APPLIED PHYSICS LETTERS 99, 223301/1-3 (2011)	○	H23 年
13	Y.T. Tsai, K. Goto, T. Sagawa, S. Yoshikawa *et.al.*	京都大学	Charge Transporting Properties and Output Characteristics in Polythiophene:Fullerene Derivative Solar Cells	*Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. **50**, 01BC13/1-4, 2011	○	H23 年

◎学会発表

なし。

【受賞】

（1）東芝
なし

（2）住友化学
なし

（3）出光興産
なし

（4）京都大学
・2010 年 8 月 8 日
森中裕太 「第 42 回構造有機化学若手の会 優秀ポスター賞」
・2010 年 9 月 6 日
森中裕太「第 39 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム 若手奨励賞」
・2010 年 9 月 14 日
Pipat Ruankham「Group Poster Prize of Electrochem 2010:
Electrochemistry & Sustainability, Society of Chemical Industry, UK」
・19 August 2011
Pipat Ruankham, Best Presentation Award, 3rd GCOE International Symposium, Suwon, Korea
Surface Modification of ZnO Nanoros with Organic Dye Molecules for Polymer/Inorganic Hybrid Solar Cells
・2011 年９月２２日
村田靖次郎　基礎有機化学 第 7 回野副記念奨励賞
「フラーレンの構造変換に関する研究」
・22 November 2011
Jae-hyeong Lee, Poster Paper Award, First Prize,
Taiwan Association for Coatings and Thin Films Technology (TACT2011) International Thin Films Conference, Kenting, Taiwan
Optimization of Bulk Heterojunction for Highly Efficient Spray Coated Polymer Solar Cells
・30 January 2012
Jae-hyeong Lee, Poster Award
2011 Annual Meeting of GCOE, Kihada Hall, Uji, Kyoto, Japan
Thickness dependence of photovoltaic performance of additionally spray coated solar cells
・01 February 2012
Pipat Ruankham, Presentation Award
Ajou-KIT-Kyoto University Joint International Symposium, Kihada Hall, Uji, Kyoto, Japan
Materials Design and Evaluation of Device Structures for Photovoltaic Systems: Polymer based Organic Photovoltaic Cells and Metaloxide based Photocatalysts for Hydrogen Generation
・2012 年 4 月
若宮淳志　平成 24 年度　文部科学大臣表彰　若手科学者賞
「ホウ素を鍵元素として用いた機能性 π 電子系化合物の研究」
・2012 年 10 月
西村秀隆　第 4 回　薄膜太陽電池セミナー　薄膜太陽電池奨励賞
「酸素架橋型トリアリールアミン骨格を用いた電荷輸送性材料の開発」
・2013 年 5 月 30 日

若宮淳志　第２回新化学技術研究奨励賞
「高い電荷輸送特性をもつ低バンドギャップ材料の創製」

・2014 年 9 月 9 日
張　鋭　第 25 回基礎有機化学討論会　ポスター賞
「C69S 骨格をもつ開口チアフラーレンの合成と X 線構造」

B　蓄電機能付有機薄膜太陽電池の研究開発
1. 成果詳細

高い電子輸送性・保持性をもつ有機材料（光電荷分離ゲル含む）の物性を最大限に活用し、高変換効率かつ耐久性に優れ、かつ蓄電機能も有する有機系太陽電池を開発した。本項では、変換効率向上、耐久性向上、、低コスト化、蓄電機能付与の観点から、

１）“漏れ電圧”を抑制する新規メディエータ分子創出による変換効率向上
２）色素脱離抑制による耐久性向上
３）導電粒子配列による透明導電基板の低コスト化
４）高分子ゲル活用による蓄電機能付与

の４つに取り組みを実施した。

また、平成 26 年度には有機系太陽電池の技術を転用してより高効率化・低コスト化が期待されるペロブスカイト太陽電池の開発を行った。本プロジェクトでの検討では、耐久性面での課題抽出にフォーカスした検討を行うことで、実用化の可能性判断を行った。

Ⅰ.変換効率向上（パナソニック、早稲田大学）

開放電圧向上の阻害要因として、図Ⅲ-2-(ホ)-B-1(1)に示す“漏れ電圧”が挙げられる。漏れ電圧の主たる因子としては、図Ⅲ-2-(ホ)-B-1(2)に示すように、メディエータ酸化体と電極との反応と想定し、メディエータ分子構造改良による電極とメディエータとの反応抑制を検討した。

電極とメディエータとの反応について反応速度定数 k_0 を指標として、各種改良メディエータを評価したところ、図Ⅲ-2-(ホ)-B-1(2)に示すように k_0 と漏れ電圧との間に強い相関が認められた。さらに、k_0 を 0.6×10^{-2} にまで低減することで漏れ電圧 380 mV を実現した。以上の知見により、メディエータ分子構造を改良することで V_{OC} = 990 mV を達成することが出来た。

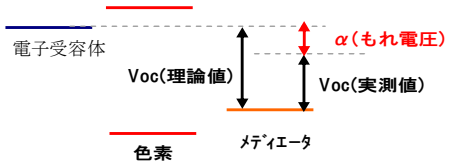


図　Ⅲ-2-(ホ)-B-1(1)　漏れ電圧

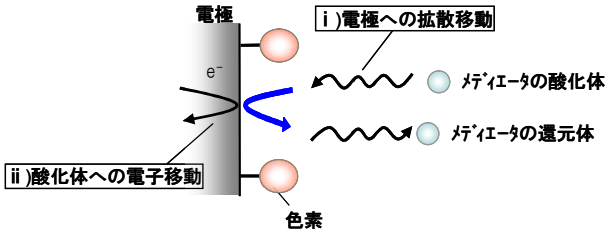


図　Ⅲ-2-(ホ)-B-1(2)　漏れ電圧の要因

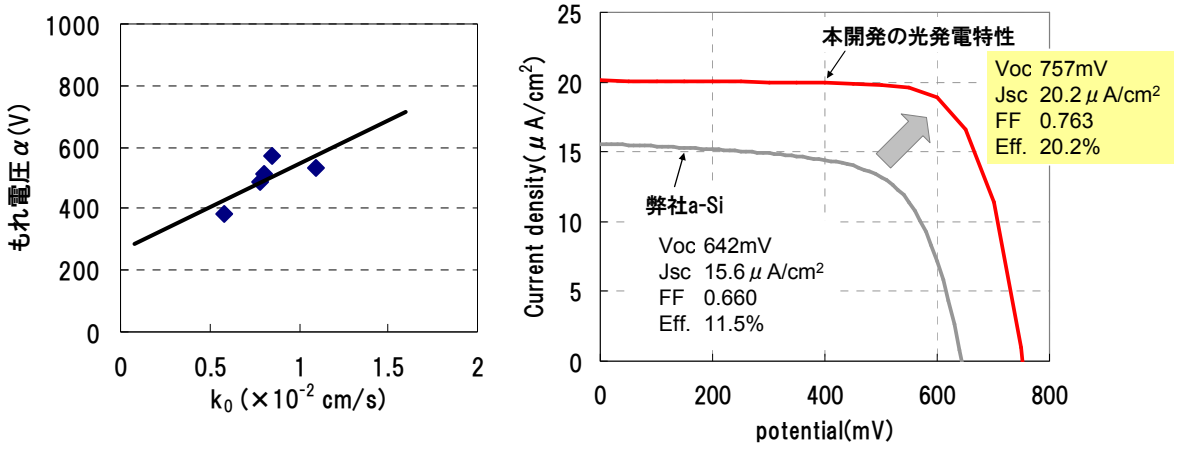


図　Ⅲ-2-(ホ)-B-1(3)　電流－電圧曲

以上、V_{OC} 向上のためのメディエータ技術との知見を活用し、高 V_{OC} 化と高 J_{SC} との両立を図 3.5 に示す変換効率 20%を達成した。

Ⅱ.耐久性向上

２０１４年度においては、耐久性向上方策として電解液・色素の改良によって、色素の脱離減少について取り組んだ。その結果として、温度８５度、温湿度８５度８５％ＲＨ、温度サイクル、温湿度サイクル試験において、維持率９０％以上のデバイス構成を実現した。また、蓄電部の耐久性においては、フェロセン誘導体ポリマーを新規に合成することによって、５０００サイクルにおいて９０％以上の維持率を実現した。

・電解液、色素の改良

２０１３年度の成果から、素子の劣化因子は熱による色素脱離であることが分かっていた。この色素脱離を抑制する方策として、まず、電解液改良による電解液溶媒の色素不溶化の検討を行った。色素はこれまで用いていたニトリル系溶媒に対して高い溶解性を有していたため、新たにイオン液体や環状エステルを含む溶媒の検討を行うことにより、色素溶解性が１μｍｏｌ以下である電解液溶媒を作製することに成功した。加えて、色素の改良についても検討を行った。色素はより脱離しにくいように、ＨＯＭＯ側の官能基を、電極表面でよりスタッキングを起こしやすいものに改良することで、脱離しにくい構造を具現化した。これら電解液および色素の改良により図Ⅲ-2-(ホ)-B-1(4)に示すように温度８５度、温湿度８５度８５％ＲＨ、温度サイクル、温湿度サイクル試験において維持率９０％以上を示すデバイスを実現することができた。

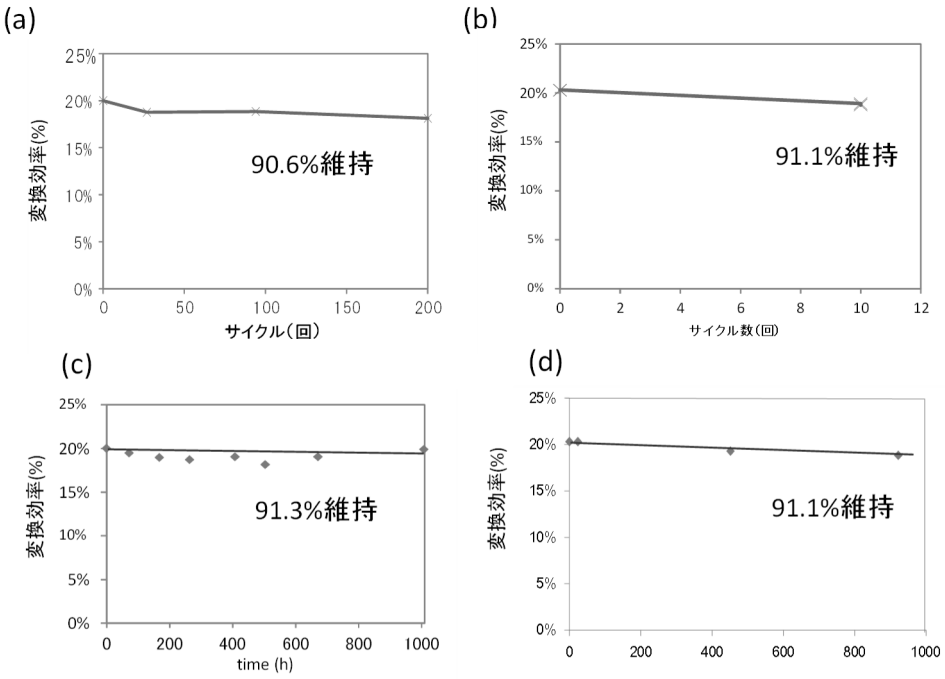


図 Ⅲ-2-(ホ)-B-1(4) 各種試験での耐久性 (a)温度サイクル試験（-20⇔80℃×200 サイクル）(b)温湿度サイクル試験（-40⇔85℃×10 サイクル）(c) 85℃1000hr 試験(d) 85℃85%RH1000ｈｒ試験

・蓄電部のサイクル特性

蓄電部のサイクル特性は、蓄電部のポリマー材料のレドックスの安定性に起因する。より安定性の高いポリマー創出のため、レドックスが繰り返し安定で経時劣化も少ないフェロセンに着目し、新規ポリマーの合成を行った。このポリマーを用いた素子によって、５０００サイクル後においても、相対クーロン効率の低下は１０％以内を実現した。これは１日１サイクルとした場合、１０年以上の耐久性であり、実用上の高い信頼性を有していると考えている。

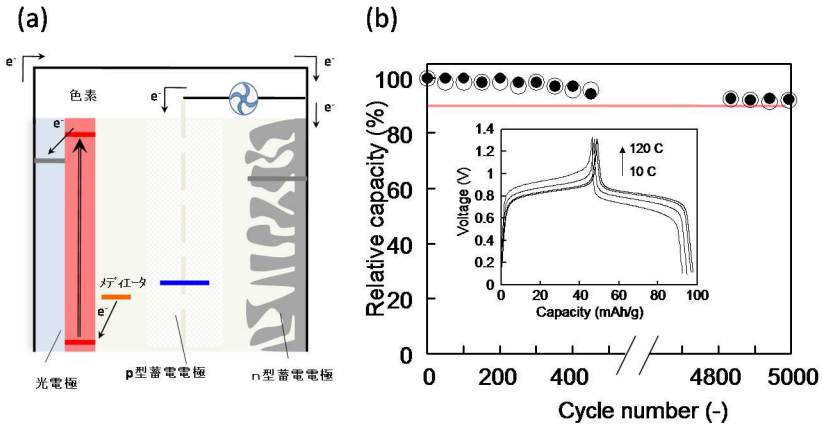


図 Ⅲ-2-(ホ)-B-1(5)　蓄電発電デバイスの概要図(a)と蓄電部のサイクル特性(b)

Ⅲ.　低コスト

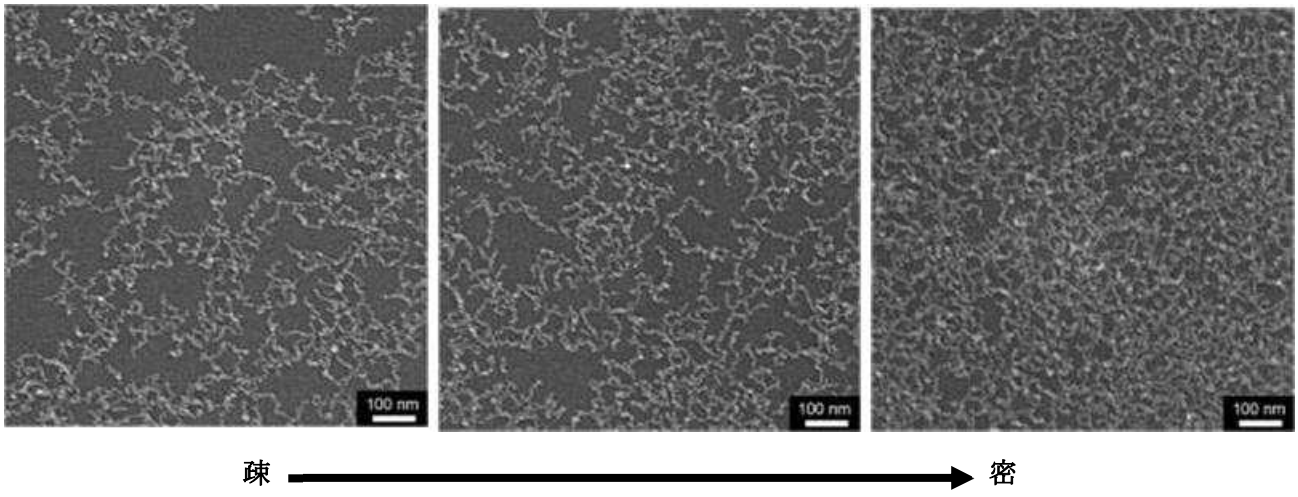
・透明導電膜技術

「シリカナノ粒子単分散膜形成→金属膜オーバーコート→シリカナノ粒子剥離」によるパンチングメタル構造の作製において、シリカ製膜プロセスを検討し、目標性能の必要条件であるシリカナノ粒子の基板被覆率８０％以上とシリカ単層膜化の両立に成功した。低抵抗高透明の機能膜実現のためには、シリカナノ粒子剥離時に、シリカナノ粒子周囲の金属膜が同時に剥離し抵抗値が増大する現象を抑制することが必要であり、シリカナノ粒子間の距離を精密に制御することが課題であることを明らかにした。

・多孔質集電極技術

電子輸送性を有する酸化スズナノ粒子がネットワーク状に連結した構造体を形成することに成功した。さらにこの構造体を多孔質厚膜形成技術によってミクロンオーダーに厚膜化することで、空隙率８９％の多孔質集電極を作製することに成功した。

また更なる電子輸送性の向上を目指した配列技術を検討し、電子輸送性の高いＩＴＯ（酸化インジウムスズ）やＧＺＯ（ガリウムドープ酸化亜鉛）ナノ粒子の配列形成及び、ネットワーク構造の密度制御といった配列制御に成功した。



図Ⅲ-2-(ホ)-B-1(6)　密度を制御したナノ粒子配列構造体のＳＥＭ像

Ⅳ. 蓄電機能付与（早稲田大学、パナソニック）

図Ⅲ-2-(ホ)-B-1(7)に示す３極構造にて、発電と蓄電との一化構造を検討した。一体化した素子は、光電極、メディエータおよびｐ型蓄電極から構成される発電部とラジカルポリマー二次電池を基本構成とする蓄電部からなる。ｐ 型蓄電極、に早稲田大学所有のラジカルポリマーと炭素繊維の複合膜を採用することで、発電過程において、充電が律速とならず、かつ想定デバイスが求める高電流での放電が可能となった。結果として図Ⅲ-2-(ホ)-B-1(8)に示すように、100 mA の充放電において、電圧の安定性（変化幅 0.2 V 以内）を示し、1.32 mWh と目標値（= 1.26 mWh）を上回る容量を実現した。

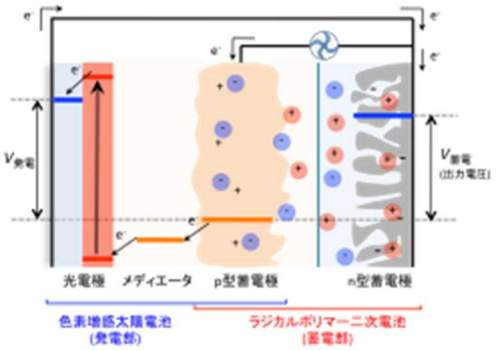


図 Ⅲ-2-(ホ)-B-1(7)
発電蓄電一体化素子の構造および適用したラジカルポリマーの一例構造

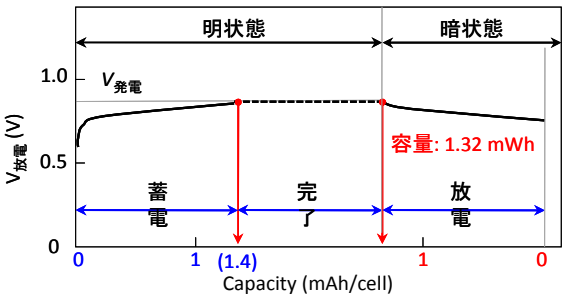


図 Ⅲ-2-(ホ)-B-1(8)
充放電特性

また、前記蓄電能力を用いた無線センサの駆動試験を実施した（図Ⅲ-2-(ホ)-B-1(9)）。温度・照度センサを駆動した結果、図Ⅲ-2-(ホ)-B-1(10)に示す結果を得ることが出来た。

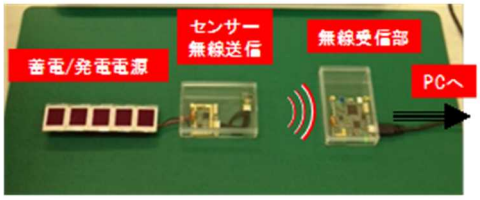


図 Ⅲ-2-(ホ)-B-1(9)
センサ駆動の構成

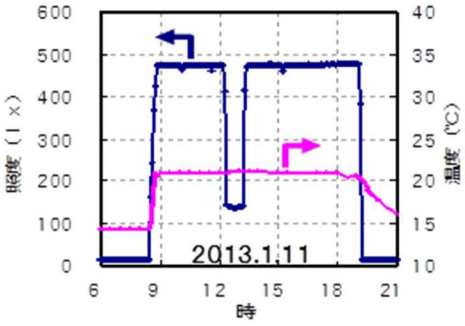


図 Ⅲ-2-(ホ)-B-1(10)
照度・温度センサの駆動実証

Ⅴ. ペロブスカイト太陽電池

２０１４年度においては、ペロブスカイト太陽電池の実用化可能性について（ａ）変換効率の向上（ｂ）耐久性の劣化要因抽出（ｃ）耐久性向上方策の検討を行った。その結果、変換効率の高効率化・安定化にはドライ雰囲気制御が重要であること、耐久性劣化要因は正孔輸送材料（以下、ＨＴＭ）の熱劣化であることを見出し、ＨＴＭの劣化を抑制するデバイス封止を行うことによって、８５度１０００時間での耐久性を実証した。これらの知見を踏まえ、（ｄ）変換効率２０％と寿命２０年実現にむけたシナリオ提案を行った。

（ａ）変換効率の向上

塗布系でのペロブスカイト太陽電池の検討を行った。ばらつきの課題があったが、図Ⅲ-2-(ホ)-B-1(11)に示すようにドライな試作環境を整えることにより、バラツキを抑制でき、かつ効率向上も達成することが出来た。

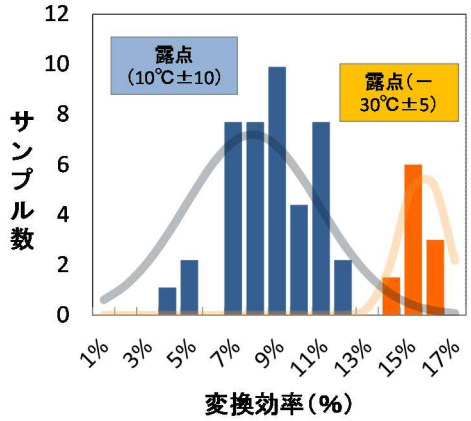


図 Ⅲ-2-(ホ)-B-1(11)　環境制御によるドライ条件

（ｂ）耐久性の劣化要因抽出

劣化因子の特定のため、デバイスの熱耐久性試験および光耐久性試験を行った。光試験については、１sun 連続照射９０分においても特性変化が見られなかったのに対し、熱試験においては８５℃６０分で特性の低下（７０％）が見られ、劣化の主因子が熱であることが分かった。また劣化場所の特定を行うため、表 3.3 に示すような実験を実施した。劣化試験前のデバイス（サンプル１）は１０．９％の変換効率特性であり、劣化試験後のデバイス（サンプル２）は電流値の低下が起こり効率は５．９％にまで低下した。この結果に対し、サンプル３で示すようなＨＴＭを事前に熱劣化させたデバイスは、サンプル２と同様の劣化傾向を示し効率は５％程度であった。これらのことから、デバイスでの劣化場所はＨＴＭであると判断した。

表Ⅲ-2-(ホ)-B-1(1)　劣化ＨＴＭを用いたデバイスと劣化デバイスの比較

サンプル	熱処理条件		デバイス特性			
	ＨＴＭ前処理	デバイス作製後熱試験	V_{OC} (mV)	J_{SC} (mA/cm^2)	*FF*	*Eff.*
1	－	－	970	19.6	0.58	10.9
2	－	85℃24 時間	980	11.8	0.51	5.9
3	85℃24 時間	－	1060	8.1	0.56	4.8

（ｃ）耐久性向上方策

有機 EL で実用実績のあるパナソニック保有の封止技術を用いたペロブスカイト太陽電池の耐久性を評価した。結果を図 3.14 に示す。前項での HTM 由来の劣化抑制もあり、１０００時間加熱試験後も、初期効率に対し８５％以上の維持率を達成することができた。

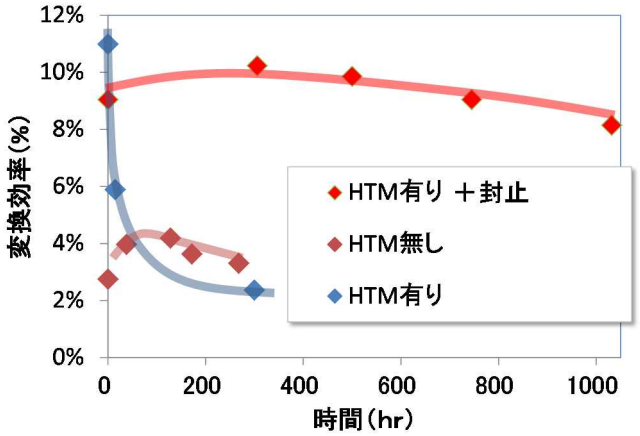


図 Ⅲ-2-(ホ)-B-1(12)
ＨＴＭに着目した熱耐久性試験

（ｄ）変換効率２０％と寿命２０年実現に向けたシナリオ提案

２０１４年度の成果として、プロセス技術および封止技術の開発を行うことによって、変換効率１６％、耐久性８５℃加熱加速試験において１０００時間を実証した。変換効率２０％へは、本成果である環境制御による変換効率・歩留まり向上とともに、ペロブスカイトＡサイトをメチルアミンからホルムアミジニウムへ置換(*Energy Environ. Sci.*, **2014**, 7,982)することで達成可能であると考えられる。また耐久性についても、本成果内で１０００時間の耐久性を実証した封止技術を活用することによって実現可能であると考える。

２．実用化・事業化見通し

2.1 成果の実用化・事業化に向けた戦略

パナソニックでは図 4.1 に示す構想を掲げ、家電製品の連携駆動、電力消費に見合う発電システム運用など家庭・地域で、効率的にエネルギーを活用するためのエネルギーマネジメントシステムの普及拡大を推し進めている。現在、図Ⅲ-2-(ホ)-B-2(1)の赤線で示した「HEMS+自然エネルギーの活用」実現に向けた価値創造を推進するステージにある。

図 Ⅲ-2-(ホ)-B-2(1) パナソニックにおけるエネルギーマネジメント（EMS）の戦略

（出展）「創・蓄・省エネ技術を活用したスマートエコハウス開発の取り組み（パナソニック電工）」次世代電力ネットワーク研究会講演資料（2011.10.13）。
時期については加筆。

本ステージでは、図 Ⅲ-2-(ホ)-B-2(2)に示す機器のスイッチの ON/OFF といった人の動作によるエコ環境創出から、多数の環境モニタリングセンサを活用した環境状態の把握に基づく人の動作を介さない「快適&エコ」の創出を目指している。

その際に、個々のセンサをセンシングに適した場所に自由に敷設でき、電池交換等の維持管理の必要のないワイヤレス化・メンテナンスフリー化を実現する電源が必要になる。前記ニーズに対し、当プロジェクトでは室内環境に溢れる光エネルギーからの発電と自ら発電した電力を自ら充電できる図Ⅲ-2-(ホ)-B-2(3)（a）の「光発電＋蓄電」の電源を構築し、以って図Ⅲ-2-(ホ)-B-2(3)（b）の自立化（ワイヤレス・メンテナンスフリー化）センサを実現する。

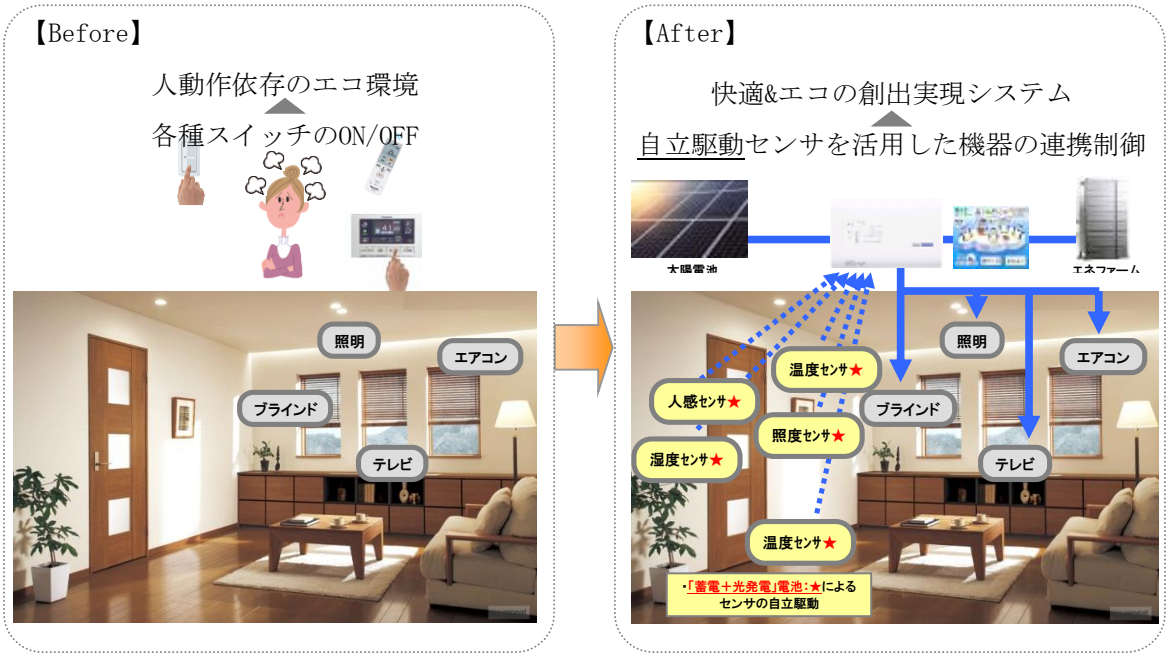
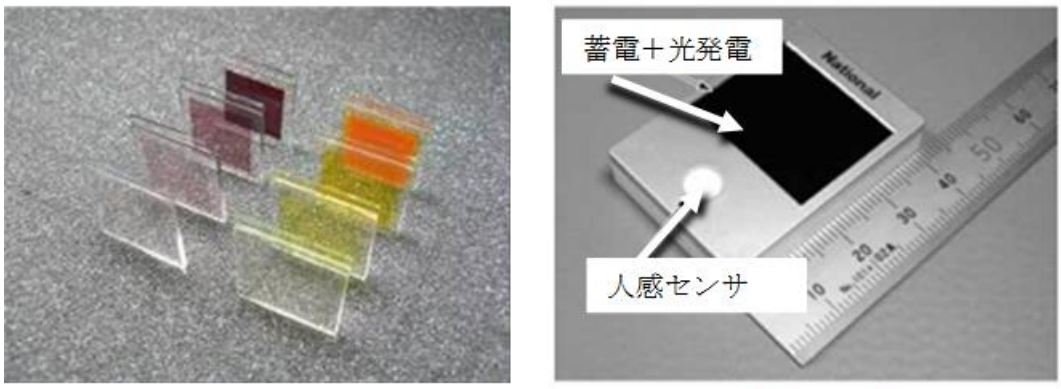


図 Ⅲ-2-(ホ)-B-2(2)　環境モニタリングセンサを活用したエネルギーマネジメントシステム



（a）蓄電＋光発電素子　　（b）自立センサ

図 Ⅲ-2-(ホ)-B-2(3) 提案素子外観自立センサ外観

本提案では、センサの自立化を実現する、①室内光を光源として高い変換効率の実現、②蓄電機能の一体化（安定的電力供給の実現）、の観点で素子を設計した。故に提案素子は、表 4.1 に示すように、従来のシリコン系太陽電池および色素増感太陽電池、有機薄膜太陽電池に対する優位性を持つものであり、かつ、パナソニック事業実現の基本要件を満たすスペックとなっている。

表 Ⅲ-2-(ホ)-B-2(1)　競合技術との比較（2015 年 9 月）

	有機			無機	
	有機薄膜		色素増感	A-Si	結晶系 Si
素子	提案素子	有機薄膜			
構成	電子保持体 色素 正孔保持体	電子受容体 正孔受容体	電子受容体 色素 正孔受容体	電子受容体 ノンドープ A-Si 正孔受容体	電子受容体 正孔受容体
変換効率 @1Sun	10% ﾊﾟﾅｿﾆｯｸ	8% Konarka	10% Sharp	10% Oerlikon Solar	25% UNSW
変換効率 @200Lx	20% ﾊﾟﾅｿﾆｯｸ	3% ﾊﾟﾅｿﾆｯｸ	13% ﾊﾟﾅｿﾆｯｸ	11% sanyo	＜1% ﾊﾟﾅｿﾆｯｸ
開放電圧(mV) @200Lx	950	＜200	650	650	＜100
電子寿命	＞1 sec	＜1 msec	100 msec	＜1 msec	＜1 msec
蓄電機能	1.32mWh	付与不可	付与不可	付与不可	付与不可
備考	発電素子への 二次電池材料 の適用	—	色素による 電子･正孔輸送 空間の分離	—	—

Prog. Photovolt: Res. Appl. 2011; 19:84-92

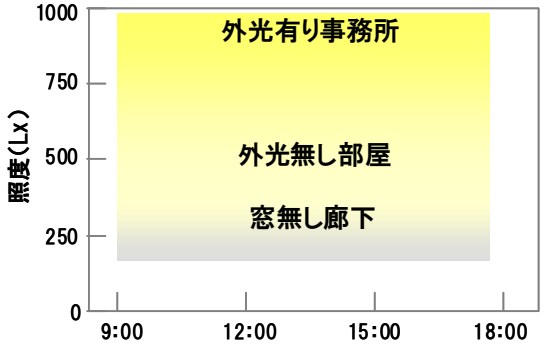
2.2 成果の実用化・事業化に向けた具体的取り組み

環境モニタリングセンサの消費電力は、通信電力により決定される。表Ⅲ-2-(ホ)-B-2(2)に無線機器の消費電力を示す。これらは、低消費電力化の思想の中、ID 情報のみの通信を一定時間間隔で行う機器であるが、概ねその消費電力は１日当たり 1.8mWh と見積もることができる。

表 Ⅲ-2-(ホ)-B-2(2)

メーカー	ﾊﾟﾅｿﾆｯｸ	ﾊﾟﾅｿﾆｯｸ	A 社	B 社	ﾊﾟﾅｿﾆｯｸ	C 社
無線タグ外観						
サイズ	60*20*5t	40*30*5t	60*40*10t	47*28*9t	58*64*5t	50*30*9t
重量	16ｇ	15ｇ	25ｇ	11ｇ	30ｇ	16ｇ
用途	入退室管理、勤怠管理、所在把握（老人、園児）					PC 管理
搭載電池	コイン電池 CR2032		コイン電池 CR2450	コイン電池 CR2032		
電源寿命	約１年					
１日当たりの消費電力量	約 1.8mWh					

図Ⅲ-2-(ホ)-B-2(4)に示すように、室内環境における平均的光照射量を 500ｌｘ、1 日当たり 8hr の受光が可能だとすると、表Ⅲ-2-(ホ)-B-2(2)に示す無線機器の消費電力 1.8mWh/日を上回る発電電力を実現するためには、変換効率 18%以上が必要である。2014 年度に達成した変換効率 20%の提案素子では、センサ自立化要件を満たしている判断する。今後、弊社エネルギーマネジメントシステムへの適合性評価を進めることで事業化判断を行う。



平均光照射量：500lx×8hr
素子設置可能面積：12cm^2
自立駆動のために必要な変換効率は
「変換効率」×500Lx×8hr×12cm^2×0.7（回路損失）＞1.8mWh/ｄ
変換効率＞18%

図Ⅲ-2-(ホ)-B-2(4)　室内環境における光発電電力の見積もり

2.3 成果の実用化・事業化の見通し

実環境に廃棄されているエネルギーより効率的に電力を取り出し活用するエナジーハーベスト構想での事業化例は少ない。しかしながら、エネルギーマネジメントシステム等々、新しいシステムソリューション事業の勃興があり、加えて、IoT、M2M のキーワードの元で各種回路システムの開発も顕著に進んでいる。弊社においても、HEMS,BEMS の本格的立ち上げを推進するとともに、FA 面でのセンサシステム事業も推進している。

本プロジェクトにて開発した光発電技術については、まずは、弊社内センサ事業への適合性を図り、事業化実績を構築したい。加えて、派生的にセンサネットワークシステムへの拡大を図る。

３．波及効果

今回開発した“蓄電機能をもつ光発電技術“は、環境モニタリングセンサに自立化（ワイヤレス、電池交換レス）機能を付与する技術として活用できる。これにより、多数のセンサからなるセンサネットワークシステムの構築が可能となり、エネルギーマネジメントシステム、セキュリティーシステム、物流システム分野等に新しいシステムソリューションを創り出すことが可能となる。

例えば、防犯セキュリティ、事務・業務効率化、施設制御、物流システム市場では、センサ市場規模 348 億円@2016 年といった市場への適用が可能である。

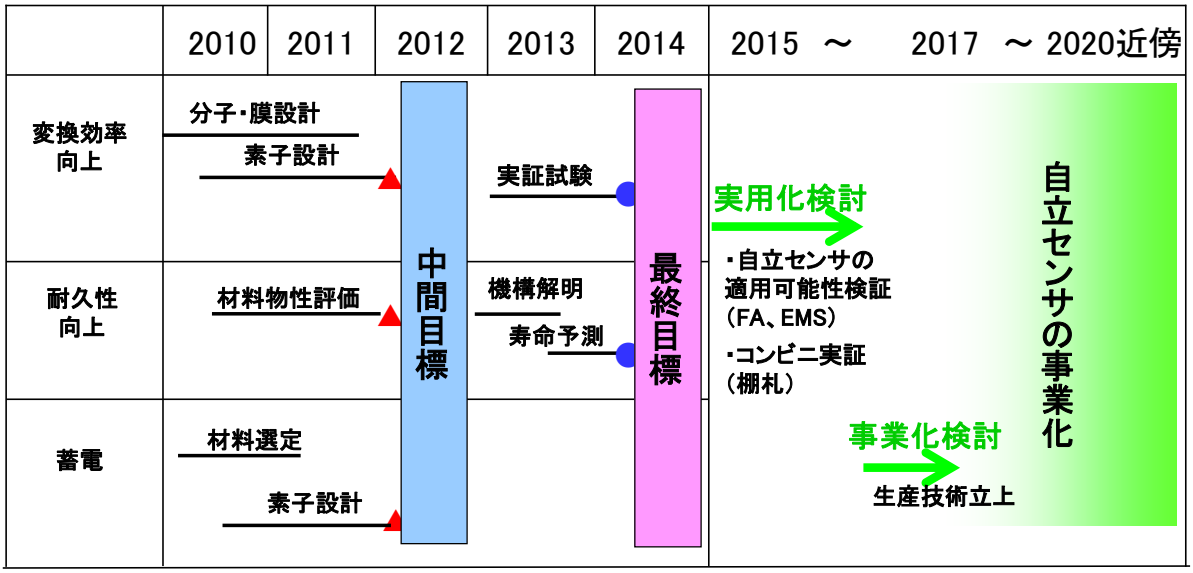
４．今後の展開

本プロジェクトで構築した蓄電機能をもつ光発電技術の事業展開としては、センサへの自立化機能付与、あるいは多数のセンサを活用したネットワークシステムへの付加価値付けを想定している。

今後は、弊社が事業として手掛けるファクトリーオートメーション事業、エネルギーマネジメントシステム事業への適用可能性を検証する。

また、電子棚札の自立化電源として活用し、コンビニ等のソリューションビジネスへの展開を検証する。

図Ⅲ-2-(ホ)-B-4(1)



５．特許論文リスト

	H22	H23	H24	H25	H26	終了後	計
特許出願（うち外国出願）	0	5(0)	0(0)	8(2)	2(0)	0	15 件（2 件）
論文（査読付き）	0	0	3(3)	0	1(1)	0	4 件（4 件）
研究発表・講演（うち国際会議）	3	6(5)	2(0)	11(0)	0(1)	0	22 件（6 件）
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0	0	0	0	0 件
受賞実績	0	0	0	0	0	0	0 件
展示会への出展	0	0	1	0	1	0	2 件

(1) 研究発表・講演

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者（所属）
2011年3月	化学工学会	One Dimensional Self-Assembly of Semiconducting Metal Oxide Nanoparticles with Block Copolymer in Aqueous System	王軍政・鳴瀧彩絵・下嶋敦・大久保達也（東京大学）
2011年3月16日	化学工学会	One Dimensional Self-Assembly of Semiconducting Metal Oxide Nanoparticles with Block Copolymer in Aqueous System	王軍政・鳴瀧彩絵・下嶋敦・大久保達也
2013年3月	日本化学会	ポリビオロゲン/酸化亜鉛複合電極の作成と負極活物質としての特性	丸尾 浩史、佐野 直樹、鈴鹿　理生、小柳津 研一、西出 宏之(早稲田大学)
2013年5月	第62回高分子年次大会	ガルビノキシラジカルポリマーを光負極とする高電圧型光電変換素子	加藤文昭、村岡謙、斎藤孝和、竹内宏典、小柳津研一、林直毅、鈴鹿理生、関口隆史、山木健之、西出宏之　(早稲田大学、パナソニック)
2013年9月	第62回高分子討論会	水電解液を用いた色素増感太陽電池とレドックスポリマーとの組み合わせ	原崇、高橋瞭介、鈴鹿理生、加藤文昭、小柳津研一、西出宏之　(早稲田大学)
2013年9月	第62回高分子討論会	有機ラジカル電極をもつ色素増感太陽電池の作製とその光電・充放電特性	柏木里美、上野真寛、鈴鹿理生、加藤文昭、小柳津研一、西出宏之(早稲田大学)
2013年9月	第62回高分子討論会	新しいフェロセンポリマーの合成と電荷輸送・貯蔵能	堀江悠太郎、鈴鹿理生、加藤文昭、小柳津研一、西出宏之　(早稲田大学)
2013年9月	第62回高分子討論会	有機レドックスを用いた色素増感太陽電池およびラジカルポリマー二次電池の複合による蓄電-発電一体型光電変換素	加藤文昭、上野真寛、葉養典子、加藤遼、柏木里美、佐々田哲人、小柳津研一、

		子	鈴鹿理生、林直毅、関口隆史、山木健之、西出宏之（早稲田大学、パナソニック）
2013年9月	第62回高分子討論会	ビオロゲンポリマー電極を有する色素増感太陽電池とその光充電特性	鈴鹿理生、原崇、高橋瞭介、小柳津研一、西出宏之(早稲田大学)
2014年3月	第81回電気化学会	インドリン色素におけるビオロゲン連結による電荷分離状態への寄与	下影卓二、高畑昌弘、関口隆史（パナソニック）
2014年3月	第94回春季年会	小電力用色素増感太陽電池の実用化開発	関口隆史（パナソニック）
2014年3月	第94回春季年会	電解析出による酸化鉄光負極の作成と有機レドックスメディエータを用いた光電変換素子	高村真輝、丸尾浩史、鈴鹿理生、加藤文昭、小柳津研一、西出宏之(早稲田大学)
2014年5月	The 6th International Conference on Hybrid and Organic Photovoltaics	Charge-Transporting and -Storageable Redox Polymers for DSSC	Hiroyuki Nishidea, Fumiaki Katoa, Michio Suzukaa, b, Masahiro Uenoa, Noriko Hayoa, Takashi Sekiguchib, Kenichi Oyaizu （早稲田大学、パナソニック）
2014年5月	The 6th International Conference on Hybrid and Organic Photovoltaics	Nitroxide Radicals as the Mediator for an Aqueous Electrolyte-based Dye-Sensitized Solar Cell	丸尾浩史、原崇、鈴鹿理生、小柳津健一、西出宏之 （早稲田大学、パナソニック）
2014年5月	The 6th International Conference on Hybrid and Organic Photovoltaics	Charge-Storageable Dye-Sensitized Solar Cell Based On Radical Polymers	Masahiro Ueno, Michio Suzuka, Kenichi Oyaizu, Hiroyuki Nishide
2014年9月	International Conference on Solid State Devices and Materials 2014	Dye-sensitized Solar Cells Using Scattering Layer with Micron-sized Pores for Indoor Light Energy Harvesting	鈴鹿理生,矢部裕城,林直毅,北垣智弘,関口隆史
2014年10月	Chemistry Letters	Kinetic Control of Electron Transfer at Doped Zinc Oxide/Redox-active Molecule Interface for Photocurrent Rectification	Michio Suzuka, Shu Hara, Takashi Sekiguchi, Kenichi Oyaizu, and Hiroyuki Nishide （早稲田大学)
2014年12月	The 9th Aseanian Conference on Dye-Sensitized and Organic Solar Cells	Nitroxide Radical-based Electrolytes for a High Efficiency DSSC	Noriko Hayo, Michio Suzuka, Hiroki Ikeda, Naoki Hayashi, Takashi Sekiguchi, Kenichi Oyaizu and Hiroyuki Nishide (早稲田大学

			、パナソニック）
2015年2月	Polymer	Polyviologen as the charge-storage electrode of an aqueous electrolyte- and organic-based dye-sensitized solar cell	Michio Suzuka, Shu Hara, Takashi Sekiguchi, Kenichi Oyaizu, and Hiroyuki Nishide（早稲田大学、パナソニック）

(3) 特許等

出願番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2011-287220	電極複合体及びこれを備える光電気素子	パナソニック、早稲田大学
2011-287221	光電気素子及びその製造方法	パナソニック、早稲田大学
2011-287222	光電気素子	パナソニック、早稲田大学
2011-287223	光電気素子	パナソニック、早稲田大学
2011-287212	無機酸化物構造体の製造方法	パナソニック、東京大学
2011-287220	電極複合体及びこれを備える光電気素子	パナソニック、早稲田大学
2011-287221	光電気素子及びその製造方法	パナソニック、早稲田大学
2011-287222	光電気素子	パナソニック、早稲田大学
2011-287223	光電気素子	パナソニック、早稲田大学
2011-287212	無機酸化物構造体の製造方法	パナソニック、早稲田大学
2011-287220	電極複合体及びこれを備える光電気素子	パナソニック、早稲田大学
2011-287221	光電気素子及びその製造方法	パナソニック、早稲田大学
2011-287222	光電気素子	パナソニック、早稲田大学
2011-287223	光電気素子	パナソニック、早稲田大学
2011-287212	無機酸化物構造体の製造方法	パナソニック、東京大学
2013-213587	光電変換素子	パナソニック
2013-231968	電気化学デバイス	パナソニック
2013-551626	光電気素子	早稲田、パナソニック
2013-551596	光電気素子及びその製造方法	早稲田、パナソニック
2013-503531	光電気素子	早稲田、パナソニック
2013-213265	有機色素	三菱製紙
2014-181386	光電変換素子およびその製造方法	パナソニック
14/492080	光電変換素子	三菱製紙－パナソニック
2014-092716	光電変換素子	パナソニック
2014-098024	光電変換素子	パナソニック
2014-104584	光電変換素子	パナソニック
2014-105774	光電変換素子	パナソニック
14767296.8	光電変換素子	早稲田大学－パナソニック
14/413974	光電変換素子	早稲田大学－パナソニック
2014-540676	光電変換素子	早稲田大学－パナソニック

【受賞】

なし

(へ)共通基盤技術

A　超ハイガスバリア太陽電池部材の研究開発

1. 成果詳細

表 Ⅲ-2-(へ)-A-1(1)　研究開発項目ごとの成果・達成度

	最終目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
①シリカ蒸着複合膜による超ハイガスバリアフィルムの加工技術開発	幅 1m,長さ 1000m 以上、WVTR 10^{-6}g/m^2/day 以下	幅 1200mm 広幅ロールサンプルをロール to ロールプロセスで加工。WVTR10^{-6}g/m^2/day のバリアロールフィルムの作成を可能とした。	○	―
	85℃85%,3000hr 後の WVTR 10^{-5}g/m^2/day 以下	上記ロールサンプルを用いて 85℃ 85%RH 環境試験を実施。1700hr までは WVTR10^{-5}g/m^2/day 以下保持確認。	△	85℃85%RH 環境試験は検出子飽和のため 3000hr 到達前に途中で中断。 再度評価投入にて目標達成の見込み。 高温高湿評価を 10^{-5}g/m^2/day 台以下の精度で継続評価するのは困難。 評価技術も今後確立していく必要がある。
②高耐候性超ハイガスバリアシート、高耐熱性超ハイガスバリアフィルムの加工技術開発	幅 1m x 1000m 以上 XeWM3000hr 後の WVTR10^{-5}g/m^2/day 以下	広幅ロールサンプルにて、XeWM3000hr 後に 10^{-5}g/m^2/day 以下のバリア性能保持を可能とした。	○	―
	200℃の線熱膨張係数 20ppm 以下,熱収縮率 0.1%以下	広幅バリアフィルムロールと高耐熱ロールフィルムの組合せにより、200℃での収縮率 0.1%以下を可能とした。ただし、線熱膨張係数は 20～30ppm にやや悪化。	△	線熱膨張係数はバリア層とのバランスで保持しているが、超ハイバリアフィルムの構成確定が遅れたため調整未達。 最終の超ハイバリアフィルムの構成に合わせてラミネート条件を再調整することで、線熱膨張係数目標も達成できる見込み。

③部材・生産コストの低減	WVTR10^{-6}g/m^2/day 超ハイガスバリアフィルムのコストが 2012 年度 10^{-4}g/m^2/day ハイガスバリア比 80%以下	2012 年度 10^{-4}g/m^2/day ハイガスバリアコストに対し、新 10^{-4}バリアは 62%、新 10^{-5}バリアは 72%にコストダウン可能。目標の 10^{-6}バリアでも 93%にコストダウン可能とした。	△	10^{-6} を達成するためのバリア層コストが想定より増加。 １層当たりのバリア性能を向上させ、層構成、工程を簡略化することによりコストダウンできる見込み。

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：△、　達成不可：×

表 Ⅲ-2-(へ)-A-1(2) 特許、論文、外部発表等の件数（内訳）

	H22	H23	H24	H25	H26	計
特許出願（うち外国出願）	０ （０）	１５ （２）	３４ （５）	１７ （１）	０ （０）	６６件 （８）
論文（査読付き）	０	０	０	０	０	０件
研究発表・講演（うち国際会議）	０ （０）	３ （０）	２ （１）	１ （１）	０ （０）	６件 （１）
新聞・雑誌等への掲載	０	０	０	０	０	０件
受賞実績	０	０	０	０	０	０件
展示会への出展	０	０	２	０	０	２件

（※Patent Cooperation Treaty ：特許協力条項）

①Cat-CVD とシリカ蒸着の複合膜による超ハイガスバリアフィルムの開発

①-(1)　Cat-CVD 複合膜のガスバリア性向上検討と生産技術開発検討

本開発では水蒸気透過度（以下 WVTR）10^{-6}g/m^2/day 以下となる超ハイガスバリアフィルムを開発するため、三菱樹脂社に自社導入した実験機（ロードロック式真空マルチチャンバー成膜装置）に Cat-CVD ユニットを新たに導入し、Cat-CVD／シリカ蒸着複合膜フィルムを作製してガスバリア特性の評価を実施した。

バリア性能を向上させるためには、バリア層の積層化が有効であることが良く知られており、Cat-CVD 法による SiN/SiON 複合層においてもバリア性能の向上が確認されている。これは、異種材料層を積層することにより形成される積層界面により、下地バリア層からの欠陥成長を遮断することにより、その上に積層されるバリア層の膜品質を向上出来ること、バリア膜中のガス透過経路を多層化により複雑化し、迷路効果を生むことなどによるものと考えられる。

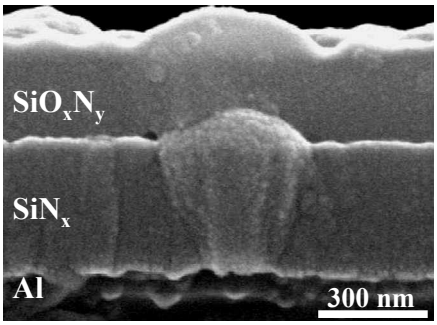
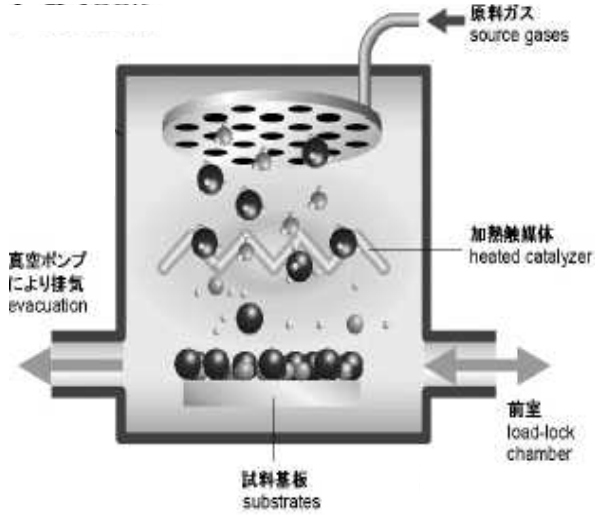


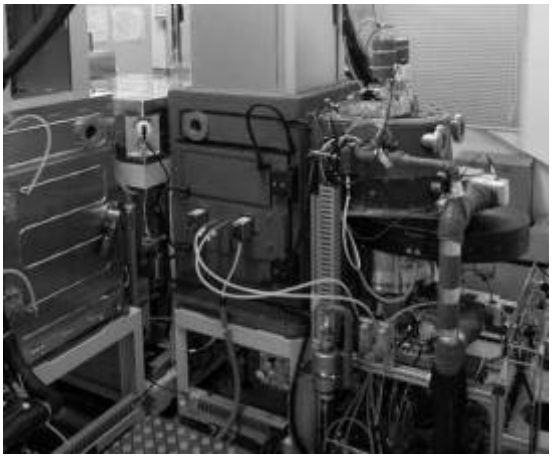
図 Ⅲ-2-(へ)-A-1(1)

本開発では、三菱樹脂社のバリアフィルム製造で実績のあるシリカ蒸着膜を基に、緻密かつ被覆性の高い無機バリア層を成膜できる Cat-CVD 法を用いて、シリカ蒸着複合膜の多層化を進めることにより 10^{-6}g/m^2/day 以下の超ハイガスバリアフィルム製造を可能とする技術検討を行った。

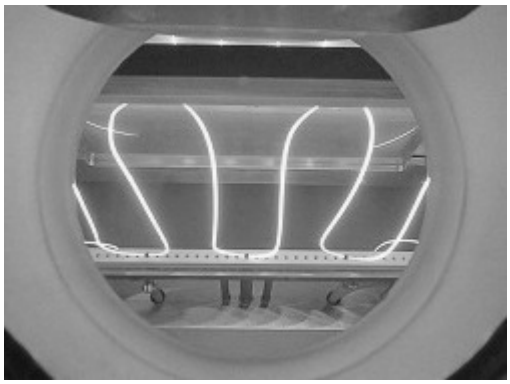
ロードロック式真空マルチチャンバー成膜機は、既設のシリカ蒸着室と、本事業で導入した Cat-CVD 成膜ユニットを持つ Cat-CVD 室を有し、これら二室の間の積層を大気開放することなく真空中に維持したまま実施可能としている。Cat-CVD 法の装置模式図を下図に示す。



図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (2)



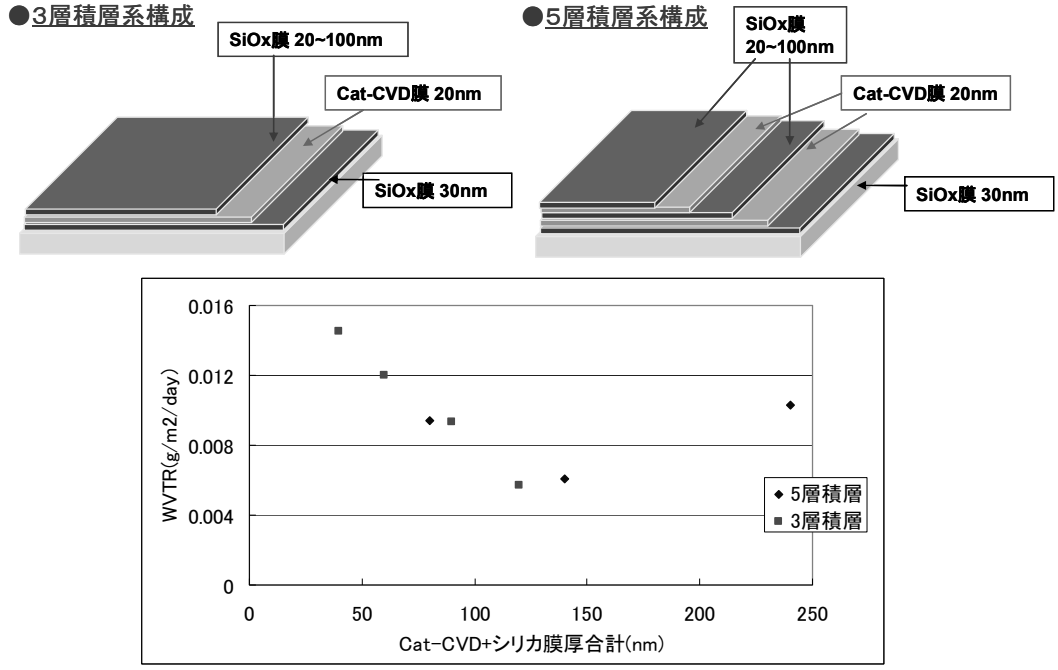
図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (3)



図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (4)

Cat-CVD 法は装置内に設置した原料ガス導入部と加熱触媒体から成り、通電加熱した触媒体により、導入した原料ガスを触媒分解することにより成膜対象基板上に、各種材料層を成膜させる化学気相成膜法である。特徴として、原料ガスの分解にプラズマを用いないことから、樹脂フィルム上の成膜では問題となるプラズマによる樹脂フィルムへのダメージがないこと、その一方で CVD 法の特徴である緻密で被覆性の高い無機層が成膜可能である。また装置構成としては非常にシンプルな構成となっており、大型化も容易であることから、量産化に適していると考えられる。本検討では、今後の実用化を考え、原料ガスとしては有害性のないヘキサメチルジシラザン(HMDS)を用い、Cat－CVD 法による Si 酸化膜の成膜条件の最適化検討と、シリカ蒸着を含めた無機薄膜成膜の積層化検討を実施した。

一般的にバリア層の膜厚が厚いほど、また、上述の通り複合膜を構成するバリア膜の層数が多い程バリア性能は向上するはずである。下図に Cat-CVD とシリカ蒸着の複合膜の積層構造と、合計膜厚に対する水蒸気透過度（WVTR）の関係の一例を示す。



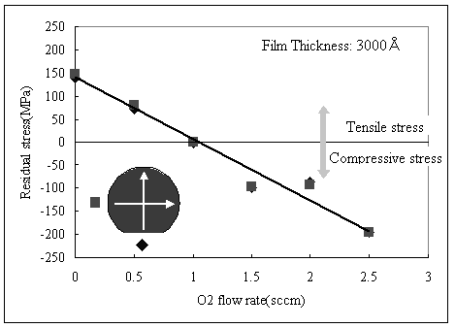
図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (5)

合計膜厚 120nm 程度までは３層積層、５層積層構造とも、合計膜厚の増加とともに水蒸気透過度(WVTR)は減少し、同膜厚では５層積層構造の方が低い WVTR を示しているものの、合計膜厚 120nm 以上からは WVTR が上昇しバリア性能が悪化することから、単純にバリア層を積層していくだけでは 10^{-6}g/m^2/day 以下となるようなバリア性能は達成出来ないことが分かる。同様の傾向は単層膜の膜厚を増加させていった場合にも見られることから、Cat-CVD／シリカ膜の多層複合膜の場合においても、膜応力の蓄積により膜中に応力破壊が生じ、バリア性能を劣化させるものと考えられる。

一般にシリカ膜等の無機酸化膜を蒸着成膜する場合、その膜応力は圧縮応力を示すため、同じ圧縮応力を持つ無機酸化膜層同士の積層構造では、一方的に応力が蓄積することになる。本開発では、このような応力蓄積によるバリア性能劣化を回避するため、引っ張り応力層との積層による応力補償構造の導入を検討した。

Cat-CVD 法による SiON 膜成膜条件において、ガス流量条件、基板温度条件、成膜圧力条

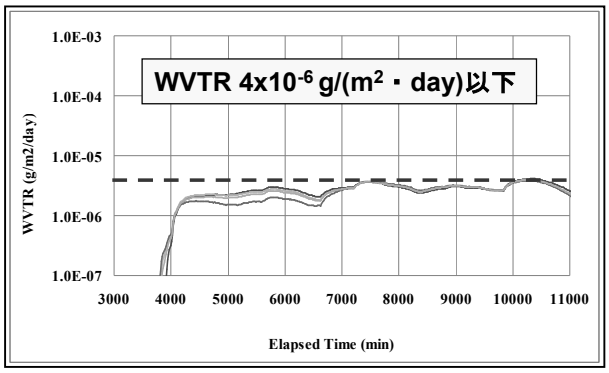
件、基板温度等の各成膜条件を検討し、引張り応力を有する SiON 膜を成膜できる条件を見出した。下図に例として Cat-CVD 法による SiON 膜の、O_2 流量に対する応力依存性を示す。



図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (6)

上記にて検討した Cat-CVD 法による引張り応力を有する SiON 膜とシリア蒸着膜により積層化した複合膜によるバリア性能向上検討を行った結果、積層数と膜厚の増加によるバリア性能劣化がはじめる臨界点を延ばすことに成功した。

現有の水蒸気透過度評価装置では、$10^{-5}g/m^2/day$ 以下の測定は測定下限以下となるため、上記積層技術を用いて試作した複合膜バリアフィルムを外部評価機関にて評価し、結果として合計 7 層の積層複合膜バリアフィルムにおいて、本研究開発項目の目標である水蒸気透過度 $10^{-6}g/m^2/day$ 以下のバリア性能達成を確認した。

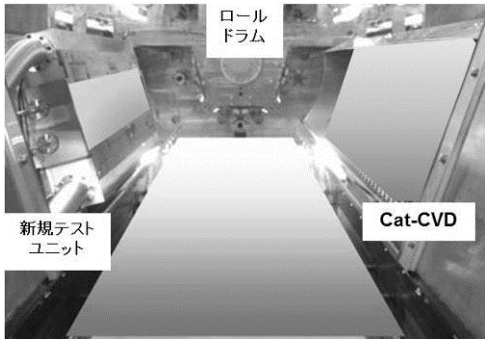


図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (7)

これらの実験機で得た成果と、北陸先端科学技術大学院大学にて研究開発を委託している触媒体の安定化技術、生産性を考慮した成膜条件と装置設計を元に、大型 Cat-CVD ユニットを大型生産機にも導入し、ロール to ロールプロセスでの実用化技術検討を行うべくロール to ロールプロセスでの Cat-CVD 成膜実験を実施。試作した Cat-CVD ロールサンプルの評価結果をフィードバックして、成膜条件の改良、装置改造案の検討を実施し、成膜速度の向上と幅方向の面内分布安定性改善を行った。

一方、ロール to ロールプロセスで複合バリア膜を成膜する場合は、各成膜層のタクトタイムは同程度となるため、各成膜ユニットの最適な成膜速度が同程度であることが重要である。そのため、上記大型化検討用 Cat-CVD 成膜ユニットを用いた成膜実験により得られた Cat-CVD の成膜速度などの成膜条件や膜質を加味した上で、Cat-CVD と組み合わせたシリカ複合膜を形成するために最も適する成膜手法、及び成膜装置構成の探索と新規成膜ユニットの設計開発を行った。

新規成膜ユニットの設計検討を行うための基礎データを取得するために RD 機にて実験を積み重ね、これらの実験結果を元に、大型化検討用 Cat-CVD ユニットと組み合わせて実験を行うためのテスト用新規成膜ユニットの設計を実施。大型化検討用 Cat-CVD ユニットと同じく、大型ロール成膜装置へのテスト用新規成膜ユニット導入設置を完了した。



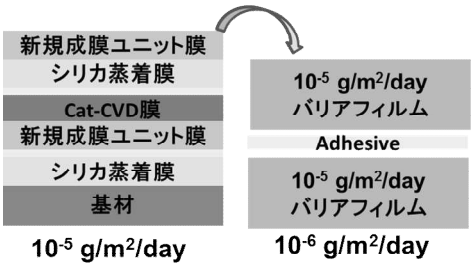
図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (8)

これにて新規成膜ユニットと Cat-CVD ユニットによる複合バリア膜の成膜準備が整ったことになるが、初期的には前段階として、テスト用新規成膜ユニットの立ち上げと条件調整、装置改良検討を優先して実施。先ずは新規成膜ユニット層のみでのバリア性能を引き上げることとした。

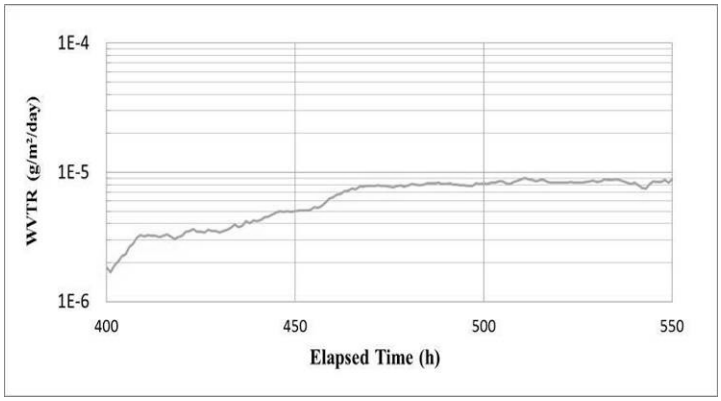
主として検討課題となったのは、成膜速度増加時の品質不安定性と、ロール幅方向の膜品質の不均一性の二つであったが、成膜実験ごとに不安定性の発生原因とその発生個所を同定し、都度装置改造を繰返して行うことで、最終的には導入当初に安定的に成膜可能であった成膜速度の約３倍まで向上させることが出来た。これら実験検討により整備された装置構成と成膜条件を用いて、ロール to ロールプロセスによる積層バリアフィルム試作を行い、最終的にシングルバリア構成にて 10^{-5}g/m^2/day のバリア性能を達成した。

図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (9)

得られた 10^{-5}g/m^2/day のバリアフィルムロールをラミネート加工により貼り合せて複合化することで最終目標である 10^{-6}g/m^2/day のバリアフィルムをロール to ロールプロセスで製造可能とすることに成功した。



図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (10)



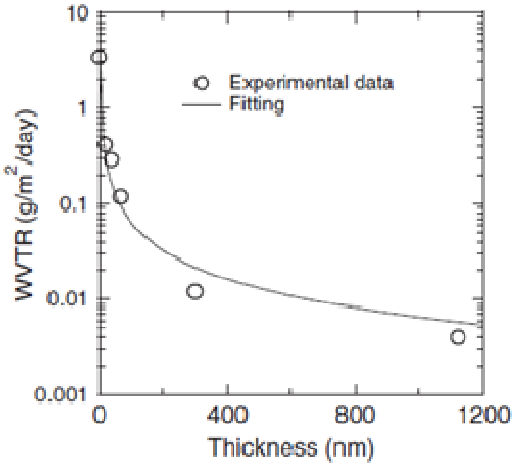
①-(2)　Cat-CVD 成膜技術開発（北陸先端科学技術大学院大学）

触媒化学気相堆積（catalytic chemical vapor deposition: Cat-CVD)法は、低温で緻密な膜を堆積できる特長から、プラスチック基板上への低温堆積が必要なガスバリア膜形成に適した手法であり、実際に、窒化 Si 系の材料を用い、有機 EL の封止に成功した例もある。また、海外の研究機関では、無機膜のみならず、有機膜の堆積が可能であることも示されている。この有機膜により、ガスバリア膜の性能を支配する膜厚方向のピンホールや亀裂の伝搬を抑止することで、無機膜との積層構造において優れたバリア性能が実証されている。本研究においては、(a) Cat-CVD による窒化 Si 系無機水蒸気ガスバリア膜、(b) 触媒体の長寿命化の指針の明確化、(c) アンモニアを使用しない窒化 Si 膜堆積の検討、(d) 無機膜との積層を目的とした有機膜形成の基礎技術について、開発を行った。

(a) HMDS による窒化 Si 系ガスバリア膜形成

無機ガスバリア膜としては、透明性と緻密性の観点から、多くの場合、窒化 Si 系薄膜が用いられる。CVD における Si の原料ガスは一般にシラン(SiH_4)であるが、爆発の危険性があるため除害系などの付帯設備の構築と維持が必要であり、低コストプロセスへの導入には不向きである。ヘキサメチルジシラザン(hexamethyldisilazane: HMDS)は、フォトレジスト塗布のための界面活性剤として汎用的に用いられている安価な液体材料で、その蒸気を用いて製膜を行うことで、窒化 Si 系の薄膜が形成可能であることが知られている。本研究では、SiH_4 の代わりに HMDS を用いることにより形成される窒化 Si 系薄膜のガスバリア性能に関する検討を行った。

触媒体としては、1800℃に加熱したタングステン線を用いた。原料ガスとして、HMDS の他、アンモニア(NH_3)、酸素(O_2)、水素(H_2)を用いた。基板には PET フィルムを用い、基板温度 60℃、圧力 100 Pa で堆積を行った。水蒸気透過率（water vapor transmission rate: WVTR)の計測は、40 ℃、90%RH の条件で、等圧法により行った。ガスバリア膜堆積を行っていない PET 基板の WVTR は、約 4 g/m^2/day であった。下図に、酸窒化 Si(SiO_xN_y)/PET 構造の WVTR の SiO_xN_y 膜厚依存性を示す。

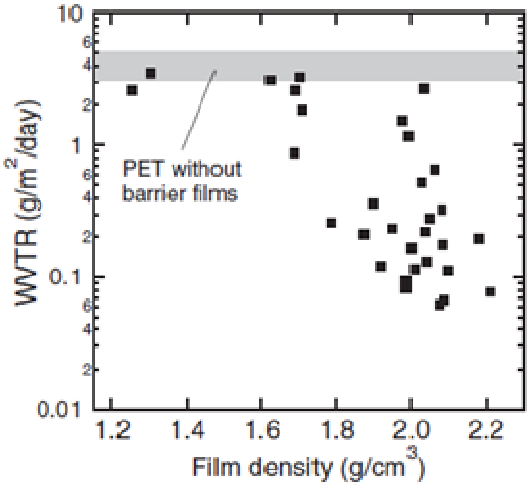


図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (11)

膜厚の増加にともない、WVTR が単調に低減している様子が分かる。一般に、ガスバリア膜にピンホール等の空隙が存在すると、そこが水蒸気拡散の経路となるため、厚膜化による WVTR 値の低減は起こらなくなる。今回の結果においては、厚膜化にともなう WVTR の単調な低減が確認されることから、堆積した SiO_xN_y 膜には、WVTR を律速するほどの空隙が存在

しないことが分かる。なお、図Ⅲ-2-(へ)-A-1(11)中の実線は、膜に空隙が存在しないと仮定した場合の膜厚と WVTR の関係を示したものであり、実験値と良い一致を示している。また、SiO_xN_y膜を 1000 nm 程度堆積した試料において、10^{-3} g/m^2/day 台の、単層としては優れた WVTR を達成した。

下図に様々な条件で堆積した 100 nm 厚の SiO_xN_y と PET 基板の積層構造の WVTR と SiO_xN_y の膜密度の関係を示す。なお膜密度は、X 線反射率法により導出した。



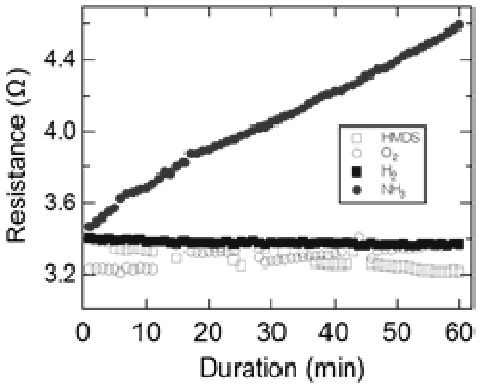
図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (12)

WVTR と膜密度には明確な相関があり、膜密度が 1.8 g/cm^3 を下回る膜では、有効なガスバリア性能はほとんど得られず、一方 10^{-2} g/m^2/day 台の WVTR を得るためには、2.0 g/cm^3 以上の膜密度を持つ緻密な膜の利用が必要であることが明らかとなった。

以上より、Cat-CVD により HMDS を用いて作製した窒化 Si 系薄膜のガスバリア膜としての有用性と、ガスバリア性能を発現させるための必要条件を明確化した。

(b) 触媒体の長寿命化の指針の明確化

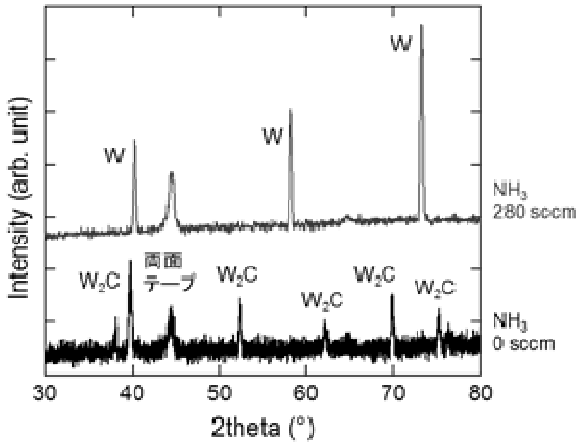
(a)で示した、Cat-CVD での HMDS を用いた薄膜形成において、触媒体として使用するタングステンの炭化が問題となる。炭化を抑止するためには、タングステンとの化合物が形成される前に、炭素を引き抜く反応を起こすガス種の供給を行うことが望ましい。この基礎検討のため、線状のグラファイトを初期温度 1800℃程度に通電加熱し、種々のガスを流して抵抗値の変化を観測することで、炭素の引き抜き反応の程度を確認した。



図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (13)

O_2、H_2、HMDS においては、グラファイト線の大きな抵抗変化は確認されない。一方、NH_3 を流入した際には、時間とともに触媒体の抵抗値の大幅な増大が確認された。この現象は、NH_3 もしくはその分解種により、グラファイト線から炭素が引き抜かれ、直径が低減したた

めと考えられる。この結果より、NH_3には高い炭素引き抜き効果があることが明らかとなった。すなわち、タングステン触媒体使用時の炭化抑止に、NH_3の同時供給が有効であると考えられる。そこで、NH_3供給の有無により、タングステン触媒体線の炭化に影響があるかどうかの調査を行った。下図に 1800℃に加熱した状態で HMDS を流し、NH_3の同時供給を行った場合と行わなかった場合のタングステン線の X 線回折パターンを示す。



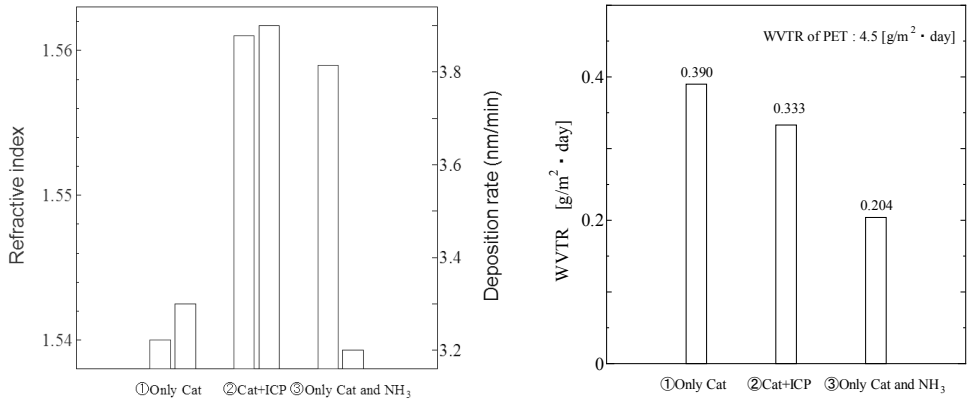
図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (14)

NH_3の同時供給を行っていないタングステン線からは、W_2C に起因するピークが観測される。一方、NH_3の同時供給を行った試料においては、炭化タングステンに由来する信号は観察されず、炭化が抑止されていることが分かる。これらの結果より、NH_3の同時供給がタングステン線の炭化抑止に有効であることを明確にした。

(c) アンモニアを使用しない窒化 Si 膜堆積

窒化 Si 系薄膜の堆積に使用する NH_3 ガスは、特殊高圧ガスである SiH_4 等ほどの危険性は無いものの、毒性や刺激臭の問題から、より安全な代替原料があれば、その使用が望まれる。安全な窒素源としては N_2 があるが、Cat-CVD おける N_2 の触媒分解は、窒化 Si 系薄膜の堆積に用いられる 2000 ℃以下の触媒体温度ではほとんど起こらないことが知られている。そこで、融合結合プラズマ(ICP)により基板から離れた場所で N_2 を分解してそのラジカル種を輸送し、HMDS の分解種とで窒化 Si 系薄膜を得る検討を行った。製膜は、圧力 10 Pa、基板温度 60℃で行った。また、O_2 も同時に供給し、SiO_xN_y 膜を形成した。①N_2 を流すがプラズマ分解を行わなかったもの、②ICP で N_2 の分解を行ったもの、③N_2 の代わりに NH_3 を流し、触媒体で分解を行ったものについて、屈折率、堆積速度、ガスバリア性能の比較を行った。

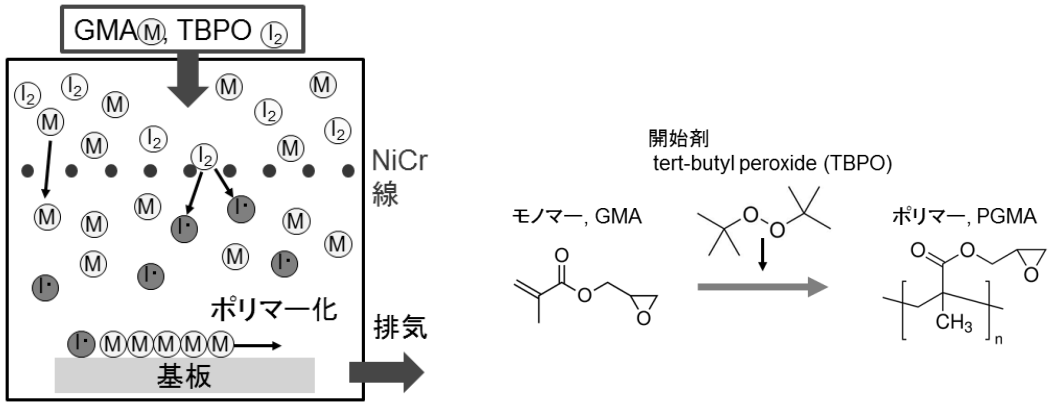
図Ⅲ-2-(へ)-A-1(15)に、3 種類の方法で堆積した SiO_xN_y 膜の屈折率、堆積速度と、これらの膜のガスバリア性能を評価した結果を示す。ICP による N_2 分解を行うことで、屈折率と堆積速度の向上を確認した。また、得られた膜は、従来の NH_3 を用いた方法で作製した膜と同等の屈折率を示しており、堆積速度も向上している。ICP で N_2 を分解して形成した SiO_xN_y 膜を PET 基板上に堆積した試料の WVTR は 0.33 g/m^2/day であり、従来法により作製した膜の 0.20 g/m^2/day と同水準の膜を、NH_3 を用いずに得られることが明らかとなった。なお、(b)で示した NH_3 添加による炭化抑止の効果は、この堆積条件においては得られない。この点に関しては、今後の課題である。



図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (15)

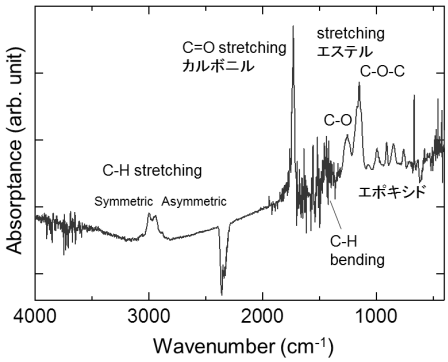
(d) Initiated CVD による有機膜堆積

Cat-CVD による有機膜堆積においては、一般にモノマーの元となる原料の他、開始剤と呼ばれる重合を促進する材料を供給する。このような機構の膜堆積を、特に initiated CVD (i-CVD)と呼ぶ。i-CVD の加熱触媒体線においては、開始剤のみが分解される。この開始剤がモノマー原料と反応してモノマーラジカルが生成され、重合が進行する。今回の研究においては、モノマーに glycidyl methacrylate (GMA)、開始剤に tert-butyl peroxide (TBPO)を用い、poly-glycidyl methacrylate (PGMA)の製膜を試みた。下図に i-CVD の成膜機構の模式図と、GMA、TBPO、PGMA の構造式を示す。



図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (16)

330 ℃に加熱した NiCr 線を触媒体に用い、原料ガスとして GMA と TBPO を導入し、圧力 13.3 Pa、基板温度 40 ℃で製膜を行った。下図に堆積膜のフーリエ変換赤外分光(FT-IR)スペクトルを示す。



図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (17)

Ⅲ-2-(へ)-A-1[10]

PGMA 膜が有する結合に起因したピークが明瞭に観察されており、PGMA 膜の形成が確認される。なお、分光エリプソメトリーにより得られた屈折率は 1.5 程度であり、PGMA の文献値と一致している。また、TBPO を供給しないと膜堆積が起こらないことから、この製膜機構が i-CVD によるものであることも確認した。さらに、厚さ 12 μm の PET 基板上にも製膜を行い、最大 200 nm 厚の PGMA 膜において、基板への熱損傷、および応力による変形無く製膜が可能であることを確認した。

以上より、無機膜との積層膜を形成するための PGMA 膜堆積に関する基盤技術を、本研究において確立した。

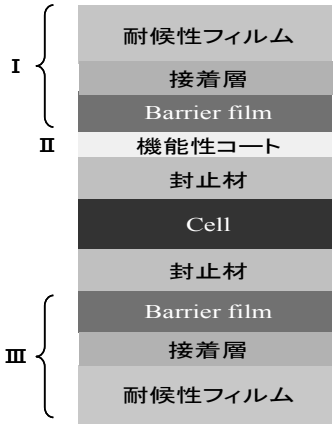
この i-CVD による PGMA 膜をシリカ蒸着バリアフィルムの上に積層させ、PGMA 膜の上にシリカ蒸着膜を積層することで、積層したバリアフィルムの WVTR を、元のシリカ蒸着フィルムの WVTR の１／３程度に低下させる効果が得られた。応力緩和の点などから多数の積層には無機多層膜よりも有利と考えられるため、非常に有効なハイバリア成膜技術となる可能性を見出した。

②高耐候性超ハイガスバリアシート、高耐熱性超ハイガスバリアフィルムの加工技術開発

②-1 高耐候性超ハイガスバリアシートの開発

本開発では、高耐候性バックシート、およびフロントシートの層構成設計と、各種加速耐久試験（短期実曝試験を含む）による評価を実施し、高耐候性バックシート、およびフロントシートの基本構成を確立することを目的に検討を行った。

下図に一般的なＰＶモジュールにおいてのフロントシートとバックシートの構成を示す。



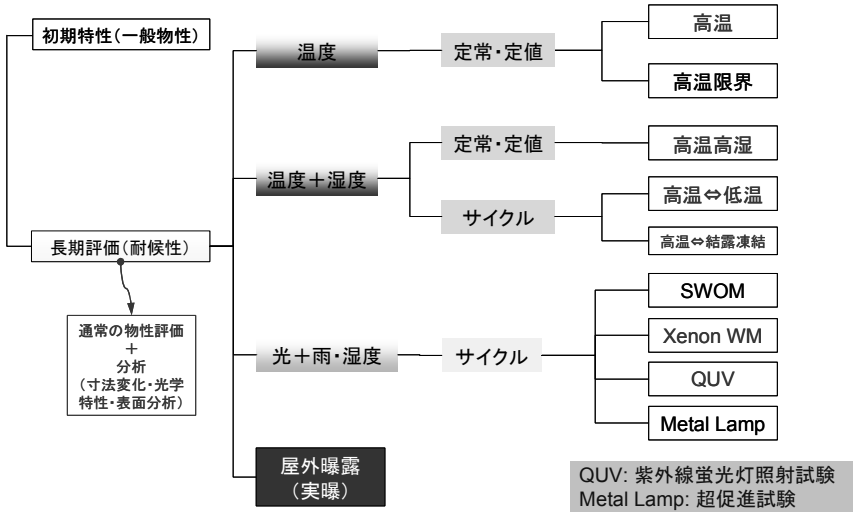
図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (18)

Ⅰ、Ⅲはそれぞれフロントシート、バックシートであり、本研究開発項目の目標にも設定されている高い耐候性とともに、バリアフィルムとの密着性が維持されることが求められる。特に後者の特性はフロントシートにおいてより重要である。

また、本研究開発項目の目標には設定されていないが、実際のモジュールメーカーがバリアシートを用いてＰＶセルを封止する上で、その封止材との密着性が維持されることがバリア性能と同様に重要である。

これらの要求特性に対応するため、Ⅰフロントシート、Ⅱ機能性コート、Ⅲバックシートについてそれぞれ開発検討を行い、耐候性試験にて評価を実施した。

図Ⅲ-2-(へ)-A-1(19)に一般的な耐候性試験法を示す。



図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (19)

本開発では高温高湿試験として８５度８５％ＲＨ環境下(DH)試験３０００時間後、耐候性試験機試験としては当初 SWOM 試験としていたが、現在は XeWM (図中 Xenon WM)が主流のため、XeWM 試験 ３０００時間後の機械物性変化を評価することとした。

Ⅰ フロントシート開発では、上記耐候性試験条件のもとでも機械特性・透明性・UV 遮蔽特性が十分に保持可能な耐候性フィルム材料の選定と、その耐候性フィルムとの接着強度を向上させるための接着層選定とその加工方法を検討した。耐候性フィルムとしては耐候性の点でフッ素系樹脂が適しているため、数種類のフッ素系樹脂を選定して評価を行った。一方、一般的にフッ素系樹脂は接着し難くいため、フッ素樹脂との接着であっても十分な接着強度を得られるような表面処理法と接着剤を選定し、これらの組み合わせにて耐候性試験を行い評価した。結果、もっとも良好な組み合わせにおいて下図の結果が得られ、DH 試験３０００時間後、及び XeWM３０００時間後において、機械物性変化の指標としている引張強度、及び層間強度（耐候性フィルムとバリアフィルムの密着強度）の変化率共に、本研究開発項目の中間目標である３０％以下を達成した。

DH	光線透過率	層間強度	引張強度	
Initial	1.000	1.00	1.00	
1000hrs	0.999	0.80	1.05	
2000hrs	1.001	-	0.96	
3000hrs	1.003	0.80	0.91	Initialを1とした変化率
Xe				
Initial	1.000	1.00	1.00	
1000hrs	1.003	0.93	0.96	
2000hrs	1.007	0.87	0.95	
3000hrs	1.000	0.80	1.01	Initialを1とした変化率

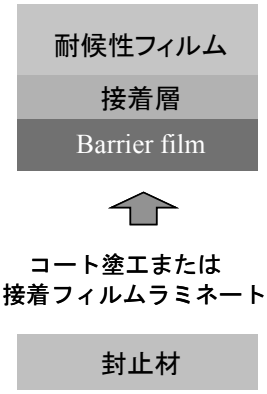
図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (20)

Ⅱの機能性コート検討では、封止材との十分な密着強度を得られるよう、当初基材の表面処理加工及び易接着コート加工により改良を実施していたが、DH 試験３０００

時間後、及びXeWM試験３０００時間後においても密着強度を維持可能な加工条件を見出すには至らなかった。しかしながら、さらに検討を進め、易接着コートの代わりに易接着フィルムをラミネート加工することにより、DH試験３０００時間後、及びXeWM試験３０００時間後においても、封止材との十分な密着強度を維持できる技術を確立した。

上述のように、封止材との密着性は、ＰＶモジュールの寿命においては、バリア性能とともに重要である。本技術により製造するフロントシートは、各モジュールメーカーにて特段の処理を必要とせずに封止材との密着性を維持可能な汎用シートとして供給可能であり、多くのＰＶモジュールメーカーのモジュール寿命改善に寄与できると思われる。

高い耐候性能と封止材との密着強度の両方を有する点で本開発技術は他の競合技術に比べ優れており、今後①で開発の超ハイガスバリアフィルムと組み合わせることで、世界最高水準の高耐候性超ハイバリアフロントシートが製造可能となる。

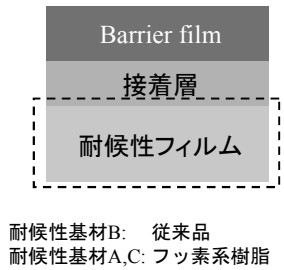


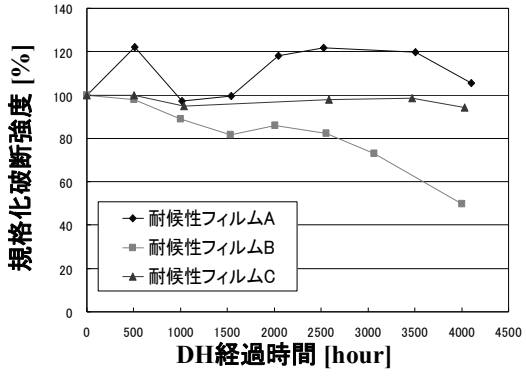
封止材との密着強度
[N/15mm]

	易接着フィルム	Coat
Initial	>100	>100
DH1000h	>100	>100
DH2000h	>100	>100
DH3000h	>100	30
Xe1000h	>100	>100
Xe2000h	>100	-
Xe3000h	>100	-

図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (21)

Ⅲ　バックシート検討では、Ⅰのフロントシート検討と同様、耐候性フィルムと接着剤の選定と組み合わせにて耐候性試験を実施した。結果、Ｈ２３年度の実績ではDH試験２０００時間後に急激な劣化が見られたものの（耐候性フィルムB)、これを新規開発品のフッ素系樹脂とすることで、DH試験３０００時間後においても、目標である機械物性（破断強度）変化率３０％以下を達成した。





図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (22)

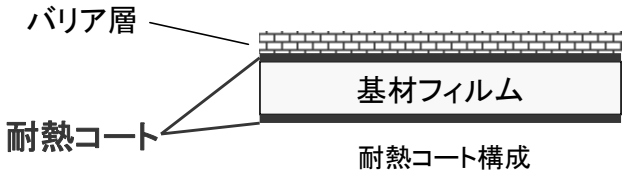
②-(2)高耐熱高耐侯性基材の開発

本開発では、超ハイガスバリアフィルムのプラスチック基材について、線膨張係数及び熱収縮率の低減化と、さらにロール to ロールプロセスを想定したフィルム化技術の開発を目的とし以下の検討を行った。

本検討では高分子材料同士のブレンド・複合化を用いて、高温環境下における熱寸法安定性を有する構成の探索を行った。

さらなる耐熱性を向上させるためには、この基本構成に無機材料を導入することが有効と考えられるが、高分子材料に無機材料を導入するためには、材料同士の相溶性、分散性、を最適化させることが必要であったためこの検討を実施した。

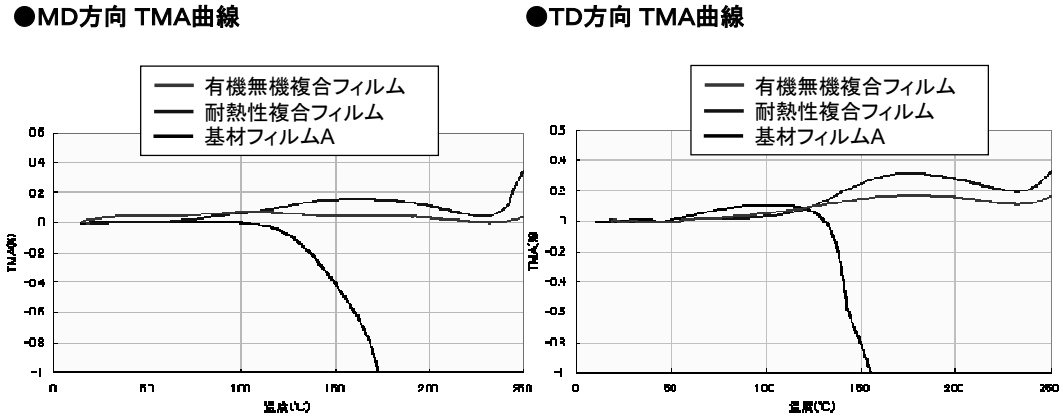
これらの検討により開発した複合耐熱樹脂を、コート材として基材フィルムにコートすることにより非常に高い耐熱性を有するフィルムを作製できる構成を見出した。



図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (23)

さらに上記材料設計に加え、フィルムの加工プロセスを工夫することによっても、耐熱化が可能なことが明らかになった。

以上の検討の結果、得られた評価結果を下図に示す。本研究開発項目の中間目標値である、プラスチック基材の線膨張係数が２０ｐｐｍ以下（下図ＴＭＡ曲線　有機無機複合フィルム)、２００℃の熱収縮率が０．１%以下（下図収縮率 有機無機複合２）を達成することが出来た。



図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (24)

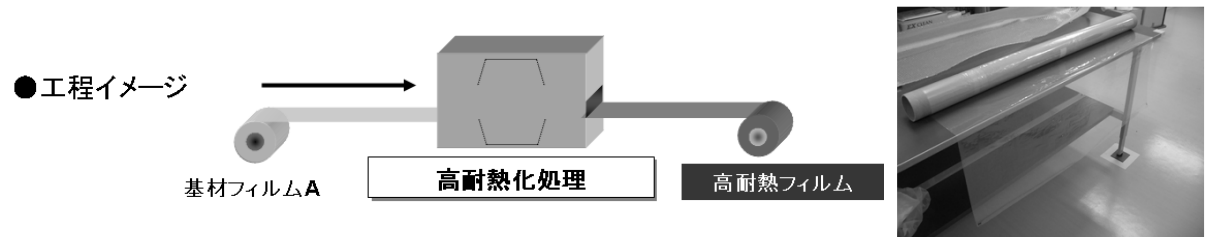
	収縮率(%)			
測定温度	有機・無機複合1		有機。無機複合2	
(℃)	MD	TD	MD	TD
100	–	–	–	–
150	0.14	0.09	0.00	0.04
200	0.36	0.39	0.00	0.00

図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (25)

高耐熱性基材としては、ポリイミドフィルム等が挙げられるが、カラーレスの透明樹脂フィルムとして、これほどの耐熱性能（低線熱膨張係数、低収縮率）を有するものは他には無く、世界最高レベルのカラーレス透明耐熱樹脂フィルムと言える。

上記は少量の実験用コーターでの実施結果であるが、その構成をもとに量産化を念頭においたロール to ロールプロセスでの実用化条件の試作検討を実施した。

現有の生産機にて試作を行い、初期実験では実験室で作製したフィルム構成自体を再現することは可能であったが、耐熱性においてはやや不十分な結果となった。これは生産機のライン速度が速いため、十分に耐熱処理が出来なかったためと思われる。その後試作条件の検討と評価を重ねることにより､現在では十分な耐熱処理が可能な条件とすることで、生産機でも実験機で達成した性能をほぼ再現することが出来た。

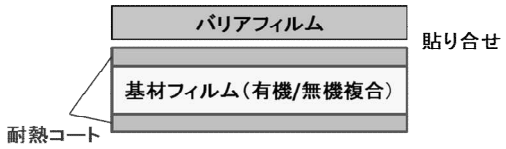


図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (26)

開発したロール to ロール製造プロセスにて製造した高耐熱ロールフィルムと（１）シリカ蒸着複合膜による超ハイガスバリアフィルムの開発にて開発した超ハイガスバリアロールフィルムを用いて高耐熱性超ハイガスバリアフィルムの加工技術開発を行った。

高耐熱性ロールフィルム上にハイガスバリア複合膜を形成することにより製造する方法を当初検討したが、製造コストと加工プロセス簡略化の観点から、高耐熱性ロールフィルムと超ハイガスバリアロールフィルムをロール to ロールプロセスにてラミネート加工することより作成した。線熱膨張係数の低減は耐熱コートとベース基材との引張・圧縮バランスの調整により２００℃までの低線熱膨張係数を達成していたため、貼り合せたバリアフィルムとのバランスを再調整する必要がある。収縮率、線熱膨張係数とも目標に適合させるべく試作検討を行った。研究期間内で得られた最終結果を下図に示す。超ハイガスバリアロールフィルムと高耐熱ロールフィルムの組合せにより、最終目標である２００℃での収縮率０．１％以下の超ハイガスバリアロールフィルムの製造を可能とした。ただし、線熱膨張係数は最終目標の２００℃ ２０ｐｐｍをやや上回る結果に止まった｡引き続き超

ハイガスバリアフィルムとのバランスを調整することで最終目標を達成することは可能と考えている。



	収縮率(%)	
測定温度	有機/無機複合	
(℃)	MD	TD
100	0.00	0.00
150	0.00	0.01
200	0.00	0.06

	線熱膨張係数(ppm)	
温度範囲	MD	TD
25～50℃	15	4.2
50℃～100℃	15.5	13.5
100℃～150℃	22.6	25.0
150℃～200℃	26.5	28.9

図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (27)

一部最終目標には未達ながら、本研究開発項目にて開発の技術を組み合わせることにより、高耐候性超ハイガスバリアシート、及び高耐熱性透明超ハイガスバリアフィルムをロール to ロールプロセスで製造が可能となる。

③部材・生産コストの低減

本研究開発では高耐候性フロントシートの低コスト化検討として、バリアフィルムと耐候性フィルム間の接着層における接着材料の再検討と、それら接着材料に応じた加工工程の簡略化検討を実施。材料検討、及び加工工程の簡略化検討にて試作したシートを都度評価し、②-(1)高耐候性バリアシートの開発で開発した高耐候性フロントシートの特性を維持しつつコスト削減を可能とするための検討を行った。

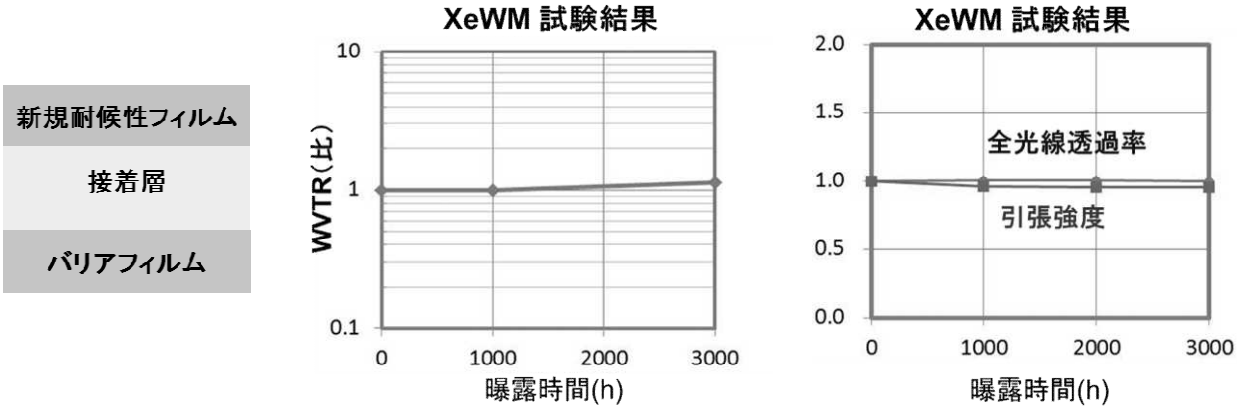
これまでの試作実験と評価結果をフィードバックして接着材料と加工工程の組み合わせ、加工条件を改良していくことにより、接着性能、耐候性能とも②-(1)高耐候性バリアシートの開発で開発したフロントシートの特性と同等の良好な結果が得られたことから、10%程度のコスト低減が可能となった。

ただし、接着層のみの材料コストと加工コストは、ガスバリアシート全体のコスト構成からすると小さく、その部分のコストダウンによる生産コストの低減効果も限定的であるため、コスト比率の大きい耐候性フィルムについても低コスト化を検討すべく、低コスト代替材料の選定検討と、耐候性能を維持するための配合・加工条件等の検討を実施した。

耐候性フィルムの低コスト代替材料の選定と基礎評価を行い、良好な結果が得られたものから試作検討と耐候性評価を実施し、従来材料使用時の特性と同様の性能を発現出来る代替材料の選別作業を更に行った。最終的に、低コスト代替材料候補の中から選別した新規耐候性フィルムを用いた評価にて、図Ⅲ-2-(へ)-A-1(28)の結果が得られた。

評価構成品加工時はまだ $10^{-6}g/m^2/day$ 超ハイガスバリアロールフィルムが得られていなかったため、$10^{-4}g/m^2/day$ 前後のバリアフィルムで実施した結果であるが、XeWM3000hr 後においても大きなバリア特性の劣化は確認されなかった。低コスト新規耐候性フィルムの

評価指標として光学特性は全光線透過率、機械物性変化としては引張強度を指標として評価したが、これら特性においても XeWM3000hr 後も特段の劣化は確認されなかった。

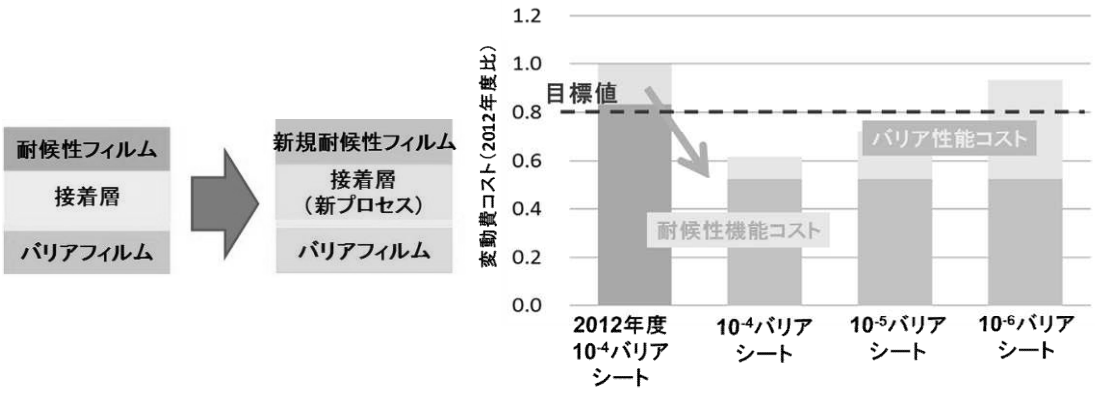


図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (28)

上記バリアシート構成材自体の低コスト化検討の他に、バリアフィルムを PV モジュールに応用した場合のコスト低減としては、バリアフィルムの広幅化も重要である。広幅化によりバリアフィルム単位長さあたりのモジュール数が増加し、バリアフィルムの面積歩留りが向上することから、PV モジュールのコスト増が低減される。従来のバリアフィルム幅を約 1.2 倍に増加すべく試作検討を実施。結果、同じ構成で広幅化したのでは積層フィルムの厚みムラが大きく悪化する問題が発生することが判明。厚みムラ発生の原因を調査し、原因となっていた接着層の材料と組成を再度見直して試作検討を行うことにより、厚みムラの悪化を抑制しつつ従来比 1.2 倍の広幅化を可能とした。これにより、あるＰＶモジュールのケースでの試算では、バリアシート分のコスト割合を最高で約６割程度にまで圧縮出来る見込みが得られた。

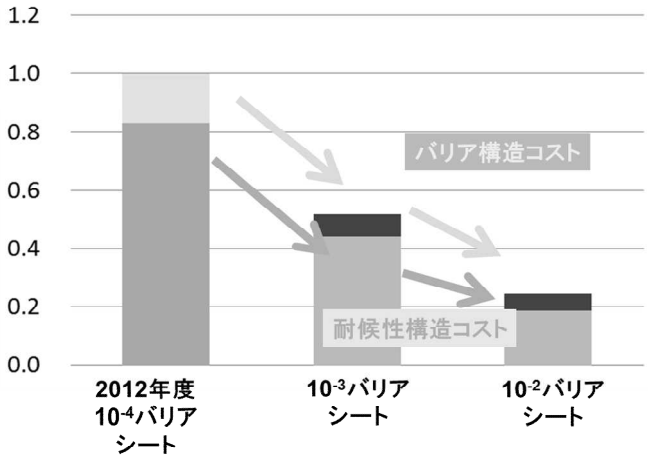
その他、ユーザー求評等での結果と要望のヒアリングから、耐候性・耐熱性以外の、PV 用途として必要な他の特性についても要望が得られた。耐候性向上のため基本構成では UV カット機能を有した構成としているが、一方で UV 領域の発電効率が低下することになる。ＰＶモジュールとしては UV 領域の波長についても有効利用できることが望ましいため､UV 領域の透過領域を広げられるよう構成の変更検討を実施した。結果、樹脂基材を吸収帯がさらに低波長のものに変更し、かつ、接着層にバリアフィルムの耐候性を保持できるだけの UV カット機能を付与させることにより、350～400nm の光線透過量を約 6 倍に向上させることが出来た。

最終的に成果目標としていた部材・生産コストの低減については、上述の接着材料と加工工程の簡略化変更、低コスト新規耐候性フィルムへの置き換えにより、2012 年度 $10^{-4}g/m^2/day$ ハイガスバリア変動費コスト比 80%の目標に対し、新規開発の $10^{-4}g/m^2/day$、$10^{-5}g/m^2/day$ バリアを用いた構成ではコストダウンの目標値を達成することが出来た。$10^{-6}g/m^2/day$ 超ハイガスバリアを用いた構成では、超ハイガスバリアフィルムのコストアップが影響し、目標値には及ばなかったものの、90%程度のコストダウンが可能となった。バリア性能を大きく向上させつつ、コストダウンを可能とした本成果は、今後の軽量・フレキシブル分野の産業の発展に十分貢献可能な成果と考えている。



図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (29)

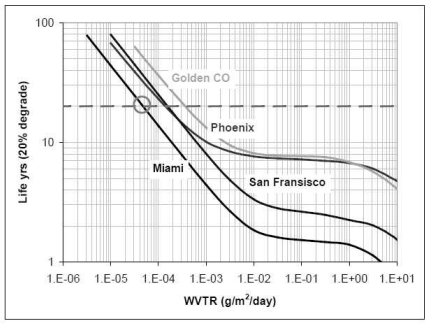
また、超ハイガスバリアシートの潜在的市場要望の一方で、既存の 10^{-2}～10^{-3} のハイからミドルレンジのバリア性能で良いので、さらに低コストのものをとの市場要望も多い。本研究開発の成果を既存のバリア性能レンジのバリアフィルムにも応用し、更に耐候性構造については簡略化することにより、既存レンジのバリアシートについてもコストダウンを可能とした。これによりＣＩＧＳ系他、アモルファスＳｉ系、結晶Ｓｉ系等、既存のあまりハイバリアを要さない用途のＰＶモジュールに対してもコスト面、あるいは、長寿命化の点で寄与し、更なる普及促進に貢献できるとものと考える。



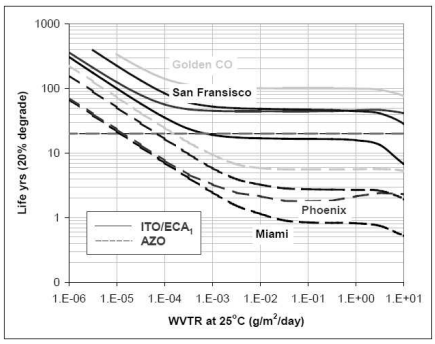
図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (30)

以上の本研究開発の成果により今後のＰＶモジュールの軽量、フレキシブル化、及び低コスト化に貢献し、開発、実用化を促すことが期待される。

また、現時点において高効率ＰＶモジュールとして製品開発がなされているＣＩＧＳ系ＰＶ等の化合物系ＰＶモジュールにおいても、長期信頼性を確保するためには、10^{-5}g/m2/day 台の高いバリア性能が必要と言われており、図Ⅲ-2-(へ)-A-1(31)に示すようにＩＴＯ電極を使用したモジュールでは２０年保障のために 4x10^{-5}g/m2/day のバリア性能が、ＡＺＯ電極を使用したモジュールにおいては、1x10^{-5}g/m^2/day のバリア性能が必要とも予測されている。



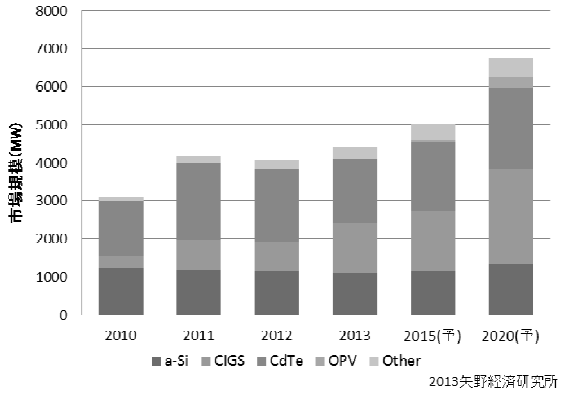
Need ~ 4x10^{-5} g/m^2/day package ~ 20 yr life



ITO Life 5-25X AZO Life

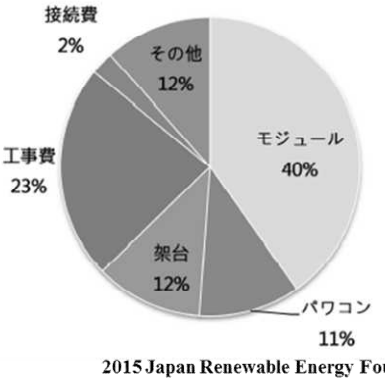
図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (31)

α-Si 系、ＣＩＧＳ系等のＰＶモジュールは２０１５年から徐々に販売量が伸びると予想されており、本研究開発にて開発の超ハイガスバリアフィルム及びシートを応用することにより、軽量、フレキシブル、かつ長寿命のＰＶモジュールを開発、製造することが出来る。

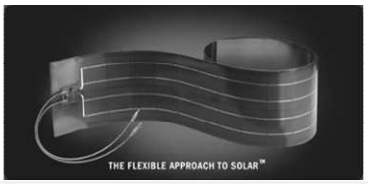


図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (32)

ＰＶシステムの導入費用は、ＰＶモジュールの割合が 40%程度に対し、モジュールの設置施工費（工事費、架台）が約 35%と大きな割合を占める。ＰＶモジュール価格は年々減少して行くと予想されている一方で､設置施工費については大きな低下は見込めないため、最終的には施工費が大きな割合を占めることになると予想されている。ＰＶモジュールを軽量化できることにより､ＰＶモジュールを設置するための工事人数､工事期間を低減し、架台も簡略化出来ることにより設置施工費を低減できると考えられるため、ＰＶシステムを導入するためのトータルコストを抑え、ＰＶシステムの導入を促す効果が期待できる。



図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (33)



ガラス⇒バリアフィルムへの置き換えによりPVモジュールを軽量化
(上記モジュール： 2.8kg/m^2)

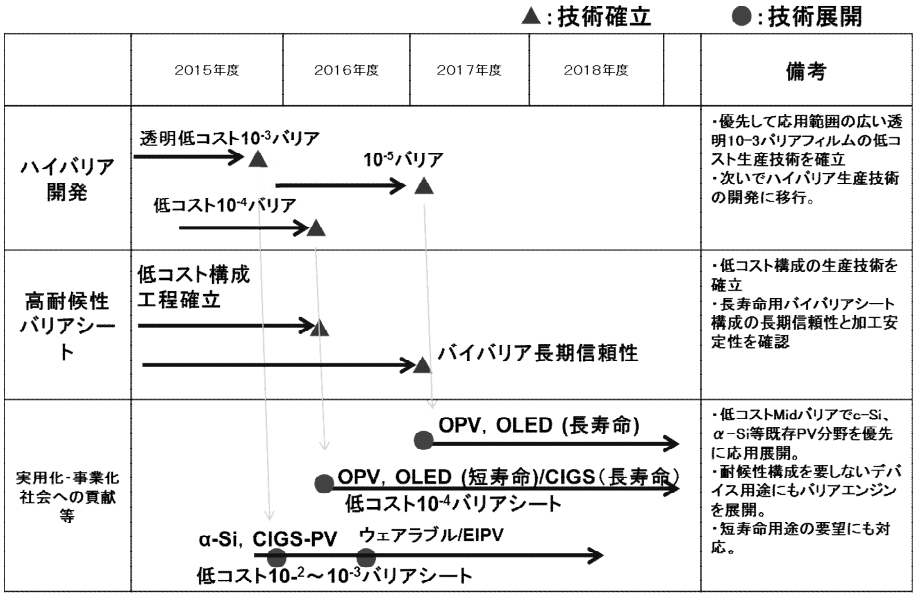
図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (34)

三菱樹脂社ですでに販売を行っている 10^{-4}g/m^2/day のハイガスバリアシートを用いたＣＩＧＳ系ＰＶモジュールでは、その重量は 2.8kg/m^2 程度であり、3m^2 サイズでも 10kg 以下である。これまで耐加重の点で補強をしなければ設置が出来なかった既存住宅の屋根にも、特段の補強もなく設置できると思われる。また今後開発される有機ＰＶモジュール等と共に、軽量であることを活かし、壁面や窓、自動車、モバイル及びウェアラブルデバイス等への応用展開も可能となることから、需要の拡大を促すと期待できる。

図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (35)

2. 実用化・事業化見通し

本研究開発成果の、実用化・事業化に向けたロードマップを下図に示す。



図Ⅲ-2-(へ)-A-2 (1)

本研究開の趣旨からすれば、10^{-6} g/m^2/day 超ハイガスバリアシートの実用化・事業化に向けて技術開発を推進すべきであるが、現在のＰＶ市場の状況を鑑み、先ずは既存市場があり、応用範囲の広い10^{-2}から10^{-3}/g/m^2/dayのミドルバリア帯を優先して技術展開をする。ミドルバリア帯からハイバリア帯に向けて適した低コスト構成の生産技術を順次確立し、随時これらをそれぞれバリア帯のバリアフィルムに応用することで市場投入して行く。

先ずは低コスト 10^{-2}～10^{-3}g/m^2/day バリアシートから、早ければ 2015 年度末から 2016 年度にかけて事業化し、既存α-Ｓｉ系、あるいはＣＩＧＳ系ＰＶモジュールの低コスト化に寄与することで軽量・フレキシブルＰＶ分野の市場拡大を推進する。また、軽量・フレキシブルの利点を活かしたウェアラブルデバイスや、ＥＩＰＶ等の新需要の創出、製品開発も促進させる。

追って低コスト 10^{-4}g/m^2/day ハイバリアシートも事業化し、既存ＣＩＧＳ系ＰＶモジュールの長寿命化に寄与するとともに、ＯＰＶやＯＬＥＤ等比較的高いバリア性能が必要な新分野デバイスの市場参入開発に貢献する。実際に高耐候性シート製造技術については、すでに一部を現行の 10^{-3}、10^{-4}g/m^2/day と組み合わせて実用化体制を整えており、各ＣＩＧＳモジュールメーカーにて求評いただいている。同試作品は展示会でも出品し、広く成果の普及に向けた取り組みを行っている。

図Ⅲ-2-(へ)-A-2 (2)

最終的には 10^{-5}～10^{-6}g/m^2/day 超ハイガスバリア帯の高耐候性シートを事業化し、ＯＰＶやＯＬＥＤ等の長寿命化に寄与させる予定であるが、10^{-5}g/m^2/day 超バリアフィルムの量産技術確立には大型量産機への設備投資と量産化検討期間が必要なことと、超ハイガスバリア帯の高耐候性構成の長期信頼性と加工安定性の確認にはかなりの時間を要するため、ＯＰＶモジュール等の市場の立ち上り予測も考慮し、2017 年頃の事業化を予定している。

また、見落とされがちではあるが、上記超ハイガスバリアシートの事業化のためには、超ハイバリアフィルムの量産技術と並んで、10^{-6}g/m^2/day 以下もの超ハイバリアフィルムの水蒸気透過率を、量産時のような多数量の場合においても評価できる品質検査技術とシステムが不可欠である。

本研究開発の事業化検討の一環として、10^{-6}g/m^2/day 以下の水蒸気透過度を評価可能で、かつ多数の検査試料を評価し得る評価技術の開発も実施した。現在同時測定 100 点以上の評価システムを構築し、事業化に向け、本水蒸気透過度評価法の精度、安定性の確認と、評価工程の簡略化、スループットの向上等検討を続けている。

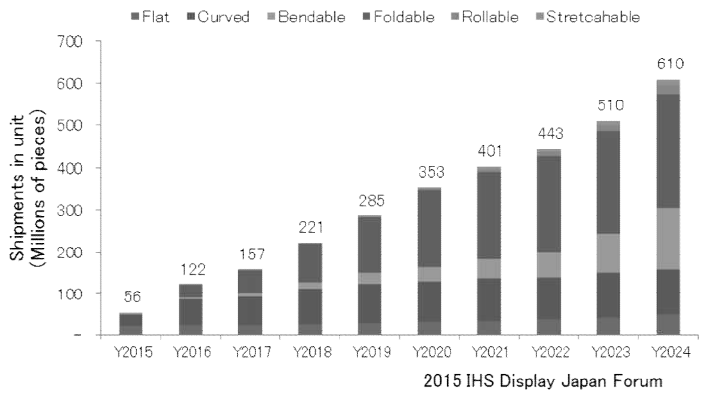
図Ⅲ-2-(へ)-A-2 (3)

3. 波及効果

本研究開発の成果により、高耐候性超ハイガスバリアシートの製造と、ミドル～超ハイガスバリア帯バリアシートの低コスト化が可能となる。これらバリア製品はＰＶ用途以外にも下図に例示するようなさまざま製品に応用展開可能である。特にディスプレイ分野の市場は大きく、バリアフィルムの応用展開が期待されるフレキシブルディスプレイに限っても 2020 年で 3 億 unit 以上、１兆円以上の市場が見込まれている。下図は右回りに進むに従って高いバリア性能が要求させる製品群となるようにしているが、本研究開発の最終目標である超ハイガスバリアフィルムは、最も高いバリア性能を必要とされると言われる有機ＥＬ照明、有機ＥＬディスプレイ、あるいは有機ＴＦＴ等の有機エレクトロニクスデバイスにも応用可能である。さらに高耐熱性超ハイガスバリアフィルムは、ロールフィルム上に、直接ＩＴＯ等の透明導電膜とＥＬ素子を形成できる可能性が生まれることから、有機ＥＬデバイス製造プロセスの改良とコストダウンを促す効果が期待できる。

また、本研究開発は国立大学法人北陸先端科学技術大学院大学に一部再委託を行っており、本研究開発を通じ、太陽電池分野、あるいは有機デバイス分野に精通した学生、研究者の育成に貢献することができた。

図Ⅲ-2-(へ)-A-3 (1)



図Ⅲ-2-(へ)-A-3 (2)

4. 今後の展開

本開発で得られた成果については、「2. 実用化・事業化見通し」の項目に記載のとおり、既存市場があるミドルバリア帯を優先して展開し、順次ハイバリア帯に向けた生産技術を確立していく予定である。

5. 特許論文リスト

表 Ⅲ-2-(へ)-A-5(1) 【特許】

出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
三菱樹脂(株)	特願2011-180645	国内	2011/8/22	公開	積層フィルム	木下昇平他
三菱樹脂(株)	特願2011-203160	国内	2011/9/16	公開	太陽電池用保護材	赤池　治他
三菱樹脂(株)	特願2011-245857	国内	2011/11/9	公開	太陽電池用保護材	二宮直哉他
三菱樹脂(株)	特願2011-251424	国内	2011/11/17	公開	ガスバリアフィルムの製造方法	堤　健智他
三菱樹脂(株)	特願2011-275947	国内	2011/12/16	公開	ガスバリア性フィルム	堤　健智他
三菱樹脂(株)	特願2011-290036	国内	2011/12/28	登録	太陽電池用保護材	赤池　治他
三菱樹脂(株)	特願2012-026376	国内	2012/2/9	公開	ガスバリア性フィルム	金井慎一郎他
三菱樹脂(株)	特願2012-71862	国内	2012/3/27	登録	保護シート	二宮直哉他
三菱樹脂(株)	特願2012-77147	国内	2012/3/29	公開	ガスバリア性フィルム	金井慎一郎他
三菱樹脂(株)	PCT/JP2012/058477	PCT	2012/3/29	公開	ガスバリア積層フィルムとその製造方法	天内英隆他
三菱樹脂(株)	PCT/JP2012/058478	PCT	2012/3/29	公開	ガスバリア積層フィルムとその製造方法	天内英隆他
三菱樹脂(株)	特願2012-081499	国内	2012/3/30	公開	ガスバリア積層フィルムとその製造方法	天内英隆他
三菱樹脂(株)	特願2012-081509	国内	2012/3/30	公開	太陽電池用保護用積層体	綾　哲也他
三菱樹脂(株)	特願2012-082924	国内	2012/3/30	公開	積層防湿フィルム	綾　哲也他
三菱樹脂(株)	特願2012-082946	国内	2012/3/30	公開	太陽電池用封止材・表面保護材積層体	綾　哲也他
三菱樹脂(株)	特願2012-103705	国内	2012/4/27	公開	ガスバリア積層フィルム及びその製造方法	堤　健智他
三菱樹脂(株)	特願2012-104990	国内	2012/5/1	公開	ガスバリア性フィルム	金井慎一郎他
三菱樹脂(株)	特願2012-105308	国内	2012/5/3	公開	ガスバリア性フィルム	金井慎一郎他
三菱樹脂(株)	特願2012-106907	国内	2012/5/8	公開	ガスバリア性フィルム	堤　健智他
三菱樹脂(株)	特願2012-107103	国内	2012/5/9	公開	ガスバリア性フィルム	金井慎一郎他
三菱樹脂(株)	特願2012-108046	国内	2012/5/9	公開	ガスバリア性フィルム及びガスバリア性フィルムの製造方法	杉田健太郎他
三菱樹脂(株)	特願2012-108047	国内	2012/5/9	公開	ガスバリア性フィルム及びガスバリア性フィルムの製造方法	杉田健太郎他
三菱樹脂(株)	特願2012-108048	国内	2012/5/9	公開	ガスバリア性フィルム及び	堤　健智他

					その製造方法	
三菱樹脂(株)	特願2012-108049	国内	2012/5/9	公開	ガスバリア性フィルム及びその製造方法	堤　健智他
三菱樹脂(株)	特願2012-108050	国内	2012/5/9	公開	ガスバリア性フィルム及びその製造方法	堤　健智他
三菱樹脂(株)	特願2012-108051	国内	2012/5/9	公開	ガスバリア性フィルム	堤　健智他
三菱樹脂(株)	特願2012-108052	国内	2012/5/9	公開	ガスバリア性フィルム	金井慎一郎他
三菱樹脂(株)	特願 2012-172077	国内	2012/8/2	公開	積層体の製造方法、積層体、及び該積層体を有する電子デバイス	綾　哲也他
三菱樹脂(株)	特願 2012-175535	国内	2012/8/8	公開	透明基板用積層フィルム	山本　頼安他
三菱樹脂(株)	PCT/JP2012/070141	PCT	2012/8/8	公開	透明耐熱積層フィルム	山本　頼安他
三菱樹脂(株)	特願 2012-181932	国内	2012/8/20	公開	積層防湿フィルム	綾　哲也他
三菱樹脂(株)	特願 2012-183095	国内	2012/8/22	公開	太陽電池用保護材及び太陽電池	二宮　直哉他
三菱樹脂(株)	特願 2012-183097	国内	2012/8/22	公開	積層シートの製造方法	二宮　直哉他
三菱樹脂(株)	特願 2012-183098	国内	2012/8/22	公開	太陽電池用保護シート	二宮　直哉他
三菱樹脂(株)	特願 2012-188582	国内	2012/8/29	公開	透明積層フィルム	山本　頼安他
三菱樹脂(株)	特願 2012-203031	国内	2012/9/14	公開	太陽電池用保護材	赤池　治他
三菱樹脂(株)	PCT/JP2012/073727	PCT	2012/9/14	公開	太陽電池用保護材	赤池　治他
三菱樹脂(株)	特願 2012-203034	国内	2012/9/14	公開	太陽電池用保護材	二宮　直哉他
三菱樹脂(株)	PCT/JP2012/073728	PCT	2012/9/14	公開	太陽電池用保護材	二宮　直哉他
三菱樹脂(株)	特願 2012-203036	国内	2012/9/14	公開	積層防湿フィルム、太陽電池用保護材、及び太陽電池	二宮　直哉他
三菱樹脂(株)	PCT/JP2012/083997	PCT	2012/12/27	公開	太陽電池用保護材	赤池　治他
三菱樹脂(株)	PCT/JP2012/083998	PCT	2012/12/27	公開	太陽電池用保護材	赤池　治他
三菱樹脂(株)	特願 2013-015261	国内	2013/1/30	公開	積層ポリエステルフィルム	山本　頼安他
三菱樹脂(株)	特願 2013-015262	国内	2013/1/30	公開	積層ポリエステルフィルム	山本　頼安他
三菱樹脂(株)	特願 2013-021701	国内	2013/2/6	公開	透明基板用積層フィルム及びこれを用いたディスプレイパネル	木下　昇平他
三菱樹脂(株)	特願 2013-021702	国内	2013/2/6	公開	透明積層フィルム及び透明基板	山本　頼安他
三菱樹脂(株)	特願 2013-021703	国内	2013/2/6	公開	透明積層フィルム及び透明基板	山本　頼安他
三菱樹脂(株)	特願 2013-021704	国内	2013/2/6	公開	透明積層フィルム及び透明基板	木下　昇平他
三菱樹脂(株)	特願 2013-025890	国内	2013/2/13	公開	ガスバリア性積層フィルム及び透明基板	山本　頼安他

三菱樹脂(株)	特願 2013-83378	国内	2013/4/11	公開	透明積層フィルム及び透明基板	山本　頼安他
三菱樹脂(株)	特願 2013-83379	国内	2013/4/11	公開	透明積層フィルム及び透明基板	山本　頼安他
三菱樹脂(株)	特願 2013-83380	国内	2013/4/11	公開	透明積層フィルム及び透明基板	木下　昇平他
三菱樹脂(株)	特願 2013-97905	国内	2013/5/7	公開	ガスバリア性フィルム及びガスバリア性フィルムの製造方法	杉田　健太郎他
三菱樹脂(株)	特願 2013-98506	国内	2013/5/8	公開	ガスバリア性フィルム及びその製造方法	堤　健智他
三菱樹脂(株)	特願 2013-98511	国内	2013/5/8	公開	ガスバリア性フィルム及びその製造方法	堤　健智他
三菱樹脂(株)	PCT/JP2013/62937	PCT	2013/5/8	公開	ガスバリア性フィルム及びその製造方法	堤　健智他
三菱樹脂(株)	特願 2013-137575	国内	2013/6/28	公開	積層防湿フィルム	満倉　由美他
三菱樹脂(株)	特願 2013-137576	国内	2013/6/28	公開	太陽電池用保護材	二宮　直哉他
三菱樹脂(株)	特願 2013-137581	国内	2013/6/28	公開	太陽電池用保護材	二宮　直哉他
三菱樹脂(株)	特願 2013-156053	国内	22013/7/26	公開	透明導電性フィルム	木下　昇平他
三菱樹脂(株)	特願 2013-171573	国内	2013/8/2	公開	太陽電池用保護シート	二宮　直哉他
三菱樹脂(株)	特願 2013-171582	国内	2013/8/21	公開	積層シートの積層方法	二宮　直哉他
三菱樹脂(株)	特願 2013-175510	国内	2013/8/21	公開	透明積層フィルム及び透明基板	木下　昇平他
三菱樹脂(株)	特願 2013-507751	国内	2013/9/26	公開	ガスバリア積層フィルムとその製造方法	天内　英隆他
三菱樹脂(株)	特願 2014-021365	国内	2014/2/6	出願	透明積層フィルム及び透明基板	木下　昇平他
三菱樹脂(株)	特願 2014-021366	国内	2014/2/6	出願	ガスバリア性積層フィルム及び透明基板	山本　頼安他

【論文】

該当なし

表 Ⅲ-2-(へ)-A-5(2)【その他外部発表】

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2011 年 6 月 17 日	第 8 回 Cat-CVD 研究会	Cat-CVD を用いたガスバリア膜における基板凹凸の影響	渡部 五常, 大平 圭介,松村英樹
2011年8月29日	2011年秋季　第72回応用物理学会学術講演会	Cat-CVDガスバリア膜のバリア性への基板凹凸の影響	渡部 五常, 大平 圭介,松村英樹
2011年11月18日	応用物理学会 北陸・信越支部 学術講演会	Cat-CVD法とN2プラズマを用いたガスバリア膜の作製	渡部 五常, 大平 圭介,松村英樹
2012年5月1日	2012 Society of Vacuum Coaters	Study of the relationship between a gas-barrier property	T. Tsutsumi, H. Yanagihara H, Amanai,

		and the residual stress of films made by a Cat-CVD method	et.al
2012年5月8日	2012年高機能フィルム技術展	フレキシブル太陽電池用フロントシート　VIEW-BARRIER	展示会出展
2012年5月8日	2012年高機能フィルム技術展	PRINTABLE ELECTRONICS FILM	展示会出展
2012年6月23日	第９回Cat-CVD研究会	Study of the relationship between a gas-barrier property and the residual stress of films made by a Cat-CVD method	堤健智、柳原英人、天内英隆、他
2013年9月16日	2013 JSAP-MRS Joint Symposia (Doshisha University, Kyoto)	Deposition of moisture barrier films by Cat-CVD using hexa-methyldisilazane (HMDS)	Keisuke Ohdaira, Hideki Matsumura

B ロールツーロールプロセスを可能とする封止材一体型保護シートの研究開発

1. 成果詳細

太陽電池普及び拡大のためには大幅なコスト削減が求められている。基本計画において研究開発目標である2020年の発電コスト14円／kWhを達成するためのモジュール製造コストは75円／Wと定められている。このコスト目標の達成のためには、モジュール生産プロセスの生産性向上が有効であると考え、ロールツーロールプロセスによる生産革新を目指している。本研究開発の対象である「封止材及び保護シートからなる一体型シート」は、このロールツーロールプロセス実現のキーマテリアルとなる。従来プロセスでは、セル作製工程及びモジュール化工程が各々バッチプロセスとなっており、生産性が低くトータルプロセスコストは高い。

それに対し、ロールツーロールプロセスでは、セル作製工程、モジュール化工程をそれぞれ連続工程にできるため飛躍的に生産性が向上し大幅なコスト削減が見込める。現在、セル作製工程にはロールツーロールプロセス技術が既に実用化されているが、モジュール化工程についてはロールツーロール技術が未開発である。それはロールツーロールプロセスでのラミネート封止が極めて困難であることに起因している。本研究開発ではモジュール化工程のロールツーロールプロセス化を実現するキーマテリアルである封止材及び保護シートを一体型として開発すること、およびロールツーロール封止技術を確立することを目的とした。本研究開発においては以下の3項目について取り組んだ。

（1）薄膜 a-Si 太陽電池用保護シートの開発
- ①封止材
- ②保護シート
- ③封止材／保護層の一体化
- ④ロールツーロール封止技術の開発

（2）リジッド太陽電池用封止材の開発
- ①セル形状追随性能の向上
- ②長期信頼性の確立

（3）フレキシブル太陽電池（化合物、有機系）用保護シートの開発
- ①ガスバリア技術の付与

1-1.　最終目標に対する達成状況

表Ⅲ-2-(へ)-B-1(1)に最終目標に対する達成状況を示す。

表　Ⅲ-2-(へ)-B-1(1)　最終目標に対する達成状況

(1)薄膜 a-Si 太陽電池用保護シート

項目	最終目標	成果	達成度	総合	コメント
厚み精度	≦±5 %	±4 %	○	○	一体型シート品質確立
接着速度	3 m / 分	3 m / 分	○		
接着強度	5 N/ 10mm	20 N/ 10mm	◎		
透明性	≧90 %	93%	○		
バリア性	3 g/㎡/day	1.8 g/㎡/day	○		

(2)リジット太陽電池用封止材

項目	最終目標	成果	達成度	総合	コメント
バリア性	10^{-5}g/㎡/day	<5.0 × 10^{-4}g/㎡/day	○	○	信頼性未達ながら競合に対する優位性確認
厚み精度	≦±5%	± 4%	○		
接着性	≧ 5N/10mm	5N / 10mm	○		
一体化	各材の一体化	各材の一体化	○		
透明性	≧90 %	90%	○		
信頼性	高温高湿 3,000H合格	2,000H 達成	△		

(3)フレキシブル太陽電池(化合物、有機系)保護シート

項目	最終目標	成果	達成度		コメント
ラミネート適正	現行モジュールにて合格	合格	○	○	対EVA 優位性確認
長期信頼性	高温高湿 3,000H合格	3,000H 合格	○		
耐熱性	EVAと類似の熱挙動	類似挙動	○		

(4)コスト低減に資する検討

項目	最終目標	成果	達成度		コメント
材料コストの低減	2割削減	2割削減	○	○	ロールtoロール封止達成
製造コストの低減	ロールtoロール封止 (速度6m/min)	ロールtoロール封止達成 (速度3m/min)	○		
変換効率アップ	耐久試験後 従来品＋5%分向上	劣化要因　解明	×		

薄膜 a-Si 太陽電池用一体型シートについては、モジュール工程のロールツーロールプロセス化を実現できる封止材を開発し、ラミネート速度＝3m／分を達成した。

Si 原料価格の下落により、市場における薄膜 a-Si 太陽電池の優位性が低下した。そこで、薄膜 a-Si 太陽電池用に開発した保護シートのリジッド系太陽電池、及び、フレキシブル太陽電池(化合物、有機系)への展開について検討を行った。

また、薄膜 a-Si 太陽電池用封止材の技術を水平展開しリジッド系太陽電池用封止材の開

発を行った。貯蔵弾性率の最適化により、架橋工程が不要であるという特性を維持しつつ、厚みのあるセルにも対応可能な封止材を開発した。

さらに、フレキシブル太陽電池への展開では、高いガスバリア性が必要であり、検討の結果、ガスバリア性：WVTR<５．０×１０$^{-4}$g／㎡／day を達成した。

1-2.　開発項目毎の達成度

（1）薄膜 a-Si 太陽電池用保護シート

① 封止材の開発

ロールツーロールプロセスによる封止を可能とするためには、瞬間接着性を有した封止材が必要である。瞬間接着性を有したオレフィン系材料をベースとした高粘着、高耐熱封止材の開発に成功した。

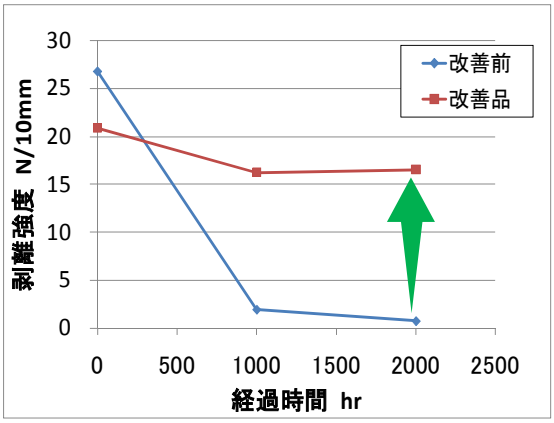


図　Ⅲ-2-(へ)-B-1(1). 耐ガラス　剥離強度

② 保護シートの開発

薄膜a-Si太陽電池用保護シートとしては、現行品質であるバリア性３．０g／㎡／dayに対し、１．８g／㎡／dayと約２倍優れたバリア性を有する保護シートの開発に成功した。

③ 封止材／保護層の一体化検討

検討①②で得られた封止材と保護層を一体化するための検討をラミネーション法にて実施した。その結果、促進試験3000時間経過後においても、目標値を大幅に上回る層間密着力を維持する封止材／保護層一体化に成功した。

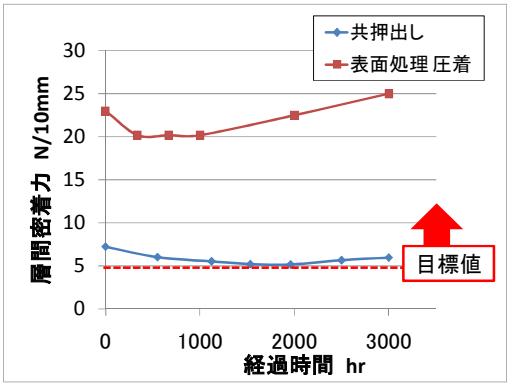


図　Ⅲ-2-(へ)-B-1(2). 層間密着力

④ ロールツーロール封止技術の開発

当社が独自に開発したロールツーロールラミネート設備と①で開発した封止材により、世界初となるロールツーロールプロセスによるモジュールの封止を実現することに成功した。さらに

最終目標とする3m/分のロール封止速度を達成しており、生産性を10～30倍に高めることに成功した。耐久試験後も良好なモジュール状態を維持している。

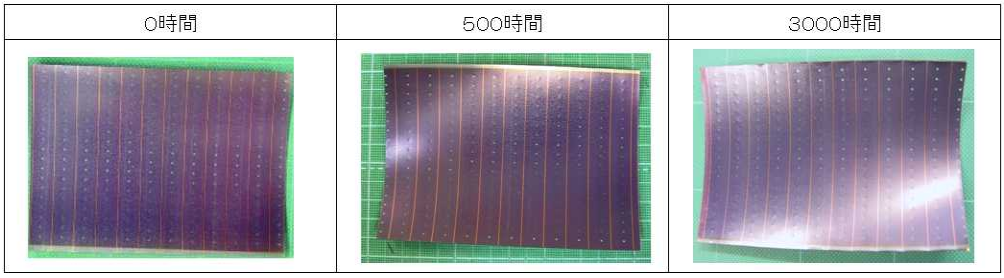


図　Ⅲ-2-(へ)-B-1(3). 薄膜 a-Si 太陽電池モジュール　湿熱経時評価

(2)リジット系太陽電池用封止材の開発

① セル形状追随性能の向上

リジッド型太陽電池セルは数百μm～数mmの厚みを有するため、高いセル形状追随性を必要とする。封止材組成の貯蔵弾性率の最適化により、最大2mmの厚みのセルにも対応することが出来た。

② 長期信頼性

リジッド系太陽電池においては封止材として用いられているEVAから遊離酸が発生し、太陽電池性能低下を引き起こす。本封止材に用いているオレフィン系材料はEVAに比較して遊離酸の発生が少ないため太陽電池信頼性向上に有効であることが確認出来た。

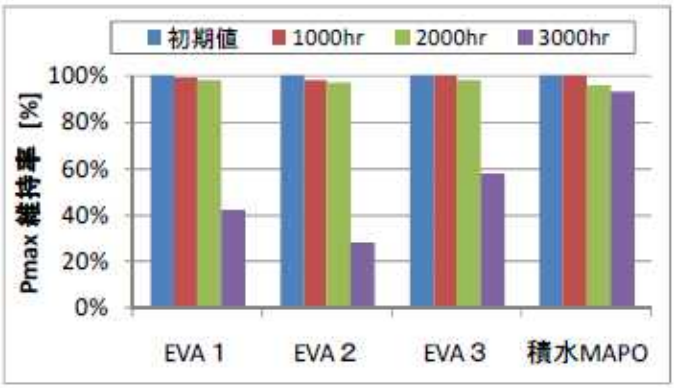


図　Ⅲ-2-(へ)-B-1(4). 太陽電池モジュール信頼性試験

（3）フレキシブル太陽電池（化合物、有機系）用保護シートの開発

① ガスバリア性の付与

化合物系太陽電池や有機薄膜太陽電池向けについては、高透明でかつ水蒸気透過率10^{-5}g／㎡／dayレベルの超ガスバリア性を有する保護シートが必要とされている。下地層及び、ガスバリア層の検討により、水蒸気透過率<5．0×10^{-4}g／㎡／day、という高いガスバリア性の付与に成功した。更に、層構成の最適化により全光線透過率＞90%という高透明性の両立も成功した。

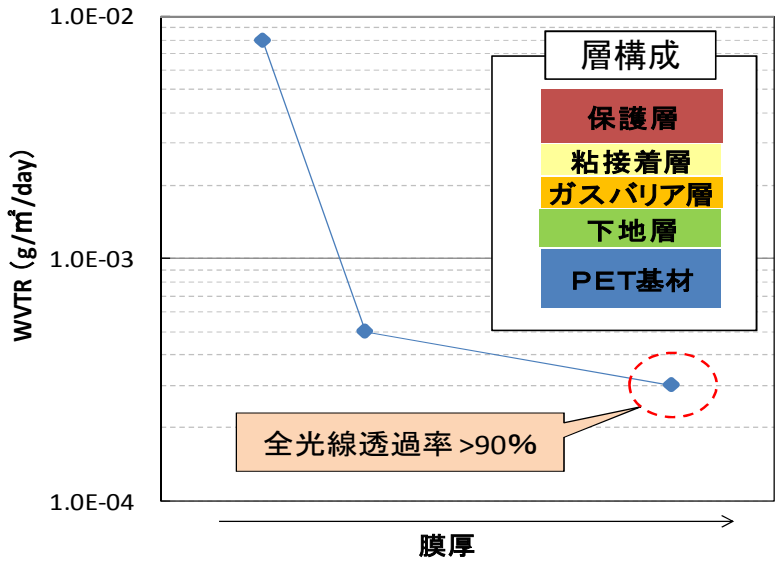


図　Ⅲ-2-(へ)-B-1(5)．ガスバリア性

1-3.　研究開発成果の意義

図Ⅲ-2-(へ)-B-1(6)に、本研究開発を通じて技術の進捗をモジュール製造時間の推移として示す。比較は、①従来プロセスによるモジュール製造時間、②従来プロセスによる高速封止材を使った場合のモジュール製造時間および③ロールツーロール封止技術を使った保護層／封止材一体化製品によるモジュール製造時間の推移を示す。

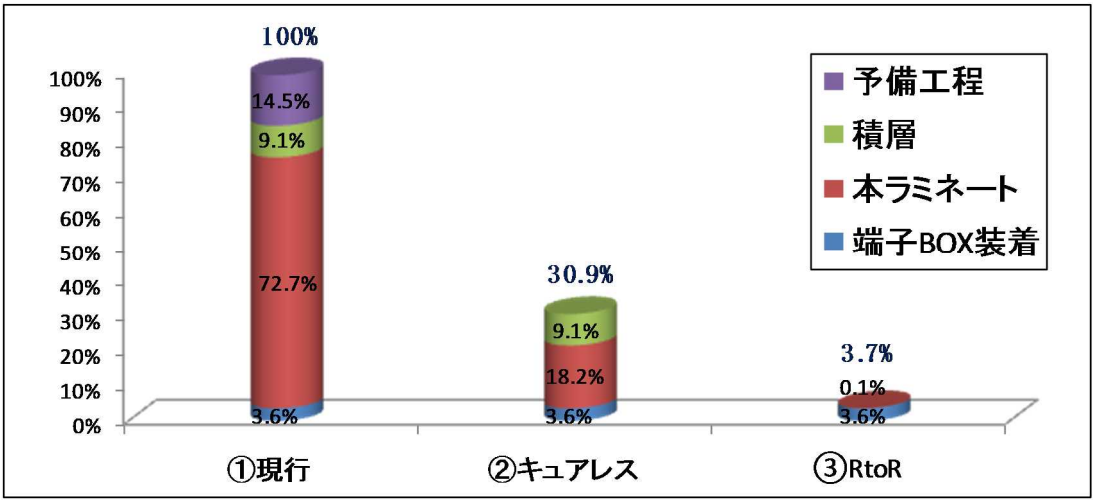
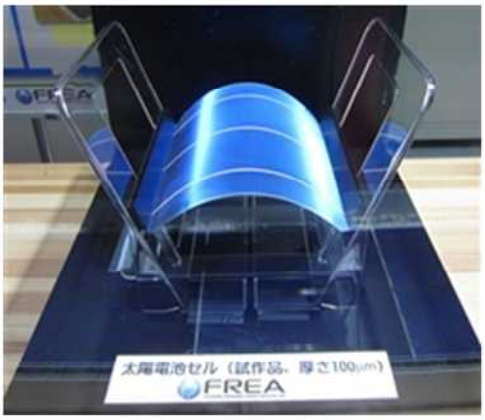


図　Ⅲ-2-(へ)-B-1(6) モジュール製造時間の推移

図Ⅲ-2-(へ)-B-1(6)から明らかなように、高速封止できる保護層／封止材一体化製品を採用することにより、従来プロセスにおいても封止時間を3分の1に短縮することができる。さらに、世界初となるロールツーロール封止技術を導入すれば、実質的にモジュール製造工程は端子ボックスの装着のみが律速となり、労働コストを極限まで低減することが可能となる。

上記技術のリジッド系太陽電池へ展開した結果、瞬間接着性によるタクトタイムの短縮及び遊離酸の低減による長期信頼性の向上において優位性を示す事となった。

結晶 Si 太陽電池においては、ウェハの薄型化により図Ⅲ-2-(へ)-B-1(7)に示す様な柔軟性を有したセルの開発が進んでいる。



超薄型結晶Siセル（FREA）

＜出典＞
電子デバイス産業新聞
電池デバイス新潮流～専門記者の最前線レポート　第113回
PVJapan2015に見るPV技術最新トレンド

図　Ⅲ-2-(へ)-B-1(7). 超薄型結晶 Si セル

これらのセルが実用化される際には、モジュール化プロセスとしてロールツーロールによる

ラミネート封止プロセスが有効であると考えられる。そこで、本研究開発の成果である一体型シート、及び、ロールラミネート技術をリジッド系太陽電池に展開するために、現行の結晶 Si 太陽電池セルを用いた技術検討を行った。その結果、図Ⅲ-2-(へ)-B-1(8)に示すように、ロールラミネート時にセルの非対称性に起因すると思われるセルの反りや、インターコネクタ材部分の段差を起点とする割れが生じる事が確認出来た。これらの課題を解決するためには、更なる封止材、及び、プロセスの検討が必要である。

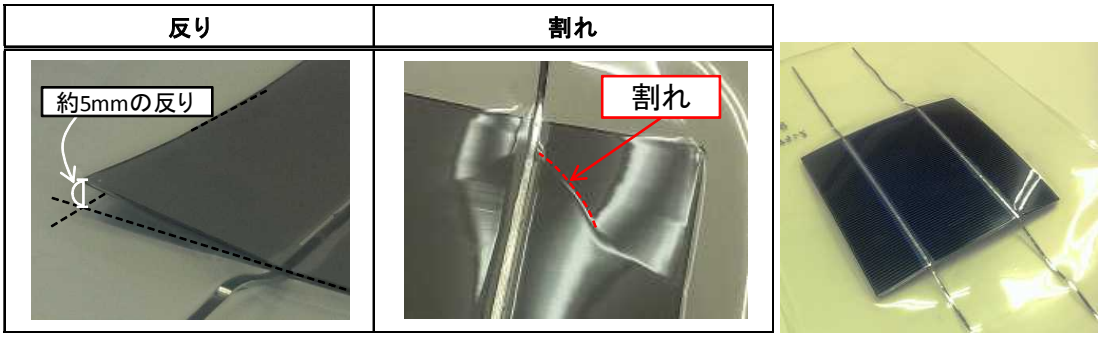


図　Ⅲ-2-(へ)-B-1(8). リジッド系太陽電池でのロールツーロールプロセス課題

さらに、ガスバリア性付与技術の確立により、上記モジュール化技術を化合物、有機系フレキシブル太陽電池への適用も可能となった。これらの展開先の一つとして近年注目されているペロブスカイト型太陽電池が挙げられる。ペロブスカイト型太陽電池は発電性能が高く、製造コストが安価であるため発電コスト低減に貢献することが可能であると考えられる。一方で、環境中の水分により劣化が促進されやすく、長期的な発電性能の維持が困難である。実用化のためには環境から保護する必要があり、今回開発した保護シート、及び、ガスバリア技術が有効であると考えられる。

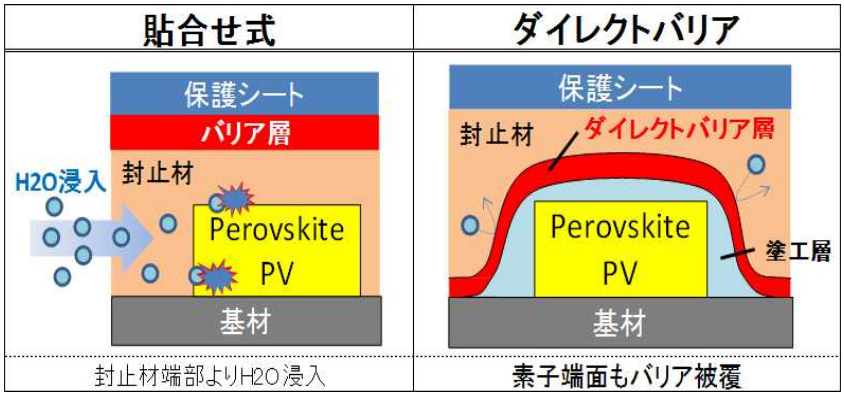


図　Ⅲ-2-(へ)-B-1(9). ペロブスカイト型太陽電池への適用

1-4. 知的財産権

表Ⅲ-2-(へ)-B-1(2)に平成 27 年 9 月 30 日現在における、年度毎の特許、論文、外部発表等の件数について記載する。尚、赤の囲いが NEDO 共同研究期間を示す。

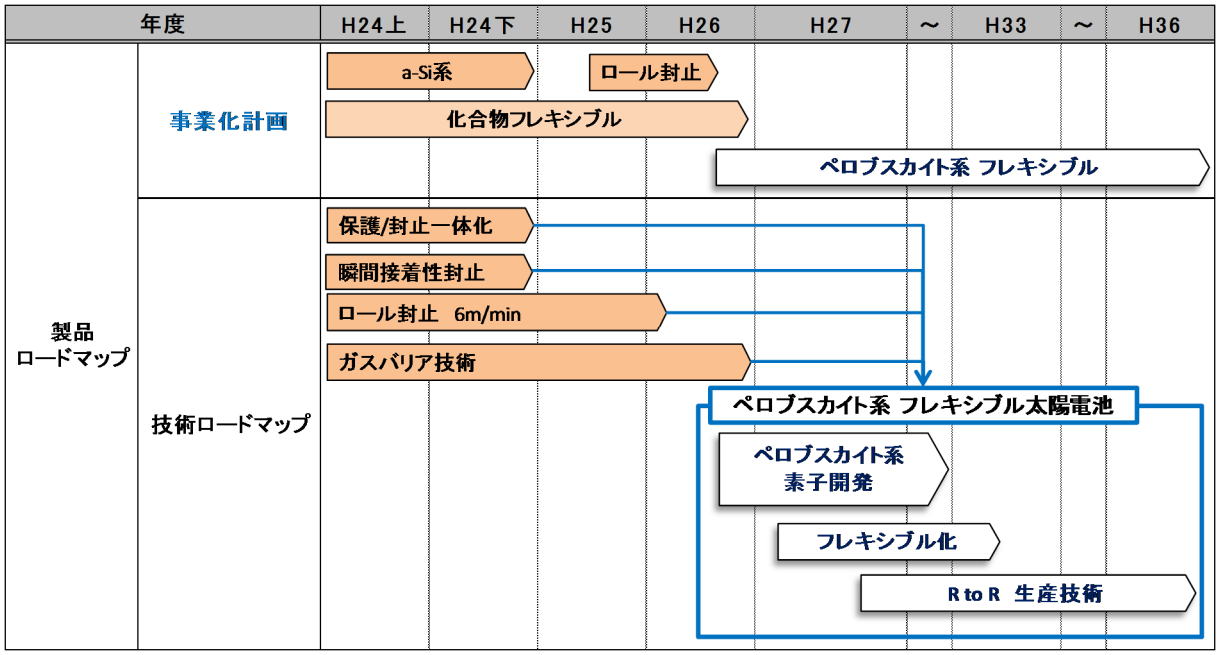
表Ⅲ-2-(へ)-B-1(2) 年度毎の特許、論文、外部発表等の件数

	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	計
論文投稿	1	1	0	0	0	0	0	0	2
研究発表	1	1	0	0	0	0	0	0	2
特許出願	0	2	12	14	2	2	0	0	32
海外特許	1	1	2	7	1	0	0	0	12
特許登録	0	0	0	1	1	1	0	1	4
新聞発表	0	0	0	1	0	0	0	0	1

表Ⅲ-2-(へ)-B-1(2)から分かるように共同研究開始以前に、当社において基礎検討までを行っており、この期間に基礎的な研究報告、論文投稿および基礎出願について海外出願を中心に進めてきた。共同開発採択後は実用化検討に重点的に取り組み、国内外の特許出願に注力した。現時点で世界初となるロールツーロールラミネート用封止材および封止技術の基礎特許が成立しており、さらにプレスリリースを行い、平成24年1月19日付けの日本経済新聞の紙面において、新技術開発と上市目処について掲載された。

2. 実用化・事業化見通し

事業化に至るまでの当社のシナリオについて、事業化計画および製品ロードマップとして図Ⅲ-2-(へ)-B-2(1)に示す。



図Ⅲ-2-(へ)-B-2(1) 事業化へのシナリオ

図Ⅲ-2-(へ)-B-2(1)に示すとおり、瞬間接着性を有した一体型保護シートの開発により可能となった世界で初めてとなるロールツーロール封止技術と、フレキシブル基材に対応したガスバリア技術をペロブスカイト太陽電池へと展開する。これらの技術によりモジュールのフレキシブル化、高耐久化を図り、発電コストの大幅な低減を目指し、ペロブスカイト太陽電池モジュールの早期実用化を予定している。

3. 波及効果

薄膜アモルファスシリコン太陽電池をターゲットとして開発した瞬間接着性封止技術、及び、ロール封止技術、さらにターゲットを化合物、有機系太陽電池へと広げるために開発したガスバリア技術、これらの技術をペロブスカイト型太陽電池へと展開することで、2020年における発電コスト目標である14円/KWhの実現に貢献することを目指している。

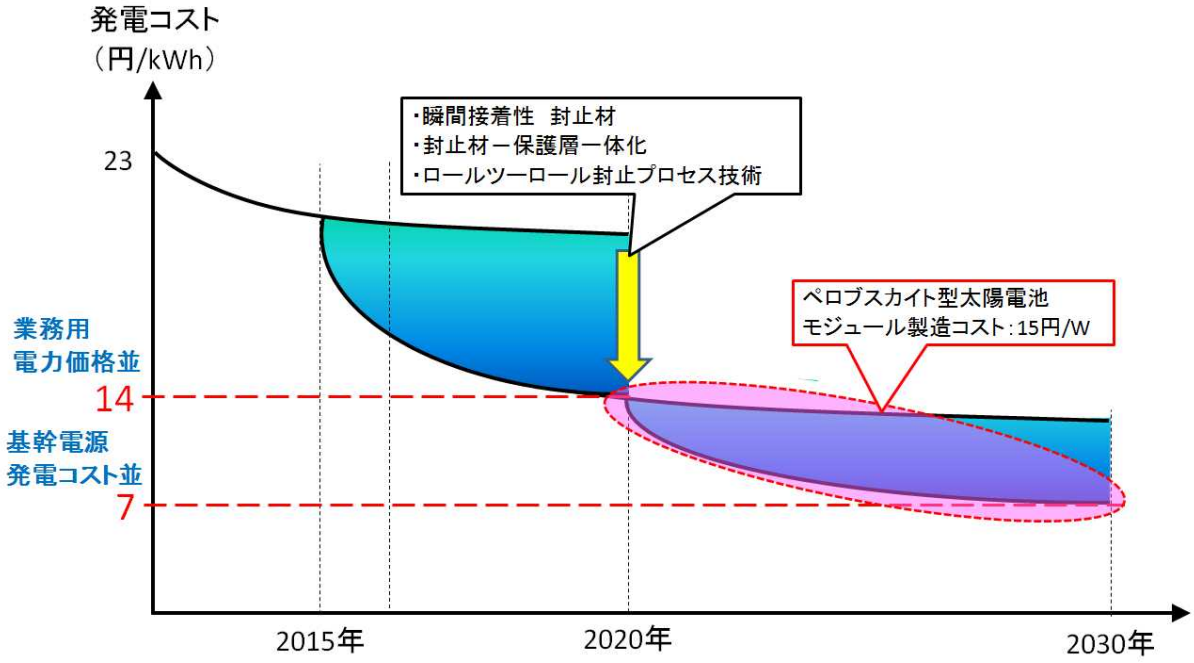


図　Ⅲ-2-(へ)-B-3(1)　波及効果

さらに、本プロジェクトにおいて得られた瞬間接着性封止技術、ロール封止技術、ガスバリア技術等の研究開発成果は、これまで述べてきた太陽電池への応用の他、OLED照明、ディスプレイ、有機半導体やセンサー等、多くの分野における種々のデバイスのキーテクノロジーとしての適用が期待されている。以上のように、本プロジェクトの波及効果は著しく高いと考えられる。

4. 今後の展開

本開発で得られた成果については、「2. 実用化・事業化見通し」の項目に記載のとおり、ペロブスカイト太陽電池へ展開し、早期実用化を予定している。

5. 特許論文リスト

表Ⅲ-2-(へ)-B-5 (1)に、共同開発期間の特許論文リストを示す。

表　Ⅲ-2-(へ)-B-5 (1)特許、論文、外部発表等の件数（内訳）

	H22	H23	H24	H25	H26	計
特許出願 （うち外国出願）	14（2）	21（7）	3（1）	2	0	40（10）*1
論文（査読付き）	0	0	0	0	0	0
研究発表・講演 （うち国際会議）	0	0	0	0	0	0
新聞・雑誌等への掲載	0	1*2	0	0	0	1
受賞実績	0	0	0	0	0	0
展示会への出展	0	0	0	0	0	0

表Ⅲ-2-(へ)-B-5 (1)※1 に示したように、戦略的な特許出願を行った。
※2は、プレスリリース　平成２４年１月１９日付の日本経済新聞掲載を示す。

さらに、表Ⅲ-2-(へ)-B-5 (2)に共同研究期間中の平成27年9月30日時点での出願特許リストを載せる。

表 Ⅲ-2-(へ)-B-5 (2) 出願特許リスト

番号	出願者	出願番号	国内外国PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	積水化学工業	特願 2010-208233	国内	2010/9/16	放棄	太陽電池用封止材、太陽電池保護シート及び太陽電池モジュールの製造方法	飛鳥政宏他
2	積水化学工業	特願 2010-212714	国内	2010/9/22	放棄	フレキシブル太陽電池モジュールの製造方法	野村高弘他
3	積水化学工業	特願 2010-223103	国内	2010/9/30	放棄	フレキシブル太陽電池モジュールの製造方法	上ノ町清巳他
4	積水化学工業	特願 2010-223104	国内	2010/9/30	放棄	フレキシブル太陽電池モジュールの製造方法	澤田貴彦他
5	積水化学工業	特願 2010-226819	国内	2010/10/6	放棄	フレキシブル太陽電池モジュールの製造方法	飛鳥政宏他
6	積水化学工業	特願 2010-226820	国内	2010/10/6	放棄	フレキシブル太陽電池モジュールの製造方法	飛鳥政宏他
7	積水化学工業	特願 2010-226821	国内	2010/10/6	放棄	太陽電池封止シート及びフレキシブル太陽電池モジュール	澤田貴彦他
8	積水化学工業	特願 2010-257991	国内	2010/11/18	放棄	太陽電池封止シート、その製造方法、及び、フレキシブル太陽電池モジュールの製造方法	平池宏至他
9	積水化学工業	特願 2011-511927	国内	2011/1/26	登録	フレキシブル太陽電池モジュールの製造方法	平池宏至他
10	積水化学工業	PCT/2011/051529	PCT	2011/1/26	放棄	太陽電池用封止材、太陽電池保護シート及び太陽電池モジュールの製造方法	平池宏至他
11	積水化学工業	台湾　100104724	外国	2011/2/14	放棄	太陽電池保護シートの製造方法	平池宏至他
12	積水化学工業	特願 2011-061593	国内	2011/3/18	放棄	太陽電池封止シート及びフレキシブル太陽電池モジュール	上ノ町清巳他
13	積水化学工業	特願 2011-061597	国内	2011/3/18	放棄	フレキシブル太陽電池モジュールの製造方法	上ノ町清巳他
14	積水化学工業	特願 2011-068516	国内	2011/3/25	放棄	太陽電池モジュール用充填材シート	野村高弘他

15	積水化学工業	特願 2011-084718	国内	2011/4/6	放棄	フレキシブル太陽電池モジュールの製造方法	平池宏至他
16	積水化学工業	特願 2011-086381	国内	2011/4/8	放棄	フレキシブル太陽電池モジュール	飛鳥政宏他
17	積水化学工業	特願 2011-086382	国内	2011/4/8	放棄	フレキシブル太陽電池モジュール	飛鳥政宏他
18	積水化学工業	特願 2011-092377	国内	2011/4/18	放棄	太陽電池封止シート及びフレキシブル太陽電池モジュール	郭嘉謨他
19	積水化学工業	特願 2011-196414	国内	2011/9/8	放棄	フレキシブル太陽電池モジュール及び太陽電池保護シート	飛鳥政宏他
20	積水化学工業	特願 2011-539835	国内	2011/9/16	放棄	太陽電池封止シート及びフレキシブル太陽電池モジュール	平池宏至他
21	積水化学工業	特願 2011-539826	国内	2011/9/16	登録	フレキシブル太陽電池モジュールの製造方法	平池宏至他
22	積水化学工業	PCT/2011/071274	PCT	2011/9/16	放棄	フレキシブル太陽電池モジュールの製造方法	平池宏至他
23	積水化学工業	PCT/2011/071267	PCT	2011/9/16	放棄	フレキシブル太陽電池モジュールの製造方法	平池宏至他
24	積水化学工業	特願 2011-540243	国内	2011/9/20	放棄	フレキシブル太陽電池モジュールの製造方法	上ノ町清巳他
25	積水化学工業	特願 2011-540257	国内	2011/9/20	放棄	太陽電池封止シート、その製造方法、及び、フレキシブル太陽電池モジュールの製造方法	平池宏至他
26	積水化学工業	特願 2011-540256	国内	2011/9/20	放棄	太陽電池用封止材、太陽電池保護シート及び太陽電池モジュールの製造方法	平池宏至他
27	積水化学工業	PCT/2011/071378	PCT	2011/9/20	放棄	太陽電池封止シート及びフレキシブル太陽電池モジュール	上ノ町清巳他
28	積水化学工業	PCT/2011/071361	PCT	2011/9/20	放棄	フレキシブル太陽電池モジュールの製造方法	平池宏至他
29	積水化学工業	PCT/2011/071366	PCT	2011/9/20	放棄	フレキシブル太陽電池モジュールの製造方法	平池宏至他
30	積水化学工業	台湾　100133853	外国	2011/9/21	放棄	フレキシブル太陽電池モジュールの製造方法	平池宏至他
31	積水化学工業	台湾　100133854	外国	2011/9/21	登録	フレキシブル太陽電池モジュールの製造方法	平池宏至他

32	積水化学工業	特願 2011-222089	国内	2011/10/6	放棄	フレキシブル太陽電池モジュールの製造方法	平池宏至他
33	積水化学工業	特願 2011-272088	国内	2011/12/13	放棄	太陽電池封止シート及びフレキシブル太陽電池モジュール	平池宏至他
34	積水化学工業	特願 2012-068088	国内	2012/3/23	放棄	太陽電池保護シート及びフレキシブル太陽電池モジュール	郭嘉謨他
35	積水化学工業	特願 2012-070249	国内	2012/3/26	放棄	太陽電池モジュール用充填材シート	平池宏至他
36	積水化学工業	特願 2012-093305	国内	2012/4/16	登録	太陽電池封止シート及び太陽電池封止シートの製造方法	平池宏至他
37	積水化学工業	PCT074901	外国	2012/9/27	放棄	太陽電池モジュール用充填材シート、太陽電池封止シート及び太陽電池モジュールの製造方法	平池宏至他
38	積水化学工業	特願 2012-548299	国内	2012/9/27	放棄	太陽電池モジュール用充填材シート、太陽電池封止シート及び太陽電池モジュールの製造方法	平池宏至他
39	積水化学工業	特願 2013-117108	国内	2013/6/3	公開	ラミネート装置及び積層フィルムの製造方法	飛鳥政宏他
40	積水化学工業	特願 2013-118088	国内	2013/6/4	公開	接着性樹脂組成物、接着性シート及び太陽電池封止材	平池宏至他

C. 太陽光発電システムの据付工程簡便化に関する研究開発

1. 成果詳細

（1）目標達成状況と本成果の意義

ここ数年で下落が著しい太陽電池モジュール価格に対して、太陽光発電システム全体に占める施工費用の割合は未だに高止まりしている。本研究ではそこに風穴を開けるべく、施工工程を簡便化する据付システムを開発した。目標達成にあたり 1）据付工程簡便化を可能とする据付部品の開発、2）据付工程簡便化に寄与する太陽電池モジュールの設計改良（軽量化、フレームレス化等）の 2 つのサブテーマで開発を進めた。

サブテーマ 1：据付部品の機能複合化による部品点数の削減および据付作業時間の低減

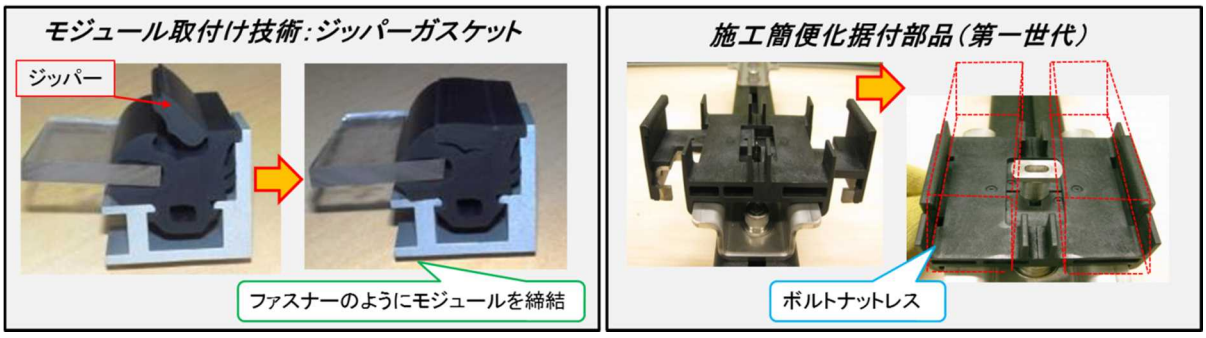
① 複合化による部品点数削減率 50%以上、据付作業に必要な人員・時間の 20%削減を達成・実証する。

＜目標の達成度＞

据付部品開発では施工簡便化を可能とする樹脂・金属ハイブリッド構造の据付部品を開発した。業界関係者へヒアリングした結果、特に屋根上での据付作業の際に微細部品を取り扱う煩雑さが問題視されていたため、本研究ではボルトやナットを用いない構造を目指した。太陽電池モジュールの据付簡便化という提案は、まったく新しいコンセプトであったため、建築基準法への法令適合性、非不燃材料を用いた場合の耐火・防火上の安全性、従来施工部材や施工方法と比較した際の優位性と懸念点等について、建築分野の専門家である東京大学大学院新領域創成科学研究科の清家剛准教授の指導を受けた。その結果、従来技術では微細な金属プレスパーツを組立てる必要があったのに対して、複雑な形状を比較的容易に成型できる樹脂特有の性質を利用し、機能を複合化することによって、据付部品点数と施工時間の大幅削減を実現し、実用耐久性にも優れた施工簡便化据付部品の開発に成功した。以下に具体的な成果を示す。

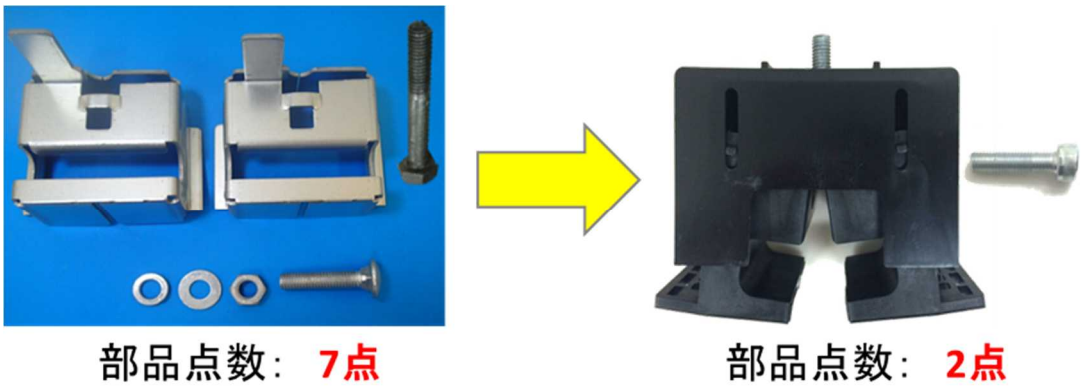
第一世代開発品では太陽電池モジュール構造やフレーム構造を総合的に設計し、ハゼ構造を有する金属屋根向けの据付システムを開発した。

太陽電池モジュールの据付部品は、1) モジュールを掴む機能、2) 掴んだモジュールを屋根へ取り付ける機能に大別される。そこで本研究で開発した第一世代の要素技術として、1）太陽電池モジュールを支持する部分にファスナーのような取り付け方が可能なジッパーガスケットとそれを強度面で保持するポリエステル材料によるガイドレール、2）樹脂の特性を活かしたボルト・ナットレスの据付部品を開発し、従来据付技術に対して部品点数の最大 62%削減、施工時間の 20～30%削減を達成した。開発した第一世代の要素技術を図Ⅲ-2-(へ)-C-1(1)に示した。平成 23 年度に特許申請を完了した。

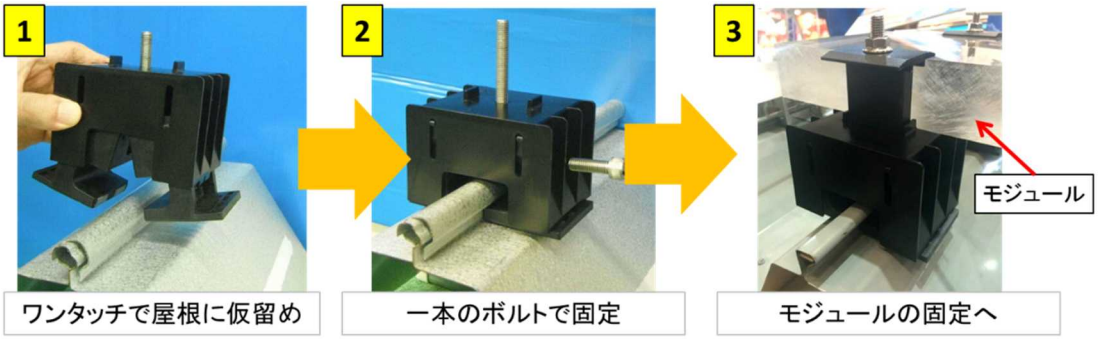


図Ⅲ-2-(へ)-C-1(1)：太陽電池モジュールの簡便取付技術と第一世代施工簡便化据付部品

第二世代開発品として、より汎用性を拡げるために、従来型のアルミフレームを用いた太陽電池モジュール構造にも適用できる部品を考案した。従来は 7 つの部品からなる据付部品を 1 つの部品に統合し、折板屋根に片手でワンタッチ設置が可能な画期的な据付部品である(図Ⅲ-2-(へ)-C-1(2))。これにより、据付部品の部品点数を 60%削減(表Ⅲ-2-(へ)-C-1(1))、人員を 33%削減、施工時間 45%削減(図Ⅲ-2-(へ)-C-1(3))と、当初の最終目標値を大幅に超える成果となった。平成 26 年度に特許申請を完了した。



a）従来型金属据付部品と開発した第二世代施工簡便化据付部品の比較



b）開発した第二世代施工簡便化据付部品の取付けの様子

図Ⅲ-2-(へ)-C-1(2)：従来型太陽電池モジュール向けの第二世代施工簡便化据付部品

表Ⅲ-2-(へ)-C-1(1)：据付部品の部品点数比較

a) 従来型据付部品

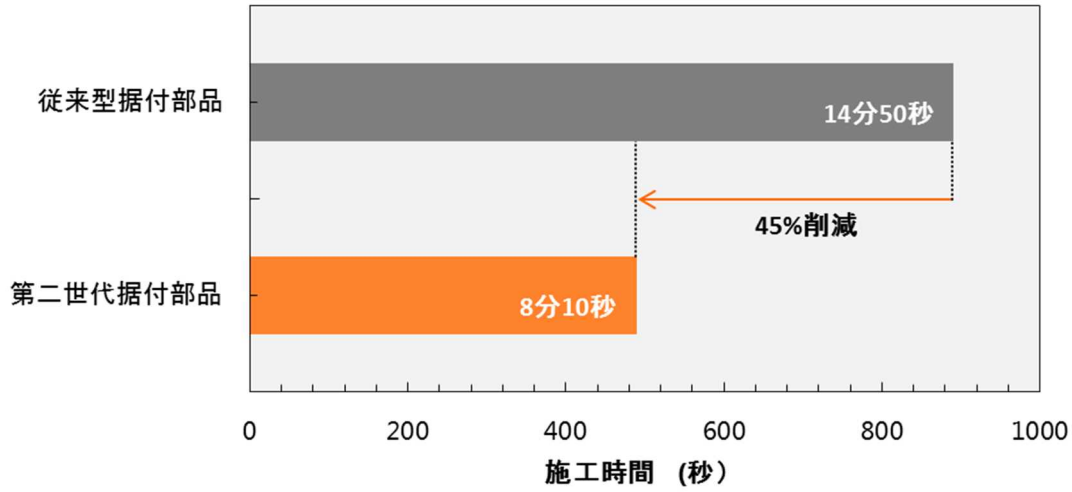
	部品名称	合計部品点数
①	架台 縦ラック	20
②	落下防止板（ラック端部に装着）	20
③	スレート金具	40
④	ボルト	280
⑤	ナット	80
⑥	モジュール押さえ	50
⑦	ビス	320
⑧	タイバンド	40
	合計点数	850

(b) 第一世代据付部品

	部品名称	合計部品点数
①	PV ストッパー	18
②	樹脂金属ハイブリッドブラケット	96
③	スペーサー	36
④	ガイド	48
⑤	エンドキャップ	12
⑥	軒下カバー	5
⑦	ロックピン	60
⑧	その他カバー、ケーブル	50
	合計	325
	部品点数削減率	62%

(c) 第二世代据付部品

	部品名称	合計部品点数
①	樹脂ブラケット（開発品）	50
②	モジュール押さえ	100
③	モジュール押さえ固定用ナット、ワッシャー	150
④	タイバンド	40
	合計	340
	部品点数削減率	60%



施工条件

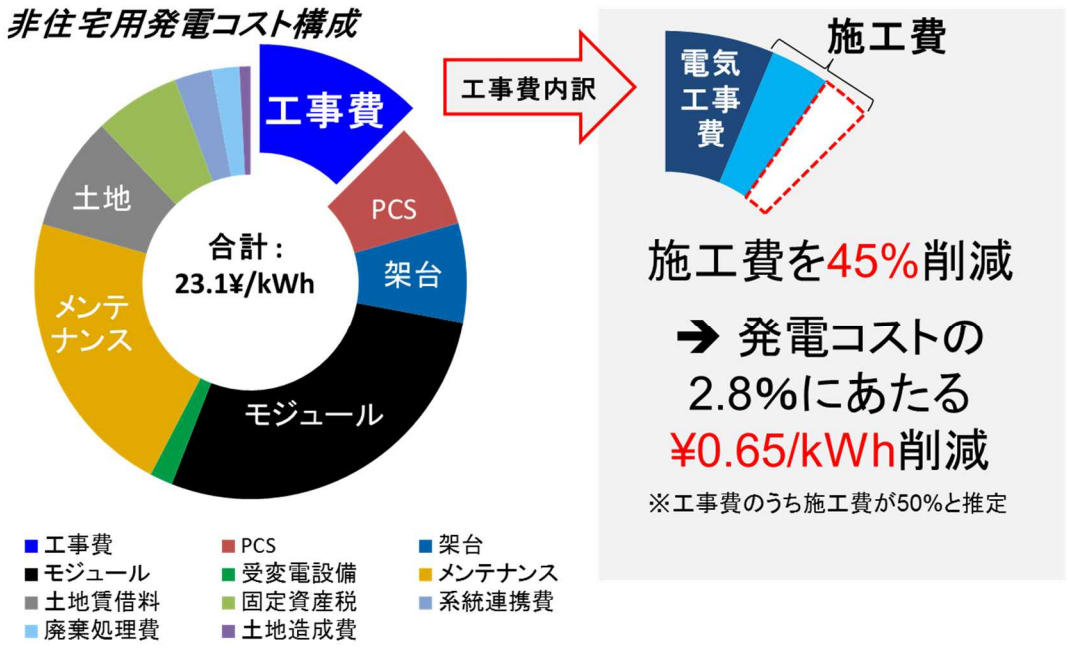
1.5kW 発電設備 (250W パネル　6 枚)

図Ⅲ-2-(へ)-C-1(3)：従来型金属据付部品と第二世代据付部品の施工実験結果

＜成果の意義＞

樹脂を用いた太陽電池据付システムは特に国内ではほとんど類を見ない上に、ボルトやナットをほとんど用いない樹脂製の施工簡便化据付システムは世界初で競争力のある技術である。今回掲げた部品点数削減・施工時間削減・トータルコストダウンという考え方は、弊社エンジニアリングプラスチック事業部が他分野において得意としてきた手法である。このように他業種・他用途での考え方や手法を太陽電池用途へ反映し、本研究を通して広報活動を行ったことで、同様のコンセプトが他社からも発表される機会が増えており、太陽電池モジュールの施工簡便化による低価格化というトレンド形成の一端を担うことができたと自負している。

また、今回の施工簡便化という提案は、材料メーカー、架台メーカー、据付部品メーカーなどそれぞれが単独では実現が難しい課題である。本研究では、大学からの専門的コンサルティングを受けたり、各バリューチェーンのメーカーと積極的に定期的情報交換・協業を行う産学官連携オープンイノベーション体制で開発を行ってきた。そのことによって、開発した第二世代施工簡便化据付部品は、従来のアルミフレームを用いた太陽電池モジュールにも適用可能と、実用性・汎用性の高い技術となった。第二世代施工簡便化部品を用いて据付工程を簡便化した場合、弊社試算値で発電コストの 2.8%に当たる、¥0.65/kWh 低減に寄与する(図Ⅲ-2-(へ)-C-1(4))。本施工簡便化技術を用いることで施工者の安全性向上や施工品質の安定化も可能であり、太陽光発電の更なる市場拡大に貢献するものと考えられる。



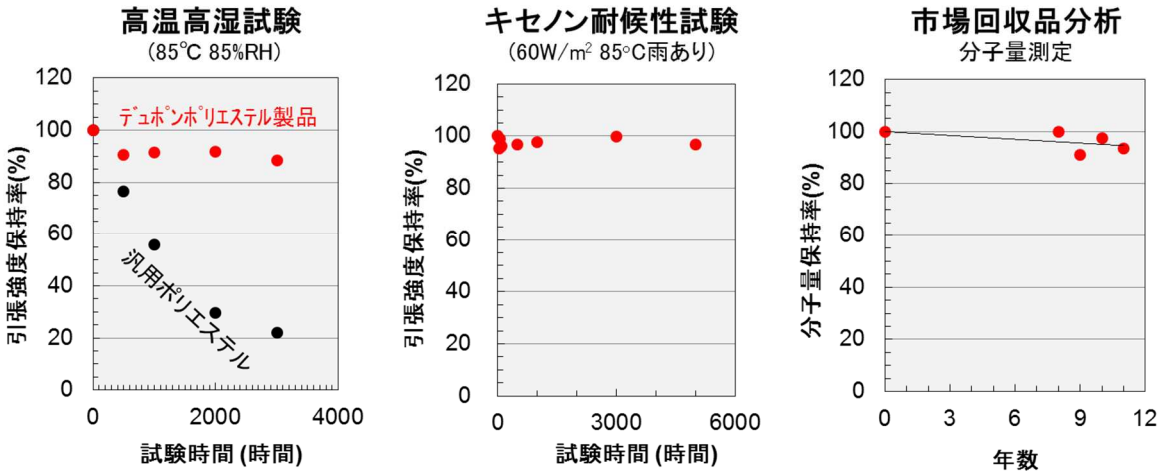
図Ⅲ-2-(へ)-C-1(4)：開発した据付部品の発電コスト低減への貢献度試算

② 機能複合化部品、および、太陽電池モジュール構成を組み合わせた太陽光発電システムとして 20 年相当以上の耐久性（IEC61215, IEC61730 準拠）を達成する。

＜目標の達成度＞

開発した据付部品用に屋外での実績や材料・成型方法等の面からポリエステル系エンジニアリングプラスチック材料を選定し、その長期耐久性に関して検証を行った。長期耐久性は、ポリエステル系材料の主な劣化要因と考えられる湿熱環境下での加水分解による分子量低下や紫外線劣化による分子量低下に着目した。それぞれの要因に対して、加速劣化試験、劣化メカニズム検証、市場回収品分析、屋外曝露試験等、様々な角度から検証し、屋外 20 年使用に十分な耐久性を有するものと示唆された。加速劣化試験、市場回収品分析結果の一部を図Ⅲ-2-(へ)-C-1(5)に示した。

また、昨今の設置箇所の多様化を受け、沿岸や洋上等、潮風に晒された場合の塩水の作用によるクラック発生・耐腐食性についても検証した。試験結果を表Ⅲ-2-(へ)-C-1(2)および図Ⅲ-2-(へ)-C-1(6)に示す。本試験においては 50 サイクルの試験に合格すれば、沿岸地域での長期使用にも十分耐えられると言われているが、据付部品用に選定した樹脂はどちらの試薬に対しても 50 サイクル後にクラック等は観察されず、引張強度もほぼ変化せず、塩水・金属塩化物水溶液に対して高い耐候性を持つことが確認された。樹脂材料は金属特有の錆が発生しないため、開発据付部品も沿岸地域で積極的に展開できると考えられる。更に、長期耐久性の他、太陽電池モジュール用途として考えられる火災を想定し、火炎伝播試験（UL1703/IEC61730）により耐火災性能も評価した(図Ⅲ-2-(へ)-C-1(7))。いずれの試験に関しても IEC の合格基準を満たし、通常試験より厳しい条件の直接火炎放射試験においても十分な耐火炎性能を有することが確認された。



図Ⅲ-2-(へ)-C-1(5)：施工簡便化据付部品用弊社ポリエステル樹脂の耐久性検証

表Ⅲ-2-(へ)-C-1(2)：施工簡便化据付部品用弊社ポリエステル樹脂の耐久性検証

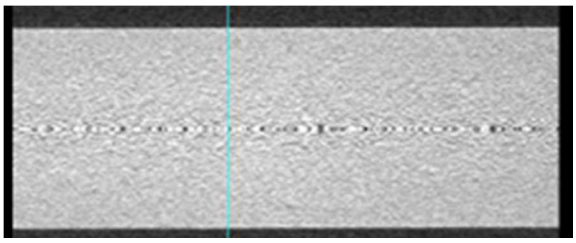
試験条件

条件：湿潤（50℃/100%RH）6 時間/試薬浸漬 15 分/乾燥（60℃、50%RH）17 時間 45 分

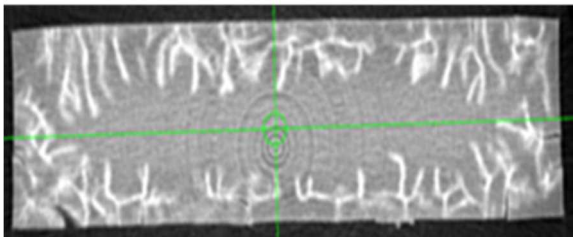
試薬：0.5%濃度の塩化亜鉛水溶液、塩化カルシウム水溶液

試薬	塩化亜鉛水溶液			塩化カルシウム水溶液		
サイクル数	10 サイクル	30 サイクル	50 サイクル	10 サイクル	30 サイクル	50 サイクル
外観	クラック無	クラック無	クラック無	クラック無	クラック無	クラック無
引張強度保持率(%)	98.3	99.1	100	98.3	98.3	100

※塩水噴霧試験は太陽電池モジュール向けに定められた規格試験はないため、SAE J2334 を参照した。塩化ナトリウム（NaCl）よりも更に加速された試験を行うため、試薬として塩化亜鉛（ZnCl2）と塩化カルシウム（CaCl2）を用いた。50 サイクルの試験に合格すれば、沿岸地域での長期使用にも十分耐えられると言われている。

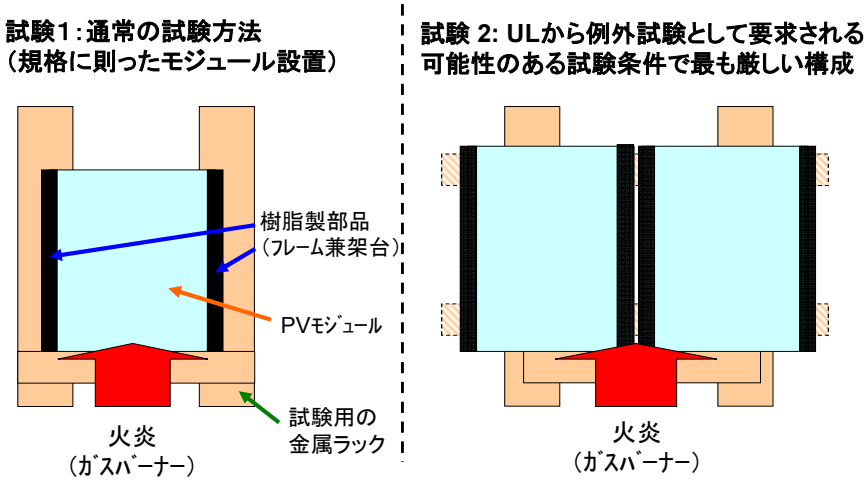


a) 施工簡便化据付部品用弊社ポリエステル樹脂



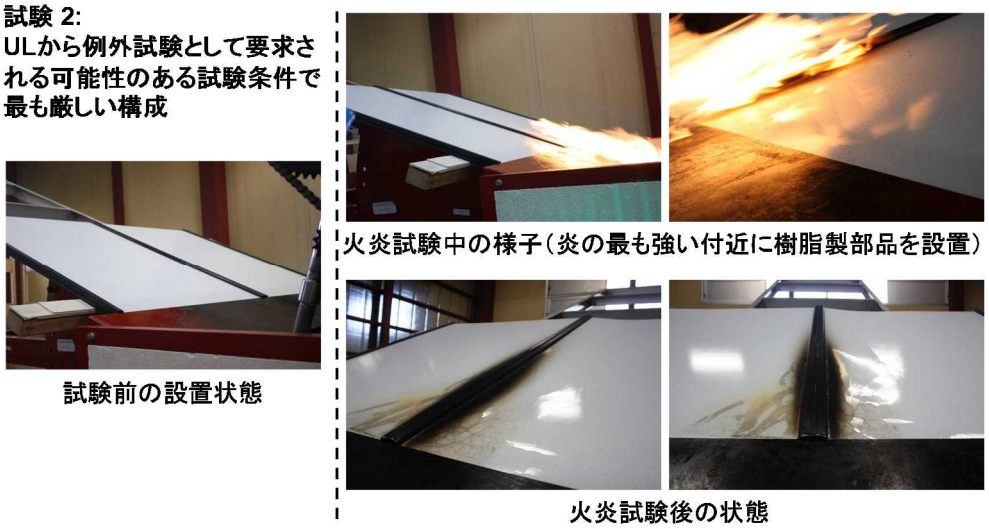
b)参考樹脂：塩水噴霧試験後にクラックの発生したサンプル

図Ⅲ-2-(へ)-C-1(6)：塩水噴霧試験後（SAE J2334）のサンプル試験片の断層写真



a）試験時の火炎の当て方（クラス C 相当試験：火炎温度 704℃/試験時間 4 分）

b）規格に則った通常試験の様子



c）例外試験として要求される可能性のある最も厳しい試験の様子

図Ⅲ-2-(へ)-C-1(7)：火炎伝播試験（UL1703/IEC61730）の試験方法と結果

＜本成果の意義＞

樹脂を太陽電池モジュールの据付用途に用いる事例は、特に国内ではこれまでほとんど無かった。研究開始当初は、従来から用いられている金属性材料に対する高い安心感から国内太陽電池モジュールメーカーやシステムインテグレーターは樹脂材料の開発・採用に慎重になりがちであったが、本研究を通じて様々な角度から試験を実施し、樹脂の信頼性を実証したことにより、太陽電池の据付分野ばかりでなく、太陽電池業界全体への樹脂部材の活用という新たな技術領域を開拓した。更なる普及に向けて、実際の屋外環境で生じる風圧による物理的ストレスに対する耐久性検証を継続研究として、引き続き進めている。

サブテーマ 2：据付工法の自由度を向上する太陽電池モジュール構造の検討

① 簡便施工太陽電池システムで使用される樹脂部材の耐久性および樹脂部材を用いた太陽光発電システムの耐久性を評価する手法を確立し、その手法をもとに 20 年相当以上の耐久性を実証する。

＜目標の達成度＞

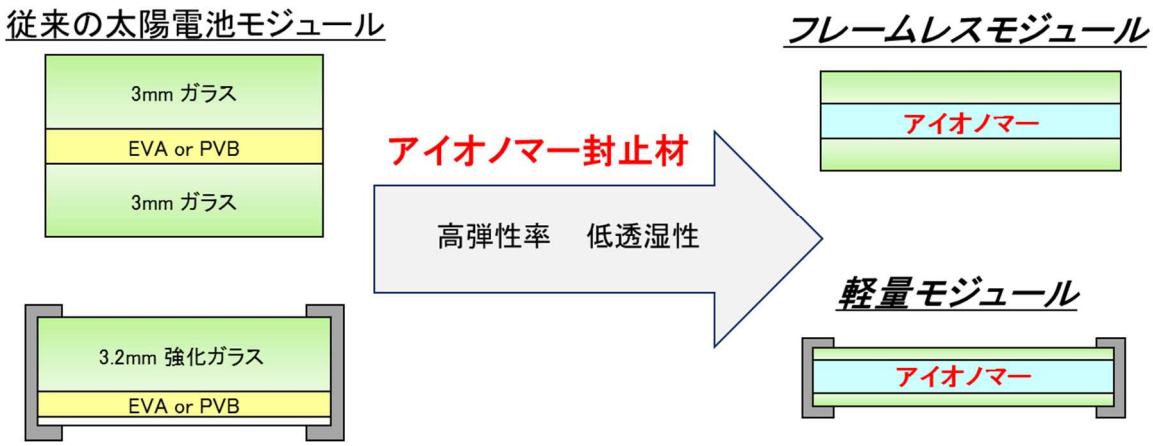
太陽電池モジュールの設計改良では、高弾性率のアイオノマー封止材により、太陽電池モジュールの耐荷重性・耐久性を高める技術を検討し、サブテーマ 1 で開発した施工簡便化据付部品向けに、必要な耐荷重性・耐久性等を満たすフレームレス太陽電池モジュールを開発した(図Ⅲ-2-(へ)-C-1(8))。

高弾性率のアイオノマーを封止材に用いることによりガラスの薄肉化が可能となり、従来のガラス／バックシート構造の太陽電池モジュールから約 20～25%、両面ガラス構造の太陽電池モジュールから約 50%の軽量化を達成した。

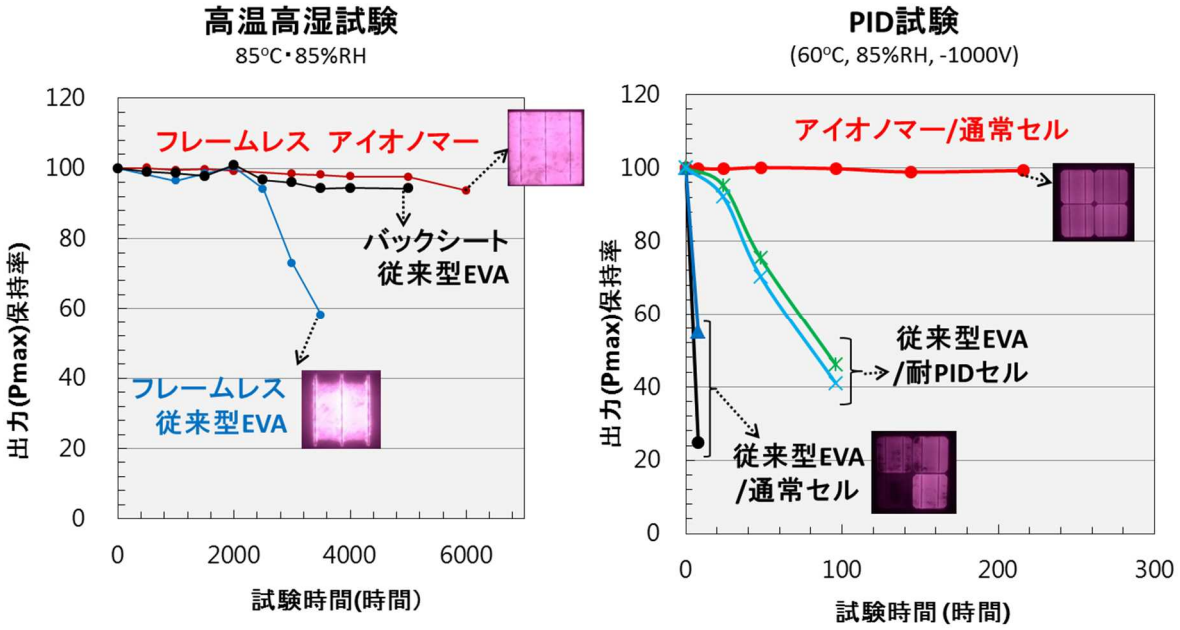
また、アイオノマー封止材の低吸湿性、高体積抵抗性や酢酸発生がない等の優れた性質を利用し、より条件が厳しくなるフレームレスやシールレスでも屋外での使用に十分な耐久性があることを実証した。各種加速劣化試験や劣化メカニズム解明を通して、アイオノマー封止材を用いた場合、太陽電池モジュールの短寿命化の要因となる酢酸を生じず、また、PID 現象を起こしにくい材料であることが実証され、一般的な EVA 封止材を用いた太陽電池モジュールと比較し、あらゆる面で優位な耐久性があることを示し、20 年以上の長期耐久性を有することが示唆された(図Ⅲ-2-(へ)-C-1(9))。今後の太陽電池モジュールの長寿命化へ貢献する有用な知見が得られた。

本技術のトータルシステムとしての検証も行った。作製した太陽電池システムを、弊社宇都宮事業所と積雪地域の会津大学にそれぞれ設置して屋外曝露試験を行い、定期的な発電量検査を通して開発した技術のトータルシステムとしての長期信頼性を検証した。図Ⅲ-2-(へ)-C-1(10)に試験前、冬季に入る前、約一年の試験後の出力変化及びEL画像を示す。冬季の多量の積雪にも関わらず、出力やEL画像への影響は見られなかった。また、据付樹脂部品や樹脂架台も変化が見られなかった。加えて、フレームレス化・２片支持により受光面に積雪が留まりにくく落雪効果があることも同時に確かめられ、本システムの副次的な優位性に関

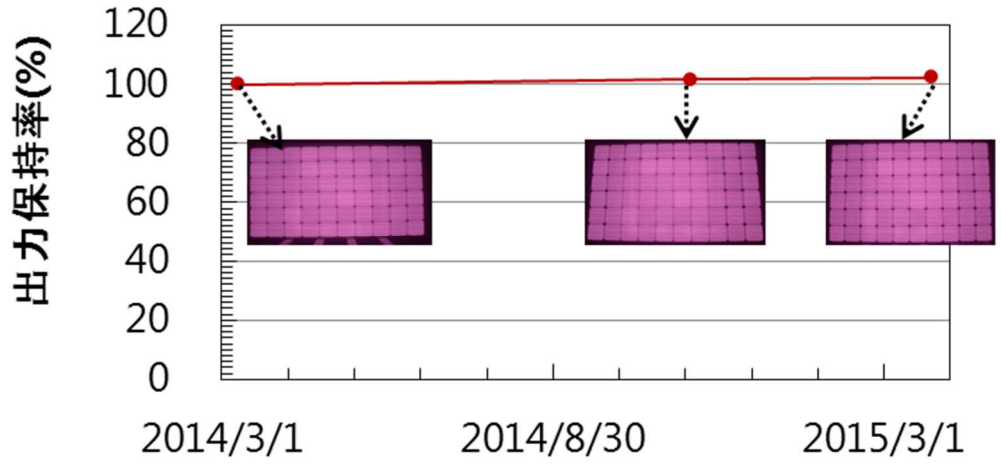
する有用な知見が得られた。



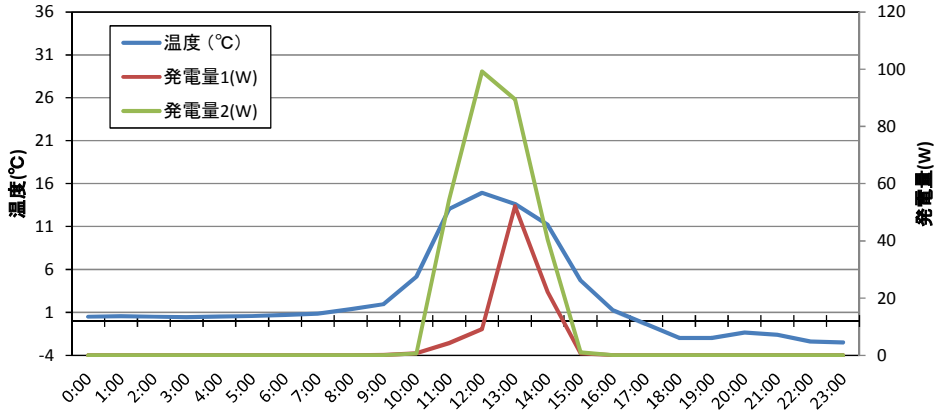
図Ⅲ-2-(へ)-C-1(8)：アイオノマー封止材を用いた軽量化・フレームレス化



図Ⅲ-2-(へ)-C-1(9)：アイオノマー封止材を用いた太陽電池モジュールの長期耐久性検証結果



(a)　試験前(3 月)、冬季に入る前(11 月)、試験後(翌年 3 月)の出力変化



(b)　2014 年 12 月 15 日の温度・発電量測定結果

(c)　2014 年 12 月 15 日の太陽電池モジュール外観写真

<u>試験条件</u>

使用モジュール　：フレームレス両面ガラスモジュール（両面受光セル）
据付方法　　：第一世代施工簡便化据付部品を使用、2片支持、設置角度35°
架台　　：押し出し成型樹脂架台を使用

図Ⅲ-2-(へ)-C-1(10)：会津大学に設置した太陽電池システムの屋外曝露試験結果

＜本成果の意義＞

弊社特有の技術であるアイオノマー封止材を用いることで、太陽電池モジュールの軽量化によって、これまで耐荷重性の問題等で据付が困難だった場所への設置を可能とした。また、太陽電池モジュールの軽量化だけではなく、アイオノマー封止材を用いることで、従来の封止材と比較してあらゆる面での長期耐久性における優位性を実証したことは、これからの市場展開の際に顧客への安心感や信頼感を醸成するのに役立つ。更に、業界の大きな課題である太陽電池モジュールの長寿命化に貢献する知見へと繋がることから、太陽電池業界の市場拡大および資源有効活用に寄与できたものと考えられる。

表Ⅲ-2-(へ)-C-1(3)：研究開発項目毎の成果・達成度等結果

最終目標	研究開発成果	達成度	成果の意義・今後の方向・課題等
複合化による部品点数削減率50%以上、据付作業に必要な人員、時間の20%削減を達成・実証する。	樹脂・金属ハイブリッド構造の施工簡便化部品を開発した。施工部品の部品点数を60%削減、据付作業に必要な人員を33%削減、施工時間45%削減と、当初の最終目標値を大幅に超える成果となった。	大幅達成 ◎	ボルトやナットをほぼ用いない世界初の樹脂製据付部品・技術を開発。弊社試算値でトータルシステム価格の4.9%削減、¥0.65/kWh低減に繋がると考えられる。従来型の太陽電池モジュールにも適用可能であり、実用性・汎用性も高い。
機能複合化部品、および、モジュール構成を組み合わせた太陽光発電システムとして20年相当以上の耐久性（IEC61215, IEC61730準拠）を達成する。	開発した据付部品に対して適切な材料・成型方法を選定し、加速劣化試験（湿熱、光、塩水）、劣化メカニズム分析、市場回収品分析、屋外曝露試験を通して、屋外20年使用に十分な耐久性を有することが示唆された。小規模システムでの屋外実験の結果から、開発した据付部品がシステムとしても屋外20年使用に適用可能なシステムであることを確認した。	達成 ○	樹脂の信頼性を実証したことで、太陽電池業界全体への樹脂部材の活用という新たな技術領域を開拓した。 更なる普及に向けて、実際の屋外環境で生じる風圧による力学的ストレスに対する耐久性検証を継続研究として、引き続き進めている。
簡便施工太陽電池システムで使	アイオノマー封止材を用いた両面ガラス太陽電池モジュー	大幅達成 ◎	アイオノマー封止材を用いることで、太陽電池モジ

用される樹脂部材の耐久性および樹脂部材を用いた太陽光発電システムの耐久性を評価する手法を確立し、その手法をもとに20年相当以上の耐久性を実証する。	ルでは、従来のEVA封止材を用いた太陽電池モジュールと比較して約50%の軽量化を達成した。更に、従来のEVA封止材を用いた太陽電池モジュールと比較し、湿熱試験、湿熱温度サイクル複合試験、PID試験の全てにおいて、長期耐久性における優位性を確認した。加速劣化試験および学術会で発表されている寿命予測手法、指標に基づく検証にて、20年相当以上の耐久性があることが示唆された。		ュールの軽量化だけではなく、劣化・故障要因となる酢酸を生じず、PID現象を起こしにくい材料であることが実証された。今後の太陽電池モジュールの長寿命化へ貢献する有用な知見が得られた。

(2) 成果の普及

表Ⅲ-2-(へ)-C-1(4)：特許、論文、外部発表等の件数（内訳）

	H22	H23	H24	H25	H26	計
特許出願（うち外国出願）	0	1	1	0	1	3 件
論文（査読付き）	0	0	0	0	0	0 件
研究発表・講演（うち国際会議）	0	0	1	1	1	3 件(1 件)
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0	0	0	0 件
受賞実績	0	0	0	0	0	0 件
展示会への出展	0	1	0	1	1	3 件

表Ⅲ-2-(へ)-C-1(5)：研究発表・講演

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
平成25年 3月29日	2013年 第60回応用物理学会春季学術講演会	高体積抵抗率を有する封止材による太陽電池モジュールの漏れ電流抑制とPID 対策	竹田悠太 下木有生
平成25年 11月14日	第26回 アイオノマーシンポジウム	高弾性アイオノマー樹脂による合わせガラスの高強度化・軽量化（一部で本研究の内容を発表）	下木有生
平成26年 11月25日	The 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion	Reduction of Installation Cost by Plastic & Metal Hybrid Fixation Parts without Bolts & Nuts	下木有生 米澤雅之

表Ⅲ-2-(へ)-C-1(6)：展示会への出展

発表年月日	発表媒体	発表内容
平成24年2月29日 ～3月2日	PV EXPO 2012	樹脂製施工簡便化据付部品、軽量・フレームレス太陽電池モジュールの展示
平成 26 年 3 月 26 日 ～3 月 28 日	PV EXPO 2014	樹脂製施工簡便化据付部品、軽量・フレームレス太陽電池モジュールの展示
平成 27 年 2 月 25 日 ～2 月 27 日	PV EXPO 2015	樹脂製施工簡便化据付部品、軽量・フレームレス太陽電池モジュールの展示

PV EXPO 2015 出展

名称：PV EXPO 2015

会期：平成 27 年 2 月 25 日～2 月 27 日

会場：東京ビッグサイト　東展示棟　小間番号 E50-24

図Ⅲ-2-(へ)-C-1(11)：PV EXPO 2015 での展示の様子

（3）　知的財産権等の確保に向けた取り組み

開発した太陽電池モジュールの施工簡便化据付部品は、全く新しいコンセプトであるため、技術の確立と知財確保が整い、実用化の段階まで発表を控えたものの、特許出願の完了及び実用化の見通しが立ってからは積極的に広報活動を行う戦略へと切り替え、展示会等への出展に意欲的に取り組んできた。今後は、知的財産権の確保に向けた取り組みと並行して、広報活動を通じたユーザーニーズの取得により積極的に取り組んでいく予定である。

2. 実用化・事業化見通し

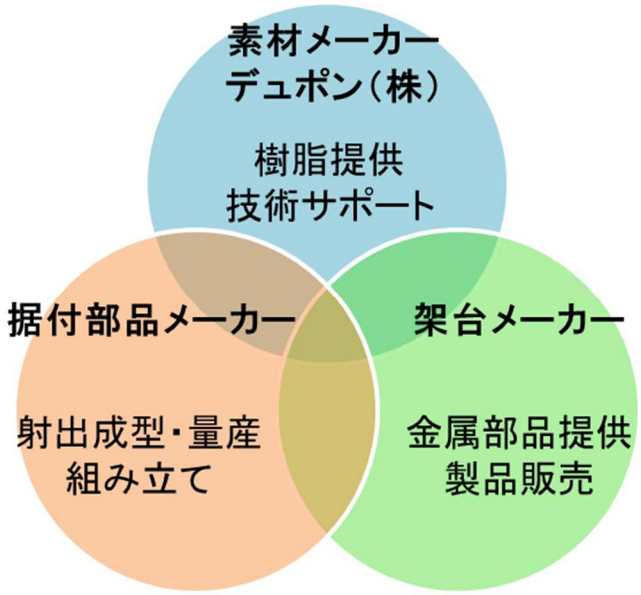
＜実用化・事業化に向けた戦略＞

弊社は素材メーカーであるため、本研究で開発した施工簡便化据付部品、及び、軽量化・フレームレス太陽電池モジュールの実用化に関して、弊社から据付部品メーカー、架台メーカーへ材料を販売し特許ライセンスを提供するビジネスモデルを採用する。具体的な事業化へ向けては、架台メーカーや据付部品メーカーとの連携を強化し、樹脂材料の提供および技術データの取得、樹脂成型の技術サポートをはじめ、部品としての製品化を加速させる活動をしている。

太陽光発電システムのトータルコスト削減に対する市場の期待は現時点でも高く、市場規模としては、現在の開発品のターゲットである折板屋根の場合、国内だけでも1250MW/年と考えられる。国内折板屋根での成功後には、国外の折板屋根への展開も視野に入れており、より大きな市場が期待される。

＜実用化・事業化に向けた具体的取り組み＞

本技術は開発段階より、適宜、架台メーカー、太陽電池モジュールメーカーと実用化へ向けた議論を進めてきており、既に架台メーカーや据付部品メーカーと具体的な協業を開始している。現在、2016年度中の上市に向け製品の最終設計、量産化技術の開発に取り組んでいる。量産・販売にあたって、樹脂の提供と樹脂成型の技術サポートを弊社、射出成型および組み立てを据付部品メーカー、金属部品の提供および最終製品の販売を架台メーカーがそれぞれ担当する。事業化に向けたパートナーシップスキームを図Ⅲ-2-(へ)-C-2(1)に示した。



図Ⅲ-2-(へ)-C-2(1)：実用化に向けたパートナーシップのスキーム

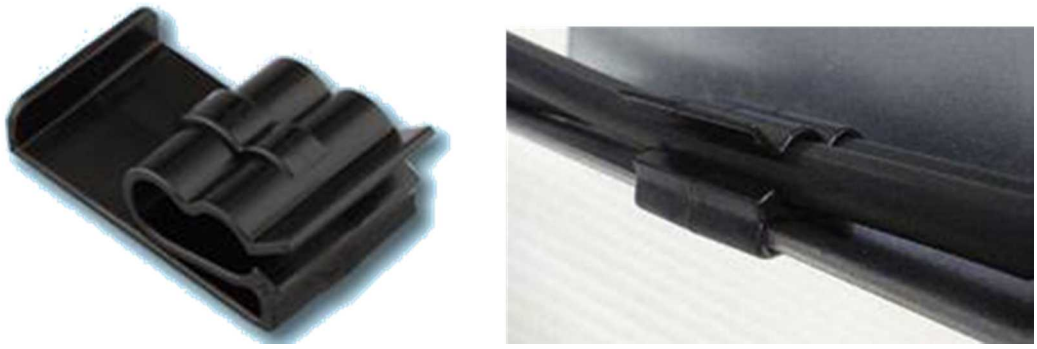
＜実用化・事業化見通し＞

本研究では、プロジェクト期間内から積極的に外部有識者や据付部品メーカー、インテグレーターからの要望の声を集め、樹脂の成型技術等の量産技術に関しても研究の一環として進めてきた。そのため、高止まりしている太陽電池モジュール以外の費用削減、据付工程の簡便化および品質安定化を目標とする本技術は、産業技術としての適用可能性は高く、市場ニーズ・ユーザーニーズと非常によく合致している。更に、本研究で開発した製品を2015年9月の関西PV EXPOに参考出展し、より具体的なユーザーニーズの取得にも引き続き取り組んでいる。

開発した据付部品は、現実的な実用化を見据えて樹脂の成型方法として最も一般的な方法の一つである射出成型によって成型することを念頭に開発活動を行ってきた。従って、射出成型によって成型可能な本据付部品の量産化技術の確立は比較的容易と予想される。現在、協業中の据付部品メーカーおよび架台メーカーと実用化に向けて既に最終製品設計に取り組んでおり、2016年度中の上市を目標としている。

更に、研究開発当初は据付部品を簡便にする一つの方法として検討してきた樹脂成型部品の活用であるが、各メーカーとの協業の段階において、金属でなく敢えて樹脂を用いることの利点が認識され、据付部品以外の用途における樹脂化も活発に進んでいる。

例えば、樹脂の意匠性に注目した樹脂製フレーム、太陽電池の軽量化のための樹脂製フレーム、現場での作業性向上（ケーブルへの低攻撃性、スナップフィットの取り回し易さ）に寄与する樹脂製ケーブルクリップなど、据付部品以外の用途での引き合いを受けている。中でも図Ⅲ-2-(へ)-C-2(2)に示した樹脂製ケーブルクリップは既に2014年に実用化に成功し、2015年2月のPV EXPO 2015、2015年9月の関西PV EXPOにてそれぞれ広く紹介された。本研究は施工簡便化コスト削減の普及のみならず、太陽電池用途における樹脂の新しい活用法を普及するきっかけにもなっている。



図Ⅲ-2-(へ)-C-2(2)：樹脂性クリップとして製品化されたケーブルクリップ

3. 波及効果

（1） 据付工程簡便化というトレンド形成へ寄与

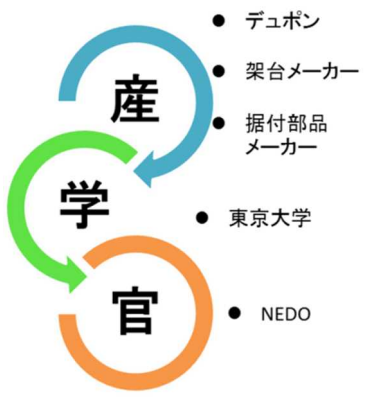
部品点数削減、施工時間削減、施工コスト削減の概念は、近年でこそ業界に広く知られる考え方となってきたが、研究開始当初はこのようなアイデアは浸透していなかった。しかしながら、本研究を開始して1年程経過した頃から他社からも同様のコンセプトが発表される例が見られるようになったことからも、弊社がこれらの概念の先駆者となり、展示会や学会等を通じてコンセプトや試作品を説明し続けてきたことで、このような施工簡便化による費用削減という新たなトレンド形成の一端を担うことができたと自負している。今後も、展示会や研究発表等を通じて、広く成果の普及と拡販に向けた取り組みを行っていく。

（2） 太陽電池構造部材の樹脂化を推進

最近ではFRP の架台や樹脂製のジャンクションボックス等が発表されているが、研究開始当初には太陽電池モジュールの部品（ジャンクションボックス、コネクターを含む）以外に樹脂部材が使用されることは非常に稀であった。特に、今回のような樹脂特有の性質を活かした用途例はほとんどなかったと言える。最近では、弊社と同様の発想で樹脂製クリップや樹脂製電装部材、樹脂製据付部品等を発表する企業も増えてきており、本研究が太陽電池業界の樹脂材料に対する認識を変えることに貢献し、金属一辺倒であった太陽電池据付部材に樹脂の市場を広げるきっかけの一つとなった。

（3）オープンイノベーションを通じて若手の人材育成を推進

太陽電池モジュールの据付簡便化という提案は、これまでにないコンセプトである上、材料メーカーや架台メーカー、据付部品メーカーなどそれぞれが単独では実現が難しい課題であった。そこで本研究においては、大学からの専門的コンサルティングを受け、また各バリューチェーンのメーカーと積極的に定期的情報交換・協業を行う産学官のオープンイノベーションの形を取った。更に、弊社では本研究において、若手研究者をプロジェクトに積極的に登用したことで、太陽電池分野に精通した研究員の育成だけでなく、オープンイノベーションプロジェクトの推進という面でも、若手の人材育成という大きな波及効果が得られた(図Ⅲ-2-(へ)-C-3(1))。



図Ⅲ-2-(へ)-C-3(1)：産学官のオープンイノベーション体制

4. 今後の展開

（1）施工簡便化据付部品の製品化及び普及活動

本研究で開発した要素技術を基に、据付部品メーカー、架台メーカーと協力して施工簡便化据付部品を早期に製品化することを目指している。現在、既に製品の最終設計、量産化技術の確立に取り組んでおり、2016年度中の上市を予定している。上市後も、より具体的なユーザーニーズの取得を継続して行い改良を加えていくとともに、太陽電池市場において、据付工程簡便化技術や樹脂材料の積極的活用の普及を推進していく(表Ⅲ-2-(へ)-C-4(1))。

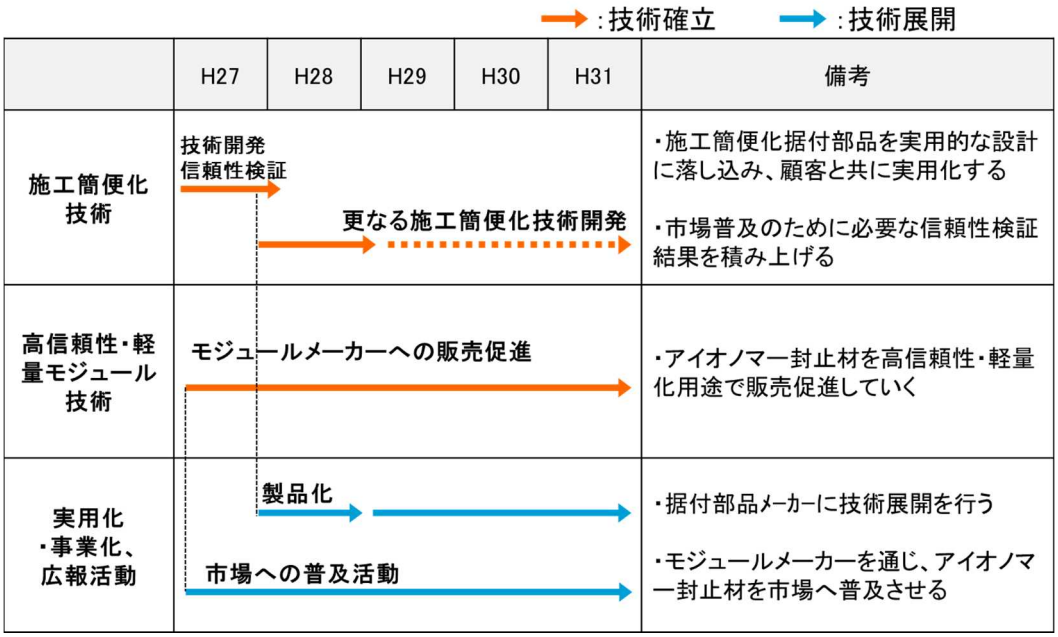
（2）樹脂製据付部材の更なる信頼性向上

開発した樹脂製の据付部品製品を広く普及していく上で、顧客の樹脂材料に対する不安感が障壁の一つとなっている。そこで、弊社では本研究の実用化に向けた活動として、屋外における湿・熱・光による樹脂の化学的劣化現象の理解に取り組んできた。我々は、開発した樹脂性部品の更なる長期信頼性確保に向け、長期かつ繰り返しの力学的ストレスによる樹脂材料の構造・物性変化を調査研究し、屋外環境下での長期耐久性を説明する試験手法・評価手法の構築に取り組んでいる。想定される力学的ストレスの中でも、特に実際の環境下で生じる風圧による力学的なストレスに着目し、据付部品の長期信頼性を検証することを2015年度の継続研究として現在取り組んでいる。

（3）更なる施工簡便化据付技術の開発

据付技術の更なる簡便化として、本研究で開発したフレームレス太陽電池モジュールの利用や更なる据付部品の改良が見込まれる。本研究で開発した施工簡便化据付部品では、業界に残る金属材料に対する強い信頼感と樹脂材料に対する不安感が理由で、敢て金属ボルト部品を完全になくしてはいない。しかし、樹脂製の据付部品の普及に伴って市場の樹脂部材の信頼性に対する認識が変われば、完全にボルトとナットを用いない据付部品、樹脂の特性をより活かした次世代部品の開発に対する需要が高まっていくと期待される。また、近年ではモジュールのフレームレス化による軽量化及び費用削減への需要も高まっている。今後はそのような変化する市場ニーズに対して、更なる簡便化技術の開発によるソリューションの提供に取り組んでいきたい。

表Ⅲ-2-(へ)-C-4(1)：施工簡便化据付部品の実用化・事業化の計画



5. 特許論文リスト

表Ⅲ-2-(へ)-C-5(1)：特許リスト

出願日	受付番号	出願等に係る特許等の表題	出願人
平成 23 年 11 月 30 日	特願 2011-276423	MOUNTING BRACKET FOR PHOTOVOLTAIC MODULES	デュポン株式会社 株式会社タケチ
平成24年 8月24日	特願 2012-199878	SOLAR CELL MODULE WITH METAL SUPPORT	デュポン株式会社

D．発電量評価技術等の開発及び信頼性及び寿命評価技術の開発

1.(1)成果詳細（一覧表）

最終目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
Ⅰ）発電量評価技術の開発 **①　太陽電池性能評価・校正技術（AIST）** **a.太陽電池性能評価技術** **（ⅰ）太陽電池実効性能評価技術の研究開発** ・光照射効果（１年以上）を考慮した実効性能評価技術を確立する。 **（ⅱ）屋外高精度性能評価技術の研究開発** ・測定再現性２％以内の評価方法を確立する **（ⅲ）各種新型太陽電池性能評価技術の研究開発** ・ＮＥＤＯの開発成果も含めて基礎データを収集、分析、評価し、必要に応じ規格化を図りつつ基本的評価手法を確立する。 **b.　基準太陽電池校正技術** **（ⅰ）精密構造型ＷＲＲ絶対放射計測技術の研究開発** ・ＷＲＲファクター　0.5%以内の精密構造型絶対放射計および超高温定点黒体炉を用いた校正技術を確立する。 **（ⅱ）絶対分光感度法による一次校正技術に関する研究開発** ・絶対分光感度法による一次校正の基本技術を開発し、その校正の不確かさを明らかにする。 **（ⅲ）二次基準モジュールの校正精度の向上に関する研究開発** ・ JIS C8921 の規定する「小さな基準モジュール」の校正技術を明らかにする。	**（ⅰ）太陽電池実効性能評価技術の研究開発** ・薄膜太陽電池の屋外暴露一年以上の光照射効果を考慮した出力を予測する手法、モジュール分光感度温度依存性測定技術を開発した。 **（ⅱ）屋外高精度性能評価技術の研究開発** ・ＰＶモニタセルの使用および約 200ms 以内の高速測定により測定再現性±２％以内を得た。 **（ⅲ）各種新型太陽電池性能評価技術の研究開発** ・NEDO 開発品、新型太陽電池等高精度測定を実施して評価技術検証、開発元へ提供した。標準化、国際標準化２８件について関連技術の文案を提案等の貢献を行った。国際比較、学会、論文、太陽電池評価技術研究会等で開発成果の国際整合性確認、周知、普及を図った。 **（ⅰ）精密構造型ＷＲＲ絶対放射計測技術の研究開発** ・精密構造型 WRR 絶対放射計の WRR ファクターが 0.5%以下であることを IPC に参加・確認した。超高温定点黒体炉による基準太陽電池校正用いる新型絶対分光放射計のノンリニアリティ誤差の解消と極めて高い波長精度・波長分解能の実現を確認した。 **（ⅱ）絶対分光感度法による一次校正技術に関する研究開発** ・導入した絶対分光感度法による一次校正の不確かさが 0.8%(k=1)程度であることを明らかにした **（ⅲ）二次基準モジュールの校正精度の向上に関する研究開発** ・相対分光感度測定精度 1%以内を達成。１セルモジュール校正の最高校正能力が 0.90%であることを明らかにした。（中間評価時に前倒しで達成）	○ ○ ○ ○ ○	
②発電量推定と予測技術 **a.発電量定格技術** **（ⅰ）発電量定格方式の開発(AIST)** ・地域の日射量・気象データから新型太陽電池モジュールを含む各種太陽電池モジュールの発電量を推定する技術を開発する。	**a.発電量定格技術** **（ⅰ）発電量定格方式の開発(AIST)** ・標準試験条件における出力と日射強度、モジュール温度、日射スペクトルの影響から構成される発電量推定モデルを構築し、結晶シリコン太陽電池の発電量は、±3%の精度で推定可能であることを確認した。また、n 型基板を使用しているヘテロ接合型や CIGS 太陽電池は、I-V 曲線の挿印方向や速度、プレコンディショニングの時間など、標準試験条件における出力の測定精度を向上させることにより、±3%の精度で発電量推定が可能になることを確認し、目標を達成した。	○	

(ⅱ)日射スペクトルデータの全国整備に関する研究開発(JWA) ・気象庁の日射観測地点を対象に日射スペクトルデータの全国整備を行う。また、月平均の日射データを収録した MONSOLA、毎時の気象データを収録した METPV らと関連付けたデータベースとして整備を行う。さらに計測データをデータベース化し，表示・検索ソフトウエアと併せて公開する。	**(ⅱ)日射スペクトルデータの全国整備に関する研究開発** ・5 地点の観測データを整理して日射スペクトルデータベースを構築した。観測データを用いて日射スペクトルを推定するモデルを開発した。開発した推定モデルを用いて、全国の気象官署における日射スペクトルデータを整備した。	○	
(ⅲ)有機系太陽電池実用化先導技術開発(AIST) ・各種有機系太陽電池の屋外発電量評価を系統的に実施するとともに、有機系太陽電池の屋外発電量の日射量依存性や季節推移、角度依存性等に関する特有の現象を抽出する。	**(ⅲ)有機系太陽電池実用化先導技術開発** ・様々なメーカが作製した色素増感太陽電池と有機薄膜太陽電池の屋外発電量評価を系統的に実施した。結果は、南向き 30° という厳しい屋外条件では、導入した色素増感太陽電池の多くは、数ヶ月程度の屋外曝露でも封止に不具合が発生し、発電量が大きく低下することが判明し、封止技術の改善が必要であることが明らかになった。このことから、角度依存性については明瞭なデータを取得するに至らなかったが、低日射量の場合には、結晶シリコン系に比べて発電量の低下が少ないとの色素増感太陽電池の優位性を明確化することができた。一方、有機薄膜太陽電池は、短期の曝露では大きく劣化せず、安定した発電量を示した	○	
b.発電量予測技術 **(ⅰ)分散・広域発電量推定技術の研究開発(AIST)** ・分散発電量予測及び広域発電量予測モデルの検証を行い、高精度化を図るとともに、UT と共同してこのモデルの予測結果を電力会社の運用計画へ反映させる方法を検討する。	**b.発電量予測技術** **(ⅰ)分散・広域発電量推定技術の研究開発：** 太陽光発電（以下、PV）システムの発電予測における、分散発電量予測及び広域発電量予測モデルについて機械学習モデルをベースに高精度化を行った。また広域予測に関しては、４つの手法を提案し電力会社の運用を想定したケーススタディを行った。全数計測ケースと比較して、サンプリング手法、全量把握ケース、日射予測からの推定ケースについても RMES において 0.05kW/m2 以下に抑えることができた。また、予測値の信頼度情報（信頼区間）として過去１年の予測誤差から推定するノンパラメトリック手法と過去６０日のデータから分布推定するパラメトリック手法の開発を行った。また、 電力会社の運用計画へ利用する際には予測誤差を考慮する必要がある。UT と共同して予測の効果試算を行うため、前日予測、当日予測及び時別値毎の信頼区間の推定を行った。開発した発電量予測プログラムを AIST の知財登録・管理を行い、民間企業（ＰＰＳなど）へ向けた技術移転を実施中。	◎	
(ⅱ)気象パラメータ予測技術の研究開発(MRI) ・発電量予測モデル及び日射量予測モデルの高精度化に必要な、気象パラメータ予測モデルの通年評価を２度実施して精度向上を図る。また、翌日の日射量予測と観測データとの比較を再度行い、その予測精度を向上させる。	**(ⅱ)気象パラメータ予測技術の研究開発：** 気象庁の各気象官署で観測された全天日射量データを用いて，気象庁メソモデル（MSM）の予測精度の検証を行った。日射量予測誤差について季節，経年変動の特性を調査し，さらにその地域特性も調べた。現行の MSM では夏（冬）季に負（正）バイアスがあること、また本州などの中緯度よりも低緯度（亜熱帯）での日射予測精度が比較的低いことが明らかになった。これらの分析結果をもとに、格子以下のスケールの雲量の改善として部分凝結スキームの改良を行った。改良後の通年の予測誤差評価の結果、夏季の大きな負のバイアス（過小に予測しすぎる傾向）や冬季の正バイアス（過大に予測する傾向）が大きく改善されただけでなく、月平均の誤差の大きさ（RMSE）が現行のモデルと比較して約 5% 小さくなった。 天気予報の現業で使用している気象予報モデルの日射を予測するプロセスは、本プロジェクトでの成果を参考に	◎	

(ⅲ)分散日射量予測技術の研究開発(GU) ・周辺地形による直達日射遮蔽の影響なども考慮した高精度・高空間分解能を有する直達・散乱日射強度予測を任意の地点・時刻において提供できる予測システムを構築し試験運用する。	改良されたものを利用。 **(ⅲ)分散日射量予測技術の研究開発：** 任意の複数地点での直達・散乱日射および任意傾斜面での全天日射強度を予測するシステムを構築し，試験運用した。日射予測に確率予測を導入し，日射強度だけでなく，その信頼度・予測区間も予測する技術を開発するとともに，予測システムを構築した。 本プロジェクトの研究成果を受けて、電力事業者との共同研究を実施中。	◎	
(ⅳ) 広域日射量予測技術の研究開発(JWA) ・5km メッシュで全国を対象とする全天日射量の予測モデルについて検証を行い、モデルパラメータの改善を実施する。開発成果を基に、実用化に向けた広域予測システムのプロトタイプを作成する。	**(ⅳ) 広域日射量予測技術の研究開発：** 5 kmメッシュで全国を対象に 30 分単位で翌日までの日射量を予測するモデルを開発した。開発したモデルは、従来の運用モデルと比較して 20%程度、精度が向上した。気象衛星データをもとに 1 kmメッシュ単位の日射量データを整備し、開発したモデルについて面的精度検証を行った。最終的に、開発した広域予測システムをリアルタイムで運用する試作機を作成した。予測モデルの実運用を開始し、電力事業者等への予測情報の提供を実施中。	◎	
(ⅴ) 分散・広域発電量応用評価技術の研究開発(UT) ・発電量予測技術法の評価、PV システム発電量のモニタリング手法の仕様策定。	**(ⅴ) 分散・広域発電量応用評価技術の研究開発：** AIST にて開発された日射量、発電量予測技術（予測データ）を用いて PV 発電量予測技術評価のためのモデル・手法を開発した。電力需給を計画、運営する将来の送電会社、バランシンググループなどを対象として、PV 発電量予測技術の適用先である電力システムに同予測技術が与える影響を経済性、信頼性の観点から評価が可能な実系統に基づくモデル（ユニットコミットメント&ディスパッチシミュレーション）を開発した。 また実際に開発された PV 発電量予測データを用いて、再生可能エネルギーが大量導入されると想定される 2030 年を想定した電力システムを模擬し、その影響を分析した。その結果、前日予測を利用することで不足供給量（対年間需要総：約 288TWh）は持続モデルを使った場合では約 1%であったものが、前日予測を利用することで 0.3%に、更に予測値の信頼度情報（信頼区間(80%)）を利用すると約 0.1%程度まで減少させることができた。	◎	
Ⅱ）信頼性評価技術と長寿命化技術の開発 **①モジュール・機器耐久性評価技術** **a.高信頼性モジュールの認証試験技術(PVTEC(JET))** ・暴露試験，システム調査，文献調査の継続，紫外線強度試験，温度サイクル試験を繰り返し，紫外線、温度サイクルによる劣化要因の不変性を確認する。 ・導電部の腐食現象の発生要因となった海塩粒子に対する検討として塩水噴霧試験，薄膜 Si 系モジュールの出力低下の要因となった高日射・低気温に対する検討として明暗冷サイクル試験を実施し、前段に示す以外の劣化要因を推定する。	**a.高信頼性モジュールの認証試験技術：** 劣化要因の不変性の確認では、気象要因に対する影響度合いを整理し、劣化要因は気象要因と、部材、設計・製造要因の単独、又は組合せによることを確認し、最終目標を達成した。 導電部の腐食現象に対する検討では、浸水試験によるモジュール内部への水分浸入、腐食現象発生モジュールの腐食部から塩素(Cl)の存在を確認し、海塩粒子の影響を確認した。薄膜 Si 系モジュールの出力低下要因への検討は、実験結果等から、年間最低気温の影響を確認した。バイパスダイオードの接続部電気的特性の検討は、バイパス回路内のはんだ接続部に課題があることを確認した。一方、ショットキーダイオードに対する逆バイアス耐圧特性試験では、ジャンクションボックスの熱設計の妥当性検証が必要とし、試験条件を検討した。検討した試験条件を国際規格とすべく IEC に提案した。この結果、NWIP として承認されたのち、CD 提出に向けての WD を作成した。	○	
b.新規信頼性試験方法の開発 **（ⅰ）新加速試験技術の研究開発(AIST，PVTEC)** ・フルサイズ（1.0m×1.1m 程度）	**（ⅰ）新加速試験技術の研究開発：** サイクリック試験をフルサイズ・モジュールに適用し、屋外で見られる不具合を再現できることを確認した。		

モジュールで、サイクリック試験の結果、スケールアップに伴う技術要件（電源、発振防止回路、制御回路など電子・電気回路的要件）が抽出・解決され、サイクリック加速試験を実施し、EVA 変色、気泡、電極周辺のこげなどが再現できるかを確認する。新規加速試験方法については、中間目標での結果を踏まえて、例示した方式を含めて 1 種以上について、ミニモジュール（３セル～４セル）で、加速試験を実施し、実用可能性を判断する **（ⅱ）モジュール内水蒸気浸入経路調査方法の研究開発（AIST, PVTEC）** ・透過率に換算して 10-5 g/m2day までの水蒸気の浸入を検出可能なモジュール内水蒸気浸入経路調査方法を確立し、水蒸気の浸入に対して脆弱な色素増感太陽電池ならびに有機薄膜太陽電池に当該調査方法を適用する。さらには、新構造の結晶系ならびに薄膜系太陽電池においても水蒸気浸入経路調査方法を確立する。これらのことを通じて、太陽電池モジュールの信頼性試験法として国際規格に反映するために充分なデータベースを構築する。 **②システム点検技術** **a. オンサイト発電性能点検技術（AIST）** ・オンサイト点検において気象センサを利用しないで発電性能 10%低下を検出可能な手法の開発を行う。 **b. 発電データ分析技術（PVTEC（JET））** ・発電データ分析手法において測定可能な計測項目と検出可能な不具合項目との関係について明確にする。 **③リユースモジュール健全性試験技術（PVTEC（JET））** ・リユースモジュールに要求される性能の最も基本的な要求である絶縁性能，ある程度の誤差を許容した出力表示に必要な安価で容易な測定方法の提案を含めたガイドライン案の策定に必要なデータを提供する。 **Ⅲ）次世代太陽光発電システムに向けた基盤技術開発の調査（PVTEC）** ・PV モジュールの信頼性及び耐久性データの調査・解析を行い、PV モジュールの主要な劣化要因を特定する。また 2050 年の PV システムのあるべき姿を策定するための基本情報を収集する。	・機械式曲げ荷重試験を考案した。試験結果から、本試験は試験温度と荷重面に依存した故障モードを再現性良く評価できることがわかった。 ・光と湿熱を考慮した紫外光照射・高温高湿の複合加速試験を行い、モジュールの劣化に対する光照射効果を評価した。モジュール発電特性への紫外光照射の影響が実証されたとともに、モジュールの長期信頼性加速試験には紫外光照射を含んだ複合試験の重要性が示唆された。 ・Na の電荷状態が PID 現象の発生や抑制に大きく関わっていることを示唆する結果や PID 試験の前に逆電圧を印加することで、PID の抑制が可能となることを初めて明らかにした。 **（ⅱ）モジュール内水蒸気浸入経路調査方法の研究開発：** 太陽電池モジュール内にカルシウムを封止することによりモジュール内への水蒸気浸入の経路を明確化するとともに、下限が 10-5 g/m2day 台の浸入水蒸気量を定量化する方法を初めて確立した。この手法を用いることにより、水蒸気バリア性を高めることよりも、モジュール内に酢酸を滞留させないことの方がモジュールの信頼性向上に重要であるとの知見を得るとともに、モジュールの長寿命化に資する部材の設計指針を提示した。 **a. オンサイト発電性能点検技術：** システム点検技術に関して、日射量等のデータを利用した場合のオンサイト発電性能点検技術として住宅モニタリングサイト８サイト分の評価を行い、線形内挿法を適用してモニタリングシステムによる性能評価との比較を行うことにより、±10%により推定できることを示した。 **b. 発電データ分析技術：** 住宅用 PV システムの計測を継続し、不具合 DB や要因分析を実施すると共に出力低下傾向があるサイトの現地調査の実施、計測項目と検出可能な不具合等項目との関係について整理した。 **③リユースモジュール健全性試験技術：** リユースモジュールのガイドライン（結晶 Si 系モジュールの再販売時に必要な提示事項）[素案]として、取り纏めを完了した。今後はガイドラインで提案した「屋外出力測定方法」の実用性の検討、妥当性検証を完了した。 **Ⅲ）次世代太陽光発電システムに向けた基盤技術開発の調査** PV モジュールの主要な劣化要因を分類した。劣化要因は一様ではないことが分かった。また PV システムの高信頼・長寿命を目指し、3 つの分科会活動により、有るべき姿を策定するための基本情報収集を行い、課題提言を行った。	○ ◎ ○ ○ ○	

＊１　達成度
◎：数値目標クリアに加えて想定以上の付加価値を実証、○：数値目標クリア、△：数値目標未達

1. (2) 成果詳細（研究開発）

Ⅰ） 発電量評価技術の開発
①太陽電池性能評価・校正技術（AIST）
a. 太陽電池性能評価技術
（ｉ）太陽電池実効性能評価技術の研究開発

光照射効果を含めた性能評価技術について、アモルファスについてはアニール速度の分布等を、CIGS については光照射繰り返し効果等を考慮した解析を行うことにより、屋外暴露一年以上の出力を予測できることを確認し（図１）、最終目標を達成した。

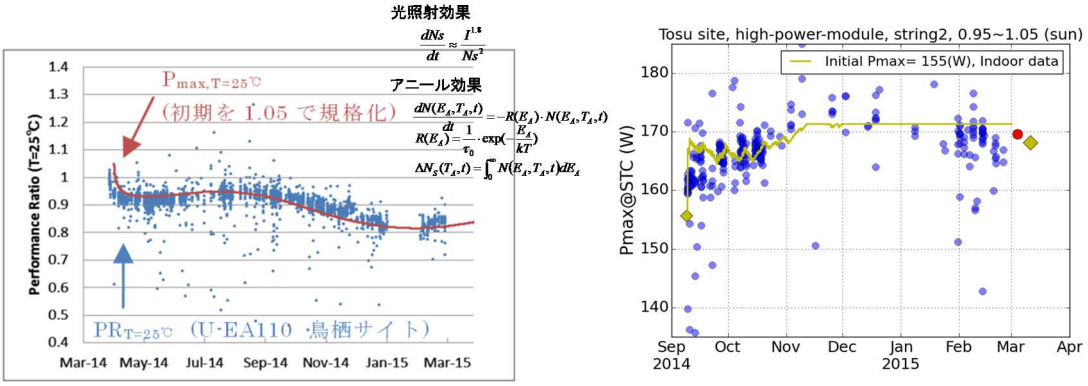


図１　市販タイプの（左図）Si 薄膜タンデム太陽電池および（右図）CIGS 太陽電池の光照射効果。シンボルが屋外実測。直線は屋内初期測定からのモデル計算結果。

（ⅱ）屋外高精度性能評価技術の研究開発

通常の結晶 Si 太陽電池モジュールの屋外測定において、ＰＶモニタセルによる高精度日射測定および測定時間を約 200ms 以内とすることにより、最終目標である測定再現性±２％以内を達成した（図２）。モジュール温度の高精度測定技術について、放射率の小さな貼付材を使用すると計測値が定常時で 4-6℃と大きな差を引き起こすことを明らかにした。

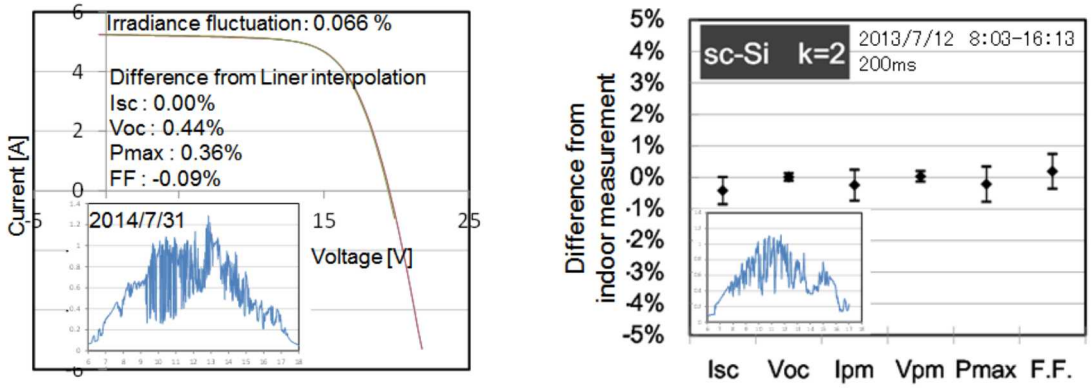


図２　（左図）高速日射測定（スイープ速度 0.2 秒）による、日射変動時の太陽電池モジュール屋外高精度ＩＶ測定と屋内測定結果の比較、及び（右図）一日内の連続測定の屋内外測定比較。

（ⅲ）各種新型太陽電池性能評価技術の研究開発

NEDO 開発品、新型太陽電池等（集光型を含む）の高精度性能測定約８０件を予定通り実施した（図３）。多接合太陽電池、集光型太陽電池等評価に関わる IEC 国際規格議論に貢献した。国内のＰＶ評価機関との比較測定を実施し、整合性の確認、課題・要素技術の抽出および成果実用化を推進した。

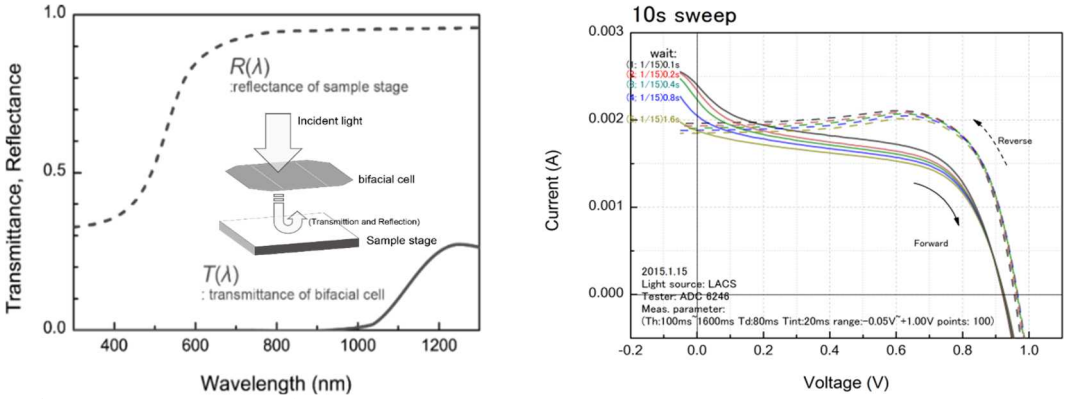


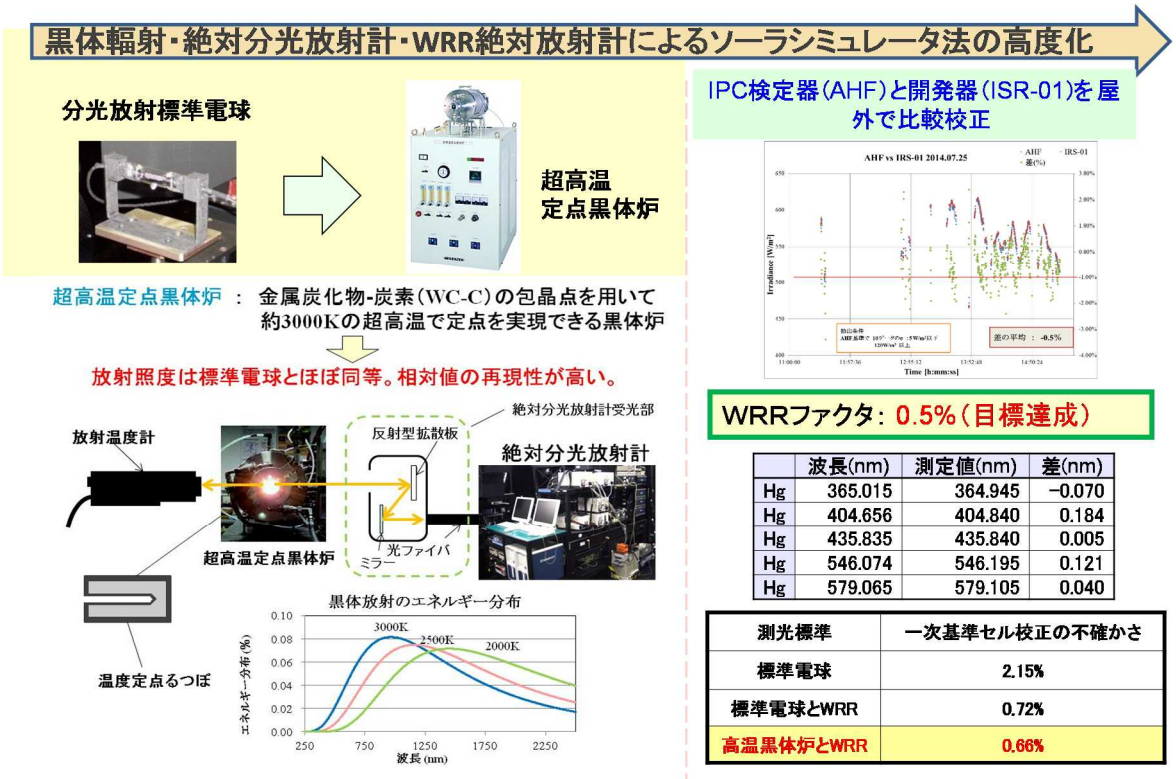
図３　新型太陽電池評価技術開発の一例。（左図）両面受光型結晶 Si 太陽電池。（右図）ペロブスカイト太陽電池

b. 基準太陽電池校正技術

（ⅰ）精密構造型 WRR 絶対放射計測技術および超高温定点黒体炉計測技術の研究開発

精密構造型 WRR 絶対放射計測技術では、2010 年に IPC に参加して精密構造型 WRR 絶対放射計の WRR ファクターが 0.5%以下であることが確認でき、所期の目標を達成した。

超高温定点黒体炉計測技術では、平成 26 年度に開発した新型絶対分光放射計の特性を評価し、ノンリニアリティ誤差の解消と極めて高い波長精度・波長分解能の実現を確認した。以上により、ＷＲＲファクター　0.5%以内の精密構造型絶対放射計および超高温定点黒体炉を用いた校正技術を確立した（図４）。



	波長(nm)	測定値(nm)	差(nm)
Hg	365.015	364.945	−0.070
Hg	404.656	404.840	0.184
Hg	435.835	435.840	0.005
Hg	546.074	546.195	0.121
Hg	579.065	579.105	0.040

測光標準	一次基準セル校正の不確かさ
標準電球	2.15%
標準電球とWRR	0.72%
高温黒体炉とWRR	0.66%

図４　一次基準太陽電池セル校正技術の高度化

（ⅱ）絶対分光感度法による一次校正技術に関する研究開発

ソーラシミュレータ法による一次校正にソーラシミュレータ、分光感度測定装置、分光放射計等の複数の装置が必要であるのに対し、絶対分光感度測定システム一式のみで基準太陽電池の一次校正が可能な省エネ・低コスト校正環境が実現できた。また、絶対分光感度法による一次校正の不確かさが 0.8%(k=1)程度であることを明らかにした（図５）。

②発電量推定と予測技術（AIST、JWA、GU、UT、MRI）

a. 発電量定格技術

（ｉ）発電量定格方式の研究開発（AIST）

産総研つくばセンター及び九州センターにおいて、8 種類 12 型式の太陽電池モジュールの発電量を、2012 年 4 月から 2014 年 12 月までの 2 年 9 ヶ月計測を行い、発電量推定モデルを検証するための太陽電池モジュール発電量データセットを作成した。標準試験条件における出力と日射強度、モジュール温度、日射スペクトルの影響から構成される発電量推定モデルを構築し、結晶シリコン太陽電池の発電量は、±3%の精度で推定可能であることを確認した。また、n 型ヘテロ接合型や CIGS 太陽電池は、I-V 曲線の挿印方向や速度、プレコンディショニングの時間など、標準試験条件における出力の測定精度を向上させることにより、±3%の精度で発電量推定が可能になることを確認し、目標を達成した（図６）。産総研九州センターの実証システムにおいて、薄膜太陽電池モジュールを拡張導入した。各種有機系太陽電池の屋外発電量評価を系統的に実施した。集光型太陽光発電（CPV）に特有な角度特性に関連して、追尾誤差及び風による追尾架台 0.1° のミスアライメントが 4%～の出力低下を引き起こし、性能を決定づける支配的な要因であることを実証的かつ定量的に明らかとした。

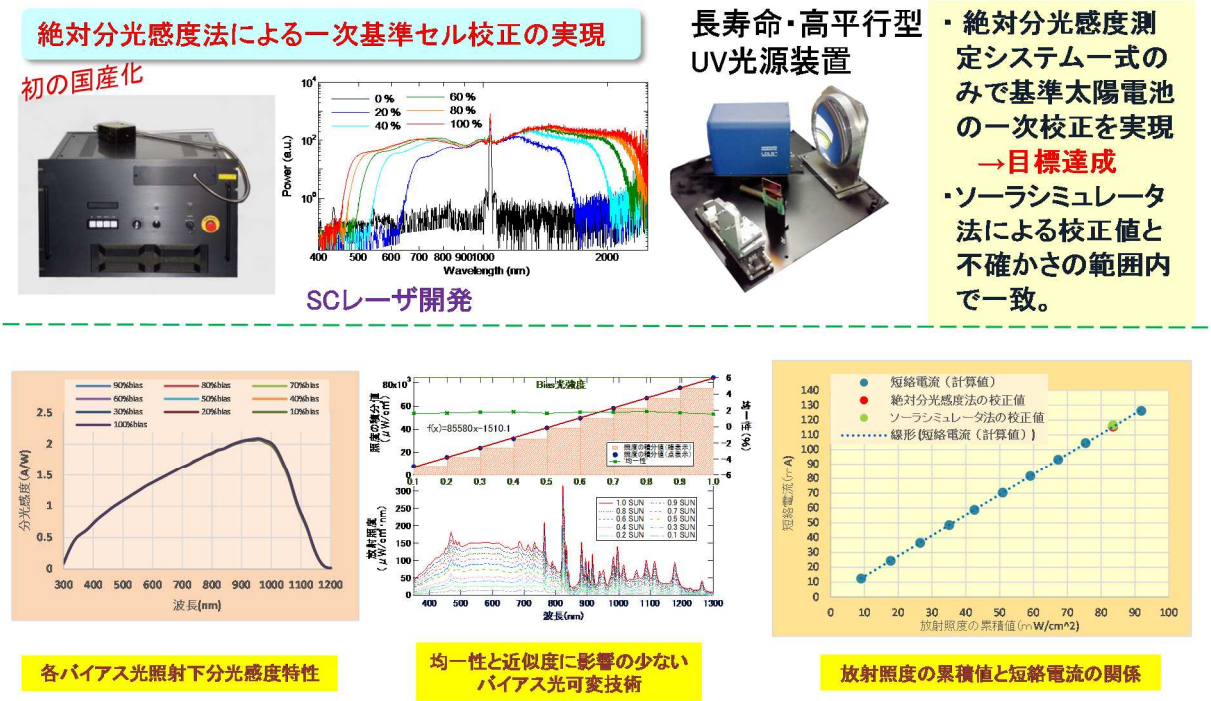


図５　絶対分光感度法による一次校正技術の研究開発

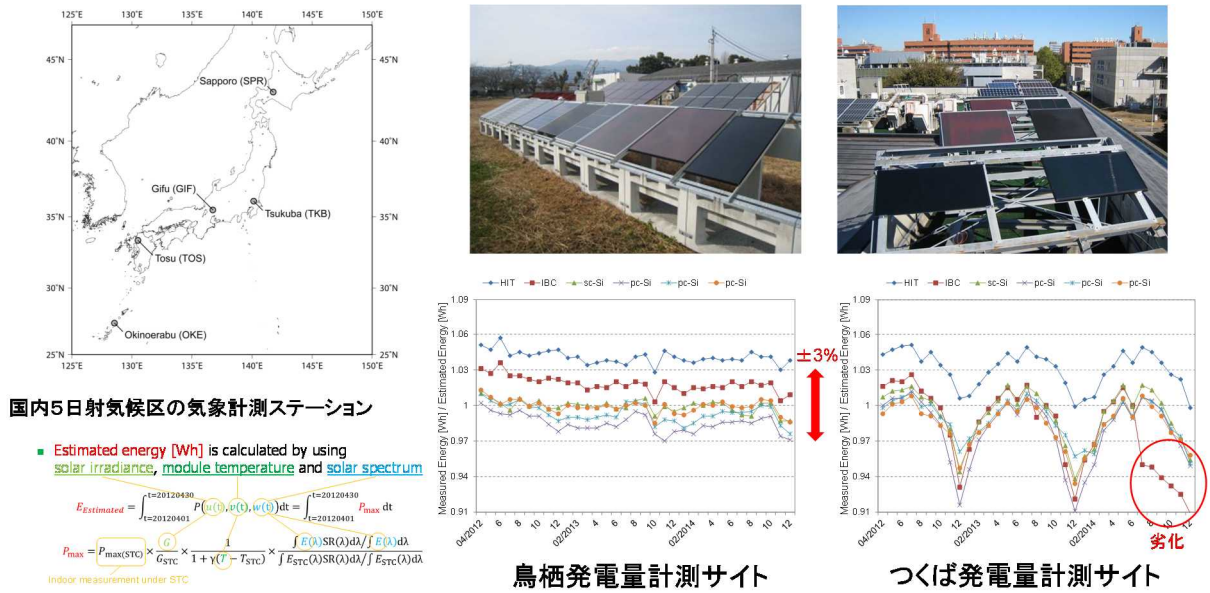


図６　発電量定格方式の研究開発

(ⅱ)日射スペクトルデータの全国整備に関する研究開発(JWA)

・日射スペクトルデータベースの構築

公開用日射スペクトルデータベースについて利用者を対象としたヒアリングを実施し、公開用の日射スペクトルデータベースを作成した。データベースについては、Web 上で視覚的に閲覧できるような「表示ソフト」も作成し、NEDO のホームページで公開した。「表示ソフト」の画面の一例を図７に示す。

・日射スペクトル推定モデルの開発

公開用の日射スペクトルデータベースに収録されたデータを用いて、日射強度から日射スペクトルを推定する統計モデルを開発した。推定値と観測値の比較例を図８に示す。

・日射スペクトルデータの全国整備

開発した推定モデルを用いて、日射量を観測している 48 地点の気象官署について、2012～2013年の日射スペクトルの毎時の推定値を整備した。整備地点及び推定結果の一例を図９に示す。

図７　公開用日射スペクトルデータベースの地点選択画面及び日射スペクトルの表示画面例

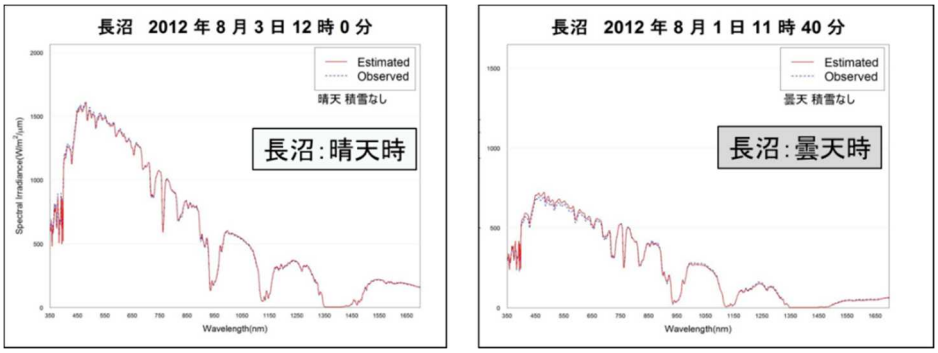


図８　日射スペクトルの推定値と観測値の比較例

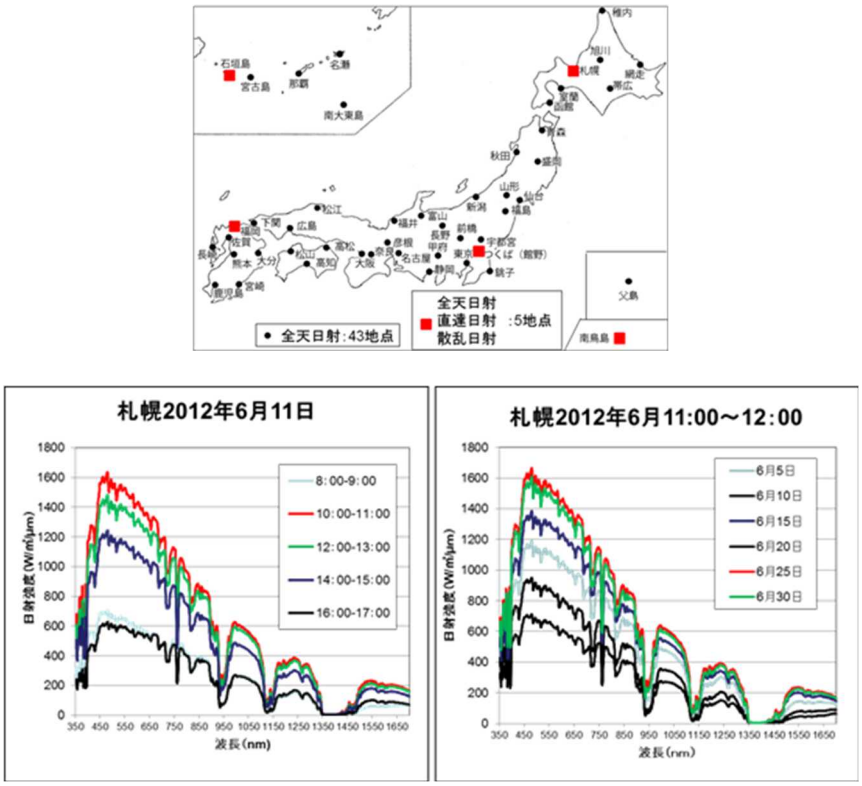


図９　（上図）日射スペクトルの推定値を整備した地点。（下図）推定値と観測値の比較例。

(iii)有機系太陽電池実用化先導技術開発(AIST)

2014 年 3 月に、4 社の色素増感太陽電池を導入し、2014 年 11 月に 1 社の色素増感太陽電池、2014 年 12 月に 1 社の有機薄膜太陽電池を導入した。南向き 30° という厳しい屋外条件では、導入した色素増感太陽電池の多くは、数ヶ月程度の屋外曝露でも封止に不具合が発生し、発電量が大きく低下することが判明し、封止技術の改善が必要であることが明らかになった。有機薄膜太陽電池は、2014 年 12 月からの短期の曝露では大きく劣化せず、安定した発電量を示し、その照度依存性について調査を行なった。

b. 発電量予測技術
当該研究と参画機関の関係図を図１０に示す。

図１０　本プロジェクトにおける発電量予測技術研究

(ⅰ)分散・広域発電量推定技術の研究開発（AIST）
PV システムの発電予測における、分散発電量予測及び広域発電量予測モデルについて機械学習モデルをベースに高精度化を行った（図１１）。また、広域予測に関しては、４つの手法を提案し電力会社の運用を想定したケーススタディを行った。全数計測ケースと比較して、サンプリング手法、全量把握ケース、日射予測からの推定ケースについても RMES において 0.05kW/m2 以下に抑えることができた。また、区間予測として過去１年の予測誤差から推定するノンパラメトリック手法と過去６０日のデータから分布推定するパラメトリック手法の開発を行った。また、東大と共同して、予測技術評価のためのモデル・手法の開発を行い、予測の効果試算を行った

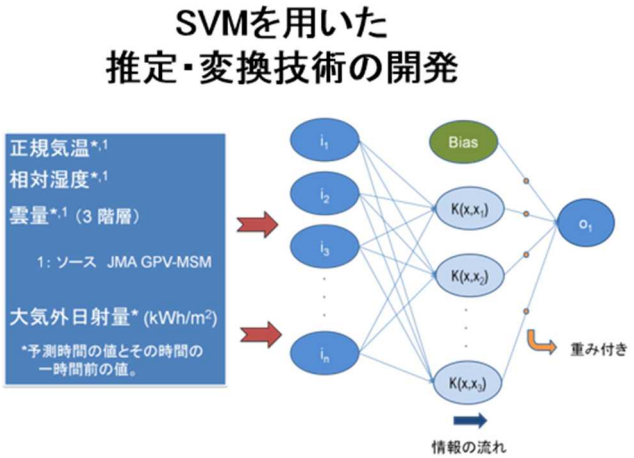


図１１　サポートベクターマシンによる日射量、発電量予測の概念図

（ⅱ）気象パラメータ予測技術の研究開発（AIST, MRI）

気象庁の各気象官署で観測された全天日射量データを用いて，気象庁メソモデル（MSM:水平解像度 5 km）およびの予測精度の検証を行った（図１２）。MSM の日射量予測誤差について季節，経年変動の特性を調査し，予測誤差のマッピングからその地域特性も調べた。現状の MSM では本州などの中緯度よりも低緯度（亜熱帯）での日射予測精度が比較的低下することが明らかになった。これらの分析結果をもとに、格子以下のスケールの雲量の改善として部分凝結スキームの改良を行った。改良後の通年の予測誤差評価の結果、従来モデルよりも約 5%の改善が見られた。

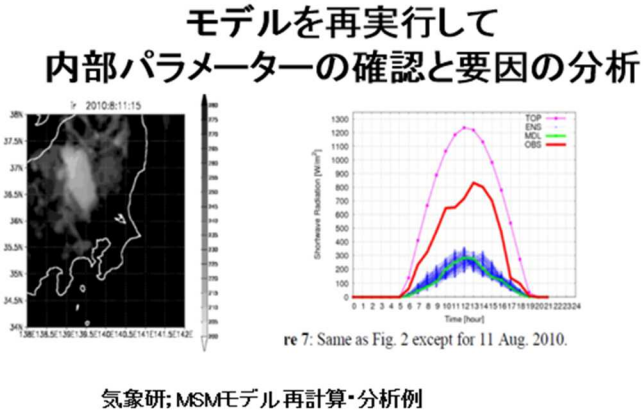


図１２　気象庁現業モデル（MSM）の分析例

（ⅲ）分散日射量予測技術の研究開発（GU）

PV システムの発電予測における、分散日射量予測について局地気象予報モデルをベースに高精度化および有益な付加情報の提供を行った。高精度化では気象モデルから出力される複数の気象要素を主成分分析およびカルマンフィルターで補正した（図１３a）．これにより中部地方 61 地点（図９b）での当日日射強度予測では、RMSE で 76W/m2，相関値 0.96 に改善された．また区間予測としてアンサンブル日射強度予測技術を開発した（図１３c 及び d）．そして、予測誤差出現頻度 90%でのアンサンブル予測結果対してその再現確率が 89%と，設定する誤差出現頻度と再現確率がほぼ同様になるなどの妥当な結果を得た．その他，直達・散乱日射それぞれのスペクトル強度を提供する技術開発や直達日射強度変動の特性解析を行った．

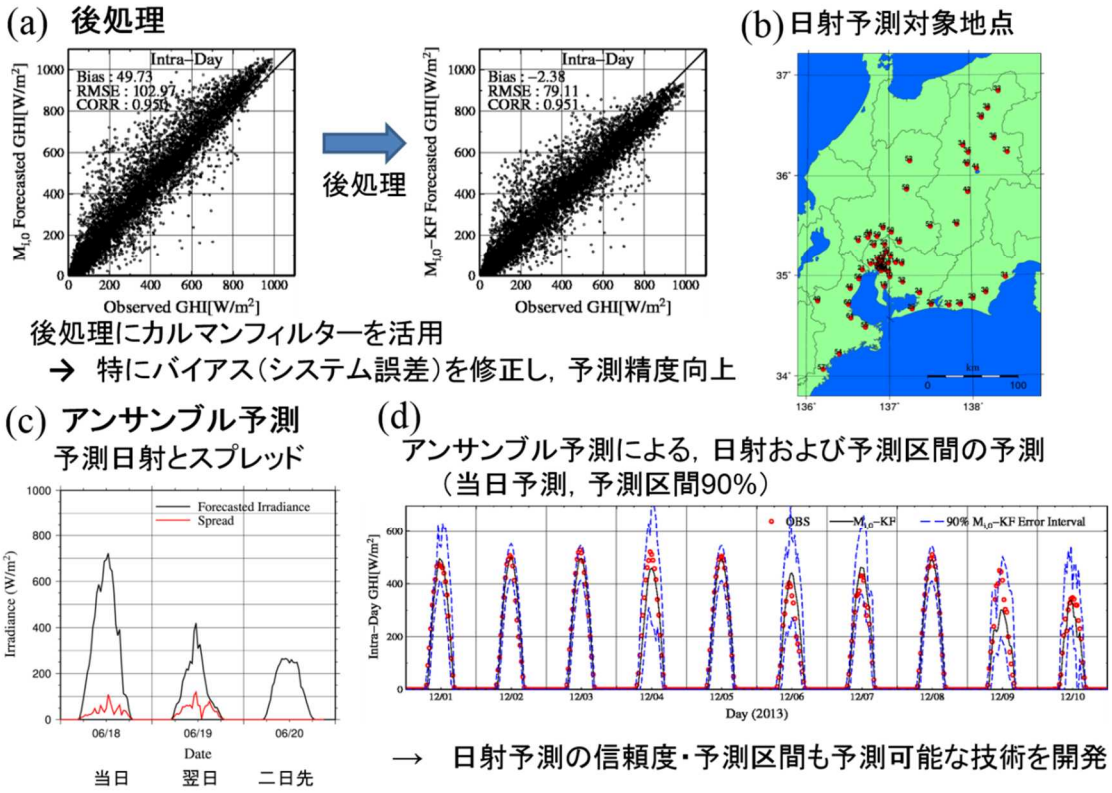


図１３　カルマンフィルタを用いた局地気象予報の誤差低減とアンサンブル予報による信頼度情報

（iv）広域日射量予測技術の研究開発（JWA）

(1) 広域日射量予測モデル（SYNFOS-3D の改良）の開発

一般財団法人日本気象協会の独自開発し運用中である気象予測システム「SYNFOS-3D」をベースに、日射量予測の精度向上に特化したモデル改良を行った。

SYNFOS 改良版 Ver.1 では、WRF を最新バージョンに更新するとともに、物理過程オプションの変更、鉛直層数を 60 層に増加、放射計算頻度を 5 分毎に増加するなどの改良を行った。

さらに、SYNFOS 改良版 Ver.2 については、Ver.1 モデルについて部分凝結スキームを導入するとともに、出力データを 30 分値化する改良を行った。結果として、最終的に開発した改良版 Ver.2 は、運用版（ベースモデル）と比べて 20%程度もの大幅な精度向上を実現できた(図１４)。また、異なる期間においても同等の精度が得られることが確認され、開発したモデルが実運用に利用可能であることを確認した。

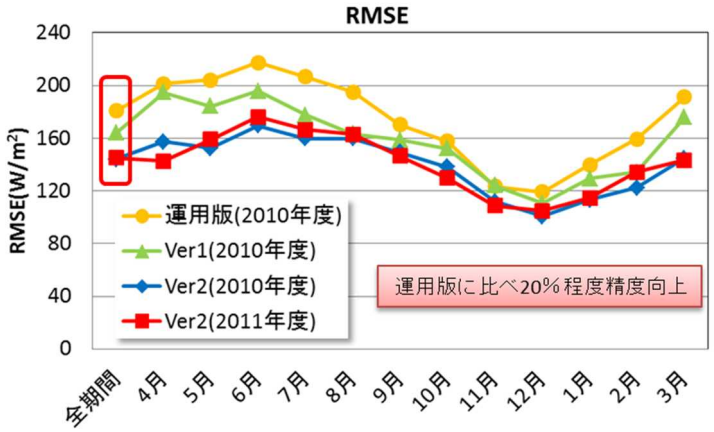


図１４　運用版、Ver.1、Ver.2 の日射量予測精度　（RMSE）

開発した広域日射量予測データを検証する目的として、気象衛星の観測データを基にした衛星推定日射量を１kmメッシュ単位のデータセットとして整備し、検証に用いた。

広域日射量予測値と衛星推定日射量を用いて、電力管内エリアや PV 導入地域を想定した面的な予測精度の検証を実施し（図１５左)、運用時を想定した精度を評価した（図１５右)。電力毎に面的精度が異なる理由として、エリア毎の日射量の多寡やエリアの広がりの違いによる予測誤差ならし効果の違い、地域的な気象特性と予測しやすさの関係などが影響としたものと推察する。また、電力管内全域と PV 導入想定地域での予測精度の差異についても、本分析により定量的に把握可能となった。

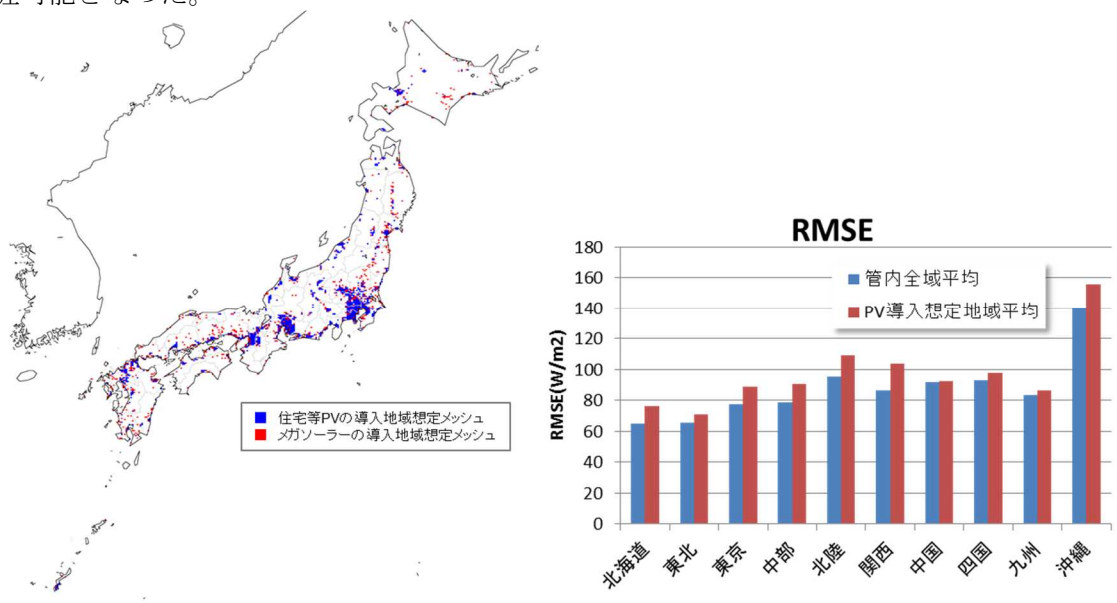


図１５　PV 導入地域の想定（左）と広域日射量予測の面的精度評価（RMSE）（右）

（ｖ）分散・広域発電量応用評価技術の研究開発（UT)

AIST にて開発された日射量、発電量予測技術（予測データ）を用いて PV 発電量予測技術評価のためのモデル・手法を開発した。PV 発電量予測技術の適用先である電力システムに同予測技術が与える影響を経済性、信頼性の観点から評価が可能な実系統に基づくモデル（ユニットコミットメント&ディスパッチシミュレーション）を開発した。また、実際に開発された PV 発電量予測データを用いて、再生可能エネルギーが大量導入されると想定される 2030 年を想定した電力システムを模擬し、その影響を分析した。その結果、予測技術が開発・改良されることで、電力システム運用における総発電コストの低下、供給安定性の向上へ大きく寄与していることが確認された（図１６)。

なお、本事業で開発された、電力システムに同予測技術が与える影響を経済性、信頼性の観点から評価するための「ユニットコミットメント&ディスパッチシミュレーション(UC+Sim)モデル」は、電力需給を計画、運営する将来の送電会社、バランシンググループにおける設備計画、運用の計画と制御の基本技術であり、予測技術とその誤差を含めた計画、運用ができる基本技術の開発が行われたことを意味する。

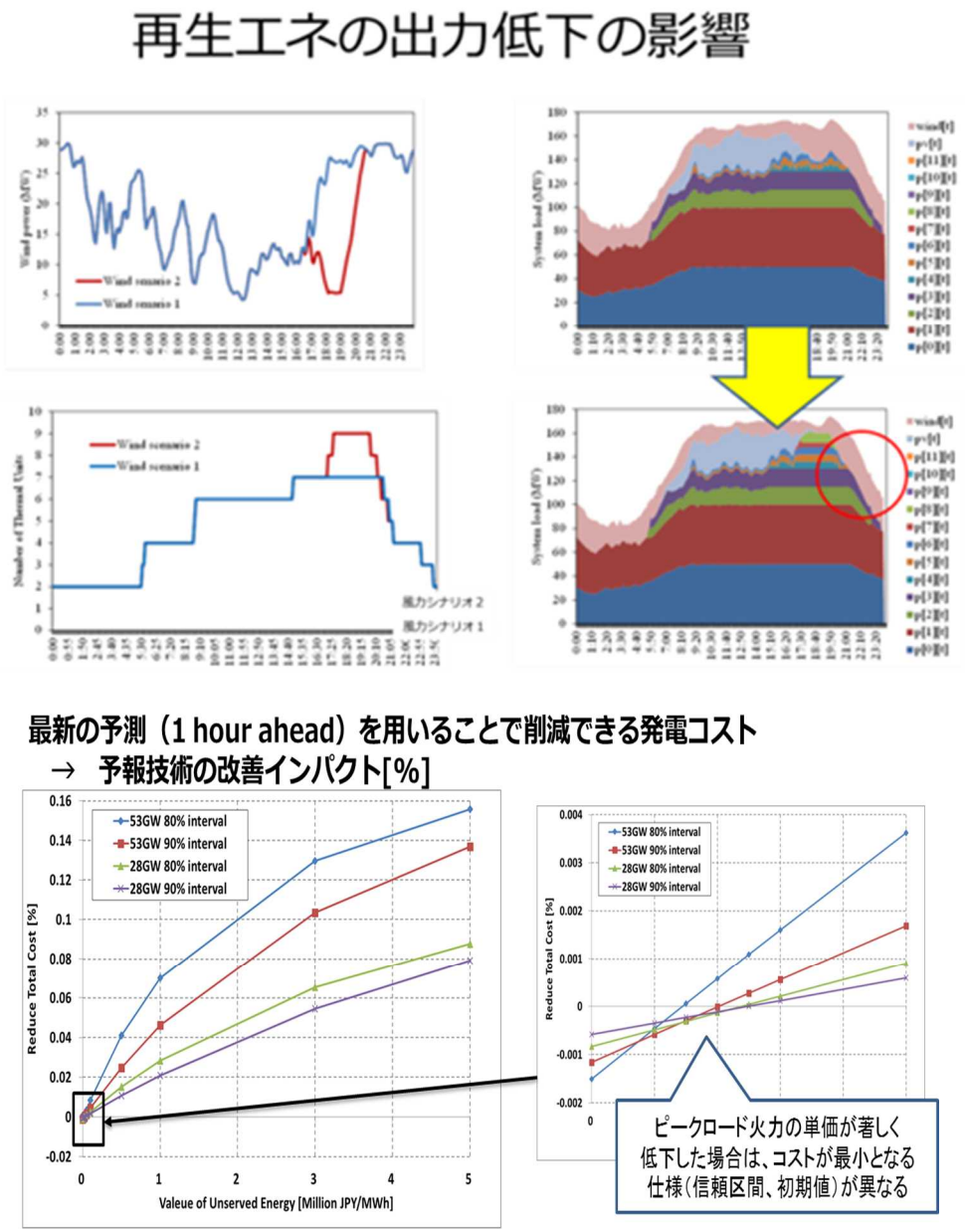


図１６　当日の日射量予測の大外れの影響評価

Ⅱ）信頼性評価技術と長寿命化技術の開発

①モジュール・機器耐久性評価技術

a. 高信頼性モジュールの認証試験技術（PVTEC（JET））

「①暴露試験」、「②国内外の太陽光発電システム調査」、「③文献調査」、「④不良要素付加モジュール」「⑤高負荷試験」、「⑥中古モジュールに対する試験」、「⑦塩水噴霧試験」、「⑧明暗冷サイクル試験」、「⑨バイパスダイオードの高温環境下における逆バイアス電圧試験」、「⑩ベアセルの耐環境性能試験」、「⑪バイパスダイオード接続部の信頼性検証」「⑫出力コネクタの信頼性検討」といった検討を行った。この結果、従前モジュールの劣化は、気象（日射・気温・湿度）要因が支配的と考えてきたが、必ずしも、気象要因で決定（発生）しない。先の気象（環境）要因以外の要因として、モジュールの設計・製造要因、モジュール部材要因が示される結果を得た（図１７、表１）。つまり、モジュールの劣化要因は、気象（環境）要因とともに、設計・製造要因、部材要因の単独、組合せによるものと考えるに至り、最終目標を達成した。

図１７　国内太陽光発電システム調査結果

表１　モジュール劣化要因新分類による集計結果

劣化事象	劣化要因		
外観状態	環境	部材	製造
界面、封止材	○	○	○
バックシート	--	--	○
導電部	--	--	○

b. 新規信頼性試験方法の開発（AIST、PVTEC）

（ｉ）新加速試験技術の研究開発

（ａ）単セル・モジュール、４セル・モジュール、フルサイズ・モジュールにて、逆バイアス定電流試験あるいは電流・電圧サイクリック試験を実施し、屋外で見られるバックシートの焦げやセルーEVA 間での気泡といった不具合を再現できることを確認した。不具合については、試験中及び試験後の測定結果によって、以下の２種に分類された。

・故障レベル１：ΔI、ΔT の急激な上昇（ΔI≧2.0A／分、ΔT≧90℃／分）。外観異常有り（焦げ、膨れ、剥離）。IV 劣化無し。

・故障レベル２：破壊レベル１に加え、暗 I-V（第２象限）に明確な変化がある。

新規加速試験法として、4 点の機械式曲げ荷重方式の試験を実施した結果，本試験方式でインターコネクタの破断を良く再現できることを確認した。モジュールに組込んだ形でインターコネクタの評価を行うことで、材料選定のための評価試験方法として活用できる可能性を示すことが出来たと同時に、モジュール作製時のセル間隔が 1 mm であるとインターコネクタの破断が顕著であるため、セル間隔は2 mm 以上が望ましいことも分かった（図１８及び１９）。

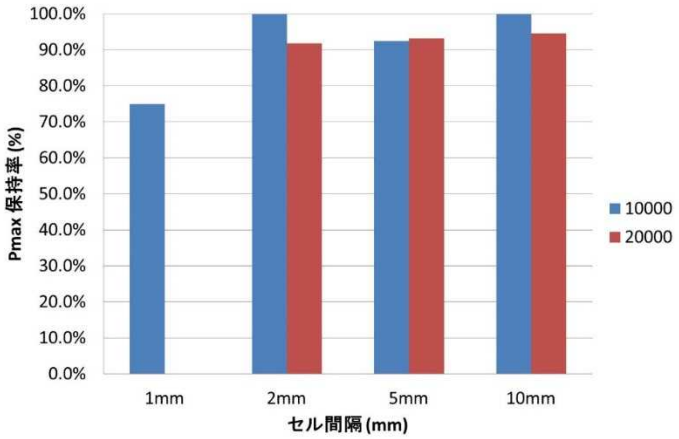


図１８　セル間隔を変更したモジュールでの P_{max} 保持率
（1mm は低下が大きいため、１万回で終了）

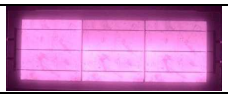
セル間隔 (試験回数)	1 mm (10000 回)	2 mm (20000 回)	5 mm (20000 回)	10 mm (20000 回)
EL				

図１９ セル間隔を変更したモジュールでの試験後の EL 像

（ｂ）新規加速試験法として、光照射(Xe-UV or 白色 LED)と他因子（DH）の組合せ試験を実施し，Xe-UV 照射と DH の交互試験では計 4000h で Pmax は約 70%低下し，白色 LED 照射と DH の交互試験では計 4000h で Pmax は約 35%低下した。特に EL 画像の明暗パターンおよびモジュール内の残留酢酸濃度については長期の実曝露品との相似も確認された（図２０）。以上の結果から、本 UV・湿熱の複合加速試験により、モジュール発電特性への UV 照射の影響が実証されたと共に、モジュール長期信頼性加速試験には UV 照射を含んだ複合試験の重要性が示唆された。

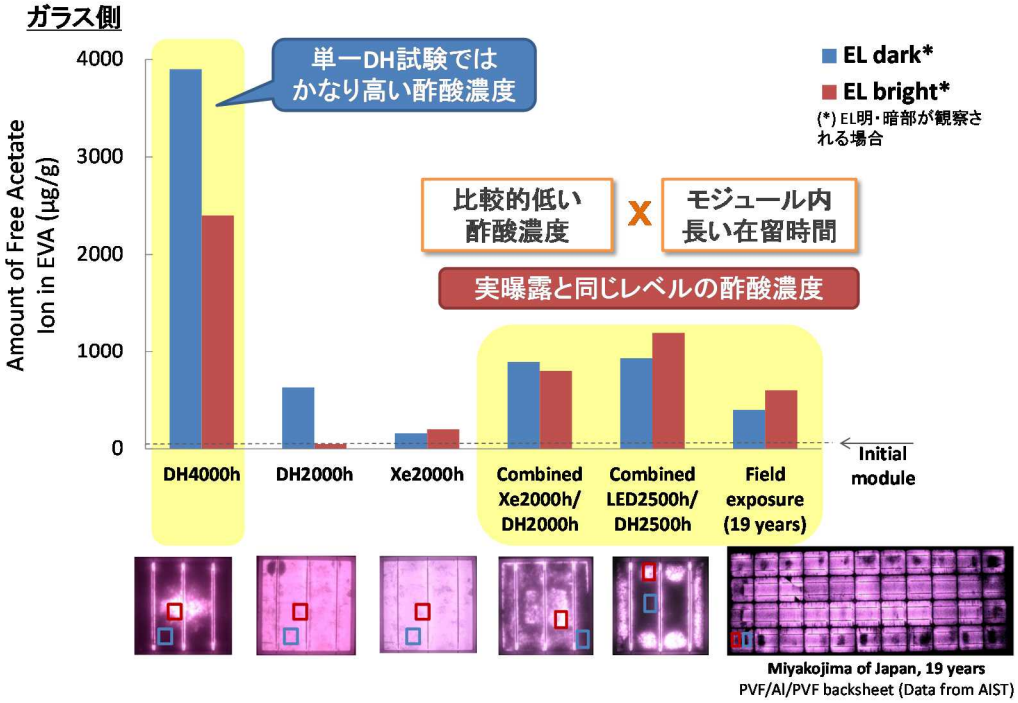


図２０　各種試験・実曝モジュールにおける EVA 中の残留酢酸濃度の比較

（ｃ）順方向・逆方向電圧電流サイクリック試験では，フルサイズモジュールでの試験を複数の型式（異なる製造者）でそれぞれ複数枚実施し，屋外で見られるバックシートの焦げやセル－EVA 間での気泡といった不具合を再現できることを確認した。電圧誘起劣化（PID）現象の解明のために、PID の促進と抑制の可能性を検討した。Na の電荷状態が PID 現象の発生や抑制に大きく関わっていることを示唆する結果や PID 試験の前に逆電圧を印加することで、PID の抑制が可能となることを初めて明らかにした（図２１）。

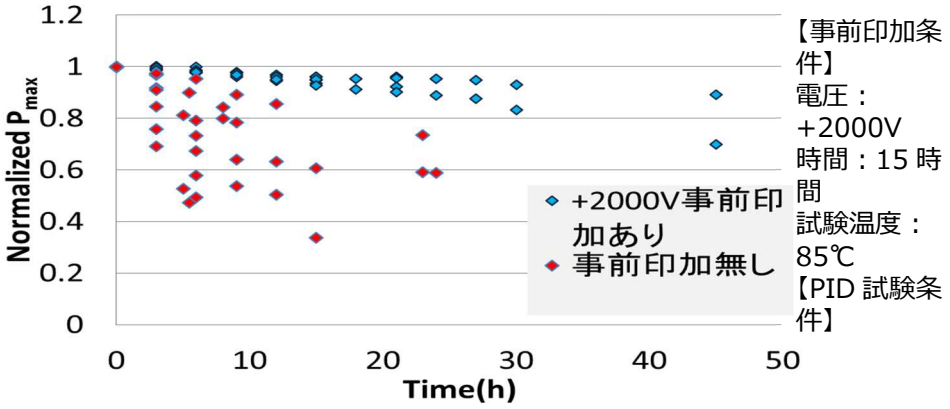


図２１　事前に+2000V 印加有りおよび無しモジュールの P_{max} 低下率の試験時間依存性

（ⅱ） モジュール内水蒸気浸入経路調査方法の研究開発

カルシウムをモジュール内に封止することで、カルシウムの反射率変化からモジュール内への水分浸入経路を明確化するとともに、浸入水分量を定量的に評価する技術を確立した。この技術を用いることにより、結晶シリコン系太陽電池モジュールにおいて、高温高湿試験時の劣化の状況を検証した。図２２に示すように、モジュールの劣化は必ずしもバックシートの水蒸気透過率に依存しないことが明らかとなった。さらに、各種バックシートを用いたモジュールにおいて、水蒸気と封止材の反応で生成する酢酸のモジュール内滞留量を測定したところ、劣化を支配しているのは水蒸気浸入量ではなく、酢酸のモジュール内滞留量であることが明確になった。このことより、モジュール内に酢酸を滞留させないことが重要との部材の設計指針を提示した。

さらに、有機系太陽電池モジュールの設計には、封止材そのものからの脱ガスを考慮することも重要との指針を明示した。

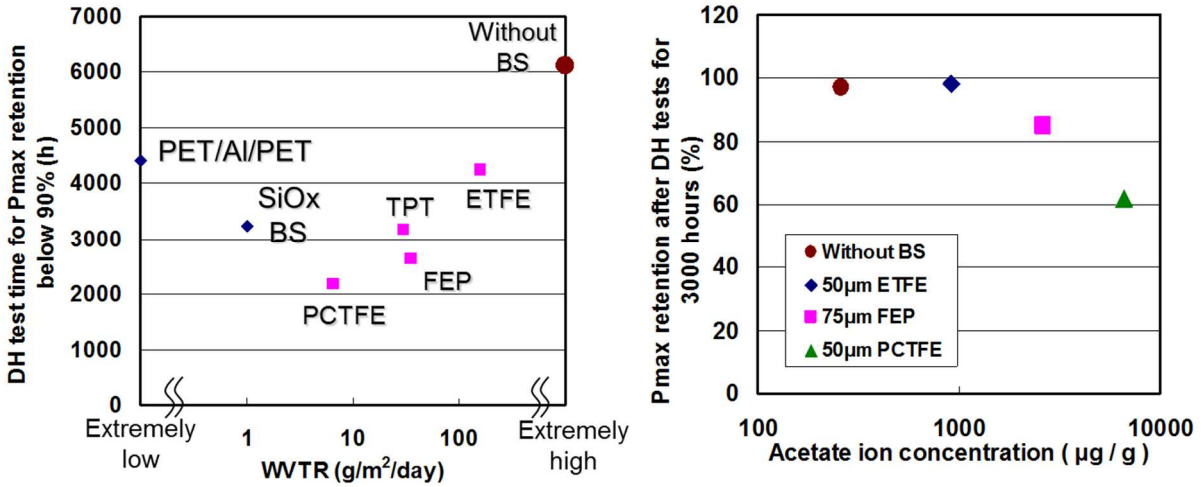


図２２（左図）最大出力が初期値の 90%となる高温高湿試験時間とバックシートの水蒸気透過率の関係。（右図）高温高湿試験 3000 時間後の最大出力とモジュール内酢酸イオン滞留量の関係。

②システム点検技術

a. オンサイト発電性能点検技術

システム点検技術に関して、日射量等のデータを利用した場合のオンサイト発電性能点検技術として、線形内挿法の適用について検討を行った。屋内モジュールＩＶデータを利用したケースおよび、実アレイＩＶカーブを利用したケースについて検討を行った。屋外アレイＩＶカーブをベースにしたケースとして、ＩＶカーブを２～３週間計測し、線形内挿法に利用する基準ＩＶカーブの選択を行った。その結果、住宅モニタリングサイト８サイト分の評価を行い、モニタリ

ングシステムによる性能評価との比較において±10%により推定できることを示した。

b. 発電データ分析技術（PVTEC(JET)）

継続的に住宅用太陽光発電システムの実運転データを計測・収集し（図２３）、長期的な実運転性能データベースを構築した。

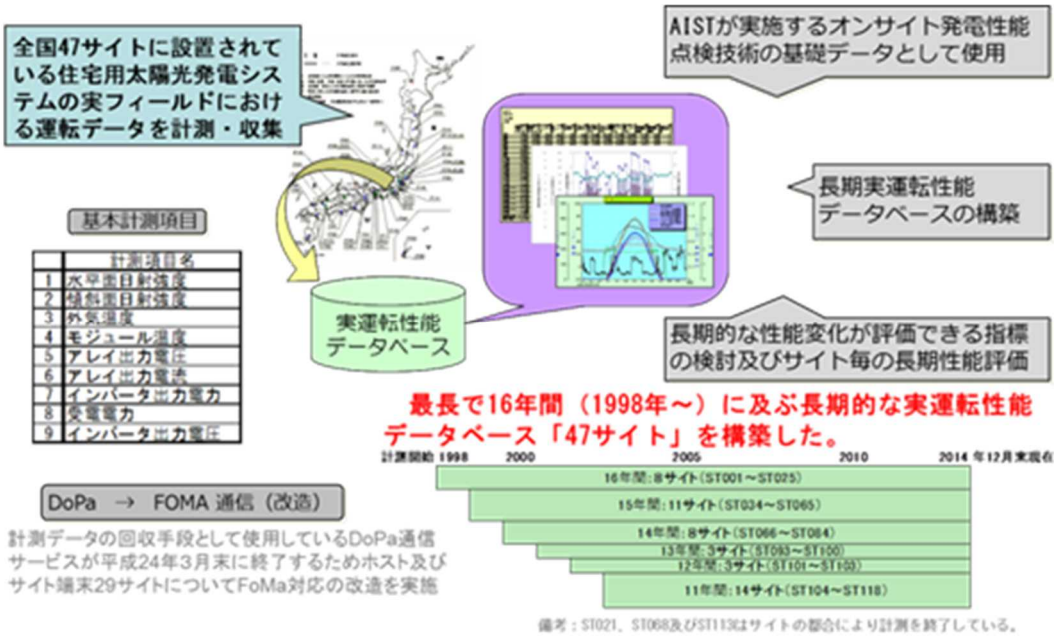


図２３　住宅用 PV システムの詳細計測（イメージ）

計測開始からサイト毎にＳＶ法による要因分析等を実施した。その結果、ＰＲでは、既にモジュール交換して改善されている６サイトを除き、年低下率が１％を超える７サイト及び 0.5～１％の９サイトの中から現地調査を実施した（図２４）。それ以外の 22 サイトは 0.5%以下と良好な運転状況であることが確認された。

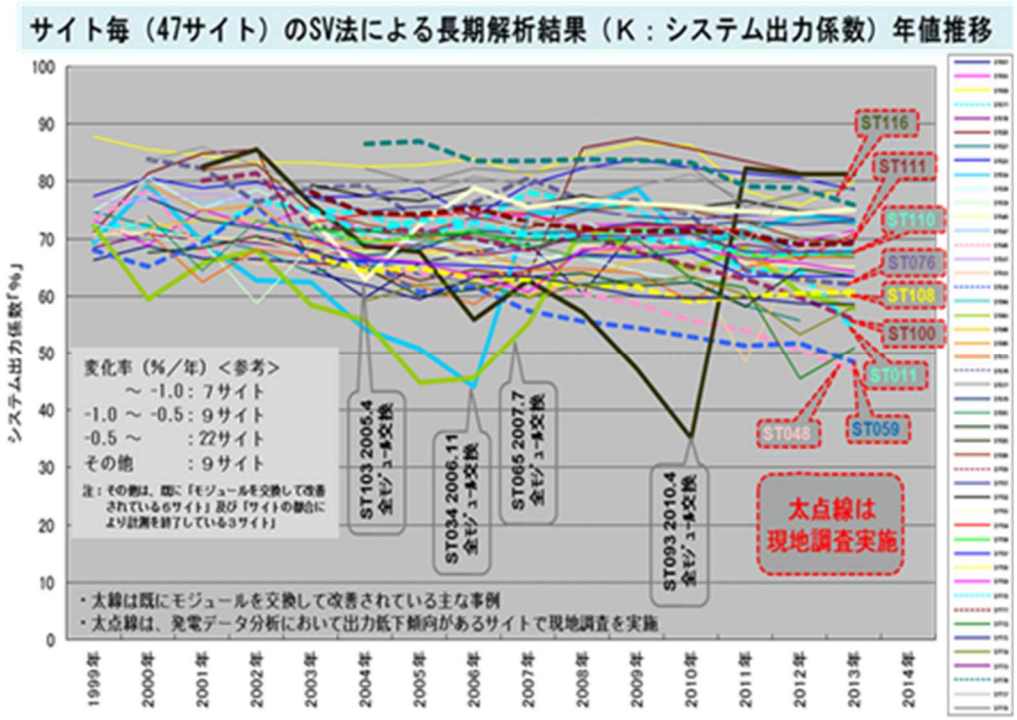


図２４　発電データ分析（システム出力係数年値推移）

また、実運転性能データベースから、全 47 サイトの SV 法による解析結果「システム出力係数及び各損失因子の月別推移」をサイト情報等と共にデータ集としてまとめた。発電データ分析において出力低下傾向があるサイトは、分析結果と実際のシステムに起きている不具合や実態の関係を確認するために現地調査（９サイト）を実施し、検出可能な不具合項目との関係について明確にした（図２５）。

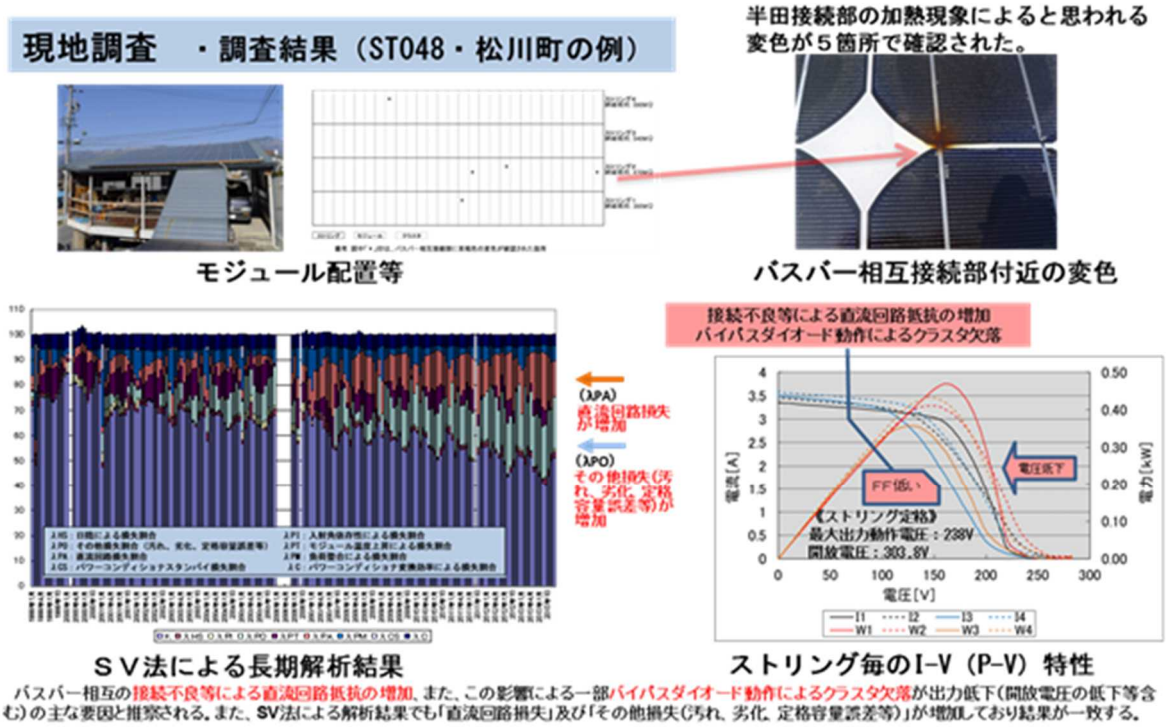


図２５　現地調査（ST048 松川町の解析例）

③リユースモジュール健全性試験技術

リユースモジュールの取引に必要な最低現の要求として、IEC 規格を参考にしながら、「①絶縁性能」 、「②外観状態」、「③出力測定値」、「④出力階級」、「⑤バイパスダイオードの健全性」の５つの項目を、提示することを提案することとし、ガイドライン案の策定に必要なデータをまとめた。この結果を取り纏め、ガイドライン(素案)を作成した。

Ⅲ）次世代太陽光発電システムに向けた基盤技術開発の調査(PVTEC)

世界的な規模で PV システムの普及拡大が極めて大きな潮流になってきている。欧州のフィードインタリフ（FIT）の導入が契機となり、日本でも 2012 年 7 月から固定価格買取法（日本版 FIT）が導入され、本格的に普及が始まった。しかし、この急激な拡大はたかだかここ数年のものである。FIT で前提としている 10 年～20 年以上稼働している PV システムの安定運転に関するデータはまだ十分蓄積されていない。

PV システムの信頼性・寿命は今後の普及に重要なキーとなる。普及拡大の最大の要因となる電力単価そのものが、モジュール、システムを含めた初期コストとともに、モジュール、システムが稼働できる期間（寿命）に大きく依存する。寿命が長いほど、それに反比例して電力単価は低減される。

この PV システムの長期信頼性・寿命に関する課題について、システムの構成要素であるモジュール、及び、周辺機器（PC/BOS）を含めた調査研究はこれまであまりなされていない。さらにこのような高信頼・長寿命の PV システムを社会的に普及・定着させていく社会システムとの関連を含めた調査研究については、これまでほとんど議論されていない。

平成 21 年度に太陽光発電技術研究組合（PVTEC）の自主事業として組合内部の戦略企画部会でモジュールメーカのメンバーを中心に 1 年間を通して討議した「超長寿命 PV システムの研究」での調査によると、BOS 等の周辺機器をふくめた PV システム全体の信頼性・長寿命、又、より長

期的立場で社会システムから見た視点からの検討も行うべきで、組合内部の他に、広く組合外の有識者を加えて議論する場が必要との意見が出された。
このような背景の中で、PVTEC では NEDO の委託を受け、太陽光発電システム（PV システム）の高信頼・長寿命化を目指し、平成 22 年 11 月に高信頼・長寿命 PV システム総合調査委員会（以下、本委員会という）を発足させた。本委員会は、PV の事業を進めている日本の主要な企業、公的研究機関や大学において、PV の信頼性にたずさわる専門家で構成し、それぞれが持つ有益な情報を共有して、PV モジュールやシステムの信頼性・長寿命化に関わる開発指針を提供し、今後の研究開発の指針とすることを目標とする。具体的には NEDO の調査研究として受託を受け、本委員会の下に 3 つの分科会を設置し（図２６）、下表に示す成果を得た。

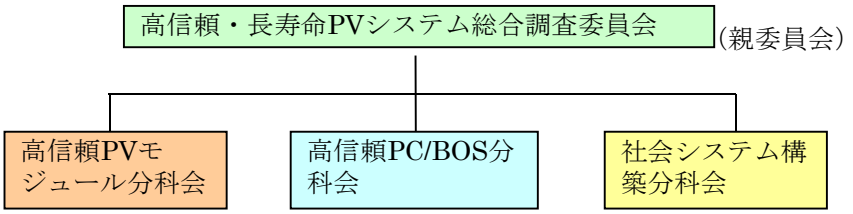


図２６　委員会・分科会組織図

表２　分科会ごとの成果まとめ

	目標 （各分科会ごとに具体化）	成果
PV モジュール	・曝露サイトモジュールの劣化に関する調査結果を取りまとめ、主たる劣化要因を特定する。 ・寿命を定義するとともに、製造プロセル上の信頼性関連技術の課題をまとめる。	・国内で実施しているPVモジュールの曝露試験について調査し、劣化要因の分類を行った。劣化要因は一様でないことが分かった。未だ長くて20年程度の期間であり、現時点では顕著な差が認められていない場合が多い。今後、継続して行なっていく必要がある。 ・用いられるいくつかの寿命・信頼性の用語の定義の考え方について明らかにし、今後、ユーザの立場から見るモジュール・システムの使用可能期間を示す安全寿命、さらに設計寿命の考え方が重要であることを提言した。
PC／BOS	・小型パワーコンディショナーに特化し、PVモジュールに合わせた寿命(20年)を実現するための課題抽出を行う。	・住宅用小型PCSの信頼性・寿命について、関係企業等へのヒヤリングを実施した。その結果、PCSでは摩耗故障は少なく、施工上の問題や系統側抑制による停止状態のケースが多いということが分かった。 ・PCSの設計では故障を示すエラーコードの統一化が必要であること、又、将来のPCSのあるべき姿は、HEMSやBEMSなど、統一規格・標準化が必要であることを提言した。さらに、災害時の非常用電源として活用するための提言をまとめた。
社会システム	・NEDOのPV2030+を実現するための障害要因(社会インフラ、法規制、商習慣など)を洗い出す。	・安全性・信頼性に関わる課題については、ユーザ満足度に関わる課題を整理した。 ・系統連系と信頼性に関わる課題では広域発電システムでの平準化効果や気象データを活用した出力予測、全体系統システムとの関連で発生するバンク逆潮流などの技術課題について調査し、解決の方向を提言した。 ・大量導入に伴って発生する使用済みモジュールや素材別廃棄量を試算しリサイクル・リユースにおける課題を提起した。社会インフラや国民生活に負担をかけない自立性のある分散型エネルギーシステムについても提言した。

2.実用化・事業化の見通し

Ⅰ）発電量評価技術の開発
①　太陽電池性能評価・校正技術（AIST）
a.太陽電池性能評価技術、b. 基準太陽電池校正技術
　JIS 規格・IEC 規格等の標準化に技術的に貢献するために，国内・アジア地域内および欧米との比較測定・技術協力等による評価技術普及と整合性確保が重要である。現在規格審議，国際比較測定等進行中であり，実用化の可能性が高い。一次校正方法をソーラシミュレータ法から省エネ・低コスト化手法として開発している絶対分光感度法に転換するため，その不確かさの推定と国際比較による整合性確保が課題である。

②発電量推定と予測技術
a. 発電量定格技術
（ⅰ）発電量定格方式の開発(AIST)
ＪＩＳ，ＩＥＣ規格（61853 等）への標準化による実用化が重要である。審議中の規格に本研究の結果を提案することによる実用化の可能性は高い。

（ⅱ）日射スペクトルデータの全国整備に関する研究開発(JWA)
5 地点の観測データを収集したデータベースは貴重ではあるが、それだけでは事業化の目途は立たない。現行の MONSOLA や METPV の構築で育まれたノウハウを発展させ、大量導入後の PV 事業者向けの日射量データベースの事業化を目指す。事業化については、現在、実施中の NEDO 事業「太陽光発電システムの高精度発電量評価技術の開発」の中で具体化していく予定である。

(ⅲ)有機系太陽電池実用化先導技術開発(AIST)
　各種有機系太陽電池の屋外発電量評価の系統的な評価により、特に色素増感太陽電池の封止技術が主たる改善点であることが明らかになった。改善された有機系太陽電池の屋外実証試験を行なうことにより、高信頼性の有機系太陽電池の実用化が期待される。

a.　発電量予測技術
　気象パラメータ予測技術を改良・開発した放射過程モデルを気象庁モデルへの実装により実用化する。分散日射量予測技術は、スマートコミュニティや各戸レベルにピンポイント予測情報の提供が可能となる。また、日射強度のほか，直達・散乱日射スペクトル強度などの付加情報の提供が可能となる。広域日射量予測は、電力会社やスマートコミュニティなどへの広域予測への情報ができ、ＪＷＡの現状のシステムへの実装により事業化が可能となる。発電推定・変換技術は、エネルギーマネージメントを行うアグリゲータが各シーンで利用されることで，技術移転の形で実用化が期待できる。また電力システム解析評価モデルは、再生可能エネルギーの橙導入を含めた長期の電力需給計画を支えるモデルとなる。設備台帳、設備管理、故障管理、発電量把握などのとの統合により、電力会社、コミュニティ、個別需要家、事業者などが利用可能な社会インフラとして、太陽光発電システムの価値向上の実現することで実用化となる。
・分散日射量予測技術の研究開発
当該研究成果を実用化する共同研究を電力事業者と実施している．先方は共同研究期間（平成 27 年度）終了後に実用化を検討している。
・広域日射量予測技術の研究開発
予測モデルの実運用を開始し、電力会社等への予測情報提供について一部開始している。今後は、電力システム改革や自由化等各ユーザーのニーズを踏まえながら、情報内容の検討や予測精度の向上を図りつつ、事業展開を行っていく予定。
・分散・広域発電量応用評価技術の研究開発
予測技術評価ツールとしては、現在実施中の「電力系統出力変動対応技術研究開発事業　研究開発項目（Ⅰ）　風力発電予測･制御高度化(2014-2016,2017-2018)」における風力発電出力予測技術評価に使用されている。また、需給計画、制御ツールとしては、、「次世代双方向通信出力制御緊急実証事業(2015, 以後も継続予定)」における抑制量決定を含む前日から当日の需給シミュレーションの基礎技術として活用予定である。将来の送電会社、事業会社の実業における利用に

向けては、現在、技術に対する照会などに対応しており、今後の導入を目指す。

Ⅱ）信頼性評価技術と長寿命化技術の開発
①モジュール・機器耐久性評価技術
a.高信頼性モジュールの認証試験技術(PVTEC)
本研究の実用化・事業化は、本研究で開発した試験方法が、業界標準となった場合と考えるが、この標準の策定には、研究以外に多くの手続きがある。そこで、本研究の実用化・事業化は、業界への標準案の提出と定義する。当該、寿命評価試験方法開発には、4 つのステップ（劣化事象の収集「劣化要因と示唆する要因の抽出」、劣化要因の推定、特定、再現）での達成を目指している。これら作業は、決して短時間で成せることではない。これら状況を踏まえ、2019 年度末までに、劣化要因の再現方法を組み込んだ標準案の作成、2020 年に業界への標準案の提案を目指す。

b.新規信頼性試験方法の開発(AIST, PVTEC)
本研究により得られた、サイクリック試験、機械式曲げ加重試験、光熱複合加速試験に関する知見、およびモジュール内への水蒸気浸入経路の明確化、水蒸気浸入量の定量化、さらには、モジュールの劣化を抑制するためのバックシートや封止材の設計指針が得られた。これらの成果を適用することにより、現行では屋外環境で 20 年程度の寿命であるヘテロ接合結晶系や薄膜系等の新型太陽電池の寿命を 30 年以上に伸ばすことができる。さらには、屋外環境で 10 年以上の寿命を有する有機系太陽電池を実用化できる。

②システム点検技術(AIST, PVTEC)
プロジェクト終了後にガイドラインとして公開し、オンサイト点検技術とて広く利用される。故障の早期発見が可能となる。また、健全な普及が進むことで、本来の PV システム導入に役立つ。
③リユースモジュール健全性試験技術(PVTEC)
本研究の実用化・事業化は、本研究で開発した試験方法が、業界標準となった場合と考えるが、この標準の策定には、研究以外に多くの手続きがある。そこで、本研究の実用化・事業化は、業界への標準案の提出と定義する。現行では一部のモジュール再販業者の責任によって、リユースモジュール（中古モジュールの再販）が実施されている。これを、ガイドラインを示して一定なレベルでの統一を図り、設置者に不利益を与えないビジネスとするものである。これによって、設置者に対し、より安全で、不利益のないモジュールの提供が可能となり、設置者の信頼度が向上し、リユースモジュール（中古モジュールの再販）をさらに発展させることが可能で、しいては、太陽光発電の発展・拡大に繋がるものと考えている。

Ⅲ）次世代太陽光発電システムに向けた基盤技術開発の調査(PVTEC)
本検討は PV システムの信頼性に・寿命に関する業界の普遍的な開発方針を提示できることを目標としている。従って、ここで提起された開発方針を NEDO 次期プロジェクトを始め、各関連業界の指針となることが最終的な事業化に結びつくと考える。

3. 波及効果

本事業では、下図に示す通り、共通技術の事業化および基盤整備、また国際標準化などを目的に技術開発を行っている。100GW の導入に向けた導入促進の面では、発電予測やリサイクルリユースなど基盤的に利用可能な技術開発により、系統連系や廃棄物処理等、将来的に導入を阻害する障壁を取り除く効果があり、導入促進策と相まって導入量拡大の波及効果が期待できる。

また、デバイス・機器開発において、国際競争力強化を見据えた性能向上を目指すに当たり、科学的根拠に基づいた国際的に通用する各種性能評価指標が必要となる。本事業においては、ＩＥＣなど国際標準を出口とした発電性能や信頼性性能を評価する技術開発を行っている。これら評価技術の提供により、デバイス・機器開発に明確な目標や評価方法が提供され、国際競争力強化への波及効果が PV ライフサイクル全体で期待できる。

FIT 制度による太陽光発電大量導入が続く中、それぞれの技術のニーズは非常に高まっている。それぞれの技術は、電力会社、発電事業者、PPS を始めとする様々な事業者の今後のシステム改革の進展の中での新たなビジネスモデルの中の必須要素として事業化に向けた検討を進めている。このような状況の中で、共通の実用化、事業化に向けた戦略としては、電力システムにおける「広域」の出力予測については、現在システム改革の検討の進展の中で具体化しつつある電力市場運営プロセスのあわせ、対象としては風力発電出力予測、さらには需要予測との組み合わせ、予測スケジュールとしてはシステム改革による卸市場入札、信頼度チェックと負荷配分修正、当日の最終取引、最終取引後の送電会社による需給運用といった、長期から短期への対応が必要である。分散技術については、発電事業者、PPS、バランシンググループなど、様々なビジネスモデルに対応した、予測技術が必要となる。

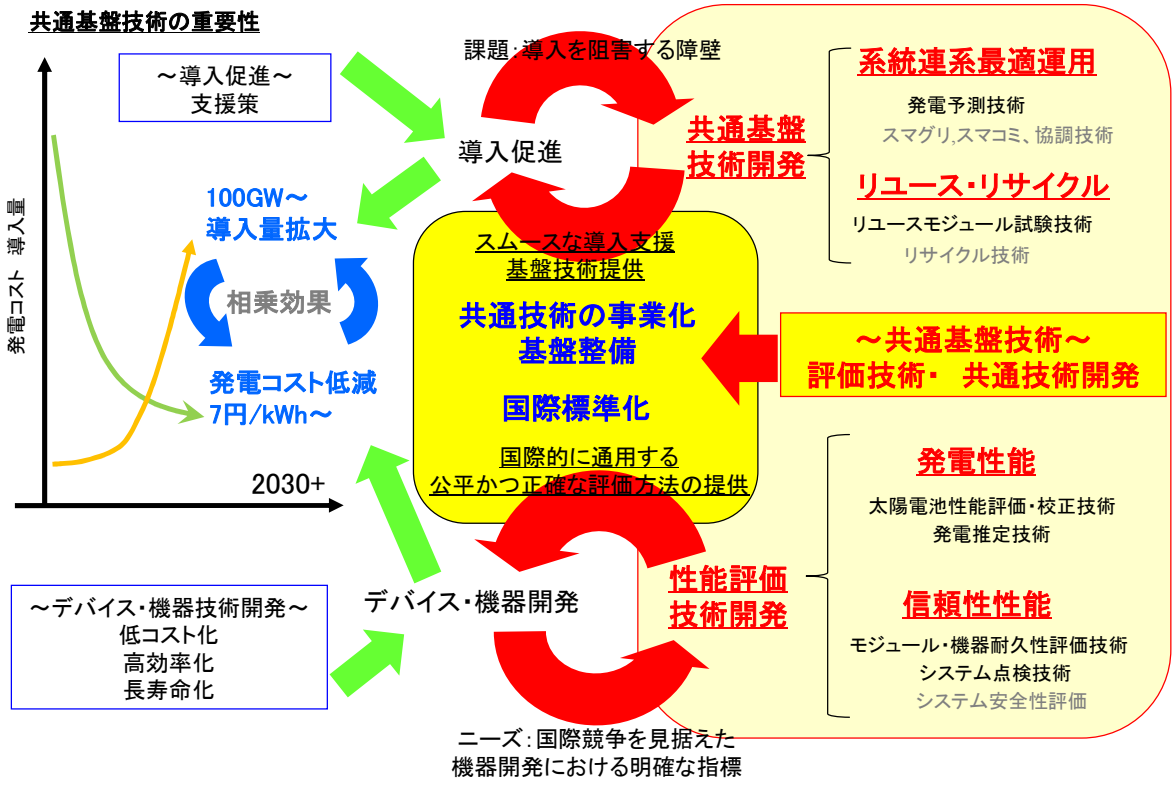


図　本事業の実用化、事業化、波及効果

図　本事業の成果普及

発電量予測技術に関して、FIT 制度による太陽光発電大量導入が続く中、それぞれの技術のニーズは非常に高まっている。それぞれの技術は、電力会社、発電事業者、PPS を始めとする様々な事業者の今後のシステム改革の進展の中での新たなビジネスモデルの中の必須要素として事業化に向けた検討を進めている。

このような状況の中で、共通の実用化、事業化に向けた戦略としては、電力システムにおける「広域」の出力予測については、現在システム改革の検討の進展の中で具体化しつつある電力市場運営プロセスのあわせ、対象としては風力発電出力予測、さらには需要予測との組み合わせ、予測スケジュールとしてはシステム改革による卸市場入札、信頼度チェックと負荷配分修正、当日の最終取引、最終取引後の送電会社による需給運用といった、長期から短期への対応が必要である。分散技術については、発電事業者、PPS、バランシンググループなど、様々なビジネスモデルに対応した、予測技術が必要となる。

・分散・広域発電量推定技術の研究開発

本研究成果の実用化に向けて、新電力事業者などと共同研究を実施し、社会への技術移転を進める。本事業の成果を事業者の手法に組み合わせることで、企業間の競争関係が高まり、さらに精度の良い、かつ安いプロダクトが開発され、市場活性化に貢献も期待出来ると考えられる。

・気象パラメータ予測技術の研究開発

事業者側にとって有効な予測データの公開を検討する。また、ユーザー側が使いやすいデータセットの配信の在り方も検討を要する。

・広域日射量予測技術の研究開発

太陽光発電の導入促進に寄与することを目的として、広域日射量予測技術を実用化し、電力会社等に対して精度の高い予測情報を提供する。

・分散・広域発電量応用評価技術の研究開発

本事業では、電力システムに同予測技術が与える影響を経済性、信頼性の観点から評価するための「ユニットコミットメント&ディスパッチシミュレーション(UC+Sim)モデル」を開発した。この UC+Sim モデルは、今後継続的に予測技術の評価に用いられるとともに、電力需給を計画、運営する将来の送電会社、バランシンググループにおける設備計画、運用の計画と制御の基本技術であり、予測技術とその誤差を含めた計画、運用ができる基本技術の開発が行われたことを意味する。UC+Sim モデルの事業化にむけた更なる開発戦略としては、「予測技術評価」の側面においては、今回行われた前日予測モデルを、より長い期間の週間予測から、より短い期間の当日、

一時間前予測、直前予測になどに対応できるように、また、風力発電予測、需要予測と組み合わせて実施可能にすることで、最終的な評価価値を大きく高めることができる。「設備計画、運用の計画と制御の基本技術」の側面においては、上記の開発戦略に加え、今後実証、導入が進むデマンドレスポンスや再生可能エネルギー発電の制御を含む各種の需給調整技術、新しい発電技術の取り扱を可能にすることが重要である。

4.今後の展開

Ⅰ）発電量評価技術の開発
①　太陽電池性能評価・校正技術（AIST）
新型太陽電池高精度評価のデータを収集・分析・規格化を通して評価手法を確立し、デバイス開発への貢献を行った。最近は太陽電池評価技術に関する以下の規格策定に NEDO 研究の成果が盛り込まれる等、継続的に技術的貢献を行っている。最新の高効率太陽電池の特性を集積して世界的に権威ある Progress in Photovoltaics の Efficiency Table の太陽電池特性の１／４程度は本プロジェクトの成果を反映した測定技術で産総研において測定したものである。開発した評価技術を屋外設置モジュールの高精度評価、性能評価の低コスト化等への展開して更に普及、実用化促進する取り組みを NEDO プロジェクト「太陽電池性能高度評価技術開発」で実施中。
・IEC 規格改訂審議, 60904-3 ″Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data″
・IEC 規格改訂審議, 60904-8 ″Measurement of spectral response of a photovoltaic (PV) device ″
・IEC 多接合規格　60904-8-1 ″Measurement of spectral response of a multijunction photovoltaic (PV) device ″
・IEC 多接合規格　60904-1-1″ Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics of a multijunction photovoltaic (PV) device″
・集光型太陽電池（日米協力）アライメント評価の重要性を明瞭化。評価手法の検討と定量化。IEC 62670-1,3 の議論に参画。
I-V 特性測定における測定時間等の検討と定量化（ＨＩＴ太陽電池、薄膜太陽電池を含む）～JIS ６件 TS１件（追補)。審議開始予定の IEC60904-1 改定に盛り込むことを目指す。
・JIS C8913　「結晶系太陽電池セル出力測定方法」
・JIS C8919　「結晶系太陽電池セル・モジュール屋外出力測定方法」
・JIS C8934　「アモルファス太陽電池セル出力測定方法」
・JIS C8940　「アモルファス太陽電池セル・モジュール屋外出力測定方法」
・JIS C8943　「多接合太陽電池セル・モジュール屋内出力測定方法（基準要素セル法)」
・JIS C8946　「多接合太陽電池セル・モジュール屋外出力測定方法」
・TS C0051　「CIS 系太陽電池セル・モジュール出力特性測定方法」

②発電量推定と予測技術
a. 発電量定格技術
（ｉ）発電量定格方式の開発(AIST)
発電量定格に関する以下の国際規格の審議に参画して技術的に貢献している。本事業のデータを用いて以下の規格の検証、提案に反映予定である。また、本 NEDO プロジェクトで日本気象協会が計測した気象データを、IEC61853-4 における Standard Day の１つとして採用されるように、気象データ提供を行なっていく予定である。開発した発電量推定技術は、実施中の NEDO 事業「太陽光発電システムの高精度発電量評価技術の開発」においてガイドライン化する予定である。
・IEC61853-3 (Energy Rating)
・IEC61853-4 (Standard Day)

（ⅱ）日射スペクトルデータの全国整備に関する研究開発(JWA)
日射スペクトルデータベースに関して、これまでに NEDO から公開されたものは下表に示すとおりである。VER-2 は Web 上で公開したことにより、VER-1 よりも多くのユーザーが利用すると考える。今後、ユーザーへのヒアリング等を実施し、2013 年以降のデータについても、より利便性の高いデータベースとして整備していく予定である。また、日射スペクトルの推定モデルについても解析を継続し、より汎用性の高いモデルを開発する。将来的には、現行の MONSOLA や METPV に準じるデータベースとして整備していく予定である。日射量データベースの整備で培われたノウハウを活かし、PV 事業者向けの日射量データ提供業務の事業化を目指す。
ユーザーへのヒアリングの場としては、日本太陽エネルギー学会や、平成 27 年度から開始され　た NEDO 事業「太陽光発電システムの高精度発電量評価技術の開発」の研究会を想定してい

る。2015 年 11 月に開催される日本太陽エネルギー学会では、「日射関連検討会」というセッションを設け、日射スペクトルデータベースのみならず、現行の MONSOLA や METPV の更新についてユーザーへのヒアリングを行う予定である。ヒアリング結果を踏まえ、日射量データベースの事業化について検討していく。

表　NEDO から公開された日射スペクトルデータベース

	VER-1	VER-2
収録地点	・長沼、鳥栖、岐阜、沖永良部	・長沼、鳥栖、つくば、岐阜、沖永良部
収録要素	・気象データ ・傾斜面日射スペクトルデータ	・気象データ ・傾斜面日射スペクトルデータ ・水平面日射スペクトルデータ
収録期間	・2008 年 1 月 1 日 ～2009 年 12 月 31 日	・水平面日射スペクトルの計測開始日～ 2012 年 12 月 31 日
表示ソフト	・傾斜面における日射スペクトルデータの表示	・水平面・傾斜面における日射スペクトルデータの表示 ・データのダウンロード機能等
利用方法	・希望者に DVD に収録したものを配布	・Web 上で公開

(ⅲ)有機系太陽電池実用化先導技術開発(AIST)
　各種有機系太陽電池の屋外発電量評価の系統的な評価により、特に色素増感太陽電池の封止技術が主たる改善点であることが明らかになった。改善された有機系太陽電池の屋外実証試験を行なうことにより、高信頼性の有機系太陽電池の実用化が期待される。

b.発電量予測技術
・分散・広域発電量推定技術の研究開発(AIST)
本研究成果の実用化に向けて、一部では新電力事業者などと共同研究を実施し、社会への技術移転を進めている。現段階で産総研は、既にその手法を産総研の知財として登録し、予測市場にある民間企業にプログラムを提供することを積極的に検討している。研究成果や開発した予測手法は、既に事業化されつつあると言える。
・気象パラメータ予測技術の研究開発 (AIST, MRI)
当該研究成果（モデルの問題点など）を気象庁へ情報提供し、モデル開発の高度化に活用する。
・分散日射量予測技術の研究開発 (GU)
当該研究成果を実用化する共同研究を電力事業者と実施している. 共同研究期間は平成 27 年度
・広域日射量予測技術の研究開発 (JWA)
開発した予測モデルを運用する仕組みの構築。さらに、このデータをベースに日射量・太陽光発電量予測情報を作成し、電力会社や PPS 事業者向けに配信する仕組みの構築。
・分散・広域発電量応用評価技術の研究開発 (UT)
UC+Sim モデルの事業化戦略としては、本技術は我が国の実績が少ない分野であり、現実に進展しつつある太陽光発電の大量導入の状況においては必須の技術である。2016 年 4 月からの全面小売り自由化に合わせ、送電会社、その他の関連事業会社への、必要性、有用性の啓蒙説明を進める。

Ⅱ）信頼性評価技術と長寿命化技術の開発
①モジュール・機器耐久性評価技術
a.高信頼性モジュールの認証試験技術(PVTEC(JET)) ：2 に併せて記述
b.新規信頼性試験方法の開発：2 に併せて記述
②システム点検技術：
プロジェクト終了後にガイドラインとして公開し、オンサイト点検技術とて広く利用される。故障の早期発見が可能となる。また、健全な普及が進むことで、本来の PV システム導入に役立つ。
③リユースモジュール健全性試験技術(PVTEC(JET)) ：2 に併せて記述

Ⅲ）次世代太陽光発電システムに向けた基盤技術開発の調査(PVTEC)：本検討はPVシステムの信頼性や寿命に関する業界の普遍的な開発方針を提示できることを目標としている。開発方針を提示できるように、課題の明確化に取り組む。

5. 特許論文リスト

	H22	H23	H24	H25	H26	終了後	計
特許出願（うち外国出願）	0	0	0	0	1(1)	1	2(1)件
論文（査読付き）	0	6	6	6	16	9	43 件
研究発表・講演（うち国際会議）	13(2)	56(17)	57(15)	56(15)	69(26)	10(0)	261(75)件
新聞・雑誌等への掲載	0	3	1	3	1	0	8 件
受賞実績	0	2	3	2	1	0	8 件
展示会への出展	0	1	1	1	1	0	4 件

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外国PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	産総研		PCT	平成26年3月	出願	光パワー監視装置・・・	産総研　猪狩真一他
2	産総研		日本	平成27年8月	出願	光パワー監視装置・・・	産総研　猪狩真一

【論文・学会発表】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名	査読	発表年
1	加藤宏	JET	暴露試験を補間することを目的に実施した国内太陽光発電システム調査結果の検討	平成22年度電気学会Ｂ部門大会	無	平成22年度
2	鴨居洋明	日本大学	太陽電池モジュールの互換性に関する実証試験-短絡電流の違いによる逆電圧の発生条件の調査-	平成22年度電気学会Ｂ部門大会	無	平成22年度
3	高橋智晃	同志社大	長期暴露試験における結晶シリコン系太陽電池モジュールの劣化特性評価	平成22年度日本太陽エネルギー学会	無	平成22年度
4	鴨居洋明	日本大学	太陽電池モジュールの互換性に関する検討－逆電圧の発生確率の調査－	平成22年度日本太陽エネルギー学会	無	平成22年度
5	井関和佳	同志社大	太陽電池モジュールの互換性に関する検討－シミュレーションによる逆電あ発生状況の調査－	平成22年度日本太陽エネルギー学会	無	平成22年度
6	加藤宏	JET	暴露試験を補間することを目的	平成23年度電気学		平成23年度

			に実施した海外太陽光発電システム調査結果の検討	会Ｂ部門大会	無	
7	林健太郎	同志社大	太陽電池モジュールの I-V 特性を用いた太陽電池セルの個別評価法の検討	平成 23 年度電気学会全国大会	無	平成 23 年度
8	堀江康介	同志社大	太陽電池モジュールの互換性に関する検討－逆電圧が発生しない異種モジュールの定格値の調査－	平成 23 年度電気学会全国大会	無	平成 23 年度
9	林健太郎	同志社大	太陽電池モジュールの互換性に関する検討-逆電圧の解消確率の調査-	平成 23 年度電気学会全国大会	無	平成 23 年度
10	林健太郎	同志社大	等価回路解析に基づく結晶シリコン系太陽電池モジュールのセル個別劣化評価	平成 24 年度日本太陽エネルギー学会／日本風力エネルギー学会合同研究発表会	無	平成 24 年度
11	堀江康介	同志社大	太陽電池モジュールの互換性に関する検討－アレイ構成、気象条件、ＰＣＳの違いが逆電圧発生状況に与える影響－	平成 24 年度日本太陽エネルギー学会／日本風力エネルギー学会合同研究発表会	無	平成 24 年度
12	高橋克弥	日本大学	太陽電池モジュールの互換性に関する検討-逆電圧の発生及び解消条件の調査(Ⅱ)-	平成 24 年電気学会電力・エネルギー部門大会	無	平成 24 年度
13	高橋克弥	日本大学	太陽電池モジュールの互換性に関する検討-異種モジュール及び MPPT 制御の違いによる発電量の調査-	平成 24 年度日本太陽エネルギー学会／日本風力エネルギー学会合同研究発表会	無	平成 24 年度
14	林健太郎	同志社大	等価回路解析に基づく結晶シリコン系太陽電池モジュールの出力低下要因の推定	電気学会論文誌 B（電力・エネルギー部門誌）Vol.133 No.6（2013） 特集：電力インフラと電気自動車の融合	無	平成 25 年度
15	加藤宏	JET	Results of Field Tests in Japan	4th International PV Module Quality Assurance Forum	無	平成 25 年度
16	加藤宏	JET	太陽電池モジュールの信頼性評価に関する最新動向と暴露試験	平成 25 年度ウエザリング技術研究成果発表会	無	平成 25 年度
17	増田幸治	JET	曝露試験による市販モジュール部材の経時変化	平成 25 年度日本太陽エネルギー学会／日本風力エネルギー学会合同研究発表会	無	平成 25 年度
18	堀江康介	同志社大	画像診断と等価回路モデルを用いた結晶シリコン系太陽電池の出力低下要因推定	平成 25 年度日本太陽エネルギー学会／日本風力エネルギー学会合同研究発表会	無	平成 25 年度
19	堀江康介	同志社大	結晶系太陽電池モジュールの互換性に関するシミュレーション－異種モジュールの接続が発電量に及ぼす影響－	平成 25 年度日本太陽エネルギー学会／日本風力エネルギー学会合同研究発表会	無	平成 25 年度

20	髙橋克弥	日本大学	結晶系太陽電池ﾓｼﾞｭｰﾙの互換性に関する実験的検討-開放電圧の違いが逆電圧の発生状況に与える影響(2)-	平成 25 年度日本太陽ｴﾈﾙｷﾞｰ学会・日本風力ｴﾈﾙｷﾞｰ学会合同研究発表会	無	平成 25 年度
21	山中直紀	日本大学	薄膜系太陽電池ﾓｼﾞｭｰﾙの互換性に関する実験的検討-短絡電流の違いが逆電圧の発生状況に与える影響-	平成 25 年度日本太陽ｴﾈﾙｷﾞｰ学会・日本風力ｴﾈﾙｷﾞｰ学会合同研究発表会	無	平成 25 年度
22	加藤宏	JET	リユースモジュール健全性試験技術①	平成 26 年度電気学会全国大会	無	平成 26 年度
23	若林，加藤，大関	JET，AIST	住宅用太陽光発電システムの長期実運転データ分析	平成 26 年電気学会電力・エネルギー部門大会	無	平成 26 年度
24	髙橋克弥	日本大学	結晶系太陽電池ﾓｼﾞｭｰﾙの互換性に関する実験的検討-短絡電流の違いが逆電圧の発生状況に与える影響-	平成 26 年度電気学会全国大会	無	平成 26 年度
25	増田幸治	JET	Testing Procedures for High Reliability of Photovoltaic Modules	WCPEC	無	平成 26 年度
26	増田幸治	JET	フィールドと室内加速試験における太陽電池モジュールの劣化比較	平成 26 年度日本太陽ｴﾈﾙｷﾞｰ学会・日本風力ｴﾈﾙｷﾞｰ学会合同研究発表会	無	平成 26 年度
27	増田幸治	JET	フィールド稼働太陽電池モジュールにおける出力及び絶縁性低下の要因分析	平成 26 年度日本太陽ｴﾈﾙｷﾞｰ学会・日本風力ｴﾈﾙｷﾞｰ学会合同研究発表会	無	平成 26 年度
28	加藤宏	JET	リユースモジュール健全性試験技術報告②	平成 27 年度電気学会Ｂ部門大会	無	平成 26 年度
29	大林只志	JET	各社太陽電池の加速試験結果	平成 27 年度日本太陽ｴﾈﾙｷﾞｰ学会・日本風力ｴﾈﾙｷﾞｰ学会合同研究発表会	無	平成 26 年度
30	林　健太郎	同志社大	等価回路解析を用いた太陽電池モジュールの出力低下要因推定法の実用性評価	平成 27 年度日本太陽ｴﾈﾙｷﾞｰ学会・日本風力ｴﾈﾙｷﾞｰ学会合同研究発表会	無	平成 26 年度
31	内田泰徳	JET	バイパスダイオードの熱暴走試験における環境温度の根拠（10 年間 47 サイトデータを引用）	CENELEC TC82/WG1	無	平成 26 年度
32	内田泰徳	JET	バイパスダイオードのジャンクション温度測定における Vf-Tj 法の優位性	NREL Work Shop	無	平成 26 年度
33	板垣昭彦	日本気象協会	日射スペクトルデータベースの整備	日本太陽エネルギー学会	無	平成 23 年度
34	板垣昭彦	日本気象協会	日射気候区別の日射スペクトルの計測について	日本太陽エネルギー学会	無	平成 23 年度
35	板垣昭彦	日本気象協会	天候別に見た日射スペクトルの特徴について	日本太陽エネルギー学会	無	平成 24 年度
36	板垣昭彦	日本気象協会	日射スペクトルデータの全国整備に関する研究	日本太陽エネルギー学会	無	平成 24 年度
37	宇都宮健志	日本気象協会	NEDO 観測データを用いた斜面日射量推定モデルの検証	日本太陽エネルギー学会	無	平成 25 年度
38	宇都宮健志	日本気象協会	NEDO 日射スペクトルデータベースの公開について	日本太陽エネルギー学会	無	平成 26 年度
39	板垣昭彦	日本気象協会	日射スペクトル推定モデルの開発	日本太陽エネルギー学会	無	平成 26 年度

40	板垣昭彦	日本気象協会	Preparation of solar spectral database in Japan	WCPEC-6	無	平成 26 年度
41	鈴木 聡、池田 一昭、佐川 友彦、土井 卓也	PVTEC, AIST	サーモカメラを用いた産総研 MST の PV モジュール観察	平成 23 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー学会合同研究発表会	無	平成 23 年度
42	池田 一昭、鈴木 聡、土井 卓也、加藤 和彦	AIST, PVTEC	サーモカメラを用いた稼働中 PV モジュールの簡易診断手法の提案	平成 23 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー学会合同研究発表会	無	平成 23 年度
43	金 永模、池田 一昭、土井 卓也	AIST	結晶 Si 系単セルモジュールおよびミニモジュールの逆バイアス試験	平成 23 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー学会合同研究発表会	無	平成 23 年度
44	Yongmo Jin, Tomohiko Sagawa, Kazuaki Ikeda, Takuya Doi	AIST, PVTEC	A proposal of new acceleration test which utilizes high atmospheric pressure: High pressure damp heat or cyclic pressure damp heat	21st International PVSEC	有	平成 23 年度
45	Soh Suzuki, Kazuaki Ikeda, Eimo Kin, Takuya Doi, Takashi Horiuchi	PVTEC, AIST, ESPEC	A proposal: Mechanical pressure duty cycle test which can accelerate degradations around interfaces of PV module laminate materials	21st International PVSEC	有	平成 23 年度
46	鈴木 聡、棚橋 紀悟、高橋 邦明	PVTEC, ESPEC	太陽電池モジュールの信頼性評価試験	接着の技術		平成 24 年度
47	鈴木 聡、池田 一昭、金 永模、土井 卓也	PVTEC, AIST	太陽電池モジュール面への周期的機械圧力印加による新規加速試験の検討	第 22 回 RCJ 信頼性シンポジウム		平成 24 年度
48	金 永模、土井 卓也	AIST	結晶 Si 系太陽電池の逆バイアス試験－4 セル・モジュールでの検討	平成 24 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー学会・Korean Solar Energy Society 合同研究発表会		平成 24 年度
49	鈴木 聡、棚橋 紀悟、土井 卓也、増田 淳	PVTEC, ESPEC, AIST	結晶 Si PV モジュールにおける温度サイクル試験の加速方法の検討	平成 25 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー学会合同研究発表会		平成 25 年度
50	Soh Suzuki, Tadanori Tanahashi, Takuya Doi, Atsushi Masuda	PVTEC, ESPEC, AIST	An examination of the acceleration method of thermal cycling test for crystalline silicon PV modules	National Renewable Energy Laboratory Photovoltaic Module Reliability Workshop 2014		平成 25 年度
51	鈴木 聡、棚橋 紀悟、土井 卓也、増田 淳	PVTEC, ESPEC, AIST	結晶 Si 太陽電池モジュールにおける温度サイクル試験の加速方法の検討	第 61 回応用物理学会春季学術講演会		平成 25 年度
52	Thi Hong Trang Ngo、辺田 祐志、土井 卓也、増田 淳	PVTEC, AIST	光照射を含んだ太陽電池モジュールの複合加速試験	第 75 回応用物理学会秋季学術講演会		平成 26 年度

53	鈴木 聡、棚橋 紀悟、土井 卓也、増田 淳	PVTEC, ESPEC, AIST	結晶 Si 太陽電池モジュールにおける機械式荷重試験の劣化メカニズムの検討	第 75 回応用物理学会秋季学術講演会		平成 26 年度
54	Soh Suzuki, Tadanori Tanahashi, Takuya Doi, Atsushi Masuda	PVTEC, ESPEC, AIST	An examination of the acceleration method of thermal cycling test for crystalline silicon PV modules	29th EUPVSEC	有	平成 26 年度
55	鈴木 聡、棚橋 紀悟、土井 卓也、増田 淳	PVTEC, ESPEC, AIST	結晶 Si 太陽電池モジュールにおける機械式荷重試験の劣化メカニズムの検討	平成 26 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー学会合同研究発表会		平成 26 年度
56	Soh Suzuki, Tadanori Tanahashi, Takuya Doi, Atsushi Masuda	PVTEC, ESPEC, AIST	Bending load testing to evaluate the interconnector breakdown in c-Si PV modules	6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion	有	平成 26 年度
57	Thi Hong Trang Ngo, Yushi Heta, Takuya Doi, Atsushi Masuda	PVTEC, AIST	Effects of light exposure on photovoltaic modules in the combined acceleration test of light irradiation and damp heat	6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion	有	平成 26 年度
58	Soh Suzuki, Tadanori Tanahashi, Takuya Doi, Atsushi Masuda	PVTEC, ESPEC, AIST	Sorting test of bending load on the interconnector in crystalline silicon photovoltaic modules	National Renewable Energy Laboratory Photovoltaic Module Reliability Workshop 2015		平成 26 年度
59	鈴木 聡、棚橋 紀悟、土井 卓也、増田 淳	PVTEC, ESPEC, AIST	結晶 Si 太陽電池モジュールにおけるインターコネクターのふるい分け試験の検討	第 62 回応用物理学会春季学術講演会		平成 26 年度
60	原 由希子、増田 淳	AIST	結晶シリコン太陽電池における事前逆電圧印加による PID の抑制効果	第 62 回応用物理学会春季学術講演会		平成 26 年度
61	Ngo Thi Hong Trang、辺田 祐志、土井 卓也、増田 淳	PVTEC, AIST	複合加速試験における太陽電池モジュールへの UV 曝露の影響	第 62 回応用物理学会春季学術講演会		平成 26 年度
62	大関　崇	産総研	太陽光発電の発電量予測の現状と課題	電気学会メタボリズム社会・環境システム研究会研究会	無	平成 22 年度
63	FONSECA JUNIOR, J.G.S.	産総研	Use of support vector regression and numerically predicted cloudiness to forecast power output of a photovoltaic power plant in Kitakyushu, Japan	Progress in Photovoltaics	有	平成 23 年度
64	FONSECA JUNIOR, J.G.S	産総研	サポットベクターマシンを用いた太陽光発電量の予測における交差検定効果の検討	第 8 回次世代の太陽光発電システムシンポジウム	無	平成 23 年度
65	FONSECA JUNIOR, J.G.S.	産総研	Photovoltaic Power Production Forecasts with Support Vector Regression: A Study on the Forecast Horizon.	37th IEEE Photovoltaics Specialists Conference	無	平成 23 年度
66	FONSECA JUNIOR, J.G.S.	産総研	Analysis of the Use of Support Vector Regression and Neural Networksto Forecast	SolarWorld Congress 2011	無	平成 23 年度

			Insolation for 25 Locations in Japan			
67	FONSECA JUNIOR, J.G.S.	産総研	Forecast of Power Production of a Photovoltaic Power Plant in Japan with Multilayer Perceptron Artificial Neural Networks and Support Vector Machines	26th EUPVSEC	無	平成 23 年度
68	FONSECA JUNIOR, J.G.S.	産総研	サポートベクターマシンを用いた日射量予測におけるカーネル関数選択の検討	電気学会の新エネルギー・環境/メタボリズム社会・環境システム合同研究会, 札幌	無	平成 23 年度
69	FONSECA JUNIOR, J.G.S.	産総研	SVM を用いた日射量予測・太陽光発電量予測における技術の研究	JCRE フォーラム「再生可能エネルギーの出力変動予測に関する最先端技術」	無	平成 23 年度
70	大竹秀明	産総研・気象研	太陽光発電量予測に向けた気象庁メソ数値予報モデルの日射量予測の地域特性	電気学会全国大会（広島）	無	平成 24 年度
71	大竹秀明	産総研・気象研	太陽光発電量予測に向けた短波放射量予測の検証 -メソ気象数値予報モデル(MSM)-	日本気象学会秋季大会（名古屋）講演予稿集	無	平成 23 年度
72	大竹秀明	産総研・気象研	太陽光発電量予測に向けた短波放射量予測の検証 -週間予報モデル(GSM) -	日本気象学会秋季大会（名古屋）講演予稿集	無	平成 23 年度
73	Ohtake Hideaki	産総研・気象研	Prediction accuracy of shortwave radiation of the Japan Meteorological Agency meso-scale model in the Kanto region, Japan	1st International Conference Energy & Meteorology (ICEM 2011)	無	平成 23 年度
74	大竹秀明	産総研・気象研	太陽光発電量予測に向けた短波放射量予測の検証	電気学会 新エネルギー・環境/メタボリズム社会・環境システム合同研究会	無	平成 23 年度
75	大竹秀明	産総研・気象研	太陽光発電量予測に向けた短波放射量予測の検証	第 13 回非静力学モデルに関するワークショップ	無	平成 23 年度
76	Ohtake Hideaki	産総研・気象研	Statistical validation of a cloud resolving model against aircraft observations of orographic snow clouds	AOGS 2011	無	平成 23 年度
77	Ohtake Hideaki	産総研・気象研	Statistical validation of a cloud resolving model against aircraft observations of orographic snow clouds	IUGG 2011	無	平成 23 年度
78	大竹秀明	産総研・気象研	夏季の高知上空における航空機観測と雲解像モデルとの統計的な validation	日本気象学会春季大会講演予稿集	無	平成 23 年度
79	大竹秀明	産総研・気象研	太陽光発電量予測に向けた気象庁現業モデルの日射量予測の検証	北海道大学大学院地球環境科学研究院 研究院アワー	無	平成 24 年度
80	大関 崇	産総研	太陽光発電システムの広域発電予測技術の研究	第 8 回次世代の太陽光発電システムシンポジウム	無	平成 23 年度

81	Takashi OOZEKI	産総研	A SMOOTHING EFFECT ON FORECASTING ERROR OF REGIONAL PV SYSTEM OUTPUT IN JAPAN	26th EUPVSEC	無	平成 23 年度
82	Takashi Oozeki	産総研	A study on output forecasting technology of PV systems in energy network	Korea-China Japan joint workshop	無	平成 23 年度
83	大関　崇	産総研	太陽光発電システムの発電予測における広域エリアと予測誤差の低減効果	太陽／風力エネルギー合同発表会	無	平成 23 年度
84	大関　崇	産総研	日射量予測における MSM 入力データの気圧面データ利用による予測誤差低減効果の検証	電気学会　新エネルギー・環境/メタボリズム社会・環境システム合同研究会	無	平成 23 年度
85	大関　崇	産総研	太陽光発電システムの代表的な発電量データセットに関する検討	電気学会　新エネルギー・環境/メタボリズム社会・環境システム合同研究会	無	平成 23 年度
86	Takashi OOZEKI	産総研	An Evaluation result of regional Photovoltaic output forecasting in Japan	PVSEC	無	平成 23 年度
87	大関　崇	産総研	太陽光発電の発電量予測の現状と課題	JCRE フォーラム「再生可能エネルギーの出力変動予測に関する最先端技術」	無	平成 23 年度
88	大関　崇	産総研	太陽光発電の普及を支えるシステム技術	応用物理学会シンポジウム	無	平成 24 年度
89	大関　崇	産総研	太陽光発電システムの広域発電予測の予測誤差限界に関する検討	第 9 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム予稿集	無	平成 24 年度
90	Ohtake Hideaki	産総研・気象研	Regional characteristics of the simulated insolation by the Japan Meteorological Agency meso-scale numerical model for the forecast of the photovoltaic power production	27th EUPVSEC	無	平成 24 年度
91	Ohtake Hideaki	産総研・気象研	Regional and seasonal characteristics of shortwave radiation by the Japan Meteorological Agency mesoscale model for the forecast of a photovoltaic power production	Second International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models	無	平成 24 年度
92	下瀬 健一	産総研・気象研	Improvement of the Japan Meteorological Agency Meso-Scale Model for the Forecasting the Photovoltaic Power Production, Sensitivity Experiments of Radiation-Related Schemes	Second International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Model	無	平成 24 年度
93	JOAO FONSECA	産総研	Forecasting Photovoltaic Power Generation in Hokkaido: A Preliminary Assessment Regarding Local and Regional	International Conference on Modeling, Analysis and	無	平成 24 年度

			Accuracy	Simulation (ICMAS)		
94	大関 崇	産総研	AN EVALUATION OF THE REGIONAL PHOTOVOLTAIC POWER FORECASTING ERROR – CORRELATION BETWEEN FORECASTING ERROR AND REGIONAL AREA SIZE	27th EU PVSEC	無	平成 24 年度
95	大関 崇	産総研	太陽光発電システムのオンサイト点検技術に関する検討～線形内挿法のアレイへの適用～	第 9 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム	無	平成 24 年度
96	大関 崇	産総研	太陽光発電システムの広域発電予測の予測誤差限界に関する検討	第 9 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム	無	平成 24 年度
97	大関 崇	産総研	太陽光発電システムの広域発電予測に関する基礎的評価	新エネルギー・環境/メタボリズム社会・環境システム合同研究会	無	平成 24 年度
98	大竹 秀明	産総研・気象研	気象庁メソ数値予報モデルの日射量予測の予測誤差特性	新エネルギー・環境/メタボリズム社会・環境システム合同研究会	無	平成 24 年度
99	下瀬 健一	産総研・気象研	気象庁メソモデルの日射量予測検証：日射量予測にかかわるスキームの感度実験	再生可能エネルギーの発電予測とシステム技術	無	平成 24 年度
100	JOAO FONSECA	産総研	On the Use of Guidance Methods to Improve the Accuracy of Insolation Forecasts for Photovoltaic Applications in Japan	27th EU-PVSEC	無	平成 24 年度
101	下瀬 健一	産総研・気象研	太陽光発電量予測に向けた気象庁メソモデル（MSM）の短波放射量の検証(その２)－短波放射にかかわるスキームの感度実験－	日本気象学会 2012 年度秋季大会	無	平成 24 年度
102	下瀬 健一	産総研・気象研	太陽光発電予測に向けた気象庁メソ数値予報モデルの日射量予測精度検証―つくばでの大外し事例の解析―	電気学会平成 24 年電力・エネルギー部門大会	無	平成 24 年度
103	JOAO FONSECA	産総研	小型太陽光発電システムの発電量予測について ― 訓練データの多様性と影の事例研究	平成２４年電気学会電子情報システム部門大会	無	平成 24 年度
104	大竹 秀明	産総研・気象研	気象庁週間予報モデルの日本における日射量の予測特性	日本気象学会 2012 年度秋季大会	無	平成 24 年度
105	大竹 秀明	産総研・気象研	発電量予測で利用される気象庁メソモデルの日射量予測誤差マッピング	日本気象学会 2012 年度秋季大会	無	平成 24 年度
106	大竹 秀明	産総研・気象研	太陽光発電量予測に向けた気象庁メソ数値予報モデルの日射量予測の経年・季節変化と地域特性	電気学会平成 24 年電力・エネルギー部門大会	無	平成 24 年度
107	JOAO FONSECA	産総研	Analysis of Different Techniques to Set Support Vector Machines to Forecast Insolation in Tsukuba	The International Conference on Electrical Engineering	無	平成 24 年度
108	下瀬 健一	産総研・気象研	Validation of Solar Irradiance of the Japan Meteorological Agency Meso-	27th Europian Photovoltaic Solar Energy	無	平成 24 年度

			Scale Model: Investigation of Error Cause around Tokyo	Conference and Exhibition (EU PVSEC 2012		
109	下瀬 健一	産総研・気象研	Investigation of the significant radiation error case of the Japan Meteorological Agency meso-scale model for the forecasting the photovoltaic power production	16th International Conference on Clouds and Precipitation (ICCP-2012)	無	平成 24 年度
110	下瀬 健一	産総研・気象研	ＰＶ発電予測に向けた気象庁メソ数値予報モデルの日射量予測精度検証－つくばでの大外し事例の解析－	第 9 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム	無	平成 24 年度
111	下瀬 健一	産総研・気象研	太陽光発電量予測に向けた気象庁メソ数値予報モデル（MSM）の短波放射量の検証－つくばでの誤差要因の解析－	日本気象学会春季大会	無	平成 24 年度
112	大竹 秀明	産総研・気象研	Validation of surface downward shortwave radiation of the Japan Meteorological agency meso-scale model for the forecast of photovoltaic power production	16th International Conference on Clouds and Precipitation (ICCP-2012)	無	平成 24 年度
113	大竹 秀明	産総研・気象研	気象庁メソ数値予報モデルの日射量予測の季節・地域特性	第 9 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム	無	平成 24 年度
114	大竹 秀明	産総研・気象研	太陽光発電量予測に向けた気象庁メソ数値予報モデルの日射量予測の地域・季節特性	日本気象学会 2012 年度春季大会	無	平成 24 年度
115	大竹 秀明	産総研・気象研	太陽光発電量予測に向けた気象庁メソモデルの日射量検証	第 37 回メソ気象研究会	無	平成 24 年度
116	高巣久志	岐阜大学	太陽光・風力発電の面的変動特性の把握	太陽/風力エネルギー講演論文集	無	平成 22 年度
117	三矢雅之	岐阜大学	日射スペクトル強度の直達・散乱成分測定	太陽/風力エネルギー講演論文集	無	平成 22 年度
118	東原竜幸	岐阜大学	画像解析を用いた雲移動予測	太陽/風力エネルギー講演論文集	無	平成 22 年度
119	熊須啓介	岐阜大学	LSSPS 地上伝送に関するレーザ大気透過特性の検討	第 55 回宇宙科学技術連合講演集	無	平成 22 年度
120	小林智尚	岐阜大学	1064 nm, 1020 nm 帯光大気透過率の検討	第 14 回 SPS シンポジウム講演集	無	平成 22 年度
121	嶋田進	岐阜大学	メソ気象モデル WRF による日射量予測の精度検証	太陽/風力エネルギー講演論文集	無	平成 23 年度
122	橋本潤	岐阜大学	太陽光発電量推定のための日射スペクトル強度推定	混相流	有	平成 23 年度
123	水谷道大	岐阜大学	日射強度短周期変動の統計特性	太陽/風力エネルギー講演論文集	無	平成 23 年度

124	森田雅子	岐阜大学	局地気象予報モデルによる太陽光発電量予測と検証	太陽/風力エネルギー講演論文集	無	平成 23 年度
125	山田竜輔	岐阜大学	局地気象予報モデルを用いた詳細な太陽光発電量マップの作製	太陽/風力エネルギー講演論文集	無	平成 23 年度
126	高巣久志	岐阜大学	実気象場を考慮した中部日本域での太陽光発電量分布	太陽/風力エネルギー講演論文集	無	平成 23 年度
127	嶋田進	岐阜大学	気象モデルによる日射予測 その１：予測システムの概要とその誤差解析	太陽/風力エネルギー講演論文集	無	平成 23 年度
128	嶋田進	岐阜大学	気象モデルによる日射予測 その２：カルマンフィルターによる予測の高精度化	太陽/風力エネルギー講演論文集	無	平成 23 年度
129	嶋田進	岐阜大学	メソ気象モデル WRF による日射計算の精度検証	太陽エネルギー	有	平成 23 年度
130	嶋田進	岐阜大学	気象モデルによる日射予測 その１：予測システムの概要と精度検証	太陽エネルギー	有	平成 25 年度
131	嶋田進	岐阜大学	気象モデルによる日射予測 その２：カルマンフィルターによる予測の高精度化	太陽エネルギー	有	平成 25 年度
132	嶋田進	岐阜大学	気象モデルを用いた LSSPS レーザ大気透過率に関する研究	第 15 回 SPS シンポジウム講演集	無	平成 25 年度
133	嶋田進	岐阜大学	気象モデルを用いた日本周辺の LSSPS レーザ大気透過率に関する研究	第 56 回宇宙科学技術連合講演集	無	平成 25 年度
134	Ohtake. H	産総研・気象研	Regional and seasonal characteristics of shortwave radiation by the Japan Meteorological Agency mesoscale model for the forecast of a photovoltaic power production	AMS Fourth Conference on Weather, Climate, and the New Energy Economy	無	平成 24 年度
135	大竹秀明	産総研・気象研	東北地方における気象庁メソモデルの日射量予測誤差と雲のタイプの出現頻度	第 7 回ヤマセ研究会	無	平成 24 年度
136	大竹秀明	産総研・気象研	気象庁メソモデルの日射量予測の大外れの予測可能性	電気学会全国大会	無	平成 24 年度
137	大竹秀明	産総研・気象研	気象庁メソモデルの日射量予測外れ時における雲のタイプの出現頻度	日本気象学会春季大会講演予稿集	無	平成 24 年度
138	大竹秀明	産総研・気象研	気象庁数値予報モデルの日射量検証と問題点	日本気象学会春季大会　公開気象講演会「将来の再生可能エネルギーと気象」	無	平成 24 年度
139	大竹秀明	産総研・気象研	気象庁メソモデルによる日射量予測の実績から解析された誤差幅の特徴	第 10 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム	無	平成 25 年度
140	大竹秀明	産総研・気象研	気象庁メソモデルによる日射量予測値の予測実績からみた誤差幅の把握	第 32 回エネルギー・資源学会研究発表会	無	平成 25 年度

141	Ohtake, H	産総研・気象研	Characteristics of global horizontal irradiance forecasts by the Japan Meteorological Agency mesoscale model. 2nd International Conference Energy & Meteorology (ICEM 2013)	2nd International Conference Energy & Meteorology (ICEM 2013)	無	平成 25 年度
142	大竹秀明	産総研・気象研	気象庁メソモデルによる日射量予測値の予測実績からみた信頼区間の検討	電気学会 電力・エネルギー部門大会	無	平成 25 年度
143	Ohtake, H	産総研・気象研	Mapping of forecast errors of global horizontal irradiance obtained from the Ja-pan Meteorological Agency mesoscale model	13th EMS annual meetings	無	平成 25 年度
144	Ohtake, H	産総研・気象研	Range of forecast errors of global irradiance by the Japan Meteorological Agency nu-merical weather prediction model for the PV power forecast	28th EUPVSEC (EUPVSEC)	無	平成 25 年度
145	大竹秀明	産総研・気象研	局地予報モデルの太陽光発電への利用と日射量予測誤差解析	第 15 回非静力学モデルに関するワークショップ	無	平成 25 年度
146	Ohtake, H	産総研・気象研	Seasonal and regional variations of the range of forecast errors of global irradiance by the Japanese operational physical model	ISES solar world congress 2013	無	平成 25 年度
147	大竹秀明	産総研・気象研	局地予報モデル(LFM)の太陽光発電への利用と MSM 日射量予測との比較	日本気象学会秋季大会講演予稿集	無	平成 25 年度
148	大竹秀明	産総研・気象研	局地予報モデルの日射量予測誤差と太陽光発電分野への応用	電気学会 新エネルギー・環境/メタボリズム社会・環境システム合同研究会	無	平成 25 年度
149	大竹秀明	産総研・気象研	局地予報モデルによる日射量予測プロダクトとその誤差特性	平成２５年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー学会合同研究発表会	無	平成 25 年度
150	大竹秀明	産総研・気象研	気象庁メソモデルによる日射量予測値の均し効果による信頼区間の低減効果	エネルギー資源学会 研究カンファレンス	無	平成 26 年度
151	大竹秀明	産総研・気象研	ヤマセ時の気象庁メソモデルの日射量予測と太陽光発電への応用	第９回ヤマセ研究会	無	平成 26 年度
152	大竹秀明	産総研・気象研	日射量予測の信頼区間の推定 ―初期値と解析エリア面積の依存性―	電気学会全国大会	無	平成 26 年度
153	Ohtake, H	産総研・気象研	Estimation of confidence intervals of global horizontal irradiance obtained from a weather prediction model	European Geosciences Union (EGU) General assembly 2014	無	平成 26 年度
154	大竹秀明	産総研・気象研	電力システムへの気象モデルの日射量予測値の応用利用	日本気象学会春季大会講演予稿集	無	平成 26 年度

155	大竹秀明	産総研・気象研	局地モデルから出力される日射量予測とその予測精度の検証	第 33 回エネルギー･資源学会研究発表会	無	平成 26 年度
156	大竹秀明	産総研・気象研	気象庁局地モデルから得られる日射量予測高分解能プロダクトの検証	第 11 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム	無	平成 26 年度
157	Ohtake, H	産総研・気象研	The characteristics of forecast errors of the global horizontal irradiance ob tained from a local forecast model	14th Conference on Cloud Physics	無	平成 26 年度
158	Ohtake, H	産総研・気象研	Global horizontal irradiance obtained from the Local forecast model by the Japan Meteorological Agency	Grand Renewable Energy 2014 International Conference and Exhibition	無	平成 26 年度
159	Ohtake, H	産総研・気象研	A comparison of global horizontal irradiance obtained from both a local forecast model and a mesoscale model	AOGS 11th Annual Meeting 2014	無	平成 26 年度
160	大竹秀明	産総研・気象研	領域拡張された局地モデルによる日射量予測の誤差検証	電気学会 B 部門大会	無	平成 26 年度
161	Ohtake, H	産総研・気象研	Accuracy of the global horizontal irradiance obtained from a local forecast model	29th EUPVSEC	無	平成 26 年度
162	大竹秀明	産総研・気象研	局地モデルの太陽光発電への利用計画とヤマセ時の日射量予測の事例解析	ヤマセ研究会	無	平成 26 年度
163	大竹秀明	産総研・気象研	電力系統運用のための気象予測情報の利用 ― その 1― 局地モデルの日射量予測値の信頼区間推定	日本気象学会秋季大会講演予稿集	無	平成 26 年度
164	大竹秀明	産総研・気象研研	局地モデルから出力される日射量予測値の信頼区間の推定	平成２６年度　日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー学会 Korean Solar Energy Society 福島復興支援　合同研究発表会	無	平成 26 年度
165	Ohtake, H	産総研・気象研	Comparison of the forecast of global horizontal irradiance obtained from numerical weather prediction models with different horizontal resolution	The 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion 2014 (WCPEC-6)	無	平成 26 年度
166	大竹秀明	産総研・気象研	気象庁現業モデルによる日射量予測大外れの事例解析	電気学会　新エネルギー・環境/メタボリズム社会・環境システム合同研究会	無	平成 26 年度
167	下瀬健一	産総研・気象研	太陽光発電予測に向けたエアロゾルが日射予測に及ぼす影響の	第 36 回日本気象学会九州支部発表会	無	平成 26 年度

			調査			
168	Ken-ichi Shimose	産総研・気象研	Improvement of the Japan Meteorological Agency Meso-Scale Model for the Forecasting the Photovoltaic Power Production: Modification of the Cloud Scheme	Solar World Congress 2013	無	平成 26 年度
169	Ken-ichi Shimose	産総研・気象研	Improvement of the Cloud Scheme of the Japan Meteorological Agency Meso-Scale Model for the Forecasting the Photovoltaic Power Production	28th EU PVSEC	無	平成 26 年度
170	Ken-ichi Shimose	産総研・気象研	Improvement of the Japan Meteorological Agency Meso-Scale Model for the Forecasting the Photovoltaic Power Production: Sensitivity Experiments of Radiation-Related Schemes.	Fourth Conference on Weather, Climate, and the New Energy Economy (93rd American Meteolorogical Society Annual Meetings)	無	平成 26 年度
171	下瀬健一	産総研	太陽光発電予測に向けた気象庁メソモデルの日射量予測改良－日射量予測に影響を及ぼす雲量予測手法の改良―	日本気象学会秋季大会講演予稿集	無	平成 25 年度
172	下瀬健一	産総研	太陽光発電予測に向けた気象庁メソモデルの直達日射量と散乱日射量の予測精度検証	日本気象学会秋季大会講演予稿集	無	平成 25 年度
173	下瀬健一	産総研	太陽光発電予測に向けた気象庁メソモデルの日射量予測改良―日射量予測に影響を及ぼす雲量予測手法の改良に関する一検討―	電気学会平成 25 年電力・エネルギー部門大会	無	平成 25 年度
174	下瀬健一	産総研	PV 発電予測に向けた気象庁メソ数値予報モデルの日射予測の改良ー日射予測と雲量予測ー	第 10 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム	無	平成 25 年度
175	吉野純	岐阜大学	軸対称 2 次元および領域 3 次元台風モデルによる 2004 年全台風の強度解析	土木学会論文集 B2（海岸工学）	無	2013
176	小川直也	岐阜大学	気象モデルを用いた LSSPS レーザの大気透過率の推定検討と進捗	第 16 回宇宙太陽発電システムシンポジウム講演要旨集	無	2013
177	小川直也	岐阜大学	気象モデルおよび MODIS を用いた LSSPS レーザ大気透過率の推定	第 57 回宇宙科学技術連合講演会講演集	無	2013
178	嶋田進	岐阜大学	レーザー大気透過率及びマルチサイト化	第 57 回宇宙科学技術連合講演会講演集	無	2013
179	Matsumoto Y.	岐阜大学	Global solar irradiation in north mexico city and some comparisons with the south	Energy Procedia	有	2014
180	劉媛媛	岐阜大学	局地気象予報モデル・アンサンブル予測手法を用いた日射強度予測の試み	電気学会全国大会講演論文集	無	2014

181	Liu Y.	岐阜大学	Solar Irradiance Forecasting using the WRF Model and Kalman Filter	Proc. of Ground Renewable Energy	無	2014
182	Morita M.	岐阜大学	Verification of Solar Spectrum Irradiance Evaluated with a Physical Model	Proc. of Ground Renewable Energy 2014	無	2014
183	Takasu H.	岐阜大学	Photovoltaic Generation Map of Central Japan including Effect of Local Weather Condition	Proc. of Ground Renewable Energy 2014	無	2014
184	劉媛媛	岐阜大学	気象予報モデルとカルマンフィルターを用いた日射強度のアンサンブル予測	太陽／風力エネルギー学会合同研究発表会概要集	無	2014
185	劉媛媛	岐阜大学	気象予報モデルと多変量カルマンフィルターによる日射強度のアンサンブル予測	電気学会全国大会講演論文集	無	2015
186	小久保佳枝	岐阜大学	領域気象予報モデルとカルマンフィルターによる日射強度予測	電気学会全国大会講演論文集	無	2015
187	徳力明日香	岐阜大学	擬似温暖化実験に基づく地球温暖化後の日射強度推定の試み	電気学会全国大会講演論文集	無	2015
188	吉野純	岐阜大学	擬似温暖化実験による中部日本地域の温暖化影響評価	土木学会中部支部研究発表会概要集	無	2015
189	滝谷克幸	日本気象協会	数値気象モデルによる日射量予測の改善と検証について	電気学会平成 25 年電力・エネルギー部門大会	無	2013
190	滝谷克幸	日本気象協会	数値気象モデルによる広域日射量予測技術開発について	平成 27 年電気学会全国大会	無	2015
191	荻本和彦	東京大学	長期の電力需給計画における PV 大量導入の課題と解決の可能性に関する予備検討	エネルギー資源学会 第 27 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集	無	2011
192	荻本和彦	東京大学	長期の電力需給計画における低炭素化実現の予備検討	エネルギー資源学会 第 27 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集	無	2011
193	荻本和彦	東京大学	再生可能エネルギー導入における電力システムの課題－需給計画・運用の高度化と再生可能エネルギー発電予測－	電気学会　メタボリズム社会・環境システム研究会	無	2011
194	荻本和彦	東京大学	将来の電力システムの需給調整力と向上対策に関する試算	平成 23 年電気学会全国大会講演論文集	無	2011
195	荻本和彦	東京大学	「特集　スマートグリッドと OR エネルギーシステムの発展とスマートグリッド」日本オペレーションズ・リサーチ学会	オペレーションズ・リサーチ	無	2011
196	Y. Ikeda	東京大学	Perspective on Smart Grid in Japan	Workshop on Alternative and Renewable Energy for Sustainability	無	2011

				WARES 2011“Exploring Smart Community”		
197	Y. Ikeda	東京大学	Integration of variable renewable energies with the use of demand side management	Workshop on UK Smart System Mission 2012	無	2012
198	荻本和彦	東京大学	我が国の長期の電力需給ベストミックスの予備検討	電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会	無	2011
199	池上貴志	東京大学	太陽熱集熱器とヒートポンプ給湯機併用住宅におけるエネルギー需給に関する解析	土木学会　論文集G	有	2011
200	福留潔		長期電力需給解析のための電力需要曲線の想定手法	電気学会　新エネルギー・環境メタボリズム社会・環境システム合同研究会	無	2011
201	池田裕一	東京大学	風力発電の大規模導入がもたらす系統運用へのインパクト	第3回洋上風力発電と地域・漁業の共生に関する円卓会議	無	2011
202	池田裕一	東京大学	再生可能エネルギーの出力予測精度が与える系統運用へのインパクト	再生可能エネルギー協議会フォーラム：再生可能エネルギーの出力変動予測に関する最先端技術	無	2011
203	荻本和彦	東京大学	我が国の長期電力需給ベストミックスの検討	エネルギー・資源学会　第28回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集	無	2012
204	池田裕一	東京大学	再生可能エネルギーの連系と需要の能動化を考慮した電力システムの経済運用モデル	エネルギー・資源学会　第28回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集	無	2012
205	荻本和彦	東京大学	長期の電力需給計画における再生可能エネルギー大量導入の課題解決の可能性検討	エネルギー・資源学会　第28回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集	無	2012
206	池田裕一	東京大学	再生可能エネルギーの連系と蓄電装置を用いた需要の能動化を考慮した発電機起動停止モデル	電気学会　平成24年電気学会全国大会講演論文集	無	2012
207	荻本和彦	東京大学	我が国の長期電力需給ベストミックスの検討(2)	エネルギー・資源学会　第29回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集	無	2013
208	荻本和彦	東京大学	長期の電力需給計画における再生可能エネルギー大量導入の課題解決の可能性検討(2)	エネルギー・資源学会　第29回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集	無	2013
209	宇田川佑介	東京大学	再生可能エネルギー発電の予測誤差を考慮した電力需給計画手法の予備検討	エネルギー・資源学会 第29回エネルギーシステム・経済・環境コンファレ	無	2013

				ンス講演論文集		
210	宇田川佑介	東京大学	火力機の部分負荷効率を考慮した起動停止計画モデル開発	電気学会全国大会講演論文集	無	2013
211	Yusuke Udagawa	東京大学	A Preliminary Study of a Unit Commitment Model Considering the Prediction Error of Variable Renewable Energies	Improving Weather and Climate Capabilities for Enhanced Energy Strategies 2013	無	2013
212	宇田川佑介	東京大学	火力発電機の部分負荷効率に伴う発電コストの増加と揚水発電機による発電コストの緩和―起動停止計画モデルを用いた考察―	電気学会 電力・エネルギー部門大会講演論文集	無	2013
213	宇田川佑介	東京大学	再生可能エネルギー発電の予測誤差を考慮した起動停止計画問題	オペレーションズ・リサーチ学会 2013 年秋季研究発表会	無	2013
214	宇田川佑介	東京大学	太陽光発電の予測誤差が需給運用と発電コストに与える影響	電気学会 新エネルギー・環境メタボリズム社会・環境システム合同研究会資料	無	2013
215	Y. UDAGAWA	東京大学	Impact of forecast error of the variable renewable energy source in Japan’s future power market	CIGRE AORC Technical meeting 2014	無	2014
216	K. OGIMOTO	東京大学	Impacts of variable renewable energy source integration	CIGRE 2014	無	2014
217	宇田川佑介	東京大学	太陽光発電の予測精度が需給運用と発電コストに与える影響	電気学会 電力・エネルギー部門大会講演論文集	無	2014
218	宇田川佑介	東京大学	電力系統運用のための気象予測情報の利用 ― その２― 発電機起動停止計画モデルを用いた日射量予測値の信頼区間・予測精度が与える影響	日本気象学会 2014 年度秋季大会講演予稿集	無	2014
219	Y. Udagawa	東京大学	Impact of PV Power Prediction Technology on Power System Operation	The 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion	無	2014
220	宇田川佑介	東京大学	PV 予測の需給制御へのインパクト評価	一般社団法人日本太陽エネルギー学会 太陽光発電部会第 13 回セミナー「太陽光発電システムの発電出力把握・予測技術(2)」	無	2015
221	宇田川佑介	東京大学	太陽光発電システムが大量導入された電力システムにおける需給運用	電気学会 電力・エネルギー部門大会講演論文集	無	2015
222	宇田川佑介	東京大学	太陽光発電が大量導入された電力系統における需給運用に日射量予測値が与える影響	日本気象学会 2015 年度秋季大会講演予稿集	無	2015

223	宇田川佑介	東京大学	太陽光発電出力予測に基づく起動停止計画モデルの開発と実規模系統の解析	電気学会論文誌B（電力・エネルギー部門誌）	有	2016（条件付掲載）
224	Yusuke Udagawa	東京大学	Economic Impact of Photovoltaic Power Forecast Error on Power System Operation in Japan 19th	19th Power Systems Computations Conference	有	2016 （投稿中）
225	浅井丞, 小林智尚, 吉野純, 吉田裕之, 木皿且人	岐阜大学ほか	L-SSPS レーザ大気透過予測手法における適切な予測期間	第59回宇宙科学技術連合講演会予稿集	無	2015
226	Juan Ernesto Wyss Porras, Susumu Shimada, Jun Yoshino, Tomonao Kobayashi	岐阜大学産総研	Evaluation of the Photovoltaic System Installation Impact to Electric Power Grid Part 1: Simulation of photovoltaic generation by applying a meteorological model	Sustainable Energy Technologies and Assessments, Elsevior	有	2015（投稿中）
227	Juan Ernesto Wyss Porras, Susumu Shimada, Jun Yoshino, Tomonao Kobayashi	岐阜大学産総研	Evaluation of the Photovoltaic System Installation Impact to Electric Power Grid Part 2: Impact analysis of photovoltaic installation to an electric power grid by applying a nonlinear analysis model	Sustainable Energy Technologies and Assessments, Elsevior	有	2015（投稿中）
228	Yuanyuan Liu, Susumu Shimada, Jun Yoshino, Tomonao Kobayashi, Yasushi Miwa, Kiyotaka Furuta	岐阜大学産総研中部電力	Ensemble Forecasting of Solar Irradiance by Applying a Mesoscale Meteorological Model	Solar Energy, Elsevier	有	2015（投稿中）
229	Yuanyuan Liu, Susumu Shimada, Jun Yoshino, Tomonao Kobayashi, Yasushi Miwa, Kiyotaka Furuta	岐阜大学産総研中部電力	Ensemble Forecasting of Solar Irradiance by Applying a Mesoscale Meteorological Model and Kalman Filter	Solar Energy, Elsevier	有	2015（投稿中）
230	Ohtake. H., K-I. Shimose., Fonseca. Jr., T. Takashima., T. Oozeki Y. Yamada,	産総研、気象研	Accuracy of the solar irradiance forecasts of the Japan Meteorological Agency mesoscale model for the Kanto region, Japan.	Solar Energy, Elsevier	有	2013
231	Joao Gari da Silva Fonseca Jr, T.Oozeki, H.Ohtake, K-I. Shimose, T.Takashima K.Ogimoto,	産総研、気象研、東京大	Characterizing the Regional Photovoltaic Power Forecast Error in Japan: A Study of 5 Regions	電気学会論文誌B	有	2014
232	下瀬健一, 大竹秀明, Joao Gari da Silva Fonseca Jr, 高島工, 大関崇, 山田芳則	産総研、気象研	気象庁メソモデルの日射量予測誤差要因の解析	電気学会論文誌B	有	2014
233	大竹秀明, 下瀬健一, Joao Gari da Silva Fonseca Jr, 高島工, 大関崇, 山田芳則,	産総研、気象研	気象庁週間予報モデルの日射量予測の誤差評価	電気学会論文誌B	有	2014
234	Joao Gari da Silva Fonseca Jr, T.Oozeki, H.Ohtake,	産総研、気象研、東京大	Regional Forecasts and Smoothing Effect of Photovoltaic Power Generation	Renewable Energy	有	2014

	K-I. Shimose, T.Takashima,K.Ogimoto		in Japan: An Approach with Principal Component Analysis			
235	Joao Gari da Silva Fonseca Jr, T.Oozeki, K-I. Shimose, H.Ohtake, T. Takashima K.Ogimoto	産総研、気象研、東京大	Analysis of Four Methods to Forecast One-Day-Ahead Regional PV Power Generation, Progress in Photovoltaics	Progress in Photovoltaics	有	2014
236	Shimose. K-I., H. Ohtake., Fonseca. Jr., T. Takashima., T. Oozeki and Y. Yamada	産総研、気象研、	Impact of Aerosols on the Forecast Accuracy of Solar Irradiance Calculated by a Numerical Weather Model	Eur. Phys. J. Special Topics	有	2014
237	Ohtake. H., K-I. Shimose., Fonseca. Jr., T. Takashima., T. Oozeki and Y. Yamada	産総研、気象研	Seasonal and regional variations of the range of forecast errors of global irradiance by the Japanese operational physical model	Energy Procedia	有	2014
238	Ohtake. H., Joao Gali da Silva Fonseca Jr, T. Takashima., T. Oozeki Y. Yamada	産総研、気象研	Estimation of confidence intervals of global horizontal irradiance obtained from a weather prediction model	Energy Procedia	有	2014
239	Joao Gari da Silva Fonseca Jr, T.Oozeki, H.Ohtake, T.Takashima K. Ogimoto	産総研、気象研、東京大	On the Use of Maximum Likelihood and Input Data Similarity to Obtain Prediction Intervals for Forecasts of Photovoltaic Power Generation	Journal of Electrical Engineering & Technology	有	2015
240	Ohtake. H., Joao Gari da Silva Fonseca Jr, T. Takashima., T. Oozeki, K-I. Shimose Y. Yamada	産総研、気象研	Regional and seasonal characteristics of global horizontal irradiance forecasts obtained from the Japan Meteorological Agency mesoscale model	Solar Energy	有	2015
241	Masanori Miyashita Shinji Kawai Atsushi Masuda	PVTEC 東レ AIST	Measuring method of moisture penetration into photovoltaic modules	21st International PVSEC	有	2011
242	Masanori Miyashita Shinji Kawai Atsushi Masuda	PVTEC 東レ AIST	Measuring method of moisture penetration into photovoltaic modules	Technical Digest of 21st International PVSEC	無	2011
243	宮下 正範 増田 淳	PVTEC 東レ AIST	太陽電池モジュールにおける水蒸気の浸入とモジュール特性の相関	第 73 回応用物理学会秋季学術講演会	無	2012
244	Masanori Miyashita Shinji Kawai Atsushi Masuda	PVTEC 東レ AIST	Measuring method of moisture ingress into photovoltaic modules	Japanese Journal of Applied Physics	有	2012
245	宮下 正範 増田 淳	PVTEC 東レ AIST	太陽電池モジュールへの水蒸気浸入経路の Ca 法による明確化	第 60 回応用物理学会春季学術講演会	無	2013
246	宮下 正範 増田 淳	PVTEC 東レ AIST	太陽電池モジュールの湿熱劣化における水蒸気浸入と酢酸の関係	第 60 回応用物理学会春季学術講演会	無	2013
247	森田 秀幸 宮下 正範 増田 淳	PVTEC 東レ AIST	太陽電池モジュールの加速試験下の水蒸気浸入速度とモジュール劣化	第 74 回応用物理学会秋季学術講演会	無	2013

248	Masanori Miyashita Atsushi Masuda	PVTEC 東レ AIST	Correlation between moisture ingress and performance in photovoltaic modules	28th EUPVSEC	有	2013
249	森田 秀幸 宮下 正範 増田 淳	PVTEC 東レ AIST	太陽電池モジュールの加速試験下の水蒸気浸入速度	平成25年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー学会合同研究発表会	無	2013
250	Masanori Miyashita Atsushi Masuda	PVTEC 東レ AIST	Correlation between moisture ingress and performance in photovoltaic modules	Proceedings of 28th EUPVSEC	無	2013
251	Hideyuki Morita Masanori Miyashita Atsushi Masuda	PVTEC 東レ AIST	Moisture ingress rate and route into c-Si PV modules	National Renewable Energy Laboratory Photovoltaic Module Reliability Workshop 2014	無	2014
252	森田 秀幸 宮下 正範 増田 淳	PVTEC 東レ AIST	モジュール内水蒸気浸入速度評価方法の開発	第61回応用物理学会春季学術講演会	無	2014
253	Hideyuki Morita Masanori Miyashita Atsushi Masuda	PVTEC 東レ AIST	Moisture ingress rate and route into c-Si PV modules	Grand Renewable Energy 2014 International Conference and Exhibition	有	2014
254	Hideyuki Morita Masanori Miyashita Atsushi Masuda	PVTEC 東レ AIST	Moisture ingress rate and route into c-Si PV modules	Proceedings of Grand Renewable Energy 2014 International Conference and Exhibition	無	2014
255	森田秀幸 宮下 正範 増田 淳	PVTEC 東レ AIST	有機薄膜太陽電池信頼性評価用テストモジュール構成の検討	第75回応用物理学会秋季学術講演会	無	2014
256	Hideyuki Morita Masanori Miyashita Atsushi Masuda	PVTEC 東レ AIST	Composition of OPV test module and examination of reliability of OPV test module	29th EUPVSEC	有	2014
257	Hideyuki Morita Masanori Miyashita Atsushi Masuda	PVTEC 東レ AIST	Module composition for reliability test of OPV	6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion	有	2014
258	Hideyuki Morita Masanori Miyashita Atsushi Masuda	PVTEC 東レ AIST	Module composition for reliability test of OPV	Technical Digest of 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion	無	2014
259	Hideyuki Morita Masanori Miyashita Atsushi Masuda	PVTEC 東レ AIST	Composition of OPV test module and examination of reliability of OPV test module	Proceedings of 29th EUPVSEC	無	2014
260	森田 秀幸 宮下 正範 増田 淳	PVTEC 東レ AIST	モジュール構造が有機薄膜太陽電池の信頼性に与える影響	第62回応用物理学会春季学術講演会	無	2015
261	Hideyuki Morita Masanori Miyashita Atsushi Masuda	PVTEC 東レ AIST	Module composition for reliability test of organic photovoltaics	Japanese Journal of Applied Physics	有	2015

262	Hideyuki Morita Masanori Miyashita Atsushi Masuda	PVTEC 東レ AIST	Module composition for reliability test of OPV	6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion	有	2014
263	Hideyuki Morita Masanori Miyashita Atsushi Masuda	PVTEC 東レ AIST	Module composition for reliability test of OPV	Technical Digest of 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion	無	2014
264	Hideyuki Morita Masanori Miyashita Atsushi Masuda	PVTEC 東レ AIST	Composition of OPV test module and examination of reliability of OPV test module	Proceedings of 29th EUPVSEC	無	2014
265	森田 秀幸 宮下 正範 増田 淳	PVTEC 東レ AIST	モジュール構造が有機薄膜太陽電池の信頼性に与える影響	第62回応用物理学会春季学術講演会	無	2015
266	Ishii, T., Otani, K., Takashima, T., Kawai, S.	産総研	Estimation of the maximum power temperature coefficients of PV modules at different time scales.	Solar Energy Materials and Solar Cells	有	2011
267	Ishii,T., Takashima, T. Otani, K.	産総研	Long-term performance degradation of various kinds of photovoltaic modules under moderate climatic conditions	Progress in Photovoltaics: Research and Applications	有	2011
268	Ishii, T., Otani, K., Takashima	産総研	Effects of solar spectrum and module temperature on outdoor performance of photovoltaic modules in round-robin measurements in Japan	Progress in Photovoltaics: Research and Applications	有	2011
269	Ishii, T., Otani, K., Itagaki, A., Utsunomiya, K.	産総研、気象協会	A methodology for estimating the influence of solar spectrum on PV module performance by using average photon energy and a water absorption band	Japanese Journal of Applied Physics	有	2012
270	Ishii, T., Otani, K., Itagaki, A., Utsunomiya, K	産総研、気象協会	A simplified methodology for estimating solar spectral influence on photovoltaic energy yield by using average photon energy	Energy Science & Engineering	有	2013
271	Ishii, T., Otani, K., Takashima, T., Xue Y.	産総研	Solar spectral influence on the performance of photovoltaic (PV) modules under fine weather and cloudy weather conditions	Progress in Photovoltaics: Research and Applications	有	2013
272	Ishii, T., Otani, K., Takashima, T., Ikeda K.	産総研	Change in I-V characteristics of thin-film photovoltaic (PV) modules induced by light soaking and thermal annealing effects	Progress in Photovoltaics: Research and Applications	有	2014
273	Ishii, T., Otani, K., Takashima, T., Hashimoto, J., Itagaki, A., Utsunomiya, K.	産総研、気象協会	Relationship between Average Photon Energy (APE) and Spectral Factor (SF) of PV modules	Proceedings of the 26th EUPVSEC	無	2011
274	Ishii, T., Otani, K., Itagaki, A., Utsunomiya, K.	産総研	Identification of solar spectrum by using Integrated Spectral Irradiance (ISI) and Average Photon Energy (APE)	Technical Digest of the 21th International PVSEC	無	2011

275	Ishii, T., Otani, K., Sato, R. Morinaga, R.	産総研	Comparison between indoor and outdoor performance of various PV modules in Japan	Proceedings of the 27th EUPVSEC	無	2012
276	Ishii, T., Otani, K., Masuda, A., Hishikawa, Y.	産総研	Annual energy production from the photovoltaic array systems in AIST Kyushu Center	Technical Digest of the 22th International PVSEC	無	2012
277	Ishii, T., Otani, K., Masuda, A., Hishikawa, Y.	産総研	Energy production from eight kinds of photovoltaic array systems in AIST Kyushu Center.	Proceedings of the 28th EUPVSEC	無	2013
278	Ishii, T., Otani, K., Masuda, A., Hishikawa, Y.	産総研	Estimation and verification of energy production from various photovoltaic module technologies	Technical Digest of the 23th International PVSEC	無	2013
279	Ishii, T., Masuda, A., Hishikawa, Y.	産総研	Comparison between estimated and measured energy yield from various photovoltaic technologies	Proceedings of Grand Renewable Energy 2014 International Conference and Exhibition	無	2014
280	Ishii, T., Masuda, A., Hishikawa	産総研	Comparison in annual energy production among various photovoltaic technologies at AIST Kyushu Center	Proceedings of the 29th EUPVSEC	無	2014
281	石井徹之，大谷謙仁，高島工	産総研	晴天時と曇天時の日射スペクトル分布が太陽電池モジュール出力に与える影響	平成 23 年電気学会全国大会講演論文集	無	2011
282	石井徹之，大谷謙仁，高島工.	産総研	薄膜系太陽電池モジュールの光照射効果・熱アニール効果によるＩ－Ｖ特性の変化	第 8 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム予稿集	無	2011
283	石井徹之，大谷謙仁，板垣昭彦，宇都宮健志	産総研、気象協会	Integrated Spectral Irradiance (ISI)と Average Photon Energy (APE)を用いた日射スペクトル形状の制約	太陽／風力エネルギー講演論文集 2011	無	2011
284	石井徹之，大谷謙仁，板垣昭彦，宇都宮健志	産総研、気象協会	平均光子エネルギーを用いた日射スペクトルが太陽電池の性能に及ぼす影響の評価	平成 24 年電気学会全国大会講演論文集	無	2012
285	石井徹之，大谷謙仁，佐藤梨都子，森永亮	産総研	太陽電池モジュールの定格出力と屋外発電量の関係調査	第 9 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム予稿集	無	2012
286	石井徹之，大谷謙仁，増田淳，菱川善博	産総研	産総研九州センターにおける各種太陽電池アレイ発電量データの解析	平成 25 年電気学会全国大会講演論文集	無	2013
287	石井徹之，大谷謙仁，増田淳，菱川善博	産総研	産総研九州センターにおける各種太陽電池アレイの年間発電量の調査	第 10 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム予稿集	無	2013
288	石井徹之，大谷謙仁，増田淳，菱川善博	産総研	産総研九州センターにおける各種太陽電池アレイの発電量データ解析	太陽／風力エネルギー講演論文集 2013	無	2013
289	石井徹之，増田淳，菱川善博	産総研	各種太陽電池の推定発電量と実測発電量の比較	平成 26 年電気学会全国大会講演論文集	無	2014
290	石井徹之，増田淳，	産総研	日射スペクトルが各種太陽電池	第 10 回「次世代の	無	2014

	菱川善博		の発電量に及ぼす影響の調査	太陽光発電システム」シンポジウム予稿集		
291	石井徹之，増田淳，菱川善博	産総研	発電量定格における日本の気候モードの定義	太陽／風力エネルギー講演論文集 2014	無	2014
292	菱川、佐々木、志村	産総研	ソーラシミュレータの性能が太陽電池性能測定に与える影響と高精度化	太陽/風力エネルギー講演論文集，219-222，2014	無	
293	菱川、深堀、武内	産総研	太陽電池高精度屋外測定技術	太陽/風力エネルギー講演論文集，305-308，2014	無	
294	M. Green, K. Emery, Y. Hishikawa et al.	産総研（共著）	Solar cell efficiency tables (version 45)	Progress in Photovoltaics	有	2015
295	A. Fukabori, T. Takenouchi, Y. Matsuda, Y. Tsuno, and Y. Hishikawa	産総研	Study of highly accurate outdoor characterization technique for PV modules	Technical Digest of the WCPEC6	無	2014
296	Haruya Shimura, Ayumi Sasaki, Hironori Ohshima and Yoshihiro Hishikawa	産総研	Accurate Performance Evaluation of Conventional and Bifacial Crystaline Silicon Solar Cells	Technical Digest of the WCPEC6	無	2014
297	Takashi Ueda and Yoshihiro Hishikawa	産総研	Accurate current-voltage characteristics measurement of CPV cells with a high intensity pulsed solar simulator	Technical Digest of the WCPEC6	無	2014
298	D. Dirnberger, U Kräling et al., Y. Hishikawa	産総研（共著）	Progress in photovoltaic module calibration: results of a world-wide intercomparison between four reference laboratories	Meas. Sci. Technol. 25-10	有	2014
299	M. Green, K. Emery, Y. Hishikawa et al.	産総研（共著）	Solar cell efficiency tables (version 44)	Progress in Photovoltaics	有	2014
300	M. Green, K. Emery, Y. Hishikawa et al.	産総研（共著）	Solar cell efficiency tables (version 43)	Progress in Photovoltaics	有	2014
301	Yoshihiro Hishikawa	産総研	Irradiance and Temperature Dependences of the I-V Characteristics of Novel PV Devices and New Outdoor measurement Technologies	Grand Renewable Energy 2014	無	2014
302	Yoshihiro Hishikawa	産総研	I-V Curve Measurement Technologies For High-Capacity C-Si Solar Cells	Grand Renewable Energy 2014	無	2014
303	上田、菱川善博	産総研	定常光ソーラシミュレータを使用した集光型太陽電池サブモジュールの許容角評価	太陽/風力エネルギー講演論文集 2013	無	2013
304	Yoshihiro Hishikawa, Haruya Shimura and Hiromi Tobita	産総研	ACCURATE I-V CURVE MEASUREMENTS OF HIGH-CAPACITY C-SI SOLAR CELLS	Proceedings of the 28th EUPVSEC	無	2013
305	Yoshihiro HISHIKAWA	産総研	Accurate Performance Characterization of Various PV devices in development and mass production stages	Proceedings of PVSEC23	無	2013
306	Daisuke Nishi, Takashi Ueda, Hironori Ohshima, and Yoshihiro	産総研	Approach to Precise Indoor Characterization of Multi-Junction CPV Cells Using	9th international conference on CPV Systems	無	2013

	Hishikawa		Concentrator Component Cells			
307	Yoshihiro Hishikawa, Hiromi Tobita, Ayumi Sasaki et al.	産総研	Current-Voltage Characteristics of Novel PV Devices under Various Irradiance and Temperature Conditions	Proceedings of the IEEE PVSC	無	2013
308	菱川善博	産総研	色素増感太陽電池の高精度性能評価技術	FIRST 計測標準分科会	無	2010
309	菱川善博	産総研	各種太陽電池の高精度性能評価技術	日本太陽エネルギー学会 太陽光発電部会　第 7 回セミナー	無	2013
310	M. Green, K. Emery, Y. Hishikawa et al.	産総研（共著）	Solar cell efficiency tables (version 42)	Progress in Photovoltaics	有	2013
311	Y. Tsuno and Y. Hishikawa	産総研	Comparison of Curve Correction Procedures for Current--Voltage Characteristics of Photovoltaic Devices	Jpn J Appl Phys	有	2012
312	津野、菱川	産総研	太陽電池モジュールの温度・照度特性が発電量推定精度に与える影響の評価	太陽/風力エネルギー講演論文集	無	2012
313	Yoshihiro HISHIKAWA	産総研	Element Technologies for Accurate Measurements of PV Devices	PV Asia Pacific Conference 2012	無	2012
314	Yoshihiro HISHIKAWA	産総研	Traceable Performance Characterization of State-of-the-Art PV Devices	27th EUPVSEC	無	2012
315	M. Green, K. Emery, Y. Hishikawa et al.	産総研（共著）	Solar cell efficiency tables (version 41)	Progress in Photovoltaics	有	2012
316	M. Green, K. Emery, Y. Hishikawa et al.	産総研（共著）	Solar cell efficiency tables (version 40)	Progress in Photovoltaics	有	2012
317	Yoshihiro Hishikawa, Haitao Liu, Hsin-Hsin Hsieh et al.	産総研（共著）	Round-robin measurement intercomparison of c-Si PV modules among Asian testing laboratories	Progress in Photovoltaics	有	2013
318	志村、菱川	産総研	分光放射計の線形性が太陽電池性能評価結果に及ぼす影響	太陽/風力エネルギー講演論文集	無	2011
319	Daisuke Nishi, Takashi Ueda and Yoshihiro Hishikawa	産総研	Development of Indoor Characterization Technologies for CPV Devices at AIST	37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference	無	2011
320	H. Tobita, M. Ishitsuka, Y. Hishikawa	産総研	Effect of non-uniformity of the electric potential within crystalline Si bare cells and correction of I-V curves for measurement error	37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference	無	2011
321	Yoshihiro Hishikawa, Ayumi Sasaki, Mika Moriya and Haruya Shimura	産総研	Precision Measurement of PV Devices and Adjustment of Solar Simulator Spectral Irradiance	Proceedings of the 21st PVSEC	無	2011
322	飛田、菅原、菱川	産総研	結晶シリコン太陽電池ベアセルの IV 特性に及ぼす電位分布の影響とその補正方法	太陽/風力エネルギー講演論文集 2010	無	2010
323	HISHIKAWA, H. TOBITA,	産総研	Effects of the distribution	Proceedings of	無	2010

	A. SASAKI and Y. TSUNO		of electric potential on the I-V measurement of crystalline silicon bare cells	the 25th EUPVSEC		
324	Yoshihiro Hishikawa, Haruya Shimura and Yuki Tsuno	産総研	Influence of nonuniformity of irradiance within a cell on the accurate I-V curve measurement under 1sun illumination	Proceedings of the 35th IEEE PVSC	無	2010
325	Yanqun Xue, Jun Hashimoto, Kenji Otani	産総研	Solar Spectrum Estimation and Impact of Input Parameters	GRE2014	無	2014
326	Yanqun Xue, Jun Hashimoto, Kenji Otani	産総研	Performance and Characterization Results from Concentrator Photovoltaic Demonstration Field-Test	GRE2014	無	2014
327	Sarah Kurtz, Matthew Muller, Dirk Jordan, Jun Hashimoto et al.	産総研（共著）	Key Parameters in Determining Energy Generated by CPV Modules	Prog. Photovolt	有	2014
328	Jun Hashimoto, Yanqun Xue, Kenji Otani et al.	産総研（共著）	Performance of Grid-connected Conventional Flat-plate and Concentrator Photovoltaic Systems in Japan	Journal of International Council on Electrical Engineering	有	2015

【受賞】

・鈴木聡、日本太陽エネルギー学会、2011 年度 奨励賞（一般部門）

・大竹秀明、平成 23 年電気学会　優秀論文発表 A 賞

・石井徹之、平成 23 年度太陽エネルギー学会奨励賞（一般部門）

・Tetsuyuki Ishii, Awards for the best Visual Presentations 2011, 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition

・Joao Gari da Silva Fonseca Jr , International Conference on Modeling, Analysis and Simulation, Research Incentive Award for the Poster ″Forecasting Photovoltaic Power Generation in Hokkaido: A Preliminary Assessment Regarding Local and Regional Accuracy″

・Joao Gari da Silva Fonseca Jr , International Conference on Electrical Engineering 2014, Best Paper Award for the paper ″On the Use of Maximum Likelihood Estimation and Data Similarity to Obtain Prediction Intervals for Forecasts of Photovoltaic Power Generation″（平成 26 年 06 月）

・ 下瀬健一, イノベイティブ PV 奨励賞, 第 9 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム

・下瀬健一, 平成 24 年電気学会 C 部門研究会奨励賞

・電気学会　新エネルギー・環境技術委員会　平成 25 年「若手優良発表賞」

宇田川佑介・荻本和彦・池上貴志・大関　崇・福留　潔：「太陽光発電の予測誤差が需給運用と発電コストに与える影響」, 電気学会 新エネルギー・環境メタボリズム社会・環境システム合同研究会資料, FTE-13-60, MES-13-16, pp85-95 (2013-11)

・電気学会　電子・情報・システム部門　平成 25 年 研究会奨励賞

宇田川佑介・荻本和彦・池上貴志・大関　崇・福留　潔：「太陽光発電の予測誤差が需給運用と発電コストに与える影響」, 電気学会 新エネルギー・環境メタボリズム社会・環境システム合同研究会資料, FTE-13-60, MES-13-16, pp85-95 (2013-11)

E　PV システム汎用リサイクル処理手法に関する研究開発

1．成果詳細

本研究では、今後大量廃棄が予想される PV システムのリサイクル処理手法の確立に向けて、低コストかつ各種モジュールに対応可能な汎用リサイクル処理技術を開発すると共に、広域的な回収法やリサイクル取り扱い規定の法制化及び規制緩和等、新たな社会システム構築のための提案とその基礎検証を行なう。これまでに得られた成果は以下の通り。

ａ．低コスト汎用リサイクル処理技術の基本技術開発

ａ-1　CIS モジュール高速分離装置の改造による連続運転機能向上

(1)　構成装置と移設

既実施の NEDO 共通基盤技術開発プロジェクト（H13-H17）において使用された[CIS モジュール高速分離装置]は、[EVA 加熱分解装置」、[分解生成ガス除害装置]、[冷却水槽]、[活性炭脱臭装置]、[ウォータースクラバー]の 5 つの装置から構成される。これらの装置を長期間安定して稼働させるためには、1)やや粘性のある強酸性物質であるチャーの発生抑制、2)排ガス導出配管での分解が不十分な物質による閉塞抑制、3）EVA 樹脂分解ガスのさらなる分解促進、4）運転状態の可視化が必要であった。そのため既設装置を改造し、動作確認後、他の新規導入装置と連携させた一貫処理技術開発のため、平成 23 年 1 月北九州市内のリサイクル実験場へ移設した。

(2)　CIS モジュール高速分離装置改造

チャーの生成防止対策、及び分解ガスのさらなる分解による無害化対策として以下の改造を行った。1)分解生成ガス除害装置の炉内温度を、旧厚生省通達を参考に、800℃から 1100℃への高温化することによる分解能力向上、2)分解ガスの低流速化による 1100℃下での十分な分解時間の確保と、分解不十分な物質による配管閉塞防止のためのガス配管径を 25mmφ から 100mmφ へ拡大、3)EVA 加熱分解装置内の窒素ガス拡散のためのガス導入口を 1 か所から 3 か所へ増加、4)冷却水槽出口配管への系内圧力制御バルブ設置、5)冷却水槽出口配管と活性炭脱臭装置内との差圧監視用差圧計の設置。

(3)　改造後の運転性能確認結果

改造後 15 回の PV モジュール模擬サンプル処理試験を実施し、以下の結果を得た。

1）[ウォータースクラバー]循環水槽の pH はほとんど変化なく(pH7.3)、屋外排気煙突から放出されるガスは無色透明・無臭で環境的問題はなかった。

2）冷却水槽下部のドレインロからのチャー流出は無かったが、今後稼働回数を増やした時には、チャー発生有無の観察は必要である。

3）今回実験でのカバーガラスの良好な分離状況、則ち、ガラスに煤等の付着、着色、EVA 残渣はなく、カバーガラスとサーキット基板ガラスとが容易に分離可能であることから、EVA 加熱分解装置の炉内温度 450℃、同炉内への窒素ガス投入

流量 0.5 ﾘｯﾄﾙ/分、0.05MPa、分解生成ガス除害装置の炉内温度 1100℃、差圧 5Pa を標準運転条件とした。

4) 実用化を見据えた安全運転・制御指針を得るため、酸素濃度計及び炭化水素濃度計を設置して運転状態を計測した結果、EVA 加熱分解装置のシール性向上等の改善が必要なことが判明し、追加改造を実施した。

(4) EVA 加熱・処理の基礎検討

EVA の基礎的熱分解試験結果を含め、上記装置を用いて実際のパネルの EVA 加熱・処理試験から得られた結果を以下に示す。

・EVA は 300℃近傍から酢酸ビニル系の分解（酢酸が分離）が顕著となり、400℃前後からポリエチレン系が急激に分解し始める。

・酢酸及びポリエチレン系の分解ガスは爆発生が高く、且つ、400℃前後から分解するガスは急激・多量に発生するため、加熱分解炉は爆発防止の目的で酸素を排除した雰囲気制御型にする必要がある。

・酢酸の爆発限界データから分解炉内の酸素濃度は 3%以下にする必要がある。

これらのデータをベースに後述の低コスト汎用 EVA 熱処理装置を開発した。

a-2 低コスト汎用バックシート剥離装置の開発

(1) 加熱式バックシート剥離装置の開発

既実施の NEDO 共通基盤技術研究開発において、有価のガラスカレットとして回収するには CIS 膜を混入させてはならず、CIS 膜をガラス基板から剥ぎ取る必要が有ることが分かっている。そのためには PV リサイクル処理プロセスで、ガラス基板が割れないようにする必要があり、EVA の高温熱処理時にバックシートとガラスとの熱膨張差でガラスが割れないよう、事前にバックシートを剥離しておく必要がある。そこで下記仕様の加熱式バックシート剥離装置の開発を試みた。

ⅰ）モジュールサイズ

新製品も含めた各種の PV モジュールを対象とするため、モジュールのサイズは、長さ最大モジュールが 1,657㎜×858㎜×46㎜、重量 17 ㎏、幅最大モジュールが 1,414㎜×1,114㎜×35㎜、重量 21 ㎏とする。

ⅱ）加熱方法

ガラスとバックシートを接着し、太陽電池セルを封止するための EVA 樹脂を柔らかくし、ガラスからバックシートを剥離するのを容易にする手段として、PV モジュール全体を 200℃程度に加熱する。その方法としては、PV モジュールが導入された加熱炉に、熱風発生装置からの熱風を送風する。熱風は加熱炉内の上下面から吹き出し、側面から吸引して循環させる。

ⅲ）剥離機構

剥離開始部は、モジュール前端面にエッジのようなものをバックシートとガラスの間に差し込み、バックシートの前端部を捲り上げ、捲れたバックシート部をクリップ等で掴み、そのクリップを引き上げながらモジュールを送り出すことにより、バックシート全面を剥離させる。

上記仕様の試作機を開発し、性能試験を実施した結果、以下の成果を得た。

・CIS 系のモジュールについては、1 枚当りの処理時間 10 分、80%以上の成功率でバックシートの剥離が可能である。
・中古モジュールについては、バックシート自体が劣化しているために剥離途中でバックシートが破れ、剥離が困難である。
・薄膜 Si 系のモジュールについては、基板ガラスが強化ガラスでないため剥離途中でガラスが割れ、バックシートの剥離が困難である。
・使用されている EVA の種類によっては、加熱しても EVA とバックシートの接着力が低下せず、バックシートの剥離が困難なモジュールがある。

(2) 非加熱式バックシート剥離装置の開発

前述のとおり、加熱式バックシート剥離装置では剥離困難なモジュールがあることが判明した。そこで各種モジュールに対応可能な処理方法を検討した結果、図Ⅲ-2-(へ)-E-1(1)に示すような下記仕様の非加熱式バックシート剥離装置の開発を試み、性能試験を実施した結果、各種モジュールに対し 2.5 分以内（20MW／年相当）で処理可能であることを確認した。

ⅰ）フェイスミーリングカッターによる平面切削方式とする。
ⅱ）モジュールの固定はテーブルへの真空吸着方式とする。
ⅲ）切削屑は集塵装置による自動排出とする。

図Ⅲ-2-(へ)-E-1(1) 非加熱式バックシート剥離装置（構成図）

a-3 低コスト汎用 EVA 熱処理装置の開発

(1) EVA 熱処理装置の開発

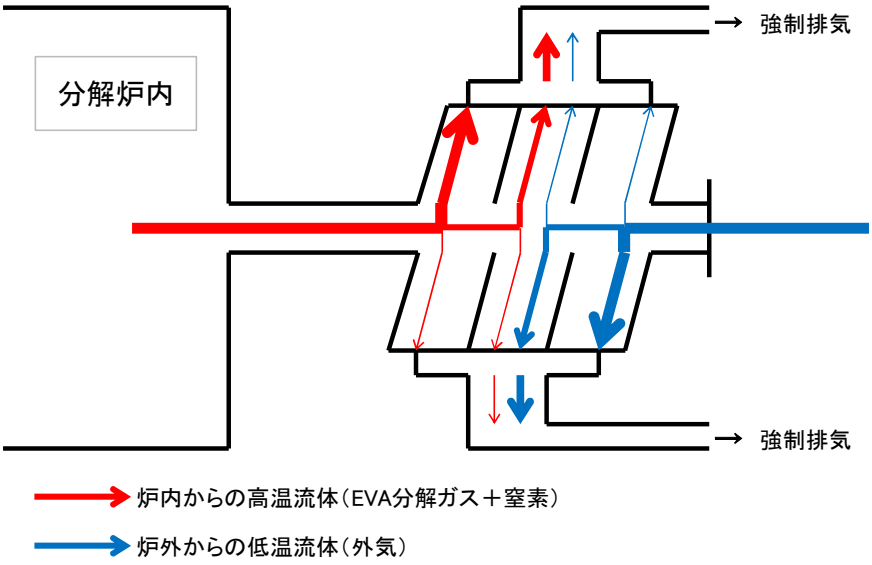
a-1 での試験データを基に予備検討を行った結果、下記仕様の EVA 熱処理装置の開発を試みた。試作した熱処理装置の全景写真を図Ⅲ-2-(へ)-E-1(2)に示す。

ⅰ）EVA を分解処理する炉（分解炉）は、ガラス破損防止のために連続加熱式とし、爆発防止のために炉内酸素濃度を 3%未満に制御する。
ⅱ）分解炉の加熱方式は、LPG 燃焼ガスによる間接加熱式とし、炉内を 500℃程度に制御する。
ⅲ）分解炉構成はガラス破損防止のため、予熱／加熱／冷却の 3 ゾーン構成とする。
ⅳ）EVA 分解ガスは吸引して燃焼炉で燃焼させ、その熱をサーマルリサイクルする。
ⅴ）処理速度は試作装置という位置付けから、2MW／年相当の 2 枚／hr 程度とする。

図Ⅲ-2-(へ)-E-1(2)　EVA 熱処理装置（装置全景）

先ず EVA 分解ガスによる爆発防止のために、分解炉の予熱・加熱・冷却の各部に窒素を注入し、炉内酸素濃度を 3%未満に制御する。通常この窒素は窒素ガス発生装置（PSA）で生成される。本装置は連続式であるために、分解炉の出入口に開口部が存在するが、この開口部からの外気流入防止機構としてラビリンスシールを有する。このラビリンスシールの構成を図Ⅲ-2-(へ)-E-1(3)に示す。

炉出入口に小部屋にセパレートされた空間を設け、強制排気を行うことにより、流体の温度差による浮力効果を利用して外気の炉内流入及び炉内雰囲気の外部流出を防ぐ機構であり、流体の流れに沿った傾斜構造が効果を飛躍的に高める。



図Ⅲ-2-(へ)-E-1(3)　EVA 熱処理装置のラビリンスシール（構成図）

次に分解炉外筒に熱風を供給して炉内を加熱する。この熱風は燃焼炉で LPG を燃焼して発生した 900～1,100℃程度の燃焼ガスを、エアーで冷却して 700～800℃に調整したものである。急冷・急加熱によるガラス破損防止のため、分解炉内各部への熱風供給流量を調整し、予熱部 350℃程度、加熱部 500℃程度、冷却部 250℃程度に制御する。

分解炉の炉内酸素濃度及び各部温度が安定したことを確認した後に、PV モジュールをメッシュベルトにて搬送し、連続的に分解炉内に投入する。PV モジュール中の

EVA は予熱部の後半から加熱部を通過する際にガス化し、エジェクターによって燃焼炉へ吸引されて燃焼することで、LPG 代替としてサーマルリサイクルされる。

上記仕様の試作機を開発し、性能試験を実施した結果、以下の成果を得た。

・各種モジュールに対し、炉内酸素濃度を 3%未満に制御可能である。
・1 枚ガラス構成の結晶 Si 系及び薄膜 Si 系モジュールについては、加熱温度 500℃程度で、ガラスの破損なしに処理可能である。
・2 枚ガラス構成の CIS 系モジュールについては、加熱温度が高くなると基板ガラスの破損が生じるので、加熱温度を 470℃程度に抑える必要がある。
・結晶 Si 系モジュールについては、出口側ラビリンス部へ電極材及び Si セルが詰まる場合がある。
・処理速度は設計仕様より向上できる可能性があるが、搬送コンベアの搬送能力律速で検証が出来ない。

1）出口側ラビリンス部の改良、及び搬送コンベアの高速化

前述のとおり、結晶 Si 系モジュール処理時の出口側ラビリンス部への電極材及び Si セルの詰り防止、及び搬送コンベアの高速化が必要であることが判明した。

そこで下記仕様の EVA 熱処理装置の改造を試みた。

ⅰ）出口側ラビリンス部への電極材及び Si セルの詰り防止のため、出口側ラビリンス部の開口高さを 9 ㎜から 15 ㎜への拡張

ⅱ）搬送コンベアの搬送速度を 4.5m／hr から 9.0m／hr への高速化

上記仕様の改造を実施し、少数枚の PV モジュールを用いた性能試験を実施した結果、出口側ラビリンス部への電極材及び Si セルの詰りは解消され、各種モジュールに対し下記条件での処理が可能であることを確認した。

・結晶 Si 系　：　12 枚／hr（12MW／Y 相当）
・薄膜 Si 系　：　12 枚／hr（12MW／Y 相当）
・CIS 系　　：　8*)枚／hr（8MW／Y 相当）

*)ただし 2 枚ガラス分離後に大気下で再熱処理することが前提

2）EVA 分解ガス吸引配管系統の閉塞防止

後述の多数枚連続処理試験結果から EVA 分解ガス吸引配管の一部に EVA 分解ガスが露結してガス管が閉塞することが判明した。そこで下記仕様の EVA 熱処理装置の改造を試みた。

ⅰ）エジェクター部（炉中央部より EVA 分解ガスを吸引）の改造

・エジェクターエアーの加温を強化する。
・「分解炉～燃焼炉」までのすべての配管を加温する。

ⅱ）ラビリンス部（炉出入口部より EVA 分解ガスを吸引）の改造

・「分解炉～ラビリンスファン」までのすべての配管を加温する。
・ラビリンス本体を保温する。
・ドレン抜き機構を追加する。

上記仕様の改造を実施し、後述の多数枚連続処理試験を実施した結果、閉塞防止効果が有効であることを確認した。

ただし系内の熱バランスが変わり、装置の一部が熱歪みによって変形するとい

う不具合が生じた。

3）装置の熱歪み防止

前述のとおり、EVA 分解ガス吸引配管系統の閉塞防止対策によって系内の熱バランスが変わり、装置の一部が熱歪みによって変形するという不具合が生じた。そこで下記仕様の EVA 熱処理装置の改造を試み、後述の多数枚連続処理試験を実施した結果、閉塞防止効果が有効であることを確認した。

ⅰ）分解炉出口ラビリンス部の改造

・補強材を追加する。

・運転条件変更により冷却部の温度を低減する。

ⅱ）燃焼炉出口配管の改造

・熱延びの吸収機構を強化する。(3 箇所にベローズを追加)

・配管内部に断熱材を施工する。

(2) EVA 熱処理後処理装置の開発

少数枚の PV モジュールを用いた性能試験結果から CIS 系のような 2 枚ガラス構成のモジュール処理では、2 枚ガラスの間の EVA 分解が不十分で未燃分が残り、後段の CIS スクレーパー性能に悪影響を及ぼすこと、また排熱量が多く燃焼ガスの熱利用効率が良くないことが判明した。そこで下記仕様の EVA 熱処理後処理装置の開発を試みた。

ⅰ）EVA 熱処理装置で処理されたモジュールを大気雰囲気下で 500℃程度に再加熱する。

ⅱ）加熱源として EVA 熱処理装置の排熱を利用する。(排熱を約 70%削減)

上記仕様の試作機を開発し、少数枚の PV モジュールを用いた性能試験を実施した結果、後処理装置の出入口境界の温度勾配を緩和し、ガラス基板反りの発生を防止する必要があることが判明した。そのため出入口部に追加フードを設けて出入口近傍の温度勾配を緩和する改造を試みた。

この改造を実施し、後述の多数枚連続処理試験を実施した結果、良好に処理可能であることを確認した。

a-4 モジュール搬送装置及びモジュールローダー・アンローダー開発

(1) モジュールローダー・アンローダーの開発

PV リサイクル処理プロセスは、多数のプロセスから成り立つが、各プロセス間で PV モジュールをハンドリングして次工程に繋ぐ必要がある。様々なサイズ、重量のモジュールをハンドリング出来るものを検討した結果、図Ⅲ-2-(へ)-E-1(4)に示すような、汎用性の高い 6 自由度を有する垂直多関節型ロボットを採用・導入した。また後述するロジスティックスで必要となる、各種モジュールを回収・搬送するためのカセットを検討・試作した。導入した試作機を用いて性能試験を実施した結果、以下の成果を得た。

・各種 PV モジュールを 0.5 分／枚（100MW／Y 相当）でハンドリング可能である。

・PV モジュールを吸着する吸着パッドの間隔が広く、小サイズモジュールの場合

は半数の 4 個で吸着せざるを得ず、吸着不良が発生する場合がある。

図Ⅲ-2-(へ)-E-1(4)　モジュールローダー・アンローダー及びカセット

1）吸着方法の改良

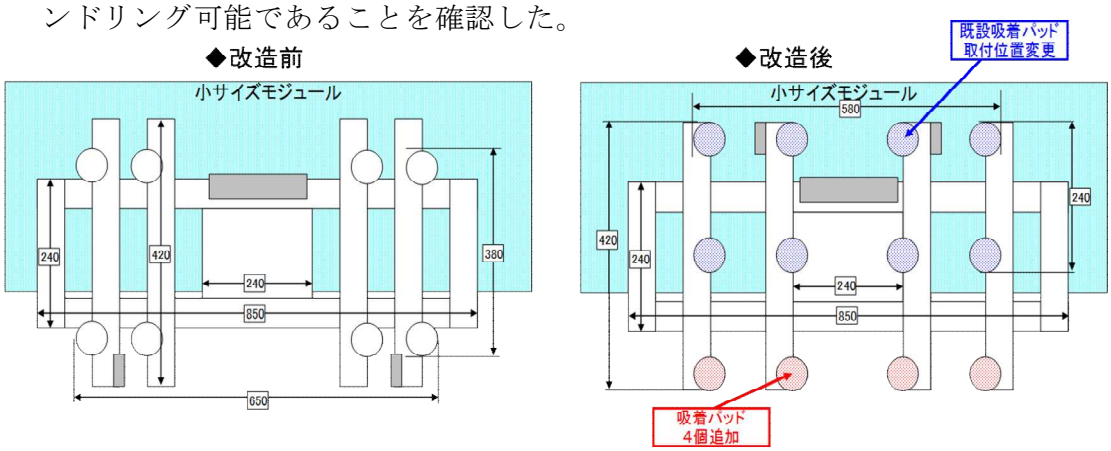
前述のとおり、小サイズモジュールの場合に吸着不良が発生する場合があることが判明した。そこで各種モジュールに対応可能な吸着方法を検討した結果、図Ⅲ-2-(へ)-E-1(5)に示すような、下記仕様のモジュールローダー・アンローダーの改造を試みた。

ⅰ）吸着パッドの間隔を狭くし、全 8 個の吸着パッドで吸着できるように取付位置を変更する。

ⅱ）上記ⅰ）の改造によって吸着パッドで囲まれる領域が狭くなり、大サイズモジュールに対する吸着力が不十分となるため、吸着パッドを 4 個増設する。

ⅲ）真空ポンプを 1 台増設し、吸着力を強化する。

上記仕様の改造を実施し、性能試験を実施した結果、各種モジュールに対してハンドリング可能であることを確認した。



図Ⅲ-2-(へ)-E-1(5)　モジュールローダー・アンローダーの吸着パッド改造箇所

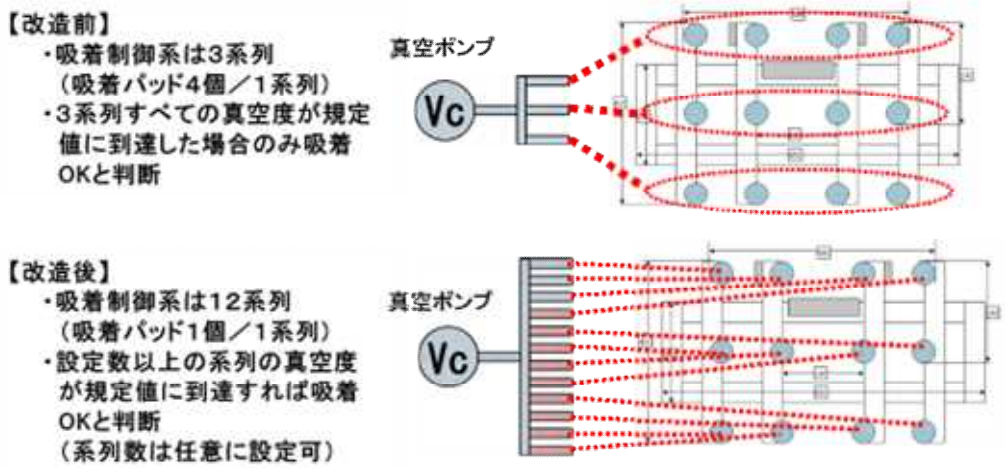
2）吸着確認方法の改良

後述の多数枚連続処理試験結果から、アルミ枠解体時に発生するシール材等の破片が吸着パッドにかかり、吸着不良を発生する場合があることが判明した。そこで吸着不良対策を検討した結果、図Ⅲ-2-(へ)-E-1(6)に示すような、下記仕様のモジュールローダー・アンローダーの改造を試み、性能試験を実施した結果、改造効果が良好であることを確認した。

ｉ）全 12 個の吸着パッドの制御系を 3 系列から 12 系列に変更する。

ⅱ）設定数以上の系列の真空度が規定値に到達すれば吸着 OK と判断するように制御プログラムを変更する。

なおモジュール搬送装置としては、バックシート剥離装置で処理されたモジュールの次工程 EVA 熱処理装置への搬送用に、自動ローラーコンベアを採用・導入した。



図Ⅲ-2-(へ)-E-1(6)　モジュールローダー・アンローダーの吸着制御系改造

(2)　モジュールローダー・アンローダー後処理装置(アルミ枠解体支援装置)の開発

1）加熱式アルミ枠解体支援装置の開発

モジュールのローディング後、次工程のバックシート剥離装置へ送るには、アルミ枠及び端子箱を解体する必要があり、下記仕様の加熱式アルミ枠解体支援装置の開発を試みた。

ｉ）電気ヒーターにより 200℃程度の熱風を加熱炉内で循環させてモジュール全体を加熱し、アルミ枠と端子箱を接着している封止材を軟化させる。

ⅱ）加熱炉から排出されたモジュールを、回転テーブル上で手作業にてアルミ枠を解体し、その後に端子箱をナイフエッジ状の治具を用いて解体する。

上記仕様の試作機を開発し、性能試験を実施した結果、以下の成果を得た。

・封止材の種類がブチルゴムであるモジュールについては、手作業で容易にアルミ枠及び端子箱の解体が出来ることを確認した。

・封止材の種類がシリコンゴムであるモジュールについては、加熱しても封止材が軟化せず、人力では解体困難であることが判明した。

2）非加熱式アルミ枠解体支援装置の開発

前述の通り、加熱式アルミ枠解体支援装置では解体困難なモジュールがあることが判明したため、各種モジュールに対応可能な処理方法を検討し、図Ⅲ-2-(へ)-E-1(7)に示すような、下記仕様の非加熱式アルミ枠解体支援装置の開発を試みた。

ｉ）エアーシリンダーでモジュールを作業テーブル上に押し付けて固定する。

ⅱ）アルミ枠端部をエアーシリンダーにて 30MPa 程度の力で押し剥がした後、手動でエアーシリンダーを横方向に走行させて、アルミ枠の一辺を押し剥

がす。その後モジュールを回転させ、同様の操作を行い、アルミ枠全体（4辺）を解体する。

図Ⅲ-2-(へ)-E-1(7)　非加熱式アルミ枠解体支援装置

上記仕様の試作機を開発し、性能試験を実施した結果、以下の成果を得た。

・各種モジュールについて、アルミ枠解体が可能であることを確認した。
・エアーシリンダーのヘッド部の形状を、ナイフエッジ状に改造することにより端子箱解体にも応用出来る可能性があることを確認した。
・エアーシリンダー動作やモジュール移動が手動であるため、作業負荷が高く、処理速度が5分／枚程度（10MW／Y相当）となる。

3）端子箱解体機構の追加及び自動化

前述の非加熱式アルミ枠解体支援装置試作で判明した課題とその対策を反映するため、図Ⅲ-2-(へ)-E-1(8)に示すような、下記仕様の非加熱式アルミ枠解体支援装置の改造を試みた。

ⅰ）端子箱解体機構を追加する。
ⅱ）エアーシリンダー動作及びヘッド（解体機構）走行を自動化する。
ⅲ）モジュールローダー・アンローダーを流用しモジュール移動を自動化する。
ⅳ）アルミ枠外し走査時間設定を自動化する。

図Ⅲ-2-(へ)-E-1(8)　非加熱式アルミ枠解体支援装置（改造後）

先ずパレットに積み付けられた PV モジュールを、モジュールローダー・アンローダー（ロボット）にて作業テーブル上へローディングする。

次にエアーシリンダーで PV モジュールを作業テーブル上に押し付けて固定し、アルミ枠端部をヘッド部がローラー状のエアーシリンダーにて 30MPa 程度の力で押し剥がした状態で、エアーシリンダーが横方向に走行することによって、アルミ枠全体を押し剥がす。ロボットで PV モジュールを回転させながら、残り 3 辺のアルミ枠も同様の手順で押し剥がす。

次にアルミ枠解体と同様の機構で端子箱を解体するが、その際にはヘッド部がナイフエッジ状のエアーシリンダーを使用する。ナイフエッジが端子箱とバックシートの間に入り込んで、端子箱と配線を剥ぎ取ることが可能となる。最後にロボットにて次工程のバックシート除去装置へとローディングする。

以上の動作は、事前にロボットの制御プログラムを作成しておくことでほぼ自動で実施されるが、モジュールの種類によってはアルミ枠や端子箱が PV モジュール上に残った状態になる場合があるので、その時は人手で回収する必要がある。上記仕様の改造を実施し、性能試験を実施した結果、各種モジュールに対し 2.5 分／枚（20MW／Y）相当で処理可能であることを確認した。

４）人と機械の混在作業における安全対策

後述の多数枚連続処理試験を実施する際の課題を検討した結果、長期間に亘る人と機械の混在作業に於いて、半自動化された解体支援装置の可動範囲内での人手作業は避けねばならないことが分かった。そこで安全対策を検討し、下記仕様の非加熱式アルミ枠解体支援装置の改造を試み、後述の多数枚連続処理試験を実施した結果、安全上問題がないことを確認した。

・アルミ枠解体後に作業テーブルのみを水平移動させて、装置の稼働範囲外で人手作業ができるように改造する。

ａ-5　有価物回収装置検討・試作（薄膜スクレーパーと粉塵回収装置）

(1)　装置試作と性能確認

１）薄膜スクレーパーの検討と試作

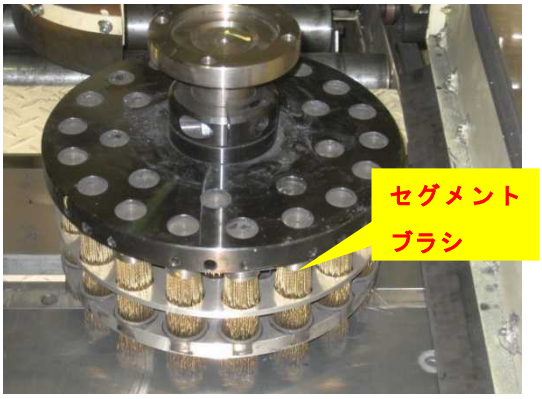
パイロットプラント建設を念頭に置いた有価物回収装置検討及び試作を目的として、汎用 EVA 熱処理装置（前掲ａ-3）で処理した後の基板ガラス表面に残された CIS 系薄膜金属（表面透明電極層及び CIS 層）の除去方法を検討した。さらに除去した薄膜金属粉を回収できるよう粉塵回収方法を検討し、「薄膜スクレーパー」及び除去した薄膜金属を回収する「粉塵回収装置」を試作し、性能を評価した。

基板表面の金属を除去する方法として、金属ブラシ、サンドブラスター、ドライアイスブラスター、超硬チップ、レーザー（1.06μｍ）等が考えられたが、薄膜金属除去性能や装置の価格、ランニングコストなどを比較した結果、立て式金属ブラシが優れていることが分かった。

金属ブラシは、針金の支点から弾性限度内で針金を撓ませてその反力で研磨する力を得る機構である。CIS 系薄膜金属除去は、直径 0.2㎜～0.5㎜ 程度の炭素鋼の針金を束ねて直径 20㎜ 程度にしたセグメントブラシを、スチール製等の円板内の直径

200mm の円周上に 18 個並べて固定し、その円盤を回転させて行う。これにより幅 200mm の範囲を除去可能であり、この円盤を必要個数並べてサーキット基板の幅を除去できる装置とした。上記検討結果を反映した「薄膜スクレーパー」を試作し、1,210mm×930mm のガラス基板全面に成膜された CIS 系薄膜金属除去試験を実施し性能を評価した。

写真Ⅲ-2-(へ)-E-1(1)、Ⅲ-2-(へ)-E-1(2)は、試作した薄膜スクレーパーと心臓部であるブラシユニットである。ブラシユニットは改造後のものでセグメントブラシ数は 27 個である。



写真Ⅲ-2-(へ)-E-1(1)　試作した薄膜スクレーパー　　写真Ⅲ-2-(へ)-E-1(2)　ブラシユニット

その結果スループットとして、1 時間当たり 45 枚処理できることが分かった。これは、年間 20MW 以上の処理に相当する（モジュールあたりの発電量を 150W とした場合)。ただし、裏面電極であるモリブデンを除去することはできなかった。装置の動作状況を確認し、以下の知見を得た。

ⅰ）　炭素鋼の針金を束ねたブラシで運転条件を最適化（切り込み量 1.0mm、ブラシ回転 1000rpm、ワーク搬送 50mm/秒）することで、モリブデン層より上の CIS 薄膜金属を除去できた。

ⅱ）当初の薄い板状の搬送テーブル（以後、パレットという）では、CIS 系薄膜金属を除去する際の抵抗で「薄膜スクレーパー」全体が振動したため、振動の除去のために装置の剛性の向上の必要性が認識された。

ⅲ）CIS 系薄膜金属表面に固着したカーボンは除去し難く、一部が除去できても薄膜金属粉に混入し、それが製錬に支障を来す可能性のあることが非鉄金属製錬会社への調査でわかった。

処理するサーキット基板によっては、装置に振動が発生することが判明し、振動の原因究明及び対策が以後の課題となった。

２）粉塵回収装置の検討と試作

基板から除去された CIS 系薄膜金属粉（以下、金属粉という）の「かさ密度」は 1,920kg/m^{3}で非常に重く「粉塵回収装置」の吸引圧力を強くする必要があった。「粉塵回収装置」の吸引口に対向する場所に圧縮空気吹き出し口を設けて、除去した金属粉に運動エネルギーを与え、直接吸引口に向かうように設計し加工した。

吸引口から多少離れた場所にある金属粉を吸引できるように吸引口近傍の配管内

圧力（静圧）を実験で検討した結果、吸引口から 10mm 離れた場所にある金属粉を吸引するには、少なくとも吸引口近傍の配管内で 3kPa の吸引圧力が必要であることがわかった。

「薄膜スクレーパー」の吸引口は 6 個所であり合計 18kPa の圧力が必要なため、市販の集塵機から 19kPa＠15 ㎥/min の能力のある集塵機を選定した。

上記検討結果を反映した「粉塵回収装置」を試作して性能を評価した。その結果、薄膜金属を除去した基板ガラス表面には、ほとんど金属粉は認められず、良好な粉塵回収機能を確認した。以後は、粉塵回収装置のフィルター目詰まりと吸引圧力について、多量のスクレーピングを行って検証する必要があった。

3）回収金属（合金）の成分分析

20MW/年の処理能力を持つパイロットプラントで除去・回収する金属粉から、それぞれの要素金属の製錬可能量を把握するため、公的機関（一般財団法人材料科学技術振興財団、略称 MST）で成分分析を行った。供試した金属粉は、EVA 熱処理装置などで加熱したものではなく非加熱金属粉である。さらに 4 機関に分析を依頼し、合わせて 5 機関での測定値バラツキは、表Ⅲ-2-(へ)-E-1(1)の通りであった。

表Ⅲ-2-(へ)-E-1(1)　回収した金属粉の 5 機関による分析値の平均値とバラツキ

	Cu	In	Se	Ga	Zn
平均値 wt%	8.84	13.0	19.7	3.4	42.8
標準偏差	0.46	2.42	1.17	1.01	1.27

あるロットについての分析値より 20MW 処理時の年間回収量を推定すると、Cu：274kg、In：130kg、Se：290kg、Zn：651kg、Ga：26kg と算出できた。

(2)　装置改造と安定性評価

1）薄膜スクレーパーの実験的運用

試作した有価物回収装置（薄膜スクレーパーと粉塵回収装置）の運転データ取得のため、CIS 系サーキット基板の処理を行う運転実験を以下の条件（表Ⅲ-2-(へ)-E-1(2)）で実施した。運転実験における装置の振動について得られた知見を表Ⅲ-2-(へ)-E-1(3)に示す。

表Ⅲ-2-(へ)-E-1(2)　　運転実験時の装置運転条件

運転項目	運転条件
ブラシ回転数	1000rpm(800rpm 以下ではモーターが停止する場合あり)
ワーク搬送速度	50mm/秒
ブラシ*切り込み量	サーキット基板表面に対して 1.0mm(最大 1.2mm まで可)
スクレーピング作業	往復で作業を行い、搬送速度 50mm/秒でタクトタイム 80 秒

*ブラシ材質：炭素鋼、φ0.35mm

表Ⅲ-2-(へ)-E-1(3)　薄膜スクレーパーによる薄膜金属除去作業中の振動発生の状況

振動発生の状況	推定される原因
非加熱サーキット基板からの CIS 層の除去は、安定した動作が認められたが、振動が発生した場合もあった。	サーキット基板の表面透明電極層の Zn は厚く、かつ硬いので、ブラシ駆動モーターが CIS 系薄膜金属除去の際に抵抗を受けて振動した。
熱処理時間が違うサーキット基板間で除去時の振動の大きさに差が認められた。	基板表面に固着したカーボンによりブラシの押付け力が強くなりブラシ駆動モーターを振動させ、その振動がパレット、ローラーコンベア軸受けに伝わり、さらに装置筐体に伝わった。カーボン膜厚が 3μm 以上では顕著であった。

上記の知見より、サーキット基板上の厚く硬い膜を除去する際の抵抗力が振動の根本原因であると考えられた。

振動が大きいと薄膜金属層の一部が除去できないことがわかった。今後の装置改造の参考ために、CIS 系サーキット基板から CIS 系金属薄膜をブラシで除去する際に、特に硬い表面透明電極に抗するために必要な工学的要素を検討し表Ⅲ-2-(へ)-E-1(4)にまとめた。

表Ⅲ-2-(へ)-E-1(4)　薄膜スクレーパーによる処理に必要な工学的要素
(硬い薄膜を含む場合)

装置要素	要求性能（仕様）
モーター	強い回転トルク(低回転での停止回避)
セグメントブラシ強度	たわみが弾性限度まで余裕ある強い針金で構成されている。
セグメントブラシ構成	ブラッシング時間を長くするために同心円上に二重に配置
ローラーコンベア／軸受け	ブラシ押付け量をたわみや変形等なく受ける。
装置筐体／設置構造	ローラーコンベアを歪まずに支える筐体とブラシ押付け力(60kg～75kg(新東工業計測))点の直下を床で支える構造
パレット	特殊形状に加工したアルミニウム製(厚さを 50mm に倍増)

2）薄膜スクレーパーの改造と安定性の定量化

改造前、25mm 厚のアルミニウム製パレットでは、10 回程度の薄膜除去作業をするとその中心部付近で最大 0.75mm の歪みの発生が認められた。また薄膜スクレーパーは、ワーク加工時に装置の振動が認められたため、次の３点の現象を改善すべく当該装置を改造した。

・25mm アルミニウム製パレットの歪み

・ローラーコンベア軸受けのずれ易さと軸受け支持部の強度不足

・硬い表面透明電極（ZnO）を除去する際の抵抗による装置全体を揺るがす振動

改造の具体策は、上記 3 項目を勘案して装置稼働時の安定化を目的に、キャビネットフレーム、出入り口ローラー下部やアルミ製パレットの高剛性化等の措置を講じた。

18 本のセグメントブラシではブラシの進行方向中心部でのブラシによる研磨時間

が短くなるので、研磨時間を長くしてCIS系薄膜金属の除去性能を向上させることを意図して、同心円上に二重にブラシを配置して１つのブラシユニットで全27本とした。薄膜金属を除去するのに装置各部位の剛性が不足していたので、荷重を撓みなく、かつ振動せずに支えるために軸受けやその支持部および筐体の一部の剛性を向上させることとした。

その結果、改造前に86～97μmであった振幅が、改造後に29～43μm程度と約1/3に減衰し、体感振動音は大幅に減少した。

３）CIS系薄膜金属除去における初期の知見

薄膜スクレーパーでCIS系薄膜金属を除去して、以下の知見を得た。

ⅰ）連続式「汎用EVA熱処理装置」で熱処理したCIS系サーキット基板は、熱処理していないサーキット基板より容易にCIS系金属粉を除去でき、振動も少なかった。

ⅱ）CIS系サーキット基板の薄膜金属を除去すると、大きく分けて次の3つの除去結果を得た。供試サンプルは、加熱処理していないサーキット基板、及び連続式「汎用EVA熱処理装置」で熱処理したサーキット基板であった。

ａ．薄膜金属が完全に除去され、きれいなモリブデン層の鏡面となった。

ｂ．CIS層を除去できたが、指の感触では感知できない白い筋が表面に残った。この白い筋状物質は、サーキット基板の熱処理の有無に関わらず出現した。

ｃ．サーキット基板上の僅か一部に除去すべき物質が残った。または、表面に固着したカーボンらしき焦げ茶色の、除去できなかった物質が残った。

４）CIS系薄膜金属除去と基板表面状態

ⅰ）CIS系薄膜金属除去後の表面状態

CIS系薄膜金属を「薄膜スクレーパー」で除去すると滑らかなモリブデン層が露出する。モリブデン層は外観上鏡面状態で、表面粗さ計で計測すると凹凸の高さは0.1μm以下であった。

上述の通り、「薄膜スクレーパー」の運転動作確認中に殆どのサーキット基板では薄膜金属を除去でき、光沢のあるモリブデン層が得られたが、稀にモリブデン層上にブラシの痕跡状に白い筋が見られた。表面粗さ計で計測した結果、白いブラシ痕跡状の筋状物質の厚さは、最大で0.4μmであった。

このブラシの痕跡状の白い筋部分をEDXで分析したところ亜鉛、銅、セレンが認められ、モリブデンはこれらに隠れ検出できなかった。その結果、ブラシの痕跡状の白い筋部分はCIS層が完全に除去されず、亜鉛、銅、セレンが表面に残ったものであると考えられた。

CIS層がきれいに除去できた鏡面状態のモリブデン層をEDXで分析したところ、モリブデンの他にセレン、銅等が検出された。銅は鏡面上の微小な付着物と考えられ、検出されたセレンはモリブデンとの化合物で良好な潤滑性を有するモリブデンセレナイドの可能性も考えられた。

ⅱ）サーキット基板上のカーボン固着

薄膜スクレーパーの前工程の装置である汎用EVA熱処理装置で加熱してラミネートからEVAを蒸発し分離する段階で、サーキット基板表面にEVA由来のカーボンが固着していると薄膜スクレーパーでは除去できなかった。カーボンには、硬い状態

のものと粘性の高い液状の物質があるが、何れも薄膜スクレーパーでの処理で問題を起こすことがわかった。非鉄製錬に関するカーボン固着の問題は後に詳述するが、金属粉にカーボンが混入すると製錬性が悪くなるとの情報が複数の非鉄製錬会社から得られていた。また、薄膜金属除去工程では金属粉量を予定通り採取できない事態となり、粘性の高い液状物質が付着しているとブラシにカーボンが付着するなどの問題があることがわかった。

薄膜スクレーパーでCIS系薄膜金属を除去した際には、カーボンと思われる場所で当装置が大きく振動した。カーボン固着のない熱処理したサーキット基板は、熱処理をしていないサーキット基板より振動が若干少なく、部分的に除去できない薄膜金属は皆無であった。

5）カーボン粉混入CIS系薄膜金属粉の製錬性評価

カーボン粉が混入したCIS系薄膜金属粉の製錬性評価のために、汎用EVA熱処理装置でカバーガラスを分離したサーキット基板20枚の薄膜を除去して、評価用サンプルを調製した。黒い物質の成分を分析したところ、サンプル量17.3ｇのうちカーボンが1.17wt%（MST分析）含まれていた。黒い物質をカーボンと考えて、国内非鉄製錬会社5社にサンプルを提供してカーボン混入の影響の評価を依頼した。各社の評価は製錬方式の相違により下記のように異なったが、混入は望ましくないと思われる。

・カーボン混入は問題ない。（2社）
・カーボン混入は少量では問題ないが、1%近くなると問題になる。（１社）
・カーボンの混入には対応できない。（１社）
・具体的コメントなし。（１社）

従って薄膜スクレーパーで処理するためには、その前処理に当たる汎用EVA熱処理装置での加熱条件を十分に調整して、カーボンが残らないようにすることが重要である。

6）CIS系薄膜金属粉販売とセレン分離

金属粉販売先としての、非鉄製錬会社は各社独自の製錬方式を採用しており、金属粉へのセレンの混入についても会社により対応は異なっていた。カーボンの影響評価を依頼した同じ5社のセレンへの対応を次に示す。

セレン混入不可　：１社・・・高温にて溶融
セレン対応限定　：１社・・・セレン除去の手数料と販売金額の相殺
セレン可　　：３社・・・セレンを販売している中規模製錬会社

セレン分離に関する実験的検討も行ったが、セレンの分離に関わる環境安全、セレン分離装置の償却費と保全・維持費の観点から、薄膜スクレーパーで除去した状態で非鉄製錬会社に出荷する方が、運用上からも稼働負荷軽減からも採算性に合致すると判断した。従って、セレン分離装置を導入しない方が望ましいと結論した。

7）割れたサーキット基板の処理

サーキット基板の破損は、輸送中、「汎用EVA熱処理装置」での処理中、あるいは「薄膜スクレーパー」での薄膜金属除去中などで発生することを経験した。少しでも多くの金属粉を採取するために、破損サーキット基板から金属を除去する方法として、①静電気吸着方法、②乾式分離方法、③ろ過式分離方法などを検討したが、あ

まり良い結果は得られなかった。

それに比べ、サーキット基板を粉砕しないで金属を除去する方法として、薄膜スクレーパーのパレットを真空吸引式としてサーキット基板を吸引し、破損ガラスを固定して金属粉を除去する方法の有効性が見えてきたため、後掲のａ-5 の(3)の 3)ⅱ）で詳細な検討を行った。

(3)　装置安定性と処理コスト評価

1）処理装置の安定性評価

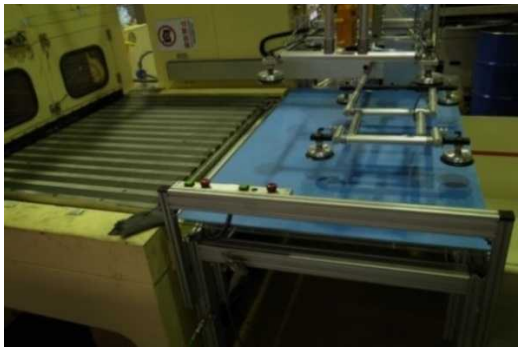
処理装置の信頼性把握、部品損耗状態、メンテナンス頻度等のデータに基づく安定性評価を行うと共に、回収物の有価性評価を計画した。その一貫として装置稼働の安定性の評価のために太陽電池工場から排出されたサーキット基板（以下ワークという）を使った薄膜スクレーパーによるCIS系薄膜金属除去の短期集中実験（1回あたり５～９日間）を開始し、2013年～2014年にかけて合計で6回実施した。

この実験の目的は、ⅰ）薄膜スクレーパーの処理能力、ⅱ）CIS系薄膜金属粉回収量、ⅲ）装置の運転状況（ブラシ摩耗量及び交換頻度、部品交換頻度、所用動力、メンテンナンス頻度、動作の安定性・安全性、トラブルの種類と頻度)、ⅳ）装置周囲での粉塵濃度測定、ⅴ）ガラス割れ条件および割れ率等についてのデータの採取であり、以下に結果を示す。

ⅰ）薄膜スクレーパーの処理能力

短期集中実験に先立って、薄膜スクレーパーのパレット上に載置してあるCIS系薄膜金属除去後のワークを、除去処理前のワークと差し替える動作を手積みで行って所要時間を計測した結果、処理前と処理済のワークの差し替えがタクトタイムに大きく影響することがわかった。

そこで作業効率向上のために、吸着式基板移載装置（写真Ⅲ-2-(へ)-E-1(3)）を内作して使用した。手積みではタクトタイムはワーク 1 枚当たり 129 秒であったが、吸着式基板移載装置を使用することで、合計21秒縮減し90秒とした。第二回集中実験で処理能力を計算すると、40枚/1時間、1日8時間、月30日稼働として年間115,200枚となり、ワークに対応するモジュール１枚の発電量を150Wとすると17.3MW/年に相当した。



写真Ⅲ-2-(へ)-E-1(3)　吸着式基板移載装置（ロボット）

さらにパレットへのワークの固定をエアー吸着式（写真Ⅲ-2-(へ)-E-1(4)、Ⅲ-2-(へ)-E-1(5)）にすることによって、搬送速度を高速化でき、タクトタイムは72秒

となった。これは 50 枚/1 時間、1 日 8 時間、月 30 日稼働として、年間 144,000 枚を処理できる能力であり、出力としては年間 21.6MW 処理に相当した。

写真Ⅲ-2-(へ)-E-1(4)
エアー吸着パレット（穴あきパレット部）

写真Ⅲ-2-(へ)-E-1(5)
エアー吸着パレット（真空ホース部）

ⅱ）CIS 系薄膜金属粉回収量

一回目と二回目の試験における CIS 系金属粉の集塵機での回収率は、其々52.1%と63.4%であり、金属粉回収能力を向上すべく、風量の大きな集塵機と、基板表面に残留した金属粉の回収のための「二次集塵装置」を導入する改造を行った。

集塵機（大）の風量は 39m^3/min、既設集塵機（小）は 6.7m^3/min で、合計風量は 45.7m^3/min となった。これらの装置導入後の運転では除去後の基板ガラス表面のモリブデン表面に CIS 系金属粉は触指では認められなかった。

回収された金属粉は集塵機（大、小）に付属のフィルターと集塵機内壁および粉塵受けのトレイに蓄積されるが、相当の量が集塵機（大）の 12 本のフィルターに付着していた。

第三回目と第四回目を合わせた CIS 系薄膜金属粉回収量は、その間の処理枚数合計 1,449 枚に対する回収期待量 15.57kg（ワークの CIS 膜の厚さと面積から CIS 系金属量を求めた理論値）に対して実回収量 14.22kg で、回収率は 91.3%となった。さらに、第五回目と第六回目を合わせた CIS 系金属粉の回収量は、その間の処理枚数合計 700 枚に対する回収期待量 7.52kg（ワークの CIS 膜の厚さと面積から薄膜金属量を求めた理論値）に対して実回収量 9.72kg であり、回収率は 100%を超えていた。この原因として、フィルターに付着した金属粉や集塵機内壁に付着した金属粉の回収をかなり徹底的に行った結果、第三回目と第四回目の実験時に取り切れず、フィルターや集塵機内壁に残存していた金属粉まで回収したことが考えられた。回収率向上のための改造前の第一回目実験の回収率 52.1%、第二回目実験の回収率 63.4%に比較して、金属粉の回収率は満足できるレベルまで向上したことを確認した。

ⅲ）装置の運転状況

a）ブラシ摩耗量

ブラシ摩耗は第一回目実験終了時ではほとんど認められなかった。しかし第六回目実験終了時には処理枚数が 4,864 枚相当に達したため、ブラシ摩耗量を測定した。ブラシホルダは合計 6 本設置されており、其々の摩耗量は 0.39mm～0.84mm であったが、この程度のブラシ摩耗量は問題ない範囲である。

b）所要電力

薄膜スクレーパーの 1 日当たりの電力使用量は、8 時間稼働平均（第一回目と第二回目）で 29.6kWh であった。電力単価を 11.91 円/kWh（九州電力、産業用 A、基本料金その他の賦課金は含まない）として計算すると、必要電力料金は第四回目 1.55 円/1 枚となり、第一回目の 2.10 円/1 枚より下がっていた。モジュール出力を 150W と仮定すると、第四回目は 0.010 円/W（第一回目 0.014 円/W）であった。CIS 系薄膜金属除去時間は 73 秒であり、装置自体の振動の大小で僅かに電力消費量が異なることがわかった。

c）動作の安定性

CIS 系薄膜金属を除去する際に、ブラシが薄膜金属の抵抗を受けて装置自体が振動していたので、ブラシ駆動モーター取付け台座の振動（振幅）を測定した。振幅値は第一回目から第四回目まで、ほぼ 49μm～60μm の間で推移した。

第五回目でワークを酸化モリブデン膜付きのガラス基板に替えたところ、負荷が大きくなって装置の振動も大きくなり、ブラシがワークの上を跳ねてしまい、酸化モリブデンを適切に削り取ることができなかった。ブラシの切込みを 0.3mm 上げて負荷を下げ、さらに、ブラシの回転数も上げて、一枚につき 2 回のスクレーピング処理を実施したの結果、酸化モリブデンを削り取ることができた。

合計 6 回の集中実験を通して装置に故障はなかったが、処理したガラスの枚数が 5,000 枚に近づき、ブラシにもわずかではあるが摩耗が見られたため、保守・メンテナンスを行うこととした。

d）稼働中のトラブル

・基板ガラス割れの原因の一つは、CIS 系薄膜金属除去中にワークが動いて、ブラシに削られて低くなったストップピンに乗り上げることであった。これらの対策として、前記ｉ）項で述べたパレットのエアー吸着化により、この問題を解決することができた。また、破損したワークもパレットに吸着させることにより、ほぼ 100%処理することが可能であることが確認できた。

・搬送系トラブルのうち、パレット搬送途中の停止と除去作業終了後のパレットオーバーランは、飛散した CIS 系金属粉が発光・受光センサーの光路を妨げてことに起因すると推察された。前記 CIS 系金属粉の回収効率を向上させるための改造により、これらのトラブルは解消した。ブラシ回転停止後のパレット搬送停止は、今後に生起した場合は引き続き原因を究明することとした。

ⅳ）装置周囲での粉塵量測定

薄膜スクレーパーの加工室よりパレットが通過するスリットから 15cm 離れた場所で、スリット等から漏れ出て来る粉塵量を測定し結果、除去前で 0.094mg/m³（1 分値）、除去中で 0.21 mg/m³（1 分値）であった。粉塵許容限度の指標として、日本産業衛生学会勧告値、吸入性粉塵量１mg/m³（酸化鉄を含む第２種粉塵）が提示されているが、この許容限度と比べて低い値であった。

２） 回収有価物の再利用方法の検討／モリブデン付きガラスの処理

二回の実験における CIS 系薄膜金属除去の処理枚数合計は 1,610 枚（CIS 膜付き破損ガラスを含む）であったが、その全てをモリブデン付きガラスにできたとすると、外部での処理費用は一例として 20 円/kg を採用すると、全ワーク（重量 5.3kg/枚）

で 170,660 円となる。CIS モジュールの発電量は 150W/枚なので、年間 20MW 相当（133,333 枚、706,666kg）の処理をする場合は、同様に計算して年間 1,413 万円の支出となる。この支出の削減のために、モリブデン付きガラスを処理してモリブデン層を除去する技術の検討を行った。

モリブデンは大気の酸素濃度雰囲気で、450℃以上で加熱することで乳白色のモリブデン酸化物に変質することがわかった。この乳白色物質を除去する方法としては、第一の方法が加熱後に金属ブラシ等で擦り取る、第二の方法が加熱後に水を塗布し、紙やすりで擦り取ることが考えられる。

第一の方法は、既存設備（薄膜スクレーパー）を使用できる点が利点であり、この酸化モリブデン系の乳白色物質を薄膜スクレーパーで除去する技術を 2014 年 2 月に特許出願した。

第二の方法では、水塗布装置（スプレイ）と研削装置が必要であり、コロイド状の乳白色物質がガラス表面に付着するので水洗いが必要となる。

回収ガラスの売却価格は、一例で 1 円/kg－ガラスであり、年間 20MW 相当（133,333 枚、706,666kg）では 1,413 万円の支出の代わりに 71 万円の収入が得られるため、年間で 20MW に相当する枚数を処理した場合、処理費用を差し引きで 1,484 万円（=1,413－(－71)）（年間）低減できる可能性が窺えた。

しかし、モリブデン膜付きガラスを大気の酸素濃度雰囲気で、450℃以上で加熱することによるコスト増と、酸化モリブデン膜を除去するための薄膜スクレーパーの追加導入によるコスト増をカバーできないことから、内部処理は断念した（後掲）。

3） 回収有価物の再利用方法の検討／破損した CIS 膜付き割れガラスの処理

CIS 膜付きの割れガラスの発生数は少ないが、その外部業者の引き取り価格は、モリブデン膜付きガラスのそれの約 8 倍（162 円/kg）との例もある。コスト削減のためにこれまで薄膜スクレーパーで処理できなかった破損したガラス基板の処理を、二種の方法で検討した。

ⅰ）乾式振動バレル研磨法

乾式振動バレル研磨装置に集塵機を接続する改造を実施し、約 120 枚相当のサーキット基板をサンプルとして処理試験を実施した。その結果、CIS 系薄膜の回収率は 84.2.％、タクトタイムは最大でガラス 3 枚/30 分、研磨装置機能をフルに使えば最大 12 枚/ｈの処理が可能となる。

モジュール処理量 20MW／年（133,333 枚／年）、破損率 1%（1,333 枚／年）を前提とすると、バレル研磨法により破損した CIS 膜付き割れガラスの処理には 111 時間/年（9.3 時間/月）を要し、1 日 8 時間労働では 1 か月あたり 2 日以内で対応可能であることが分かった。しかし費用対効果から、次項の薄膜スクレーパーによる方法が有効と判断した。

ⅱ）薄膜スクレーパーによる方法による検討

エアー吸着方式への改造後の薄膜スクレーパーによる破損ワーク処理の処理効率を検討するため、約 207 枚相当の割れた電極リボン付 CIS 基板 1.20 トンの処理を行った。ワークを割れたまま、あるいは適度な大きさにカットしてパレットにエアー吸着させて（写真Ⅲ-2-(へ)-E-1(6)）スクレーピング処理をした。その前処理

としてCIS基板から電極リボンを取り外す必要があり、その際割れが誘発され、処理効率が大幅に低下した。小さなワークは回転ブラシで飛ばされないように、周囲を比較的大きなワークで囲んで処理した（写真Ⅲ-2-(へ)-E-1(7)）。

写真Ⅲ-2-(へ)-E-1(6)　CIS基板の吸着状況

写真Ⅲ-2-(へ)-E-1(7)
大きなワークに囲まれた小さなワーク

その結果、処理できなかった小さなワーク（5cm×5cm 以下程度）の重量は6.262kgで、破損したワーク全体（1.20 トン）の0.52%であり、外部業者に処理させた。本実験ではワーク 1.20 トンの薄膜スクレーパー処理に、搬送手間も含めて研究員 2 名で 28.5 時間を要した。平均処理時間（タクトタイム）は 496 秒/枚であった。

年間 20MW 分を薄膜スクレーパー処理し破損率を 1%と仮定した場合、150W/枚の基板で 1,333 枚/年となるが、月に 2 日以内で対応可能であることがわかった。その際、破損した基板は 7,066kg、処理できない小さなワークは 36.74kg であり、CIS 膜付き基板の外部加工業者の引き取り費用は一例で 162 円/kg なので 5,952 円となる。

一方、モリブデン膜付きガラスの引き取り費用は一例で 20 円/kg であり、破損しなかったワーク（99%）と破損しても処理できたワーク（1%×99.48%）を合計して、支出総額は 1,413 万円となる。これと比較して前記の処理できなかった小さなワークの引き取り費用 5,952 円は無視できる金額である。

上記両手法を処理コスト削減の観点から比較すると、新たに乾式振動バレル研磨装置購入の必要性がないことから、既存の薄膜スクレーパーのパレットのエアー吸着を高効率かつ柔軟に対応できるタイプに改造して処理した方が有利である。

4）非鉄製錬会社によるCIS系金属粉の購入額検討

薄膜スクレーパーで除去したCIS系金属粉の国内非鉄製錬会社5社による製錬適応性を調査した。セレン回収が可能な会社の評価結果に基づいて、20MW相当/年間の処理で回収された「CIS系金属粉」の買取額を試算した。

モジュール1枚（出力150W、重量20kg）あたりのCIS系金属の重量を12ｇと仮定し、ロットの組成を、Se：28.6%、In：15.5%、Ga：6.0%とした。

2014年7月時の試算では、6月のLMB価格はSe：$51.396/kg、In：$685.625/kg、Ga：$250/kg、TTS為替:¥103.08/$として、各金属価格はSe：¥3,576/kg、In：¥42,051/kg、Ga：¥12,370/kg　となる。結局「CIS 粉」有姿kg 当たり、0.286×3,576+0.155×42,051+0.06×12,370=8,283 円　となる。

従って非鉄精錬会社による買取額は、年間20MW処理した場合に回収されるCIS系

金属粉は1.6トンで1325万円/年となる。後掲の評価では年間25MW処理を標準としたため、CIS系金属粉は2トンで、購入額は1657万円となる。

5）処理コスト評価

CIS モジュールの一貫処理における、アルミ枠分離から EVA 加熱／燃焼処理およびカバーガラス剥離まで（以後、前工程という）の処理コストは、共同研究者により25MW/年相当処理時には 58.5（円/ kg－モジュール）と試算されている。アルミとカバーガラスの販売による収入は、5.9円/kgである。

上記の前工程を経て調製された CIS 膜付きガラスから、CIS 系金属粉とモリブデン膜付きガラス基板を分離して回収するコストを評価した。なお、25MW/年相当処理時の処理費の試算の際の前提条件として、CIS モジュール（1,210mm×930mm）の発電量を150W、モジュール重量を20kg、CIS膜付きガラスの重量を5.3kgとした。

モリブデン膜付きガラスをⅰ）外部処理する場合と、ⅱ）内部で酸化後薄膜スクレーパー処理する場合を比較した。

ⅰ）ガラス再生業者による外部処理費用が 20 円/kg として、25MW/年相当処理時には1,767万円となる。

ⅱ）内部処理では、モリブデン除去に薄膜スクレーパーをもう一系列導入して処理するため、処理費として 2,380 万円（7.14 円/kg－モジュール）が必要となるが、透明ガラスの売却で 88 万円の収入が得られ、差し引き 2,292 万円（6.88円/kg－モジュール）の支出となる。これにEVA加熱・燃焼処理装置でモリブデン膜を酸化するコストが加わるため、「モリブデン膜付きガラス」 は外部処理が有利と判断した。

結局、CISモジュールの25MW/年相当処理時の処理費用（単位：円/kg-モジュール）は、前行程処理コスト58.5－5.9（アルミ、カバーガラスの販売価格）に、CIS膜付きガラスの薄膜スクレーパーによる処理費6.0とモリブデンガラス外部処理費5.3が加わり、CIS系金属粉の売却費用5.0が差し引かれ、58.5－5.9+6.0＋5.3－5.0＝58.9円/kg - モジュール（7.9円/W）となる。

本事業の目標である5円/Wを下回るには引き続き検討が必要であるが、当面廃棄されるCIS系太陽電池は工場スクラップ（モジュール、ラミネートタイプ、サーキットから構成）に限られ、それぞれ試算し重み付き平均を取ると3.5円/Wとなり（後掲a-6の(5)の４）項)、工場スクラップに対しては目標コストを達成することになる。

a-6　パイロットプラントの設計及びコスト評価

パイロットプラントの設計及びコスト評価を行うに当たり、前項で開発した主要プロセス装置に加え、Si セル等回収装置、リサイクル処理システム制御技術を開発すると共に、破損結晶Si系モジュールの処理方法の検討と、今回開発したリサイクル処理システム全体の信頼性・安定性・コスト評価を行ったので、以下にその内容を記載する。

(1)　Si セル等回収装置の開発

結晶系のモジュールでは、EVA 熱処理後にカバーガラス上に割れた Si セル（銀

電極を含む)、バスバー、及び炭化した EVA 粉末が散在した状態になるので、それらをカバーガラスと分離し、回収する必要がある。下記仕様の Si セル等回収装置の開発を試み、性能試験を実施した結果、良好に処理可能であることを確認した。

ⅰ）モジュールを Si セル回収装置への自動で搬入・搬出するために、搬送部は自動ローラーコンベアとする。

ⅱ）熱処理したモジュールを Si セル回収装置に搬入した後、自動走行するブラシでカバーガラス上の Si ウェハー片、バスバー及び炭化した EVA 粉末を掻き落とす。

ⅲ）掻き落とされた Si セル等は、回収容器に自動で回収される。

(2) リサイクル処理システム（一貫処理システム）制御技術の開発

パイロットプラントの仕様を決めるためには、PV リサイクル処理における個々のプロセス装置を連結し、リサイクル処理システム全体として機能させ、その性能を評価する必要がある。そこで下記仕様のリサイクル処理システム制御装置の開発を試みた。

１）PV モジュールの移動に連動して、各プロセス装置及び搬送装置（モジュールローダー・アンローダー）と通信し、各装置の状況と PV モジュールの存在位置を考慮して、各装置の作動を制御する。

２）各種モジュールのサイズを認識し、各プロセス装置と搬送装置間の同期を自動的に行う。

３）パレットにモジュールを積載する際に位置ずれが生じている場合でも、自動的にずれ量を判断し、ずれを補正する。

上記仕様の制御装置を開発し性能試験を実施した結果、各種モジュールに対応可能であることを確認した。

(3) 破損結晶 Si 系モジュールの処理方法検討

汎用リサイクル処理の一環として、破損した結晶 Si 系の PV モジュールの処理方法についても検討し、以下の処理方法を考案した。この処理方法で少数枚の処理試験を実施した結果、処理可能であることを確認した。

① アルミ枠解体は通常通り処理し、バックシート除去は行わない。

② アルミ枠解体後の破損モジュールの反りを解消するため、バックシート面を下にして SUS 薄板に設置（破損ガラス落下防止の為）して EVA 熱処理する。

③ Si セル、銅線及びガラスを纏めて回収し、非鉄精錬業者に引き渡す。

(4) 処理システム全体の信頼性・安定性・コスト評価

リサイクル処理システム全体の信頼性・安定性・コスト評価を行うため、今回開発した一貫処理プロセスを用いて、下記モジュールを対象に多数枚連続処理試験を実施し、以下の評価結果を得た。

１）処理対象モジュール

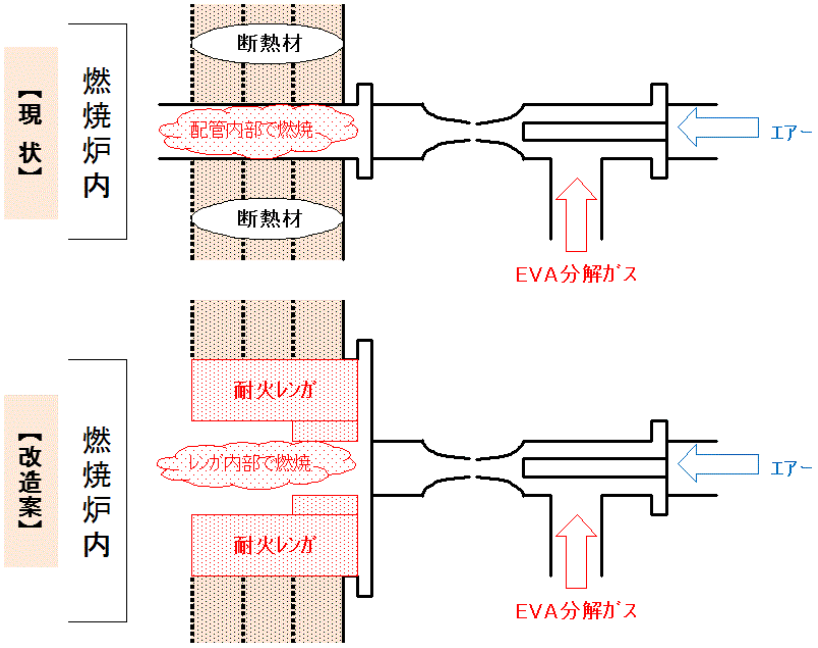
一貫処理試験は 2 回に分けて実施し、処理モジュールは累積で約 1,500 枚となった。処理したモジュールの大半は概ね 1.2m×0.5m サイズの旧型であるが、

各種モジュールに対するデータベース構築のため、新規モジュールも購入して試験に供した。

2）信頼性・安定性に関する評価

多数枚連続一貫処理試験により、処理プロセス全体の信頼性・安定性に関する課題の摘出と対策を立案した。その結果、長期試験実施により、アルミ枠解体では固定ネジの緩み対策等、バックシート除去ではガラスに衝撃を与えない程度に切り込み量を抑える微細調整が必要であることが分かった。

また EVA 熱処理装置では、今後エジェクターの燃焼炉壁への挿入部の耐熱性強化、及び後処理装置の加熱能力増強が必要である。エジェクター挿入部の耐熱性強化案を現状と比較して図Ⅲ-2-(へ)-E-1(9)に示す。現状ではエジェクター挿入部が火炎を引き込み、バーナーのようになっているため、耐火レンガを用いた通常のバーナー構造にする改造案となっている。これら 2 件の対策は既存技術で対応可能であり、この後のパイロットプラント仕様・コスト評価にも反映している。



図Ⅲ-2-(へ)-E-1(9)　EVA 熱処理装置のエジェクター部の耐熱構造化の模式図

3）安全性に関する評価

ⅰ）EVA 熱処理装置の排ガス分析

EVA 熱処理装置の排ガス分析を実施した結果、大気開放部での排ガス中の有害物はすべて規制値以下であることを確認した。

ⅱ）EVA 熱処理装置の炉内蓄積物成分分析

EVA 熱処理装置の炉内蓄積物成分分析を行った結果、炉内蓄積物中に Pb が 150ppm 程度含まれていることが分かった。Pb と共に Sn 及び Zn も数%程度検出されていることから、Pb は半田由来と考えられる。

以上の分析結果から、通常のリサイクル処理作業に於ける安全性には問題はないが、装置メンテナンス時には労働安全衛生法・鉛予防規則に準じた下記対策をメンテナンス業者に実施させる必要がある。

・周囲への飛散防止
・人体への暴露防止（防塵マスク着用等）
・廃棄物は特別管理廃棄物として処理

4）経済性に関する評価

ⅰ）回収メリット

多数枚連続処理試験で得られたデータより、各種モジュール毎の回収メリットを試算した結果、各種モジュールの回収メリットには以下の特長がある。

・結晶 Si 系モジュール：回収メリットは小型モジュールで 9.3 円／W、大型モジュールで 5.1 円／Wである。旧製品である小型モジュールは Si セル中の銀含有量が多いため、大型モジュールと比較して回収メリットが大きい。
・CIS 系モジュール：回収メリットは 2.5 円／Wである。有価物としての CIS 粉が少量で、かつモリブデン付基板ガラスの産廃処理費が嵩むため、結晶 Si 系モジュールと比較して回収メリットが小さい。
・薄膜 Si 系モジュール：回収メリットは 3.3 円／Wである。有価物としての銀がないため、結晶 Si 系モジュールと比較して回収メリットが小さい。

ⅱ）消耗品交換頻度及び熱源消費量

多数枚連続処理試験で得られたデータより、各種モジュール毎の消耗品交換頻度及び熱源消費量を表Ⅲ-2-(へ)-E-1(5)に示す。

表Ⅲ-2-(へ)-E-1(5)　各種モジュールの消耗品交換頻度及び熱源消費量

		結晶Si(小型)	結晶Si(大型)	CIS	薄膜Si
ｽﾙｰﾌﾟｯﾄ	ｱﾙﾐ枠解体	15枚／hr	15枚／hr	15枚／hr	15枚／hr
	ﾊﾞｯｸｼｰﾄ除去	30枚／hr	15枚／hr	25枚／hr	15枚／hr
	EVA熱処理	12枚／hr	6枚／hr	6枚／hr	6枚／hr
		＊EVA熱処理後処理装置（大気炉）の加熱能力律速で、上記ｽﾙｰﾌﾟｯﾄでの処理を行ったが、加熱能力増強改造を実施後は以下のｽﾙｰﾌﾟｯﾄでの処理が可能であることは少数枚試験で確認済み。			
		15枚／hr	8枚／hr	8枚／hr	8枚／hr
	有価物回収	30枚／hr	30枚／hr	30枚／hr	30枚／hr
消耗品交換	ﾌﾗｲｽ刃物	1回／週	2回／週	2回／週	2回／週
	ﾌﾚｺﾝﾊﾞｯｸ	0.5回／日	1回／日	1回／日	1回／日
消費電力量	ｱﾙﾐ枠解体	4.6kwh	2.3kwh	2.3kwh	2.3kwh
	ﾊﾞｯｸｼｰﾄ除去	2.7kwh	1.7kwh	1.7kwh	1.7kwh
	EVA熱処理	30.9kwh	33.4kwh	33.4kwh	29.5kwh
LPG消費量	昇温時	3.4Nm3／hr	3.4Nm3／hr	3.4Nm3／hr	3.4Nm3／hr
	処理時	0.8Nm3／hr	0.8Nm3／hr	1.9Nm3／hr	2.1Nm3／hr

・本プロセスの最大の特長は封止材である EVA を熱処理するため、ガラスを割らず他の有価物を回収できることである。そのため Si セル中の Ag や CIS 粉中の In といった有価金属の含有濃度を高めることが出来る。その結果、非鉄製錬業者で製錬処理するの処理コストが下がり、Si セル及び CIS 粉の売却単価が高くなる。
・金属を含む回収物の売却単価は地金の相場に大きく左右される。従来処理法であ

る破砕法で回収した Si セル及び CIS 粉中の有価金属濃度は低く、地金相場が下がった場合は売却出来ず、逆に産廃処理費用を払う場合もある。しかし本プロセスでは逆有償の可能性は低いとの評価である。

・更に本プロセスで回収したカバーガラスは、不純物の混入がなく型板ガラスへの利用が可能との評価を得ており、破砕法で回収したカバーガラスがグラスウールや路盤材といった安価なものにしか利用出来ないのに対して、高付加価値化が可能となっている。

・なお消耗品交換頻度及び熱源消費量については削減の見込みがあり、今後の長期実証試験で、その効果を検証していく予定である。

５）EVA 熱処理装置の熱解析結果

多数枚連続処理試験で得られたデータより、EVA 熱処理装置の熱解析を行った結果、EVA 燃焼熱が全入熱の 82%を占めており、これは EVA のサーマルリサイクルをしない場合に対して LPG 消費量の 82%を削減出来ていることを意味する。なお本装置は試験装置であるため LPG バーナー仕様等が最適化できていないが、本装置をベースに設計したパイロットプラント仕様では、それらを最適化することで LPG 消費量の削減が期待出来る見込みであり、詳細は後掲のａ-6 の(5)項に記載する。

(5)　パイロットプラントの仕様及びコスト評価

１）コスト評価手順

本研究の初期段階では、以下の手順でパイロットプラント及び 200MW プラントのコスト試算を行う予定であった。

・処理規模が 2MW／年相当で、実際の各種モジュールが処理可能な試験設備を試作し、評価する。

・その評価結果をベースに、実用化プラントのユニットラインに相当する 20MW／年程度のパイロットプラントを設計する。実証試験向けのパイロットプラントは新規建設を想定。

・上記設計をベースに本研究目標に掲げた 200MW／年処理時のコスト試算を行う。

その後、研究開発で得られた成果より、以下の手順に修正してパイロットプラント及び 200MW プラントでの処理コストを試算した。

・試作した試験設備はモジュール種により 8～12MW／年相当の処理能力があることを確認した。このため実証試験は試験設備を整備して実施する予定である。

・その結果をベースにパイロットプラントを検討し、ユニットラインとしては 25MW／年程度が最適であることが判明した。

・それをベースに８ユニットラインから成る 200MW プラントのコスト試算を行う。

２）パイロットプラントの配置及び建設費

試験設備により得られたデータをベースに、パイロットプラントに必要な各装置、及び付帯設備の配置を検討した結果、建屋面積として約 1,900m2、敷地面積として約 3,200m2 が必要であり、パイロットプラントの建設に必要な各装置、付帯設備及び建屋等の費用を検討した結果、トータル費用が約 481 百万円

になることが分かった。

3）パイロットプラント仕様の EVA 熱処理装置の熱解析結果

前記ベンチプラントでの EVA 熱処理装置（年間 11MW 相当）の熱解析結果をベースに、パイロットプラント仕様の EVA 熱処理装置（年間 25MW 相当）の熱解析を行った。なおパイロットプラント仕様への主なスケールアップ及び変更点は以下のとおりである。

・処理速度を 2.25 倍（20→45 枚/hr）にするために、搬送速度を 2.5 倍（9→22.5m/hr）にアップ。

・搬送速度アップに伴い、ベンチプラントと同等の炉内滞留時間を確保するために、炉長を 3 倍（5.5→17m）にアップ。

・コスト削減のためにバーナー燃料を LPG から LNG に変更。また従来のバーナーは失火防止のために最大流量の 20%までしか絞れなかったものを、5%まで絞れる仕様に変更し、LNG 消費量の無駄を削減。

パイロットプラント EVA 熱処理装置の熱解析結果より、サーマルリサイクルをしない場合の LNG 消費量に対して 93%削減可能であり、ベンチプラントの 82%より向上していることが確認された。

4）パイロットプラント及び 200MW プラントの処理コスト

前記コスト評価手順に沿って、各プラントの処理コストを試算した。その際の各処理コスト試算条件を表Ⅲ-2-(へ)-E-1(6)に、処理コスト試算結果を表Ⅲ-2-(へ)-E-1(7)に示す。

表Ⅲ-2-(へ)-E-1(6)　各プラントの処理コスト試算条件

	試験設備（ベンチプラント）			パイロットプラント			200MWプラント		
	結晶Si（小型）	結晶Si（大型）	CIS	結晶Si（小型）	結晶Si（大型）	CIS	結晶Si（小型）	結晶Si（大型）	CIS
試算の位置付け	連続処理試験でのデータより試算			事業化プラントのユニットラインのみのプラントとして試算			目標である年間200MW処理の事業化プラントとして試算		
想定年間処理量	7.9MW	12.5MW	7.6MW	17MW	25MW	15MW	136MW	200MW	121MW
処理条件 ・対象モジュール 出力 重量	 63W／枚 7kg／枚	 186W／枚 16kg／枚	 150W／枚 20kg／枚	 63W／枚 7kg／枚	 186W／枚 16kg／枚	 150W／枚 20kg／枚	 63W／枚 7kg／枚	 186W／枚 16kg／枚	 150W／枚 20kg／枚
・スループット	15枚／hr	8枚／hr	6枚／hr	32枚／hr	16枚／hr	12枚／hr	256枚／hr	128枚／hr	96枚／hr
・稼働日数	350日／年			350日／年			350日／年		
処理設備 ・建屋	既存建屋を借用			新設			増設 ・パイロットプラント分を5年償却後に引継 ・不足分は増設		
・装置	既存試験装置を使用 ・1系列			更新 ・1系列 ・アルミ枠解体支援装置、EVA熱処理装置及び後処理装置を能力増強の為に更新			増設 ・8系列 ・パイロットプラント分を5年償却後に引継 ・7系列分は増設		
運転要員	10名 ・管理者　：1名（常昼勤） ・社員　：3名（2交替勤、1名×3班） ・パート　：6名（2交替勤、2名×3班） ＊1系列を2名で担当						28名 ・管理者　：1名（常昼勤） ・社員　：3名（2交替勤、1名×3班） ・パート　：24名（2交替勤、8名×3班） ＊2系列を2名で担当		

表Ⅲ-2-(へ)-E-1(7)　各プラントの処理コスト試算結果

（単位:円／W）

	ﾍﾟﾝﾁﾌﾟﾗﾝﾄ				ﾊﾟｲﾛｯﾄﾌﾟﾗﾝﾄ				200MWﾌﾟﾗﾝﾄ			
	結晶Si（小型）	結晶Si（大型）	CIS		結晶Si（小型）	結晶Si（大型）	CIS		結晶Si（小型）	結晶Si（大型）	CIS	
処理対象	ﾓｼﾞｭｰﾙ	ﾓｼﾞｭｰﾙ	ﾓｼﾞｭｰﾙ	工場ｽｸﾗｯﾌﾟ	ﾓｼﾞｭｰﾙ	ﾓｼﾞｭｰﾙ	ﾓｼﾞｭｰﾙ	工場ｽｸﾗｯﾌﾟ	ﾓｼﾞｭｰﾙ	ﾓｼﾞｭｰﾙ	ﾓｼﾞｭｰﾙ	工場ｽｸﾗｯﾌﾟ
1. 固定費 償却費(建屋) 償却費(設備) 賃借料 金利、保険等 ﾒﾝﾃﾅﾝｽ費	0.9	0.6	1.0	0.2	5.7	3.9	6.4	3.9	3.2	2.2	3.6	2.2
2. 変動費 労務費 消耗品費 熱源費	5.8	3.9	7.4	2.5	3.3	2.4	4.9	2.4	1.7	1.3	3.1	1.4
合計	6.7	4.5	8.3	2.7	9.0	6.3	11.3	6.3	4.9	3.5	6.7	3.5

なお CIS 系の処理コストについては、結晶 Si 系に比べて市場投入が遅かったため、当面の処理対象は工場スクラップにほぼ限定される。このことを考慮すると、表①Ⅲ-2-(へ)-E-1(7)が示すように、研究目標である年間 200MW 処理時の処理コスト 5 円／W 以下を達成出来る見通しを得た。

(6)　実用化に向けて

本研究で得られた成果を基に、実用化に向けた次ステップとして、ａ-6 の(4)項で述べた EVA 熱処理装置の改造を行い、改造後の処理装置を含めた一貫処理システムによる長期実証試験を実施し、長期的な信頼性・安定性・コスト評価する必要がある。

ｂ．LCA 調査

LCA 調査に関しては、広域ロジスティクスを含めた社会システムの提案に資する、使用済み太陽光発電モジュールの廃棄・リサイクルに関する定量評価を目的に、LCA を実施するために必要となる前提条件の設定と、廃棄・リサイクル段階における評価を実施した。

ｂ-1　廃棄・リサイクルに関する評価前提条件の設定

2020 年頃の住宅からの廃棄物を想定し、本研究のリサイクル技術を反映した評価を実施することとした。太陽電池の種類としては、結晶 Si 系、薄膜 Si 系、CIS 系を対象とした。評価範囲は、使用済みのモジュールが住宅から解体された後、リサイクルプラントまで輸送され、プラントでの処理後に再生処理あるいは廃棄処理される工程までを含めた。リサイクルプラントまでの輸送については、九州全域から北九州のリサイクルプラントへ輸送されるシナリオを想定した。材料が再生処理される場合、再生処理にかかる環境負荷が計上される代わりに、新規材料の製造による環境負荷が削減される効果が間接的に考えられる。本調査では、全材料について再生処理を含めるとともに、新規材料削減分の効果を見込むものとした。

ｂ-2　廃棄・リサイクルに関する評価条件の設定

結晶系 Si モジュールのモジュール構成材料の再生・廃棄の割合については、表Ⅲ

-2-(へ)-E-1(8)に示すとおり、5 つのケースを想定し評価を行った。ベースケースは、モジュールを回収処理した場合、現状で最低限可能な再生・廃棄処理の内容を示している。これに対しケース 1～ケース 4 では、本研究開発で検討している対策を講じた場合の効果を算定した。なお、薄膜 Si 系と CIS 系に対してはケース２までの評価とした。

表Ⅲ-2-(へ)-E-1(8)

ケース	ケースの内容
ベースケース	・ガラスと充填材の熱分離実施（熱回収利用なし） ・アルミフレーム、電極材料（銅リボン）、鉄（ビス）：100%再生 ・端子ボックス：再生 85%、単純焼却 8%、埋立 7% ・その他は埋立処理
ケース 1	・ベースケース＋熱回収利用（充填材熱分離時、熱回収率 98%）
ケース 2	・ケース１＋ガラスリサイクル（カレット 100%）
ケース 3	・ケース２＋Si リサイクル（金属 Si、100%）
ケース 4	・ケース２＋Si リサイクル（多結晶 Si、100%）

b-3　算定対象モジュール及び回収輸送のシナリオ

結晶系 Si モジュールの評価については、2007～2008 年度の「みずほ情報総研」による調査「太陽光発電システムのライフサイクル評価に関する調査研究」で対象とした内容を踏襲し、以下に示す対象製品で評価を実施している。

・モジュール種類：多結晶 Si-PV モジュール

・発電規模：住宅用 4kW 相当(3.91kW：モジュール効率 13.9%、モジュール枚数 48 枚と想定)

回収の輸送については、住宅から一次回収拠点(SY)を経由して、リサイクルプラント(RP)まで輸送されるものとした。また、リサイクルプラントから先は、再生処理もしくは埋立て場へ輸送されるものと想定し、それぞれの距離・輸送手段を設定した。

一次回収拠点は家電リサイクルの回収拠点を想定し、九州(沖縄を除く)各県に１箇所、実際の回収拠点を設定し、ここに県内の使用済み太陽電池が全て収集され、北九州のリサイクルプラントへ輸送されるものとして輸送距離を検討した。なお薄膜 Si 系と CIS 系モジュールについても同様に前記調査報告書内容を踏襲した。

＜輸送距離と輸送手段の設定＞

・一次運搬(住宅→SY) ：30km、2 トントラック、積載量約 300kg

・二次運搬(SY→RP) ：個別具体的な回収拠点 → 北九州までの実際の距離（約 90km～約 370km)、10t トラック、積載量約 1.5 トン

・リサイクルプラント→ 再生工場、埋立場：50km

b-4　CO2 排出量の算定結果

以上の前提条件に基づいて、多結晶 Si-PV モジュールの廃棄・リサイクル段階に

おける CO2 排出量の算定を実施した結果を以下に示す。

今回の算定では、再生された材料による削減効果を見ている(削減効果分はマイナスで示している)ため、ベースケースであっても、アルミ、銅、鉄、プラスチック類の一部はリサイクル可能なため、再生処理をしない場合と比べれば、削減効果になる。

ベースケースに対し、熱回収利用の対策を行った場合(ケース 1)と、熱回収とガラス再生利用の対策を行った場合(ケース 2)の結果を検討した。

熱回収を行うことにより、ベースケースよりも 1kW あたり 19kg の CO2 排出量削減となる。またガラスをカレットへリサイクルできれば、さらに 1kW あたり 27kg の CO2 排出量削減となり、熱回収効果と合わせて 1kW あたり 46kg 以上の CO2 排出削減に繋がる。

Si については、現時点でインゴット材料に再生することは現実的ではないが、平成 16～17 年度に行われた「太陽光発電システムのリサイクル･リユース処理技術等の研究開発」の内容をもとに、金属 Si への再生(ケース 3)と多結晶 Si への再生(ケース 4)の 2 つのケースを検討した。その結果、金属 Si への再生については、再生段階で排出される CO2 の量に比べ、再生によって削減される CO2(金属 Si を新たに製造する分)の量が少ないため、再生することで CO2 排出量は増える（削減量が減る）こととなった。一方で多結晶 Si に再生できる場合には、熱回収＋ガラスカレットリサイクルとは別に 1kW あたり約 230kg(熱回収、ガラスリサイクルと合わせて約 276kg)という大きな削減効果が見られる。これは、金属 Si から多結晶 Si を新規に製造する際、非常に多くの電力を使用するため、金属 Si から多結晶 Si を製造する分が削減される効果が大きいためである。結果としては、ベースケースに比べ各種の対策を講じることで、1kW あたり約 19～276kg 程度の CO2 削減効果を得ることができる。同様に、薄膜 Si 太陽電池モジュール及び CIS 系太陽電池モジュールのモジュール出力 1kW あたりの CO2 排出量削減効果を算定した結果とともに表Ⅲ-2-(へ)-E-1(9)に示す。

表Ⅲ-2-(へ)-E-1(9)　各種太陽電池モジュールの対策実施による CO2 排出量削減効果

モジュール種類 ※ベースケースからの削減効果		ベースケース	熱回収	熱回収＋ガラス回収	熱回収＋ガラス回収＋金属 Si 再生	熱回収＋ガラス回収＋多結晶 Si 再生
		[kg-CO_2e/kW]				
多結晶 Si	削減量	-65	-84	-111	-98	-341
	削減効果※	-	19	46	33	276
薄膜 Si	削減量	-141	-157	-214	-	-
	削減効果※	-	16	73	-	-
CIS 系	削減量	-110	-140	-210	-	-
	削減効果※	-	30	100	-	-

b-5　廃棄物埋立量の算定結果

次に CO2 排出量と同じケースで多結晶 Si 系、薄膜 Si、CIS 系 PV モジュールの廃棄物埋立量を算定した結果を表Ⅲ-2-(へ)-E-1(10)示す。廃棄物の埋立量において熱

回収の有無は効果を及ぼさない。また、金属 Si と多結晶 Si への再生のケースも Si を埋め立てない効果としては同じであるため、埋立量については、ベース、ガラス再生、ガラス＋Si 再生の 3 ケースの比較のみ実施した。結果として、廃棄物の発生量では、モジュールに対して重量比で大きな割合を示すガラスリサイクルが大きな削減効果を生む。ベースケースではアルミなどを再生するが、それでも 1kW あたりで 60kg 近い埋立量があるが、これに対してガラスを再生することでベースケースの埋立量の 79%にあたる 44kg が削減される。Si については約 3kg 程度の削減効果がある。

表Ⅲ-2-(へ)-E-1(10)　各種太陽電池モジュールの廃棄物埋立量の算定結果

モジュール種類		ベースケース	熱回収＋ガラス回収	熱回収＋ガラス回収＋Si 再生
多結晶 Si	廃棄物発生量	56	12	9
	ベースケースからの削減量	－	44	47
薄膜 Si	廃棄物発生量	115	3	-
	ベースケースからの削減量	－	112	-
CIS 系	廃棄物発生量	143	4	-
	ベースケースからの削減量	－	139	-

九州地域の 2020 年及び 2030 年の使用済み PV モジュールの発生量が全て、多結晶 Si 系太陽電池の仕様という仮定を置いた場合、ガラスのリサイクルにより、2020 年に九州地区だけで 650 トン、2030 年には 6,400 トンの埋立量の削減が見込まれる。

b-6　まとめ

CO2 排出量の削減効果を見ると、最も大きな効果は Si を多結晶に再生することであり、削減量の大きさから考えれば、今後も再生技術の重要性は明らかである。その一方で即効的な技術実現性を考慮した場合には、EVA 熱処理工程における熱利用率を如何に高めるか、及びガラスを如何にリサイクルするかという点が重要なポイントとなる。従って本研究開発においても、EVA 熱処理工程での熱利用率の向上、ガラスリサイクルのための処理技術および社会システム検討が重要と考えられる。特にガラスに関しては廃棄物埋立量にも影響を及ぼすため、その回収・再利用の確立が望ましい。

c．広域対象の PV システム汎用リサイクル処理に必要な社会の調査・提案

c-1　PV リサイクルのための広域ロジスティックス確立のための調査・提案

本調査では、PV リサイクルのための社会システム提案を行うのに必要な基礎情報の収集・整理と、今後の使用済みモジュールの廃棄物発生量の推計を行った。

また具体的なプレーヤーへのヒアリング、欧州の PV CYCLE やその他関連団体への訪問・ヒアリングなどを行い、これらの調査内容から社会システムの在り方、PV モジュールのロジスティクスに関するシナリオを作成し、リサイクルプラントまでの輸送にかかるコストを推計した。

(1)　基礎情報の収集・整理

参考となる既存製品(家電製品、自動車およびパソコン)に関するリサイクルシステムについて調査を行った。このうち、家電製品については、指定取引場所(一次回収拠点)や再商品化施設へのヒアリング調査を実施した。またPVモジュールリサイクルへの取り組みは、欧州のPV CYCLEが先行していたことから、PV CYCLEやその他関連団体への訪問・ヒアリングを実施した。

ヒアリングを通じて、費用負担のあり方、使用済み太陽光発電モジュールのリサイクルプラントまでの輸送のあり方などの情報を以下の通り整理した。

・法律の面では、家電リサイクルの考え方が参考になる。
・異なるのは機器の寸法、工務店・住宅解体業者などが介在する点
・リサイクル料金の徴収は、自動車リサイクルと同様の購入時負担が良いと思われるが、購入時負担の課題としては、以下があげられた。
  － 廃棄時点での費用の予測が困難
  － 製造事業者等が倒産・撤退した場合のリサイクル費用の手当が困難

(2) 太陽光発電廃棄物発生量の予測

社会システムの提案には想定される処理量を予め見積もっておくことが必要となることから、これまでの導入推移に基づく太陽光発電システム廃棄物の発生見込量の推計を行い、今後の国内の生産推移を基に工場からの不良品排出量を推計した。

１）前提条件

年間導入量および廃棄モジュール発生量を推計するための前提条件を以下に示す。

ⅰ）年間導入量は、JPEA PV Outlook 2030（2010年11月版）を参照して推計
  ・シンプルに表現するため、現時点ではEOL到達モジュールのリプレースは年間導入量に加味せず

ⅱ）「年間導入量＝国内生産量」と仮定
  ・シンプルに表現するため、現時点では年間導入量、国内生産量、輸出入量のバランスは考慮せず

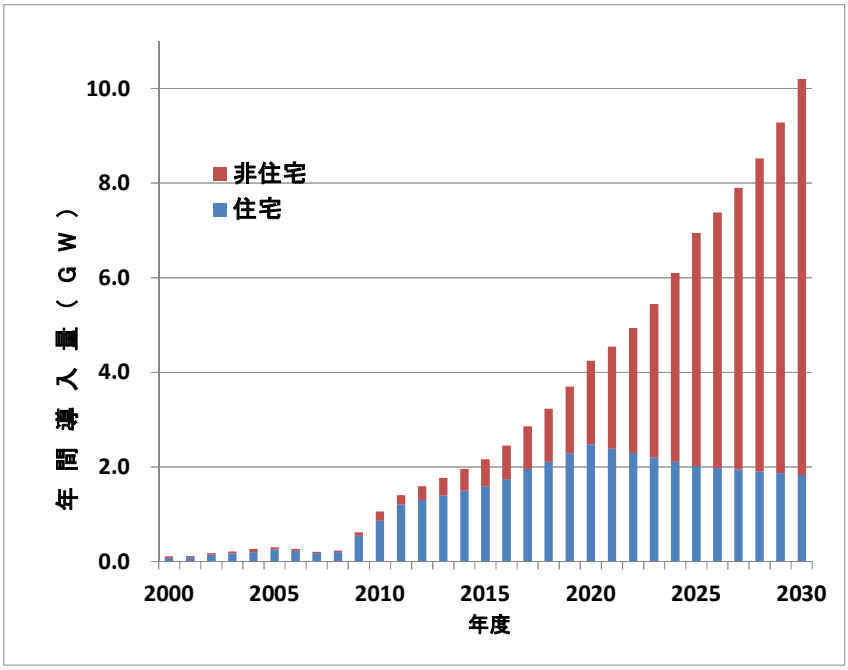
ⅲ）モジュール重量は多結晶Si（効率13.9%）（86.69g/W）と仮定
  ・シンプルに表現するため、現時点では太陽電池種類別、導入時期（発電効率）別重量などは考慮せず

ⅳ）工場発生不良品の比率は生産量の1%と仮定
  ・シンプルに表現するため現時点では太陽電池種類別の比率は想定せず
  ・工場発生不良品比率：1%は、結晶Siでは過大と見られるが、薄膜では1%超と見られ、かつ出力あたり重量も大きいため、総合的な比率として1%という値を想定

ⅴ）初期損傷品（輸送時、設置工事時等）は、年間導入量の0.1%と仮定
  ・欧州における2011年実績（PV CYCLE報告）に基づき想定

２）導入量の推移と見通し

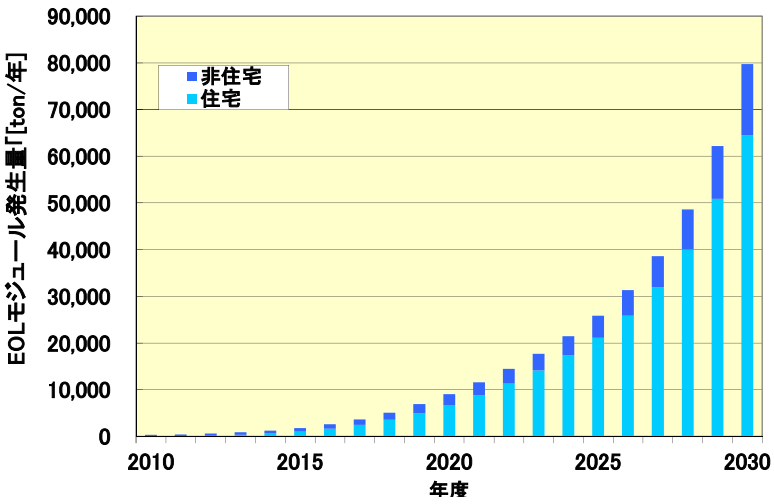
2011年度までの年間導入量はJPEA出荷統計、NEF補助事業実績および調査結果、JPEC補助金交付実績より、2012年度以降の年間導入量はJPEA PV Outlook 2030（2010年11月版）より作成し、その結果を図Ⅲ-2-(へ)-E-1(10)に示す。



図Ⅲ-2-(へ)-E-1(10)　年間導入量の推移（2000～2030 年度）

3）廃棄モジュール発生量の推計結果

推計はモジュール寿命を 20 年、導入後経過年数に対する EOL(End of Module)モジュール発生はワイブル分布に従うとし、導入後 15 年目までに累積で 5%が廃棄され、21 年目に年間廃棄量がピークとなり、30 年目に累積廃棄量が 100%に到達すると仮定し、前記年間導入量に対して EOL モジュール発生量を推計した結果を図Ⅲ-2-(へ)-E-1(11)に示す。



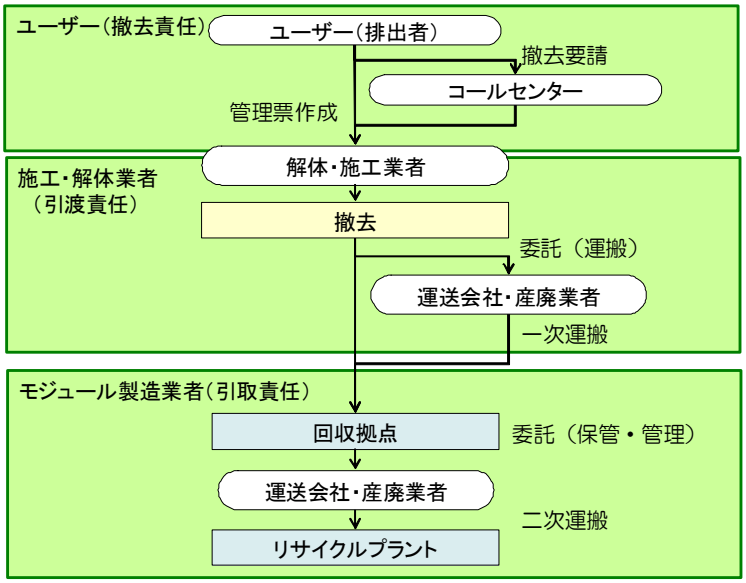
図Ⅲ-2-(へ)-E-1(11)　EOL モジュール発生量

推計に於いて、容量ベース（GW）から重量ベース（ton）への換算は前提条件ⅲ）を用いた。更に、工場発生不良品及び初期損傷品を前提条件に従って試算すると、2020 年には其々368ton/年、3､680ton/年となり、EOL モジュールを含めた廃棄モジュール発生量は 13,126ton/年となる。同様に 2030 年には、其々884ton/年、8,841ton/年、EOL モジュールを含めた廃棄モジュール発生量は 89,439ton/

年となる。

(3)　社会システムの検討

家電量販店、施行業者、解体業者、一時回収拠点、輸送事業者など具体的なプレーヤーへのヒアリングを行い、リサイクルプラントに至るまでの各プレーヤー間の関係・スキームを整理した。一例として、ユーザーが責任を持つケースを図Ⅲ-2-(へ)-E-1(12)に示す。



図Ⅲ-2-(へ)-E-1(12)　リサイクルスキーム（ユーザーが撤去責任を持つケース）

(4)　コスト試算

コストの試算は、住宅からの太陽光発電モジュールの撤去～一次運搬～一次回収拠点(SY)～二次運搬～リサイクルプラントまでを算定の範囲として行った。一次回収拠点を挟む方法は、家電リサイクルの方法を参考としたが、太陽光発電の場合、解体業者が住宅の解体時や修繕時に取り外すことを想定し、住宅から直接一次拠点へ運搬されることを想定している。なお、一次回収拠点は、実際の家電リサイクルにおける回収拠点を想定し、九州地域のモデルとして、輸送距離などを設定した。

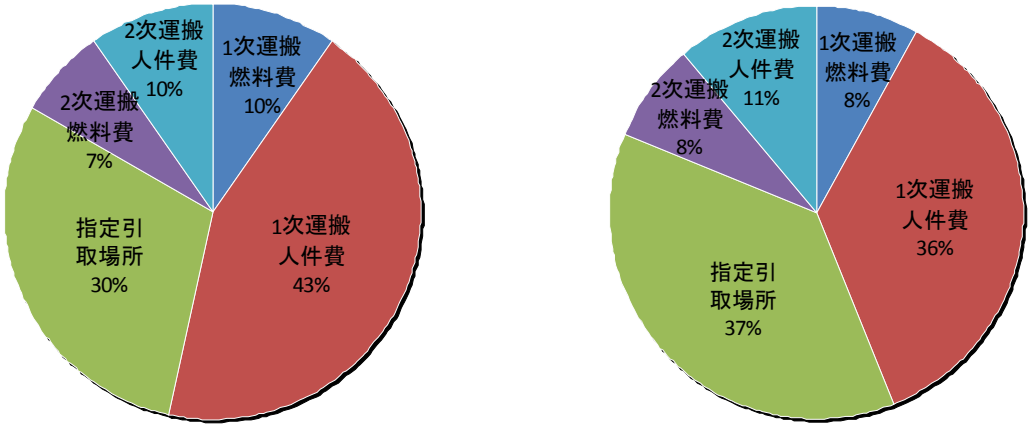
コスト試算の対象費目は、撤去費(人件費、燃料費など)、一次運搬費(燃料費および人件費)、回収拠点の運営費(人件費、設備関連費用、運用費用などを含む)、二次運搬費(燃料費、人件費)とした。

一次運搬は、2 トントラックで、1 回の運搬で 1 件分(3.6kW と想定)の PV モジュールを運ぶものとして、その際の人件費、燃料費を推計した。一次運搬の距離は、回収拠点の数によって異なってくるものと考えられる。本試算では、各県に回収拠点を 1 つとするケースと 2 つにするケースを想定し、各県に 1 つの場合は、一次運搬の距離を 30km、各県に 2 つの場合は、20km とした。

一次回収拠点は、家電リサイクルの一次回収拠点の運営費をもとに、1 トンの処理あたりの費用を算定して、これをもとに太陽光発電モジュールに関する運営費を推計した。二次運搬は、10 トントラックを想定し、これに 60kW 分（家電リサイクルの輸送用ラックを想定し、これに最大荷重まで搭載して運搬する）を載せて運搬すること

とし、その際の人件費と燃料費を推計した。二次運搬の距離は、それぞれの家電の回収拠点から北九州のプラントまでの実際の距離を用いて推計した。

試算では、1kW あたりの処理コストは、一次運搬の距離を 30km とした場合で約 4,400 円、距離 20km とした場合は 3,600 円となった。内訳をみると図Ⅲ-2-(へ)-E-1(13)に示すとおり、いずれの場合も一次運搬の人件費と回収拠点が大きな割合を占めていることがわかる。



図Ⅲ-2-(へ)-E-1(13)　回収コスト内訳(左：各県に 1 つ、右：各県に 2 つ)

一次運搬のコストは、輸送距離がその主要な要因となっていることから、例えば一次回収拠点を増やせば、そのコスト削減につながると考えられるが、一方で回収拠点を増やすと、一つの拠点における処理台数は下がるため、回収拠点側にとって非効率になるものと考えられる。そのため、コスト面で最適な回収拠点数について検討をする必要がある。また、二段階で拠点(住宅と一次拠点の間に拠点を置く)を置く、他の輸送物との混載などにより、一次運搬の効率を向上させることもコスト削減には重要と考えられる。

c-2　新たな法規制及び現行規制の緩和等法整備に関する調査・提案

(1)　使用済PVの廃棄物としての扱い

使用済PVの回収は、廃棄物の処理及び清掃に関する法律（以下「廃棄物処理法」という。）の規定に従う必要がある。一般市民から廃棄されたものは「一般廃棄物」として、その処理の責任は基本的に市町村にある。しかしPVの場合は、解体業者が住宅の解体時や修繕時に取り外すことが想定されるため、その場合は「産業廃棄物」としての取り扱いになり、その処理責任は排出事業者にある。

(2)　広域回収する場合の制度について

使用済 PV の回収量を確保するためには、複数の市町村に渡る広域の回収エリアを定め、回収を行う必要があるが、廃棄物処理法では広域回収を行う場合に、広域的処理に関する特例(広域認定制度)が定められている。

広域認定制度は、拡大生産者責任に則り、製造事業者等自身が自社の製品の再生又は処理の工程に関与することで、効率的な再生利用等を推進するとともに、再生又は処理しやすい製品設計への反映を進め、ひいては廃棄物の適正な処理を確保すること

を目的とする制度である。広域から回収するためには、地方公共団体ごとに廃棄物の収集・運搬、処理業の許可が必要となるが、本制度を活用した場合、広域的な処理を行う者として環境大臣の認定を受けた場合、個々の地方公共団体の許可が不要となる。

広域認定制度では、使用済PVが産業廃棄物として排出された場合、腐敗、揮発等の性状が変化することによって生活環境の保全上支障がない等の要件を満たす場合は、当該制度の活用が可能と想定される。

しかし特例の申請者は製造事業者等のみが対象となり、中間処理業者、非鉄精錬業者が申請者の対象とならないほか、自社製品を扱う場合に限られる。また、広域認定制度の申請にあたっては、経理的な基礎を要する等認定の基準が詳細に定められており、その要件を満たすことが必要である。

このように使用済み PV を廃棄物として処理する場合の制度的な課題は一部明確となったが、リサイクルシステムを実現するための制度のあり方を検討するため、PVリサイクルで参考となる類似法令等の法制化経緯について、審議会議事録等の公表資料による調査及び有識者へのヒアリングによる法制化当時の実情等について調査を行った。

(3)　リサイクル制度構築における基本的な考え方

現在、使用済物品等の回収・再資源化の取組は、第１に事業者の自主的な取組によるもの、第２に資源有効利用促進法の指定再資源化製品制度に基づくもの、第３に個別リサイクル法に基づくものの３つに大別される。

リサイクル制度は、従来から多種多様な使用済物品等の回収・再資源化等を効率的に促進する観点から、事業者による自主的な取組を基本としており、自主的取組による回収・再資源化の実効性が十分でなく、所要の措置を講ずることが必要な場合に、法に基づく取組の対象とされている。

(4)　類似法令調査について

１）テレビ・冷蔵庫・エアコン等の家電について

概ね一般廃棄物として排出されるため市町村が処理してきたが、家電サイズが大型化し、かつ大量に発生していたため、市町村では収集・回収・処理が対応できず、1991 年廃棄物処理法の改正により、適正処理困難物として指定された。その中で事業者が市町村の取組を補完する必要性が生じたことから、家電業界は「廃家電品回収支援協議会」を都道府県ごとに設立し、1995 年に「全国家電品適正処理協力協議会」を設置し、市町村の取組みを支援することになった。その結果一定程度の効果があったものの、実効性が不十分で、1996 年シュレッダーダストが安定型処分場からより管理の厳しい管理型処分場への処分義務付けとなると共に、冷蔵庫やエアコン等のフロン回収の充実、1997 年容器包装リサイクル法の施行もあり 2001 年家電リサイクル法が施行された。

２）自動車リサイクルについて

従来、解体業者・リサイクル業者により処理が行われていたが、「香川県豊島」に自動車等のシュレッダーダストをはじめとする約 60 万トンの産業廃棄物が不法投棄され、野積みされた廃棄物より汚染排水が流れ出るという社会問題も発生し、前に述

べた管理型処分場への義務付けやフロン回収の課題に加え、管理型処分場の逼迫という問題もあり、リユースの推進、高度なリサイクルの必要性から 2005 年に自動車リサイクル法の施行となる。

このように、法制度化にあたっては、市町村及び処理業者による自主的な回収・再資源化の取り組みだけでは十分な効果が上がらない場合や、適正な資源化が困難な場合に制度化される事例が多い。

(5) PV システムリサイクルについて

「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」の附帯決議において、「再生可能エネルギー発電設備については、これらの耐用年数経過後において大量の廃棄物の発生を防ぐ観点から、設備のリサイクルシステム構築等、早急に必要な措置を講ずること」と記されている。

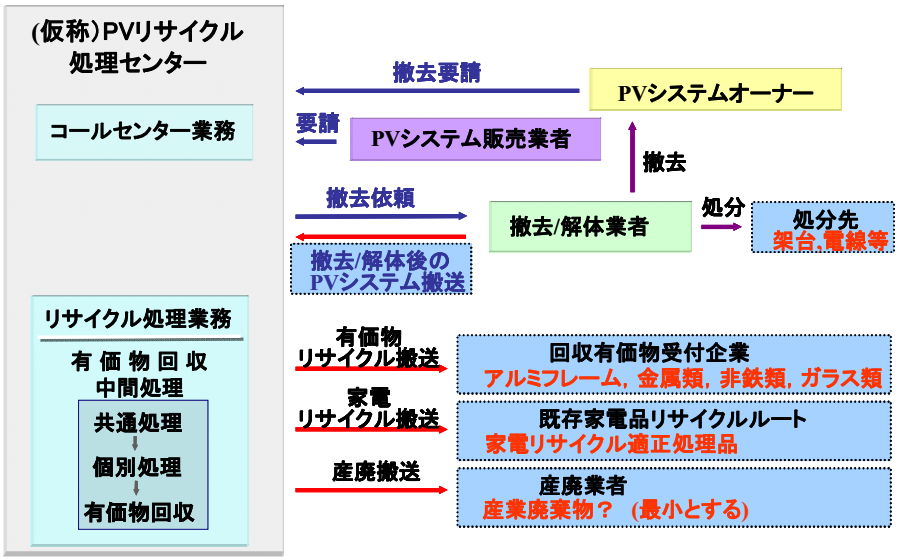
PV システムについては、一般の家庭から排出される場合でも、多くは解体業者等を通して解体・排出されるため、事業用大規模 PV システムと同様に産業廃棄物として処理されると推定される。

PV システムを効率的にリサイクルするためには、効率的に収集・運搬を行うことが必要となるが、産業廃棄物処理法においては、廃棄物を積込む都道府県及び荷卸しする都道府県等の許可が必要となる。特に一般の家庭から排出される PV システムを回収する場合は、広域認定制度等を活用した効率的な収集運搬が必須となる。

現在、導入初期段階の PV システムが使用済みとなって排出され始めているが、家庭から排出される PV システムの処理システムは確立されていない。しかしながら、その排出量は過去の普及カーブに沿って加速度的に増加することが見込まれており、排出・回収段階における更に深堀した課題の整理を行い、適正な処理方法等について検討を進める必要がある。

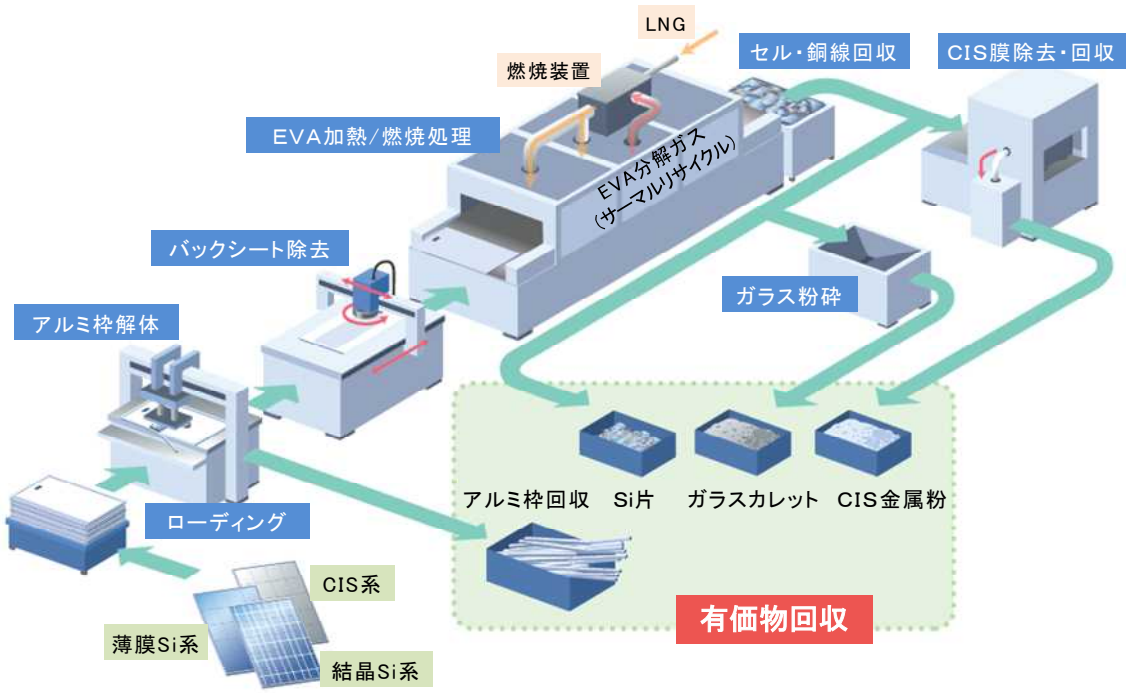
c-3 処理センター設置構想の提案

構想している PV リサイクル処理センターの主な機能は図Ⅲ-2-(へ)-E-1(14)に示す通り、コールセンター業務とリサイクル処理業務(有価物回収中間処理)である。



図Ⅲ-2-(へ)-E-1(14) PV リサイクル処理センター機能と有価物回収フロー

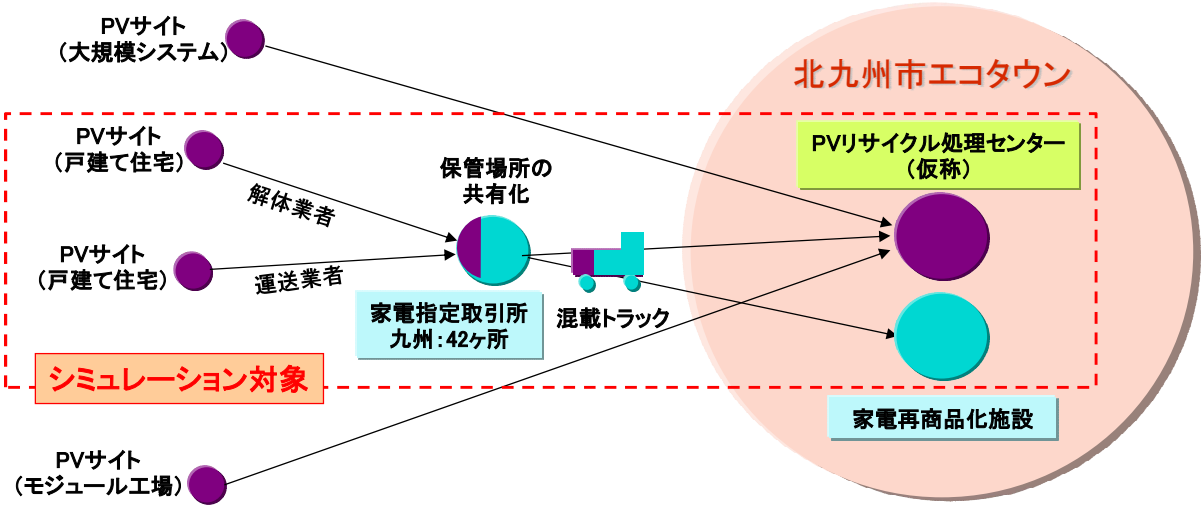
リサイクル処理業務は前記ａ-1 ～ａ-5 に記載の通りであるが、一貫した処理フローを図Ⅲ-2-(へ)-E-1(15)に示す。



図Ⅲ-2-(へ)-E-1(15)　PV リサイクルプロセス一貫処理フロー

処理能力としては当面ａ-6 の(5)に記載したパイロットプラントの 25MW ラインを想定し、PV 廃棄量が増えると共にライン数を順次増加させていく。

建設場所としては、本研究にて九州・中国地方を対象として具体的ロジスティックスを検討してきたので、その中心である北九州エコタウンを想定している。その際のロジスティックスモデルを、図Ⅲ-2-(へ)-E-1(16)に示す。



図Ⅲ-2-(へ)-E-1(16)　PV システム回収ロジスティックス基本モデル

（２）目的に照らした達成状況

本研究の開発項目ごとの最終目標、成果、達成度を下表に示す。

表Ⅲ-2-(へ)-E-1(11)　開発項目ごとの達成状況

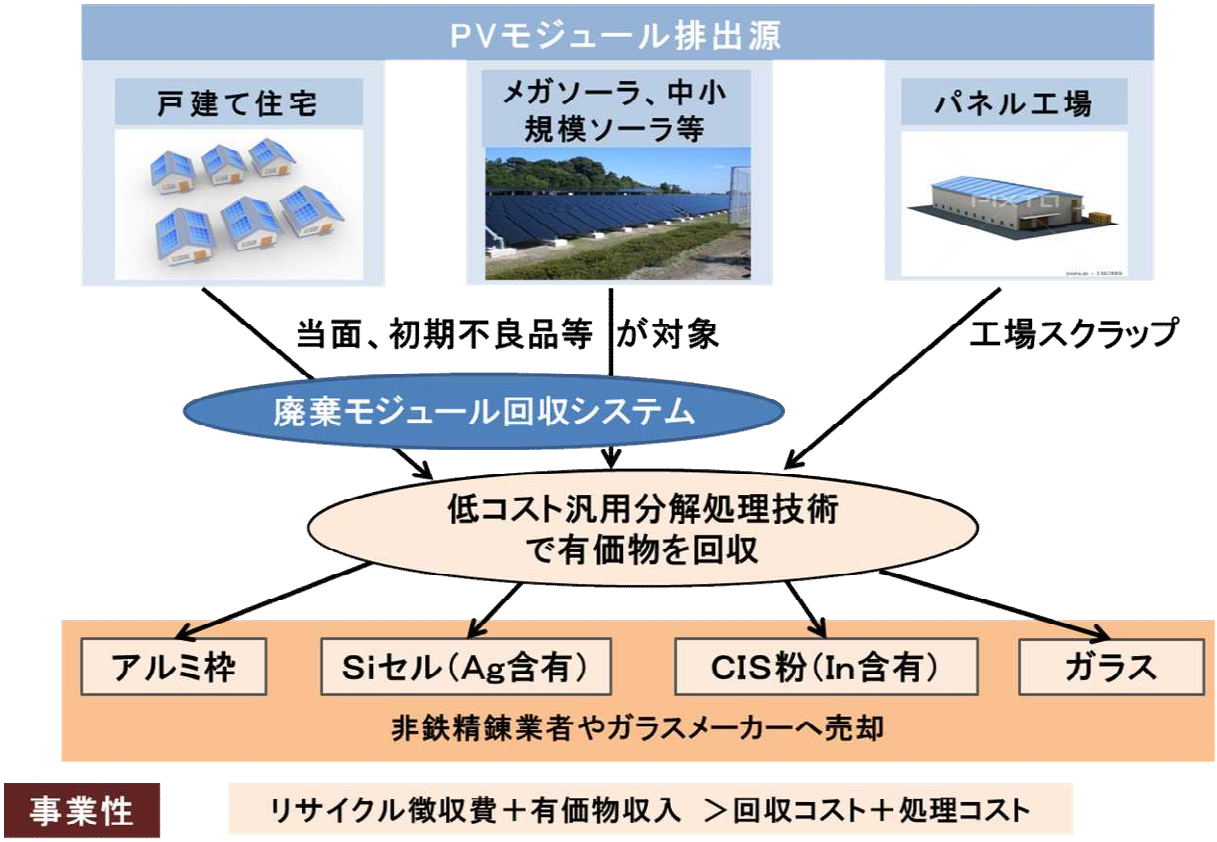
テーマ	最終目標	研究開発成果	達成度*1	目標達成のために解決すべき課題
１． 低コスト汎用リサイクル処理技術の基本技術開発	PV システムの大量廃棄に備え、「年間200MW 処理時の処理コストで５円／W」を達成できる低コスト・汎用リサイクル処理技術の開発、基礎データの収集を完了する。	１）４つの主要プロセス装置と PV モジュールの移動に同期して各装置を作動させるシステム制御装置からなるリサイクル一貫処理システムを開発。 ２）各種 PV モジュールを用いた多数枚連続処理試験から基礎データ収集完了。 ３）その基礎データから、一貫処理システムの安定性・信頼性及び処理コストを評価し、最終目標の実現妥当性を確認し、目標達成。	○	なし
２． LCA 調査	LCA 評価の見直しを行い、新型太陽電池の廃棄を含めた LCA 評価を完了する。	試作装置によるプロセスデータをベースに LCA 評価を実施・完了した。その結果、結晶 Si 系／薄膜 Si 系／CIS 系に於いて、其々46／73／100（kg-CO2/kW）の CO2 削減効果が得られることを確認した。	○	なし
３． 広域対象の PV システム汎用リサイクル処理に必要な社会システムの調査・提案	広域対象の PV システム汎用リサイクル処理に必要な社会システム整備に関する必須事項を専門委員会で議論できていること。	・家電リサイクルシステムを参考に、運送・解体業者等のヒアリングをベースに、回収ロジスティックス基本モデルを作成し、回収費用を試算した結果、3600 円/kW（各県に 2 カ所の回収拠点を設置）になることを把握した。 ・回収に関する廃掃法を調査し課題を整理、社会システム整備上の必須事項を専門委員会で議論済み。	○	なし

2. 実用化・事業化見通し

１）事業化イメージ

事業化イメージを図Ⅲ-2-(へ)-E-2(1)に示す。廃棄 PV パネルの排出源となるのは、①戸建住宅、②メガソーラ等の産業用ソーラ、及び③モジュール工場である。①と②では当面、初期不良品や外部要因による破損品等が対象で、一件当たりの数量が少ないため、廃棄モジュール回収システムの確立が不可欠となる。③では製造過程で発生するスクラップが対象となる。

以上のことを考慮すると、事業性はリサイクル徴収費とリサイクル処理で回収した有価物の売却収入との合計が、廃棄モジュール回収システムによる回収コストと処理コストの合計をどの程度上回れるかで決まる。特にリサイクル徴収費を以下に少なくできるかがキーポイントで、そのためには回収コストと処理コストを如何に低くできるかがキーポイントとなる。



図Ⅲ-2-(へ)-E-2(1)　事業化イメージ

２）事業化に対する課題と対策

（１）一貫処理システムの長期信頼性/安定性/経済性の実証

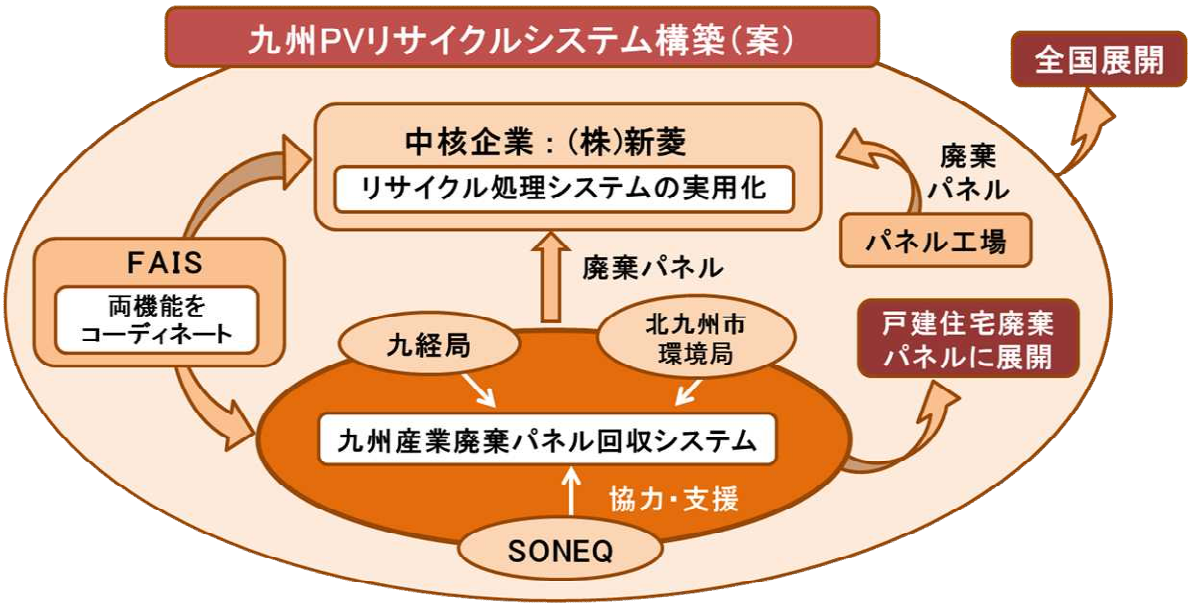
システムの重要プロセスである EVA 熱処理装置の長期信頼性向上対策等が必要

→　NEDO 低コスト分解処理技術実証事業（H27～H29 年度）にて、実用性及びコストを実証する。

（２）大量の廃棄モジュール確保のための拠点回収システム構築

廃棄モジュールの安定・大量確保のため、広域から拠点回収するシステム構築が必要

→　北九州市、九州経済産業局及び“九州ソーラー＆クリーンエネルギーネットワーク（ＳＯＮＥＱ）”と連携し、廃棄モジュール処理の実態を把握すると共に、運送業者の経験・ノウハウを生かし、実態に即した回収システム構築を目指す。（図Ⅲ-2-(へ)-E-2(2)参照）



SONEQ：九州ソーラー＆クリーンエネルギーネットワーク

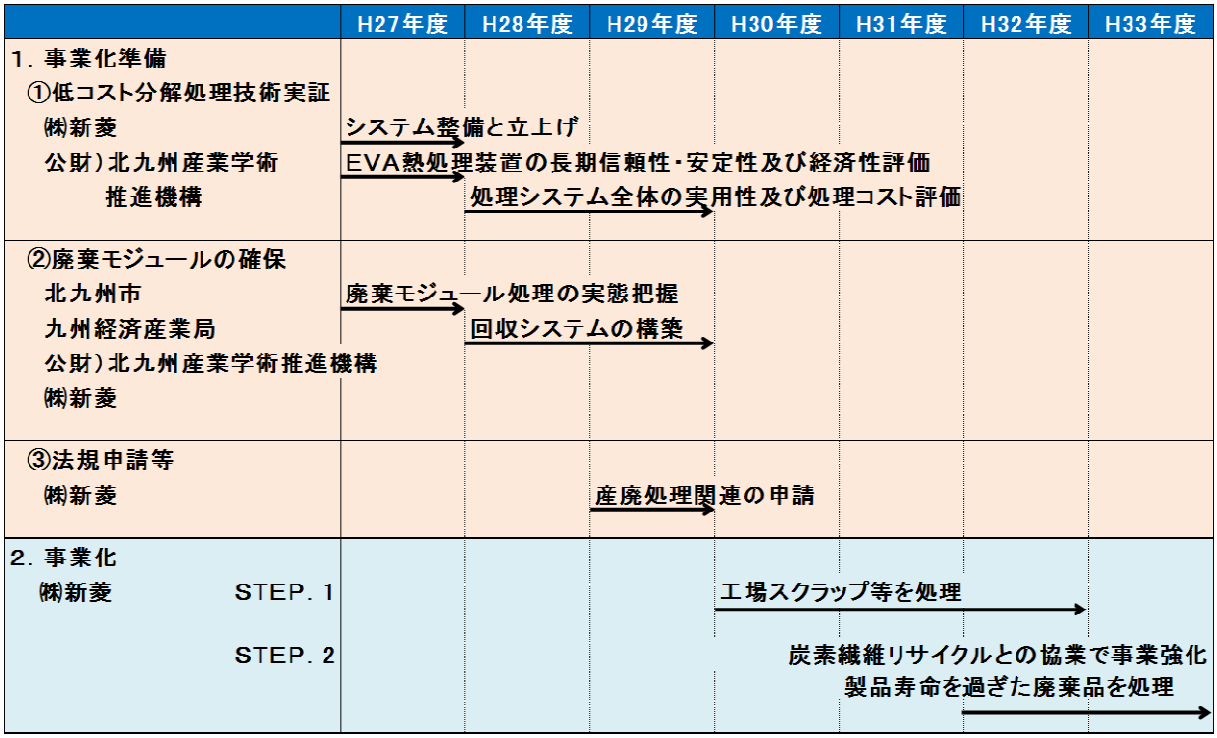
図Ⅲ-2-(へ)-E-2(2)

３）事業計画

事業計画を表Ⅲ-2-(へ)-E-2(1)に、事業化スケジュールを図Ⅲ-2-(へ)-E-2(3)に示す。

表Ⅲ-2-(へ)-E-2(1)　事業計画

フェーズ	年度	事業内容	売上（百万円/年）
準備期	H27～H29	・設備信頼性アップ、低処理コスト化 ・九州廃棄モジュール回収システム構築	―
立上げ期（STEP. 1）	H30～H32	・工場スクラップ品処理事業開始 ・産業用ソーラー廃棄モジュール処理開始	76
拡大期（STEP. 2）	H32～	・一般住宅廃棄モジュール処理事業開始 ・炭素繊維リサイクルとの協業で処理コスト削減し、事業拡大	140



図Ⅲ-2-(へ)-E-2(3)　事業化スケジュール

3. 波及効果

①技術的効果

ＥＶＡ熱処理技術が炭素繊維強化プラスティックの樹脂除去に応用可能で、炭素繊維リサイクル処理技術開発に貢献する。

②経済的効果

ＰＶモジュールリサイクル処理のバリューチェーンに属する下記業界の事業拡大に効果がある。

・物流業者：ＰＶモジュールの回収
・非鉄精錬業者：回収アルミ及びＳｉセル、ＣＩＳ粉の売却先
・ガラスメーカー：回収ガラスの売却先

③社会的効果

将来必ず大量発生する廃棄モジュールを埋立て処理することなく、リサイクル処理により資源有効利用を促進して地球環境負荷を下げ、持続可能社会実現に貢献する。

4. 今後の展開

ＮＥＤＯ「低コスト分解処理技術実証事業」完遂と共に、産廃処理上の法規申請等を実施し、先ずはＰＶモジュールメーカーから発生する工場スクラップ（規格外品）を対象とした事業化を目指す。

その後、技術的波及効果である炭素繊維強化プラスティックの樹脂除去リサイクル技術を実用化させ、PV リサイクルとの並行処理による処理コストの低減化を図り、事業を強化する。

将来的には製品寿命を過ぎて廃棄される家庭用・事業所用ＰＶモジュールへと処理対象を拡大する。

5. 特許論文リスト

表Ⅲ-2-(へ)-E-5(1)

	H22	H23	H24	H25	H26	終了後	計
特許出願（うち外国出願）	0	1	2	0	2	0	5 件
論文（査読付き）	0	0	0	0	1	0	1 件
研究発表・講演（うち国際会議）	0	0	2	2	5 (1)	2	11 件
新聞・雑誌等への掲載	5	0	8	1	0	0	14 件
受賞実績	0	0	0	0	0	0	0 件
展示会への出展	2	0	1	2	1	1	7 件

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外国PCT	出願日	状態	名　　称	発明者
1	ソーラーフロンティア(株)	特願 2012-070522	国内	2012/3/27	取下	ガラス材の回収方法	西　博史
2	(株)新菱	特願 2012-263172	国内	2012/11/30	出願	太陽電池素子構成材料の回収方法	齊藤　寛 則行　信達
3	(株)新菱	特願 2012-267467	国内	2012/12/6	出願	太陽電池モジュール解体装置	齊藤　寛 則行　信達
4	ソーラーフロンティア(株)	特願 2014-035174 優先権主張 特願 2015-029492	国内	2014/2/26 2015/2/18	出願	サブストレート型薄膜太陽電池のリサイクル方法及び遷移金属付き基板のリサイクル方法	西　博史 櫛屋　勝巳 伊東　哲治 萩原　隆 三谷　守俊 北村　卓
5	ソーラーフロンティア(株)	特願 2015-036361	国内	2015/2/26	出願	研磨方法及び研磨装置	萩原　隆 三谷　守俊 北村　卓

（※Patent Cooperation Treaty：特許協力条約）

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	M. Noda, K. Kushiya, H. Saito, K. Komoto, T. Matsumoto	・(公財)北九州産業学術推進機構 ・ソーラーフロンティア(株) ・(株)新菱 ・北九州市立大学	Development of the PV recycling system for various kinds of PV Modules	第 6 回太陽光発電世界会議（WCPEC-6）PROGRAM、1315-1316	有	2014/11/23-27

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	○内田裕之 河本桂一 古島康 矢次洋平 松本亨 野田松平 斎藤寛	・みずほ情報総研(株) ・北九州市立大学 ・(公財)北九州産業学術推進機構 ・(株) 新菱	広域的処理を想定した太陽電池モジュール汎用リサイクル処理手法に関するライフサイクル評価	第 8 回日本 LCA 学会研究発表会	2013/3/7
2	○佐藤太平 松本亨 藤山淳史 吉村英俊 内田裕之	・北九州市立大学 ・みずほ情報総研(株)	太陽光パネル廃棄量の将来推計と再資源化のための最適輸送計画	第 8 回日本 LCA 学会研究発表会	2013/3/7
3	○M. Noda, K. Kushiya, H. Saito, K. Komoto, T. Matsumoto	・(公財)北九州産業学術推進機構 ・ソーラーフロンティア(株) ・(株)新菱 ・北九州市立大学	Development of the PV recycling system for various kinds of PV Modules	第 6 回太陽光発電世界会議（WCPEC-6）	2014/11/26
4	野田松平	(公財)北九州産業学術推進機構	将来の太陽光パネル廃棄にむけた課題	日本消費生活アドバイザー・コンサルタント協会東部支部シンポジウム「太陽光発電の知	2014/1/26

				恵袋」	
5	野田松平	(公財)北九州産業学術推進機構	太陽光発電パネルリサイクル現状と今後	鹿児島県産業廃棄物協会「産業廃棄物リサイクル技術等セミナー」	2014/2/25
6	野田松平	(公財)北九州産業学術推進機構	太陽電池リサイクル事業計画・太陽光発電量計算実習	JICA「太陽光エネルギー発電技術」研修	2014/4/16
7	野田松平	(公財)北九州産業学術推進機構	太陽電池パネルのリサイクル	北九州市民カレッジ	2014/11/19
8	野田松平	(公財)北九州産業学術推進機構	太陽光発電パネルのリサイクル技術	北九州工業高等専門学校専攻科特論Ⅳ「先端的低炭素化技術特論」	2014/12/12
9	野田松平	(公財)北九州産業学術推進機構	太陽光発電パネルリサイクルシステムの開発状況と今後の課題	日本エネルギー学会リサイクル部会 2014 年度勉強会	2014/12/19
10	野田松平	(公財)北九州産業学術推進機構	太陽光パネルのリサイクルについて	NEW 環境展記念セミナー 講座 6	2015/5/27
11	野田松平	(公財)北九州産業学術推進機構	太陽光発電のリサイクル技術の現状と今後の動向について	地球環境技術推進懇親会「循環・代謝型社会システム研究会」	2015/9/14

(b)新聞・雑誌等への掲載

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	(公財)北九州産業学術推進機構	太陽光パネル ゴミにしない・産学官 再利用プロジェクト	朝日新聞	2010/7/8
2	(公財)北九州産業学術推進機構	太陽電池のリサイクル　北九州市で研究	日本経済新聞	2010/7/8
3	(公財)北九州産業学術推進機構	太陽光パネルをリサイクル	毎日新聞	2010/7/8
4	(公財)北九州産業学術推進機構	太陽電池パネル将来の大量廃棄に備え リサイクル技術開発へ	西日本新聞,朝刊 18 面	2010/7/8
5	(公財)北九州産	産学連携で PV リサイクル技術開	エネルギーと環	2010/7/22

	業学術推進機構	発、北九州市	境, p.8	
6	(公財)北九州産業学術推進機構	進化する環境未来都市・一歩先のリサイクル	読売新聞, 朝刊 28 面	2013/1/9
7	(公財)北九州産業学術推進機構	太陽光パネルリサイクル施設	NHK 福岡放送	2013/2/20
8	(公財)北九州産業学術推進機構	北九州市に太陽光パネルのリサイクル施設	九州朝日放送	2013/2/20
9	(公財)北九州産業学術推進機構	太陽光発電パネルリサイクル研究	テレビ西日本	2013/2/20
10	(公財)北九州産業学術推進機構	世界初の太陽光パネルリサイクル装置 北九州市で開発	テレビ九州	2013/2/20
11	(公財)北九州産業学術推進機構	太陽光パネルをリサイクル 北九州市に施設完成	毎日新聞, 朝刊 24 面	2013/2/21
12	(公財)北九州産業学術推進機構	太陽光パネルリサイクル	日刊工業新聞, 朝刊 31 面	2013/2/22
13	(公財)北九州産業学術推進機構	太陽光パネルのリサイクル探る	朝日新聞, 朝刊 33 面	2013/3/4
14	(公財)北九州産業学術推進機構	太陽電池の大量普及に伴うリサイクルシステム構築について	PVTEC ニュース 2013 Vol.65 11 月号,p.14	2013/11/25

(c)その他 (展示会への出展)

番号	出展者	展示会名	開催場所	開催年月
1	(公財)北九州産業学術推進機構	第 10 回産学連携フェア	北九州学術研究都市	2010/10/27-29
2	(公財)北九州産業学術推進機構	エコテクノ 2010	西日本総合展示場	2010/10/13-15
3	(株) 新菱	エコテクノ 2012	西日本総合展示場	2012/10/11-13
4	(株) 新菱	エコテクノ 2013	西日本総合展示場	2013/10/16-18
5	(株) 新菱	インドネシア・日本国交樹立 55 周年記念「Indonesia Japan EXPO 2013 ～ Smart Community in Indonesia～」	インドネシア ジャカルタ クマヨランＪＩＥＸＰＯ (Jakarta International Expo)	2013/12/19-22
6	(株) 新菱	エコテクノ 2014	西日本総合展示場	2014/10/8-10
7	(株) 新菱	エコテクノ 2015	西日本総合展示場	2015/10/7-9

F 太陽光発電技術開発動向等の調査

1. 成果詳細

(1)太陽光発電技術開発に関する基礎的動向の調査

太陽光発電に関する次期技術開発計画の検討に資するよう、太陽光発電に関する最新の国内外の技術開発動向、諸外国の国家プロジェクト等について国際会議や学術会議、直接ヒアリング等から調査・分析し、技術開発動向を体系的に把握した。また、太陽電池技術別の世界の主要機関による取り組みと、技術課題及び今後の研究開発の方向性をまとめた。各国で展開されている、太陽光発電に関する主要な研究開発プログラムについて表 III-2-(へ)-F-1(1)に纏めた。また、日米欧における技術開発目標について表 III-2-(へ)-F-1(2)において比較した。

表.III-2-(へ)-F-1(1)　各国における主要な太陽光発電関連プログラム
（2014年現在、日本は2014年度）

国	研究開発プログラム
日本（2014年度）	・太陽光発電技術研究開発 - 革新的太陽光発電技術研究開発（2008年度～） - 太陽光発電システム次世代高性能技術開発（2010年度～） - 福島県再生可能エネルギー研究開発拠点整備事業（2011年度～） - 福島県再生可能エネルギー研究開発事業（2011年度～） - 有機系太陽電池実用化先導技術開発（2012年度～） - 太陽光発電多用途化実証プロジェクト（2013年度～） - 太陽光発電システム維持管理及びリサイクル技術開発（2014年度～） - 戦略的創造研究推進事業（先端的低炭素化技術開発、CREST、さきがけ）（文部科学省） - 東北復興次世代エネルギー研究開発プロジェクト（文部科学省） - 革新的エネルギー研究開発拠点形成事業（「FUTURE」プロジェクト）（文部科学省） ・系統連系技術研究開発 - 新エネルギー系統対策蓄電システム技術開発 - 革新型蓄電池先端科学基礎研究事業 - リチウムイオン電池応用・実用化先端技術開発事業 - 電力系統出力変動対応技術研究開発事業 - 分散型エネルギー次世代電力網構築実証事業 - 太陽光発電無線層受電高効率化研究開発 - 国際エネルギー消費効率化等技術・システム実証事業 - 次世代型双方向通信出力制御実証事業 - 太陽光発電出力予測技術開発実証事業 - 電力系統関連設備形成等調査 - 次世代エネルギー・社会システム実証事業 - 次世代エネルギー技術実証事業 - 国際エネルギー使用合理化等対策事業 - 再生可能エネルギー余剰電力対策技術高度化事業 - スマートコミュニティ導入促進事業 - スマートエネルギーシステム導入促進事業 ・その他関連事業 - 新エネルギーベンチャー技術革新事業 - 住宅・ビルの革新的省エネ技術導入促進事業 - 新エネルギー等共通基盤整備促進事業 - 独立型再生可能エネルギー発電システム等対策事業 環境省：先導的「低炭素・循環・自然共生」地域創出事業

国	研究開発プログラム
米国	・太陽エネルギー技術プログラム（SETP） ・SunShot計画（2011年～） 2020年までに太陽光発電システム価格の75%低減を目標とし、研究開発プロジェクトを実施 - 公募プロジェクト - 太陽電池セル変換効率向上のための基礎プログラム（PACE）：18件のプロジェクト - マイノリティーの大学におけるマイノリティー研究者支援：6件のプロジェクト - 太陽光発電科学技術の転換：次世代太陽光発電Ⅱ：23件のプロジェクト - BRIDGEプログラム：12件のプロジェクト - SunShotインキュベータ6プログラム：10件のプロジェクト - SunShotインキュベータ7プログラム：11件のプロジェクト - SunShotインキュベータ8プログラム：3件のプロジェクト - 太陽電池製造イニシアチブ（PVMI）パート2：SUNPATHプログラム - 太陽エネルギー製造技術（SolarMat） - 太陽電池サプライチェーン及び横断的技術プログラム - BOSハードウェアの急進的コスト削減：9件のプロジェクト - 太陽エネルギー系統インテグレーション（SGIS）：先進的概念：8件のプロジェクト - 市場障壁の低減と非ハードウェアBOS価格の削減：7件のプロジェクト - Rooftop Solar Challengeプログラム：22件のプロジェクト - Rooftop Solar ChallengeプログラムⅡ：8件のプロジェクト - プラグ&プレイ太陽光発電システムプログラム：2件のプロジェクト - 太陽光発電高度浸透プログラム・出力予測技術向上 - SunShot賞コンテスト - 再生可能エネルギー普及促進のための系統工学プログラム（GEARED） - 信頼性の物理：太陽光におけるコンポーネント技術の設計評価（PREDICTS） - 中小企業革新研究（SBIR）及び中小企業技術移転（STTR）プログラム
欧州連合（EU）	・第7次枠組プログラム（FP7）（2007～2013年）： ・研究開発：材料開発、生産プロセスの開発、集光型太陽光発電、薄膜太陽電池、ウエハーベース太陽電池、他 ・ネットワーク活動：欧州太陽光発電技術プラットフォーム、IEA-PVPS ・欧州太陽光発電技術プラットフォーム：太陽光発電戦略的研究計画（SRA）第2版（2011年9月） ・欧州太陽エネルギー産業イニシアチブ（SEII）の実行計画（2010～2012年） ・欧州太陽エネルギー産業イニシアチブ（SEII）の実行計画（2013～2015年） ・Horizon2020（2014年～2020年） ・FP7の後継プログラムで、効率的で信頼でき、かつコスト競争力のある太陽光発電システムの開発に対する欧州の支援継続が期待されている ・欧州太陽研究領域ネットワーク（Solar ERA-NET）の公募
ドイツ	・「技術革新及び新エネルギー技術」：第6次エネルギー研究・エネルギー技術プログラム（2011年～）（連邦環境・自然保護・原子力安全省（BMU）、連邦教育・科学・研究・技術省（BMBF）） ・「Solarvalley Mitteldeutschland」クラスタ開発（連邦教育・研究省（BMBF）） ・Innovation Alliance PV：（BMU及びBMBFによる合同イニシアチブ、2010年～）
スイス	・国家プログラム「エネルギー研究・技術・開発総合基本計画」の下で太陽光発電RTD（研究・技術・開発）を実施、主要担当機関は次の通り - スイス連邦エネルギー局（SFOE）：研究開発プロジェクトの調整機関 - スイス連邦エネルギー研究委員会（CORE） - ヌーシャテル大学・マイクロ技術研究所（IMT） - スイス連邦工科大学（ETH）ローザンヌ校（FPRL、ローザンヌ工科大学） - スイス連邦材料試験研究所（EMPA） - ブルクドルフ工業大学、ルガーノ工業大学 2013年には、合計75件以上の研究開発プロジェクトが実施された

国	研究開発プログラム
フランス	・環境・エネルギー管理庁（ADEME）による支援 新製品の上市を目的とした産業における技術開発 AMI PVプログラムの研究プロジェクト：9件（2011）、2件（2014） ・国家研究機関（ANR）による支援 製造前段階である上流の研究及び開発 PROGELECプログラム（2011～2013年）：5件（2011）、5件（2012）、7件（2013） ・起業支援・イノベーション振興機構（OSEO）による支援 戦略的産業イノベーション（ISI）業務支援プログラム 4件のプロジェクトを支援 ・国家太陽エネルギー研究所（INES）：結晶シリコン太陽電池、システム開発、システム評価 PV Allianceプログラム：LabFab（多結晶シリコン太陽電池セルの性能向上）、LabFab2（高効率ヘテロ接合結晶シリコン太陽電池セルの開発）、PHOTOWATT製の多結晶シリコン太陽電池セルの性能向上 ・太陽エネルギー研究開発機関（IRDEP）：薄膜分野を扱う研究機関 ・Tenerrdis新エネルギー技術クラスタ：ローヌ・アルプ地域における産業支援
中国	・太陽光発電の導入目標を上方修正：2015年15GW□2015年35GW ・第12次5ヶ年計画・太陽光発電産業発展計画を策定（工業・情報化部） ・第13次5ヶ年計画の方向性の草案を議論 ・工業・情報化部、「太陽電池製造業参入条件」正式リストを公開 ・工業・情報化部、「太陽電池製造適合企業」正式リストを公開 ・工業・情報化部、産業の合従連衡を推進する文書を発表 ・①国家自然科学資金、②国家重点基礎研究発展計画（973計画）、③高技術研究発展計画（863計画）等を通して太陽光発電の研究開発プロジェクトを実施 ・2012年2月23日に、「中国国家可再生能源中心（China National Renewable Energy Center（CNREC））」を設立 ・2010年1月に中国科学技術部（MOST）は、大学及び企業を活用して太陽光発電の基幹研究機関として国家太陽光発電技術研究所（State Key Laboratory of PV Technology）を設立、5機関を認定（Trina SolarとYingli Green Energyを含む）
台湾	・産業振興政策として太陽光発電産業を重視 ・国家計画「グリーン・エネルギー産業計画」において2015年の目標を策定 ・台湾工業技術研究院（ITRI）を中心に研究開発を展開 ・結晶シリコン太陽電池の研究開発が中心だが、CIGS及び有機系も活発化 ・100万ルーフトップ太陽光発電普及プログラム ・海外市場拡大計画 ・太陽光発電産業における技術革新
韓国	・第2次10ヶ年新再生可能エネルギー（NRE）研究・開発・実証基本計画に基づいて太陽光発電の研究開発を実施 ・独自技術、戦略技術、商業化（フィールドテスト）、重要技術等のプログラムを実施 ・太陽光発電研究開発戦略の見直し（2013年～） ・CIGS太陽電池研究開発プログラム ・スマートグリッドの実証実験を開始（済州島など）

表. Ⅲ-2-(へ)-F-1(2)　日米欧における太陽光発電技術開発目標の比較（2014年現在）

	日本[1]	米国[2]	欧州[3]
主要な研究開発分野（相互比較）	結晶Si、薄膜Si、CIGS、有機薄膜、モジュール長寿命化、性能評価、耐久性評価	シングル接合、タンデム、集光型、色素増感型、プラズモニクス、有機、中間バンド、ハイブリッド有機、ハイブリッド非有機、高効率多接合、システムインテグレーション	結晶Si、薄膜Si、CIGS、集光型、色素増感型、有機系、新コンセプト、 BIPV、リサイクル、システム利用技術、評価技術、標準化
研究開発目標	（2025年） ・モジュール変換効率： 結晶Si 25%、 薄膜Si 18%、 CIS系 25% 化合物系 40% ・シリコン消費原単位： 3g/W ・寿命：30年 （2020年）	（2015年） ・モジュール変換効率： 結晶Si：16～23% 薄膜Si：12% CIGS/CZTS：13～16% CdTe：14% Ⅲ-V：30～36% ・（参考）モジュール変換効率：結晶Siでモジュール変換効率21.5%であれば、モジュールコスト0.68ドル/Wが可能 ・パワーエレクトロニクス 変換効率：＞95% 耐用年数：30年	（2025～2035+年） ・モジュール変換効率： 結晶Si：＞25% 薄膜Si：＞16% 化合物：18～21% 低倍率集光：＞23% 高倍率集光：＞45% ・エネルギー回収期間 結晶Si：＜6ヶ月
コスト目標	（2020年） 14円/kWh、75円/W （2030年） 7円/kWh、50円/W （2050年） <7円/kWh、<50円/W	（2020年） 1ドル/W（電力事業用） 1.25ドル/W（商用分散型） 1.50ドル/W（住宅用分散型）	（2020年） 1.5ユーロ/W、0.10ユーロ/kWh（欧州南部） （2030年） 1ユーロ/W、0.06ユーロ/kWh（欧州南部） （長期見込み） 0.5ユーロ/W、0.03ユーロ/kWh（欧州南部）

出典： 1. 「太陽光発電開発戦略（NEDO PV Challenges）」、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）、2014年9月他
2. 米国エネルギー省（DOE），“$1/W Photovoltaic Systems White Paper to Explore A Grand Challenge for Electricity from Solar”（2010年8月）、国立再生可能エネルギー研究所（NREL）資料
3. European PV Technology Platform, “A Strategic Research Agenda for Photovoltaic Solar Energy Technology Edition 2”（2011年9月）

欧米は太陽電池生産量の世界シェアが低下しているが、研究・技術開発は継続して取り組まれている。米国では、2011 年 2 月から開始された太陽光発電に関する大型研究開発プログラム「SunShot 計画」の下で研究開発が推進されている。米国エネルギー省（DOE）によれば、電力事業規模太陽光発電システムの発電コストは、2013 年末には 11.2 セント/kWh となっており、2020 年の目標 6 セント/kWh に向け、10 年間かける予定の計画の 6 割をわずか 3 年で実現した。また米国では、デバイス・システム技術開発を継続するとともに、ソフトコスト低減を重視した取り組みを行っている。欧州連合（EU）では、7 次枠組みプログラム（FP7）（2007～2013 年）の下で広範なプロジェクトが実施されている。2014 年からはその後継プログラムとして策定された「Horizon 2020」（2014～2020 年）において、2014、2015 年の重点分野（次世代高性能・低コスト太陽電池の開発、無機薄

膜太陽電池・建物一体型システムの実証等）が発表された。産官連携による研究開発の枠組となる欧州太陽エネルギー産業イニシアチブ（SEII, Solar European Industry Initiative）では、2013～2015 年の期間に官民合計で約 13 億ユーロの投入が提案され、様々なテーマの研究開発プロジェクトが実施されている。その他、中国では第 12 次 5 ヶ年計画（2011～2015 年）に基づき太陽光発電技術の研究開発を進める一方、政府主導により太陽電池関連企業再編による産業の競争力強化が図られている。また、2014 年 4 月に新たに第 13 次 5 ヶ年計画（2016～2020 年）の策定が開始され、太陽光発電の研究開発についても草案策定を実施している。さらに 9 月には中国科学院が中心となり、2050 年までの太陽光発電ロードマップが策定された。また韓国、台湾でも国家目標に沿った研究開発が継続されている。インドにおいては、2022 年までに太陽エネルギー導入量を 100GW に拡大する目標が設定され、この目標達成に向け、太陽光発電に関する研究開発が強化される見込みである。

世界の太陽電池および太陽光発電システムに関する主要研究機関とその機関が取り組んでいる研究開発分野について表.III-2-(へ)-F-1(3)および III-2-(へ)-F-1(4)に示す。

表.Ⅲ-2-(へ)-F-1(3)　太陽電池研究開発に取り組む世界の主要研究開発機関と技術開発の取り組み状況

（◎：研究開発をとくに活発に実施、○研究開発を活発に実施、△研究開発を実施）

国名	機関名	Si 原料	結晶Si	薄膜Si	CIGS/ CZTS	CdTe	超高 効率	DSC/ ペロブスカイト	OPV
米国	国立再生可能エネルギー研究所（NREL）		○	○	◎	◎	◎	△	○
	サンディア国立研究所		○						
ドイツ	フラウンホーファー太陽エネルギー・システム研究所（FhG-ISE）	○	◎	△			◎	○	○
	ハーメルン太陽エネルギー研究所（ISFH）		◎		◎			○	○
	太陽エネルギー・水素研究センター（ZSW）				◎				
	ヘルムホルツセンター・ベルリン（HZB）		△	◎	◎				
	コンスタンツ大学国際太陽エネルギーセンター（ISC Konstanz）		◎	△			△		
ベルギー	大学間マイクロエレクトロニクス研究センター（IMEC）		◎	○				○	○
オランダ	オランダエネルギー研究財団（ECN）	△	◎	○					○
	太陽光発電研究開発機関（IRDEP）				◎	○	○	○	
フランス	国立太陽エネルギー研究所（INES）	○	◎				○		◎
	フランス太陽光発電研究所（IPVF）		○		○				
スイス	スイス連邦材料試験研究所（EMPA）				◎	○		○	

国名	機関名	Si 原料	結晶Si	薄膜Si	CIGS/ CZTS	CdTe	超高 効率	DSC/ ペロブス カイト	OPV
ノル ウェー	ノルウェー太陽電池技術研究センター	◎	◎						
中国	中国科学院　電工研究所（IEE CAS）		◎	○		△			
	中国科学院　上海マイクロシステム情報技術研究所・新エネルギー研究センター（CAS SIMIT）		◎		◎				
	中国科学院（CAS）・化学研究所							○	○
	中国科学院深セン先進技術研究院				◎				
	中国科学院（CAS）・プラズマ物理研究所								◎
	天津電力研究所						◎		
台湾	工業技術研究院（ITRI）		◎	○	△			◎	
韓国	韓国エネルギー研究所（KIER）		○	○	◎		○	○	
	韓国科学技術院（KAIST）			◎	◎				
	韓国化学技術院（KRICT				◎			◎	◎
	韓国生産技術研究院（KITECH）	◎							
	韓国光技術院（LOPTI）						◎		
シンガ ポール	シンガポール太陽エネルギー研究所（SERIS）		◎				◎	○	○
オースト ラリア	オーストラリア太陽エネルギー研究所（ASI）		◎		○		○	○	○
インド	国家太陽エネルギー研究所		◎						
	国立太陽光発電研究・教育センター（NCPRE）		○				○		

出典：（株）資源総合システム調べ

表.Ⅲ-2-(へ)-F-1(4)　太陽光発電システム関連の研究開発に取り組む世界の主要研究開発機関と技術開発の取り組み状況

（◎：研究開発をとくに活発に実施、○研究開発を活発に実施、△研究開発を実施）

国名	機関名	モジュール信頼性	BOS	システム	施工	評価・標準化	系統技術
米国	国立再生可能エネルギー研究所（NREL）	◎	○	○		◎	○
	サンディア国立研究所	○	◎	◎	○	◎	◎
EU	欧州共同研究センター（JRC）	◎		○		◎	
ドイツ	フラウンホーファー太陽エネルギー・システム研究所（FhG-ISE）	◎	○	○		◎	
	フラウンホーファー風力・エネルギーシステム研究所（FhG-IWES）	◎	◎	◎		◎	◎
	ハーメルン太陽エネルギー研究所(ISFH)						
	太陽エネルギー・水素研究センター（ZSW)			○		○	
	ヘルムホルツセンター・ベルリン（HZB)						
	コンスタンツ大学国際太陽エネルギーセンター（ISC Konstanz）						
ベルギー	大学間マイクロエレクトロニクス研究センター（IMEC）		○				
オランダ	オランダエネルギー研究財団（ECN）			△			
オーストリア	AIT	○	◎	○			◎
フランス	国立太陽エネルギー研究所（INES）			○			
スイス	スイス連邦材料試験研究所（EMPA)						
	スイス連邦工科大学（EPFL）			○			
中国	中国科学院　電工研究所　（IEE CAS)	◎		○	○	◎	○
	中国科学院　上海マイクロシステム情報技術研究所・新エネルギー研究センター（CAS SIMIT）			○		○	
台湾	工業技術研究院（ITRI）	◎	○	○		◎	◎
韓国	韓国エネルギー研究所（KIER)	◎	○	○		◎	◎
シンガポール	シンガポール太陽エネルギー研究所（SERIS）		○	○		○	
オーストラリア	国立ソーラーエネルギー研究所（CSIRO）			○		◎	
インド	国家太陽エネルギー研究所		◎	◎			

出典：（株）資源総合システム調べ

(2) 特定分野における技術動向、技術開発動向の調査と方向性の分析

太陽電池用シリコン原料技術、結晶シリコン太陽電池、CdTe 太陽電池、薄膜シリコン、CIS 系太陽電池など特定の分野に絞り産業界の技術動向などを調査し、各分野の技術動向、技術開発動向を分析することにより、今後必要となる技術研究開発の方向性について検討した。また新興国における技術開発状況を把握するため、ヒアリング調査等を元に、台湾、韓国、インドについて重点的に調査・分析を行った。このほか、太陽光発電所における技術的課題、及び建材一体型太陽光発電（BIPV）について調査し、動向を分析した。

(3) 太陽光発電ロードマップ（PV2030+）の実現に向けた現状と課題に関する調査

国内外の政策や市場状況が劇的に変化している中で、PV2030＋を早期かつ確実に実現するため、国内外における太陽光発電産業や技術開発、利用環境などに関する各種状況変化とその影響、対応すべき課題などについて調査・分析した。

a. アジア諸国太陽電池製造企業の動向調査
b. ロードマップ（PV2030＋）に関する最近の環境変化と目指す姿の検討
c. 普及のために解決すべき課題の実態調査・分析
d. 信頼性向上に関する調査
e. 太陽光発電の利用拡大への取り組みと課題の分析
f. 今後の日本の太陽光発電の発展とこれらに対する取り組み方向の検討

(4) 各国の研究開発施策、技術開発動向の比較・分析、及び今後の太陽光発電技術開発の方向性の調査と分析

日本を含む各国での太陽光発電研究開発動向について、開発進捗状況や市場変化の検討、国家間の開発方針や各技術分野への取り組みの状況などについて比較・分析を行なう。また、これらの結果に基づいて、我が国の太陽光発電ロードマップ（PV2030+）の見直しや、次期技術研究開発計画への移行に向けた方針策定に資するように今後の太陽光発電技術研究開発の方向性の検討を行った。

a. 平成 22 年度：先進各国・地域の技術開発戦略を体系的に比較・分析
b. 平成 22 年度及び 23 年度：実証研究プロジェクトのあり方・方向、および技術基盤整備の問題点を整理
c. 平成 23 年度：新興国等の産業発展と技術開発変化について分析し
d. 平成 23 年度及び 24 年度：太陽光発電技術研究開発の方向性を検討
e. 平成 24 年度：重要技術の最新開発動向や、新興国における技術開発動向等について調査
f. 平成 24 年度：台湾、インド、韓国等の新興国における研究開発状況について重点的に調査

エネルギー環境や社会環境、市場の成熟度等によって、太陽光発電に対する研究開発の位置づけは大きく異なっており、重点を置く分野も異なる。しかし、いずれの国にも共通するのは、いち早く低コスト化を進めグリッド・パリティを実現すべく市場の拡大を目指すと同時に新産業としての太陽光発電産業の育成を狙っている点である。各国の狙う市場は自国内だけとは限らないが、太陽光発電がエネルギーの一角を担うことのできる経済

性と信頼性、利便性を確保することができれば、莫大な市場が期待できるだけに、各国では積極的な開発競争が展開されている。日本の研究開発においても、将来を睨んだ積極的な展開により、我が国の太陽光発電産業の国際競争力を確保することが不可欠と言える。

(5) 太陽光発電システム等の普及動向に関する調査

新エネルギーの中核の一つとなる太陽光発電システムについて、供給面、需要面、行政面からの世界の取組の動向を調査した。具体的には、我が国の太陽光発電システムの普及をさらに促進し、国際競争力を強化するために、国内外のマーケット動向、普及施策動向等の詳細な調査を実施すると共に、将来にわたる普及拡大と産業育成に向けた我が国の施策立案に資するよう、太陽光発電市場の予見可能性を向上させ、市場の透明性を確保するために、信頼性の高い戦略的資料を作成した。

表.Ⅲ-2-(へ)-F-1(5)　日本の太陽光発電の SWOT 分析

強み	弱み
・高性能・高品質な太陽電池を量産できる高度な生産技術 ・企業が保有する高い技術開発力・商品開発力 ・住宅用太陽光発電システムという市場の確立 ・高い技術力を有する材料・部品・製造装置・システム機器といった周辺産業の存在 ・世界各地での太陽電池モジュール生産拠点の展開 ・太陽電池産業の安定した経営基盤（太陽電池専業ではなく、多くの事業を持つ安定した経営） ・長期間の運転実績と、信頼性に関する技術蓄積 ・継続した国の技術開発支援、市場形成支援	・個人住宅市場に依存し、公共・産業用や電気事業用市場の形成の遅れ ・意思決定の遅さと控えめな設備投資（ギガワット生産体制の遅れ） ・新興国に比べて経営コストの高い事業環境（安全、人件費、環境、税体系、エネルギーコストなど） ・太陽光発電分野全般にわたる中核的人材の不足 ・導入目標に対する具体的な実行計画の不明確さ ・バリューチェーンを通した産業強化戦略の欠如 ・中核的研究機関のリーダーシップ不足
機会	**脅威**
・環境都市やスマートコミュニティなど、低炭素型社会の実現への取り組み ・全量買取制度の開始 ・原発事故によるエネルギー政策の見直しと電力不足対応 ・エネルギー消費構造の変化（電力化の進展など） ・エネルギー価格の高騰とエネルギー需給の逼迫傾向 ・アジア市場への展開 ・全量買取制度をベースとする、新たなビジネスモデルの登場 ・太陽光発電をめぐる技術開発の推進強化	・新興国/新興企業の迅速な意志決定メカニズムと投資スピード ・新興国における太陽光発電産業への国家的バックアップと低価格攻勢 ・供給過剰に伴う市場価格の暴落 ・系統連系容量の限界に伴う導入制限 ・新興国の技術開発体制の確立と技術力のアップ（欧州の研究機関などとの提携） ・海外の保護主義的対応の台頭（バイ・アメリカンなど） ・エネルギー・環境政策の変化・変動

(6) IEA PVPS プログラム タスク１の活動に関わる国際協力事業

国際エネルギー機関（IEA）の場での研究開発協力を通じて、加盟国間の研究協力を推進するため、IEA PVPS プログラム「タスク１：太陽光発電に関する戦略分析と普及」の活動に、日本の専門家代表として参画し、その活動に関わる報告書を作成した。具体的には以下の活動を行った。

a. タスク 1 専門家会議（第 41 回、第 42 回）に日本の代表として出席し、PVPS 及びタスク 1 の活動について審議した。加盟各国における太陽光発電の動向について情報を収集・調査した。日本の太陽光発電市場について報告した。

b. 日本におけるタスク１専門家会議および、他タスク専門家会議（タスク１、８、９、

１２、１３、１４)、またジョイントタスク会議（平成 26 年 11 月、京都）の開催に向けた準備・運営を行った。またジョイントタスク会議に参加し、IEA PVPS が今後取り組むべき課題について議論し、意見を交換した。

c. 第 6 回太陽光発電世界国際会議（WCPEC-6）において、IEA PVPS はＮＥＤＯとワークショップを共催した。日本の市場についての講演ならびに会議準備・運営も実施した。同ワークショップにおいて各国の取組み及び動向について調査した。

d. 第 29 回欧州太陽光発電国際会議（EUPVSEC-29）において、タスク 1 は欧州太陽光発電産業協会とワークショップを共催した。日本の市場についての講演も実施した。各国や関連機関の取組み及び動向を調査した。

e. タスク 1 及び中国再生可能エネルギー学会・太陽光発電委員会・中国質量認証中心が共催したワークショップにおいて、中国の取組みや各国動向を調査した。日本の市場についての講演も実施した。

f. 日本における太陽光発電の市場、技術開発、政策及び産業動向の調査を実施し、「National Survey Report of PV Power Applications in Japan 2013（国内調査報告書 2013 年)」、「2014 Annual Report, Japan, PV technology status and prospects（年次報告書 2014 年)」及び「Country Report for PVPS Report A Snapshot of Global PV 1992-2014（国別報告 2015 年（速報))」を作成した。また、各国の専門家とともに「Trends in Photovoltaic Applications - Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2013（動向報告書)」「PVPS Report A Snapshot of Global PV 1992-2014（速報値報告書)」の作成に参画および協力した。さらに本調査の一環として、「速報報告書 2013 年」、「動向報告書 2013 年」及び主要国の「国内調査報告書 2013 年」の日本語版を作成した。

(7) 太陽光発電システム等の普及動向等に関する調査

本格普及期を迎えた日本の太陽光発電システムの普及を更に促進し、太陽光発電産業の国際競争力を強化するとともに、激変する世界市場を客観的に分析するために、①日本の太陽光発電システム市場動向、②各国の太陽光発電システム導入動向、③国内外における太陽光発電システムの利用動向、④国内地方自治体の太陽光発電関連政策動向――の詳細な調査を実施し、⑤太陽光発電に関する国際比較・分析と今後の方向性等の検討を行った。

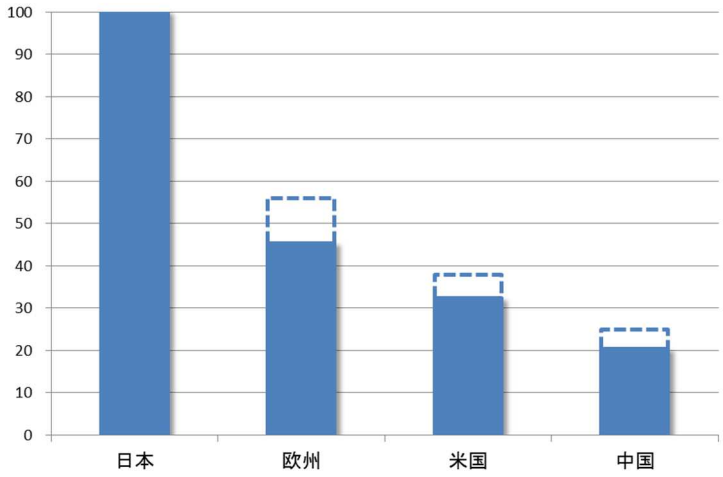


図. Ⅲ-2-(へ)-F-1(1)　太陽光発電所の運転維持費の比較（2014年）

注：日本を100としたときの比率、出典：資源総合システムが実施したヒアリング調査による

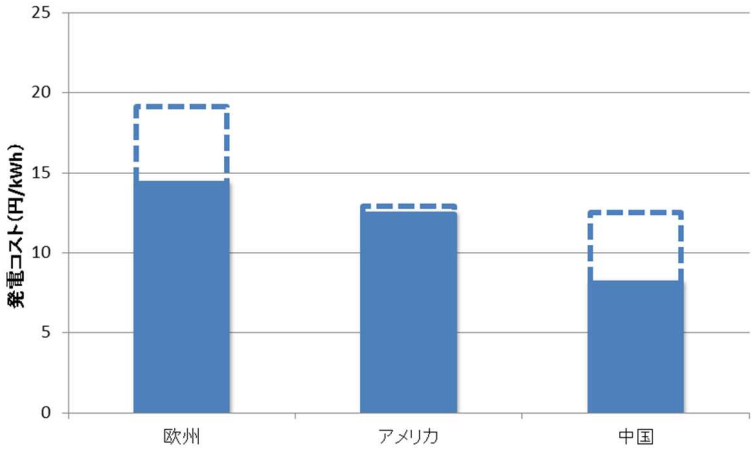


図. Ⅲ-2-(へ)-F-1(2)　海外における低コスト大規模太陽光発電所の発電コスト（2014年）

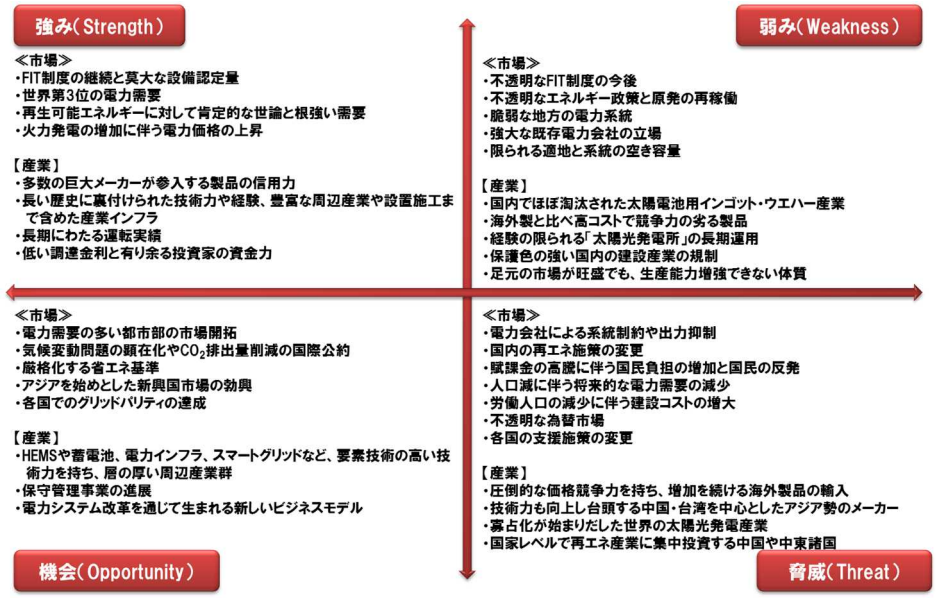


図. Ⅲ-2-(へ)-F-1(3)　日本の太陽光発電市場・産業に対するSWOT分析

表.Ⅲ-2-（へ）-F-1（6）研究開発項目ごとの成果・達成度

テーマ	最終目標	研究開発成果	達成度*[1]	目標達成のために解決すべき課題
(1)太陽光発電技術開発に関する基礎的動向の調査	太陽光発電技術の開発動向をグローバルな視点で追跡するための基礎動向調査として情報収集及び調査を行う。	海外諸国における太陽光発電研究開発プログラム等に関する動向調査、海外における太陽電池技術及びシステム技術の開発状況・進捗状況の調査、各国の産業界での主な技術戦略動向調査などを実施した。欧州諸国や北米諸国などの先進国だけでなく、韓国、中国、インドなどにおける状況についても調査した。	◎	なし
(2) 特定分野における技術動向、技術開発動向の調査と方向性の分析	産業界の技術動向などを追加調査し、各分野の技術動向、技術開発動向を分析することにより、今後必要となる技術研究開発の方向性について検討する。	太陽電池用シリコン原料技術、結晶シリコン太陽電池、CdTe太陽電池、薄膜シリコン、CIS系太陽電池など特定の分野に絞り産業界の技術動向などを調査し、各分野の技術動向、技術開発動向を分析することにより、今後必要となる技術研究開発の方向性について検討した。	◎	なし
(3) 太陽光発電ロードマップ（PV2030+）の実現に向けた現状と課題に関する調査	PV2030＋を早期かつ確実に実現するため、国内外における太陽光発電産業や技術開発、利用環境などに関する各種状況変化とその影響、対応すべき課題などについて調査・分析する。	PV2030+の実現を具体化するために、現在の状況を精査するとともに、課題に関して調査を行った。最近の太陽光発電に対する環境変化への対応と我が国産業の国際競争力の回復も視野に、ロードマップ PV2030+の早期実現を目指した再構築への検討を行った。	◎	なし
(4) 各国の研究開発施策、技術開発動向の比較・分析、及び今後の太陽光発電	日本を含む各国での太陽光発電研究開発動向について、開発進捗状況や市場変化の検討、国家間の開発方針や各技術分野	いずれの国においても、いち早く低コスト化を進めグリッド・パリティを実現すべく市場の拡大を目指すと同時に新産業としての太陽光発電産業の育成を狙っており、各国では積極的な	◎	なし

テーマ	最終目標	研究開発成果	達成度*[1]	目標達成のために解決すべき課題
技術開発の方向性の調査と分析	への取り組みの状況などについて比較・分析を行う。	開発競争が展開されている。日本の研究開発においても、将来を睨んだ積極的な展開により、我が国の太陽光発電産業の国際競争力を確保することが不可欠である。		
(5) 太陽光発電システム等の普及動向に関する調査	太陽光発電システムに関する市場動向や普及動向について調査・分析する。	国内外のマーケット動向、太陽光発電産業動向、普及施策動向等の詳細な調査を実施した。	◎	なし
(6) IEA PVPS プログラム タスク１の活動に関わる国際協力事業	IEA の場での研究開発国際協力活動への日本としての貢献を果たすと共に、広く先進諸国間の研究協力を推進する。	太陽光発電関連動向に関する情報収集および我が国の情報の発信、更に世界各国の有識者であるタスク１専門家との情報交換等を通じて、我が国の研究開発の指針策定に資する効果的な調査、業務を遂行した。	◎	なし
(7) 太陽光発電システム等の普及動向等に関する調査	太陽光発電システムに関する市場動向や普及動向について調査・分析し、太陽光発電市場の予見可能性を向上させ、市場の透明性を確保する。	国内外の太陽光発電市場動向、産業動向の詳細な調査を実施し、国内市場・産業動向の今後のシナリオをまとめた。さらに国際比較を行うことで今後の方向性について分析した。国内での太陽光発電システムの利用動向および地方自治体の太陽光発電関連施策等に関する詳細な調査も実施した。	○	なし

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：△、　達成不可：×

2.実用化・事業化見通し

本調査研究は、我が国における太陽光発電技術研究開発の発展に資する諸外国動向に関する調査研究である。2009 年に発表された太陽光発電ロードマップ（PV2030+）の更なる検討及び見直しにより、我が国が行うべき太陽光発電に関する次期技術研究開発の方針策定に資する基礎資料を提示することができた。さらに NEDO を通じて本調査研究の成果を一般に周知することで、我が国の太陽光発電産業の更なる発展に貢献することが見込まれる。

3.波及効果

太陽光発電は、各国政策を背景に近年の世界市場は 40GW 規模へと急成長している。今後も世界全体では一定の市場規模を保ちつつ太陽光発電普及が進展していくと予想される。こうした中、太陽光発電産業も市場規模に合わせ発展していくことが見込まれる。しかしながら、昨今の東アジア諸国を中心とする新興国による太陽電池生産量の急拡大や、欧米主要国での太陽光発電技術の研究開発支援の継続、太陽光発電システムの価格急落などにより、我が国の技術開発及び産業競争力は停滞あるいは低下の傾向にある。国家間での開発競争を優位に進めるには諸外国の動向を的確に分析することが不可欠である。

このような環境の中で本調査研究は、諸外国の太陽光発電技術研究開発状況の調査・分析、及びその結果を踏まえて我が国の今後の技術研究開発の方向性等を明確にすることで、我が国の太陽光発電産業の更なる発展と国際競争力確保に貢献することが期待できる。

4. 今後の展開

本調査研究を実施した 5 年間において、太陽光発電市場の中心地は欧州からアジア・米州へと移行し、また太陽電池生産についても中国・台湾等の東アジアを中心とした新興国が世界シェアを更に拡大させるなど、産業構造も大きく変化した。欧米諸国・地域では引き続き意欲的な太陽光発電に関する研究開発プログラムを設定し、研究開発予算を投入しているが、これらの新興国では、国による研究開発施策のほか、先進諸国からの技術移転や企業買収などにる企業での太陽光発電技術の向上が目覚ましい。今後も産業および市場環境は様々な要因により変化していくことが予想される。こうした状況において中長期の将来に我が国が産業競争力を維持・強化していくためには、現行の技術研究開発計画を速やか、かつ円滑に推進するとともに、将来の市場や産業動向を見据えた次期技術研究開発計画を検討および策定していく必要がある。そのためにも、今後も定点観測的な調査を継続し、常に最新の状況を把握し、NEDO 及びその関係者に周知するとともに、急激に進展している市場動向や研究開発動向に応じ、新しい方向性を模索しつつ調査を実施する予定である。

5. 特許論文リスト

表.Ⅲ-2-（へ）-F-5（1）

	H22	H23	H24	H25	H26	終了後	計
特許出願（うち外国出願）	0	0	0	0	0	0	0 件
論文（査読付き）	0	0	0	0	2	0	2 件
研究発表・講演（うち国際会議）	0	0	0	0	4	0	4 件
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0	0	0	0	0 件
受賞実績	0	0	0	0	0	0	0 件
展示会への出展	0	0	0	0	0	0	0 件

G.次世代長寿命太陽電池モジュールの開発

1. 成果詳細

(1)研究開発目的

平成24年7月1日よりスタートしたフィードインタリフ(FIT)制度により、太陽電池発電所の建設が本格化している。一方、EUの太陽電池発電所では、システム発電量が僅か数年で大幅に発電劣化するPID(Potential Induced Degradetion)現象が報告されている。このPID現象に対する回避策の一つとしてトランスインバーターの利用があるが変換効率が数%劣ることや、高額であることから、根本的な解決策が求められている。そこで本事業では、大規模太陽電池発電所のような高電圧でかつトランスレスインバーター接続の環境下において、PID現象が起き難いモジュールの部材、及びそれを用いた次世代長寿命太陽電池モジュールの実現を目的とし、少なくとも20年間はPID問題が発生しないケーシング技術を研究開発する。併せて、PID発生の予見精度の高いPID加速試験条件を検討し、その条件下で、本モジュールの性能を検証する。そのため、PID発生メカニズム解明の検討も実施する。

(2)成果

① 次世代長寿命太陽電池モジュール構造部材に関する研究開発

(a) 透明オレフィンゴム封止材料の研究開発

光線透過度92%、シート硬度56、150℃10分以上の条件で温水試験後の接着試験で母材破壊である、透明オレフィンゴムを開発した。また、耐光性試験(Xenon)、DH試験での変色はなかった。

(b) COC 樹脂材料の研究開発

サンシャインウエザーメーター500 時間照射して YI 増加が 3、結露凍結試験 10 サイクルで haze 増加が 1%、モジュールに設置して結露凍結試験 200 回で割れを生じない COC 材料を開発した。

② モジュール構成部材加工技術に関する研究開発

(a) 透明オレフィンゴムのシート化加工技術の研究開発　および　(b) COC樹脂シートへのラミネート加工技術の研究開発

カレンダー成型により、COC樹脂フィルム75μmに透明オレフィンゴムシートを150μm、250μm、350μmの3種の厚みのシートが得られた。厚みばらつきは、±5%以下であった。

(c) COC 樹脂材料幅広シート加工技術の研究開発

幅1m、厚さ75μmと100μmのフィルムロール加工を行い、幅方向のフィルム厚さ変動が10%以内でロールの巻皺が無い加工技術を確立した。又、そのフィルムの可視光領域の光線透過率は91%であった。

③ 次世代長寿命太陽電池モジュールのモジュール設計に関する研究開発

(a) モジュール基本設計開発

48結晶系太陽電池セルのガラス/ガラスタイプのモジュール(196W)およびスーパーストレートタイプ(200W)のモジュールを試作し、PID試験(85℃・

85％RH・1000h / -1000V)を実施した結果、それぞれ、発電劣化ゼロであり、目標を達成した。

(b) ジャンクションボックスおよびケーブル基本設計開発

システム電圧1000Vに適合するケーブルとバイパスダイオードを選定して、側面設置型ジャンクションボックスを設計し、そのモデルを作製した。高温高湿とシーケンス耐久テストを行い、EN50548企画の水中試験で合格した。

(c) PID発生の予見精度の高い評価試験方法の検討

・PID発生メカニズムおよび予見精度の高いラボ評価試験方法の検討

PID発電劣化モジュールから、エレクトロルミネッセンス(EL)画像で非発光セルをPIDセルとし、発光セルを非PIDセルとして、半導体的評価及び破壊分析としてSCM、SEM観察を行った。その結果、PIDとは、太陽電池セルの表面に、15％セル面積以上ナトリウム原子が表面に堆積すると電気的短絡する経路が形成し、その結果、太陽電池セルの半導体的性質が失われる現象であることが分かった。また、発電劣化は、EVA封止材の劣化により発生する酢酸により、表面電極の溶解やインターコネクタが剥離し、太陽電池セルの集電性能低下によるものであることが分かった。

・予見精度の高いラボ試験条件の検討

20年稼働の太陽電池パネルから採取したパネルのエッジ部の酢酸量と同量となる、ラボ試験条件は、DH(ダンプヒート)試験で、85℃・85％RHの条件で、2500時間経過後であることが分かった。よって予見精度の高いラボ加速試験条件とは、DH試験；85℃、85％RH、-1000Vで試験時間を2500時間とすることで、発電所における20年間に相当すると予測した。

(3) 実施項目と目標値及びその結果

①次世代長寿命太陽電池モジュール構造部材に関する研究開発

(a) 透明オレフィンゴム封止材料の研究開発(日清紡ホールディングス㈱担当項目)

表Ⅲ-2-(へ)-G-1(5)

項目	目標	結果
透明オレフィンゴム最適架橋密度の決定	水蒸気透過性 15 g / m^2 / day / mm 以下 ナトリウム含有量 50 ppm 以下 収縮率試験(130℃、24h)で、溶融せず、形状変化がない	 0.82 g / m^2 / day / mm 3.5 ppm 130℃、24h 処理後溶融なし、形状変化なし
耐 COC 樹脂との接着技術確立	温水浸漬試験(90℃、168h)処理後、オレフィン系ゴムと COC 樹脂シートとの接着強度の接着強度保持率が 80%以上	温水浸漬 90℃、168h 処理後、母材破壊
高耐光性処方確立	厚さ 1mm の COC シートを用い、サンシャインウエザーメーター(Xenon)の 500 時間照射で、イエローネスインデックス(YI)の増加が 4 以下 85℃、85％RH の高温多湿下で 200 時間処理して haze 増加が 2%以下	Xenon 500h 照射でΔYI＝0.2 参考、EVA：ΔYI＝2.9 DH 試験 85℃、85％RH、 200h で、目視にて、変色なしを確認

(1) 目的

COC(シクロオレフィンコポリマー)ガラス及び封止材として透明配合 EPDM を使用して気泡のない成型品(COC+EPDM+COC)を試作し、テストモジュール作製に繋げる。

(2) 実験

1) サンプル

1)-1 COC ガラス

ポリプラスチックス製　型番：6015　形状：7cm×7cm　厚さ：0.8mm

ガラス転移温度：160℃

1)-2 透明配合 EPDM

TS-10 配合表を表Ⅲ-2-(へ)-G-1(6)に示す。

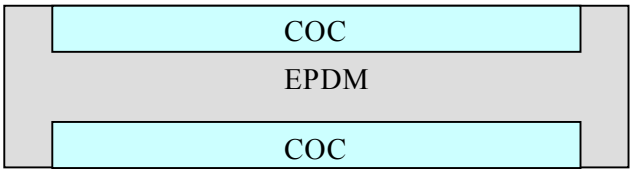
表Ⅲ-2-(へ)-G-1(6) TS-10 透明配合 EPDM 配合表

試験処方		
A 練り	処方名	TS10
	EPDM	100
	光安定剤	1.95
	UV 吸収剤	1.17
	シランカップリング剤	3
	フィラ-	40
	オイル	40
	配合部数	186.12
	比重	1.00
B 練り	架橋剤	3.198

2) 成型

2)-1 成型品

上下層：COC フィルム、中層：透明配合 EPDM のサンドイッチ構造を持ち気泡のない成型品を検討した。成型品イメ-ジ図を図Ⅲ-2-(へ)-G-1(2)に示す。



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(2) 成型品イメ-ジ図

2)-2 加工手法

下記に示す加工手法で試作を行なった。

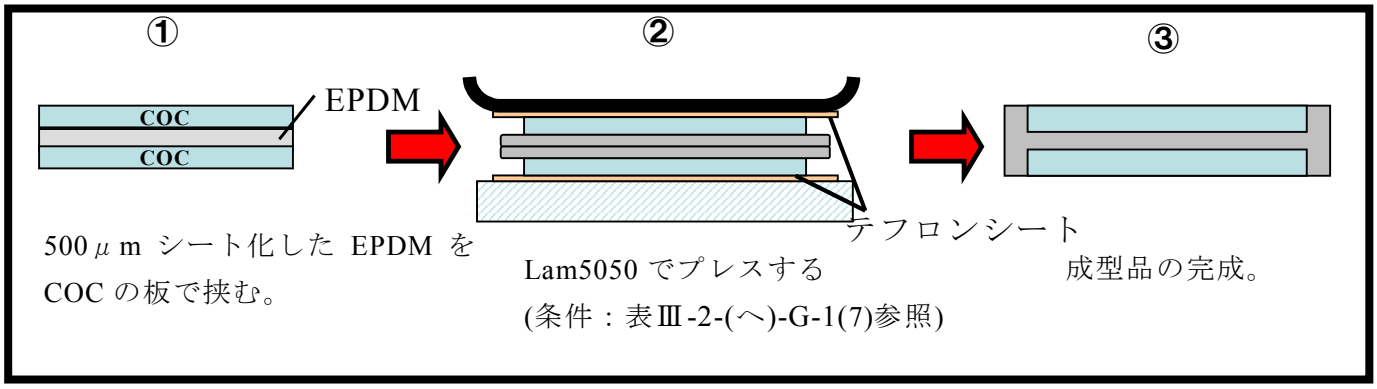
【加工手法①】: ラミネーター:Lam5050 使用

加工手法の模式図を図Ⅲ-2-(へ)-G-1(3)に示す。

また Lam5050 条件を表Ⅲ-2-(へ)-G-1(7)に示す。

表Ⅲ-2-(へ)-G-1(7) Lam5050 条件

	予熱時間(min)	プレス時間 (min)	プレス温度(℃)	プレス圧(MPa)
条件	5	10	150	0.1



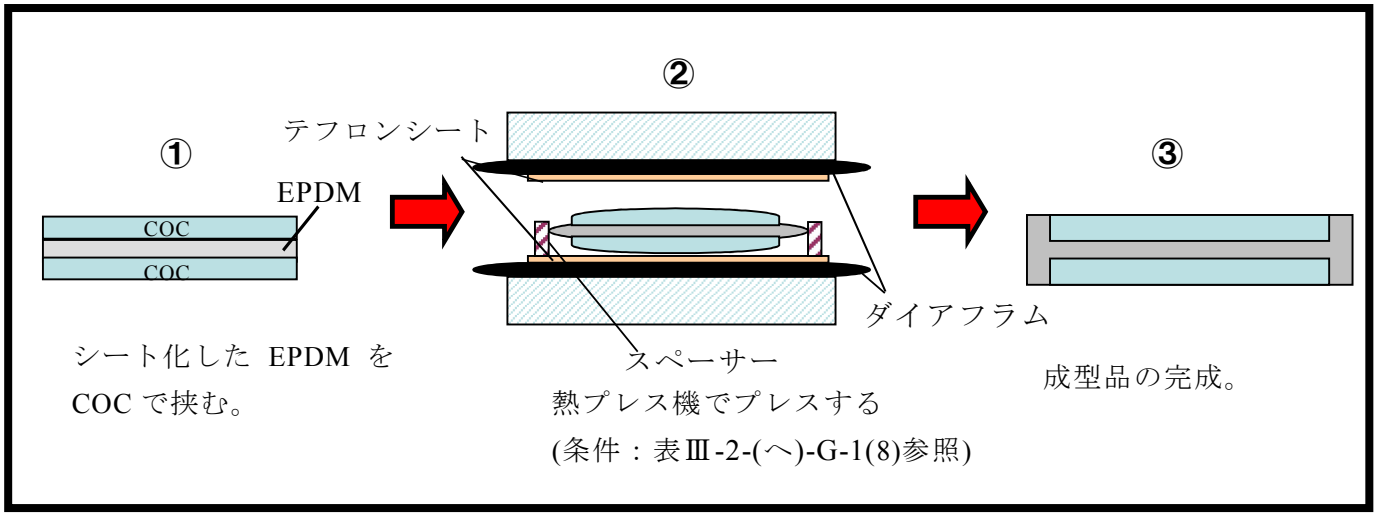
図Ⅲ-2-(へ)-G-1(3) 加工手法①模式

【加工手法②】：熱プレス機使用

加工手法の模式図を図Ⅲ-2-(へ)-G-1(4)に示す。また熱プレス条件を図Ⅲ-2-(へ)-G-1(8)に示す。

表Ⅲ-2-(へ)-G-1(8) 熱プレス条件

	予熱時間(min)	プレス時間(min)	プレス温度(℃)	プレス圧(MPa)
条件	0	10	150	1.5



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(4) 加工手法②模式

【加工手法③】：Lam5050 及び熱プレス機使用(3 段階加工)

加工手法の模式図を図Ⅲ-2-(へ)-G-1(5)に示す。また Lam5050 条件(表Ⅲ-2-(へ)-G-1(9))、熱プレス条件(表Ⅲ-2-(へ)-G-1(10)、表Ⅲ-2-(へ)-G-1(11))を下記に示す。

表Ⅲ-2-(へ)-G-1(9) Lam5050 条件

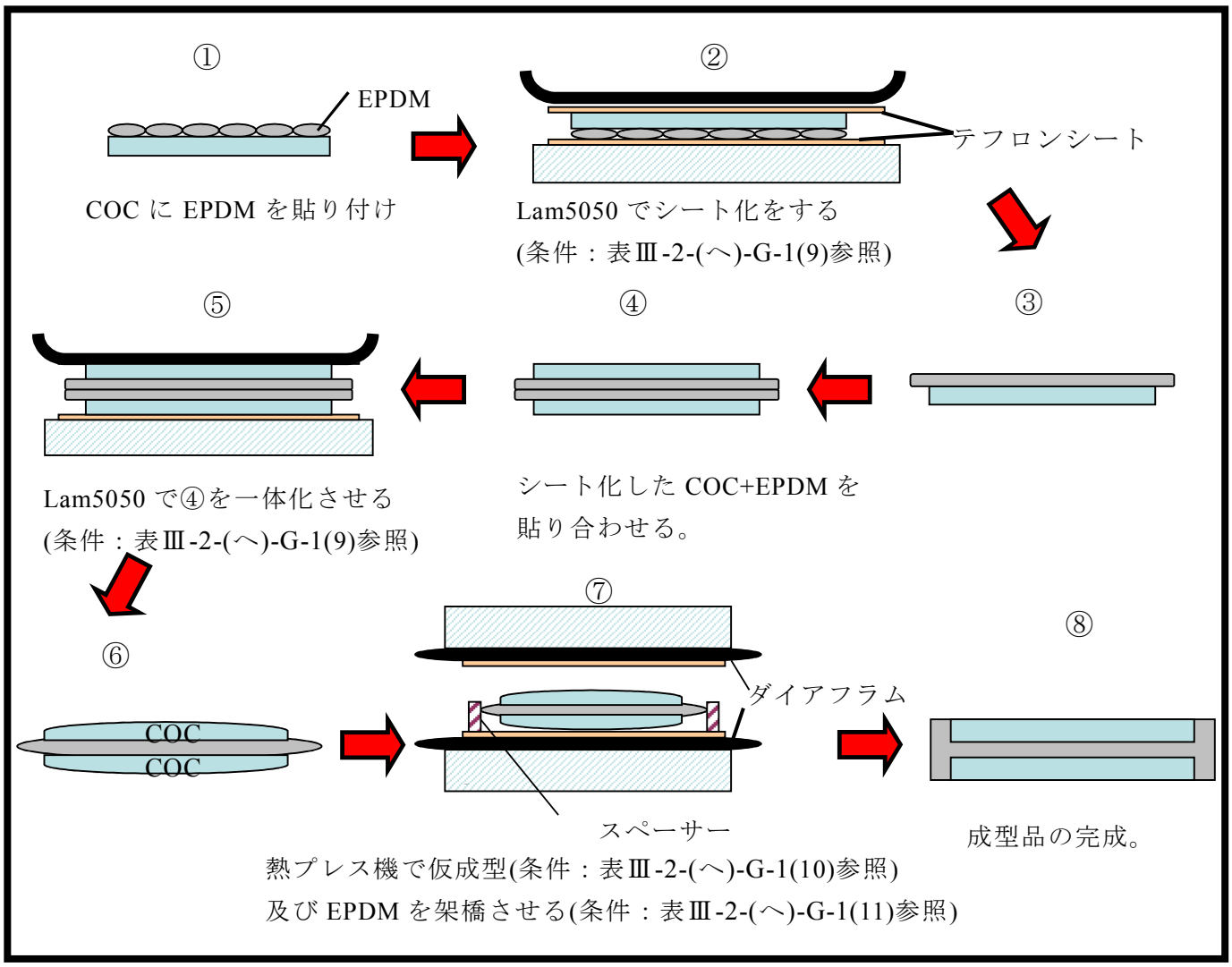
Lam5050 条件	予熱時間(min)	プレス時間(min)	プレス温度(℃)	プレス圧(MPa)
条件 A	0.5	1.5	80	0.1
条件 B	0.5	2.5	80	0.1
条件 C	0.5	3.1	80	0.1
条件 D	2	1.5	80	0.1
条件 E	2	2.5	80	0.1

表Ⅲ-2-(へ)-G-1(10) 熱プレス条件(仮成型)

	予熱時間(min)	プレス時間(min)	プレス温度(℃)	プレス圧(MPa)
条件	0	1	80	1.5

表Ⅲ-2-(へ)-G-1(11) 熱プレス条件(EPDM の架橋)

	予熱時間(min)	プレス時間(min)	プレス温度(℃)	プレス圧(MPa)
熱プレス条件	0	10	150	1.5

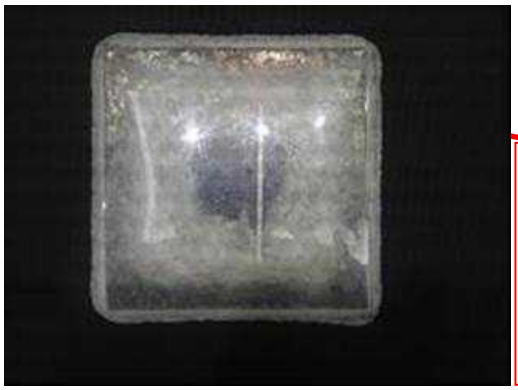


図Ⅲ-2-(へ)-G-1(5) 加工手法模式図

3 結果

3-1　加工手法①結果

加工後の状態は図Ⅲ-2-(へ)-G-1(6)の通りである。

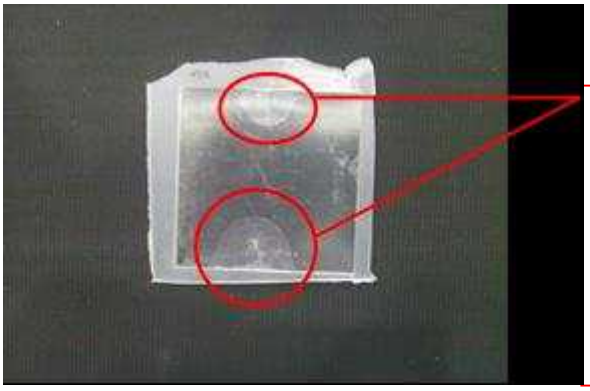


全体的に気泡がある。
ガスが抜けきれておらず膨れが生じている。
↓
プレス圧が低すぎてガスが抜け切れていない
可能性がある。

図Ⅲ-2-(へ)-G-1(6) 手法①加工後の状態

3-2　加工手法②結果

加工後の状態は図Ⅲ-2-(へ)-G-1(7)の通りである。



気泡の発生はないが、接着不良部分がある。

↓

プレス圧を高くすることで気泡はなくなるが、界面の Air が抜け切れていない状態が考えられる。

図Ⅲ-2-(へ)-G-1(7) 手法②加工後の状態

3-3　加工手法③結果

Lam5050 での加工状態(条件 A～E に対応)は図Ⅲ-2-(へ)-G-1(8)~ 図Ⅲ-2-(へ)-G-1(12)の通りである。

●予熱時間：0.5min

図Ⅲ-2-(へ)-G-1(8) 条件 A プレス時間 0.5min

図Ⅲ-2-(へ)-G-1(9) 条件 B プレス時間 2.5min

図Ⅲ-2-(へ)-G-1(10) 条件 C プレス時間 3.5min

⇒予熱時間 0.5min は、外観不良が解消されない

。

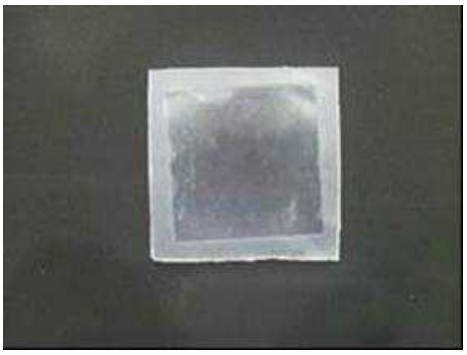
●予熱時間：2min

図Ⅲ-2-(へ)-G-1(11) 条件 D プレス時間 1.5min

図Ⅲ-2-(へ)-G-1(12) 条件 E プレス時間 2.5min

⇒予熱加工時間の延長により外観が良好となった。

Lam5050 による 1 段階目の加工検討結果より、条件 D (予熱時間：2min、プレス時間：1.5min)を採用し、次工程の熱プレス加工を検討した。熱プレス機での加工後の状態は図Ⅲ-2-(へ)-G-1(13)の通りである。



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(13) 熱プレス後の状態

Lam5050 と熱プレスを組み合わせた 3 段階加工を行なうことで、サンプルサイズ 7cm×7cm(t=0.8mm)において気泡のない成型体を作製することが可能であることが分かった。

3)-4　結果まとめ

加工手法①～③を検討した結果、ラミネーターのみで加工するとプレス圧が低過ぎて気泡が残る。一方、プレス圧を高くし真空引き過程がない場合は、接着不良となる。、ラミネーターと熱プレスを組み合わせた 3 段階加工(加工手法③)により、気泡及び接着不良のない成型体を作製することができた。

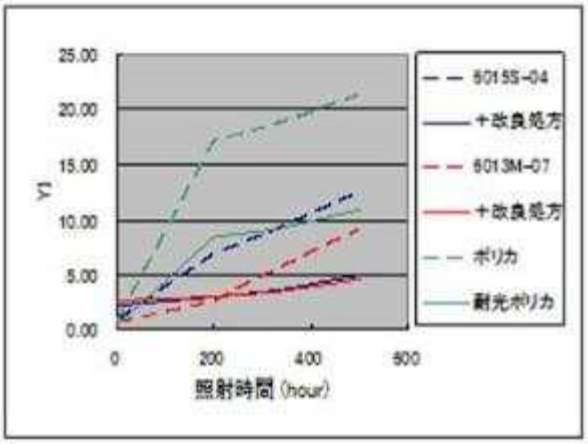
(b) COC 樹脂材料の研究開発(ポリプラスチックス㈱担当項目)

表Ⅲ-2-(へ)-G-1(12)

項目	目標	結果
耐光性の改善	厚さ 2mm のプレートを用い、サンシャインウエザーメーター（Xenon）500 時間照射して、ΔYI）が 4 以下	処方検討により ΔYI＝3 を達成した。
耐湿熱性の改善	厚さ 2mm のプレートを用い、85℃、80%RH と－40℃を繰り返す結露凍結試験を 10 回行った後の haze 増加が 2%以下	処方検討により haze 増加 0.1%を達成した。
靭性と架橋プレス性の改善	厚さ 100μm のフィルムをモジュール内に設置して、85℃、80%RH と－40℃を繰り返す結露凍結試験を 200 回行い、クラック無し。	ベース COC の最適化により、結露凍結試験 200 回でクラック発生が無く外観不良も無く、架橋プレス時に発泡やクラックの発生が無い材料を確立した。

(1). シート用 COC 樹脂材料

モジュール製造工程のパーオキサイド架橋温度が 140℃以上で行われることを考慮して、COC 樹脂として TOPAS®の 6015S-04(ガラス転移温度(Tg)；158℃)と 6013M-07(Tg；142℃)を COC ベース材料に選んだ。これらの COC 樹脂を太陽電池モジュールに用いる場合、耐光性と耐湿熱性の改良が必要となる。耐光性の改良は多くの耐光安定剤の種類と配合比を検討して、耐光改良処方を決定した。その結果を図Ⅲ-2-(へ)-G-1(15)に示す。耐光改良処方を配合した COC はイエローネスインデェックス(YI)の増加が著しく抑制されて、厚さ 2mm の平板の 500 時間照射で YI の増加が 3 以下となった。目標は 1mm 厚平板で YI 増加が 4 以下であり、より厳しい 2mm 厚平板で目標を達成した。

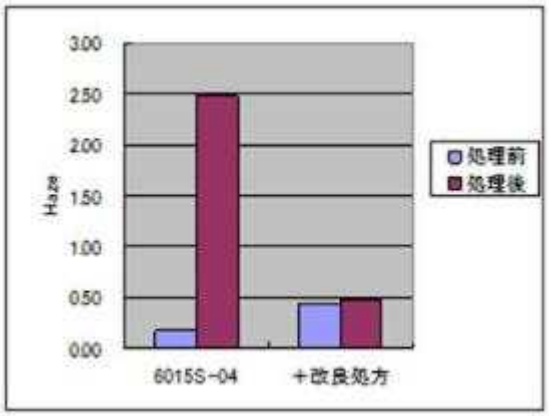


図Ⅲ-2-(へ)-G-1(15) COC の耐光処方の改善効果
厚さ 2mm の平板をサンシャインウエザーメーターで 500hr 照射。

Tg が 130℃以上の COC は、厚さが 300μm 以上の成形品が高温高湿度の環境に晒されると、haze が高くなる場合がある。又、Tg が高い 6015S-04 の方が 6013M-07 よりその欠点が出易い傾向があり、6015S-05 を中心にその欠点の改良を行った。幾つかの耐湿熱改良剤の中から、最も改良効果が高い耐湿熱改善処方を選定した。その耐湿熱改善効果を図Ⅲ-2-(へ)-G-1(16)に示す。厚さ 2mm の平板を 85℃85%RH と-40℃を 10 回繰り返す結露凍結試験処理をして、その処理前後の haze を比較した。改良処方無

しでは haze が 2.3%増加するが、改良処方により僅か 0.1%の haze 増加と著しい改善効果が確認された。目標は 1mm 厚平板で haze 増加が 2%以下であり、この耐湿熱改善処方はその目標を充分達成した。

個別の評価で決定した耐光処方と耐湿熱処は、これらの処方を一緒にブレンドしても上述の耐光性改善効果と耐湿熱性改善効果を示した。更に、日清紡ホールディングスのモジュール作製条件の検討から、ベースの COC 樹脂に Tg が 158℃の COC(TOPAS®6015S-04)を用いると、モジュール製造の架橋プレス工程で架橋剤の分解物による発泡が抑制されることが判明した。そこで、この Tg158℃の COC 樹脂をベース COC 樹脂に決定した。



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(16) COC の耐湿熱性の改善 厚さ 2mm の平板を用いた、結露凍結試験処理前後の haze 変化。

耐光処方、耐湿熱処方、ベース COC 樹脂を決定したが、これらを全量コンパウンドするとコンパウンド費によりコストアップになる。そこで、耐光処方と耐湿熱処方を高濃度でベース COC 樹脂にコンパウンドした処方マスターバッチ(MB)を作製した。この処方 MB をベース COC 樹脂で 10 倍希釈すると、所定の処方濃度になる様に濃度調整を行った。MB10 倍希釈の条件でシート試作成形機を用いてシート押出成形性を確認した。表Ⅲ-2-(へ)-G-1(13)のシート用 COC 材料の押出成形性に示す様に、安定した材料フィードや吐出、発煙やロール汚れが無いことが確認され、シート用 COC 材料を完成した。

表Ⅲ-2-(へ)-G-1(13) シート用 COC 材料の押出成形性

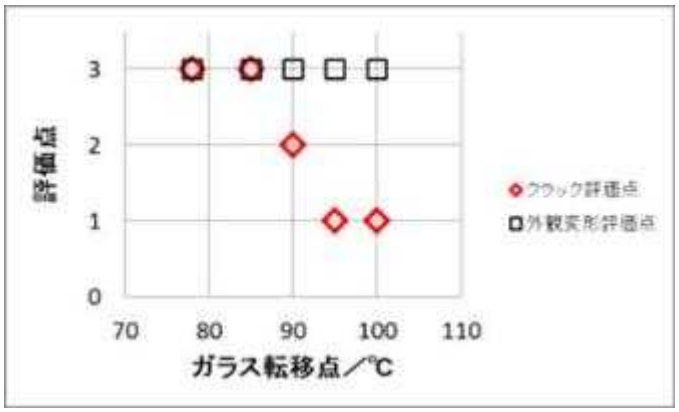
観察項目	状況
フィード部の材料食い込み	良好
吐出量の変動	少ない
ダイ部での発煙	無し
ロールの汚れ	極めて少ない

しかし、完成した COC 材料を用いて COC シートを試作したところ、次章で述べる様に、COC シートにモジュールのヒートサイクル試験でマイクロクラック発生問題が起こった。このマイクロクラック発生問題を COC シートで解決するのが厚い COC 層では非常に困難と判断して、COC フィルムの方向に方針を変えた。

(2) フィルム用 COC 樹脂材料

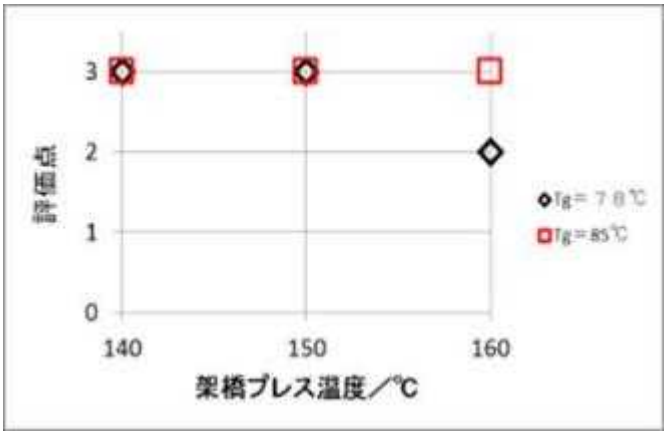
COC シートにマイクロクラックが発生する原因が、熱伝導が悪い COC シートによる架橋プレスの上下の温度差とそのプレスで発生する残存歪であると推測した。この温度差を解消するためには COC 層を薄くした。更に、残存歪の低減には、COC 樹脂の Tg を下げて、COC 樹脂の流動性を上げてモジュール内で徐冷することにした。COC 樹脂は Tg が下がると靭性が高くなり、低 Tg の COC はクラック抑制としても効果が期待される。

Tg が低い COC 樹脂として、Tg が 78℃の TOPAS®8007F-04 を選んだ。この COC 樹脂と Tg142℃の TOPAS®6013M-07 の COC 樹脂をブレンドして種々の Tg を持つ COC 樹脂を準備して、小型フィルム試験機で厚さが 100μm の幅約 30cm のフィルムを試作した。日清紡ホールディングスでそのフィルムを用いて 4 セルの小型モジュールを 140℃架橋プレスで試作して、ヒートサイクル試験のクラック発生と 130℃加熱の外観評価を行った。その結果を図Ⅲ-2-(へ)-G-1(17)に示す。



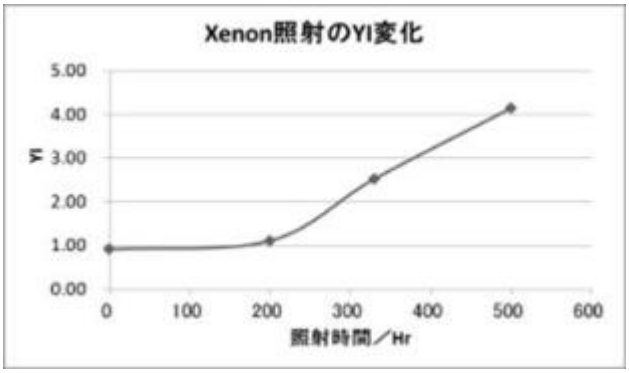
図Ⅲ-2-(へ)-G-1(17) COC の Tg とクラック発生および外観変化の関係
COC フィルム：厚さ 100μm
クラック評価：－40℃／85℃85%RH の 200 回サイクル試験、評価点 3；クラック無し、評価点 2；途中でクラック発生、評価点 1；初期段階でクラック発生
外観変形評価：130℃、1hr 処理後の外観、評価点 3；外観不良無し、評価点 2；僅かに発泡、評価点 1；発泡

Tg が 78℃から 100℃の範囲では、130℃1hr の加熱試験で外観不良が見られなかった。ヒートサイクル試験によるクラック発生評価では、Tg が 78℃と 85℃でクラック発生が無く、Tg が 90℃ではヒートサイクル試験の終盤でクラックが発生し、Tg が 95℃と 100℃では初期段階でクラックが発生した。Tg が 78℃と 85℃の COC フィルムについて、モジュール作製時の架橋プレス温度の影響も調べた。図Ⅲ-2-(へ)-G-1(18)に示す様に、Tg が 78℃のフィルムの場合、160℃でモジュール内に発泡が生じた。Tg が 85℃のフィルムでは、実際のモジュール製造ラインで行われている 150℃から 160℃の架橋プレス温度で外観の良いモジュールが得られた。このことから、第 1 候補のフィルム用ベース COC 樹脂の Tg を 85℃に決定した。尚、Tg が 90℃のフィルムは図Ⅲ-2-(へ)-G-1(16)の様にヒートサイクル試験の終盤でクラックを発生しているが、架橋プレス温度を上げると残存歪の低減が期待出来ることから、Tg が 90℃の COC 樹脂を第 2 候補のフィルム用ベース COC 樹脂にした。



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(18) COC フィルムの Tg と架橋プレス温度の関係
評価点 3；外観良好、評価点 2；発泡、
評価点 1；激しい発泡

フィルム用 COC 樹脂の Tg がシート用 COC と比較して約 70℃低くなると、Tg 低下に伴いフィルム成形時のロール温度を下げる必要がある。ロール温度を Tg より 15℃低い温度でロールの汚れを観察した結果、ロールの汚れが見られた。今までの処方検討の知見に基づいて耐光処方の改善を行った。決定したフィルム用 COC 樹脂に耐光処方を配合した COC 樹脂材料の耐光性評価結果を図Ⅲ-2-(へ)-G-1(19)に示す。厚さ 2mm の平板をサンシャインウエザーメーターで 500hr 照射するとイエローネスインデェックス(YI)が約 3 増加するが、COC シートの目標値(厚さ 1mm で YI 増加 4 以下)を達成している。



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(19) フィルム用 COC の耐光処方の評価結果
厚さ 2mm の平板をサンシャインウエザーメーターで 500hr 照射した YI

上述の様に、シート用 COC 樹脂材料に耐湿熱処方を配合した。COC 樹脂は Tg が 130℃以上で 300μm 以上の厚さの成形品の場合に、高温高湿環境に晒されて急冷すると曇りを生じる場合がある。その対策のために、シート用 COC 樹脂材料に耐湿熱処方を配合した。しかしフィルム用 COC 樹脂材料の場合、Tg が低く、靭性が比較的高い COC 樹脂を用い、フィルムの厚さが 100μm 前後と薄いことから耐湿熱処方の配合は必要無い。実際に、Tg が 90℃のベース COC 樹脂に耐光処方を配合した厚さ 100μm のフィルムで耐湿熱試験を行ったところ、曇りの発生はほとんど起こらなかった。従って、フィルム用 COC 樹脂材料は所定の Tg のベース COC 樹脂に耐光処方を配合する処方とした。但し、COC 樹脂材料の均一性とフィルム用途に適した品質を達成するために次の様なコンパウンド手法が必要になった。

Tg が 85℃或いは 90℃のベース COC を得るためには、Tg が 78℃と 142℃の 2 種の COC 樹脂(TOPAS®8007F-04 と TOPAS®6013M-07)を適切な比率でブレンドしている。この 2 種の COC 樹脂はミッシブルであるが、ブレンドの均一性を得るために、フィルム成形の前に予め溶融混練、即ち、コンパウンドしておく必要がある。更に、このコンパウンドの時に耐光処方を配合して溶融混練すると均一な COC 樹脂材料が得られる。従って、シート用 COC 樹脂材料で採用したマスターバッチ手法が適用出来ず、フィルム用 COC 樹脂材料の場合は全量コンパウンドになる。フィルム用材料では一般に微小な異物によりフィルム外観を悪化することが多く、異物やコンパウンド中の樹脂焼け等の混入を防止するために、クリーンな環境で適切なフィルターを通してコンパウンドする必要もある。

ベース COC 樹脂の目標 Tg を 85℃と 90℃に COC 樹脂ブレンド比を設定して、この 2 種の COC 樹脂ブレンドにそれぞれ耐光処方を配合した材料処方で、フィルム用 COC 樹脂材料を試作した。クリーン度約 1 万のコンパウンド環境で、押出機のダイ直前に 60 メッシュの焼結フィルターを設置して、更に、原料フィード部から窒素を挿入してコンパウンドを行った。ベース COC の目標 Tg が 85℃の COC 樹脂材料(開発番号 RSC10290)は 2 回試作して、目標 Tg が 90℃の COC 樹脂材料(開発番号 RSC10291)

は 1 回試作した。その結果を表Ⅲ-2-(へ)-G-1(14)に示す。

表Ⅲ-2-(へ)-G-1(14) フィルム用 COC 樹脂材料の試作結果

候補材料（試作回数）	RSC10290 1回目	RSC10290 2回目	RSC10291 1回目
候補順位	第1候補	第1候補	第2候補
ベースCOCの目標Tg	85℃	85℃	90℃
Tg	83.5℃	83.1℃	87.5℃
異物サイズと数／1kg			
50～99μ	7	3	5
100～149μ	0	0	2
150～199μ	0	0	0
200～249μ	0	0	0
250～299μ	0	0	0
300μ以上	0	0	0
MVR@260℃	33. 1	32. 3	32. 7

第 1 候補材料である RSC10290 は、耐光安定剤の可塑効果によりベース COC の目標 Tg より約 2℃低い Tg になっている。2 回の試作でほぼ同じ Tg で、溶融粘度の指標である MVR もほぼ同じの MVR が得られ、Tg と MVR で再現性が確認された。更に、異物検査で 100μm 以上の異物が 1kg 中に全く無く、異物の観点で高品質の材料が得られた。第 2 候補材料である RSC10291 でも高品質のものが得られた。更に、この両 COC 樹脂材料を小型フィルム成形機で押出試験をした結果、材料フィードや吐出が安定して、発煙やロール汚れが無いことが確認され、フィルム用 COC 樹脂材料を完成した。

① モジュール構成部材加工技術に関する研究開発

表Ⅲ-2-(へ)-G-1(15)

項目	目標	結果
(a)透明オレフィンゴムのシート化加工技術の研究開発(日清紡ホールディングス㈱担当項目)	適切な溶融粘度と厚みを保持が可能なレオロジー特性を発現する加工条件を見出し、シート化する。	PET 離形フィルムを選定し、幅 1000mm にてカレンダー連続成形を実施、150μm、250μm、450μm で±5%でシート化完了
(b)COC 樹脂シートへのラミネート加工技術の研究開発(日清紡ホールディングス㈱担当項目)	COC 樹脂シート上へのオレフィンゴムシートを積層する加工技術	75μm 厚 COC 樹脂シートに透明オレフィンゴムを 150μm、250μm、350μm 厚で均一にシート化し、加工技術を確立

(a) 透明オレフィンゴムのシート化加工技術の研究開発

(1)目的

ゴムカレンダーロールを用いた加工で、封止材の加工検討と最適配合設計を行った。

(2)実験

1)概要

8 インチロールで混練作業を実施し、加工性の評価、MDR 測定発泡試験を行った。

2)配合

表Ⅲ-2-(へ)-G-1(16)

	処方名		TS173	TS174	TS175	TS176
A 練り	ポリマー	EPDM	100	100	100	100
	フィラー	シリカ	20	40	20	40
	接着剤	シランカップリング剤	1	1	1	1
	添加剤	Zn 系添加剤 1	7	7	7	7
		チタンホワイト	5	5	5	10
		マイカ	5	5	10	5
		脂肪酸	1	1	1	1
	配合部数		139	159	144	164
	比重		1.237	1.358	1.194	1.454
B 練り	架橋剤		7.291	7.291	7.291	7.291
	架橋助剤		0.999	0.999	0.999	0.999

3)評価項目

A.ロール加工性結果

B.MDR 測定(160℃)

C.発泡試験(3F 小型ラミ 160℃予熱 2min プレス 15min)

(3)結果

1)ロール加工性調査

表Ⅲ-2-(へ)-G-1(17)

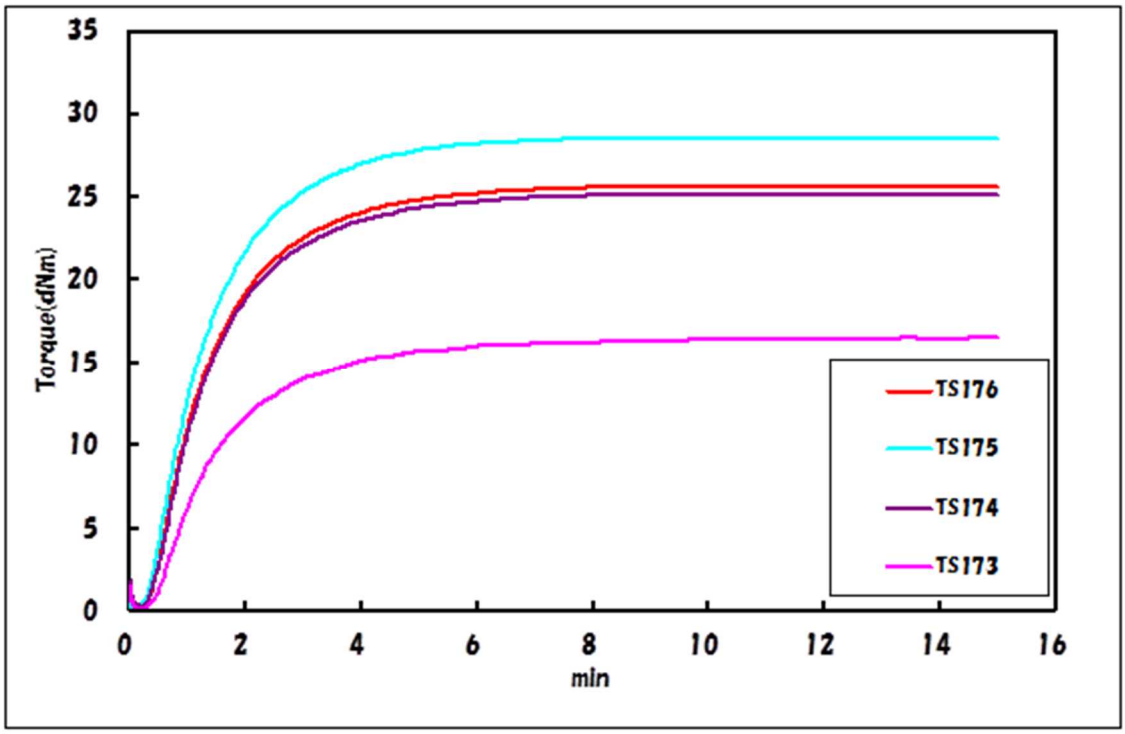
	シリカ	チタンホワイト	マイカ	ロール加工性
TS173	20	5	5	若干べたつき
TS174	40	5	5	良好
TS175	20	10	10	べたつき
TS176	40	10	5	若干べたつき(TS166 よりは良好)

ゴムメーカーでの試作品

表Ⅲ-2-(へ)-G-1(18)

	処方名			
	予想硬度		比重	TS166
A 練り	ポリマー	EPDM	0.87	100
	フィラー	シリカ	2.2	25
	接着剤	シランカップリング剤	1.04	1
	添加剤	Zn 系添加剤 1	1.69	7
		Zn 系添加剤 2	5.57	5
		チタンホワイト	4.5	10
		マイカ	2.85	5
		紫外線吸収剤	1.1	0.3
		HALS	1.05	0.2
		酸化防止剤	1.02	0.02
		PEG	0.79	0.1
		脂肪酸	5.57	1
	配合部数			154.62
	比重			1.61
B 練り	シランカップリング剤			1.00
	架橋剤			6.25
	架橋助剤			1.00

2)MDR 測定



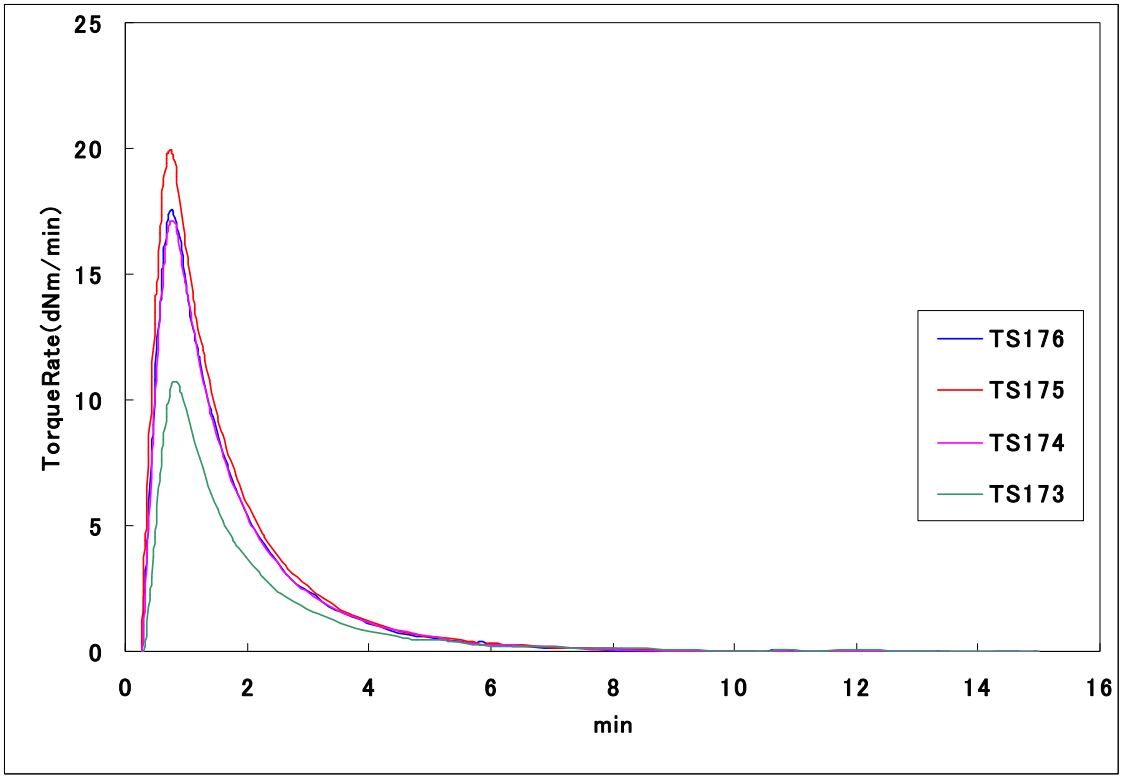
図Ⅲ-2-(へ)-G-1(20)　トルク

表Ⅲ-2-(へ)-G-1(19)

	ML	MH	t5	t10	t50	t75	t90	ts1	ts2	MH-ML
	dNm	dNm	min	min	min	min	min	min	min	dNm
TS173	0.12	16.49	0.47	0.57	1.28	2.25	3.78	0.49	0.6	16.37
TS174	0.23	25.16	0.41	0.51	1.18	2.04	3.34	0.38	0.47	24.93
TS175	0.24	28.61	0.37	0.47	1.13	1.97	3.22	0.34	0.41	28.37
TS176	0.23	25.66	0.4	0.5	1.17	2.03	3.32	0.37	0.46	25.43

TS173,174 ではシリカが 20 部から 40 部に増加しており、トルクの値も大きくなっている。TS174,176 ではチタンホワイトが 5 部から 10 部に増加しているがトルクは少しだけしか増加していない。

TS173、176 ではチタンホワイト、マイカを 5 部から 10 部に増加しており、トルクの値はかなり大きくなった。



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(21) トルクレート(dNm/min)

3)発泡試験

3)-1 ガラス/コンパウンド/BS(3G)

3)-2 ガラス/EVA(三井)/セル、配線/コンパウンド/BS(3G)

表Ⅲ-2-(へ)-G-1(20)

	シリカ	チタンホワイト	マイカ	発泡(1)	発泡(2)
TS173	20	5	5	発泡なし	配線部 BS 側膨れ セル面に気泡あり
TS174	40	5	5	発泡なし	発泡なし
TS175	20	10	10	発泡なし	発泡なし
TS176	40	10	5	発泡なし	発泡なし

結果

シリカを増量するとロール加工性は向上することがわかった。またチタンホワイトがロール加工性の悪化に大きく寄与していることが分った。マイカは少量添加しただけで MDR のトルク値がかなり大きくなった。

(b)COC 樹脂シートへのラミネート加工技術の研究開発(日清紡ホールディングス㈱担当項目)

(1)目的

白系 EPDM 封止材 TS166 は、ラミネート加工するとクレーターが発生し加工性に問題があった。加工法、及び配合を検討し、クレーターの出来ない加工性良好な白系封止材を開発する。

(2)実験

1)試験

①サイズ：40cm 角

②構成：ガラス/三井 EVA/EPDM 封止/BS

③材料：

(i)三井 EVA：SOLAR EVA

(ii)EPDM 封止材：TS166、TS189、 TS190、TS179、TS181、TS186

(iii)BS：リンテック

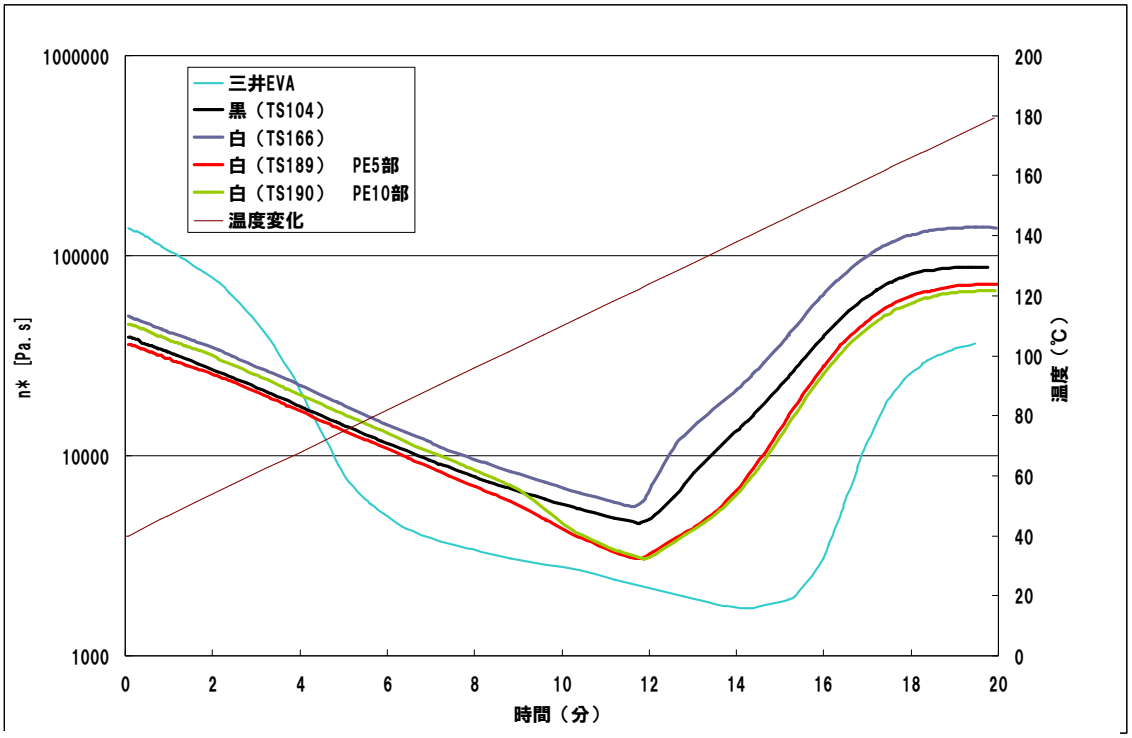
2)配合

表Ⅲ-2-(へ)-G-1(21)

試験処方				
A 練り	処方名			
	予想硬度		比重	TS166
	ポリマー	EPDM	0.87	100
	フィラー	シリカ	2.2	25
	接着剤	シランカップリング剤	1.04	1
	添加剤	Zn 系添加剤 1	1.69	7
		Zn 系添加剤 2	5.57	5
		チタンホワイト	4.5	10
		マイカ	2.85	5
		紫外線吸収剤	1.1	0.3
		HALS	1.05	0.2
		酸化防止剤	1.02	0.02
		ポリエチレングリコール	0.79	0.1
		脂肪酸系	5.57	1
	配合部数			154.62
	比重			1.61
B 練り	シランカップリング剤			1.00
	架橋剤			6.25
	架橋助剤			1.00

3)結果

1)封止材粘度比較



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(22)

注意)120℃以上は架橋が始まっている

① 70℃～100℃

EVA＜＜TS189(PE5 部)≦TS104(黒)＜TS190(PE10 部)＜TS166

②100℃～110℃

EVA＜＜TS189(PE5 部)≦TS190(PE10 部)＜TS104(黒)＜TS166

③110～120℃

EVA＜TS189(PE5 部)≒TS190(PE10 部)＜TS104(黒)＜TS166

2)ラミネート試験

試験 No.1、2、3 を受け、No.4～7 を実施

備考: ＊1　No.4：TS189 に.プロセスオイルを塗布し含浸した試料を使用

＊2　No.5～7:CERI で混練したコンパウンドを熱プレス 80℃でプレスし使用

No.5：450μm、No.6：　500μm、No.7：800μm、

表Ⅲ-2-(へ)-G-1(22)

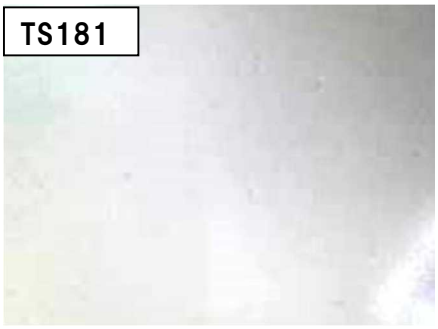
No.	ラミ1834設定温度	160		180		
	予熱(ピン立)	4.5	6.5	2	3.5	10
	プレス	20	20	5	5	5
1	TS166	クレーター	クレーター	-	-	-
2	TS189 ($TiO_2$10部,PE5部)	-	-	クレーター	クレーター	クレーター少ない
3	TS190 ($TiO_2$10部,PE10部)	-	-	クレーター	クレーター	クレーター
4	TS189 プロセスオイル塗布*1 ($TiO_2$10部,PE5部)	-	-	-	クレーター極小	-
5	TS179*2 ($TiO_2$0部,PE0部)	-	-	-	クレーターなし	-
6	TS181*2 ($TiO_2$5部,PE0部)	-	-	-	クレーターなし	-
7	TS186*2 ($TiO_2$10部,PE10部,プロセスオイル5部)	-	-	-	クレーターなし(発泡)	-

図Ⅲ-2-(へ)-G-1(23) EPDM 封止材にできたクレーター

図Ⅲ-2-(へ)-G-1(24) TS189 予熱 10

図Ⅲ-2-(へ)-G-1(25) TS189(プロセスオイル塗布)

図Ⅲ-2-(へ)-G-1(26) チタンホワイト 0 部



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(27) チタンホワイト 5 部

図Ⅲ-2-(へ)-G-1(28) チタンホワイト 10 部、
プロセスオイル 5 部

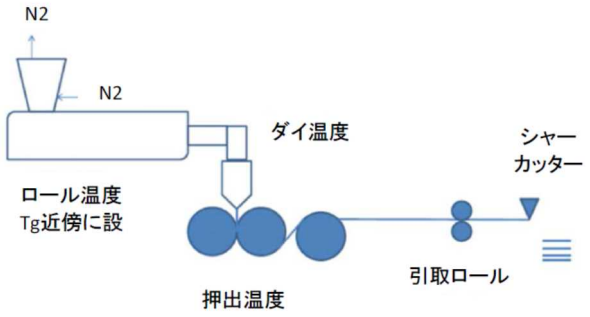
4)結果

コンパウンドの流動性が高い加工条件でプレス成型することにより、クレータが減少した。また、TS166、TS189、TS190 においてクレータが発生したが、TS181、TS179 とチタンホワイトの添加量 5 部、0 部と減らすことで、クレーターが解消された。

(c) COC 樹脂材料幅広シート加工技術の研究開発(ポリプラスチックス㈱担当項目)

(1) COC シートの成形

樹脂のシート押出成形について、良外観で低成形歪の成形ウィンドウが広まる成形要因を検討した。その結果、通常の押出成形要因に加えて、①横型 3 本ロール、②Tg 近くまでロール温度が制御可能、③窒素パージの 3 要因が必要であることが確認された。その押出成形概念を図Ⅲ-2-(へ)-G-1(29)に示す。COC 樹脂の酸化を窒素パージで抑制して、ダイスから吐出したパリソンのドローダウンの影響を横型 3 本ロールで軽減して、ラインスピードに適したロール温度を設定することでシートの外観を良くしながら成形歪を低減するプロセスとなっている。



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(29) COC シートの押出設備の概念図

最終的に必要とされる COC シートのサイズは幅 1000mm、長さ 1650mm であるが、幅 1000mm のシート成形では量産設備になるため、試作成形機を用いて耐光処方と耐湿熱処方の処方 MB を配合しないで予備検討を行った。使用した COC 樹脂は TOPAS®6015S-04 と TOPAS®6013M-07 の 2 材料であり、シートサイズは幅 700mm、長さ 1330mm、厚さ 1mm である。試作した COC シートの評価結果を表Ⅲ-2-(へ)-G-1(23)に示す。耐光処方と耐湿熱処方無添加の COC シートは欠点数での目標を達成している。反りについては、6013M-07 シートは目標より僅かに大きいが、6015S-04 シートは目標を達成した。

表Ⅲ-2-(へ)-G-1(23) COC シートの評価結果

TOPASグレード	300μ以上の欠点数	反り(浮き)
6013M-07	15個／m2	2．8mm
6015S-04	20個／m2	1．8mm
目標値	25個／m2以下	2mm以下

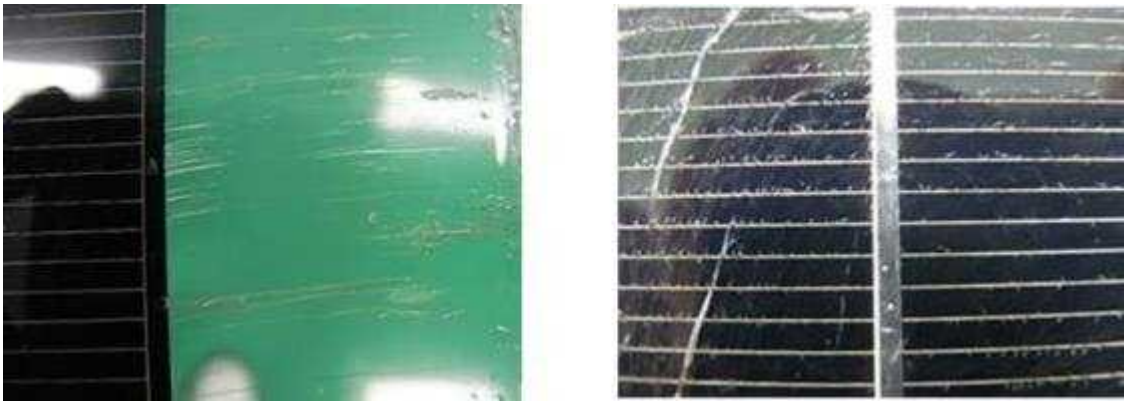
処方 MB を配合して 6013M-07 系と 6015S-05 系の耐光・耐湿熱改良 COC シート試作も行った。得られた 2 種の COC シートは改良 MB 無添加 COC シートと同じレベルであり、処方 MB 配合によりシート成形ウィンドウが広くなる傾向が見られた。更に、処方 MB 配合 COC シートを用いて日清紡ホールディングスでモジュール作製条件を検討した結果、6015S-04 系 COC シートの方が 6013M-07 系よりオレフィンゴム封止材との架橋プレスに適していると判断された。これらの結果から、6015S-04 を COC シート用ベース材料に決定した。

実用の太陽電池モジュールのサイズに合わせる目的で、COC シートの最終目標サイズを幅 1000mm、長さ 1650mm に定めている。外注先の量産シート成形設備を借用して、最終目標サイズの COC シートを試作成形した。ベース COC 樹脂(TOPAS®6015S-04)に処方 MB を 9：1 の比率でブレンドして、厚さ 1mm と 0.8mm の COC シートを試作した。そのシートの評価結果を表Ⅲ-2-(へ)-G-1(24)に示す。両シートの欠点数と反りが目標を達成しており、目標とする COC シートが得られた。但し、モジュールに用いた時に割れが無いことを確認する必要が有る。そこで、日清紡ホールディングスでこの 2 種の COC シートにつてモジュール適合性評価を行った。

表Ⅲ-2-(へ)-G-1(24) 幅 1000mm 長さ 1650mmCOC シートの評価結果

COCシートの厚さ	300μ以上の欠点数	反り(浮き)
1. 0mm	12個／m2	1. 5mm
0. 8mm	8個／m2	1. 2mm
目標	25個／m2以下	2. 0mm以下

日清紡ホールディングスで COC シートを用いて種々の条件でモジュールを試作して、それらを室温で数日放置したところ、図Ⅲ-2-(へ)-G-1(30)に示す様なマイクロクラックが全てのモジュールで発生した。



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(30) COC シートを用いたモジュールに発生したマイクロクラック
左図； セルのエッジ近傍部、 右図； セルのフィンガー部

マイクロクラックがセルのエッジ近傍とフィンガー部で COC シートに発生している。このマイクロクラックの発生原因を検討したところ、次の原因が推察された。

1) モジュール製造時の架橋プレス装置が下からの片面加熱方式であり、積層した部材の上下で温度差が生じている。熱伝導性が低い COC シートを挿入することにより、更にその温度差が大きくなる。
2) この温度差が有る状態で、COC の Tg 付近で架橋プレスをすると、セルエッジやフィンガーの段差により COC シート内に歪が発生する。
3) 発生した内部歪により、COC シートにマイクロクラックが発生する。

この発生原因にから、現行の架橋プレス装置を用いる限り、熱伝導性が低く厚い COC シートではマイクロクラック発生問題を解消するのが困難と判断した。その対策として、COC 層を薄くする目的で、COC フィルムの開発に方針を変えた。

(2) COC フィルムの成形

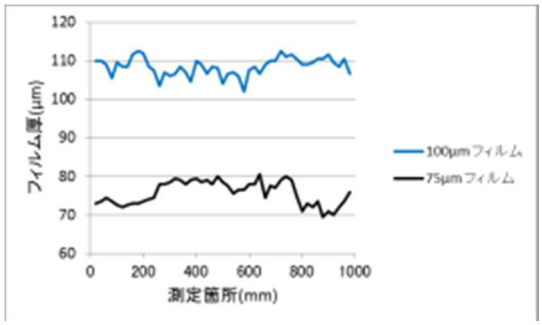
上述の 2 種のフィルム用 COC 樹脂材料(開発番号 RSC10290 と RSC10291)を用いて、T ダイ方式のフィルム成形ラインで COC フィルムを試作した。フィルムサイズは幅が 1000mm で、100μm と 75μm の厚さを目標にした。得られた全てのフィルムは約 50μm 程度の細かい欠点が有るものの、150μm 以上の欠点は全く無く、太陽電池用途には充分適用出来る外観であった。しかし、フィルムを巻き取る時に、ロールに巻皺が発生して、フィルムロールの外観不良問題が発生した。2 種の COC 樹脂材料で形状は異なるが巻皺が発生した。この巻皺の代表的な例を図Ⅲ-2-(へ)-G-1(31)に示す。COC フィルムは次の工程でオレフィンゴム封止材シートと貼り合わせたラミネートシートに使用される。フィルムロールに巻皺が有ると、このラミネートシートにも皺が残り、均一なラミネートシートの製造に問題を起こす。

図Ⅲ-2-(へ)-G-1(31) COC フィルムロールの外観
COC 樹脂材料：RSC10291

図Ⅲ-2-(へ)-G-1(32) 改良した COC フィルムロールの外観
COC 樹脂材料：RSC10291

フィルムロールの巻皺対策として、フィルムライン速度の最適化と保護フィルム片面貼りの影響について第 1 候補材料の RSC10290 で検討した。保護フィルム片面貼りよりもフィルムライン速度の最適化で改良効果が大きいことが分かり、その最適化を行って、図Ⅲ-2-(へ)-G-1(32)に示す様にフィルムロールの巻皺が改良された。巻皺はまだ若干改良する必要はあるが、オレフィンゴム封止材シートとのラミネート工程に充分適用出来る COC フィルムロールであった。

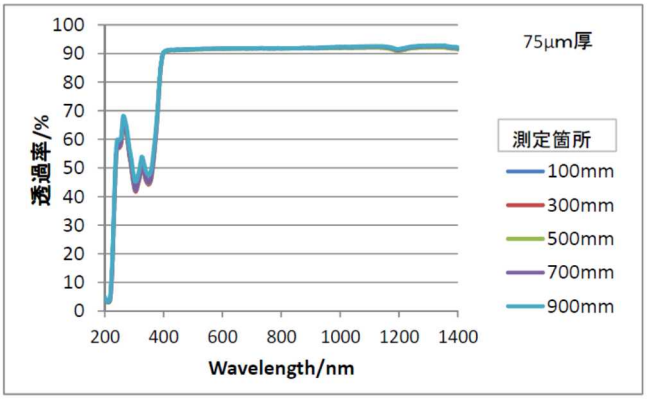
フィルムロールの巻皺を改良した COC フィルムの厚さと光学特性を評価した。RSC10290 の COC 樹脂材料で作製した COC フィルムの幅方向の厚さ分布を図Ⅲ-2-(へ)-G-1(33)に示す。厚さ測定は片方のフィルム末端から幅方向に測定し、そのフィルム末端から測定位置の距離を測定箇所とした。75μm フィルムは厚さが 70μm と 80μm の範囲で分布して、目標の厚さの 10%以内の変動に入っている。100μm フィルムは目標厚さより厚くなっているが、厚さの変動は 10%以内に入っている。これらの 2 種の COC フィルムの全光線透過率と haze について幅方向の変動を評価した。その結果を表Ⅲ-2-(へ)-G-1(25)に示す。両 COC フィルムとも、全光線透過率が 91.5%の非常に安定した幅方向の値を持つ。75μm 厚フィルムの haze の変動幅が 0.19%あるが、100μm 厚フィルムの haze が安定していることから、フィルム表面の外部 haze がこの haze 変動に原因していると推察される。



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(33) COC フィルムの厚さ分布
COC 樹脂材料：RSC10290

表Ⅲ-2-(へ)-G-1(25) COC フィルムの光学特性分布
(COC 樹脂材料:RSC10290)

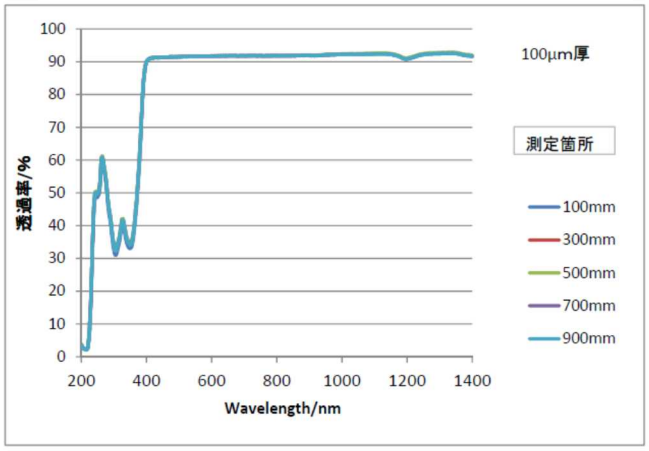
フィルム厚	測定項目	測定箇所				
		100mm	300mm	500mm	700mm	900mm
75μm	全光線透過率(%)	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5
	Haze(%)	0.85	0.87	1.04	1	0.89
100μm	全光線透過率(%)	91.5	91.5	91.5	91.4	91.5
	Haze(%)	0.71	0.7	0.75	0.76	0.76



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(34) COC フィルムのスペクトル
フィルム厚：75μm

これらの COC フィルムの分光スペクトルについて幅方向の変動も評価した。75μm 厚フィルムと 100μm 厚フィルムのスペクトルをそれぞれ図Ⅲ-2-(へ)-G-1(34)と図Ⅲ-2-(へ)-G-1(35)に示す。測定箇所によるスペクトルの違いが見られず、全て同じスペクトルの線上に乗っている。

これらのフィルム評価結果から、得られた COC フィルムは幅方向で均一な光学特性を持ち、厚さの変動が少ないことが確認された。フィルムのロール形状もオレフィンゴム封止材シートとのラミネート工程に適



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(35) COC フィルムのスペクトル
フィルム厚： 100μm

用できる形状であり、目的の太陽電池モジュール用の COC フィルムを完成した。

更に、日清紡ホールディングスでこの 75μm 厚フィルムを用いて太陽電池モジュールを試作して、このモジュールの PID 耐久試験を行った。85℃、85%RH、印加電圧 1000V の条件で 2500 時間(20 年間に対応)の PID 耐久性を達成して、PID 防止用 COC フィルムとしての効果が確認された。

③次世代長寿命太陽電池モジュールのモジュール設計に関する研究開発

表Ⅲ-2-(へ)-G-1(26)

項目	目標	結果
(a)モジュール基本設計開発(日清紡ホールディングス㈱担当項目)	バス試験(90℃、350h)後の外観検査において横バス白濁面積(80%：1 点、50%：2 点、0%:3 点) 耐 PID(85℃、85%RH、－1000V、1000h、発電劣化率 5%未満)の達成 DH 試験(85℃、85%RH、6000h)後、発電劣化率 5%以下の達成	横バス白濁面積評点；3 点； 単結晶 48 直および 60 直サイズの太陽電池モジュールを JSF㈱と日清紡メカトロニクスで成型し、外観欠点ないこと確認、バス試験 90℃、350h 後の評価で、横バス白濁なし スーパーストレート構造の耐 PID・単結晶 48 セルモジュールに対し、認証機関 TUV にて、85℃、85%RH、-1000V、1000h の条件で、発電劣化なし(発電劣化率；0%) また、日清紡ラボにて、3400h 後の発電劣化率；0%を達成 なお、6000h まで継続の予定)

(a) モジュール基本設計開発

1) 目的

EPDM 封止材を用いて PV モジュール化作製技術を確立する。

2)実験

配合

表Ⅲ-2-(へ)-G-1(27)に示したとおりである。

混練

8 インチオープンロールにて混連を実施した。

表Ⅲ-2-(へ)-G-1(27)

	処方名		TS104
A練り	ポリマー	EPDM	100
	フィラー	シリカ系	10
		カーボンブラック	1
	接着剤	カップリング剤	1
	添加剤	Zn系	7
		脂肪酸系	1
	配合部数		120
B練り	架橋剤	架橋剤	2.1
		助剤	0.5

バックシートとの一体化加工

・カレンダーロールにて成型加工実施

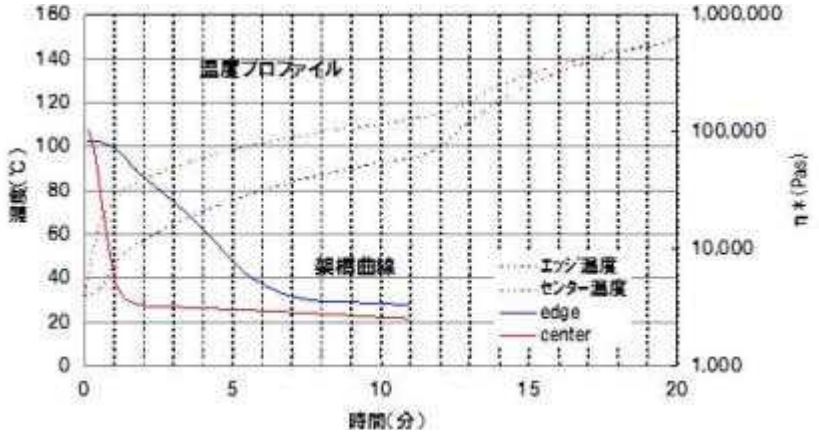
・EPDM 厚み：500μm

・BS：東洋アルミニウム（型番 FA20/VPET12/WPET250/LE50）

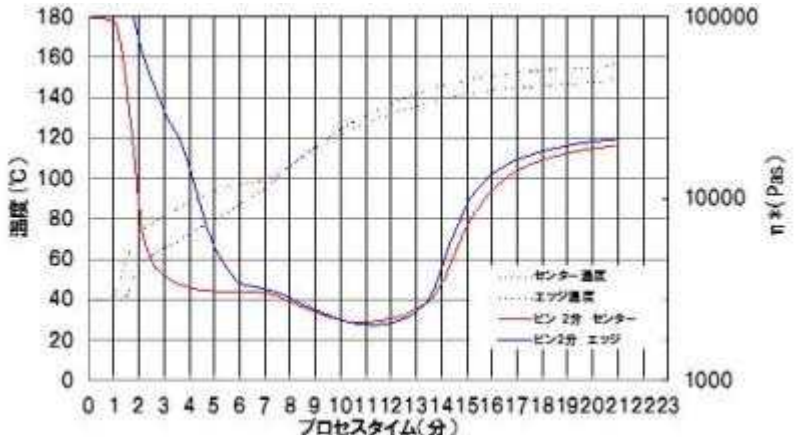
モジュール化

・構成：ガラス／EVA／セル／EPDM/BS（バックシート上に EPDM ラミネート）

・加工条件：下記温度プロファイルより加工条件を検討。



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(36) 1537N
160℃ ピン立 10min



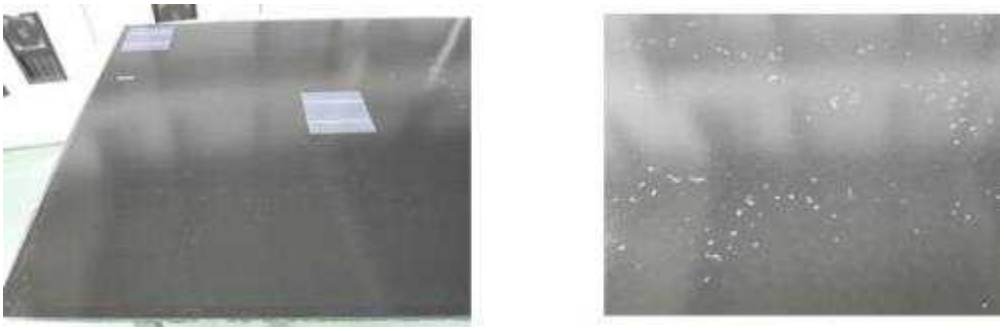
図Ⅲ-2-(へ)-G-1(37) 2235C
ピン立 2min 4.5min プレス

3)結果

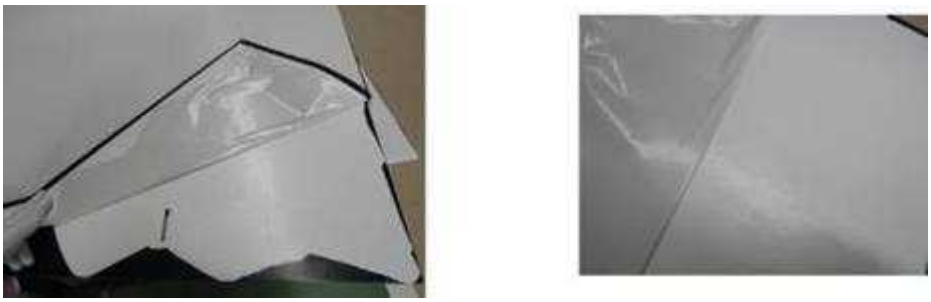
表Ⅲ-2-(へ)-G-1(28)

NO	ラミネーター型式	熱板温度(℃)	予熱(min)	予熱中ピン立て(min)	低速(min)	中速(min)	高速(min)	保持(min)	合計	結果
1	1537N	160	8	8	1	0	1	18	28	気泡無し、BSのPE層が黒色EPDMから斑点模様として少し見えた
2	2235C	160	1.5	1.5	3	0	0	19.5	24	バックシート側細かい気泡が多い。バックシートがPVDF層とPET層の界面で剥れた。
3	2235C	160	4.5	2	1	0.5	0	16	22	気泡なし、No1で見られたようなバックシート側のPEの溶融による小さい穴は見られなかった。

加工 No.1～3 全て、BS の PE 層と PET 層が引っ張ると簡単にはがれてしまった。



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(38) 加工 No.2 表(右図:拡大図)



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(39) 加工 No.2 裏(右図:拡大図)

図Ⅲ-2-(へ)-G-1(40) 加工 No.3 表

図Ⅲ-2-(へ)-G-1(41) 加工 No.3 エッジ拡大図

加工 No.1 は、予熱時間が長すぎたことにより、外観が悪化した。加工 No.2 は、発泡が認められ、加工 No.3 では、予熱時間を No.1 に比べて短縮したことにより、良好な外観が得られた。

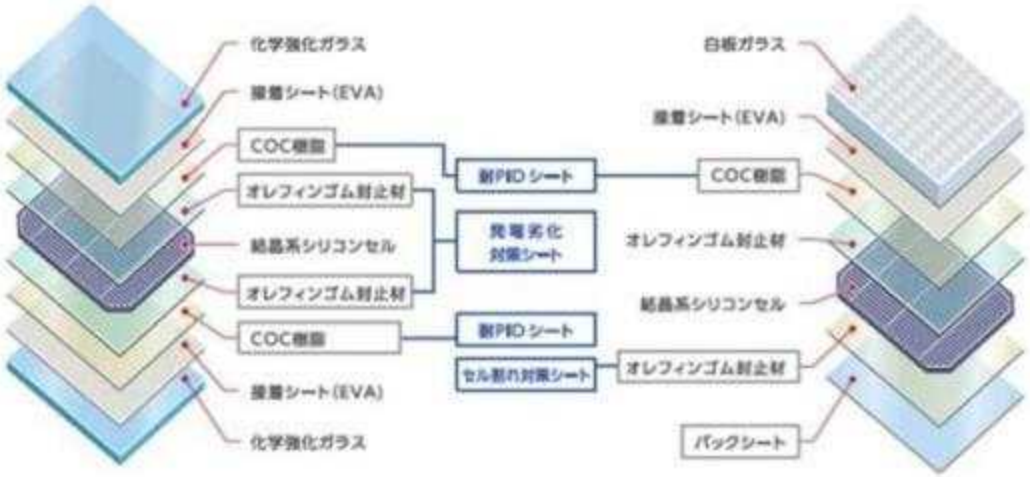
(2) 開発した封止材の特長と太陽電池モジュールの性能

1) 高信頼性太陽電池用封止シート

表Ⅲ-2-(へ)-G-1(29) NEDO プロジェクトで開発した高信頼性太陽電池用封止シート

(ア) PID COC 樹脂シート	②耐発電劣化・耐 PID 透明オレフィン＋COC 樹脂シート	③セル割れ防止 白・黒オレフィン封止シート
樹脂基材厚み COC75μm	樹脂基材厚み COC 75μm 封止材：透明オレフィンゴム 150・250・350μm	PET バックシート基材 厚み 75μm 封止材：白・黒オレフィンゴム 150・250・450μm
既存封止材 EVA との併用で PID フリーの効果あり	劣化防止による材料からの「酢酸」発生が少ないため発電劣化しない	劣化時に酢酸発生が少ないことに加え、ゴム素材による柔軟性で、荷重試験(5400Pa) ; EL 画像撮影でシリコンセル割れなし

2) 高信頼性太陽電池用封止シート適用モジュール性能モジュール構造



NEDO 共同研究開発モジュール①
両面ガラス、シンメトリ構造

NEDO 共同研究開発モジュール②
片面ガラス、スーパーストレート構造

図Ⅲ-2-(へ)-G-1(42) ①開発した封止材を適用した両面ガラスと
②スーパーストレートモジュール

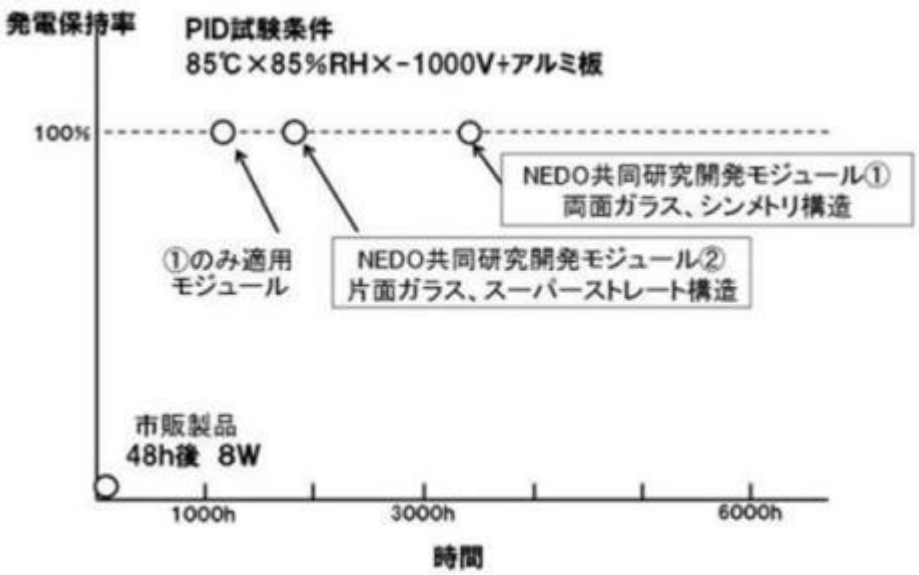
3) モジュール性能

表Ⅲ-2-(へ)-G-1(30) 両面ガラス、スーパーストレートモジュールの電気特性

	市販モジュール	NEDO 共同研究開発モジュール① 両面ガラス、シンメトリ構造			NEDO 共同研究開発モジュール② 片面ガラス、スーパーストレート構造		
封止材の色	透明	透明	透明	透明	白	グレー	白
発電性能							
Pmax (W)	200	196	197	200	201	201	200
Voc (V)	30.5	30.2	30.1	30.1	30.4	30.5	30.3
Isc (A)	8.8	8.3	8.4	8.2	8.7	8.5	8.7
FF (%)	74.3	78	78	77.9	76.1	76.4	74
絶縁抵抗 (Ω)	1.3M	-	-	-	3.0G	2.8G	2.6G
重量(kg)	15.4	10.6	8.6	11.1	15.9	15.9	7.8

4)耐 PID 性能

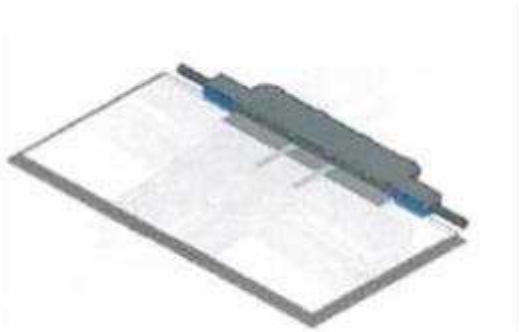
NEDO 開発の封止材料を適用したモジュールの耐 PID 特性は下図の通り。試験条件 85℃×85%RH、-1000V にて 3400 時間までの耐 PID 性能を確認した。引き続き 6000 時間後までを検証する予定。



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(43) PID 試験後の発電保持率に及ぼす試験時間

(b) ジャンクションボックス(JB)およびケーブル基本設計開発(ポリプラスチックス㈱担当項目)

開発する新規モジュールは両面ガラス型であり、従来のモジュールで使用されているバックシート面設置型 JB が使用出来ない。そこで、両面ガラス型モジュールに取り付けが出来る側面設置型 JB の開発を行った。その JB のイメージ図を図Ⅲ-2-(へ)-G-1(44)に示す。太陽光発電所に用いる太陽電池モジュールであることから、次のコンセプトを決定した。



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(44) 側面設置型ジャンクションボックスのイメージ図

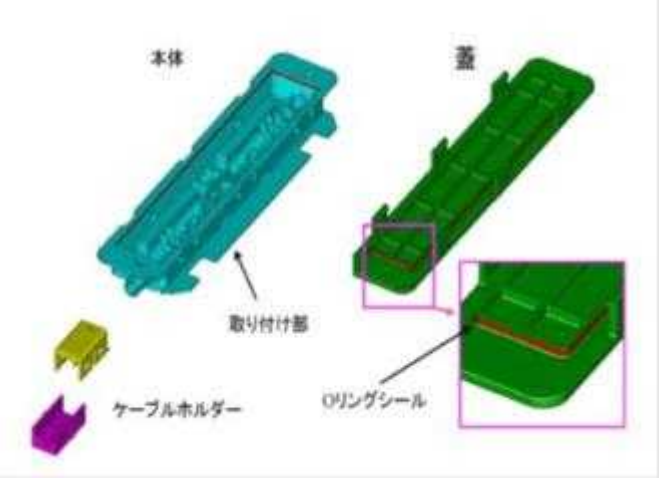
1)システム電圧 1000V。
2)JB を通じた水の浸入が無い。
更に、モジュール製造のコストダウンを目的に、3)モジュール製造の架橋プレス工程時に同時に取り付けも出来る様にするコンセプトも加えた。2)のコンセプトについては、モジュールに用いるオレフィンゴム封止材の活用で対応する。3)のコンセプトについては、現在多くの JB に使用されている変性 PPE が耐熱不足の理由で使用出来ないため、耐熱性と電気特性の観点から GF 強化 PBT を選定した。

表Ⅲ-2-(へ)-G-1(31) ジャンクションボックス設計の重要検討項目と対策

検討項目	変形・破壊形態	対策方法
反り変形	内反り	リブ立て
	面ブレ	スリット入れ
	反り	低反り材料
Oリングシール	クリープ変形による気密性低下	剛性アップ ・リブの厚さと本数 ・フランジ設定
	クリープ破壊	リブのR付け
スナップフィット	外変形 付け根と爪の破壊	Oリングも内側設置 スパンと爪の最適化

JB の形状素案を考案した。表Ⅲ-2-(へ)-G-1(31)に示す様な反り変形、破壊、機密性低下が懸念され、シュミュレーションをしながら対策を立てて最適形状を決定した。

その決定した形状のデーターを用いて、3D プリンターで各部品のモデルを作製した。そのモデルを図Ⅲ-2-(へ)-G-1(45)に示す。本体、蓋、ケイブルホルダー(2 種)から JB が構成されており、各部品には表Ⅲ-2-(へ)-G-1(33)の対策が施されている。蓋の内側に O リングシールを図Ⅲ-2-(へ)-G-1(45)の拡大図の様に取り付けて、本体と蓋の間で機密性を確保する構造にした。これらの部品モデルで組立が出来ることを確認して、JB 形状を最終決定した。



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(45) ジャンクションボックスの各部品のモデル

各 JB 部品の金型図を作成して、1 個取の金型を作製した。GF 強化 PBT を用いて各部品を成形した試作品の写真を図Ⅲ-2-(へ)-G-1(46)に示す。

各部品の寸法は公差範囲内に入っていた。成形部品だけで予備組立をしたところ、勘合性に問題が無く、組立出来る成形部品であることを確認した。そこで、ケーブル、バイパスダイオード、端子を取り付けて、JB を組み立てた(図Ⅲ-2-(へ)-G-1(47))。JB の耐久試験評価を行った。表Ⅲ-2-(へ)-G-1(32)に示す高温高湿試験とシーケンス試験に全て合格して、電気部品として安心して使用出来る製品であることが確認出来た。

JB をモジュールに取付ける接着剤についても検討を行った。図Ⅲ-2-(へ)-G-1(48)に示す様に、現行のシリコン接着剤よりも接着強度が高く、モジュールの架橋プレス条件で硬化が出来る付加型シリコン系接着剤を選定した。組み立てた JB を接着剤で両面ガラス型モジュールに取付け出来ることを確認した。

図Ⅲ-2-(へ)-G-1(46) ジャンクションボックス成形部品

図Ⅲ-2-(へ)-G-1(47) ジャンクションボックス

図Ⅲ-2-(へ)-G-1(48) 接着剤

表Ⅲ-2-(へ)-G-1(32) ジャンクションボックスの耐久試験結果(規格番号:EN50548)

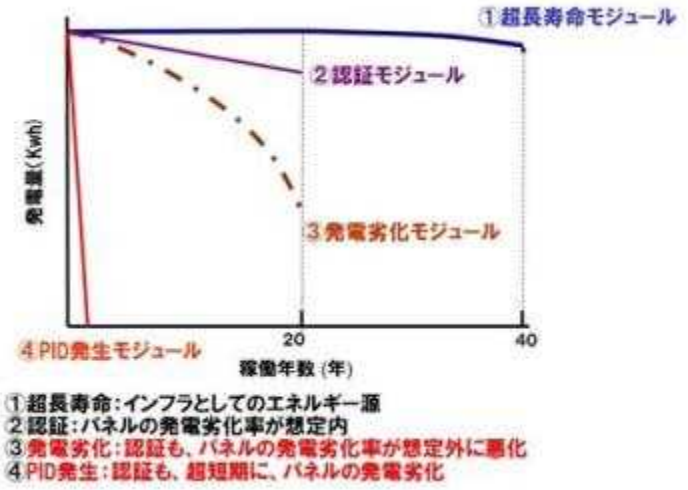
試験名	環境条件	判定試験	試験結果
高温高湿試験	85℃・85%RH環境下で1000hr	水中絶縁試験： 塩湿水中にて1000V・2min印加 合否判定： 絶縁抵抗400MΩ以上	n=3で全て合格 絶縁抵抗5000MΩ以上
シーケンス試験	①温度サイクル試験： -40℃～90℃・50cyc ②温湿度サイクル試験： -40℃～85℃、85%RH・10cyc	水中絶縁試験： 塩湿水中にて1000V・2min印加 合否判定： 絶縁抵抗400MΩ以上	n=3で全て合格 絶縁抵抗5000MΩ以上

(c) PID 発生の予見精度の高い評価試験方法の検討(日清紡ホールディングス㈱担当項目)

(1) PID 発生の予見精度の高い評価試験方法の検討

1) 発電劣化の類分け

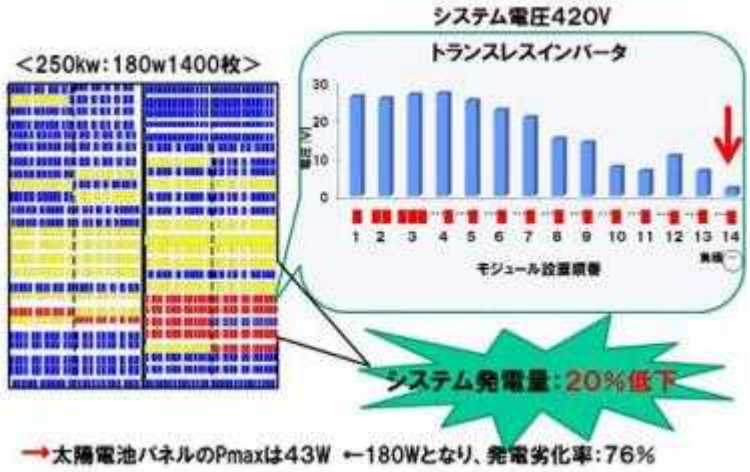
図Ⅲ-2-(へ)-G-1(49)に発電劣化の劣化速度に応じた類分けを示す。火力発電や水力発電と並ぶエネルギー源であるためには、40年間発電劣化しない製品であることが求められる。このモジュールを「あるべき姿」として、①40年間発電劣化のない、超長寿命太陽電池モジュール、②認証モジュールとは、20年間に20%未満の発電劣化率を有するものであり、発電劣化度は予想範囲内に収まるものである。よって、メーカーの保障により、事業計画を立案できるものである。③発電劣化モジュールとは、認証されたモジュールであるが、結果として、20年間で、大幅に発電劣化が進むものであり、その速度は「急激」である。④PID発症モジュールとは、発電性能が100%奪われるものであり、僅か数年で発電システム全体の20%劣化するもので、発電劣化速度は極めて速く、「突然」発生する。



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(49) 太陽電池モジュールの発電劣化の類分け

2) PID発症太陽電池モジュールの発生メカニズム

実フィールドでのPID発症事例と発電劣化の状況を図Ⅲ-2-(へ)-G-1(50)に示す。 静岡県に設置された小型太陽電池発電プラント(180W・1400枚・250kWシステム)で、稼働後、僅か1.5年でシステム発電量が20%低下する不具合を経験した。システム電圧は420Vで、350V以下を「赤」で表示し、400V以上を「青」とし、その中間を黄色とした。「赤」部分を中心に、発電劣化が広がっている。赤色部分のパネル14枚を取り出し、1枚ごとに発電性能測定した結果、直列配列で7番目となる、200Vを超えるパネルから、P_{max}が低下しており、最終配列の14枚目のパネルが最も発電劣化度が大きかった。



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(50) 実フィールド稼働 1.5 年で PID 発症した発電プラント

発電劣化が最も大きいパネルの電気特性を室内保管品と比較して表Ⅲ-2-(へ)-G-1(33)に示す。

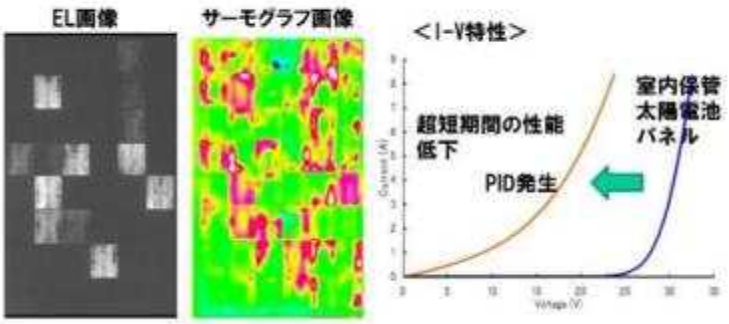
表Ⅲ-2-(へ)-G-1(33) 実フィールドでPID発症パネルの電気物性

	Pmax (W)	Voc (V)	Isc (A)	FF (%)	Rsh (Ω)	Rs (Ω)
Original panel	178	29.2	8.4	74	90.2	0.5
PID-PV panel	43	16.8	7.8	33	4.5	1.4

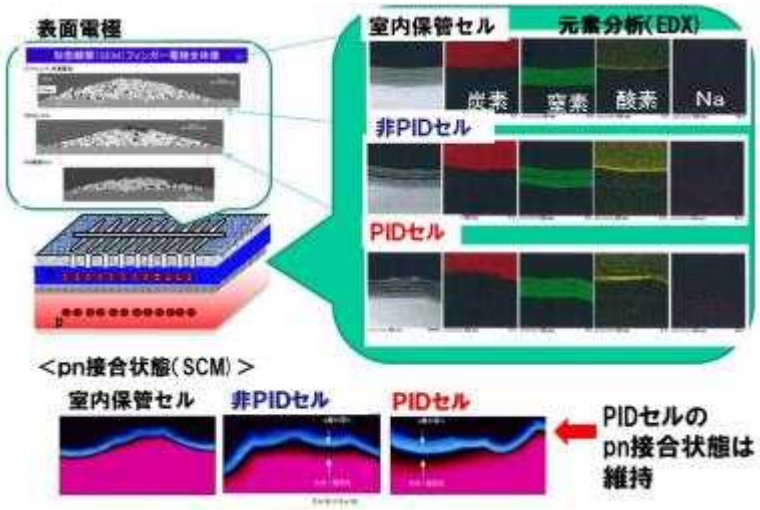
本発電劣化の電気的特徴は、P_{max}が43Wまで低下しており、発電劣化率は76%であった。解放電圧V_{oc}の低下率が大きく、I_{sc}の変化率は93%であり、あまり変化しないことが特徴である。また、Rsは若干増加し、Rshが大幅に低下しており、太陽電池セルの半導体としての性能低下が起こっている。

図Ⅲ-2-(へ)-G-1(51)に14配列目の大幅に　発電劣化した太陽電池パネルのエレクトロルミネッセンス(EL)画像とサーモ画像を同時に撮影した結果を示す。約8Aの電流が48セルに通電しているにも関わらず、発光しない太陽電池セルが存在する。EL画像より、非発光のセルが34枚、発光セルは14枚であった。

セルの発電性能は、3.75W / セルであるので、発光セルの枚数を掛けあわせた発電性能の予測値は、45Wとなる。実際は43Wであったので、非発光セルは、本モジュールの発電に寄与していないと考えられる。ここで、発光セルを非PIDセル、非発光セルをPIDセルと定義した。



とサーモ画像および電気特性(I-V)



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(52) PID 発症パネルの SCM、EDX、SEM 表面電極観察

PIDセルの多くは、サーモ画像で、「発熱部」を観測した。通電後10秒後のサーモ画像から、発熱部とベース部との温度差は、約0.3℃であった。本PID発症パネルのIV特性は、室内保管品と比較して、大幅にダイオード特性が悪化した。

3) PIDセルと非PIDセルの破壊分析結果

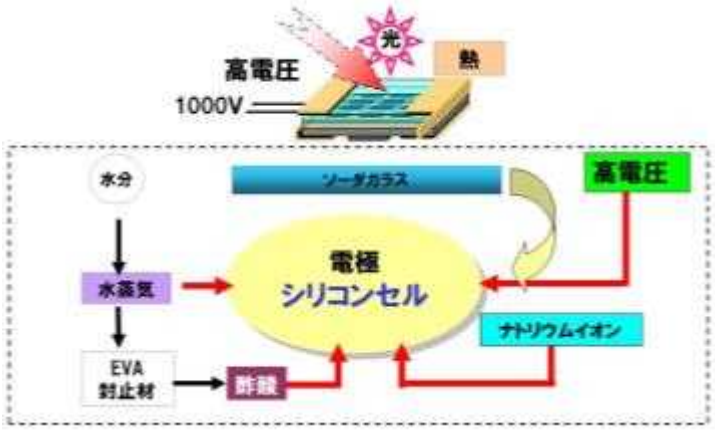
PID発生メカニズムを解明するため、PIDセルの破壊分析によって、SCMでpn接合構造を評価した結果を図Ⅲ-2-(へ)-G-1(52)に示す。青色部がn層、赤色部がp層であり、中間の暗い部分が空乏層を示している。本解析の結果、モジュールから取り出したPIDセルの分析検体のpn構造は維持されていることが分かった。

太陽電池セルの反射防止膜とそのシリコン内部にNa原子など、アルカリ金属原子の存在の有無をEDXで分析した。その結果、Na原子は太陽電池セル内部には存在しないことが分かった。

表面形態観察では、PIDセルは非PIDセルに較べ、表面テクスチャーがエッチングされ、平滑化していた。また、表面電極の断面積が、室内保管モジュールのセル電極と比較して、顕著に細線化していた。

4) PID メカニズム解析方針

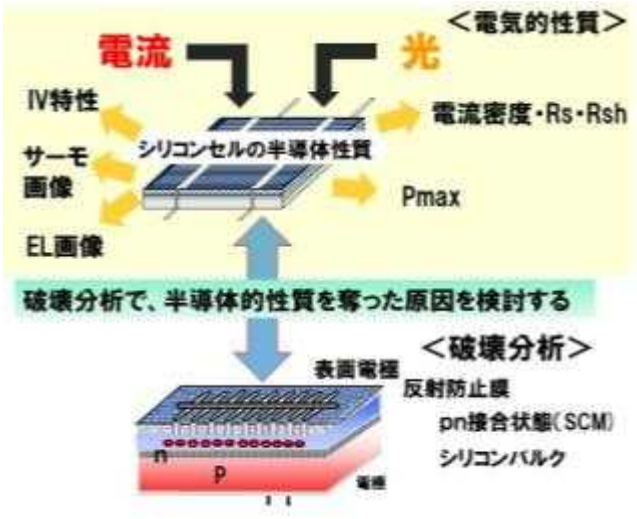
太陽電池パネルの発電劣化を引き起こす環境劣化ストレス因子と部材との関係を図Ⅲ-2-(へ)-G-1(53)に示す。発電劣化を引き起こす直接的な劣化因子は、「水蒸気」、「ナトリウム」、「酢酸」と「高電圧」と考えられる。



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(53) 発電劣化に関係する環境ストレス因子と部材との連関図

図Ⅲ-2-(へ)-G-1(54)にPIDメカニズムの解析の方針を示す。実フィールドでPIDを発症したパネルは、電気的測定では、太陽電池セルの半導体的性質が失われている。そこでPIDセルの破壊分析により、その原因を明らかにする。

単結晶60直太陽光パネル(海外製)のPID再現試験を85℃・85％RH・-1000V・48時間で、アルミホイルをガラス面に張り付ける方法で行った。図Ⅲ-2-(へ)-G-1(55)にモジュールのEL画像とサーモ画像を示す。オリジナルP_{max}；250Wの太陽電池パネルが、PID試験後は、130Wとなり、発電劣化を認めた。EL画像の結果では、発光セルと非発光セルが混在し、PIDセルの中心部に「発熱」部分を観測し、実フィールドと同様の結



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(54) PID 発生メカニズム解明の解析方針

果が得られた。

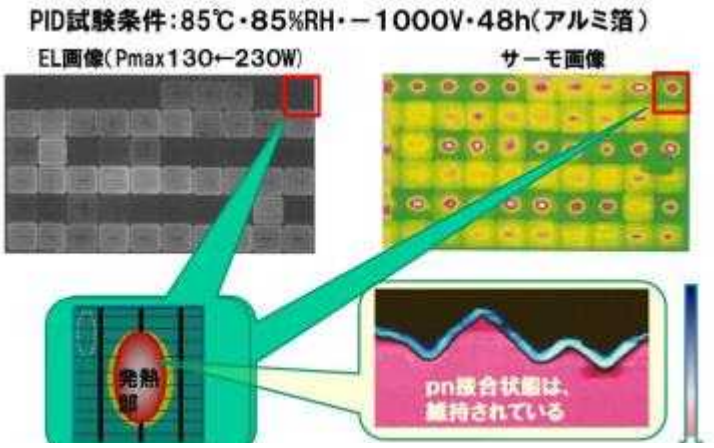
破壊分析の箇所は、EL画像で非発光セル上のサーモ画像で、「発熱」部分とその周辺部の「非発熱」部分とした。「発熱部」のSCM分析の結果は、n層、p層の存在が認められ、pn接合構造を維持していることが分かった。

図Ⅲ-2-(へ)-G-1(56)にPIDセル上の「発熱」部分と「非発熱」部分の表面形態をSEMで解析した結果を示す。

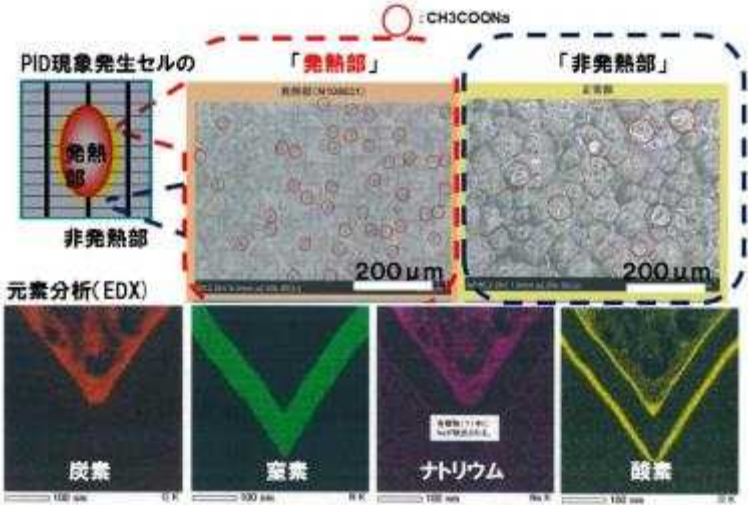
「発熱」部分は、単結晶の反射防止膜の特徴であるピラミッド調のテクスチャーがエッチングされ、平滑化していることが分かった。また、テクスチャー境界面に白色針状結晶物が多く存在していることが分かった。その存在量は、「非発熱」部分と較べ、約7倍多い。FT-IRによる、白色針状物質の定性分析を行った結果、酢酸ナトリウムであった。EDXの分析の結果、反射防止膜の内部およびシリコン内部にはNa原子の存在は認められなかった

これらを踏まえ、PIDセルの反射防止膜表面で想定される化学反応を図Ⅲ-2-(へ)-G-1(57)に示す。

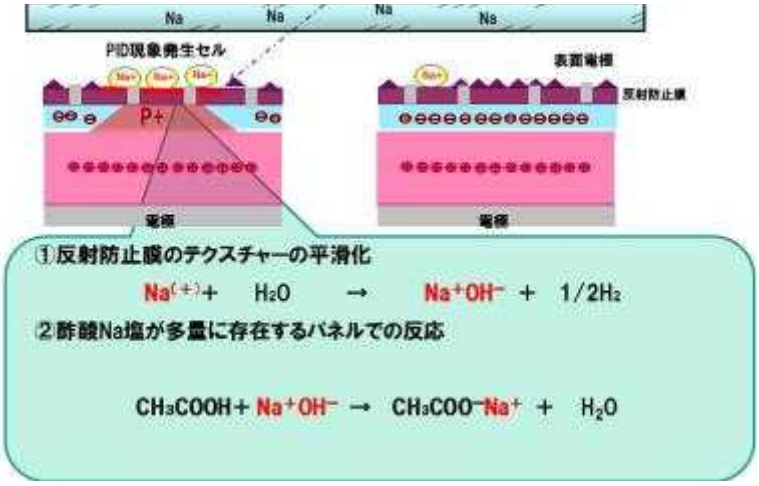
反射防止膜の平滑化は、セル表面に堆積したNaイオンとモジュール内の水分により、水酸化ナトリウムが生成し、反射防止膜をエッチングしたと推測した。また、EVAの劣化により、酢酸が多量に発生する太陽電池パネルでは、



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(55) PID 再現試験太陽電池パネルの電気的測定と SCM 分析



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(56) SEM による表面形態観察と「発熱部」の元素分析結果



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(57) PID セルの反射膜表面の形態変化をもたらす化学反応

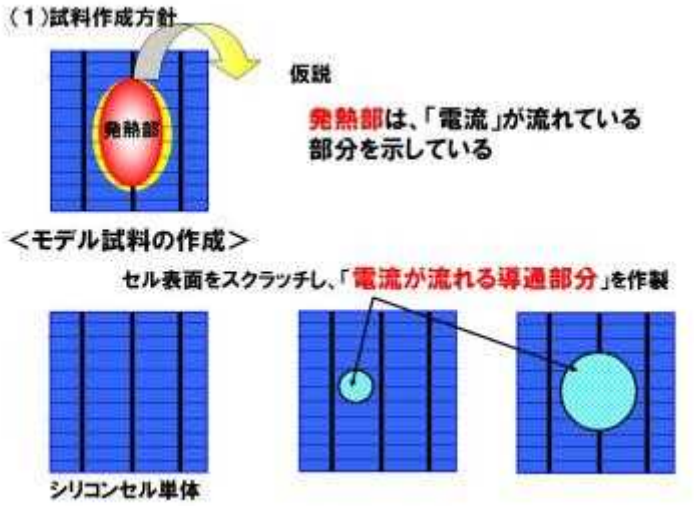
水酸化ナトリウムと酢酸が反応し、酢酸ナトリウムが生成したと推定した。

上述の二つの事実は、PIDセルの表面で、「発熱」部分には、ナトリウムが多量に存在したことの証拠と考えられる。

実フィールドのPIDセルの反射防止膜の断面構造を図Ⅲ-2-(へ)-G-1(58)に示す。

図Ⅲ-2-(へ)-G-1(58) 実フィールドで、PID 発症モジュールのシリコンセル反射防止膜(SiN 層)の断面構造

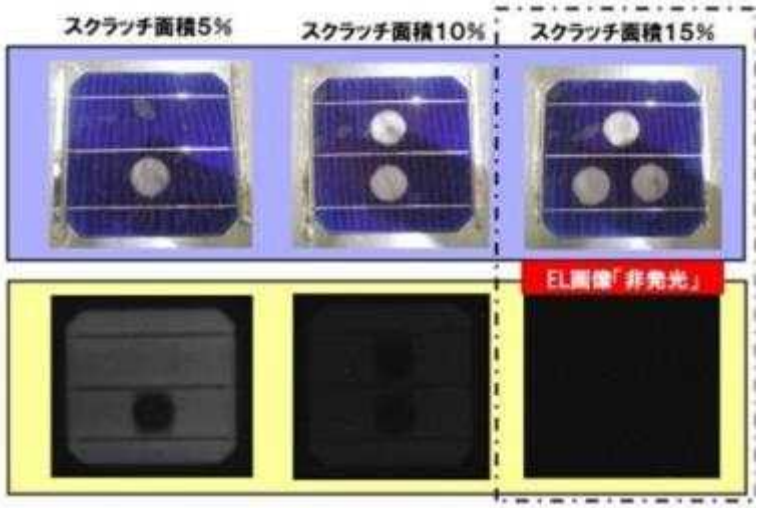
PIDセルは、反射防止膜の層間が拡大し、物理的なダメージを受けているように見える。このことは、反射防止膜表面に堆積したナトリウムは、イオン的ではなく、金属的性質を示し、水分と激しく反応して水素を発生したことによるダメージ跡と考えられる。



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(59) P 型多結晶セルでの PID 現象のモデル実験

5) PID発生メカニズムのモデル試験

PIDセルのEL画像での「発熱」部分は、太陽電池セルの表面：マイナス側からプラス側に電気的短絡したことによる「発熱」ではないかとの仮説をたてた。これを検証するため、p型多結晶太陽電池セルの表面(マイナス側)を「紙やすり」で薄くスクラッチを入れた。これにより、スクラッチ部分は短絡する。



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(60) PID 現象のモデル試験結果

図Ⅲ-2-(へ)-G-1(59)、図Ⅲ-2-(へ)-G-1(60)に、導通する部分のスクラッチ面積をセル表面積の5%、10%、15%として、EL画像に及ぼす影響を検討した。その結果、5%面積では、その部分のみ非発光となるが、10%面積では、全体が薄暗発光となり、15%スクラッチを入れた太陽電池セルは、セル全面が完全に非発光となった。

図Ⅲ-2-(へ)-G-1(61)に多結晶p型半導体のI-V特性に及ぼすスクラッチ面積の影響を

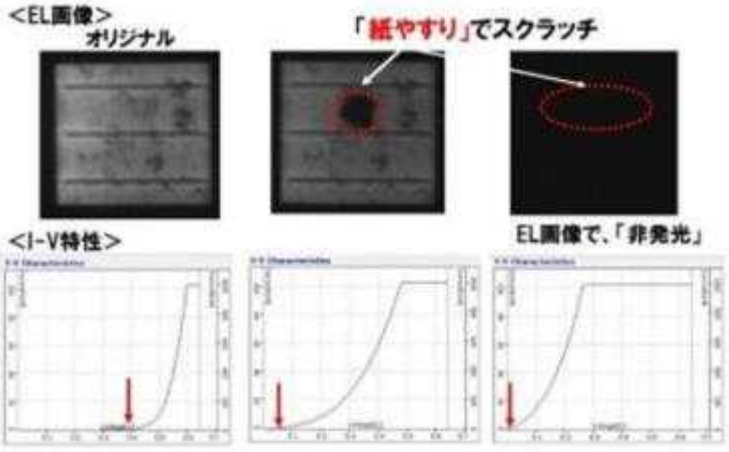
示す。スクラッチ面積の増加とともにI-V特性における、電流が流れるまでの電圧が低下した。つまり、ダイオード特性が悪化し、オーミック的接合に変化することを確認した。

このように、p型半導体の一部にスクラッチし短絡させることで、PIDセルでのEL現象でセルの端部まで完全に非発光でかつ、I-V特性におけるダイオード特性の悪化を再現した。

6) PIDメカニズムの提案

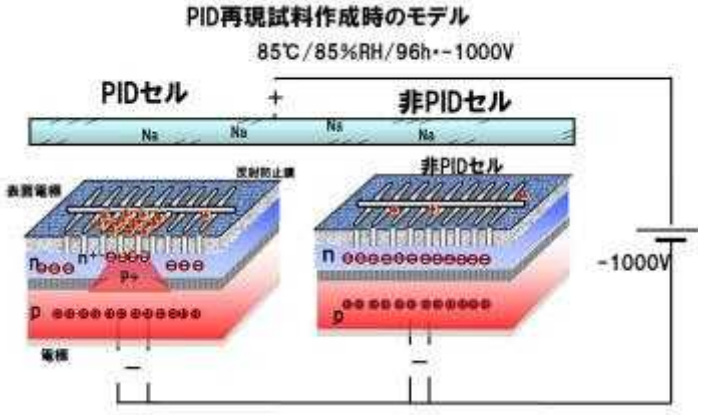
PIDセルは、pn接合構造は維持しているにも関わらず、電気特性は、半導体的性質を失っている状態である。

PIDセルのEDX分析SEM観察により、ナトリウム原子は、反射防止膜やシリコン内部には存在しておらず、表面反射防止膜の表面にナトリウムが存在していたと考えられる。



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(61) EL 画像および I-V 特性に及ぼすセルへのスクラッチ面積の影響

一方、PIDセルの半導体としての特徴は、太陽電池セルのEL画像の非発光とダイオード特性の変化であった。モデル実験の結果、セル面積の15％部分に電気的短絡部が形成しPID現象を再現した。



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(62) PID 発生メカニズムの提案

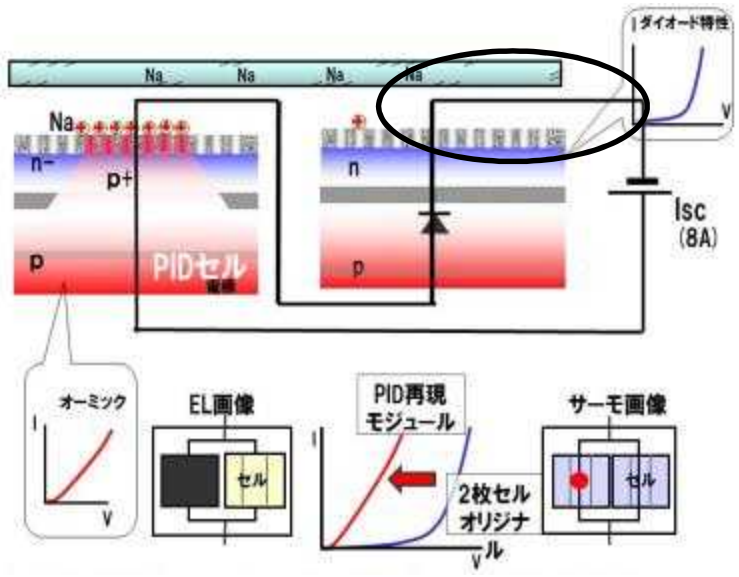
以上を考慮しながらPID再現試験時の太陽電池パネルの断面構造におけるナトリウムの太陽電池セル上における振る舞いのモデルを図Ⅲ-2-(へ)-G-1(62)に示す。

プラス電荷のナトリウムが表面電極を束ねて15％面積以上堆積することにより、コンデンサーのように、反射防止膜を挟んで、n層のキャリアーが張り付くように引き寄せられる。そのため、反射防止膜側に電子の分布の偏りが生じ、相対的にn層がp化することとなり、下部のp層と同化し、電気的短絡部が形成したと推測した。

左の太陽電池セルは、ナトリウムが15%セル面積堆積した状態をモデル化した。右はナトリウムの堆積量が少ない状態を示した。

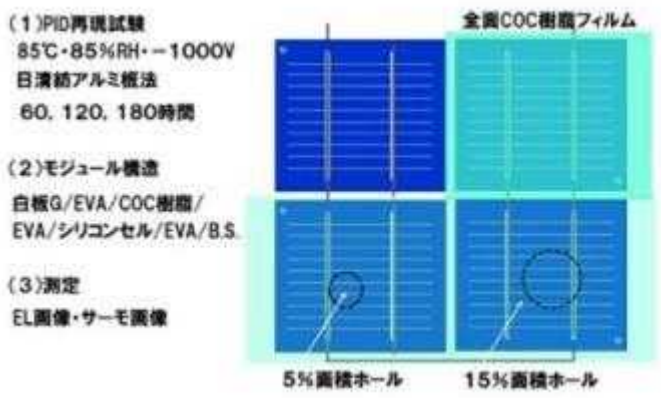
メカニズムを考慮したPID発症パネルに、順方向の電流を流した際のEL画像とサーモ画像およびI-V特性についてのモデルを図Ⅲ-2-(へ)-G-1(63)に示す。

ナトリウム原子がセルの15%面積堆積した左側の太陽電池セルは、堆積部分に電気が短絡し、そのため、太陽電池セルの半導体的性質を失った状態を図示したものである。



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(63) PID 発症モジュールの EL・サーモ画像・IV 特性

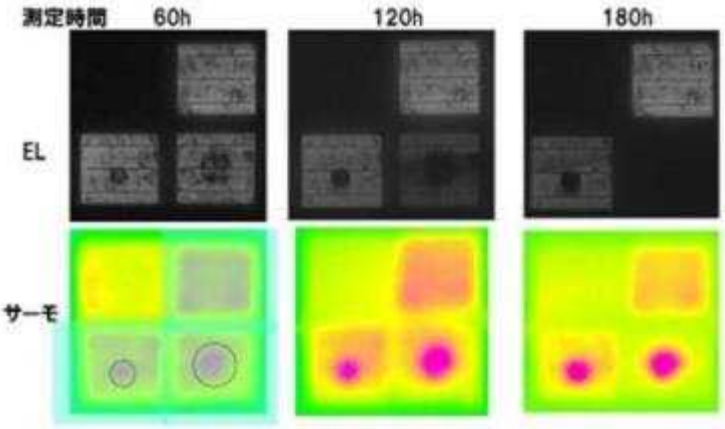
右側は、ナトリウムの堆積した面積が15%未満のため、半導体の性質が失われていない状態を図示したものである。



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(64) COC 樹脂フィルム適用 PID 再現試験

7) 検証実験PIDの完全回復と不完全回復

本NEDOの研究開発委託事業で開発したPID対策フィルム；COC(シクロオレフィンコポリマー)樹脂フィルム75μmを白板ガラスとセルとの間に積層することによって、高電圧下で、ナトリウムイオンのセルへの移動を防止することができる。本フィルムを用いて、図Ⅲ-2-(へ)-G-1(64)に示す多結晶4セル小型太陽電池パネルを試作した。左下は、COC樹脂フィルムに5%面積のホールを開け、その右には15%面積のホールを開けて、ナトリウムイオンの移動に制限を設けた。



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(65) COC 樹脂フィルム適用 PID 再現試験結果

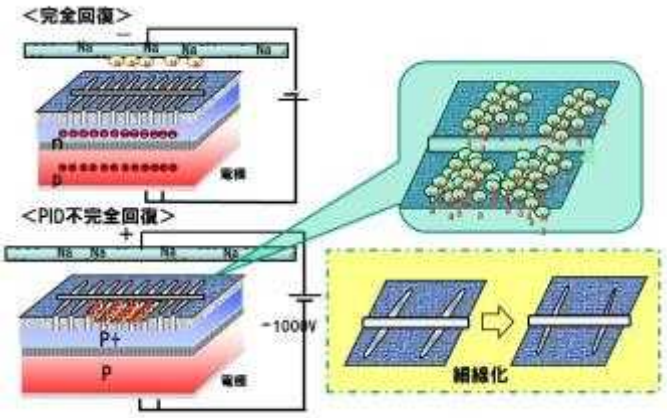
図Ⅲ-2-(へ)-G-1(65)にPID試験

後のEL画像とサーモ画像を示す。PID試験条件は、85℃／85%RH、-1000Vで、アルミ板をガラスに圧着し、60h、120h、180h後のEL画像とサーモ画像を撮影した。COC樹脂フィルムを覆っていない太陽電池セルは、60h後には、非発光となった。5%セル面積のホールのCOC樹脂フィルムの太陽電池セルは、円状の非発光部分が形成され、15%セル面積ホールを有するCOC樹脂フィルムも、同様であった。COC樹脂フィルムで完全に覆った太陽電池セルは、発光した。PID処理時間が長くなると、COC樹脂フィルム5%セル面積のホール部分のサーモ画像の「発熱」部分の輪郭は明瞭となった。このことからナトリウムイオンは、ガラスから直線的にセルに堆積すると考えられる。15%面積のホールの持つCOC樹脂フィルムの太陽電池セルは、PID試験180h後は、非発光となった。

以上の検証実験結果より、提案したPIDメカニズムの妥当性を確認した。

8) PIDの完全回復と不完全回復

図Ⅲ-2-(へ)-G-1(66)にPID現象による発電劣化が完全回復する場合とそうでない場合の原因を、発生メカニズムを踏まえて説明する。PIDは、ナトリウムが太陽電池セルの表面に堆積することにより発症するので、太陽電池パネルのセル側にプラス極、ガラスフレーム側をマイナスとして電流を流すことで、ナトリウムが太陽電池セル表面から離れることになり、この場合は、PID現象は完全に回復する。



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(66) PID 現象の完全回復と不完全回復

一方、ナトリウムは表面電極に吸い寄せられながら堆積する。銀電極材料は、アルカリ金属に溶かされ、マイグレーションし易い素材である。長時間、電極とフレーム間に漏れ電流が流れ、銀電極がマイグレーションし細線化するとファイヤースルーにより確保された電気的接合部の劣化により、表面電極の集電能力の低下が起こり、太陽電池パネルの発電性能は完全回復しないと考えられる。

(2) 予見精度の高いラボ試験条件の検討

1) 太陽電池モジュールの発電劣化評価指標の検討

図Ⅲ-2-(へ)-G-1(67)にプレッシャークッカー：PCT(130℃、168 時間、2.7 気圧)で加速劣化させた小型モジュールの外観の写真を示す。

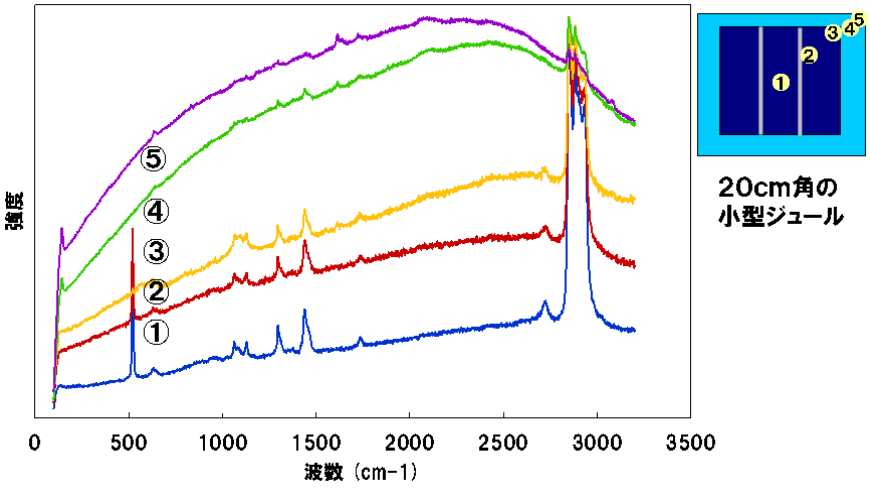
使用したフッ素 / PET 系バックシートは、PET の加水分解によりひび割れが生じ、表層のフッ素系樹脂が剥離した。

A. PCT 処理後　　B. 20 年経過中古モジュール

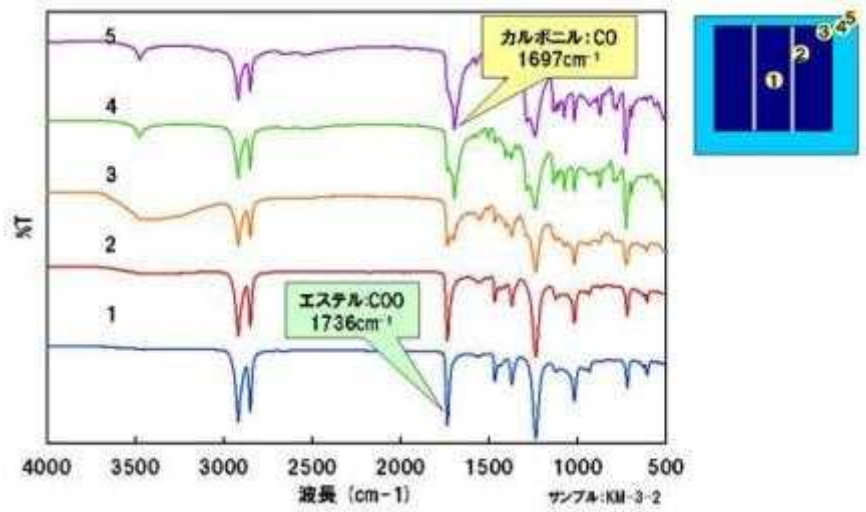
図Ⅲ-2-(へ)-G-1(67) PCT 処理試料および 20 年経過モジュールの外観写真

PCT 処理後の外観と 20 年経過の沿岸部に設置された結晶系太陽電池パネルの外観比較を図Ⅲ-2-(へ)-G-1(67)に示す。実施した PCT 条件は現実にはあり得ないが、20 年、40 年の製品寿命を論議するため、外観変化から観た官能試験としての劣化加速試験として有意義である。

上記条件の PCT で加速劣化させた小型モジュール内の EVA 封止材の赤外分光(IR)の結果を図Ⅲ-2-(へ)-G-1(68)に示す。中心位置からコーナーエッジに向けて、①から⑤の位置を測定した。メチル基を基準ピークとし、エステル基とカルボニル基の吸光度比を求めると、①、②の場所での劣化は認められないが、③の位置から⑤の方向で、エステル基の吸光度比が減少し、劣化を示すカルボニル基の増加が認められた。また、水の浸入を示す 3400cm^{-1} 付近の OH 基の伸縮振動のピークが③の位置からコーナーエッジの方向で観察された。以上の結果、エッジに近い部位ほど水分の浸入が多く、また EVA 封止材の劣化が進行した。



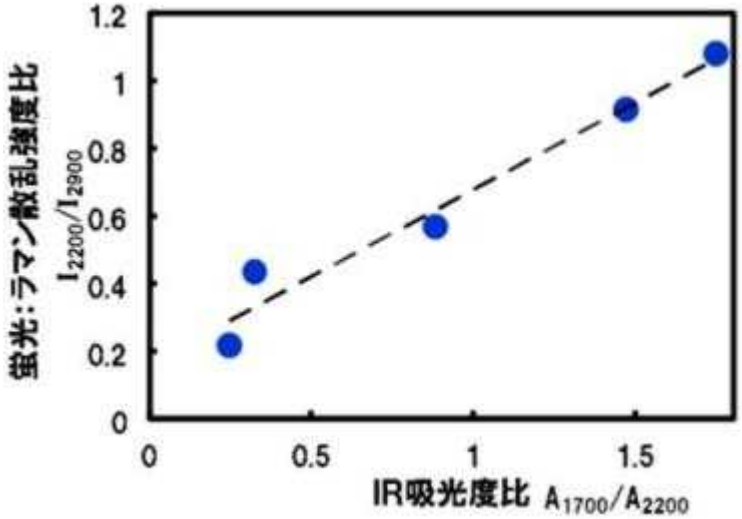
図Ⅲ-2-(へ)-G-1(68) 小型モジュールの IR スペクトル



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(69) 小型モジュールのラマンスペクトル(PCT 処理後)

レニショー製プローブラマン：RA100 を用いて、封止材を分析した結果を図Ⅲ-2-(へ)-G-1(41)に示す。①の位置では、EVA を示すピークとシリコンを示すピークが得られた。②からエッジ方向の⑤に向かって､蛍光散乱強度が強くなった。

図Ⅲ-2-(へ)-G-1(70)にＩＲから求めたカルボニル基の吸光度比とラマン分光から求めた蛍光散乱強度比との関係を示す。



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(70) IR 吸光度比とラマン散乱強度比

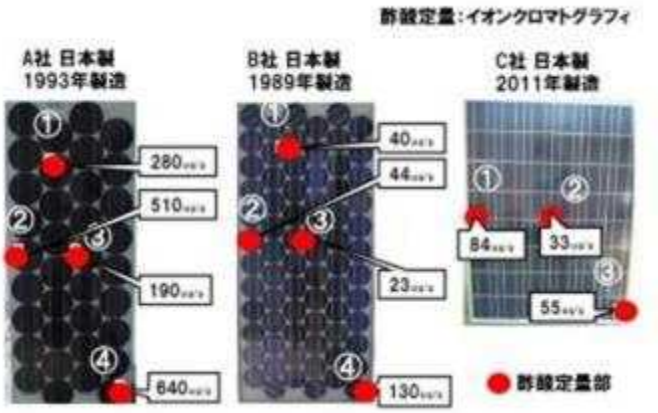
蛍光の散乱強度比とカルボニル基の吸光度比に良好な相関が得られた。ラマン分光で求まる蛍光の散乱強度比を封止材の劣化指標として扱えることが分かった。

ここで、ラマンの蛍光強度比を以下の式で定義し、EVA 封止材の劣化指標とした。

ラマン蛍光散乱強度比(%)＝I2200 / I2900×100

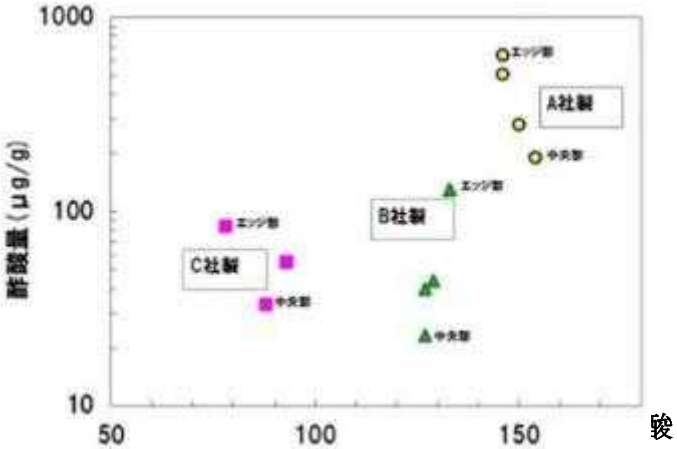
(メチレン基の伸縮振動に帰属される 2900cm^{-1} に対する 2200cm^{-1} でのラマン蛍光散乱強度)

経年劣化太陽電池パネル内の各ポイントでの酢酸を定量した結果を図Ⅲ-2-(へ)-G-1(71)に示す。酢酸量は、23 から 640μg / g の範囲で検出されたが、稼働年数との対応はなかった。各モジュールの中心部から採取した EVA の酢酸量は相対的にエッジ部に較べ少なく、また、ジャンクションボックスを上としたときの下部のエッジ部は、酢酸量が多い傾向があることが分かった。EVA 封止材は水分により加水分解し、酸を発生し易い材料である。その酢酸量が多い場所が太陽電池パネルの発電劣化の起点と考えられる。

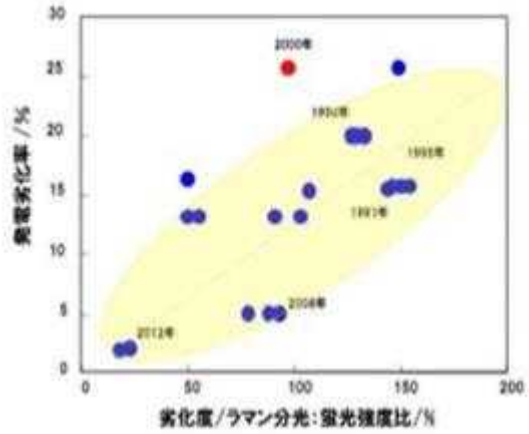


図Ⅲ-2-(へ)-G-1(71) 経年劣化モジュールの破壊試験による

定義したラマン蛍光散乱強度比と酢酸量の関係を図Ⅲ-2-(へ)-G-1(72)に示す。ラマン蛍光散乱強度は、破壊分析する箇所と同じ場所で事前に測定した。その結果、酢酸量はラマン蛍光散乱強度比と良好な相関が得られた。



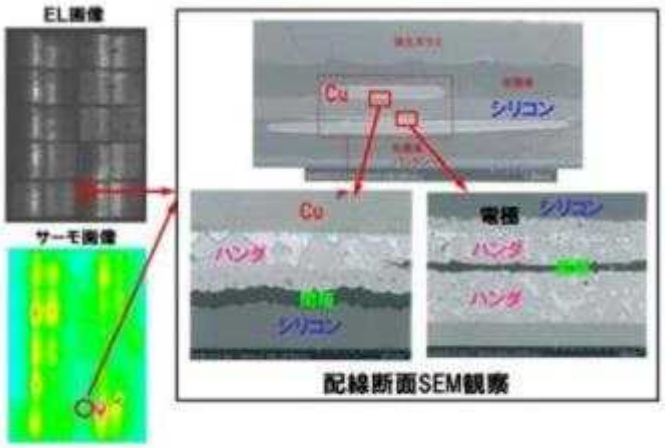
経年劣化モジュールの発電劣化率とラマン蛍光強度比との関係を図Ⅲ-2-(へ)-G-1(73)に示す。太陽電池パネル 19 枚をソーラーシュミレータで発電性能を求め、太陽電池パネル裏の性能表示ラベル記載の発電量から発電劣化率を算出した。その結果、発電劣化率はラマン蛍光散乱強度比と相関していることが分かった。



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(73) 市販太陽光パネルの発電劣化率とラマン蛍光散乱強度比の関係

稼働年数に対し、発電劣化率が大きかった 2000 年製造の太陽電池パネル(赤丸)の EL 画像とサーモ画像および破壊分析を行った。サーモ画像でホットスポット部を観測した。その真横の部分は、EL 画像が暗発光で、サーモ画像では、発熱がなかった。その部分の破壊分析を行った。

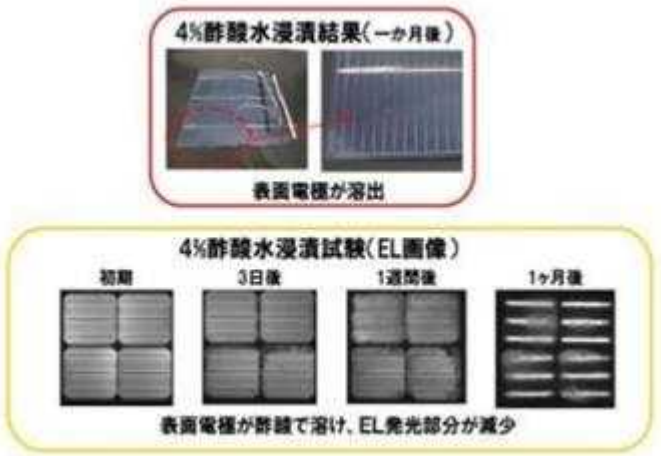
SEM 観察を行った結果を図Ⅲ-2-(へ)-G-1(74)に示す。インターコネクターが太陽電池セルから剥がれ、また、太陽電池セルの裏面部は、インターコネクターが割れ、隙間が存在すること分かった。ホットスポットは、片側のインターコネクターに電流が集中したことによるものと考えられる。



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(74) 発電劣化太陽電池パネルのEL 画像、サーモ画像と破壊分析(SEM)

太陽電池セルのインターコネクターや表面電極が酸に侵されると、大幅な発電劣化に繋がることが分かった。4%酢酸水溶液に多結晶太陽電池セルを 1 ヶ月間浸漬した結果を図Ⅲ-2-(へ)-G-1(75)に示す。

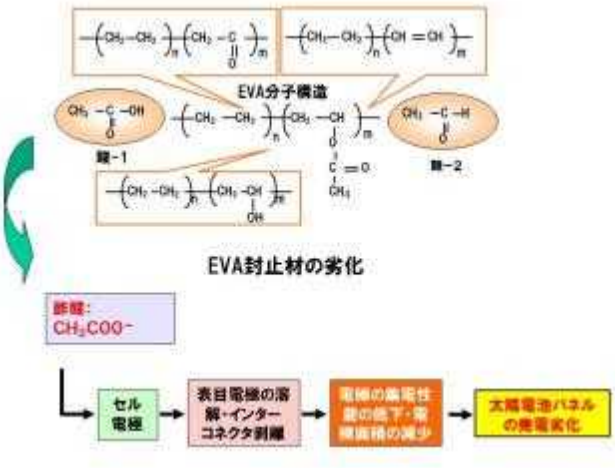
酢酸により、表面電極は溶出し、インターコネクターは容易に太陽電池セルから剥がれ易くなった。EL 画像で、酢酸水溶液浸漬時間の経過を検討した結果、1 ヶ月後にはインターコネクター部のみ発光しており、表面電極が溶出したため、表面電極部分が発光しなかったと考えらえる。



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(75) 太陽電池セルの表面電極とインターコネクターに与える影響

発電劣化メカニズムについて図Ⅲ-2-(へ)-G-1(76)に示す。

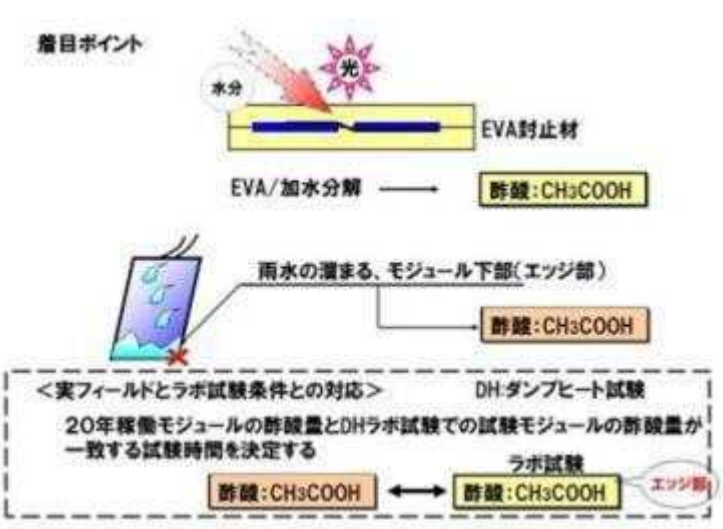
EVA 封止材が劣化すると、ケトン、ビニル、アルコールの 3 つの構造のいずれかに変化し、酸が発生する。この酸が、太陽電池セルの表面電極やインターコネクターの剥がれを引き起こし、集電性能の低下と電極面積の減少となる。



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(76) 太陽電池パネルの発電劣化メカニズム

実フィールドに対応する、ラボ加速条件の検討に当たり、その考え方を図Ⅲ-2-(へ)-G-1(77)に示す。発電劣化を引き起こす原因物質は、酢酸であることが分かった。また、劣化が進捗す

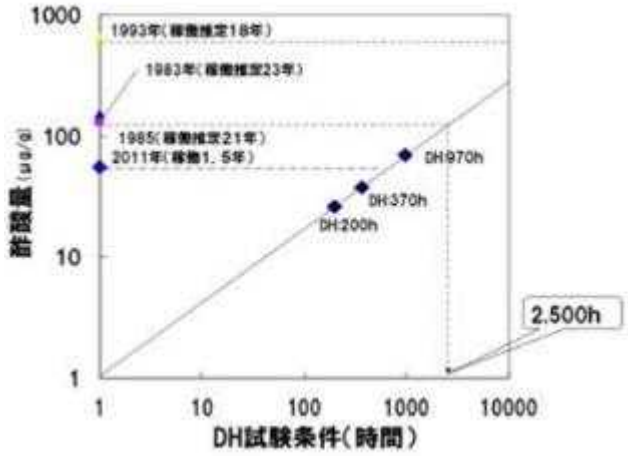
る起点は、パネル下部のエッジ部であることも分かった。実フィールドとの対応を検討するため、20 年稼働の太陽電池パネルの下部エッジ部の酢酸量が、DH(ダンプヒート試験)試験のどれだけの試験時間に相当するかを求めることで、予見精度の高い条件とする方針とした。



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(77) 予見精度の高いラボ加速試験条件の設定の考え方

20cm 角の小型 1 枚セルの太陽電池を作成し、DH 試験時間を 200、370、960 時間処理し、そのエッジ部の酢酸量を求めて、DH 試験時間とエッジ部の酢酸量の関係を図Ⅲ-2-(へ)-G-1(78)に示す。

21 年稼働の太陽電池パネルのエッジ部の酢酸量は 120μg/μg であり、対応するラボ試験時間は 2500h となった。よって、予見精度の高い、20 年間に対応する、DH ラボ試験条件は、85℃、85%RH、2500h とした。



図Ⅲ-2-(へ)-G-1(78) DH ラボ試験条件と経年劣化実モジュールの相関

表.Ⅲ-2-(へ)-G-1(34)

テーマ	最終目標	研究開発成果	達成度 *1	目標達成のために解決すべき課題
次世代長寿命太陽電池モジュールのモジュール構成部材に関する研究開発	温水浸漬試験(90℃、168h)処理後、オレフィン系ゴムとCOC 樹脂シートとの接着強度の接着強度保持率が 80%以上	温水浸漬 90℃、168h 処理後、母材破壊	◎	
	COC 樹脂のサンシャインウェザオメーター(Xenon)500 時間照射後、ΔYI4 以下、85℃85%200 時間後の haze 増加 2%以下	厚さ 2mm 平板でΔYI が 3 以下、haze 増加 0.1%以下を達成	◎	
モジュール構成部材加工技術に関する研究開発	適切な溶融粘度と厚みを保持が可能なレオロジー特性を発現する加工条件を見出し、シート化する。 適切な溶融粘度と厚みを保持が可能なレオロジー特性を発現する加工条件を見出し、シート化する。	PET 離形フィルムを選定し、幅 1000mm にてカレンダー連続成形を実施、150μm、250μm、450μm で±5%でシート化完了	◎	
	COC 樹脂シート 1m^2 当たり 300μm 以上の異物や欠陥が 25 個以下 厚さ 0.8mm ～ 1.5mm、幅 1000mm 長さ 1650mm のシートで浮きが 2 ㎜以下、クラック発生なし	ベース樹脂組成を選定し、欠陥数 20 個、浮き 2mm にてシート化達成 厚さ 75μm フィルムにて太陽電池モジュールを試作し、85℃85%RH -1000V、2500 時間で PID 耐久性を達成	◎	

		厚さ 75μm フィルムにて太陽電池モジュールを試作し、85℃85％RH-1000V、2500 時間で PID 耐久性を達成		
次世代長寿命太陽モジュールのモジュール設計に関する研究開発	収縮率試験(130℃、24h)で、溶融せず、形状変化がない耐PID(85℃85％RH、-1000V、1000h、劣化 5%未満)の達成	スーパーストレート構造の耐 PID・48 セルモジュールに対し、認証機関 TUV にて 85℃、85%RH、-1000V、1000h で発電劣化なしを確認。	○	モジュールコスト低減
	耐候性、帯電性、耐熱性を考慮したジャンクションボックスの材料選定を行い、形状を決定する。この形状にて成形し、電子部品、ケーブル、コネクタを組み付けてジャンクションボックスユニットを作成する	筐体材料は GF 強化 PBT を選定し、モジュールラミネートと同時に組み付けを実施 EN50548 にて高温試験、シーケンス試験後に絶縁抵抗 5000MΩを達成	◎	
	予見精度の高いラボ試験条件の検討 20 年以上の実環境に対する試験条件を検討する	ラボ試験条件は、DH(ダンプヒート)試験で、85℃・85%RH の条件で、2500 時間経過後であることが分かった	○	規格として標準化提案

2.実用化・事業化見通し

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

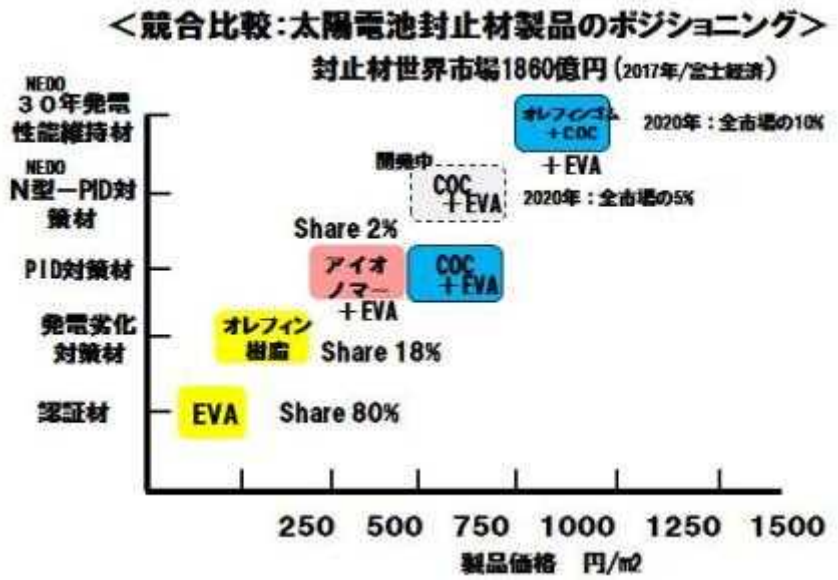
開発したオレフィンゴム封止材適用のモジュール製品は、少なくとも20年間は発電低下しない。

⇩

20年間のFIT終了後も発電し続ける太陽電池プラントを提供可能であり、
高信頼性要求の市場を獲得する

◆使用環境の厳しい「海上」や「酪農」でのニッチ市場を獲得する

◆用途に応じた、特殊モジュールを生産可能である



図Ⅲ-2-(へ)-G-2(1)

＜COC 樹脂フィルム＞

強み：PID 耐久性は、他材料を大幅に上回る。特許権利化。
共同開発先ポリプラスチクス(原料)と、フィルム化メーカ、材料商社による販売スキームを構築。

弱み：＋4 円/W のコストアップに見合う差別化技術(PID 対策技術)としての市場での認識は難い。ボリュームゾーンでは、本材料は過剰品質との認識がある。

機会：国内 A 社は、同社モジュールの PID 対策技術として、COC 樹脂フィルムを来春より本格採用し、販売することが決定している。

技術戦略：次世代高効率セル(n 型)での PID 対策材料の位置づけを確立し、
アイオノマーと差別化する。

販売戦略：NEDO 実証プロジェクト：ハイブリッド温水パネル用の部材として、本パネル販売とともに部材販売を加速する。

＜透明オレフィンゴムフィルム＞

強み：フィールド 30 年相当である PID 試験/DH3500h で発電劣化なしを達成した。ゴム素材の「柔らかさ」を活かして、結晶シリコンの製造時、使用時の「セル割れ防止」機能を有し、NEDO 温水ハイブリッドパネル；樹脂管/セルの一体成型を可能にする。また、高速成型：真空(予熱)時間とプレス時間の短縮が可能であり、トータルコスト低減が可能である。

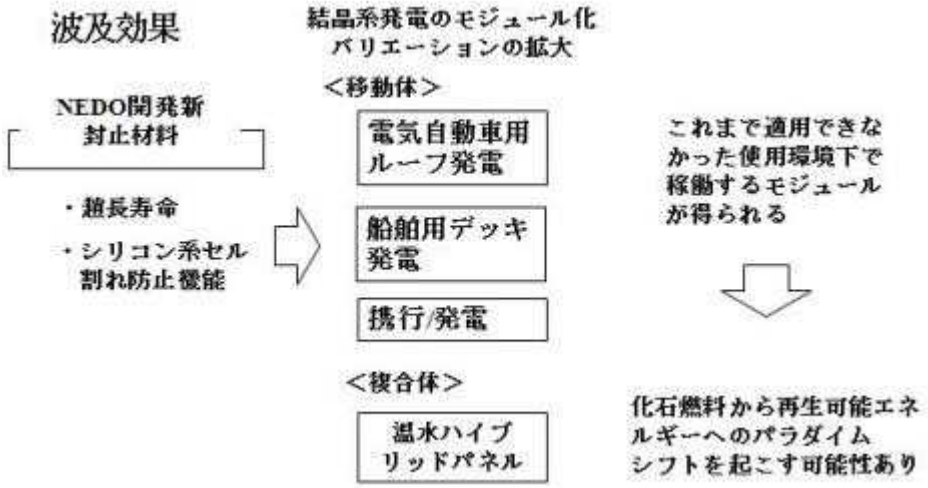
弱み：顧客にとって、本ゴム素材をハンドリングした経験がなく、顧客製品化には、技術支援が必要。

機会：高速成型技術と合わせ、国内メーカ A 社を通じて同社協力会社(中国)へ本材料部材を紹介できる機会を得ている。また、台湾モジュールメーカ B 社も本材料部材の導入の希望を示している。

技術戦略：高速成型技術と合わせ(▲10 円/W)、本部材採用に当たり、顧客製造原価としてコストアップのない、太陽電池パネル製品の立ち上げを目指す。

販売戦略：国内モジュールメーカ A 社を通じて、同社の協力会社(中国)での立ち上げと台湾モジュールメーカでの立ち上げを確実に実施し、世界市場に向けて販売する。

3.波及効果



図Ⅲ-2-(へ)-G-3(1)

4.今後の展開

図Ⅲ-2-(へ)-G-4(1)

5. 特許論文リスト

表.Ⅲ-2-(へ)-G-5(1)

	H22	H23	H24	H25	H26	終了後	計
特許出願(うち外国出願)	0	0	0	0	3	7(3)	10 件
論文(査読付き)	0	0	0	0	0	0	0 件
研究発表・講演(うち国際会議)	0	0	0	3	2	0	5 件
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0	0	0	0	0 件
受賞実績	0	0	0	1	1	0	2 件
展示会への出展	0	0	0	0	1	1	2 件

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外国PCT	出願日	状態	名　　称	発明者
1	日清紡メカトロニク(株)/ポリプラスチックス㈱	特願 2014－32616	国内	2014/2/24	公開	太陽電池 PID 対策フィルム及びそれを用いた PID 対策太陽電池モジュール	仲濱秀斉他
2	日清紡メカトロニク(株)/ポリプラスチックス㈱	特願 2014－34405	国内	2014/2/25	出願	PID 対策・発電劣化対策太陽電池封止用シートおよび PID 対策・発電劣化対策太陽電池モジュール	仲濱秀斉他
3	日清紡メカトロニク(株)/ポ	特願 2014－34580	国内	2014/2/25	出願	太陽電池用セル割れ防止シート及びそれを用い	仲濱秀

	リプラスチックス㈱					た太陽電池モジュール	斉他
4	日清紡メカトロニク(株)/ポリプラスチックス㈱	特願 2015-27677 (特願 2014-34580 の優先権出願)	国内	2015/2/16	出願	太陽電池用セル割れ防止シート及びそれを用いた太陽電池モジュール	仲濱秀斉他
5	日清紡メカトロニク(株)/ポリプラスチックス㈱	特願 2015-28550(特願 2014-32616 の優先権出願)	国内	2015/2/17	出願	太陽電池 PID 対策フィルム及びそれを用いた PID 対策太陽電池モジュール	仲濱秀斉他
6	日清紡メカトロニク(株)/ポリプラスチックス㈱	特願 2015-28551(特願 2014-34405 の優先権出願)	国内	2015/2/17	出願	PID 対策・発電劣化対策太陽電池封止用シートおよび PID 対策・発電劣化対策太陽電池モジュール	仲濱秀斉他
7	日清紡メカトロニク(株)/ポリプラスチックス㈱	特願 2015-125540	国内	2015/6/23	出願	n 型シリコン半導体を使用した太陽電池モジュールの PID 対策太陽電池モジュール	仲濱秀斉他
8	日清紡メカトロニク(株)/ポリプラスチックス㈱	PCT/JP2015/54390	国際	2015/2/18	出願	太陽電池用セル割れ防止シート及びそれを用いた太陽電池モジュール	仲濱秀斉他
9	日清紡メカトロニク(株)/ポリプラスチックス	PCT/JP2015/54921	国際	2015/2/23	出願	太陽電池 PID 対策フィルム及びそれを用いた PID 対策太陽電池モジュール	仲濱秀斉他

	㈱						
10	日清紡メカトロニク(株)/ポリプラスチックス㈱	PCT/JP2015/54926	国際	2015/2/23	出願	PID 対策・発電劣化対策太陽電池封止用シートおよび PID 対策・発電劣化対策太陽電池モジュール	仲濱秀斉他

(※Patent Cooperation Treaty: 特許協力条約)

【論文】

なし

【外部発表】※リスト例

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	仲濱秀斉	日清紡ホールディングス㈱	「耐 PID 試験の実際とモジュール品質解析技術」	技術情報協会講演会	2013/4 月
2	仲濱秀斉	日清紡ホールディングス㈱	「耐 PID 試験の実際とモジュール品質解析技術」	分子ナノテクノロジー第 174 委員会	2013/6 月
3	仲濱秀斉	日清紡ホールディングス㈱	展示会内講演会「太陽電池モジュールの発電劣化の新しい　解析方法とその予測技術」	韓国 PV2013 講演会	2013/9 月
4	仲濱秀斉	日清紡ホールディングス㈱	「耐 PID 試験の実際とモジュールの長寿命に貢献するケーシング技術」	技術情報協会講演会	2013/11 月
5	仲濱秀斉	日清紡ホールディングス㈱	展示会、技術セミナー「PID 発生メカニズムとその解析技	PVEXPO 2014(東京)	2014/2 月

			術」		
6	仲濱秀斉	日清紡ホールディングス㈱	New Analysis Methods for PV panel Performance Degradation	韓国世界エネルギー国際会議技術講演会	2014/4

(b)新聞・雑誌等への掲載

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	日清紡ホールディングス㈱	破壊分析によって PID の謎を追う	PV eye	2013/3 月号
2	日清紡ホールディングス㈱	解き明かされた PID 発生メカニズム	PV eye	2014/3 月号

(c)その他

なし

H. ドレスト光子利用太陽電池技術の研究開発

1. 成果詳細

1-1 ドレスト光子フロントフィルムの研究開発

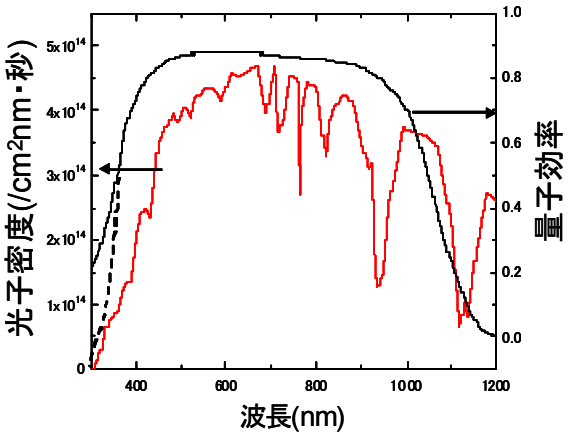
1-1-A　ドレスト光子フロントフィルム技術開発

1-1-A-1　ドレスト光子フロントフィルム波長変換の原理

単結晶 Si 太陽電池の分光感度は太陽光の強度スペクトルが強いほぼ全領域に広がっている。また、単結晶 Si は電子デバイスの主材料となっており、大面積化、モジュール化の技術が成熟しており、大量生産が可能である。加えて安価であるなどの利点から、太陽光発電における主役として利用されているが、素子そのものの特性向上は頭打ちになってきており、量産レベルの単結晶シリコン太陽電池の電力変換効率は 15-20%にとどまっている。

一方、単結晶 Si 太陽電池の分光感度は 400nm より短波長領域で発電効率が急速に低下している。これは Si の 400nm 以下の波長に対する吸収係数が非常に大きくなるため、発電に寄与可能な電荷分離層に太陽光が到達する前に Si に吸収され、減衰するためである。したがって、波長 400nm 以下の紫外光を可視光に変換してやれば、太陽電池の効率が向上する。

そこで、太陽光に含まれる紫外光の可視光変換によってどの程度の効率向上が可能であるかを計算した。Si 太陽電池を含む半導体光電変換素子では 1 光子から 1 電子が生成され、起電流となる。我々が用いる波長変換の手法も 1 光子から異なる波長（周波数）を持つ 1 光子を発生する。図Ⅲ-2-(へ)-H-1(1)は、太陽光スペクトル強度を光子密度に変換し、Si 太陽電池の分光感度を量子効率に変換したものである。この図に用いた単結晶 Si 太陽電池の発電効率は 18%である。



図Ⅲ-2-(へ)-H-1(1) 太陽光光子密度スペクトルと Si 太陽電池の量子効率スペクトル

例えば、波長 300nm～450nm を 560nm に損失なく変換した場合、向上する効率 $\Delta\eta$ は次の式で与えられる。

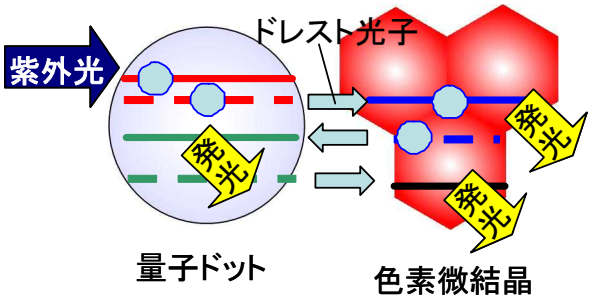
$$\Delta\eta = \frac{\eta(560nm)\times\int_{300nm}^{450nm} P_{sun}(\lambda)d\lambda - \int_{300nm}^{450nm}\eta(\lambda)\cdot P_{sun}(\lambda)d\lambda}{\int_{200nm}^{1300nm} P_{sun}(\lambda)d\lambda} = 1.8\%$$

ここで$\eta(\lambda)$は波長λにおける太陽電池の量子効率であり、また$P_{sun}(\lambda)$は波長λにおける太陽光の光子密度である。また、通常の156mm□寸法の単結晶Si太陽電池は紫外領域に吸収を持つ白板ガラスで保護されており、図中の波長400nm以下の領域に示した破線は白板ガラス(厚さ1mm)を設置した場合の量子効率である。すなわち、白板ガラスを保護層に持つ単結晶Si太陽電池に対し、波長300nm～450nmを560nmに波長変換する波長変換のためのフロントフィルムを設置した場合

$$\Delta\eta = \frac{\eta(560nm)\times\int_{300nm}^{450nm} P_{sun}(\lambda)d\lambda - \int_{300nm}^{450nm} T_{白ガラス}(\lambda)\cdot\eta(\lambda)\cdot P_{sun}(\lambda)d\lambda}{\int_{200nm}^{1300nm} P_{sun}(\lambda)d\lambda} = 3.0\%$$

の式で示される効率向上が望める。ここで$T_{白板ガラス}(\lambda)$は白板ガラスの波長λにおける透過率である。以上の議論から、本開発課題の最終目標値である効率プラス1%以上のドレスト光子フロントフィルムの作製が原理的に可能である事が分かる。

次に紫外光から可視光に波長変換する機能を有するドレスト光子フロントフィルムの動作原理を説明する。ドレスト光子フロントフィルムの主材料はSi樹脂(以下シリコーンという)等の透明な材料である。Si樹脂には波長変換機能は無いので、ここに紫外光を吸収するための量子ドット、波長変換後の発光を主機能とする色素分子を分散させる。量子ドット及び色素分子の密度は$1\times10^{17\sim18}$個/cm^3に調整する。例えば、量子ドットを1×10^{17}個/cm^3に色素分子を3.2×10^{17}個/cm^3の密度に無秩序に分散させた場合、それらの最隣接間距離はワイブル分布に従い、距離10nm以下の量子ドットと色素分子対の密度は全体の13 %となり、5×10^{16}個/cm^2の密度で図Ⅲ-2-(へ)-H-1(2)に示すようなドレスト光子で強く結合した量子ドットと色素分子の対が存在することになり、量子ドットと色素分子の対の間では通常の発光・再吸収過程以外の過程でエネルギーの交換がなされる。このドレスト光子を介したエネルギー移動の結果、入射紫外光は結晶Si太陽電池に適した可視光に変換され、電力変換効率向上に寄与する。



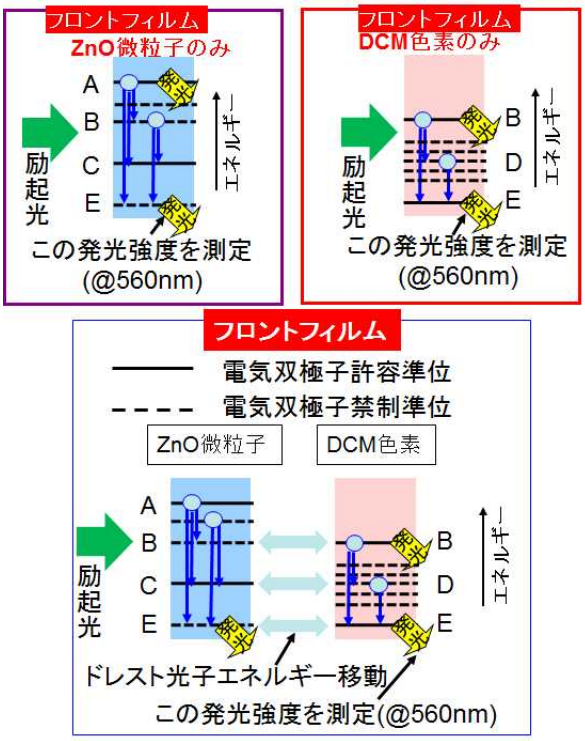
図Ⅲ-2-(へ)-H-1(2)ドレスト光子を
利用した波長変換の原理

1-1-A-2　ドレスト光子フロントフィルム波長変換の原理検証

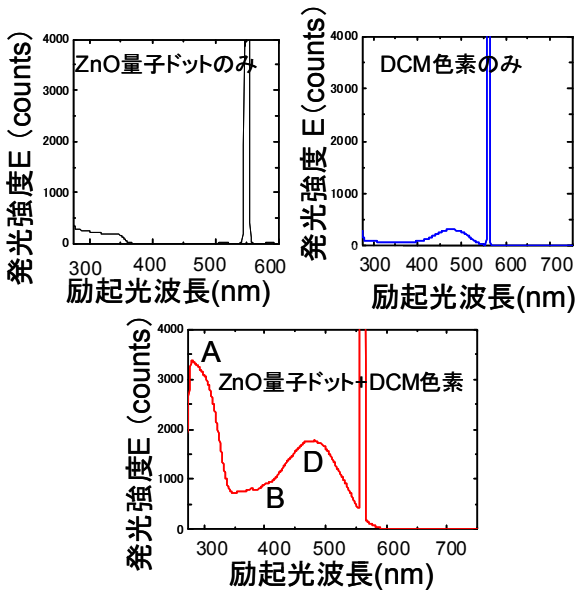
図Ⅲ-2-(へ)-H-1(3)で、ZnO 量子ドットのみの場合、DCM 色素のみの場合、ZnO 量子ドットと色素の対の場合の３つの場合の吸収と発光の過程をエネルギー準位を用いて説明する。ZnO 量子ドットのみの場合、量子ドットが光を吸収し、内部緩和の後、不純物準位等から Si 太陽電池に適した 560nm で発光する。この場合、そのまま、エネルギー準位 A から発光する成分が多く、変換効率が高くない。DCM 色素のみの場合は、紫外光に対し、560nm 帯への変換効率が高くない。これは紫外光を吸収した場合、3 重項状態など電気双極子禁制準位に緩和して消光してしまうためである。

一方、ZnO 量子ドットと DCM 色素の対の場合は事情が異なる。例えば ZnO 量子ドットのエネルギー準位 A からの発光はほとんど起こらなくなる。これは ZnO 量子ドット中の寿命の長い中間準位や不純物準位（エネルギー準位 B～E）で発光するよりも速く、DCM 色素にエネルギーを移動させるためである。また、DCM 色素はほとんど紫外光を吸収せず、はるかに吸収断面積が大きい ZnO 量子ドットが紫外光を吸収する。この結果、３重項状態など電気双極子禁制準位に緩和して消光する緩和過程がほとんど起きず、高効率に発光する。加えて、3 重項状態への緩和は色素分子の分解の要因となるが、たとえ DCM 色素の 3 重項状態への緩和が起こってもその励起エネルギーは ZnO 量子ドットにエネルギー移動され、再び DCM 色素に戻ることで発光に寄与する。

以上に説明した過程が作製したフロントフィルム内で起こっているかどうかを検証するために、最初に励起スペクトル分光を行った。その結果を図Ⅲ-2-(へ)-H-1(4)に示す。計測発光波長はすべて 560nm である。計測波長が同じ場合、励起スペクトルの計測結果はほぼ吸収スペクトルに順ずる。Lambert-Beer の法則に従うと、ZnO 量子ドットと DCM 色素の間に相互作用が無い場合、ZnO 量子ドットと DCM 色素が混在するフロントフィルムの吸収スペクトルは ZnO 量子ドットのみの吸収スペクトルと DCM 色素のみの吸収スペクトルの和と等しくなる。ところが、図Ⅲ-2-(へ)-H-1(4)に示すように、ZnO 量子ドットのみを含むフロントフィルムの計測結果と DCM 色素のみを含むフロントフィルムの計測結果の和と比較して、ZnO 量子ドットと DCM 色素が混在するフロントフィルムの計測結果ははるかに大きい。この結果から ZnO 量子ドットと DCM 色素の間に強いドレスト光子を介した相互作用が存在すると推測された。加えてそれぞれのスペクトル面積比から単独の場合と比較して 10 倍程度紫外光から波長 560nm への変換効率が向上したと見積もられた。これらのことから、ドレスト光子フロントフィルム波長変換の原理を検証することができた。



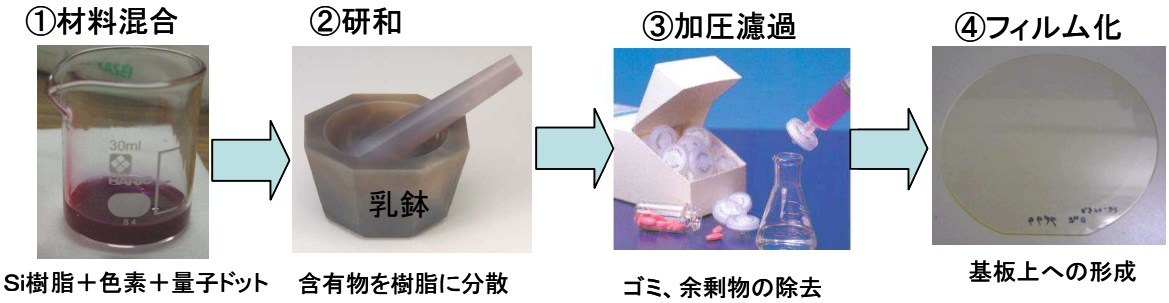
図Ⅲ-2-(へ)-H-1(3)吸収と発光過程の違い、ZnO 量子ドットのみ、DCM 色素のみ、ZnO 量子ドットと色素の対の場合



図Ⅲ-2-(へ)-H-1(4)励起スペクトルの違い、ZnO 量子ドットのみ、DCM 色素のみ、ZnO 量子ドットと色素の対の場合

1-1-A-3　ドレスト光子フロントフィルム作製プロセス

図Ⅲ-2-(へ)-H-1(5)にフロントフィルムの作製プロセスの概略を示す。①材料混合：母材である Si 樹脂と ZnO 量子ドットおよび色素を混合する。②研和：通常プロセス①で混合した材料は凝集したり、分離したりしているのでこれを研和又は加熱攪拌等を行う事で均質にさせる。③加圧濾過：プロセス②の後、混合材料中のゴミや余剰な固形物を濾過によって取り除く。④フィルム化：フィルム化はプロセス③の後の材料粘度に依存するが、スピンコート、キャスト等の方法で分光計測用には石英基板に、太陽電池用には白板ガラスに塗布し、過熱により固化させて行った。



図Ⅲ-2-(へ)-H-1(5)　ドレスト光子フロントフィルムの作製プロセス

以下、それぞれのプロセスのブレークスルーポイントを述べる。

(A)ZnO 量子ドット作製

ZnO 量子ドットが分解により形成される Zn 錯塩溶液を直接シリコーンに混合して ZnO 量子ドットを作製する方法を開発した。開発した方法では、ZnO の高い収率が得られるだけでなく、量子ドットの寸法制御が容易になった。またこれまで量子ドット作製に必要だった時間が 2-3 日から 1-2 時間に短縮されフロントフィルムの大量生産における重要なブレークスルーとなった。

(B)色素選定

東京大学にはこれまで 20 種類程度の色素とシリコーンとの親和性のデータがあり、それらの中からシリコーンと親和性が高いと予想され、かつ最近の高効率太陽電池に適した新しい色素材料を導入した。その結果、紫外光を波長 450nm 程度の青色へ変換する波長変換フィルムを作製し、公称効率 18.1%の結晶シリコン太陽電池の効率を 2.1%向上することに成功した。

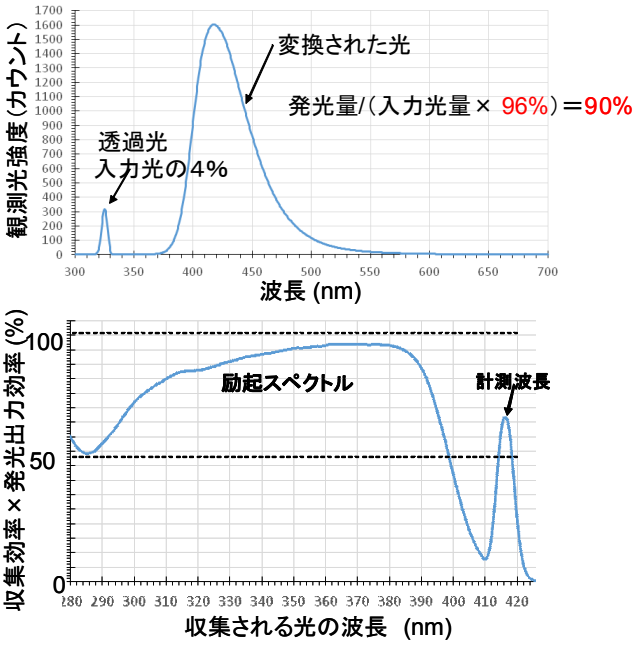
1-1-A-4　ドレスト光子フロントフィルム波長変換効率

図Ⅲ-2-(へ)-H-1(6)に作製したフロントフィルムの変換効率の計測結果を示す。これは単結晶 Si 太陽電池以外への利用や、緯度や天候によって異なる太陽光スペクトルに対しどのような場合に特に性能を発揮できるかを知るために必要な計測である。上図は波長 325nm に対する波長変換効率を与える計測結果であり、フロントフィルムには最も高い性能が得られたものを使用している。その結果変換効率は 90%に達し、この値は 1-1-A-3 で議論した原理的に得られると見積もった値に非常に近い。また、可視光変換効率の波長依存性を調べた。波長 300nm～390nm の範囲で変換効率 70%～95%が得られており、紫外光のほとんどを可視光に変換できる事を示している。

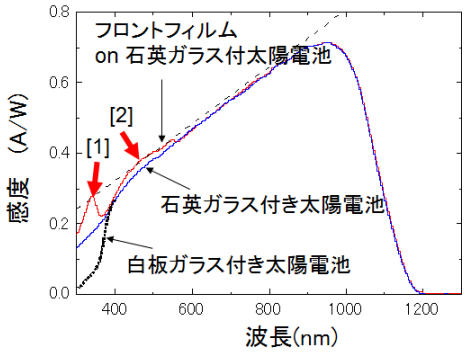
次に、太陽電池のための波長変換フィルムとしての機能を確認するためにフロントフィルム付の太陽電池とフロントフィルムの無い太陽電池に対し分光感度計測を行った。結果を図Ⅲ-2-(へ)-H-1(7)に示す。図中の[1]で示した部分は ZnO 量子ドットに吸収され、波長 560nm に変換されることで高効率化した結果生じたピークである。また、[2]で示された領域は ZnO 量子ドットと色素分子がドレスト光子を介して結合した結果生じた高い変換効率を示す帯域である。フロントフィルムなし、白板ガラスの保護窓付の太陽電池の分光感度と比較すると紫外領域で感度が大幅に向上している。

作製したフロントフィルム基材を大面積塗布し、156mm×156mm 単結晶 Si 太陽電池表面に設置し、その効率計測を行った。156mm×156mm 単結晶 Si 太陽電池は樹脂パッケージ化してある。波長変換に用いたフロントフィルム中の色素は 2 種類、3 つの異なる濃度の物を用意した。その結果、最大で $\Delta\eta$ ＝+2.1%の結果を得た（図Ⅲ-2-(へ)-H-1(8)参照)。各色素での最適濃度を得ることが出来た。

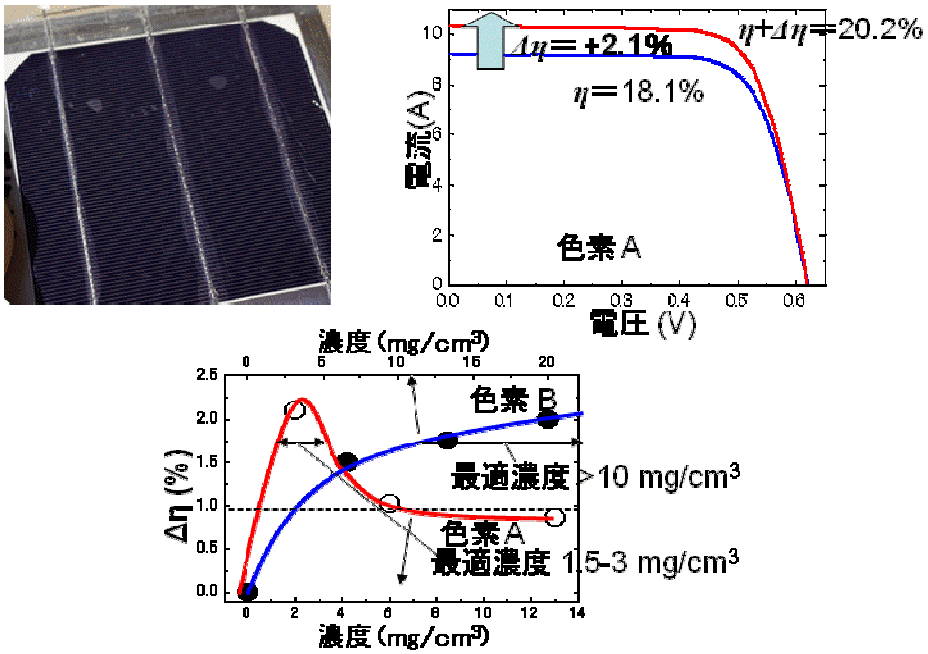
以上本研究開発項目の最終目標を達成した。



図Ⅲ-2-(へ)-H-1(6) フロントフィルム単体の分光感度特性評価結果



図Ⅲ-2-(へ)-H-1(7)Si 太陽電池に実装した分光感度特性評価結果



図Ⅲ-2-(へ)-H-1(8)大面積ドレスト光子フロントフィルム

1-1-B　結晶シリコン太陽電池メーカー等での成果の適用検討の促進活動

1-1-B-1　太陽電池メーカー・関連機関への試作サンプルディスク及びユーザーニーズや実用化における課題抽出

担当テーマを遂行するのに先立ち、東京大学で研究開発を進めているドレスト光子フロントフィルムに関する「波長変換材料{酸化亜鉛量子ドット（以下、ZnO-量子ドットという）及びDCM色素}」、「フィルム母材の設計」、並びに、「評価技術」について東京大学から当機構への技術移転を進めた。

引き続き、複数のフロントフィルム関連企業に対し、東京大学から技術移転した製造方法に基づいて作製した石英基板上に成膜したドレスト光子フロントフィルムのサンプルを提供し、光学特性の評価を依頼すると共に、ユーザーニーズ及び実用化における課題についてヒアリングを行った。主なコメントは以下のとおりである。

・フロントフィルムの光学特性を自社所有の評価装置によって評価することで、ドレスト光子の原理に基づく波長変換機能を有していることを確認できた。
・フィルム母材としてのシリコーンは高価であるため、実用化に向けて、安価な樹脂で同等の性能を引き出す手法についても検討してほしい。
・耐候性や寿命に関するデータを積み上げていただきたい。

1-1-B-2 ドレスト光子フロントフィルムの波長変換に及ぼす特性変動要因の調査

図Ⅲ-2-(へ)-H-1(9)に、上記各企業からの要請を受けて抽出したフロントフィルムの大面積化・量産化を考慮した場合のフロントフィルムの波長変換特性に及ぼす製造工程毎の特性変動要因を示す。

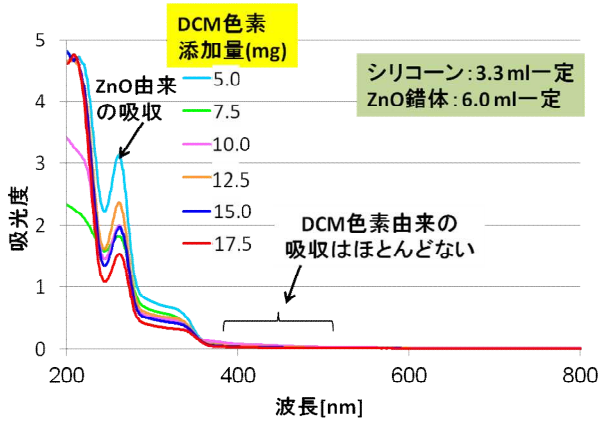
工程	混錬 →	溶媒除去 →	加圧ろ過 →	脱泡 →	フィルム化 →	評価
特性変動要因	・原材料の種類 ・投入量 ・粘度 ・混錬温度 ・混錬時間 ・脱気圧力 ・均一分散性 ・再現性	・投入量 ・真空度 ・温度 ・時間 ・再現性	・投入量 ・フィルタ孔径 ・加圧圧力 ・温度 ・再現性	・投入量 ・真空度 ・脱泡温度 ・脱泡時間 ・再現性	・投入量 ・粘度 ・膜厚均一性 ・再現性	・発光スペクトル ・吸収スペクトル ・励起スペクトル ・膜厚 ・I-V特性 ・P-V特性

図Ⅲ-2-(へ)-H-1(9)　フロントフィルムの波長変換特性に及ぼす製造工程毎の特性変動要因

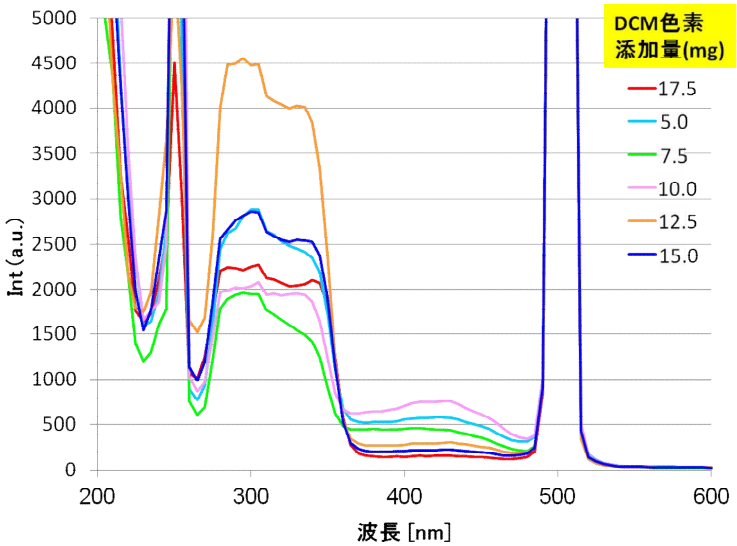
抽出した特性変動要因に関する調査の一例として、図Ⅲ-2-(へ)-H-1(9)の混練工程における材料の投入量に関する検討結果について以下に示す。試料として、シリコーン量を3.3 ml一定、混練工程においてZnO-量子ドットを形成するためのZnO錯体量を6.0 ml一定とし、DCM色素量を5.0 mg、7.5 mg、10.0 mg、12.5 mg、15.0 mg及び17.5 mgと変化させた組成の異なる6種類のフロントフィルム溶液を作製し、10 mm角石英ガラス基板の上に成膜したものを用いた。各試料について東京大学所有の分光蛍光光度計（日本分光 FP-8200T）にて評価を行った後、高い関心を示したフロントフィルム関連企業に同じ試料を渡し、同社所有の分光光度計（島津製作所 UV-

3100PC）及び分光蛍光光度計（日立製作所 F-4500）による吸収スペクトル及び励起スペクトルの評価を依頼した。

図Ⅲ-2-(へ)-H-1(10)及び図Ⅲ-2-(へ)-H-1(11)に、上記企業によって評価された吸収スペクトルにおける吸光度の波長依存性、及び、励起スペクトル（観測波長：500 nm）における発光強度の波長依存性をそれぞれ示す。図Ⅲ-2-(へ)-H-1(10)より、DCM色素の添加量を変化させることで、吸光度を制御できることが分かる。また、図Ⅲ-2-(へ)-H-1(11)より、波長 280 nm 近傍から 350 nm 近傍まで、及び、波長 370 nm 近傍から 480 nm 近傍までの 2 つの波長範囲において、励起された波長 500 nm の発光強度のピークがそれぞれ認められる。



図Ⅲ-2-(へ)-H-1(10)　吸収スペクトルにおける吸光度の波長依存性



図Ⅲ-2-(へ)-H-1(11)　励起スペクトルにおける発光強度の波長依存性（観測波長：500 nm）

以上のことから、フロントフィルムが紫外光を選択的に結晶シリコン太陽電池の感度波長領域である可視光へ波長変換する機能を有していること、及び、組成によって波長変換後の波長の発光強度を制御可能であることが明確になった。また、これらの

データは我々の評価結果と良い一致が認められ、評価装置が異なっても同様の結果が得られることを確認できた。

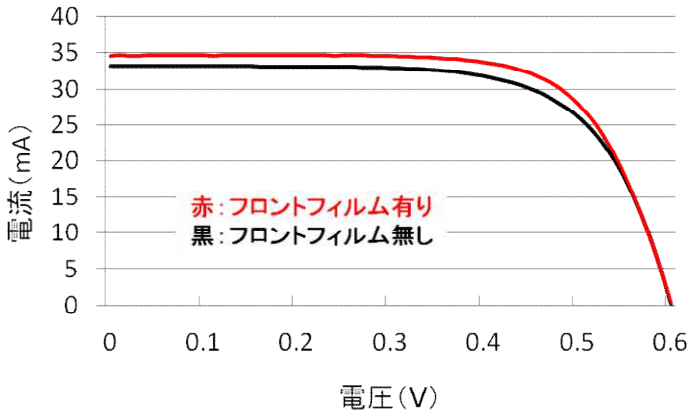
1-1-B-3　ドレスト光子フロントフィルムを実装した太陽電池の光電変換特性

1-1-B-2 で述べたように、本技術がドレスト光子技術を利用した新原理に基づく波長変換技術であること、及び、組成を調整することで波長変換特性を制御できることがフロントフィルム関連企業によって理解されたため、次のステップとして、太陽電池にフロントフィルムを実装した試料を作製し、フロントフィルムの存在によって変換特性がどのように変化するかについて評価を行った。

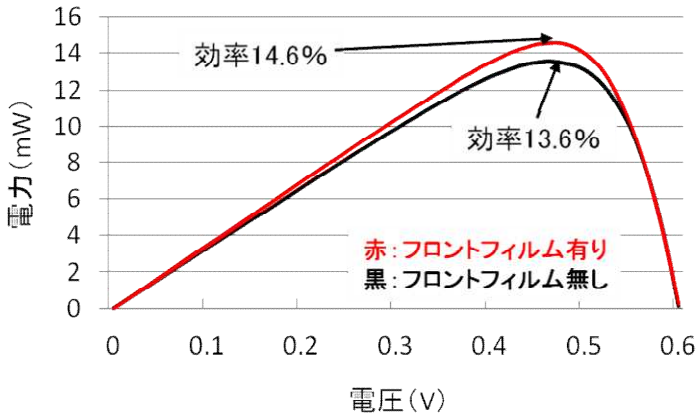
試料として、10 mm 角石英ガラス基板の上にフロントフィルムを成膜したものを実装した太陽電池、及び、フロントフィルム無しの 10 mm 角石英ガラス基板ブランクを実装した太陽電池をそれぞれ用意し、変換特性について比較検討を行った。使用した太陽電池は、Motech 社製 IM-125 とし、ソーラーシミュレーターは、フロントフィルム関連企業所有の太陽電池評価システム（テクノアルファ社製）を用い、測定条件は、25℃、AM1.5 とした。

図Ⅲ-2-(へ)-H-1(12)及びⅢ-2-(へ)-H-1(13)に、I-V 特性及び P-V 特性の評価結果をそれぞれ示す。図Ⅲ-2-(へ)-H-1(12)より、フロントフィルム無しの試料に比較して、フロントフィルム有りの試料の方が高い電流値を示すことが分かる。さらに、図Ⅲ-2-(へ)-H-1(13)より、フロントフィルム無しの試料の変換効率 13.6%に対し、フロントフィルム有りの試料では 14.6%が得られ、フロントフィルムを実装することで、変換効率がプラス 1.0%向上していることが分かる。

これらの結果により、上記各企業は、本プロジェクトの最終目標に掲げている「変換効率をプラス 0.5%以上向上させる 200 mm 角のフィルム試作」が達成されれば自社製品に採用することを表明するに至った。



図Ⅲ-2-(へ)-H-1(12)　I-V 特性



図Ⅲ-2-(へ)-H-1(13)　P-V 特性

1-1-B-4　太陽電池関連企業及びフロントフィルム関連企業のフロントフィルムに関する意見

上記各企業との情報交換を進めながら、フロントフィルムに関する意見を集約した結果、フロントフィルムによる変換効率向上分及び価格において、それぞれプラス 0.5%及び 400 円/m^2（80 円/W 相当）というレベルを実現できるならばすぐにでも導入したいとの意向が窺えた。

その理由として、同等の変換効率向上を実現させるための開発費は、太陽電池を改良することで達成する場合に比較し、フロントフィルムを利用する場合の方が低コストで済むことが予想されること、さらに、既存の太陽電池にフロントフィルムを実装するだけで太陽電池の実効的な変換効率を向上できるため、太陽電池としてのランクを上げることができるのみならず、生産歩留りを補足することをも可能にするということ等が挙げられた。

1-1-B-5　将来の価格動向

21 世紀に入って、エネルギー資源の枯渇や地球温暖化への懸念が顕在化するにつれて、太陽光発電を取り巻く環境は著しく変化した。このような動きに伴い、例えば、結晶シリコン太陽電池のモジュール販売価格は、2014 年 1 月現在において、60～80 円/W まで下落しており、この傾向はさらに続くものと予想されている。この 60～80 円/W という価格は、NEDO 太陽光発電ロードマップ（PV2030+）の 2015～2020 年におけるモジュール製造目標として掲げられている 75 円/W を前倒ししたものとなっていることから、太陽電池メーカーは、今後さらなるコストダウンが要求される方向にあると考えられる。

1-1-B-6　将来の価格動向

a)　フロントフィルムのコスト試算

面積 1 m^2 及び膜厚 10 μm のフロントフィルムを形成するために必要な体積は、

$$1[m]\times1[m]\times10[\mu m]=10[mL]$$

と算出される。

ここで、1 バッチ 500 L（フロントフィルム膜厚 10 μm の場合、面積 50,000 m^2 に相当）の規模で、フロントフィルムを生産すると仮定する。簡単のために歩留りは 100%とする。

表Ⅲ-2-(へ)-H-1(1)に、フロントフィルムを 1 バッチ 500 L 規模で生産する場合の 10 mL（フロントフィルム膜厚 10 μm の場合、面積 1 m^2 に相当）当たりの製造コスト試算の一例を示す。この表は、各材料メーカーによるシリコーン、ZnO 及び DCM 色素の材料費の将来予測、及び、材料費と同額レベルを見込んだ労務費、経費から構成される。この表から、1 バッチ 500 L 規模で生産する場合の 10 mL 当たりの製造コストは 300 円と見積もられた。

表Ⅲ-2-(へ)-H-1(1)　フロントフィルムを 1 バッチ 500 L 規模で生産する場合の 10 mL 当たりの製造コスト試算の一例

フロントフィルムの製造コスト試算			
材料費			小計
シリコーン	ZnO	DCM色素	
90円	5.5円	4.5円	100円
労務費			100円
経費			100円
合計			300円

b)　変換効率プラス 1.0%のフロントフィルムのワット単価（円/W）の見積り

変換効率 η ＝20%の太陽電池モジュールでは、1 m^2 当たりの発電量は 200 W となる。この太陽電池モジュールにフロントフィルムを実装することで、変換効率がプラス 1.0%向上したと仮定すると、1 m^2 当たりの発電量は 210 W となり、発電量は 10 W 増加することとなる。

a)におけるフロントフィルムの製造コスト試算結果から、膜厚 10 μm かつ 1 m^2 当たりのフロントフィルムの製造コストは 300 円と試算された。よって、変換効率プラス 1.0%のフロントフィルムのワット単価は 30 円/W と見積もられる。

表Ⅲ-2-(へ)-H-1(2)に、PV2030＋から引用した 2017 年、2025 年及び 2050 年における W 当たりの太陽電池モジュール製造コスト目標とフロントフィルム製造コストの比較を示す。この表から、フロントフィルムの製造コスト 30 円/W は、W 当たりの太陽電池のモジュール製造コスト目標よりも低コストであることがわかった。

これらの結果から、フロントフィルムによる変換効率の向上は、太陽電池のモジュール製造コストよりも低コストで実質的に太陽電池の変換効率を向上させることに繋がることから、太陽電池の市場において、フロントフィルムの新規市場が十分に見込めることを確認できた。

表Ⅲ-2-(へ)-H-1(2)　W 当たりの太陽電池モジュール製造コスト目標とフロントフィルム製造コストの比較

W当たりの太陽電池モジュール製造コスト目標（出典:PV2030+）		W当たりのフロントフィルムの製造コスト試算
2017年	75円/W	変換効率向上$\Delta\eta$＝＋1.0%の場合:30円/W
2025年	50円/W	
2050年	＜50円/W	

1-1-B-7　1 バッチ 100 mL 以上にスケールアップさせたフロントフィルム溶液作製条件の確立

本テーマの最終目標である「事業化に対応した結晶シリコン太陽電池等へのフィルム実装方法の課題解決手段の明確化」に取り組むために、太陽電池関連企業及びフロントフィルム関連企業との協議により、事業化に対応した結晶シリコン太陽電池へのフィルム実装方法について次に挙げる 2 つの課題を抽出した。

(1) 接着フィルム付きフロントフィルム用溶液の開発

(2) フロントフィルム塗布ガラス用溶液の開発

これらの課題に対応するフロントフィルム溶液の目標仕様として、結晶シリコン太陽電池の変換効率をプラス 1.0%以上向上させること、かつ 1 バッチの製造量を 100 mL 以上とすることを掲げ、検討を進めた。

結果、(1)については溶液の粘度を最適化することで PET フィルム上へのコーティングを可能とした。(2)についてはフィルム化工程におけるスピンコートの条件を最適化することでガラスへの塗布を可能とした。これらにより、最終目標を達成した。

1-1-B-8　フロントフィルムの事業化シナリオ

上記 1-1-B-4、1-1-B-5 及び 1-1-B-6 を踏まえて、次のようなフロントフィルムの事業化シナリオを策定した。このスケジュールに従い、事業化に邁進する予定である。

a)　本プロジェクト終了後、2015～2016 年度にナノフォトニクス工学推進機構でフロントフィルムを試作し、サンプル出荷を行う。

b)　2017 年度からフロントフィルム製造を外部委託して事業化する。

c)　2018 年度から量産効果を反映させたフロントフィルムを投入する。

1-1-C　有機薄膜太陽電池用ドレスト光子フロントフィルムの実装技術の研究開発

1-1-C-1　フロントフィルムの有機薄膜太陽電池（OPV）に適した塗布方法の選択

フロントフィルムの塗布においては低コストであることが当然求められるが、それに加えて高粘度のフロントフィルム用インクを均一に塗布できるものでなければならない。膜厚幅は±1μm程度が求められている。また、OPVは長尺フィルム基板上へRoll to Rollプロセスによって製造することが検討されており、フロントフィルムの塗布方法も長尺フィルムに対応したものでなくてはならない。

塗布方法の中でスピンコートは簡便な方法であるが、実際に基板に乗る量よりはるかに多くのインクを滴下する必要があり、コスト的な問題がある。また、長尺フィルムへ対応することは不可能である。またバーコートやブレードコートは長尺フィルムへの対応が可能であるが高粘度インクがバーやブレードと基板の隙間に入っていきにくく、均一に塗布することが困難である。

一方、スクリーン印刷は低コストかつ長尺フィルムへの適応が容易であるし、高粘度インクへの対応もある程度可能である。以上の内容を表Ⅲ-2-(へ)-H-1(3)にまとめる。上記の観点から、OPV用フロントフィルムの塗布方法としてスクリーン印刷を選択した。

表Ⅲ-2-(へ)-H-1(3) フロントフィルムに対する各塗布方法の比較

印刷法	コスト	高粘度インク塗布	長尺フィルムへの適応
スピンコート	×	△	×
バーコート	○	×	○
ブレードコート	○	×	○
スクリーン	○	△	○

1-1-C-2　膜厚測定法検討

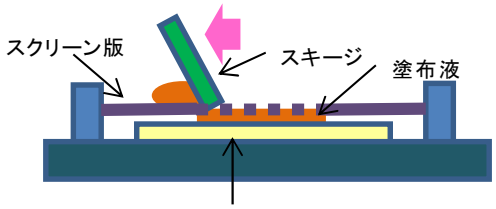
フロントフィルムは基板上に10μm程度の膜厚を塗布するが、触針式段差計、あるいはレーザー顕微鏡などではフィルム端部の測定しかできず、全体の膜厚分布を測定するのが困難という問題がある。このため、フィルムのどの部分でも容易に測定できる吸光度測定により膜厚を決定する方法を検討した（膜厚と吸光度は比例する）。

図Ⅲ-2-(へ)-H-1(14)　レーザー顕微鏡で測定した膜厚と吸光度の関係

図Ⅲ-2-(へ)-H-1(14)にレーザー顕微鏡で測定した膜厚と吸光度の関係を示す。吸光度測定はオーシャンオプティクス社製の光源と分光器を組み合わせたシステムで行った。このシステムは約2mm径の光を用いて吸光度を測定することが可能で、フィルム内の場所による吸光度分布の測定が可能である。膜厚と吸光度の相関は極めて良好であり、吸光度を計ることで膜厚が測定できることが示された。

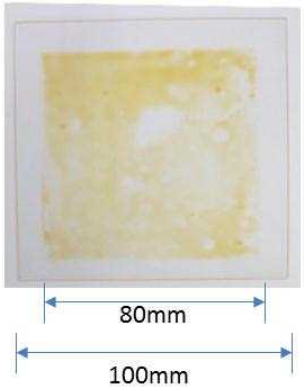
1-1-C-3　スクリーン印刷法検討

スクリーン印刷の模式図を図Ⅲ-2-(へ)-H-1(15)に示す。スクリーンはポリエステルのメッシュに感光材を塗布し、塗布パターンに従って感光材を剥離したものである。インクはスキージによってスクリーンに押し付けられ、メッシュの穴から基板に塗布される。本検討においては、100mm 角の無アルカリガラス基板に 80mm 角のフロントフィルムの塗布を行った。塗布したフィルムの外観と吸光度測定による膜厚分布を図Ⅲ-2-(へ)-H-1(16)、図Ⅲ-2-(へ)-H-1(17)に示す。

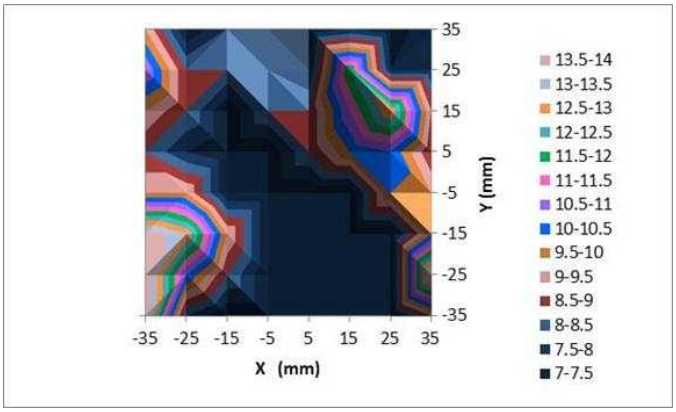


図Ⅲ-2-(へ)-H-1(15) スクリーン印刷の模式図

約 10μm の膜厚に対し膜厚幅は 15.7μm と非常に大きく、図Ⅲ-2-(へ)-H-1(16)のように目視でもむらがわかる。このむらの原因はフロントフィルムインクの高粘度、及び高タック性にあり、基板からスクリーン版を離す際にインクがスクリーン裏面にくっついて引っ張られるのが原因となっている。

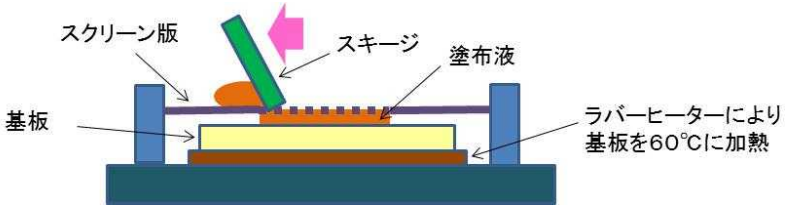


図Ⅲ-2-(へ)-H-1(16)　フィルムの外観



図Ⅲ-2-(へ)-H-1(17)　フィルムの膜厚分布（膜厚幅：15.7μm）

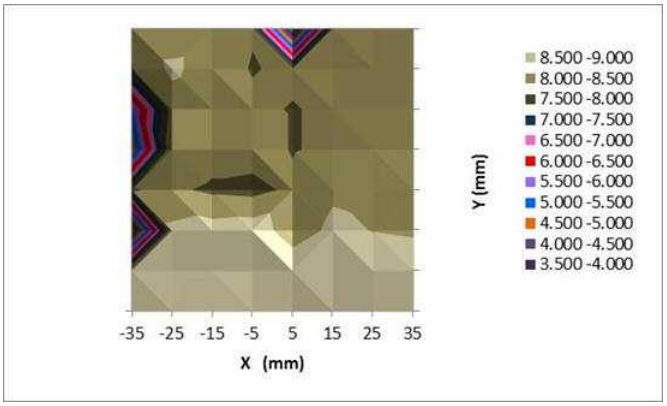
これを解決するため、塗布時に加熱することでインクの粘度、タック性を低減することを試みた。図Ⅲ-2-(へ)-H-1(18)のように基板の下にラバーヒーターを敷き、基板を 60℃に加熱しながら塗布を行った。



図Ⅲ-2-(へ)-H-1(18)　基板加熱しながらのスクリーン印刷

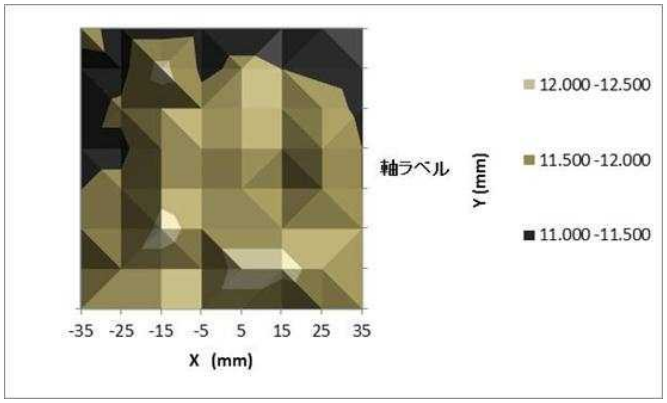
基板を加熱した結果、インクの版へのくっつきが抑えられ、膜厚幅は図Ⅲ-2-(へ)-H-1(19)で示すように6.2μmまで改善された。しかし、この膜厚分布からわかるように膜端部に膜厚の薄い部分が存在する。これは膜が硬化収縮する際の「引け」によるものである。

「引け」の原因は基板とインクの密着が不足して硬化収縮の際に端部のインク全体が移動してしまうものと推測される。



図Ⅲ-2-(へ)-H-1(19)　基板加熱塗布による膜厚分布　(膜厚幅：6.2μm)

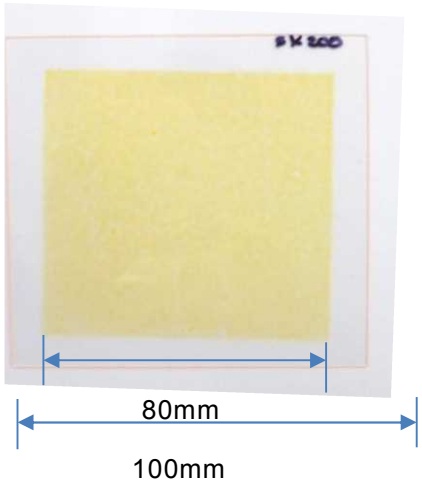
「引け」を防ぐため、インクの塗布前に基板（ガラス基板）にUVオゾン処理を行い密着性を向上することを試みた。UVオゾン処理はフィルジェン社製UV253で15分間実施した。雰囲気は空気を用い、紫外線でオゾンを発生させた。この処理を行った後塗布した結果を図Ⅲ-2-(へ)-H-1(20)に示す。UVオゾン処理によって端部の「引け」が無くなり、フィルム内の膜厚幅は0.9μmと目標とする±1μmを大きく下回った。



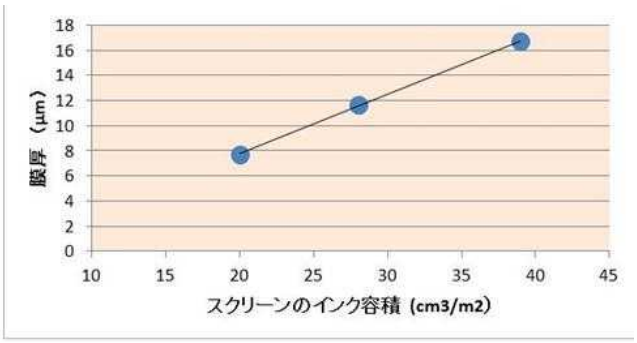
図Ⅲ-2-(へ)-H-1(20)　基板加熱及びUVオゾン処理を行った膜厚分布（膜厚幅：0.9μm)

フィルムの外観写真を図Ⅲ-2-(へ)-H-1(21)に示すが、基板加熱及び基板のUVオゾン処理を行っていない図Ⅲ-2-(へ)-H-1(16)と比較して大きく改善していることがわかる。

次に、フィルム膜厚の調整を行うためにインク容積の異なるメッシュによるスクリーン版を用意して塗布を行った。図Ⅲ-2-(へ)-H-1(22)にスクリーンの面積あたりのインク容積と膜厚の関係を示すが、両者が良い相関を持っており、スクリーンを変えることでフィルム膜厚が容易に調整可能であることが示された。



図Ⅲ-2-(へ)-H-1(21)　基板加熱及び UV オゾン処理を行ったフィルムの外観



図Ⅲ-2-(へ)-H-1(22)　スクリーンの面積あたりのインク容積と膜厚の関係

1-1-C-4　まとめ

波長変換フロントフィルムを有機薄膜太陽電池に実装する検討を行い以下の結果を得た

・塗布方法はスクリーン印刷が適している

・フロントフィルムのスクリーン印刷においては以下の技術が有効であった

(1)塗布時に基板を加熱することで膜厚分布を均一化できる

(2)塗布前に基板を UV オゾン処理することで端部の「引け」を抑制できる

・上記の技術を導入した結果、100mm 角の基板上に膜厚幅 0.9μm で 80mm 角のフィルムを塗布することに成功した

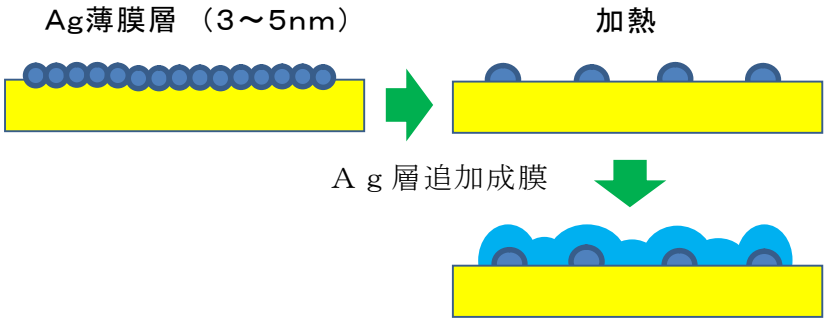
・スクリーンのインク量が膜厚と相関することを確認し、スクリーンの選択により膜厚の調整が可能であることを示した

1-2　有機薄膜太陽電池の赤外光変換効率向上技術の研究開発

1-2-1　Ag ナノ粒子を用いたサブストレート型有機薄膜太陽電池

本検討では Ag 反射電極表面にナノ構造を形成することでドレスト光子を発生させ、特に長波長でのエネルギー変換効率向上を目指す。

有機薄膜太陽電池の Ag 電極にナノ構造を形成する方法として、以下のような方法を検討した。まず基板上に 3～5nm の Ag の薄膜層を蒸着で成膜し、これを約 200℃で加熱することで Ag を凝集させてナノ粒子を形成する。その上に Ag を 100nm 追加成膜することでナノ構造を持った Ag 電極を作成することができる（図Ⅲ-2-(へ)-H-1(23)）（本技術は特許出願済み）。

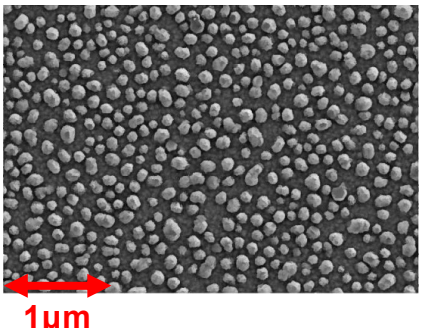


図Ⅲ-2-(へ)-H-1(23) Ag ナノ粒子を用いたナノ構造の形成方法

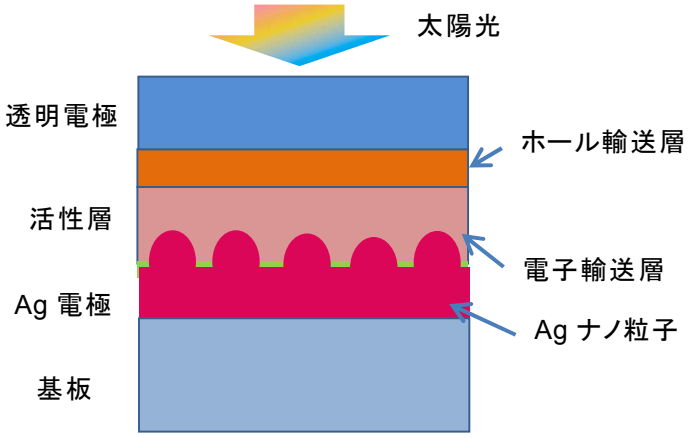
このような方法で作成した電極の SEM 像を図Ⅲ-2-(へ)-H-1(24)に示す。表面は直径が 100～200nm、高さが約 100nm 程度のナノ構造で覆われている。

本方式ではナノ粒子の形成に 200℃程度の加熱が必要であるため、通常のスーパーストレート構造のように有機薄膜の上に Ag ナノ構造を形成することが難しい。そこで基板上に Ag 電極を設けて基板と反対側から光を入射するサブストレート構造を採用した（図Ⅲ-2-(へ)-H-1(25)）。

ナノ構造を持った Ag 電極上に電子輸送層、活性層（光電変換層）、ホール輸送層を形成し、最後に透明電極を形成した。光は基板とは反対の透明電極側から入射される。素子の発電領域は 4mm 角である。



図Ⅲ-2-(へ)-H-1(24)　ナノ構造 Ag 電極の SEM 像

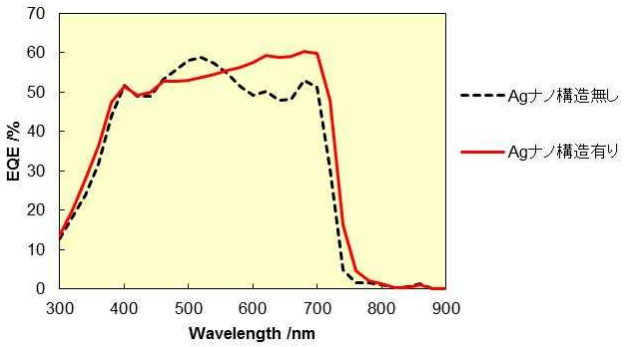


図Ⅲ-2-(へ)-H-1(25)　サブストレート構造素子

この素子の IV 特性を測定した結果を表Ⅲ-2-(へ)-H-1(4)に示す。Ag ナノ構造を形成することにより電流（Jsc）が増加し、変換効率は約 0.3%向上した。量子効率の波長依存性を測定すると（図Ⅲ-2-(へ)-H-1(26)）長波長側で量子効率が向上していることが示された。

表Ⅲ-2-(へ)-H-1(4) Ag ナノ構造による変換効率向上

	Voc [V]	Jsc [mA/cm2]	FF	PCE [%]
Agナノ構造無し	0.83	11.82	0.56	5.54
Agナノ構造有り	0.85	12.56	0.55	5.85

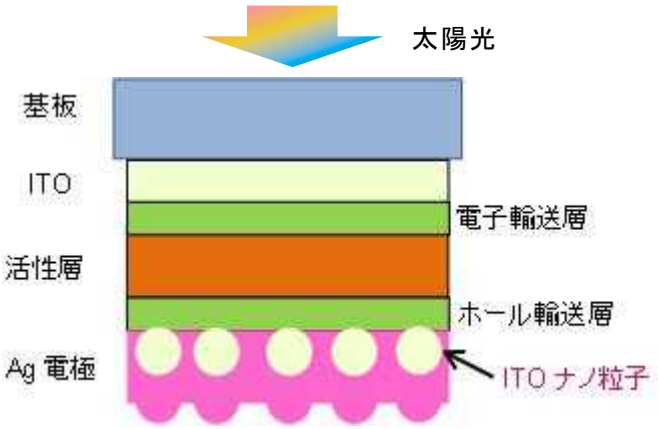


図Ⅲ-2-(へ)-H-1(26) Ag ナノ構造を用いた素子の量子効率波長依存性

1-2-2 ITO ナノ粒子を用いたスーパーストレート型有機薄膜太陽電池

Ag ナノ粒子とサブストレート構造の組み合わせで、約 0.3%の変換効率向上を得ることができたが、目標とする 2%には達しなかった。

そこで、素子構成をより変換効率が出やすいスーパーストレート構造(基板から光を入射)に変更することとした(図Ⅲ-2-(へ)-H-1(27))。スーパーストレート構造の場合、Ag 電極を有機活性層塗布後に形成することになるので、ナノ構造の形成に高温の加熱プロセスを用いるのは困難である。そこで、ホール輸送層上に ITO ナノ粒子(平均粒径 100nm)を塗布し、その上から Ag を蒸着することでナノ構造を持った Ag 電極を形成することとした。ナノ粒子として ITO を選んだのは、透明であり光が

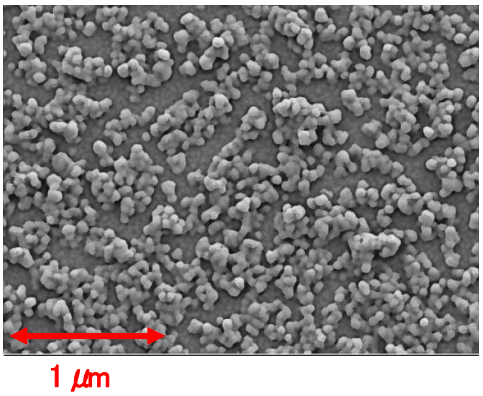


図Ⅲ-2-(へ)-H-1(27) ITO ナノ粒子を塗布した素子構成

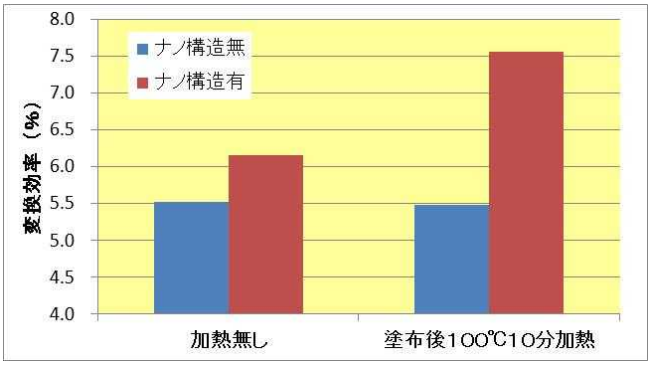
Ag に到達するのを妨げないことと、導電性であるために Ag 電極と一体と考えられ、電気的な悪影響が無いと予想されるからである。

ITO ナノ粒子の塗布は、ナノ粒子を 30wt%分散した IPA 溶液をさらに IPA で 100～200 倍に希釈してからスピンコートで塗布することで行った。ITO ナノ粒子の密度は IPA の希釈倍率で調整した。

塗布した ITO ナノ粒子上に Ag を 100nm 蒸着した膜表面の SEM 像を図Ⅲ-2-(へ)-H-1(28)に示す。Ag がナノ粒子に対応したナノ構造を有していることがわかる。



図Ⅲ-2-(へ)-H-1(28) ITO ナノ粒子上に成膜した Ag 表面の SEM 像



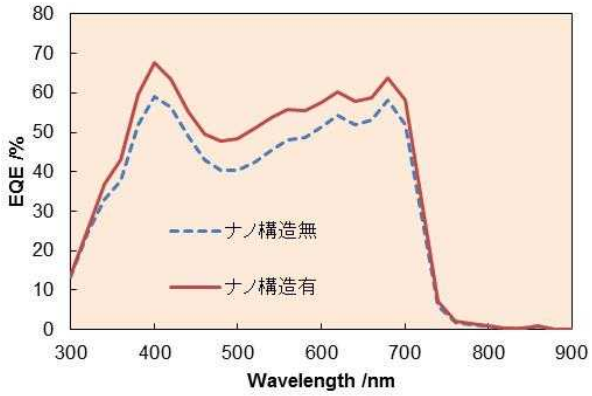
図Ⅲ-2-(へ)-H-1(29) ITO ナノ粒子によりナノ構造を設けた素子の変換効率

このナノ構造電極を用いた素子（発電領域 4mm 角）の IV 特性を測定した結果が図Ⅲ-2-(へ)-H-1(29)の左側のグラフであり、変換効率は 0.7%向上した。さらに、ITO 塗布後にグローブボックス中で 100℃ 10 分加熱してから Ag を蒸着するとさらに効率が上がり、2%の変換効率向上が達成された。これは ITO ナノ粒子の塗布に使用した溶媒（IPA）が特性に何等かの悪影響を及ぼしており、Ag の蒸着前に IPA を乾燥させることで特性が向上したものと思われる。IV 特性の各パラメータを見ると（表Ⅲ-2-(へ)-H-1(5)）、予想された Jsc に加え FF も向上しているが、電極へのナノ構造の形成によって電極の接触面積が増加して電流が流れやすくなったことが考えられる。

表Ⅲ-2-(へ)-H-1(5)　電極ナノ構造による素子特性の向上

	Voc [V]	Jsc [mA/cm2]	FF	PCE [%]
ナノ構造無	0.88	10.7	0.58	5.48
ナノ構造有	0.88	12.9	0.66	7.56

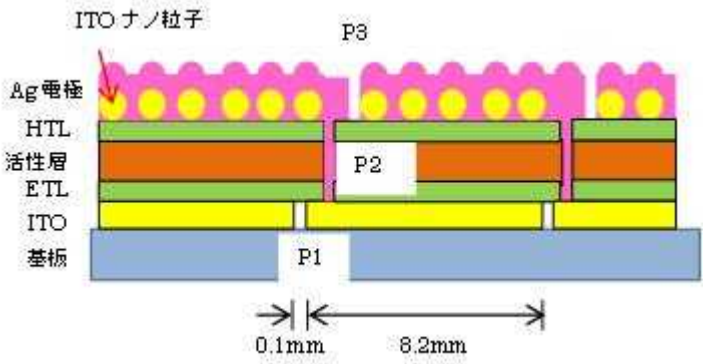
図Ⅲ-2-(へ)-H-1(30)は量子効率の波長依存性であるが、ITO ナノ粒子を設けたものは広い波長範囲にわたって量子効率が向上しており、ドレスト光子による効率向上のみならず、上記した電極接触面積の影響なども受けている可能性が示唆される。



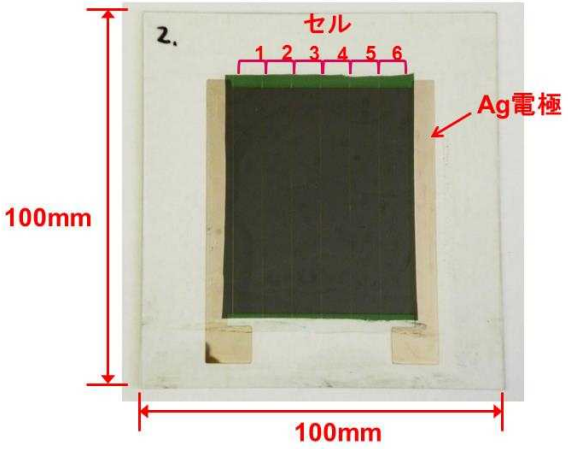
図Ⅲ-2-(へ)-H-1(30)　電極ナノ構造を設けた素子の量子効率波長依存性

1-2-3　電極ナノ構造を形成した有機薄膜太陽電池（OPV）モジュール

1-2-2 の結果を踏まえ、本研究の最終目標である 100mm 角の基板でのモジュール作成を実施した。ガラスの 100mm 角基板に対し、ITO のパターンをウェットエッチングで作成した。モジュールは短冊状のセルが 6 つ直列に接続されたものであり、一つのセルの長辺が 62mm、短辺が 8.2mm である（図Ⅲ-2-(へ)-H-1(31)）。ITO のパターンには ITO のセル間の接続を絶縁する溝（P1）が入っている。ITO 上に電子輸送層（ETL)、活性層、ホール輸送層を形成した後に、上部 Ag 電極と ITO を接続するための貫通溝（P2）をレーザースクライブ加工によって形成した。その後、ITO ナノ粒子を塗布して 100℃ 10 分加熱後に Ag 電極を蒸着した。最後にレーザースクライブ加工によってセル間の上部 Ag 電極の接続を絶縁する P3 加工を行った。有効発電面積は 29.5cm^2 である。作成したモジュールの外観を図Ⅲ-2-(へ)-H-1(32)に示す。



図Ⅲ-2-(へ)-H-1(31)　電極ナノ構造を持った OPV モジュール断面



図Ⅲ-2-(へ)-H-1(32)　電極ナノ構造を持った OPV モジュール

Ag 電極にナノ構造を設けたモジュールと設けないモジュールの特性比較を表Ⅲ-2-(へ)-H-1(6)に示す。小型素子の場合と同様に電流が大きく増加し、ナノ構造の形成により約 2%の効率向上が得られることが実証された。

表Ⅲ-2-(へ)-H-1(6)　電極ナノ構造による OPV モジュール特性の向上

モジュール	ナノ構造	Voc [V]	Jsc [mA/cm2]	FF	PCE [%]
1	無	4.7	0.65	0.54	1.65
2	無	4.8	0.69	0.55	1.81
3	有	4.6	1.67	0.49	3.79
4	有	4.6	1.69	0.49	3.85

1-2-4　ITO ナノ粒子塗布による製造コスト増加の見積もり

ITO ナノ粒子を塗布する方法がコスト的に妥当なのかという点を確認した。ITO ナノ粒子塗布により Ag 電極にナノ構造を形成するためのコスト増加は主として変動費としての ITO ナノ粒子の原料費であり、それに塗布装置の固定費が付加されることとなる。100nm 径のナノ粒子は離散的に付着しているが、部分的には 2 粒子以上が重なっている場所もあるので、余裕を見て平均厚みを 100nm とすると、ITO の密度から

＜ITO ナノ粒子の面積辺りの重量＞＝0.7g/m²

と見積もられる。

ここで、これまで通り ITO ナノ粒子を利用する場合【Case1】と In が入っていない SnO_2 ナノ粒子を利用する場合【Case2】の両方を考える。SnO_2 の導電性は ITO より低いが、この構成では 100nm 程度の膜厚方向に電流を流せれば良いので、基本的には SnO_2 でも十分使用可能である。

【Case1】　ITO ナノ粒子を使用する

＜ITO ナノ粒子の試験研究用途での価格＞＝35,000 円/50g

であるが、量産時にコストが 1/3 弱になると考えると

＜量産時のナノ粒子の価格＞＝10,000 円/50g

と見積もれる。歩留りを含めて粒子の利用効率を 50%とすれば、

＜1m² あたりのナノ粒子の価格＞＝280 円/m²

ナノ粒子の塗布により 2%効率が向上すると、この場合のワット単価は

＜ワット単価＞＝　14 円/W

【Case2】SnO_2 ナノ粒子を利用する

＜SnO_2 ナノ粒子の試験研究用途での価格＞＝65,000 円/500g

であるが、量産時にコストが 1/3 弱になると考えると

＜量産時のナノ粒子の価格＞＝20,000 円/500g

と見積もれる。歩留りを含めて粒子の利用効率を 50%とすれば、

＜1m² あたりのナノ粒子の価格＞＝56 円/m²

ナノ粒子の塗布により 2%効率が向上すると、この場合のワット単価は

＜ワット単価＞＝　3円/W

従ってCase1、Case2のいずれでも固定費を加味しても50円/W（2030年）というモジュール製造コスト目標に対し十分低コストで効率を向上できることが示された。

1-2-5　まとめ

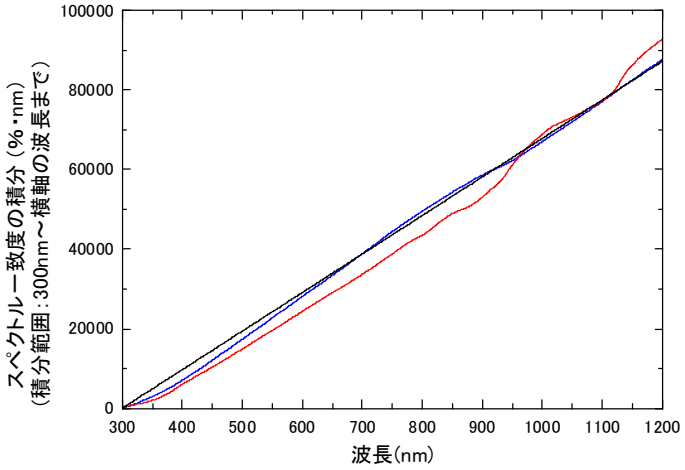
有機薄膜太陽電池の電極ナノ構造によるドレスト光子を用いた変換効率向上検討を行い以下の結果を得た。

・基板上へAgナノ粒子を形成する方法を開発し、サブストレート素子にナノ構造を持ったAg電極を設けることで0.3%の変換効率向上を達成した
・ホール輸送層とAg電極の間にITOナノ粒子を塗布し、Ag表面にナノ構造を形成した。塗布後の加熱条件を最適化することで発電面積4mm角の素子で2%の効率向上を達成した
・100mm角基板に発電面積29.5cm^2の6セル直列モジュールを作成し、ITOナノ粒子の塗布によって本開発項目で目標とする2%の効率向上を達成した
・ナノ粒子塗布のコストを試算し、十分採算が取れるものであることを確認した

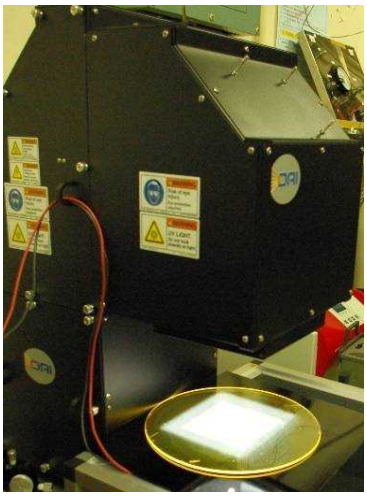
1-3　ドレスト光子利用太陽電池評価技術の研究開発

1-3-1　ソーラーシミュレータの開発

本研究開発プロジェクトでは紫外光を可視光に変換するフロントフィルムおよび赤外領域での感度帯域を広げる調査研究の 2 つを課題として設定している。そのため、紫外領域と赤外領域の太陽光のスペクトル一致度が実験結果を大きく左右する。図Ⅲ-2-(へ)-H-1(33)にそのスペクトル一致度を表す。光照度の積分値の一致も表すため縦軸は積分強度である。図中の赤線は JET （一般財団法人 電気安全環境研究所）にて我々の作製した素子を計測するために利用したソーラーシミュレータのスペクトル一致度を示すグラフであり紫外領域で光量が不足し、赤外領域では逆に大きくなっている。一般のソーラーシミュレータでも波長 400nm～1100nm が保証値であったため、ソーラーシミュレータ用特注フィルターを作製した。その結果図中青線で示す出力が得られるソーラーシミュレータを開発した。紫外領域での照度はまだ不足しているが、JET で用いられている物よりも高いスペクトル一致度が得られており、また赤外領域も同様に高いスペクトル一致度を得ることが出来た。図Ⅲ-2-(へ)-H-1(34)に開発したソーラーシミュレータの外観を示す。太陽電池の温度制御は大形ペルチェ素子で制御し、水冷の場合と比較して高い安定度および氷点下 20℃までの低温条件や 100℃程度までの高温条件を作り出すことが出来る。



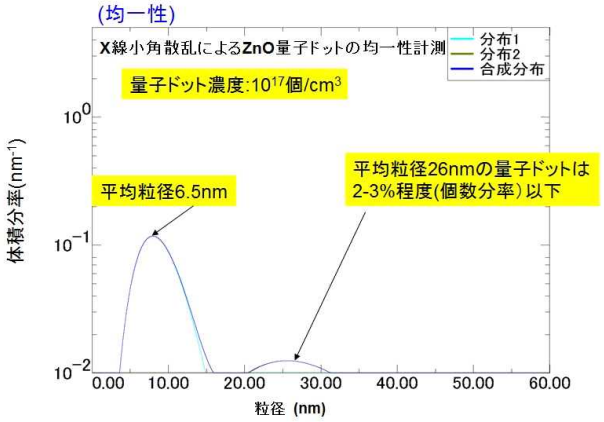
図Ⅲ-2-(へ)-H-1(33)スペクトル一致度



図Ⅲ-2-(へ)-H-1(34)開発したソーラーシミュレータ

1-3-2　フロントフィルムの X 線小角散乱評価技術

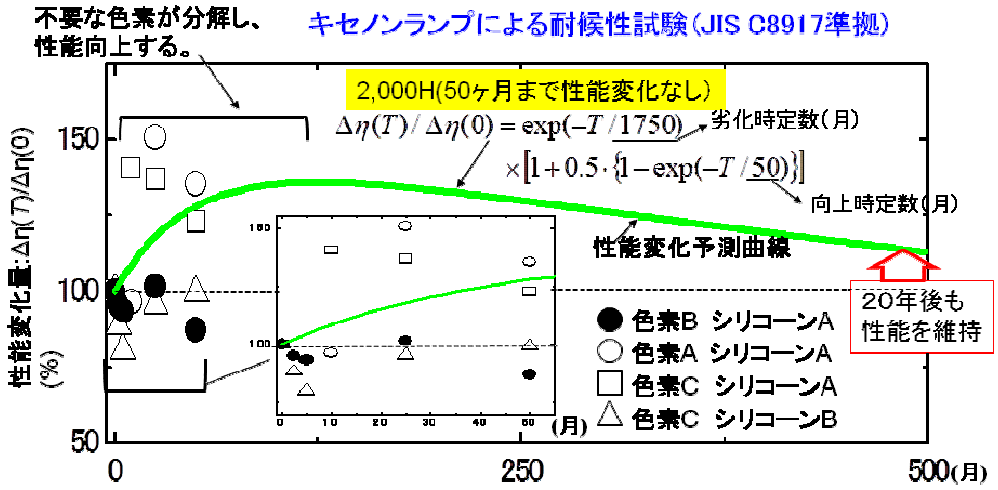
フロントフィルムに分散した量子ドットの寸法分布を X 線小角散乱によって計測した。図Ⅲ-2-(へ)-H-1(35)に X 線小角散乱の計測結果を示す。フロントフィルム内に成長した ZnO 量子ドットはほぼ単一の分布でこの場合平均粒系 6.5 nm である。またその個数分率は 97-98 %であり、僅かにこれらが凝集して出来たと思われる平均粒系 26 nm の量子ドットがあることがわかった。これらは、非常に高い均一性を持っている事を示したいる。また同様の条件で作製された 5 つのフロントフィルムはすべて ZnO 量子ドット平均粒系±0.5 nm 内にあり、高い作製再現性が確認された。



図Ⅲ-2-(へ)-H-1(35)X 線小角散乱の計測結果

1-3-3　耐候性・信頼性評価

フロントフィルムの耐光性・信頼性評価に関して、最初に最も太陽光照射下における条件に近いと思われるキセノンランプ照射によるフロントフィルムの性能劣化試験結果を図Ⅲ-2-(へ)-H-1(36)に示す。３種の色素と２種類の Si 樹脂を用いた。その結果 20 年以上耐久性を持つ事がわかった。加えて、初期の段階では性能が向上する現象を得た。これは量子ドットとドレスト光子で結合していない不要な色素の分解の結果フロントフィルムの透過率が向上したためだと考えられる。

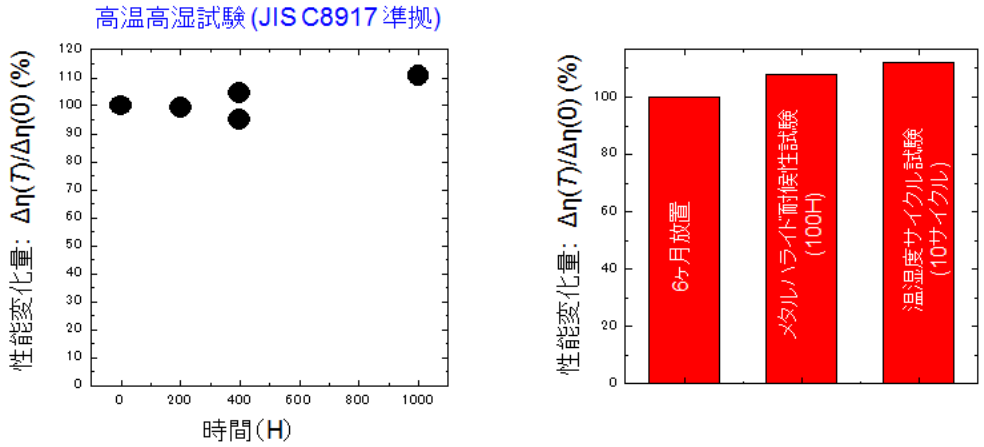


図Ⅲ-2-(へ)-H-1(36)キセノンランプ照射によるフロントフィルム性能劣化試験結果

その他の各耐候試験結果を図Ⅲ-2-(へ)-H-1(37)に示す。JISC8917 準拠による高温高湿試験においては長時間にわたり 100%～110%の間から変化せず劣化は観測不可能であった。他も同様で性能は変化無しか、むしろやや向上するような結果を得た。これら僅かに性能が向上している要因はキセノンランプ照射耐候性試験と同様に不要な色

素の分解だと考えられる。また、シリコーンを母材としている事も重要である。シリコーンは一般に EVA 等炭素系の有機樹脂よりも高い耐久性能を示すからである。

これらの結果は本研究開発プロジェクトの最終目標を達成している事を示している。



図Ⅲ-2-(へ)-H-1(37)その他の各耐候試験結果

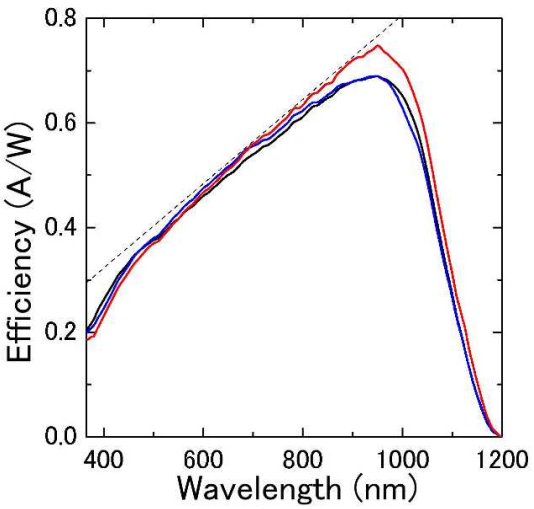
1-4　ドレスト光子による結晶シリコン太陽電池の高効率化に関する調査研究

本研究開発項目では赤外光照射によるドレスト光子フォノン援用アニールによって、Si-pn 接合受光素子の受光感度が赤外領域に拡大し効率向上を目指す。結晶 Si 太陽電池そのものをドレスト光子フォノン援用アニールによって加工し、効率向上させた。

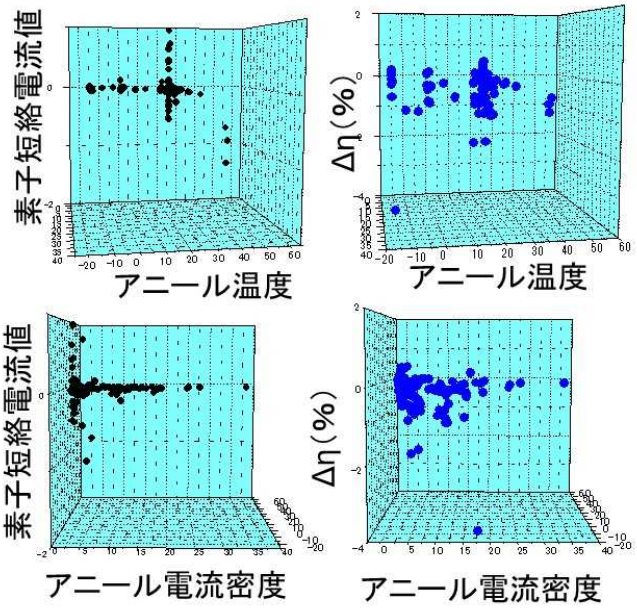
図Ⅲ-2-(へ)-H-1(38)中の黒線はアニール前の効率 18 %の結晶 Si 太陽電池の光電流変換効率（分光感度特性）である。なお、図中の破線は量子効率 100 %を示す。　ドレスト光子フォノン援用アニールによって、高温、高電流密度(20 ℃,12 A/cm^2)でアニールした素子は波長 1000 nm より長波長側で大きく分光感度が増加した（赤線)。一方、低温、低電流密度(-15 ℃,4.4 A/cm^2)でアニールした素子では 500-800 nm 帯に分光感度増加領域が現れた（青線)。高温、高電流密度では、照射光に加え素子自身も赤外領域で EL 発光するため、長波長側で分光感度増加起こったと考えられる。また、低温、低電流密度アニールでは擬似太陽光のスペクトルを反映し照射光密度（光子密度）が高い波長領域である 500-800 nm 帯に分光感度増加領域が現れたと考えられる。

ドレスト光子フォノン援用アニール時の加工パラメータは多岐にわたる。これらを図Ⅲ-2-(へ)-H-1(39)に纏める。この結果、アニール光源に擬似太陽光を用い、アニール時間を 1 時間に固定した場合、ドレスト光子フォノン援用アニール時の電流密度最適値は 1～10A/cm^2 であること、同様にアニール時の素子温度は素子特性向上のためには-10℃以下、短絡電流密度増加のためには 25℃が良いことがわかった。

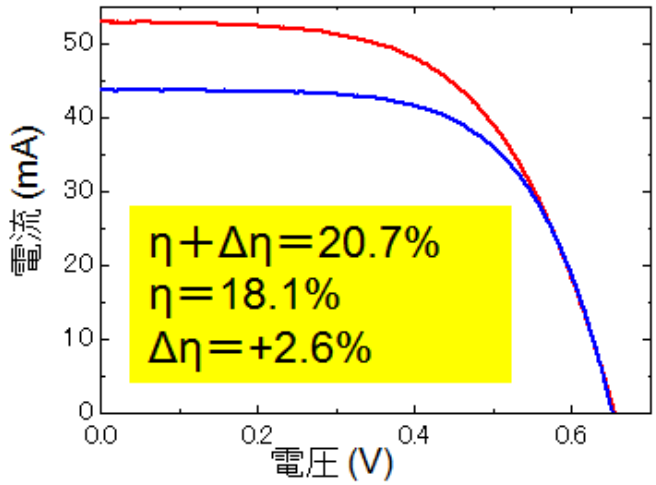
分光感度では、これまで最大で効率 +2 %が得られているが、太陽電池の性能指標としては電力変換効率がより重要である。上記のアニール条件のうち最適値でアニールした太陽電池の変換効率変化を示すグラフを図Ⅲ-2-(へ)-H-1(40)に示す。ドレスト光子フォノン援用アニールによって単結晶 Si 太陽電池は最大+2.7%の効率向上を示すことが分かった。なお、以上の実験に用いた太陽電池は Motech 社 XS156B3 である。以上本研究開発項目の最終目標を達成した。



図Ⅲ-2-(へ)-H-1(38)ドレスト光子フォノン援用アニール後の分光感度特性



図Ⅲ-2-(へ)-H-1(39)太陽電池素子特性のドレスト光子フォノン援用アニールによる変化のまとめ



図Ⅲ-2-(へ)-H-1(40)最適条件でアニールした太陽電池の電流電圧特性の変化

表.Ⅲ-2-（へ）-H-1（7）研究開発項目ごとの成果・達成度

テーマ	最終目標	研究開発成果	達成度*1	目標達成のために解決すべき課題
①ドレスト光子フロントフィルムの研究開発 (a)ドレスト光子フロントフィルム技術開発	結晶シリコン太陽電池、有機薄膜太陽電池等の変換効率をプラス 1.0%以上向上させる 200mm 角以上のドレスト光子フロントフィルムを試作（効率 18%以上の結晶シリコン太陽電池を用いて検証）	(1)ユーザーニーズをフードバックし、大面積化、実用化、事業化に適合するフロントフィルム構成とプロセスを開発。 (2)フロントフィルムを実装し、樹脂パッケージ化した 156mm 角の太陽電池（効率 η ＝18.1%）を用い $\Delta\eta$ = +2.1%（色素:C461） $\Delta\eta$ = +1.9%（色素:PBBO） を確認（JET 計測）。	○	なし
①ドレスト光子フロントフィルムの研究開発 (b)結晶シリコン太陽電池メーカー等での成果の適用検討の促進活動	事業化に対応した結晶シリコン太陽電池等へのフィルム実装方法の課題解決手段を明確化	(1)太陽電池関連企業 K 社及びフロントフィルム関連企業 D 社との協議により、事業化に対応した結晶シリコン太陽電池へのフィルム実装方法について次の課題を抽出した。 a. 接着フィルム付きフロントフィルム用溶液の開発。 b. フロントフィルム塗布ガラス用溶液の開発。 これらの課題に対応する試作品の目標仕様として掲げた変換	◎	なし

		効率向上Δη=+1.0%以上かつ1バッチ100 mL以上を達成する溶液作製条件を最適化すると共に、上記2つの課題はフィルム化工程の条件を詳細に検討することで解決できた。 (2)実用化・事業化を目指して、D社と協力しながら実用化シナリオを策定すると共に、課題を明確にした。		
①ドレスト光子フロントフィルムの研究開発 （c）有機薄膜太陽電池用ドレスト光子フロントフィルムの実装技術の研究開発	100mm□素子にフロントフィルムの実装評価を行う	(1)スクリーン印刷を用いてフロントフィルムの均一な塗布技術を検討し、基板加熱やUV/03処理といった技術を適用することで均一な膜の塗布に成功した。 (2)吸光度による膜厚管理、メッシュサイズによる塗布厚制御技術を確立した。	○	なし
②有機薄膜太陽電池の赤外変換効率向上技術の研究開発	100mm角でモジュール変換効率を2%以上向上する	(1)HTL上にITOナノ粒子を塗布することでAg電極にナノ構造を形成し、加熱条件を最適化することで素子、及びモジュールで2%以上の効率向上を達成した。	○	なし
③ドレスト光子利用太陽電池評価技術の研究開	ドレスト光子フロントフィルム実装太陽電池の	(1)特別仕様のソーラーシミュレータによる光電変換効率評	○	なし

発	耐候性、耐紫外線についての信頼性評価技術を確立、20 年以上の耐候性、耐紫外線特性を確保	価、光学特性評価等、信頼性評価技術を確立した。 (2)Xe ランプによる耐候性試験、メタルハライドランプによる耐候性試験、高温高湿試験、温湿度サイクル試験を実施し、20 年以上の耐候性、紫外線特性が得られる結果を得た。		
④ドレスト光子による結晶シリコン太陽電池の高効率化に関する調査研究	シリコン太陽電池の各製造工程途中の素子に対してアニーリング処理を実施し、性能試験を行うことで、シリコン太陽電池高効率化のための指針を明確化	(1)アニールによる高効率化の指針として、アニール用光源、アニール時間、温度、電流密度を最適化し、高効率化の指針を明確化した。その結果、アニール処理による変換効率向上 $\Delta\eta$ =+2.6%を得た。	○	なし

＊1　達成度

◎：数値目標クリアに加えて想定以上の付加価値を実証、○：数値目標クリア、△：数値目標未達

2.実用化・事業化見通し

2.1 特定非営利活動法人ナノフォトニクス工学推進機構

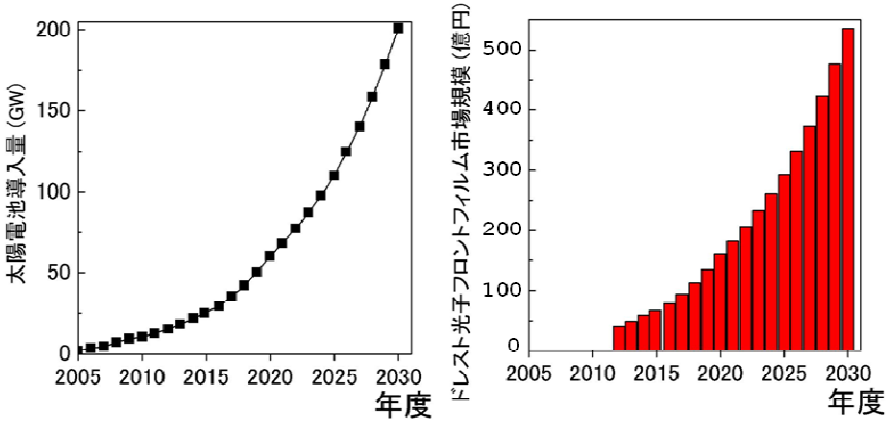
ドレスト光子フロントフィルムに用いる全ての原材料（樹脂、色素、有機金属錯体）は、市場に多く流通しており、量産によるスケールアップに伴うボリューム効果によってさらなるコストダウン効果が期待できる。

現状における太陽電池メーカーで実施できる発電効率向上の施策は、大掛かりな設備導入を伴う方向に移行しつつある。このような状況の中で、本検討による成果を事業化できれば、太陽電池にドレスト光子フロントフィルムを実装するだけで発電効率向上が実現できるため、ユーザーとしての太陽電池メーカーのニーズに合致しているといえる。

図Ⅲ-2-(へ)-H-1(41)に、2005 年から 2030 年までの太陽電池の導入量及びドレスト光子フロントフィルムの市場規模の推移予測を示す。太陽電池の導入量は、光電変換効率を 20%と仮定した場合、1 m^2当たり 200 W の発電効率が得られることと JPEA（太陽光発電協会）による日本ブランドの発電量を基に算出した。また、ドレスト光子フロントフィルムの市場規模は、太陽電池導入量から太陽電池の面積を求め、ドレスト光子フロントフィルム敷設の価格を 300 円/m^2と仮定して算出した。

図Ⅲ-2-(へ)-H-1(41)から、太陽電池へのドレスト光子フロントフィルムの適用率を当面 1/10 と仮定すると、2030 年には 500 億円以上の市場が見込まれ、十分に大きな市場規模であることが期待される。さらに潜在市場としてはこの 10 倍の 5000 億円以上の市場規模が見込まれ、市場の将来性も有望であると予測される。

以上述べたように、ドレスト光子フロントフィルムは、太陽電池のデバイスを変えることなしに、太陽電池の発電効率を比較的容易に向上可能な手法である。現在、太陽電池メーカーにて継続している実証試験結果のフィードバックを繰り返し、問題点を抽出して改善検討を行うと共に、フィルムメーカー、並びに、ガラスメーカーと協力して大面積コーティング技術を検証し、最終製品の共同開発を進める計画である。



図Ⅲ-2-(へ)-H-2(1) 太陽電池の導入量とドレスト光子フロントフィルム市場規模の推移予測

2.2 三菱化学株式会社

本検討の技術を 2015 年に三菱化学が上市した有機薄膜太陽電池へ応用することを予定している。有機薄膜太陽電池の生産は Roll to Roll 法（連続したフィルムをロールから巻出し、太陽電池を形成してからロールに巻き取る方法）で一貫生産される。今回開発したフロントフィルムのスクリーン印刷やナノ粒子の塗布は Roll to Roll 法との相性が良いので、生産プロセス中にこれらを入れることで高い生産性でドレスト光子技術を利用できることが期待される。

均一性、安定性などの検討を実施し、2020 年を目標に、Roll to Roll 法での生産技術を確立、製品への導入を目指したい。

3.波及効果

3.1 特定非営利活動法人ナノフォトニクス工学推進機構

今回の検討では、太陽電池にドレスト光子フロントフィルムという形態で実装し、従来の太陽電池では利用できなかった紫外光の波長帯を可視光に変換することで、太陽電池の変換効率を向上することに寄与する技術を開発した。

今回の検討を紫外光から可視光への波長変換技術と捉え、窓ガラスや自動車ガラスに実装することで、従来の UV カットガラスのように暗くならない新規の UV カットガラスを提供できる。

さらに今後、ドレスト光子の原理を利用して、赤外光から可視光への波長変換技術を開発することで、石油貯蔵タンクの外壁などに適用可能な太陽光に含まれる赤外光による温度上昇を抑える技術を提供できる。

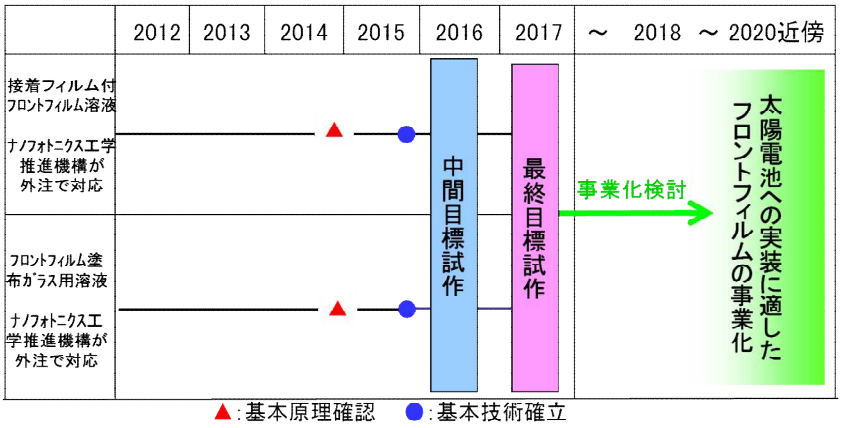
3.2 三菱化学株式会社

将来的には他の太陽電池への応用も視野に入れることができる。特に a-Si 系、色素増感系、ペロブスカイト系などの薄膜太陽電池はナノ粒子塗布などの本検討の技術の応用が期待される。

4. 今後の展開

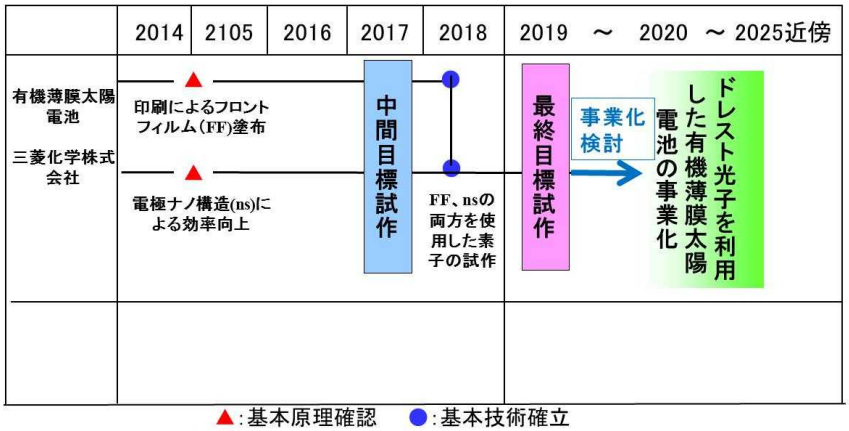
4.1 特定非営利活動法人ナノフォトニクス工学推進機構

現在、ドレスト光子フロントフィルムは、「接着フィルム付フロントフィルム用溶液」及び「フロントフィルム塗布ガラス用溶液」の 2 種類について、開発サンプルを用いて、それぞれ太陽電池メーカーにて実証試験を継続して実施している。実証試験結果のフィードバックを繰り返し、問題点を抽出して改善検討を行う。その上で、フィルムメーカー、並びにガラスメーカーと協力して大面積コーティング技術を検証し、最終製品の共同開発を進め、2020 年に事業化する計画である。



4.2 三菱化学株式会社

三菱化学は 2015 年に有機薄膜太陽電池を上市した。今後、変換効率向上を目指しさらなるバージョンアップを続けていく予定であるが、平行してドレスト光子利用技術の生産ラインへの適用性を検討し、2020 年頃の製品導入を目指していきたい。



５．特許論文リスト

表.Ⅲ-2-（へ）-H-5（１）

	H22	H23	H24	H25	H26	終了後	計
特許出願（うち外国出願）	0	0	0	0	1	0	1 件
論文（査読付き）	0	0	0	0	0	0	0 件
研究発表・講演（うち国際会議）	0	0	7	20(12)	4(1)	1	32(13)件
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0	0	0	0	0 件
受賞実績	0	0	0	0	0	0	0 件
展示会への出展	0	0	0	1	1	1	3 件

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外国PCT	出願日	状態	名　　称	発明者
1	三菱化学株式会社	特願2014-101492	国内	2014/5/15	出願中	金属微粒子構造の製造方法、金属微粒子構造及び金属微粒子構造を有するデバイス	石山仁大、川野敏史

（※Patent Cooperation Treaty: 特許協力条約）

【論文】

なし。

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	堅　直也	東京大学	ナノ光情報システムの実現を目指して	情報数理学シンポジウム2013	2013/1/23
2	野村　航	東京大学	近接場光相互作用に基づく	2013年春季第60回	2013/3/27

			ナノ光信号輸送システムの動的特性	応用物理学関係連合講演会	
3	川添　忠	東京大学	ドレスト光子を利用したホモ接合SiCによる高効率白色、紫外LED	2013年春季第60回応用物理学関係連合講演会	2013/3/28
4	野村　航	東京大学	ランダムに分布する量子ドット系における時空間光励起輸送	2013年春季第60回応用物理学関係連合講演会	2013/3/28
5	川添　忠	東京大学	ドレスト光子を介したエネルギー移動を利用した波長変換薄膜	2013年春季第60回応用物理学関係連合講演会	2013/3/28
6	竪　直也	東京大学	統計モデルによるナノフォトニックドロップレット自律形成過程の解析	2013年春季第60回応用物理学関係連合講演会	2013/3/28
7	川添　忠	東京大学	ドレスト光子援用リソグラフィにより作製されたGaAs/AlGaAs量子細線の光励起発光計測	2013年春季第60回応用物理学関係連合講演会	2013/3/28
8	大津　元一	東京大学	Dressed photon for energy conversion	The France -Japan Workshop on Atom Optics 2013	2013/4/25
9	大津　元一	東京大学	Concepts of dressed photon science and technology	The First Italy-Japan Workshop on Nanophotonics	2013/4/22
10	大津　元一	東京大学	Dressed photon science and applications	Sweden-Japan Collaboration Symposium	2013/6/3
11	野村　航	東京大学	量子ドット間の近接場光相互作用に基づくナノ光励起輸送システム	2013年度第１回複雑コミュニケーションサイエンス研究会	2013/6/4
12	八井　崇	東京大学	Emission from a dipole-forbidden energy state in a GaAs quantum-ring induced by dressed photon	CLEO　2013	2013/6/10
13	竪　直也	東京大学	ナノ-マクロ間階層型光情報システムの概念とその実現技術の動向	第1回情報フォトニクスシンポジウム	2013/6/11
14	八井　崇	東京大学	ZnO quantum structure bas	16th Internationa	2013/7/2

			ed nanophotonic device	l Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications (ISPSA-2013)	
15	野村　航	東京大学	Spatiotemporal optical energy transfer in randomly distributed quantum dots system	The 9th Asia-Pacific Conference on Near-field Optics	2013/7/3
16	竪　直也	東京大学	Phonon-assisted photo-curing method for autonomous formation of Nanophotonic Droplets	The 9th Asia-Pacific Conference on Near-field Optics	2013/7/3
17	川添　忠	東京大学	Highly efficient SiC homojunction structured white- and UV- LEDs based on the dressed photon-assisted process	The 9th Asia-Pacific Conference on Near-field Optics	2013/7/3
18	八井　崇	東京大学	Emission from a dipole-forbidden energy state in a GaAs quantum ring induced by near-field interaction with a fiber probe	The 9th Asia-Pacific Conference on Near-field Optics	2013/7/3
19	八井　崇	東京大学	Dressed Photon-phonon Technology for Ultra Flat Surface	2013 NAP	2013/9/16
20	竪　直也	東京大学	Basics of optical processing system based on nanophotonic droplets	JSAP-OSA Joint Symposia 2013	2013/9/16
21	大津　元一	東京大学	ドレスト光子工学のための計算科学・数理物理	2013年第74回 応用物理学秋季学術講演会	2013/9/17
22	川添　忠	東京大学	ドレスト光子援用アニーリングにより作製された緑色SiC-LED	2013年第74回 応用物理学秋季学術講演会	2013/9/18
23	川添　忠	東京大学	ドレスト光子を用いた波長変換薄膜のためのZnO量子ドットの作製	2013年第74回 応用物理学秋季学術講演会	2013/9/18
24	野村　航	東京大学	ドレスト光子フォノン援用	2013年第74回 応用	2013/9/18

			通電法によるステンレス平板の平坦化	物理学秋季学術講演会	
25	竪　直也	東京大学	Nanophotonic droplet: a novel optical device consists of autonomously-coupled quantum dots	2013 EMN Fall	2013/12/7
26	竪　直也	東京大学	熱硬化性樹脂ベースのナノフォトニックドロップレットによる高収率光エネルギー変換	2014年春季第61回応用物理学関係連合講演会	2014/3/18
27	川添　忠	東京大学	太陽電池のためのドレスト光子利用波長変換薄膜中のZnO量子ドットの寸法制御	2014年春季第61回応用物理学関係連合講演会	2014/3/18
28	竪　直也	東京大学	高機能光エネルギー変換を実現するナノフォトニックドロップレットの開発	第81回レーザ加工学会講演会	2014/5/28
29	八井　崇	東京大学	Dressed Photon-Phonon Polishing for Ultra-Smooth Surfaces	Optical Fabrication and Testing (OF&T)	2014/6/23
30	川添　忠	東京大学	ドレスト光子フォノン援用アニールによる結晶シリコン太陽電池の高効率化	2014年第75回応用物理学会秋季学術講演会	2014/9/18
31	竪 直也	東京大学	フォノン援用光硬化過程を利用した Si ポリマー中 ZnO 量子ドットの自律的特性制御,	Optics & Photonics Japan 2014	2014/11/5
32	川添　忠	東京大学	ドレスト光子利用波長変換フィルムによる結晶シリコン太陽電池の高効率化	2015 年春季第 62 回応用物理学関係連合講演会	2015/3/11

(b)新聞・雑誌等への掲載

なし。

(c)その他

番号	タイトル	公表先	公表年月日
1	ドレスト光子利用太陽電池技術の研究開発	平成25年度NEDO新エネルギー成果報告会（太陽光発電分野）	2013/12/16
2	ドレスト光子利用太陽電池技術の研究開発	平成26年度NEDO新エネルギー成果報告会（太陽光発電分野）	2014/9/18
3	ドレスト光子利用太陽電池技術の研究開発	平成27年度NEDO新エネルギー成果報告会（太陽光発電分野）	2015/10/29

添付資料

添付資料１：プロジェクト基本計画

・「太陽エネルギー技術研究開発」基本計画

添付資料２：事前評価関連資料

・事前評価書

・「新エネルギー技術研究開発-太陽光発電システム次世代高性能技術の開発-」基本計画（案）に対するパブリックコメント募集の結果について

「太陽エネルギー技術研究開発」基本計画

新エネルギー部

１．研究開発の目的・目標・内容

（１）研究開発の目的

環境と調和した健全な経済産業活動と安全・安心な国民生活の実現を図るため、クリーンエネルギーである太陽光発電の更なる普及が要望されている。太陽光発電の更なる普及を実現するためには、これまでに蓄積した技術の更なる高効率化、共通基盤技術の発展及び低コスト化を可能とする革新的技術の開発が不可欠である。本プロジェクトは、経済性・出力安定性といった課題を克服し、新エネルギー等の自律的な普及を図ることを目標とするエネルギーイノベーションプログラムの一環として実施する。

太陽光発電の急速な普及を背景に、海外においても、太陽光発電技術の開発が精力的に取り組まれており、太陽光発電ロードマップ（ＰＶ２０３０＋）で示された技術課題の解決に向け、まさに、グローバルな開発競争となっている。我が国は太陽光発電の技術開発及びその導入量・生産量において長らく世界一を誇っていたが、欧州を中心に行われている導入普及政策により、市場の中心は欧州へと移り始めており、我が国の地位確立のためには、これまで以上の技術開発が必要となっている。このため、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「ＮＥＤＯ」という。）は、産学の科学的知見を結集して太陽光発電の技術開発を行い、これを産業技術へ繋げていくとともに、社会の共通基盤として情報の整備、提供を通じて、行政、産業界、地域住民等の間で科学的知見に基づいた正確かつ適切な認識の醸成を図ることを目的に、本プロジェクトを実施する。

（２）研究開発の目標

太陽光発電ロードマップ（ＰＶ２０３０＋）に示された２０２０年の発電コスト１４円／ｋＷｈ、２０３０年の７円／ｋＷｈ、２０５０年の７円／ｋＷｈ未満達成に資する技術の開発を目標とする。

なお、個々の研究開発項目の目標は別紙「研究開発計画」に定める。

（３）研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。

【委託事業】

①革新的太陽光発電技術研究開発（革新型太陽電池国際研究拠点整備事業）〔委託事業〕

②太陽光発電システム次世代高性能技術の開発〔委託事業、共同研究事業（負担率：２／３）〕

【助成事業】

③有機系太陽電池実用化先導技術開発〔助成事業（負担率：２／３）〕

２．研究開発の実施方式

（１）研究開発の実施体制

本研究開発は、ＮＥＤＯが、単独ないし複数の企業、大学等の研究機関（原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別な研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点からの国外企業との連携が必要な場合はこの限りではない）から公募によって研究開発実施者を選定し実施する。

ＮＥＤＯは、研究開発に参加する各研究開発グループの有する研究開発ポテンシャルを検討し、これを最大限活用することにより効率的な研究開発を図る観点から、必要に応じて研究開発責任者（プロジェクトリーダー）を指名し、その下に効果的な研究を実施する。

（２）研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するＮＥＤＯは、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標、並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて外部有識者による技術検討委員会等を設置し、開発内容について審議し、その意見を運営管理に反映させる他、プロジェクトリーダーを指名しているプロジェクトは、四半期に一回程度プロジェクトリーダー等を通じてプロジェクトの進捗について報告を受けること等を行う。

３．研究開発の実施期間

本研究開発の実施期間は研究開発項目ごとに以下のとおりとする。

① 革新的太陽光発電技術研究開発（革新型太陽電池国際研究拠点整備事業）

本研究開発の期間は、平成２０年度から平成２６年度までの７年間とする。

② 太陽光発電システム次世代高性能技術の開発

本研究開発の期間は、平成２２年度から平成２６年度までの５年間とする。

③ 有機系太陽電池実用化先導技術開発

本研究開発の期間は、平成２４年度から平成２６年度までの３年間とする。

４．評価に関する事項

ＮＥＤＯは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価及び事後評価を実施する。なお、中間評価結果を踏まえ必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。なお、評価の実施時期や方法は、研究開発項目毎に別紙研究開発計画に記載する。

５．その他重要事項

（１）研究開発成果の取扱いについて

①成果の普及

本研究開発で得られた研究成果についてはＮＥＤＯ、委託先、助成先とも普及に努めるものとする。

②知的基盤整備事業又は標準化等との連携

得られた研究開発の成果については、知的基盤整備又は標準化等との連携を図るため

データベースへのデータ提供、開発した技術を搭載した太陽電池の国内外への普及を見据えた標準案の検討や提案及び規制に係る情報提供等を積極的に行う。

③知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第２５条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

なお、開発した太陽電池システムの事業化を支える知財戦略の構築と適切な知財管理を必要に応じて実施することとする。

（２）基本計画の変更

ＮＥＤＯは、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、内外の研究開発動向、政策動向、プログラム基本計画の変更、評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

（３）根拠法

① 革新的太陽光発電技術研究開発（革新型太陽電池国際研究拠点整備事業）
「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第１５条第１項第１号イ」

② 太陽光発電システム次世代高性能技術の開発
「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第１５条第１項第１号イ」

③ 有機系太陽電池実用化先導技術開発
「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第１５条第１項第３号」

６．改訂履歴

（１）平成２２年３月、「新エネルギー技術研究開発」の研究開発項目⑦「革新的太陽光発電技術研究開発（革新型太陽電池国際研究拠点整備事業）」及び新規研究開発項目「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」を統合して新たに制定。

（２）平成２３年３月、研究開発項目①「革新的太陽光発電技術研究開発（革新型太陽電池国際研究拠点整備事業）」の４．達成目標の中間目標（平成２４年度末）の追記及び最終目標（平成２６年度末）を修正。

（３）平成２４年３月、新規研究開発項目「有機系太陽電池実用化先導技術開発」を新たに制定したこと等による修正。

（４）平成２５年３月、研究開発項目①「革新的太陽光発電技術研究開発（革新型太陽電池国際研究拠点整備事業）」の４．達成目標の最終目標（平成２６年度末）を修正。

（５）平成２５年６月、研究開発項目①「革新的太陽光発電技術研究開発（革新型太陽電池国際研究拠点整備事業）」の４．達成目標の（２）高度秩序構造を有する薄膜多接合太陽電池の研究開発のグループリーダーの変更に伴う修正。

（別紙）[研究開発計画]

研究開発項目①「革新的太陽光発電技術研究開発（革新型太陽電池国際研究拠点整備事業）」

１．研究開発の必要性

現在、世界的にこれまでにないほど、環境に対する意識が高まっている。その中で２００７年の「地球温暖化対策に関する内閣総理大臣演説」において、２０５０年までに温室効果ガスCO_2の排出量を半減する『Ｃｏｏｌ　Ｅａｒｔｈ　５０』が発表された。太陽光発電はこの提案に貢献し、持続可能な社会の構築に資する技術の一つとして期待されている。大規模な普及を実現し、期待に応えるためには、太陽光発電の性能の飛躍的な向上が必要である。それにより、住宅や商用施設等での導入促進や、未利用地等での大規模発電等、太陽光発電の適用可能域を抜本的に拡大し、さらに海外の砂漠など全地球的な視点での太陽光発電の利用も可能とするなど、グローバルな展開も期待される。しかしながら、求める性能レベルにまで飛躍的に向上させるためには、従来技術の延長線上にない革新的な技術の開発が必要不可欠である。

また、我が国の太陽光発電技術は世界のトップ水準にあるが、海外を見渡すと、近年、米国のＳｏｌａｒ Ａｍｅｒｉｃａ Ｉｎｉｔｉａｔｉｖｅ（ＳＡＩ:ソーラー・アメリカ計画）や欧州のＳｔｒａｔｅｇｉｃ Ｒｅｓｅａｒｃｈ Ａｇｅｎｄａ（ＳＲＡ:戦略的研究計画）など太陽電池に関する技術開発計画が策定され、その双方で新材料・新構造等による革新的な太陽電池の開発が取り上げられており、既にいくつかの開発プロジェクトが立ち上がっている。

革新的な太陽電池の開発にあたっては、多岐に亘る可能性の確認と選択を進めることが重要であり、それぞれの技術分野の専門家との協力により知見を積み上げていく必要がある。

このような観点から、温室効果ガスの半減に寄与する技術を確立し、日本の技術的優位性を超長期に亘って維持するためには、我が国においても革新的な超高効率太陽電池の開発を実施する研究グループを形成し、その中心的研究機関を中心として、優れた海外の研究者と協力を行いながら積極的かつ継続的な研究開発を推進する必要がある。

２．目的

地球温暖化対策として温室効果ガスの大幅削減に寄与するために、太陽光発電の性能を飛躍的に向上させることを目的とする。これにより、住宅や商業施設等での導入促進や、未利用地等での大規模発電等、太陽光発電の適用可能域を抜本的に拡大することが可能となる。

また、２０５０年に向けた長期的視野に立ち、国内の知見・技術を結集して、新材料・新構造等を利用した革新的な太陽光発電技術を開発することで、日本の技術的優位性を超長期に亘って維持し、産業競争力強化に資することを目的とする。

３．研究開発の具体的内容

本研究開発では、太陽光発電技術に関連し、新材料・新構造等を利用して「変換効率４０％超」かつ「発電コストが汎用電力料金並み（７円／ｋＷｈ）」の達成へのアプローチを探索し、可能性を実証することを目標にした研究開発を行う。

本研究開発では、変換効率向上のためのブレークスルーを探ることを優先的に行い、低コスト化技術については変換効率向上技術の進捗に応じて取り組むこととする。また、海外の先進的な研究機関・大学等と情報や研究人材の交流（研究員の派遣や受入れ等）を実施し、研究開発を促進させる。

本研究開発では以下の技術分野を対象とする。

・多接合型太陽電池
・量子ナノ構造太陽電池
・光マネジメント構造（波長変換・波長分割構造等）
・その他新概念太陽電池（熱光起電力技術：ＴＰＶ、プラズモン太陽電池等）
・革新的太陽電池評価技術

本研究開発では、公募によって複数の研究グループを選定し、研究開発を委託により実施する。ただし、本研究開発にあたっては新たな研究施設等の建設は行わない。

平成２３年度から実施する「高効率集光型太陽電池セル、モジュール及びシステムの開発（日ＥＵ共同開発)」については、国際共同研究・実証等に係る事業であり、委託により実施する。

４．達成目標

２０５０年までに「変換効率が４０％」かつ「発電コストが汎用電源未満（７円／ｋＷｈ未満)」の太陽電池を実用化することを目指した研究開発の中で、本研究開発は変換効率４０％の実現に向けた技術の基礎・探索研究段階と位置づけて研究開発を実施する。

個別研究開発テーマの最終目標及び中間目標は、テーマごとに取り組む技術の現在の成熟度と、２０５０年に到達すべき技術レベルから、平成２６年度末時点で達成すべき技術レベルを判断し、以下の通りとする。

（1）ポストシリコン超高効率太陽電池の研究開発

国立大学法人東京大学先端科学技術研究センター　所長　中野　義昭氏をグループリーダーとして以下の目標で研究開発を実施する。

中間目標（平成２２年度末）

・Ⅲ－Ⅴ族系材料による高集光多接合太陽電池で非集光時の変換効率３３％と集光時の変換効率４２％を達成する。
・新概念太陽電池については動作原理を実証する。
・高度光利用技術についてはデバイスプロセスと組み合わせて量子収率を１０％高めることに資する。

中間目標（平成２４年度末）

・Ⅲ－Ⅴ族系材料による高集光多接合太陽電池で非集光時の変換効率３５％と集光時の変換効率４５％を達成する。
・新概念太陽電池については変換効率１５％を達成する。
・高度光利用技術については量子ナノ構造層吸収を３倍に高めることに資する。

最終目標（平成２６年度末）

・Ⅲ－Ⅴ族系材料による高集光多接合太陽電池で、３接合セルでは非集光時の変換効率３６％と集光時の変換効率４５％を、４接合セルでは非集光時の変換効率３９％と集光時の変換効率４８％を達成する。
・新概念太陽電池については変換効率４０％を達成する。

（２）高度秩序構造を有する薄膜多接合太陽電池の研究開発

平成２０年度～２４年度の期間については、独立行政法人産業技術総合研究所太陽光発電工学研究センター　センター長　近藤　道雄氏を、平成２５年度～２６年度の期間についは、独立行政法人産業技術総合研究所太陽光発電工学研究センター　研究センター長　仁木　栄氏をグループリーダーとして以下の目標で研究開発を実施する。

中間目標（平成２２年度末）

・シリコンおよび化合物多接合太陽電池について要素セル材料の開発並びにデバイス化により、多接合太陽電池で変換効率２０％を達成する。
・新概念太陽電池については動作原理を実証する。
・高度光利用技術においてはデバイスプロセスと組み合わせて変換効率２０％の達成に資する。

中間目標（平成２４年度末）

ボトムセルおよびトップセルの要素材料の開発並びにデバイス化を行う。また光マネジメント技術、スマートスタック技術を開発し、多接合太陽電池で変換効率２０％を達成する。高度光利用技術についてはデバイスプロセスと組み合わせて変換効率２０％の達成に資する。

最終目標（平成２６年度末）

ボトムセルおよびトップセルについて要素セルの高度化ならびに高度光利用技術の組み合わせにより多接合太陽電池で変換効率３０％を達成する。

（３）低倍率集光型薄膜フルスペクトル太陽電池の研究開発

国立大学法人東京工業大学大学院理工学研究科　電子物理工学専攻　教授　小長井　誠氏をグループリーダーとして以下の目標で研究開発を実施する。

中間目標（平成２２年度末）

バンドエンジニアリング、薄膜フルスペクトル太陽電池、光マネージメント・ＴＣＯ等の研究開発により、低倍率集光時、真性変換効率２０％（有効受光面積：１ｃｍ^2）を達成する。

中間目標（平成２４年度末）

開発した薄膜フルスペクトルの光吸収層ならびに周辺技術等を用いた５～６接合薄膜フルスペクトルセルにより、真性変換効率２５％（低倍率集光、有効受光面積：１ｃｍ^2）を達成する。

最終目標（平成２６年度末）

薄膜フルスペクトルセルにより、真性変換効率４０％（低倍率集光、有効受光面積：１ｃｍ^2）を達成する。

（４）革新的太陽電池評価技術の研究開発

独立行政法人産業技術総合研究所太陽光発電工学研究センター　センター長　近藤　道雄氏をグループリーダーとして以下の目標で研究開発を実施した。

最終目標（平成２２年度末）

集光型多接合太陽電池評価技術の開発
薄膜多接合太陽電池評価技術の開発

（５）高効率集光型太陽電池セル、モジュール及びシステムの開発（日ＥＵ共同開発）

豊田工業大学大学院工学研究科　特任教授　山口　真史氏をグループリーダーとして以下の目標で研究開発を実施する。

中間目標（平成２４年度末）

・セル変換効率：４２％以上、モジュール変換効率：３３％以上

・集光型太陽電池の高精度測定の課題明確化

最終目標（平成２６年度末）

・セル変換効率：４５％以上、モジュール変換効率：３５％以上

・集光型太陽電池の標準測定技術の確立（測定再現性±０．５％以内）

５．評価の時期及び方法

ＮＥＤＯは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を平成２２年度及び平成２４年度に実施し、研究開発テーマごとに進捗を判断し、技術分野及び研究開発テーマの見直し・絞り込み等を行い、必要に応じて研究グループの整理を行う。（４）革新的太陽電池評価技術の研究開発については、事後評価を平成２４年度の中間評価と同時に実施する。また、その他の事後評価を平成２７年度に実施する。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

研究開発項目②「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」

〔研究開発の目的〕

１．政策的な重要性

本事業はエネルギーに関する技術開発を目的とする「エネルギーイノベーションプログラム」の一環として実施する。本プログラムに加え、太陽光発電は「Ｃｏｏｌ　Ｅａｒｔｈ－エネルギー革新技術計画」の中でCO_2大幅削減を可能とする重要技術に位置づけられ、また、新成長戦略（２００９年閣議決定）等の種々の政策の中でその重要性・必要性について言及されている。

２．我が国の状況

我が国は高度成長期の負の側面である公害問題や二度にわたる石油危機を技術革新の契機として活用することで克服し、世界最高の環境技術を獲得するに至った。

ところが今日では、数年前まで世界一を誇った太陽光発電がドイツ・スペインの後塵を拝するようになり、我が国が本来持つ環境分野での強みを、必ずしも活かすことができなくなっている。

３．世界の取り組み状況

米国や欧州においても国家レベルで太陽光発電の技術開発に取り組んでおり、米国やドイツの研究開発費は日本の２倍以上である。さらに太陽光発電システムの各種普及支援施策（フィードインタリフや余剰電力購入、補助金など）が取られている。この結果、２００８年における太陽光発電システムの年間導入量は、スペイン、ドイツ、イタリア、米国、韓国、そして日本という順番になっている。

４．本事業のねらい

本事業では、低炭素社会の実現のため我が国政府が打ち出した目標（２００９年４月９日内閣総理大臣講演）（太陽光発電の導入規模を２０２０年に現状の２０倍（２８ＧＷ）にする）の達成に資する研究開発として、モジュール高効率化及びコスト低減の観点から、各種太陽電池の変換効率の向上、原材料・各種部材の高機能化、モジュール長寿命化、評価技術等の共通基盤技術等の開発を行うことを目的とする。

〔研究開発の目標〕

１．過去の取り組みとその評価

平成１８年度から２１年度まで実施した「太陽光発電システム未来技術研究開発」及び「太陽光発電システム共通基盤技術研究」等により、２０２０年における発電コスト目標（１４円／ｋＷｈ）達成に必要な要素技術の開発などが行われ、目覚ましい成果が得られた。一方、平成２１年度に実施した（前倒し）事後評価委員会では、太陽光発電システム普及の鍵となるグリッドパリティー実現に向けての、さらなるコスト低減や耐久性向上等に向けた技術開発を国が継続して行う必要性について提言を受けた。

２．本研究開発の目標

太陽光発電ロードマップ（ＰＶ２０３０＋）に記載の発電コスト目標：１４円／ｋＷｈ（２０２０年）、モジュール製造コスト目標：７５円／Ｗ、モジュール変換効率目標：２０％（２０１５～２０２０年時点）の実現に資する各種太陽電池の高効率化、低コスト化に係る技術を確立することを目標とする（各太陽電池種別の具体的な達成目標は後述）。

３．本研究開発以外に必要とされる取り組み

本事業とは別に、ＮＥＤＯでは、平成２０年度から「革新的太陽光発電技術研究開発」の取り組みを行っており、２０５０年にCO_2排出量半減を実現するための画期的な太陽光発電技術の開発（「変換効率４０％超」かつ「発電コストが汎用電力料金並み（７円／ｋＷｈ）」を実現可能とする超長期的課題への取り組み）を実施している。

４．全体としてのアウトカム目標

２０２０年における太陽光発電導入量２，８００万ｋＷ（現状の２０倍）の実現に寄与する。この導入実現により、１，５００万トンのCO_2削減効果が期待される。

〔研究開発の内容〕

上記目標を達成するため、以下の研究開発について実施する。

〔委託事業、(共同研究事業（ＮＥＤＯ負担率：２／３))〕

（イ）結晶シリコン太陽電池
（ロ）薄膜シリコン太陽電池
（ハ）ＣＩＳ等化合物系太陽電池
（ニ）色素増感太陽電池
（ホ）有機薄膜太陽電池
（ヘ）共通基盤技術

本研究開発項目は、（１）実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術」に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ち寄り協調して実施する事業、又は（２）試験・評価方法、基準・プラットフォームの提案等、国民経済的には大きな便益がありながらも、民間企業の研究開発投資に見合うものが見込めない「公共財の研究開発」事業であり、原則、委託事業として実施する。ただし、（１）については、上記以外のもの(※1)は、共同研究事業（ＮＥＤＯ負担率：２／３）として実施する。

※１ 民間企業単独、民間企業のみでの連携、大学等の単独等、産学官連携とならないもの。

（イ）結晶シリコン太陽電池

１．研究開発の必要性

結晶シリコン太陽電池は変換効率の高さの点で、今後も太陽電池の普及において中心的役割を果たすことが期待されており、普及拡大のためにはコスト低減と高効率化を同時に実現することが必須である。

結晶シリコン太陽電池は、従来厚さ２００μm程度の結晶シリコン基板を用いており、シリコン材料のコストが太陽電池全体のコストに占める割合が大きく、低コスト化を阻害している。また、近年の結晶シリコン太陽電池の生産規模の急激な拡大はシリコン原料の需給逼迫を招き、今後の結晶シリコン太陽電池の普及拡大を制約することが懸念されている。また、シリコン基板の超薄型化に伴う効率低下をおこさずに、モジュール変換効率２０％の水準を目指すことが重要である。

これらの課題を解決するため、低コストシリコン材料の製造技術、１００μm程度の超薄型シリコン基板スライス技術、１００μm程度の超薄型セル高効率化技術の開発が重要である。

２．研究開発の具体的内容

結晶シリコン太陽電池において、コスト低減と変換効率の向上を図るため、以下の研究開発を実施する。

ⅰ）コスト低減

・ソーラーグレードの原料シリコンを安価に製造する技術、結晶シリコンを安価に製造する結晶成長技術等を開発する。

・厚さ１００μm程度のセルに対して反り、割れ等が生じない電極形成工程、スライス技術の最適化、スライス後の洗浄処理が不要、カーフの回収・再利用が可能等の新技術等を開発する。

ⅱ）高効率化

イ）モジュール変換効率向上に資する太陽電池形成プロセス（光及びキャリア閉じ込め、接合形成、パッシベーション等）の手法・条件の抜本的な見直しと、ヘテロ接合等新構造・新手法を開発する。

ロ）高品位な結晶シリコンを製造する結晶成長技術を開発する。

３．達成目標

ⅰ）コスト低減

・結晶シリコンを安価に製造する技術を開発し、シリコン製造コスト等を試算する。達成目標（中間目標を含む）は設定した製造規模でのシリコン製造コストで表し、その値は各研究テーマ毎に設定し実施計画書に記載する。

・カーフロス１２０μm未満、又はカーフを生じない新たな製法等を確立する。

ⅱ）高効率化

イ）モジュール

＜中間目標＞

・厚さ１００μm程度、１５ｃｍ角程度のセルにおいて変換効率２０％、モジュールでの変換効率１８％以上を達成する。

＜最終目標＞

・厚さ１００μm程度、１５ｃｍ角のセルにおいて、変換効率２５％以上、モジュールの変換効率２０％以上を達成する。

ロ）高品位シリコン製造技術

１５ｃｍ角程度のセルにおいて、以下の目標値を達成する。

＜中間目標＞

・キャリア寿命：１００μｓｅｃ（拡散長 約1mm）以上

・シリコン純度：６N以上

＜最終目標＞

・キャリア寿命：４００μｓｅｃ（拡散長 約2mm）以上

・シリコン純度：７N以上

（ロ）薄膜シリコン太陽電池

１．研究開発の必要性

厚さ数μｍのシリコン系薄膜により構成される薄膜シリコン太陽電池は、シリコン原料の使用量が少ないため、現在市場の主流である結晶シリコン太陽電池と比較して製造コスト、ひいては発電コストの大幅な低減が見込まれ期待されている。また、軽量基板上への太陽電池形成が可能であることから、多用途化にも適している。しかしながら、現状ではモジュール変換効率が低く１２％程度であり、より一層の改善が必要である。また、更なる低コスト化のためには、製造プロセス及び生産性改善等による製造コストの低減等が必要である。

本研究開発は、以上の背景に基づき、薄膜シリコン太陽電池の変換効率向上及び製造コスト低減を目指して実施する。

２．研究開発の具体的内容

モジュール高効率化及び生産性向上を図るため、以下の研究開発を実施する。

ｉ）高効率化

光マネジメントとして入射光の反射・屈折の制御等による光閉じ込め技術の高度化、高品質（低欠陥密度、低抵抗、高透明度）な透明導電膜の開発等を行う。

多接合化として光劣化抑制技術､界面へのバッファ層導入や粒界制御による開放電圧向上、欠陥密度の低減と価電子制御技術、バンドギャップ設計と材料高品質化、高効率化のためのパッシベーション技術､各薄膜と透明電極及び裏面金属電極との接合界面並びに各薄膜間の接合界面の高品質化の開発等を行う。

ii）製造コスト低減

新概念を導入した製膜装置の開発による高速製膜技術の開発、大面積基板（ガラス、フィルム基板等）に高品質な薄膜を高スループットで製膜し得る製膜技術及び製膜装置・プロセスの開発等を行う。

３．達成目標

ｉ）高効率化

＜中間目標＞

・３０×４０ｃｍ程度の基板に製膜した２接合以上の多接合薄膜シリコン太陽電池においてモジュール変換効率１３％以上（安定化効率）を達成する。

＜最終目標＞

・３０×４０ｃｍ基板に製膜した２接合以上の多接合薄膜シリコン太陽電池においてモジュール変換効率１４％以上（安定化効率）を達成する。

ii）製造コスト低減

＜中間目標＞

・装置の設計・作製と条件出しを完了し、任意サイズの基板において製膜速度１．０ｎｍ／ｓｅｃ以上を達成する。

＜最終目標＞

・幅１ｍ以上の基板において製膜速度２．５ｎｍ／ｓｅｃ以上、膜厚分布±５％以下を達成する。

なお、高生産性実現において、製膜速度向上以外の手法でも同等と認められる提案は、別途協議のうえ採用する。

（ハ）ＣＩＳ等化合物系太陽電池

１．研究開発の必要性

ＣＩＳ等化合物系薄膜太陽電池は、結晶シリコン太陽電池、薄膜シリコン太陽電池に続いて市場投入された太陽電池であるが、現在ＣｄＴｅ太陽電池等との激しい価格競争の中にあり、高い経済性が求められている。

ＣＩＳ等化合物系薄膜太陽電池は、結晶シリコン太陽電池に匹敵する高い変換効率を実現できる可能性があり、また、軽量基板上への太陽電池形成が可能であることから多用途化にも適している。更に、最近では、従来と異なる新規なプロセスを開発して低コスト製造を実現しようとする試みが見られるようになってきた。

しかし、現時点では、変換効率は３０ｃｍ角モジュールで１３から１６％程度で、この太陽電池に期待されるレベル（結晶シリコン太陽電池並み）に到達しておらず、また、軽量基板上での製造技術や新規な低コスト製造プロセスも実用化までには今一歩のところにある。

また、海外では集光型太陽電池で一定規模の市場がすでに形成されており、日本がこの市場に遅れることなく参入するためには、集光型太陽電池システムの低コスト化が早急に必要とされるところである。

２．研究開発の具体的内容

ＣＩＳ等化合物系薄膜太陽電池では、実用化規模の大面積及び材料のポテンシャルを引き出すために小面積モジュールでそれぞれ高効率化を図る。また、軽量基板上での製造技術や新規な低コスト製造プロセスの実用化に向けた開発を実施する。

集光型太陽電池では、システム全体としてのコストダウンを目指し、太陽電池セル以外に光学系や追尾架台等の低コスト化技術開発を実施する。

ⅰ）ＣＩＳ等化合物系高効率化

光吸収層の高品質化、接合界面特性の改善、集積化技術、ワイドギャップ材料の高品質化技術（欠陥密度低減等）等の開発を行う。

ⅱ）ＣＩＳ等化合物系製造プロセスの開発

軽量基板を用いた低コスト製造プロセス､従来の製造法と異なるＣＩＳ等化合物系太陽電池の低コスト製造プロセス（非真空プロセス等）等の開発を行う。

ⅲ）集光型太陽電池の低コスト化技術開発

Ⅲ-Ⅴ族化合物／シリコンモノリシックタンデム等低コスト集光型太陽電池、低コスト集光系・ミラー・レンズ、低コスト架台・システム等の開発を行う。

３．達成目標

ⅰ）ＣＩＳ等化合物系高効率化

＜中間目標＞

・サブモジュール（３０ｃｍ角程度）で変換効率１７％以上を達成する。

・小面積セル（１ｃｍ角程度）で変換効率２２％以上を達成する。

＜最終目標＞

・サブモジュール（３０ｃｍ角程度）で変換効率１８％以上を達成する。

・小面積セル（１ｃｍ角程度）で変換効率２５％以上を達成する。

ⅱ）ＣＩＳ等化合物系製造プロセスの開発

軽量基板上での製造技術や、新規な低コスト製造プロセス等により製造したサンプルを供試する。達成目標（中間目標を含む）は単位出力当たりの製造コスト等（円／W）で表し、その値は研究テーマ毎に設定し実施計画書に記載する。

ⅲ）集光型太陽電池の低コスト化開発

開発した光学系や追尾架台等を用いたモデルシステムを実際に建設し、そのコストを基にプラント建設コストを算出する。達成目標（中間目標を含む）は例えば単位面積当たりの建設コストで表し、その値は研究テーマ毎に設定し実施計画書に記載する。

（ニ）色素増感太陽電池

１．研究開発の必要性

色素増感太陽電池はコストの点でシリコン材料を用いないので高純度シリコン価格高騰の影響を受けない。また、高真空プロセスを用いず、スクリーン印刷、ロールツーロール等の工程で製造が可能なので低コスト化が期待されている。機能面の点では光入射角度依存性が小さく、発電出力の温度依存性が小さいため、夏季でも発電特性が落ち込まない等の利点がある。

課題は変換効率が低いことであり、現時点で環境試験・耐久性試験で相対効率低下１０％以内をクリアしているセルでは変換効率は３％程度である。また、信頼性においても水分の進入等による劣化等の問題がある。

コスト面、性能面での色素増感太陽電池のメリットを生かし実用化を実現するためには、変換効率及び信頼性の向上が必要である。

２．研究開発の具体的内容

高効率化と耐久性向上を図り、以下のモジュール製造プロセスの研究開発を実施する。

ⅰ）高効率化

・新規色素（長波長応答色素）、高性能半導体電極、タンデム構造色素太陽電池の開発等を行う。

ⅱ）モジュール化技術開発・耐久性向上

・封止構造形成技術、不揮発性電解質の開発、スクリーン印刷、ロールツーロール等のプロセス技術の導入による量産化検討、半導体電極の低温形成技術の開発等を行う。

・劣化メカニズムの解明及び耐久性向上のための技術開発を行う。

３．達成目標

高効率かつ耐久性に優れたモジュールを開発する。モジュールは以下の効率と耐久性を同時に満たすことを目標とする。

ⅰ）高効率化

＜中間目標＞

・セル変換効率（安定化効率）　１１％（１ｃｍ角程度）以上

・モジュール変換効率（安定化効率）　７％（３０ｃｍ角程度）以上

＜最終目標＞

・セル変換効率（安定化効率）　１５％（１ｃｍ角程度）以上

・モジュール変換効率（安定化効率）　１０％（３０ｃｍ角程度）以上

ⅱ）モジュール化・耐久性向上

＜中間目標＞

・ＪＩＳ規格Ｃ８９３８の環境試験、耐久性試験（温湿度サイクル、耐熱性、耐湿性、温度サイクル、光照射の各試験）において相対効率低下１０％以内

＜最終目標＞

・ＪＩＳ規格Ｃ８９３８の環境試験、耐久性試験（温湿度サイクル、耐熱性、耐湿性、温度サイクル、光照射の各試験）において相対効率低下１０％以内

（ホ）有機薄膜太陽電池

１．研究開発の必要性

有機薄膜太陽電池はコストの点でシリコン材料を用いないので高純度シリコン価格高騰の影響を受けない。また、高真空プロセスを用いず、スクリーン印刷、ロールツーロール等の工程で製造が可能なので低コスト化が期待されている。機能面の点では光入射角度依存性が小さく、発電出力の温度依存性が小さいため、夏季でも発電特性が落ち込まない等の利点がある。

課題は変換効率が低いことであり、現時点ではセルで６％程度である。また、信頼性においても水分の進入等による劣化等の問題がある。

コスト面、性能面での有機薄膜太陽電池のメリットを生かし、実用化を実現するためには、変換効率と信頼性の向上が必要である。

２．研究開発の具体的内容

高効率化と耐久性向上を図り、以下のモジュール製造プロセスの技術開発を実施する。

ⅰ）高効率化

・有機半導体（特にｐ型）、電子・ホール輸送層等の材料探索、短絡電流向上のための光電変換部分の増大（バルクヘテロ接合）、新デバイス構造構築、積層化に係る技術開発等を行う。

ⅱ）モジュール化技術開発・耐久性向上

・スクリーン印刷、ロールツーロール等のプロセス技術の導入による量産化検討、劣化メカニズムの解明及び耐久性向上のための技術確立等を行う。

３．達成目標

高効率かつ耐久性に優れたモジュールを開発する。モジュールは以下の効率と耐久性を同時に満たすことを目標とする。

ⅰ）高効率化

＜中間目標＞

・セル変換効率（安定化効率）　　８％（１ｃｍ角程度）以上

・モジュール変換効率（安定化効率）　　６％（３０ｃｍ角程度）以上

＜最終目標＞

・セル変換効率（安定化効率）　　１２％（１ｃｍ角程度）以上

・モジュール変換効率（安定化効率）　　１０％（３０ｃｍ角程度）以上

ⅱ）モジュール化技術開発・耐久性向上

＜中間目標＞

・ＪＩＳ規格Ｃ８９３８の環境試験、耐久性試験（温湿度サイクル、耐熱性、耐湿性、温度サイクル、光照射の各試験）において相対効率低下１０％以内

＜最終目標＞

・ＪＩＳ規格Ｃ８９３８の環境試験、耐久性試験（温湿度サイクル、耐熱性、耐湿性、温度サイクル、光照射の各試験）において相対効率低下１０％以内

（へ）共通基盤技術

１．研究開発の必要性

太陽光発電システムの利用拡大や技術発展のためには、システムを構成するモジュール等の性能、耐久性、安全性、システムとしての発電量算定評価や信頼性評価等の各種評価方法の確立、国際的な規格化・標準化、システムの認証、リサイクル・リユースの技術開発等の産業基盤の整備が必要である。また、各電池に共通した部材の高機能化、長寿命化を図る必要がある。さらに、諸外国の研究機関との連携、国際エネルギー機関（ＩＥＡ）への参画等による戦略的な活動は、産業競争力の確保と国際貢献の双方を意識した国の活動として重要である。

２．研究開発の具体的内容

以下の研究開発項目を実施する。

ⅰ）発電量評価技術等の開発
ⅱ）信頼性及び寿命評価技術の開発
ⅲ）リサイクル・リユース技術の開発
ⅳ）共通材料・部材・機器及びシステム関連技術開発
ⅴ）標準化支援事業及びＩＥＡ国際協力事業等

ⅰ）発電量評価技術の開発

イ）発電量評価

発電量評価技術として、きめ細かい範囲でのスペクトルを含めた日射量のデータベースを構築し、測定した当日の日射量・気象データから特定地域の翌日の発電量を推定する技術を開発する。

ロ）太陽電池の性能評価

太陽電池評価技術として、光照射効果を考慮した実効性能評価技術を開発する。また、高精度屋外性能評価技術を開発する。さらに、新材料・新技術に対応した新型太陽電池の評価技術を開発する。

基準太陽電池校正技術の研究開発として、高精度絶対放射計とその校正技術の開発を行う。また、絶対分光感度法による一次基準セルの校正技術を開発する。さらに、二次基準モジュールの校正精度の向上を図る。

ⅱ）信頼性及び寿命評価技術の開発

信頼性評価技術の開発として、太陽電池モジュールや太陽光発電システムの屋外曝露試験データを取得、分析評価し、劣化要因を抽出する。また、これと併せてモジュール、封止材等の長寿命化技術の開発を行う。試作モジュール等も用いて劣化メカニズムを解明し屋内での部材も含めた寿命評価試験方法を開発し、規格化を推進する。

更に、太陽光発電システムの長寿命化等に寄与する可能性がある各電池に共通した高機能材料の寿命試験方法を確立する。

ⅲ）リサイクル・リユース技術の開発

新たな種類の太陽電池や破損､粉砕された太陽電池モジュール等のリサイクル等の関連技術の開発を行う。また、リユース及び補修回収技術の開発並びに安全性等評価を行い、そのための基準を定める。更に、ＬＣＡ評価として、これまでの評価の見直しとリサイクル等の廃棄処理まで考慮した評価を実施する。

なお、必要に応じ環境関連技術、低コスト化技術、高効率化技術等について問題抽出や課題解決のための方向性検討・調査等を行う。

ⅳ）共通材料・部材・機器及びシステム関連技術開発

結晶シリコン、薄膜シリコン、ＣＩＳ等化合物系太陽電池等の各種太陽電池に適用でき、コスト低減（省プロセス化、信頼性向上）、高効率化が見込める共通材料、部材・機器及びシステム関連技術の開発を行う。

ⅴ）標準化支援事業及びＩＥＡ国際協力事業等

標準化調査研究において､太陽電池の性能評価及び太陽光発電システムに関する国内外の標準策定に向けた活動を行う。

諸外国の技術開発動向や政策動向等について、ＩＥＡ活動等から調査・分析し、諸外国の動向等を把握し、技術開発の方向性や分析・評価手法等について検討する。

３．達成目標

ⅰ）発電量評価技術の開発

イ）発電量評価

・スペクトルを含めた日射量のデータベースを構築する。
・地域の日射量・気象データから発電量を推定する技術を開発する。

ロ）太陽電池の評価技術

・実効性能評価技術：光照射効果（１年以上）を考慮した実効性能評価技術を確立する。
・高精度屋外性能評価技術の開発：測定再現性２％以内の評価方法を確立する。
・各種新型太陽電池評価技術：ＮＥＤＯの開発成果も含めて基礎データを収集、分析、評価し、必要に応じ規格化を図りつつ基本的評価手法を確立する。
・基準太陽電池校正技術：ＷＲＲファクター０．５％以内の構成技術を確立する。
・絶対分光感度法による一次基準セルの校正技術：校正の不確かさ０．５％以内の構成技術を確立する。
・二次基準モジュールの校正精度：校正の不確かさ１．０％以内を達成する。

ⅱ）信頼性及び寿命評価技術の開発

２０～３０年の屋外曝露に相当する屋内での寿命評価試験方法等について、モジュール及びシステムとして基本的な評価技術を開発し､規格化に向けた技術要件を整理する。

また､工程管理で信頼性確保を判定できる方法を確立し､簡易に寿命を判定できる方法を確立する。

さらに､モジュールやシステムの屋外曝露試験を行い、電気的物理的な劣化状況に

関するデータを収集、分析、評価等を行うとともに、システムも含めた劣化要因について抽出する。

ⅲ）リサイクル・リユース技術の開発

新たな種類の太陽電池にも対応したリサイクル関連技術を確立する。

また、リユース及び補修回収技術の開発並びに安全性等の評価を行い、そのための基準を定める。

さらに、ＬＣＡ評価の見直しを行い、新型太陽電池の廃棄を含めたＬＣＡ評価を完了する。

ⅳ）共通材料・部材・機器及びシステム関連技術開発

具体的な開発目標及び実施内容は､採択テーマごとにＮＥＤＯと実施者との間で協議の上個別に設定することとする。

ⅴ）ＩＥＡ国際協力事業及び標準化支援事業等

・ＩＥＣ・ＪＩＳに係る標準化活動を行う。

・諸外国の技術動向や政策動向等を調査・分析し、諸外国の動向を把握した上で、技術開発の方向性や、分析・評価手法の開発方針等を明確にする。

〔研究開発の実施方法〕

（１）研究開発の実施体制

本研究開発は、ＮＥＤＯが単独ないし複数の原則本邦の企業、大学等（原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別な研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点から国外企業との連携が必要な場合はこの限りでない。）から公募によって選定した研究開発実施者（又は研究開発グループ）が、ＮＥＤＯが委嘱したプロジェクトリーダーである豊田工業大学大学院工学研究科　特任教授　山口　真史氏（（イ）から（ホ））、東京工業大学統合研究院　特任教授　黒川　浩助氏（（ヘ））の下で、それぞれの研究テーマの目標達成を実現すべく研究開発を実施する。

（２）研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するＮＥＤＯは、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、太陽光発電技術委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、四半期に一回程度プロジェクトリーダー等を通じてプロジェクトの進捗について報告を受けること等を行う。

本プロジェクトへの参加者は、これらのＮＥＤＯのマネジメントに従い、我が国政府が打ち出した目標（太陽光発電の導入規模を２０２０年に現状の２０倍（２８ＧＷ）、２０３０年に４０倍（５３ＧＷ）にする）の達成に必要な取り組みに協力するものとする。

〔評価に関する事項〕

ＮＥＤＯは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義及び将来の産業への波及効果等について、外部有識者による中間評価を平成２４年度、事後評価を平成２７年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等適宜見直すものとする。

〔その他重要事項〕

・若手研究者の育成を図るため、学生等の研究参加を促進する環境を整備する。
・産業界が実施する研究開発との間で共同研究を行う等、密接な連携を図ることにより、円滑な技術移転を促進する。

研究開発項目③「有機系太陽電池実用化先導技術開発」

１．研究開発の必要性

ＮＥＤＯは、太陽光発電の普及拡大に向けて技術開発等に取り組んでいるところであるが、取り組みの１つとして、製造原価を安く、軽量に作製することができ、かつ、設置場所の制約の少ない有機系太陽電池の要素技術開発を行っている。

有機系太陽電池は、これまでの技術開発の成果等により、実用化が間近な状況に到達しつつあるが、この成果を事業化につなげるためには、有機系太陽電池を実際の使用環境下で実証し、実用化に向けた課題の改善を図っていく必要がある。

２．目的

有機系太陽電池を使用した太陽光発電システムの設計・試作を行い、その性能や品質を実証・評価し、実用化に向けた課題を抽出し、技術開発にフィードバックすることにより、有機系太陽電池の実用化を促進する。

３．研究開発の具体的内容

有機系太陽電池を使用した太陽光発電システムを設計・試作・設置し、実使用環境下で発電量・耐久性等を実証・評価することで、実用化に向けた開発課題を抽出し、実用化検討にフィードバックする。また、実証試験の結果得られるデータの課題分析については、ＮＥＤＯは実証試験課題検討委員会を設置し、当該委員会で実証データを分析・課題抽出を行い、対策検討に至るまで支援する。さらに、本実証研究を通じ、有機系太陽電池の市場要件（コスト・発電量・設置条件・耐久性・信頼性・デザイン等）を把握し、用途開拓を行う。

なお、本事業では、公募によって高い技術力を有し、かつ、将来の事業化を企図する企業等を助成事業者として選定し、最適な研究開発体制を構築する。

４．達成目標

有機系太陽電池の実用化に向けた具体的な開発課題を抽出し、技術開発にフィードバックすることに加え、ユーザーが求める市場要件を明確にし、用途拡大のシナリオを明らかにする。

５．評価の時期及び方法

ＮＥＤＯは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義及び将来の産業への波及効果等について、外部有識者による事後評価を平成２７年度に実施する。また、研究の進捗状況を踏まえ必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等適宜見直すものとする。

事前評価書

作成日	平成２２年１月２９日

１．事業名称	新エネルギー技術研究開発 －太陽光発電システム次世代高性能技術の開発－
２．推進部署名	新エネルギー技術開発部
３．事業概要	（１）概要：我が国に於ける太陽光発電導入規模を抜本的に加速し、2020 年に現状の 20 倍、2030 年に 40 倍に拡大させるために、モジュール高効率化およびコスト低減の観点から、各種太陽電池の要素技術の確立、横断的な材料開発および周辺技術の開発を行う。 （２）事業規模：総事業費約 282.5 億円（予定） （３）事業期間：平成 22 年度～26 年度（5 年間）

４．評価の検討状況

（１） 事業の位置付け・必要性

モジュール高効率化およびコスト低減の観点に基づく各種太陽電池の要素技術の確立、横断的な材料開発および周辺技術の開発を実施することにより、低炭素社会の実現のため我が国政府が打ち出した太陽光発電の導入規模を2020年頃に現状の20倍、2030年に40倍に拡大させる目標達成に寄与する。政策において、「クールアース50」における2050年のＧＨＧ排出量の大幅削減目標の達成に向け策定された「Cool Earth-エネルギー革新技術計画」（平成20年3月経済産業省）で、重点的に取り組むべき２１のエネルギー革新的技術が選定されている。太陽光発電関係では、革新的太陽光発電技術が取り上げられており、ロードマップに記載の2050年での変換効率や発電コストに係る目標達成のためにNEDO長期テーマ「革新的太陽光発電技術研究開発」を現在実行中である。しかしながら、導入量を2020年で現状の20倍以上にするという近未来の目標達成のためには、より短納期で中・長期的な視点に立った研究開発を通して、その成果を反映させた商品を2020年には確実に市場へ送り出し、導入目標達成に貢献させる必要がある。

以上のことから、本事業の位置づけは妥当であり、必要性も十分と判断できる。

（２）研究開発目標の妥当性

本事業では、2014 年度（平成 26 年度）末に、各太陽電池の研究分野において下記の目標を達成することを目的としている。

○結晶シリコン系

厚さ 100μm 程度のセル変換効率 25%以上(15cm 角程度)、モジュール変換効率 20%以上（１～１．５ｃｍ^{2}程度)。高品位シリコンのキャリア寿命 400μsec 以上、純度 7N 以上

○薄膜シリコン系

モジュール変換効率 14%以上（30cm×40cm 基板程度、２接合以上、安定化効率)。製膜速度 2.5nm/sec 以上、膜厚分布±5%以下（幅 1m 以上の基板）

○ＣＩＳ・化合物系

変換効率　サブモジュール(30cm 角程度)で 18%以上、小面積セル（１ｃｍ角程度）で 25%以上。低コスト製造プロセスによるサンプル出荷。モデルシステム建設及び評価。

○色素増感系

セル変換効率 15%以上（1㎝ 角程度、安定化効率） 、モジュール変換効率 10%以上（30㎝ 角程度、安定化効率） 、相対効率低下 10%以内

○有機薄膜系

セル変換効率 12%以上（1㎝ 角程度、安定化効率） 、モジュール変換効率 10%以上（30㎝ 角程度、安定化効率） 、相対効率低下 10%以内

○共通基盤

高精度屋外性能評価技術、基準太陽電池校正技術、日射量データベース構築、寿命評価試験方法の構築等

これらの技術目標は「太陽光発電ロードマップ（ＰＶ２０３０＋）」をベースに「太陽光発電技術委員会」（２０１０年１月）における議論を踏まえて設定している。

以上から、研究開発目標は妥当である。

（３）研究開発マネジメント

○次世代基幹技術（委託）

・事業期間は、原則5年間とするものの、3年目に中間評価を実施して、当初採択案件のうち最終目標への到達度が速いプロジェクトについては、その時点で研究開発を中止し量産化・製品化技術開発のフェーズに移行する。

・集中研究方式を採用し、100%委託事業として産学連携により製品化の出口を明確化した研究開発推進を図る。但し、企業単独の持ち帰り研究提案も採択の可能性があり、その場合は2/3共同研究とする。

○実用化開発

事業期間は、原則5年間とするものの、3年目に中間評価を実施して、当初採択案件のうち最終目標への到達度が早いプロジェクトについては、その時点で研究開発を中止し量産化・製品化技術開発のフェーズに移行する。

・企業の持ち帰り研究を想定し、形態としては原則2/3共同研究とする。但し、大学・国研と企業とのコンソーシアム形態での提案も採択の可能性があり、その場合は100%委託事業とする。

○全体

・3 年目の中間評価の時点で、追加公募も検討する。

・技術開発の過程で新たに発生した課題にも対応できるように、柔軟な公募を行うことが必要。

・提案者には、出口イメージと商品化の具体的スケジュールを明確に提案させることが必要。

以上のように、必要に応じてプロジェクトの加速・縮小・中止等の見直しが可能な弾力的対応が図られている。

（４）研究開発成果

株式会社富士経済「2009年版 太陽電池関連技術・市場の現状と将来展望」によると、2020年度における市場規模は、すべての太陽電池を合計して10兆6,021億円となっている。また、2020年に現状の20倍の導入量という目標達成に貢献することで、地球温暖化防止にも資することが期待される。

以上から、本事業での研究成果が寄与する製品・事業の市場規模は大きく、経済効果、地球温暖化防止効果への期待は大きい。
（５）実用化・事業化の見通し 製品が既に上市されている結晶Siと薄膜Si、CISについては更に高性能・低コストな製品を開発する。また基礎研究領域が大きい色素増感・有機薄膜についても、本研究の成果を反映することで、2020年には確実に製品を市場に送り出すことが期待できる。
（６）その他特記事項 なし
５．総合評価
「2020年に太陽光発電導入量を現状の20倍にする」との目標達成は極めて有意義であり、Cool Earth-エネルギー革新技術計画の実現に大いに貢献することが期待される。しかしながら、市場化にいたるまでには、製品性能向上と、低コスト化のための要素技術開発が必要である。この実現には、多くの時間を要するとともに、不確定要素が多い。 本事業はそれら取り組みを効率的・効果的に推進するものであり、ＮＥＤＯが実施する意義は極めて高い。

「新エネルギー技術研究開発－太陽光発電システム次世代高性能技術の開発－」基本計画（案）に対する
パブリックコメント募集の結果について

平成 22 年 3 月 31 日
NEDO
新エネルギー技術開発部

NEDO POST 3 において標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。
みなさまからのご協力を頂き、ありがとうございました。
なお、本プロジェクトの基本計画上の名称は、「太陽エネルギー技術研究開発－太陽光発電システム次世代高性能技術の開発－」に変更しております。

1. パブリックコメント募集期間
　　平成 22 年 2 月 16 日～平成 22 年 2 月 28 日
2. パブリックコメント投稿数＜有効のもの＞
　　計 4 件
3. パブリックコメントの内容とそれに対する考え方

ご意見の概要	ご意見に対する考え方	基本計画への反映
全体について		
[意見 1]（1 件） 太陽光発電の本格的普及のためには、国プロとして NEDO による推進が望ましい。	貴重なご意見ありがとうございます。 ご意見の通り、本プロジェクトは NEDO 主導による国プロとして推進します。	特になし。
1. 研究開発の目的 (3)研究開発の内容		
[意見 2]（1 件） 安価で安定調達が可能なシリカ鉱物から直接シリコン原料を製造する技術の開発は重要であり、当該項目を研究課題として言及しているのは心強い。	基本計画の主旨にご賛同いただき、ありがとうございます。 基本計画に記載の通り、研究課題の一つとしてシリコン原料製造技術の開発を推進します。	特になし。
[意見 3]（1 件） 「CIGS 軽量基板を用いた低コスト製造プロセス」は、非常に価値のあるテーマだと思う。	基本計画の主旨にご賛同いただき、ありがとうございます。 基本計画に記載の通り、研究課題の一つとして CIS 系低コスト製造プロセスの開発を推進します。	特になし。

ご意見の概要	ご意見に対する考え方	基本計画への反映
2. 研究開発の実施方式 (1)研究開発の実施体制		
[意見 4]（2 件） 大学等を拠点とした「産官学」共同で推進して欲しい。	貴重なご意見ありがとうございます。 ご意見の通り、本プロジェクトでは、原則、大学等を中心とした産官学連携体制で臨む方針です。	特になし。
(2)研究開発の運営管理		
[意見 5]（1 件） プロジェクト間の更なる連携の強化、継続的な委員会・各種部会の立ち上げが重要である。	貴重なご意見ありがとうございます。 本プロジェクトでは、太陽光発電技術委員会や各テーマ進捗報告会等を年度内に複数回開催し、有識者の意見をプロジェクト運営に反映させる予定です。	特になし。

以上

資料５－２

「太陽エネルギー技術研究開発／有機系太陽電池実用化先導技術開発」

事業原簿
【公開】

担当部	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー部

—目次—

概　要
プロジェクト用語集

Ⅰ. 事業の位置付け・必要性について
1.　NEDOの関与の必要性・制度への適合性・・Ⅰ-1[1]
　1.1　NEDOが関与することの意義
　1.2　実施の効果（費用対効果）
2.　事業の背景・目的・位置づけ・・Ⅰ-2 [1]

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて
1.　事業の目標・・・Ⅱ-1 [1]
2.　事業の計画内容・・Ⅱ-2 [1]
　2.1 研究開発の内容
　2.2 研究開発の実施体制
　2.3 研究開発の運営管理
3.　情勢変化への対応・・・Ⅱ-3 [1]

Ⅲ. 委託テーマの成果詳細と実用化・事業化の見通し
1. 事業全体の成果・・・Ⅲ-1-[1]
2. 研究開発項目毎の成果と実用化・事業化見通し
　A プラスチック色素増感太陽電池の実用性検証
　　1. 成果詳細・・・Ⅲ-2-A-1 [1]
　　2. 実用化・事業化見通し・・・Ⅲ-2-A-2 [1]
　　3. 波及効果・・・Ⅲ-2-A-3 [1]
　　4. 今後の展開・・Ⅲ-2-A-4 [1]
　　5. 論文・特許・学会発表等・・・Ⅲ-2-A-5 [1]
　B プラスチック基板 DSC 発電システムの開発
　　1. 成果詳細・・・Ⅲ-2-B-1 [1]
　　2. 実用化・事業化見通し・・・Ⅲ-2-B-2 [1]
　　3. 波及効果・・・Ⅲ-2-B-3 [1]
　　4. 今後の展開・・Ⅲ-2-B-4 [1]
　　5. 論文・特許・学会発表等・・・Ⅲ-2-B-5 [1]
　C 色素増感太陽電池実証実験プロジェクト
　　1. 成果詳細・・・Ⅲ-2-C-1 [1]
　　2. 実用化・事業化見通し・・・Ⅲ-2-C-2 [1]
　　3. 波及効果・・・Ⅲ-2-C-3 [1]
　　4. 今後の展開・・Ⅲ-2-C-4 [1]
　　5. 論文・特許・学会発表等・・・Ⅲ-2-C-5 [1]

D　色素増感太陽電池モジュールの実証評価
D1　シャープ株式会社
1.　成果詳細・・・Ⅲ-2-D1-1　[1]
2.　実用化・事業化見通し・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・Ⅲ-2-D1-2　[1]
3.　波及効果・・・Ⅲ-2-D1-3　[1]
4.　今後の展開・・・Ⅲ-2-D1-4　[1]
5.　論文・特許・学会発表等・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・Ⅲ-2-D1-5　[1]
D2　株式会社フジクラ
1.　成果詳細・・・Ⅲ-2-D2-1　[1]
2.　実用化・事業化見通し・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・Ⅲ-2-D2-2　[1]
3.　波及効果・・・Ⅲ-2-D2-3　[1]
4.　今後の展開・・Ⅲ-2-D2-4　[1]
5.　論文・特許・学会発表等・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・Ⅲ-2-D2-5　[1]
E　有機薄膜太陽電池の生産プロセス技術開発及び実証化検討
1.　成果詳細・・・Ⅲ-2-E-1　[1]
2.　実用化・事業化見通し・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・Ⅲ-2-E-2　[1]
3.　波及効果・・・Ⅲ-2-E-3　[1]
4.　今後の展開・・・Ⅲ-2-E-4　[1]
5.　論文・特許・学会発表等・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・Ⅲ-2-E-5　[1]

（添付資料）
・プロジェクト基本計画
・事前評価関連資料（事前評価書、パブリックコメント募集の結果）

概　要

作成日	平成 27 年 11 月 6 日

プログラム名	エネルギーイノベーションプログラム		
ﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄ名	太陽エネルギー技術開発 有機系太陽電池実用化先導技術開発	ﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄ番号	P07015
担当推進部	新エネルギー部		
O. 事業の概要	本事業では、低炭素社会の実現のため我が国政府が打ち出した目標（2009 年 4 月 9 日内閣総理大臣講演）（太陽光発電の導入規模を 2020 年に現状の 20 倍（26GW）、2030 年に 40 倍（53GW）にする）の達成に資する研究開発として、有機系太陽電池を使用した太陽光発電システムの設計・試作を行い、その性能や品質を実証・評価し、実用化に向けた課題を抽出し、技術開発にフィードバックすることにより、有機系太陽電池の実用化を促進する。具体的には以下のテーマを実施する。 A プラスチック色素増感太陽電池の実用性検証 B プラスチック基板 DSC 発電システムの開発 C 色素増感太陽電池実証実験プロジェクト D 色素増感太陽電池モジュールの実証評価 E 有機薄膜太陽電池の生産プロセス技術開発及び実証化検討		
Ⅰ. 事業の位置付け・必要性について	環境と調和した健全な経済産業活動と安全・安心な国民生活の実現を図るため、クリーンエネルギーである太陽光発電の更なる普及が待望されている。太陽光発電の更なる普及を実現するためには、これまでに蓄積した技術の更なる高効率化、共通基盤技術の発展及び低コスト化を可能とする革新的技術の開発が不可欠である。平成 20 年 4 月、社会の共通基盤として太陽光発電に係る情報の整備・提供を通じて、行政・産業界・地域社会等の関係各界で科学的知見に基づく認識の醸成を図ることを目的に、エネルギーイノベーションプログラムが制定された。NEDO はこの基本計画に基づき「太陽エネルギー技術研究開発」を計画。この研究開発は平成 20 年に開始された「革新的太陽光発電技術研究開発」、平成 22 年度に開始された「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」及び平成 24 年度に開始された本プロジェクトである「有機系太陽電池実用化先導技術開発」の 3 つのプロジェクトからなる。「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」では設置場所の制約の少ない有機系太陽電池の要素技術開発が行われたが、有機系太陽電池はこのプロジェクトを含めたこれまでの技術開発等の成果により、実用化が間近な状況に到達するに至った。本プロジェクトはさらにこの成果を事業化につなげるべく、有機系太陽電池を実際の使用環境下で実証し、実用化に向けた課題の改善を図ることを目的として実施された。		

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

事業の目標	本プロジェクトは有機系太陽電池を使用した太陽光発電システムの設計・試作を行い、その性能や品質を実証・評価し、実用化に向けた課題を抽出し、技術開発にフィードバックすることにより、有機系太陽電池の実用化を促進する。				
事業の計画内容	主な実施事項	H24fy	H25fy	H26fy	
	プラスチック色素増感太陽電池の実用性検証	←	—	→	
	プラスチック基板 DSC 発電システムの開発	←	—	→	
	色素増感太陽電池実証実験プロジェクト	←	—	→	
	色素増感太陽電池モジュールの実証評価	←	—	→	
	有機薄膜太陽電池の生産プロセス技術開発及び実証化検討	←	—	→	
開発予算 （会計・勘定別に事業費の実績額を記載）（単位：百万円） 契約種類：助成 負担率（2/3）	会計・勘定	H24fy	H25fy	H26fy	総額
	予算額（NEDO 負担額）	636.6	1,089.3	881.7	2,607.6

開発体制	経産省担当原課	資源エネルギー庁　省エネルギー・新エネルギー部　新エネルギー対策課	
	助成先、委託先	太陽誘電（株）［（株）NTTファシリティーズ総合研究所］ ビフレステック（株） 日立造船（株）［日造精密研磨（株）、ペクセル・テクノロジーズ（株）］ 日本写真印刷（株）［島根県産業技術センター］ シャープ（株　）［（国）東京大学、富士フイルム（株）、メルク（株）］ （株）フジクラ［（国）東京大学］ 三菱化学（株）	
情勢変化への対応	産総研九州センターでの実証試験では、屋外では屋内での耐久性試験で予測された以上にモジュールの劣化が早く、耐久性に課題が多いことがわかった。劣化したモジュールは適宜モジュール構造を改善したものに交換し、試験を継続することで実用化への課題改善に役立てた。		
評価に関する事項	事前評価	事前評価　平成 23 年度　　担当部　新エネルギー技術開発部	
	事後評価	事後評価　平成 27 年度予定　　担当部　新エネルギー部	
Ⅲ．研究開発成果について	各テーマで固有の太陽電池、アプリケーションに対し製造、設置、実証試験を行い、実用化に向けた課題抽出、及び改善を行った。産総研九州センターで行った屋外の電力用途としての実証ではその耐久性に課題があるメーカーも多くあった。色素増感太陽電池の特徴を活かした屋外低照度、ビニールハウスでのソーラーシェアリング、意匠性に対する実証試験を通し、各社個別に実用化に向けた方向性を得ることができた。		
（特許・論文等について件数を記載）	H24-H27 年度（7 月末まで）において 特許出願 9 件、研究発表 8 件、新聞・雑誌 48 件、受賞 4 件、展示会 26 件		
Ⅳ．実用化の見通しについて	【太陽誘電、ビフレステック】 住宅向けもしくは太陽光発電所向けといった比較的大きな規模では太陽光発電の安定稼働が必須なため、定期的なセル交換が低コストでできる様な仕組み、パネルや架台及びサービスの開発が不可欠であり、実用化・事業化が困難なことが分かった。例えば、解体・移動を前提とするテントや仮設住宅や未電化地域の住宅には、軽量・収納性・可搬性が高い本技術はマッチすると考えられるため、実用化に向けた検討を行う。 【日立造船】 本助成事業の中で商業施設の屋内設置用途で、実用化の可能性を見出した。ユーザとして D 社の協力のもと試験的に構築された模擬店舗で実証試験を H27 年 2 月から行ない、実環境下（に近い模擬環境）で要件の把握と問題点に対するフィードバックを行っている。 【日本写真印刷】 色素増感太陽電池が低照度環境下でアモルファスシリコン太陽電池より高い発電能力を発揮するなど、他方式の太陽電池と差別化できる機能を重視したアプリケーションとして、無線・センサ用電源、デザインランタンの製品化を検討している。無線・センサ用電源は、例えば橋等の構造物の劣化をリアルタイムに計測・管理するセンサや、精度良くこまめな室内の照明、温度の管理するセンサの電源用途など、建設、IoT 関連分野での適用を目指す。また、デザインランタンは山間部などでも利用できるランタン、誘導灯などエクステリア分野での適用を目指す。 【シャープ】 色素増感太陽電池の変換効率が光入射角に依存せず、散乱光に対しても高い発電効率を示す特長を活かし、ビル壁面やマンションのベランダへ傾斜角 90 度で設置（壁面設置）する用途が新規市場として挙げられる。また、低光量下においても開放電圧の低下が少なく、効率良く発電できる特長を活かし、屋内で使用する環境センサ用電源などが新規市場として考えられる。 【フジクラ】 DSC 実用化の入り口としてエネルギーハーベスティング（環境発電）の分野、次のステップとして BIPV など屋外の日射制限のある場所での発電用途への適用を考えており、展示会における市場へのアピールや、既存営業ネットワークなどを活用して屋外用途への DSC 顧客の探索を進めている。 【三菱化学】 プレ・マーケティングとして、既存太陽電池の置き換えのみならず、設置多様化、エネルギーの地産、地消に貢献する多種多様な用途を考慮したサンプルを作成し、用途展開が期待できる各方面で評価を行っている。また、実証実験にて有機太陽電池の優位性などを検証し、有機太陽電池の特長を把握、商品としての性能、信頼性などの諸特性の向上を検討中である。一方、安価に量産できるための製造設備の設計検討も同時並行で検討している。今後の省エネ社会、地産エネルギー社会の実現に貢献する省エネビルや ZEB 本格化前/後の既築物件に対応できる太陽電池として事業化を推進していく。		

Ⅴ．基本計画に関する事項	作成時期	平成 23 年 3 月制定
	変更履歴	なし

プロジェクト用語集

用語（日本語）	用語（英語）	説明
1sun	1sun	AM1.5 の太陽光スペクトルにて入射光強度が 1000 W/m^{2}の条件を指す
AIPV	Automotive Integrated Photovoltaic's	自動車用太陽電池
a-Si 太陽電池	Amorphous silicon Solar Cell	原子配列に結晶性を持たないアモルファスシリコンを光吸収層に用いた太陽電池。
BIPV(建材一体型太陽光発電)	Building-integrated photovoltaics	太陽電池モジュールが建物の一部分を構成して、従来の建築材料の機能を担っていること。
CIGS 太陽電池	Copper Indium Gallium Selenium Cell	銅、インジウム、ガリウム、セレン他による化合物を光吸収層とした太陽電池
DSC (DSSC)	Dye sensitized solar cell	色素増感太陽電池
FF	Fill Factor	曲線因子：「最大出力／（開放電圧＊短絡電流）」この値が大きいほど太陽電池の内部損失が小さく性能が優れている
FEM シミュレーション	Finite Element Method	有限要素法（ゆうげんようそほう）：数値解析手法の一つで解析的に解くことが難しい微分方程式の近似解を数値的に得る方法の一つ。方程式が定義された領域を小領域（要素）に分割し、各小領域における方程式を比較的単純で共通な補間関数で近似する。
FIT	Feed-in Tariff	固定価格買取制度：エネルギーの買い取り価格（タリフ）を法律で定める方式の助成制度。
HOMO	HighestOccupied Molecular Orbital	基底状態において電子をみたされている軌道（占有軌道）の内、エネルギーの最も高い電子軌道。
IoT	Internet of Things	コンピュータなどの情報・通信機器だけでなく、世の中に存在する様々な物体（モノ）に通信機能を持たせ、インターネットに接続したり、相互に通信することにより、自動認識や自動制御、遠隔計測などを行うこと
IPCE	Incident photons to current conversion efficiency	ある波長において、入射したうちの電子へ変換された光子数の割合を百分率（%）で表したもの。
JA	Japan Agricultural Cooperatives	全国農業協同組合連合会
JICA	Japan International Cooperation Agency	独立行政法人国際協力機構:政府開発援助の実施機関として、対象地域や対象国、開発援助の課題などについての調査や研究、JICA が行う ODA 事業の計画策定、国際協力の現場での活動を行う人材の確保や派遣、事業管理、事業評価などの役割を担っている。
JIS 規格 C8938 の環境試験、耐久性試験	Environmental and endurance test methods for amorphous solar cell modules	アモルファス太陽電池モジュールの環境、耐久性試験に関する JIS 規格。 本研究開発では下記 3 項目の試験を適用し、変換効率の低下を評価する。 温湿度サイクル（A2）：温度範囲：-40℃～85℃85%RH、 サイクル数 10cycle 光照射（A5）：照度 255W/m2 波長：300－700nm 500 時間 耐湿性（B2）：85℃85％RH 1000 時間
LUMO	Lowest Unoccupied Molecular Orbital	基底状態において電子を満たしていない（否占有軌道）の内、エネルギーの最も低い未占有の軌道。
MPPT	Maximum Power Point Tracking	太陽光発電で使用するソーラーパネルに搭載されている、出力を最大化できる最適な電流×電圧の値（最大電力点あるいは最適動作点）を自動で求めることができる制御装置
OPV	Organic Photovoltaics	有機薄膜太陽電池
PCS	Power Conditioning System	パワーコンディショナー：太陽光パネルで発電した直流電流を、家電で一般的に使われる交流電流に変換する装置
Pmax	Pmax	太陽電池の動作曲線上において，電力が最も大きくなる点での電力.

用語（日本語）	用語（英語）	説明
QC 手法	Quality Control	品質管理：品質保証行為の一部をなすもので、部品やシステムが決められた要求を満たしていることを、前もって確認するための行為
TCO	Transparent Conductibe Oxide	透明導電膜と呼ばれる。フッ素添加された酸化錫や酸化インジウム錫、酸化亜鉛などが良く用いられる。太陽電池の光入射側に用いて光を透過させながら電流を外部に取り出すのに必要な材料である。
ZEB	Zero Energy Building	建物内におけるエネルギー消費量を、建築物・設備の省エネ性能の向上、エネルギーの面的利用、オンサイトでの再生可能エネルギーの活用等により削減し、年間のエネルギー消費量がゼロ又は概ねゼロとなる建築物
アモルファスシリコン	Amorphous silicon	シリコンを主成分とし，原子配列に結晶性を持たない固体半導体. 真空蒸着法などにより非常に薄い半導体膜を形成可能. 半導体膜形成時の条件を変えることで pn 接合を作製することができる.
アレイ	array	ストリングを並列接続したもの。
イオン液体	Ionic liquid	室温付近で液体を呈すイオンのみからなる溶融塩のことであり、極低蒸気圧、不揮発性、不燃性、低熱膨張係数の特徴があることから液体を含むデバイスである色素増感太陽電池の信頼性向上の切り札として期待されている。
エアマス (AM)	Air mass (AM)	地球大気に入射した太陽光直達光が通過した路程の長さ。標準状態の大気圧(標準気圧:1013hPa)に垂直に 入射した太陽直達光が通過した路程の長さを AM1.0 として、それに対する倍率で表す。
エネルギーハーベスティング(環境発電)	Energy harvesting	光・電波・温度など周りの環境から微小なエネルギーを「収穫（ハーベスティング）」して、発電する技術
エンジニアリングプラスチック	Engineering Plastic	耐熱性・強度に優れるプラスチックの総称。
カバーガラス	cover glass	太陽電池モジュールの受光面側に用いる厚さ数 mm 程度のガラス。一般的には白板強化ガラスを用いる。
キラーアプリ	Killer apprication	ある機器の売上を急激に伸ばすだけの魅力を持ったアプリケーション
グリッド・パリティ	Grid Parity	太陽光発電システムの発電コストが、既存の電力系統の電気料金と同等になること。
クロステープカット試験	Crosscut Test	塗装の重要な品質性能である密着性・付着性を調べる試験
サブモジュール	Submodule	集積構造を備えているがカバーガラス等による封止がされていない太陽電池、サーキット（Circuit）とも言う
サンシャインウエザー試験	Sunshine weather meter test	促進耐候性試験：太陽光・温度・湿度など屋内外の条件を人工的に再現し、製品や材料の劣化を促進させる試験
ストリング	string	モジュールを複数直列接続したもの。
スピンコート	Spin coating	塗布プロセスの１種類であり、平滑な基材を高速回転させる事により遠心力で薄膜を製膜する方式を言う。用いる装置は、スピンコーターと呼ぶ。
セル評価	test production of PV cell for wafer evaluation	太陽電池セルを試作してウエハの評価を行うこと
ソーラーシェアリング	Solar Sharing	地に支柱を立てて上部空間に太陽光発電設備等の発電設備を設置し、農業と発電事業を同時に行うこと。
バックシート	back sheet	太陽電池モジュールの裏面側に用いる高分子系シート。ポリエチレンテレフタレート（PET）をベースフイルムとするものが多く、PET フイルムをフッ素系の樹脂ではさんだものや、アルミニウム箔を PET フイルムではさんだものなどが用いられる。
バリア性	barrier property	物質の透過を阻止する能力。ここでは、水蒸気の透過を阻止する能力を指しており、水蒸気透過率が低いほど、バリア性が高い。
ヒートサイクル試験	Heat cycle test	試料を高温・低温環境下に繰り返しさらすことで、温度変化に対する試料の機械的・物理的特性の変化を観測する試験

用語（日本語）	用語（英語）	説明
ヒートショック試験	Heat shock test	各種材料・製品を高温・低温の気槽空間内に放置し、繰り返し温度変化を短時間に与えることにより、試験品の信頼性・耐久性を評価・確認する試験
ヘムス（HEMS）	Home energy management system	センサーや IT の技術を活用して家庭内のエネルギー管理を行うためのシステム
モジュール	Module	光入入射側はカバーガラス等を用いて封止された太陽電池
モジュール変換効率	module efficiency, η_{module}	モジュールの受光面に入った太陽光と発電された電力の割合
モノリシックモジュール	Monolithic module	１枚の基板上に太陽電池構成材料を層状に積層して作製したモジュール
ロールツーロールプロセス	Roll to Roll Process	材料フィルムをロールからロールへと連続的に供給し、印刷やラミネートを行うプロセス
安定化効率	stabilizing efficiency	アモルファス Si 太陽電池は光にあたると出力が低下するが、光を照射して出力が安定になったときの変換効率
温度サイクル試験	Thermal Cycle Test	本稿では IEC61215 に定められた、85℃と-45℃の温度変化を一定周期で一定回数与える試験。試験後の出力低下 5%以下であれば合格。
可視光下	Under visible light	照度 200Lx（光波長範囲 400～700nm での光エネルギー57.7μ W/cm^2）環境下
開放電圧（Voc）	Open circuit voltage	太陽電池セル・モジュールの出力端子を開放した時の両端子間の電圧。
過放電		放電終止電圧を超えて無理やり放電を続けること。電池の劣化や事故などに繋がる恐れがある。
許容角度	acceptance angle, α,	設計された太陽入射角での出力を 1 として、入射角がずれていった時に 0.9 まで出力が落ちる角度。
高温高湿試験	damp heat (DH) test	太陽電池モジュールの信頼性試験の一つ。一般的な条件は温度 85 ℃、湿度 85%である。認証試験では、1000 時間の試験後の性能低下が初期値の 5%以内であることを要件としている。
最大電力	Maximum power	太陽電池セル。モジュールの電流電圧特性曲線上で電流と電圧の積が最大になる点での電力
色素増感太陽電池	Dye sensitized solar cell	多孔質酸化チタン（TiO_2）膜に増感色素が吸着した光電極、ヨウ素を含む電解液、対極から構成される太陽電池であり、増感色素の光吸収励起から開始される電気化学的反応によって発電する。
正孔輸送層（HTL）	Hole transport layer	有機エレクトロルミネッセンス　参照
太陽光発電	Photovoltaic (PV)	太陽光のエネルギーを直接電気エネルギーに変換する発電方式。光電効果を利用した太陽電池を用いるのが一般的である。
太陽電池セル	Photovoltaic cell (Solar cell)	太陽光発電に用いる太陽電池の構成要素最小単位。
太陽電池モジュール	photovoltaic module	配線材を用いて複数の太陽電池セルを直列に接続し、ガラスや高分子部材を用いて封止したもの。太陽電池パネルともいう。
短絡電流（Jsc）	Short circuit current	太陽電池セル・モジュールの出力端子を短絡した時の両端子間に流れる電流。
直列接続	series-connection	複数の太陽電池を電気的に直列につなぐこと
電解液	electrolyte	電気化学的活物質を含む液体。
電子輸送層（ETL）	Electron transport layer	有機エレクトロルミネッセンス　参照
透明導電膜（TCO）	Transparent condutive layer	透光性（透過率：%T）と導電性（シート抵抗：Ω/□）とを兼ね備えた膜
変換効率（η）	Efficiency	最大電力を太陽電池セル・モジュール面積と放射照度との積で除した値。
有機系太陽電池	organic solar cell	有機半導体で pn 接合を形成する太陽電池。最近では効率も 10%を超え、早期の実用化が期待されているが、水蒸気浸入に弱いとの欠点もある。

Ⅰ．事業の位置づけ・必要性について

１．NEDOの関与の必要性・制度への適合性

1.1　NEDOが関与することの意義

環境と調和した健全な経済産業活動と安全・安心な国民生活の実現を図るため、クリーンエネルギーである太陽光発電の更なる普及が要望されている。太陽光発電の更なる普及を実現するためには、これまでに蓄積した技術の更なる高効率化、共通基盤技術の発展及び低コスト化を可能とする革新的技術の開発が不可欠である。本プロジェクトは、経済性・出力安定性といった課題を克服し、新エネルギー等の自律的な普及を図ることを目標とするエネルギーイノベーションプログラムの一環として実施する。

太陽光発電の急速な普及を背景に、海外においても、太陽光発電技術の開発が精力的に取り組まれており、太陽光発電ロードマップ（PV2030+）で示された技術課題の解決に向け、まさに、グローバルな開発競争となっている。我が国は太陽光発電の技術開発及びその導入量・生産量において長らく世界一を誇っていたが、欧州を中心に行われている導入普及政策により、市場の中心は欧州へと移り始めており、我が国の地位確立のためには、これまで以上の技術開発が必要となっている。このため、NEDO は、産学の科学的知見を結集して太陽光発電の技術開発を行い、これを産業技術へ繋げていくとともに、社会の共通基盤として情報の整備、提供を通じて、行政、産業界、地域住民等の間で科学的知見に基づいた正確かつ適切な認識の醸成を図ることを目的に、本プロジェクトを実施する。

1.2　実施の効果(費用対効果)

「太陽エネルギー技術研究開発　有機系太陽電池実用化先導技術開発」においては、有機系太陽電池を使用した太陽光発電システムを設計・試作・設置し、実使用環境下で発電量・耐久性等を実証・評価することで、実用化に向けた開発課題を抽出し、実用化検討にフィードバックする。また、本実証研究を通じ、有機系太陽電池の市場要件（コスト・発電量・設置条件・耐久性・信頼性・デザイン等）を把握し、用途開拓を行う。本事業の実施により、国内生産・雇用、輸出、内外ライセンス収入、国内生産波及・誘発効果、国民の利便性向上等、様々な形態を通じ、我が国の経済再生に貢献する。

２．事業の背景・目的・位置づけ

NEDOは、太陽光発電の普及拡大に向けて技術開発等に取り組んでいるところであるが、取り組みの１つとして、製造原価を安く、軽量に作製することができ、かつ、設置場所の制約の少ない有機系太陽電池の要素技術開発を行っている。

有機系太陽電池は、これまでの技術開発の成果等により、実用化が間近な状況に到達しつつあるが、この成果を事業化につなげるためには、有機系太陽電池を実際の使用環境下で実証し、実用化に向けた課題の改善を図っていく必要がある。本プロジェクトでは有機系太陽電池を使用した太陽光発電システムの設計・試作を行い、その性能や品質を実証・評価し、実用化に向けた課題を抽出し、技術開発にフィードバックすることにより、有機系太陽電池の実用化を促進する。

Ⅱ．研究開発マネジメントについて

１．事業の目標

(1) 研究開発の目的

有機太陽電池に係る日本企業の技術レベルは世界トップである。海外でも現時点で本格的な実証研究は行われておらず、本事業での日本市場開拓により世界展開も可能となる。太陽光発電の導入が拡大する中、安価で弱い光や浅い入射角でも発電能力が高い有機系太陽電池の特性を活かして、これまで導入が進んでいない新規用途の開拓を狙う。また、企業の商品化に向けた真剣な取り組みを促すため、NEDOは試作検証費用・実証費用を負担し、実施企業側に試作ラインの整備とシステムインテグレータ等との連携を求める。

(2) 研究開発の目標

太陽光発電システムを設計・試作・設置し、実使用環境下で発電量・耐久性等を実証・評価する。実用化に向けた開発課題を抽出し、技術開発等にフィードバックする。また、この実証研究を通じ、有機系太陽電池の市場要件（コスト・発電量・設置条件・耐久性・信頼性・デザイン等）を把握し、用途拡大のシナリオを明らかにすることを目的とする。

2010 年代半ばに、有機太陽電池の特性を活かせる用途（壁面、産業資材、独立電源、電子広告、等）が開拓される。その後、さらに高効率化・高耐久化に向けた技術開発が進められ、2020年代以降には、ルーフトップ市場等への展開が見込まれる。

１．システムインテグレーター、ユーザー企業（ハウスメーカー、ゼネコン、建築主等）との連携を通じ、市場要件を把握する。

２．材料・部材メーカとの連携により、調達コスト低減を進める。

３．実証試験の結果得られた分析データから、劣化・故障原因を特定し、信頼性のあるシステムにつなげる。

２．事業の計画内容

2.1　研究開発の内容

2.1.1　研究開発分野

有機系太陽電池の早期実用化に向け、以下を実施した。

◆太陽光発電システムを設計・試作・設置し、実使用環境下で発電量・耐久性等の実証・評価。

◆実証試験で抽出した課題を材料開発・製造技術開発へのフィードバック。

◆市場要件の把握と、用途開拓のシナリオの明確化。

2.1.2　研究開発テーマ

助成対象事業者は、単独ないし複数で助成を希望する本邦の企業、大学等の研究機関（原則、本邦の企業等で日本国内に研究開発拠点を有していることとし、この対象事業者から、e-Rad システムを用いた公募によって研究開発実施者を選定した。

助成対象事業は、基本計画に定められている研究開発計画の内、助成事業として定められている開発項目の実用化開発であること。また、助成対象事業終了後、本事業の実施により、国内生産・雇用、輸出、内外ライセンス収入、国内生産波及・誘発効果、国民の利便性向上等、様々な形態を通じ、我が国の経済再生に如何に貢献するかを考慮し、我が国産業の競争力強化及び新規産業創出・新規起業促進への貢献の大きな提案を選んだ。）

上記の指針のもと、以下のテーマ及び事業者を選定した。

プラスチック色素増感太陽電池の実用性検証（太陽誘電（株）、ビフレステック（株））
プラスチック基板ＤＳＣ発電システムの開発（日立造船（株））
色素増感太陽電池実証実験プロジェクト（日本写真印刷（株））
色素増感太陽電池モジュールの実証評価（シャープ（株）、（株）フジクラ）
有機薄膜太陽電池の生産プロセス技術開発および実証化検討（三菱化学（株））

2.1.3 交付額の推移

年度ごとの交付額（実績）の推移を表Ⅱ-2-1 に示す。

表　Ⅱ-2-1　　交付額（実績）の推移（単位：百万円）

分野＼年度	H24	H25	H26	総額
太陽誘電株式会社	78.8	200.6	182.3	461.7
ビフレステック株式会社	46.5	44.5	32.6	123.6
日立造船株式会社	84.0	112.7	124.2	320.9
日本写真印刷株式会社	94.3	133.3	55.0	282.5
シャープ株式会社	27.5	74.7	18.7	120.9
株式会社フジクラ	62.0	75.5	53.3	190.9
三菱化学株式会社	243.5	448.0	415.5	1,107.0
計　特別会計(需給勘定)	636.6	1,089.3	881.7	2,607.6

2.1.4 研究開発計画

研究開発項目「有機系太陽電池実用化先導技術開発」

１．研究開発の必要性

NEDOは、太陽光発電の普及拡大に向けて技術開発等に取り組んでいるところであるが、取り組みの１つとして、製造原価を安く、軽量に作製することができ、かつ、設置場所の制約の少ない有機系太陽電池の要素技術開発を行っている。

有機系太陽電池は、これまでの技術開発の成果等により、実用化が間近な状況に到達しつつあるが、この成果を事業化につなげるためには、有機系太陽電池を実際の使用環境下で実証し、実用化に向けた課題の改善を図っていく必要がある。

２．目的

有機系太陽電池を使用した太陽光発電システムの設計・試作を行い、その性能や品質を実証・評価し、実用化に向けた課題を抽出し、技術開発にフィードバックすることにより、有機系太陽電池の実用化を促進する。

３．研究開発の具体的内容

有機系太陽電池を使用した太陽光発電システムを設計・試作・設置し、実使用環境下で発電量・耐久性等を実証・評価することで、実用化に向けた開発課題を抽出し、実用化検討にフィードバックする。また、実証試験の結果得られるデータの課題分析については、NEDO は実証試験課題検討委員会を設置し、当該委員会で実証データを分析・課題抽出を行い、対策検討に至るまで支援する。さらに、本実証研究を通じ、有機系太陽電池の市場要件（コスト・発電量・設置条件・耐久性・信頼性・デザイン等）を把握し、用途開拓を行う。

なお、本事業では、公募によって高い技術力を有し、かつ、将来の事業化を企図する企業等を助成事業者として選定し、最適な研究開発体制を構築する。

４．達成目標

有機系太陽電池の実用化に向けた具体的な開発課題を抽出し、技術開発にフィードバックすることに加え、ユーザーが求める市場要件を明確にし、用途拡大のシナリオを明らかにする。

2.1.5 研究開発内容

研究開発テーマ、テーマ概要、最終目標は以下のとおり。

表　Ⅱ-2-2　研究開発テーマ

No.	開発期間	テーマ名	助成先	テーマ概要	最終目標	その他
1	H24～H26	プラスチック色素増感太陽電池の実用性検証	太陽誘電 ビフレステック	検証用 DSSC の試作ライン構築と DSSC パネル作製 DSSC パネル用の蓄電システムの構築	DSSC パネルの実証試験により課題抽出と課題解決検討を行う DSSC パネルを用いた蓄電システム検証を行い、課題を抽出する	
2	H24～H26	プラスチック基板 DSC 発電システムの開発	日立造船株式会社	・プラスチック基板色素増感太陽電池（以下 DSC）を使用した発電システムを構築し、実使用環境下で発電量・耐久性等の実証・評価を行なう。 ・実証試験により開発課題を抽出し、実用化に向けたフィードバックを行なう。 ・実用化検討を通じ、プラスチック基板 DSC の市場要件を把握し、用途開拓を行なう。	１．実用化に向けた開発課題の抽出 ■DSC 発電システムの設計、試作、設置 ■実使用環境下での発電量や耐久性の評価、分析 ２．用途開拓 ■プラスチック基板 DSC の市場要件の把握 ■用途見直し、他用途への展開など	
3	H24～H27	色素増感太陽電池実証実験プロジェクト	日本写真印刷株式会社	主に発電性能、耐久性、デザインに関する技術検証及びアプリケーションの有効性評価	色素増感太陽電池に適したアプリケーションを創出する	
4	H24～H26	色素増感太陽電池モジュールの実証評価 色素増感太陽電池モジュールの実証評価	シャープ株式会社	色素増感太陽電池モジュールの実使用環境下における発電量および信頼性の評価	色素増感太陽電池モジュールの屋外実証試験に加え、日射量制約のある条件での発電用としての実用化を視野に実証評価を行う。	
			フジクラ	色素増感太陽電池モジュールの実用化に向けて、実使用環境下における発電特性及び信頼性について評価する。通常の日射環境のみならず、色素増感太陽電池の特徴を活かせる運用条件の探索として、日射量制約のある環境での発電用途も視野に入れた評価を行う。併せて、試作プロセスの課題を明確化し、量産化に向けた製造技術の目処付けも行う。	・実用的サイズ・構造・安定性のモジュールパネルと、それにマッチした制御システムの設計・構築を行い、評価する。 ・試作プロセスの課題を明確化し、量産化に向けた製造技術を目処付ける。 ・通常の日射環境および日射量制限のある環境での発電特性及び信頼性について明らかにする。	
5	H24～H26	有機薄膜太陽電池の生産プロセス技術開発および実証化検討	三菱化学株式会社	有機薄膜太陽電池の大型試作を通じ生産技術を確立すると共に、試作モジュールを用いたシステム設計及び実証実験を行う。評価・解析結果は有機薄膜太陽電池開発にフィードバックさせる。	・太陽光発電システムの設計 ・太陽光発電システムの試作 ・太陽光発電システムの設置・施工 ・実使用環境下でのデータ収集・評価分析	

2.2 研究開発の実施体制

本研究開発を実施するための基本計画・実施方針については、平成 24 年 2 月に外部有識者による「有機系太陽電池実用化先導技術開発」事前評価委員会においてその方向性を審議し、平成 24 年 3 月に策定された。

本研究開発は、交付申請書の提出があった企業に対しその内容に対して審査を行い、NEDO が交付を決定した企業（以下、「助成事業者」という。）に対し研究費用の一部（研究費用の２／３）を交付することとした。

これまでに実施した公募状況は以下のとおりである。

（1） 平成 24 年度：「有機系太陽電池実用化先導技術開発」に関する公募

本プロジェクトはエネルギーイノベーションプログラム「太陽エネルギー技術研究開発」の一環として、太陽光発電ロードマップ（PV2030+）で示された 2020 年の発電コスト 14 円／kWh、2030 年の 7 円／kWh 達成のための技術課題の解決に向け、経済性・出力安定性といった課題を克服し、新エネルギー等の自律的な普及を図ることを目標としており、際研究拠点整備事業）〔委託事業〕」、平成 22 年より開始された「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発〔委託事業、共同研究事業（負担率：2／3)〕」に加える形で公募された。

平成 24 年 4 月 20 日から平成 24 年 5 月 28 日まで公募を行った結果、5 件の応募があり、6 月 18 日の外部専門家による採択審査委員会の結果を踏まえ、5 件（7 者）を助成候補先として決定した。

。

・公募期間：平成 24 年 4 月 20 日から平成 24 年 5 月 28 日

・審査項目・基準

i.提案内容は NEDO の定める基本計画の目的・目標に合致しているか。

ii.有機系太陽電池を使用した太陽光発電システムは技術的に優れているか（変換効率・耐久性・低コスト性・軽量性・意匠性等)。

iii.提案内容・研究計画は実現可能であるか。

iv.実証する場所と数は、用途開拓に資する設置環境であるか。

v.十分な量の有機系太陽電池を使用した太陽光発電システムの試作を計画しているか。

vi.実用化、事業化に向けたマネジメントが明確になっているか（実証試験で得られた課題のフィードバック方法、ユーザーとの連携を通じた市場要件の把握の方法等)。

vii.助成事業に係る企業化に対する具体的計画を有し、その実施に必要な能力を有しているか。国際競争力を有する技術・製品の創出が期待できるか。

viii.その他優位性のある提案をしているか（例示として、太陽光発電システムの低コスト化に向けた取り組み、産総研九州センターへの太陽光発電システムの提供、東日本大震災被災地域への貢献等)。

ix.有機系太陽電池を使用した太陽光発電システムの設計・試作・設置、実使用環境下でのデータの収集及び評価分析能力を有しているか。（共同提案の場合、各者の提案は相互補完的であるかを含む。）

x.総合評価

・審査委員会委員（敬称略）：

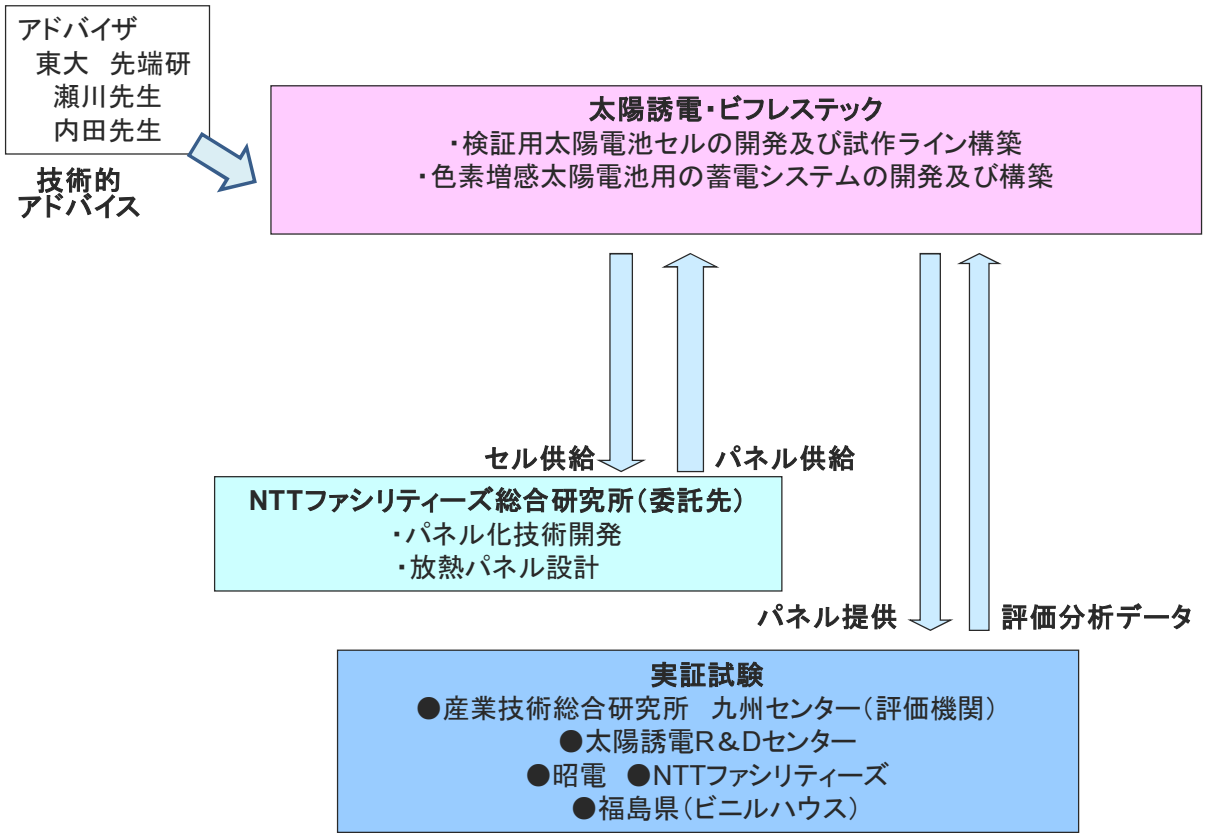
桑野　幸徳（太陽光発電技術研究組合）、藤平　正道（東京工業大学）、吉川　暹（京都大学）、小西　祥司（ネグロス電工）、石田　建一（積水ハウス）

・応募件数：5 件

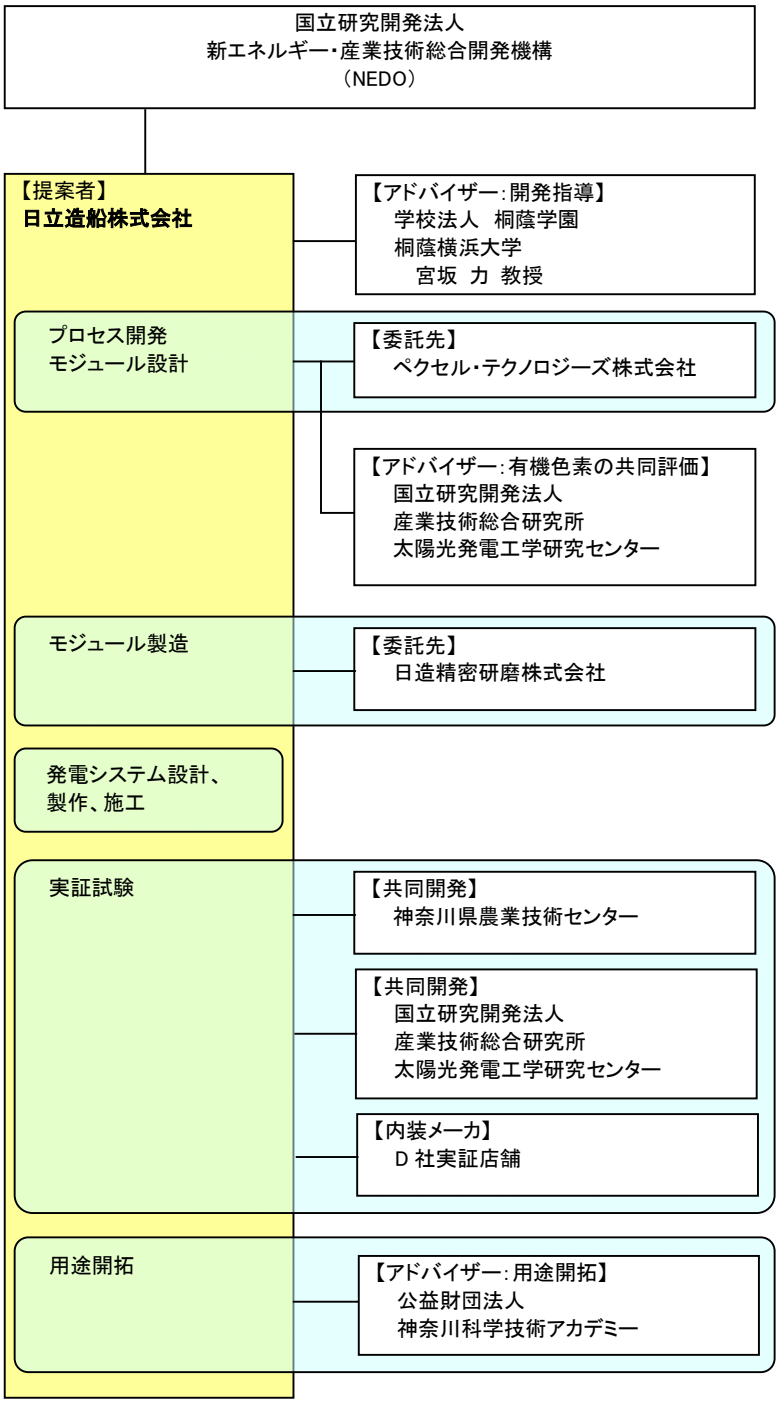
・採択件数：5 件

研究開発の実施体制を下図に示す。

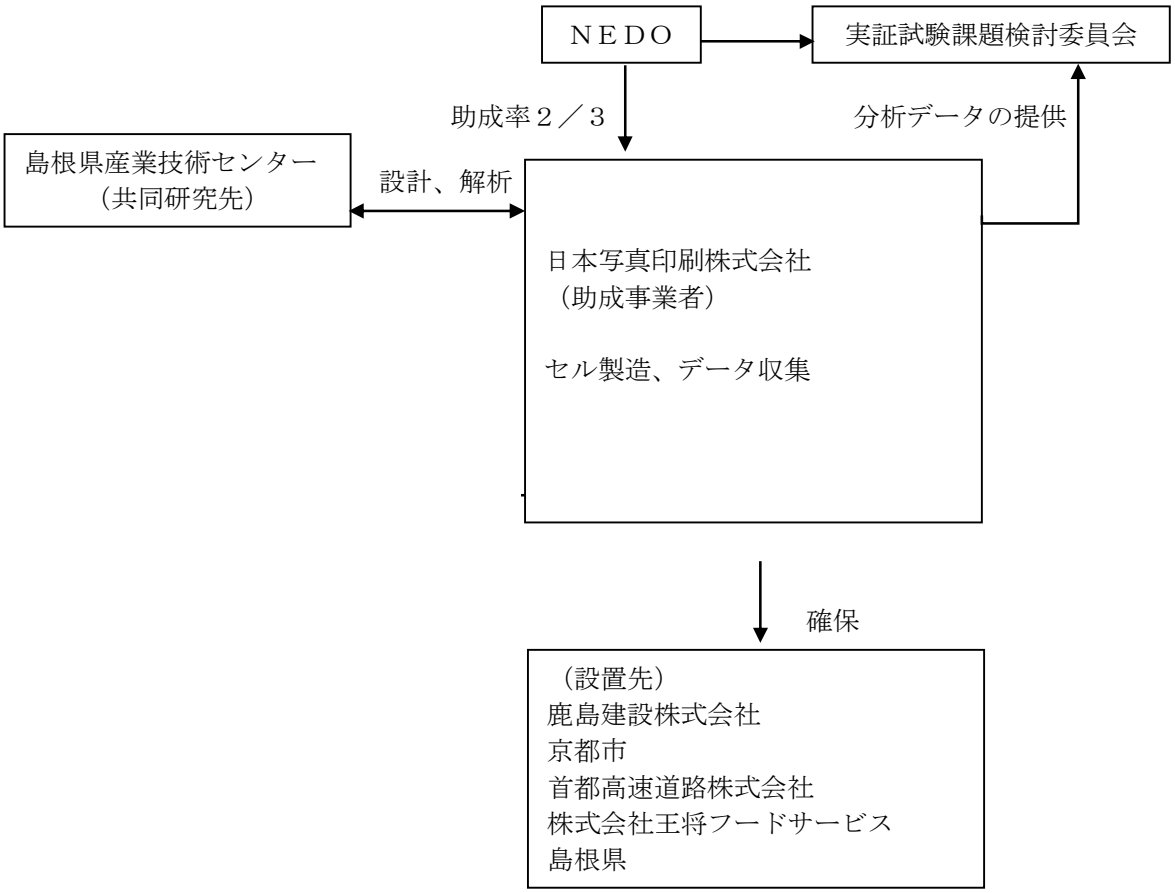
A プラスチック色素増感太陽電池の実用性検証



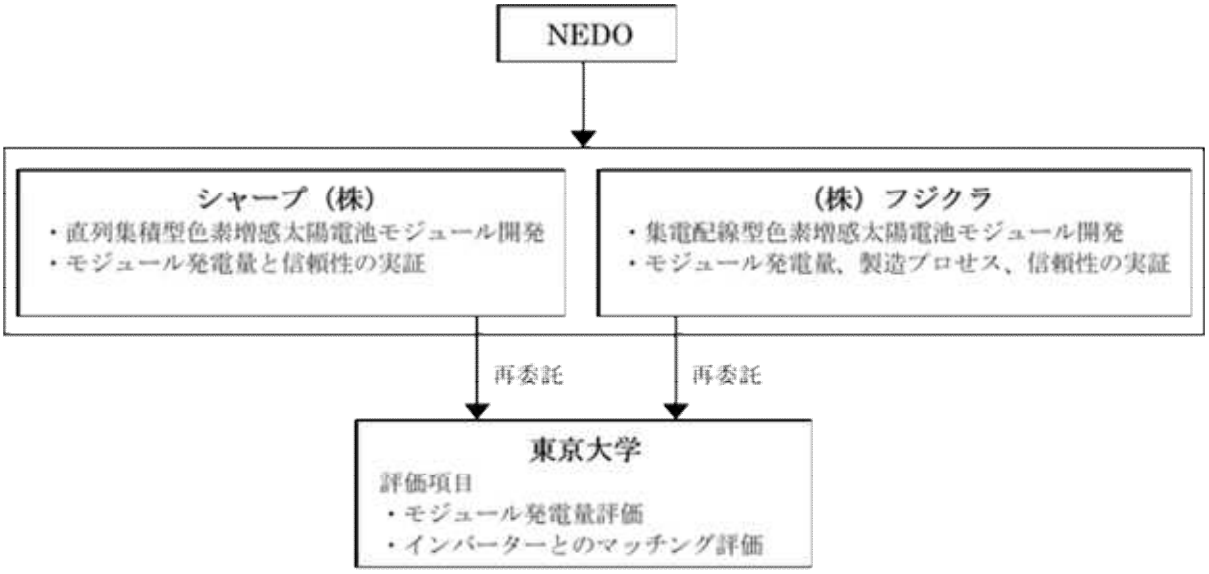
B プラスチック基板 DSC 発電システムの開発



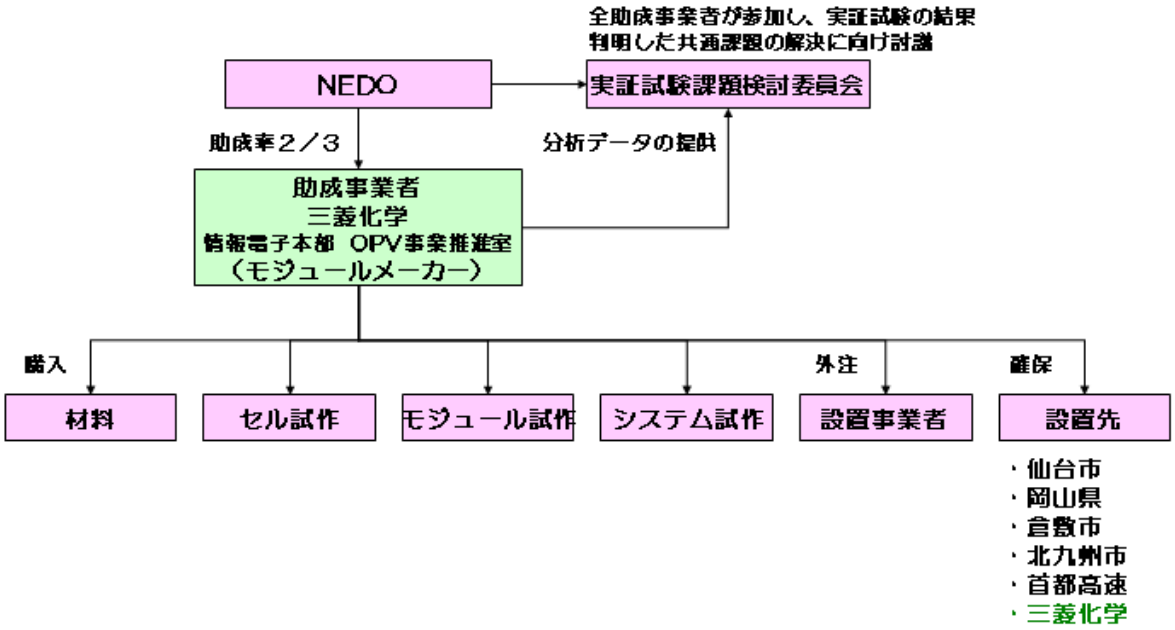
C 色素増感太陽電池実証実験プロジェクト



D 色素増感太陽電池モジュールの実証評価



E 有機薄膜太陽電池の生産プロセス技術開発および実証化検討



2.3 研究開発の運営管理

2.3.1　進捗報告会の開催

年に 2～3 回程度の割合で実証モジュールの作製状況、設置状況、実証試験の状況などについて進捗状況の聞き取りを行った。また、産総研九州センターでの実証試験については各社のモジュールを一同に集め、同一場所で実証試験を行うこととした。実証試験に先立っては、以下の通り助成事業者を集めて説明、取り決めを行った。不良モジュール、劣化モジュールについては個別に交換について相談し、劣化要因の特定と改善を試みながら実証試験を継続した。

2.3.2　データ収集

（1）設置後２年間のデータ収集義務

本プロジェクトは、実証試験について設置後２年間データ収集を継続することを取り決めており、プロジェクト後半で設置したモジュールは最長で平成 28 年度までデータ収集を継続することとなり、モジュールの交換、継続については引き続き状況を聞きながら試験を続けている。

（2）同一条件でのデータ収集の実施（産総研九州センターとの連携）

「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」との連携の一つ（後述）として、産総研九州センターと連携し、同一条件下でのデータ取得を実施することとした。平成 25 年 2 月に以下の通り産総研九州センター実証試験に関する意見交換会を行った。

表　Ⅱ-2-3　産総研九州センター実証試験

産総研九州センター実証試験意見交換会	各社を集めて有機太陽電池フィールドテストに関する打ち合わせを実施した。 開始にあたり、産総研九州センター実証試験について以下を説明した。 －設置時期・設置方法・模擬負荷への接続方法 －産総研と助成企業の個別共同研究契約の雛形 －設置やデータ収集に関する費用負担 －データの取扱いや秘密保持の範囲の取り決め －事業終了後の扱い また、意見交換会では試験内容・規模、開始時期、段取りなどについて議論した。

2.3.3 他の技術開発プロジェクトとの連携

(1)「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」との連携

シャープ、フジクラは「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」において各々同じテーマ（コンソーシアム）で色素増感太陽電池の研究開発を行っている委託事業者（大学、材料メーカー等）と連携しながら色素増感太陽電池セル、モジュールの高効率化、耐久性向上について研究開発を行っており、そこで開発された研究成果を本プロジェクトの実証モジュールに用いるとともに、同じくプロジェクトで行った耐久試験の結果と本プロジェクトにおける実証試験の結果を合わせながら実用化に向けた課題の抽出と改善を行った。相乗効果により開発を加速することができた。性能評価法・耐久性評価法の開発とその国際標準化についても上記プロジェクトにおける評価技術開発チームとの計測・標準化分科会とが相互で連携している。

（2）「最先端プログラム」との連携

・NEDO が支援機関として参加していた「最先端プログラム」の「中心研究者」であった東京大学　瀬川教授と連携して、効率的な事業推進を実現。同プログラムでの開発成果を本事業の実証に反映させる等を実現するとともに、実証事業で得られた成果を同プログラムでの開発にフィードバックするといった取り組みを行う環境を整備。

2.3.4　進捗に応じた計画変更

（1）進捗に応じて、柔軟に計画を変更した。

表　Ⅱ-2-4　予算の増減表

助成先	主な予算増額
フジクラ	H25 年 2 月　モジュール安定動作と不良削減に向けた試作諸条件に関わる開発増強。 H24 年度事業費 85,548,800 円→93,048,800 円
	H25 年 11 月　低照度用途検討の追加によるフィールド試験時期の一部変更 H25 年度事業費 134,268,800 円→113,318,836 円
	H26 年 9 月　フィールド試験の規模・内容の一部変更。 H26 年度事業費　131,091,200 円→80,019,200 円

３．情勢変化への対応

産総研九州センターでの実証試験では、屋外では屋内での耐久性試験で予測された以上にモジュールの劣化が早く、耐久性に課題が多いことがわかった。劣化したモジュールは適宜モジュール構造を改善したものに交換し、試験を継続することで実用化への課題改善に役立てた。

Ⅲ. 委託テーマの成果詳細と実用化・事業化の見通し
1. 事業全体の成果

A プラスチック色素増感太陽電池の実用性検証
※太陽誘電（株）とビフレステック（株）で共同実施

最終目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
屋外設置時のDSSCパネルの課題抽出 (産総研九州センター)	DSSC セルおよびパネルに対する屋外設置時の課題抽出がなされた	○	DSSC セルの耐熱封止構造開発とパネルの放熱構造設計
kW オーダーの屋外太陽光発電用途におけるDSSCパネルの課題抽出 （NTT ファシリティーズ F ソーラーリサーチパーク）	DSSC セルおよびパネルに対する屋外設置かつ多直列環境での課題抽出がなされた	○	DSSC セルの耐熱封止構造開発とパネルの放熱構造設計
屋外設置時のDSSC太陽光発電蓄電システムの有効性確認と課題抽出 (㈱昭電　成田工場)	DSSC パネルを用いた屋外設置太陽光発電・蓄電システムの動作検証を行い、ハイブリッド蓄電の有用性が初期的に確認できた。	○	DSSC セルの耐熱封止構造開発とパネルの放熱構造設計、落雷対策。
屋内設置時のDSSC太陽光発電・蓄電システムの有効性確認と課題抽出 (太陽誘電R&Dセンター)	屋内窓際に DSSC パネルを設置した太陽光発電・蓄電システムの動作検証を行い、キャパシタと鉛蓄電池のハイブリッド蓄電池の有用性を初期的に確認できた	○	DSSC セルの耐熱封止構造開発とパネルの放熱構造設計
DSSC パネルによるソーラーシェアリング検証 (福島県ビニルハウス)	世界初となる DSSC パネルによるビニルハウスでの日光の遮光率制御と、遮光率と農産物の生育の関連調査を行いデータを取得した	○	より広範囲な農産物種のデータ取得

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：Δ、　不達：×

B　プラスチック基板 DSC 発電システムの開発

最終目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
１．実用化に向けた開発課題の抽出 ■DSC 発電システムの設計、試作、設置 ■実使用環境下での発電量や耐久性の評価、分析	■屋内設置 実証試験 ・D 社施設（35W） 日立造船築港工場（166.25W） 日立造船本社ロビー（15W） ・設置後 160 日を経過し性能を維持 ・屋内照明下で設置角度 水平±50°までは同じ性能 (設置角度に依存しない) ・自社開発屋内用発電システム（MPPT,PCS）は問題なく稼働 ・今後も実証データ収集を継続 ■屋外設置 実証試験 ・産総研九州センター（30W） ・ガラス蓋の密封容器内にモジュールを入れ屋外に設置 (N2 ガスを封入) ・設置後 180 日以上経過 150 日を越えたあたりから変換効率の低下が見られる ・夏場の気温上昇に伴う熱影響の可能性あり ・更に傾向を見るために今後も実証データ収集を継続 ■温室設置 実証試験 ・神奈川県農技センター（90W） 日立造船築港工場（82.5W） ・温室内最上部に垂直吊り下げ (東西向き) ・設置後 230 日以上経過 ・設置当初から徐々に変換効率の低下が見られる ・外装の封止性能低下の可能性あり ・自社開発屋内用発電システム（MPPT,PCS）は問題なく稼働 ・更に傾向を見るために今後も実証データ収集を継続	○	実証試験開始後２年間のデータ取得

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：△、　不達：×

最終目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
２．用途開拓 ■プラスチック基板 DSC の市場要件の把握 ■用途見直し、他用途への展開など	■屋内設置 実証試験 ・商業施設用途で可能性を見出した ・プラスチック基板 DSC の特長が最大限生かせる環境は屋内設置と判断し、意匠性の高いサンプルを試作して営業展開を継続中 ■屋外設置 実証試験 ・耐候性に対する問題点が明確になり、短期的な課題解決は難しい ■温室設置 実証試験 ・屋外設置に同じ	○	■屋内設置 ・D 社と事業化に向けた検討を継続 ■屋外設置 ・十分な耐候性を持ち、且つ水分を通さないバリア性と高い光透過率を備えた安価なフィルム材料の採用 ・十分な耐候性を持ち、且つ水分を通さないバリア性と高い封止性能を備えた安価な封止材料の採用 ■温室設置 ・屋外設置に同じ

達成度→　大幅達成：◎、　達成：○、　達成見込み：△、　不達：×

C　色素増感太陽電池実証実験プロジェクト

最終目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
高耐久性緑色色素：高温加速試験にて発電効率保持率 90%維持	85℃高温加速試験 1000 時間後の発電効率での保持率が 159%。実地試験でも成果を確認した。	◎	
ランタンの月別平均充電率：屋外暴露試験 12 ケ月後 100%維持	12 ケ月後も 100%維持していることを確認。又セル内のデザインによる傾向分析も行った	○	
垂直設置モジュールの屋内発電効率の保持率 12 ケ月後 100%維持	12 ケ月後も 100%以上維持していることを確認	◎	
モジュール耐久性：屋外暴露試験 12 ケ月経過後変換効率保持率 95%以上	高沸点電解液を用いることで 12 ケ月後 94%の保持率を達成	△	製造条件変更
モジュール軽量化：重量は合わせガラスモジュールの 1/2、耐久性同等	特殊プラスチックを用いることで重量は合わせガラスの 1/3、耐久性も同等であることを確認	◎	
色素増感太陽電池に適した制御方式を特定	3 種類の制御方式を評価し、制御方式に適した日射強度域があることを特定した	○	

達成度→　大幅達成：◎、　達成：○、　達成見込み：△、　不達：×

D　色素増感太陽電池モジュールの実証評価

D1　シャープ株式会社

最終目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために 解決すべき課題
１）太陽光発電システム設計 ・色素増感太陽電池用回路の検討	単独モジュールでのシミュレーションを実施。10Hz の振動成分を持つ入力信号ではピーク検出に影響がないことを確認。	○	アレイモジュール制御系の確立
２）太陽光発電システム試作 ・実証試験用太陽電池の試作、スケールアップ	変換効率が低下することなく 20cm 角⇒30cm 角へスケールアップに成功	○	
３）太陽光発電システム設置・施工 ・国内各実証試験サイトへの太陽電池設置	共通サイト B での制御系を用い、モジュールの実証試験を実施。他の制御システムとの相違点を抽出。	○	
４）実使用環境下でのデータ収集・評価分析	各実証試験サイトにおけるデータの収集及び解析を実施中。 ・葛城：南北面 90 度のパフォーマンスレシオ(PR)は、他の無機系太陽電池よりも高いことを確認。 ・天理：東西南北面 30 度 90 度の PR 計測。角度方位依存性を確認。 ・共通サイト A：積雪の有無による晴天時の日照時間当たりの発電量は、Si 太陽電池よりも色素増感太陽電池が高いことを確認。 ・共通サイト B、共通サイト C、共通サイト D：各サイトの PR を計測。制御システムによりサイト間の PR に変化が見られる。	○ (平成 28 年中)	アレイモジュールの制御系の確立 劣化要因の検証

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：△、　不達：×

D2　株式会社フジクラ

最終目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために 解決すべき課題
実用的サイズ・構造・安定性のモジュールパネルと、それにマッチした制御システムの設計・構築を行い、評価する。	FEM シミュレーションを用い最適なモジュール設計を完成させた。 DSC 対応制御システムを完成、実証利用	○	
試作プロセスの課題を明確化し、量産化に向けた製造技術を目処付ける。	プリンタブルエレクトロニクス製品を参考に開発した品質管理手法を用い、不良原因となる工程要素を解消することで歩留まり 85%以上の試作プロセスを完成させた。	○	
通常の日射環境および日射量制限のある環境で継続的な実証評価を行い、実動作の特長と信頼性について明らかにする。	フジクラ佐倉事業所ほか社外サイト各所での実証評価を行った、一部のサイトは'15/11 時点で評価期間が２年に達していない。 低照度実証サイトではシステム設計・製作を行い動作可能性を明らかにした。	○	継続評価を実施する。

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：△、　不達：×

E　有機薄膜太陽電池の生産プロセス技術開発および実証化検討

最終目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために 解決すべき課題
①OPV 実証試験の為の太陽光発電システムを設計する	本事業で実施した全 11 件の実証試験向けに発電システムを企画・設計・稼働させ、高い実用性を示した。	◎	
②OPV 実証試験の為の太陽光発電システム(モジュール)を試作する	有機半導体材料の大量合成、Roll to Roll プロセスによる OPV 多層構造、及び封止に関する生産技術を獲得し、工業生産の目途を得た。	◎	
③太陽光発電システムを設置・施工する	用途毎の多様な太陽光発電システムの設置・施工を実施し、現時点で順調に稼働中。継続中の実証試験で外観・発電等の経時変化を解析し、OPV 施工技術確立へ活用していく。	◎	
④実使用環境下でのデータを収集・評価分析する	各種 OPV モジュールの発電データ解析により、OPV 特有の発電特性に関する知見が得られた。設置後 2 年間継続する発電データ蓄積から、屋内、屋外はじめ各用途における発電寿命を推定する予定。	○	（現在継続中、2017 年 2 月終了予定）

達成度→　　大幅達成：◎、　　達成：○、　達成見込み：△、　不達：×

A　プラスチック色素増感太陽電池の実用性検証

A.1　成果詳細

A.1.1　産総研九州センターにおける実証試験

産総研九州センターにおける実証試験を行うため、DSSC 専用パネルの設計および開発を行った。パネルに関しては、どこでも設置可能というコンセプトに従い、可搬性を高めるために軽量な設計とし、アルミフレームとアクリル板で構成した（図Ⅲ-2-A-1-(1)）。

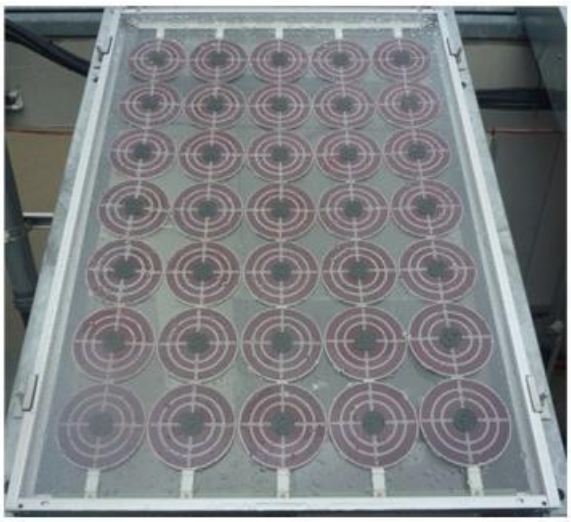


図 Ⅲ-2-A-1-(1). DSSC 専用パネル

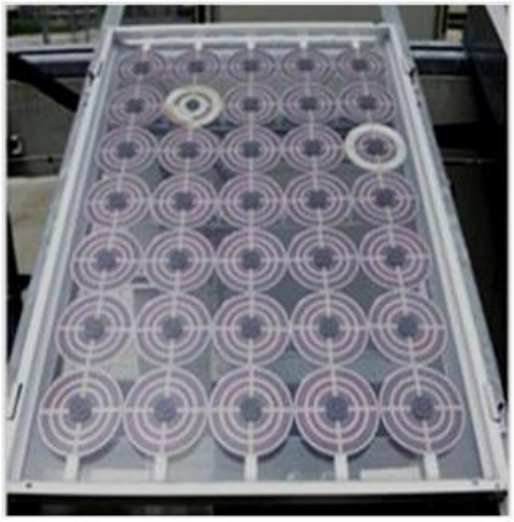


図 Ⅲ-2-A-1-(2). セルの劣化(変色)

しかしながら、パネルに直射日光が照射されるとパネル内温度が想定以上に上昇し、最高では 80℃を超える事が確認された。DSSC の耐熱性は 60℃程度に設定していたため、セルが想定以上の温度にさらされることにより封止が破壊され、セルが変色するいわゆる劣化が起こることが判明した（図Ⅲ-2-A-1-(2)）。また、パネル内温度上昇によりパネルを構成しているアクリル基板の変形が起こることも明らかとなった。このようにパネル内温度上昇抑制という課題が抽出出来たため、パネル構造の改良およびセルの耐熱性向上により対応策を図った。パネル構造に関しては、変形を抑制するためにパネル構成をアクリル基板からより耐熱性の高いポリカ基板に変更した。またパネル内に蓄熱された熱の放熱性を高めるために、表面ポリカ基板に通気口を形成し、裏面ポリカ基板を除去することで、全体的な通気性を高めた。更に日光の入射面となる表面ポリカ基板に赤外線反射フィルムを貼付し、熱源となる赤外線の入射量を低減する対策を施した（図Ⅲ-2-A-1-(3)）。

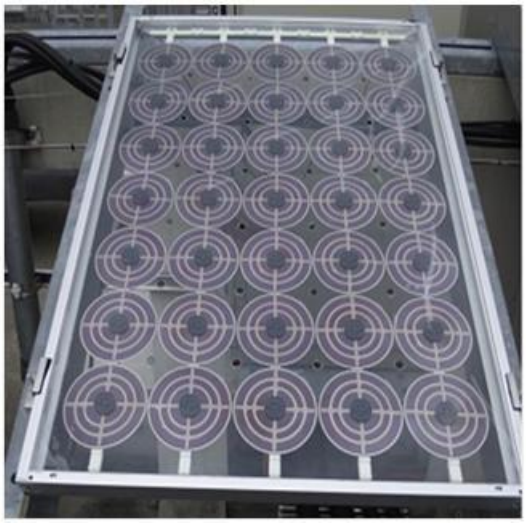


図 Ⅲ-2-A-1-(3). 放熱対策を行ったパネル

これらの改善策により、事前検討では10～20℃のパネル内温度上昇抑制効果を見込んでいる。一方でセルについては、加熱によるセル破壊を抑制するためにより高融点な封止剤を開発した。また、銀電極保護樹脂の高融点化も進めるとともに添加剤検討も行い、より強固な保護構造となるように改良した。これらの改善策により、事前検討ではセルの耐熱性が10～20℃向上したため、引き続き実証試験に採用して効果を確認したい。しかしながら、DSSCを屋外で長期間使用する用途にはセルの耐熱性は未だ不十分であるため、引き続き高耐熱化を目指して、封止剤及び保護樹脂開発を行う必要がある。

A.1.2　太陽誘電R&Dセンターおよび昭電（成田）における実証試験

太陽光発電は日照の影響を直接受けるため、発電量の変動が大きい。この傾向は色素増感太陽電池にも当てはまるが、リチウムイオン電池や鉛蓄電池等の蓄電池に太陽電池から直接充電すると電池の充放電が頻繁に生じるため、蓄電池が短時間で劣化してしまう。蓄電デバイスの劣化を抑制するために、リチウムイオンキャパシタを併用した蓄電システムを開発し、DSSCパネルと組み合わせて発電蓄電システムの動作検証を行った。またリチウムイオンキャパシタは蓄電池と比較してリーク電流が少ないため、朝夕・曇・雨天といった低日照時の太陽電池出力が低い場合でも充電が行われ、その電力を有効に活用できると期待される。

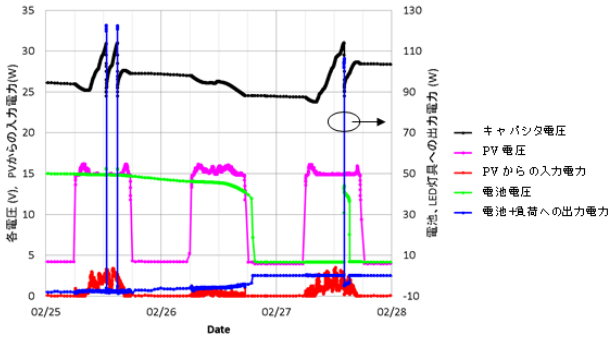


図　Ⅲ-2-A-1-(4)．充放電特性(キャパシタ有)

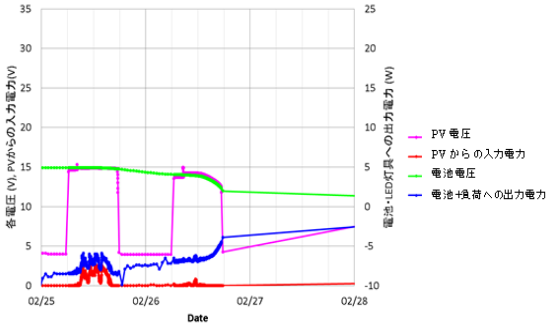


図　Ⅲ-2-A-1-(5)．充放電特性(キャパシタ無)

リチウムイオンキャパシタを搭載したシステムの充放電特性を図Ⅲ-2-A-1-(4)に示す。発電した電力はまずリチウムイオンキャパシタに蓄電され、リチウムイオンキャパシタの電圧が上昇する。電力がある程度蓄電されると、リチウムイオンキャパシタから鉛蓄電池に電力が移動し、鉛蓄電池の電圧が上昇する。鉛蓄電池に蓄電した電力は外部負荷で消費されているため、徐々に電圧が低下する。2月26日は曇天でありDSSCパネルの発電量が小さかったため、鉛蓄電池の電力が完全に消費され、途中で電圧がゼロになっている。しかし、次の日には再びリチウムイオンキャパシタから蓄電され、システムとしては充放電サイクルが繰り返されていることが分かる。一方で、リチウムイオンキャパシタを搭載していないシステムの充放電特性を図Ⅲ-2-A-1-(5)に示す。こちらのシステムでも同様に充放電を繰り返しているものの、曇天の2月26日に鉛蓄電池の電圧がゼロとなった後は、システムが停止した。空になった鉛蓄電池を蓄電するためには、DSSCパネルからの直接接続では電圧が不足しており、システムが復帰できないためである。以上のデータより、リチウムイオンキャパシタを搭載したハイブリッド蓄電システムでは、発電量が小さくても電力回生が可能であり、二次電池過放電状態からのシステム起動まで出来ることが明らかとなった。また、このシステムでは二次電池のサイクル寿命も延長する想定があるため、引き続き検証を継続する。

A.1.3　ソーラーシェアリング実証試験

ソーラーシェアリングとは、農地の上部空間等に太陽光発電設備を設置し、発電と農業を同時に行うことである。2013年3月に農林水産省が農地への太陽光発電設備の設置についても一時転用として認める指針を取りまとめ、ソーラーシェアリングが可能となっている。指針には支柱の基礎部分が一時転用許可の対象であること、支柱が簡易な構造で容易に撤去可能であるもの、等が記載されている。支柱についてはビニルハウスの天井部分を適用し、太陽光発電設備の簡易な設置システムを開発することで対応した。また、指針の1つである「下部の農地における単収が同じ年の地域の平均的な単収と比較しておおむね2割以上減少しないこと」の検証を、今回の実

証試験の目的とした。すなわち、ビニルハウスの屋根部分に太陽光発電設備を設置した際の太陽光の透過率と農産物の収率のデータを取得し、光ディスク型色素増感太陽電池による太陽光発電設備が一時転用として認められるか否かを検証した。
太陽光発電設備をビニルハウスの天井部分に設置するためには、太陽光発電設備の総重量を低減する必要があるが、DSSC 一枚あたりの重量は約 10g と軽く、更にはプラスチック基板技術を組み合わせて、軽量な三連直列パネルを開発した（図Ⅲ-2-A-1-(6)）。この三連直列パネルを単位ユニットとしてビニルハウスの天井部分に併設することになるが、併設間隔（d）を調整することで太陽光の透過率を調整可能なシステムとした。例えば、d が 120mm であれば太陽光の透過率は 37%と計算され、d が 540mm であれば太陽光の透過率は 87%となる。

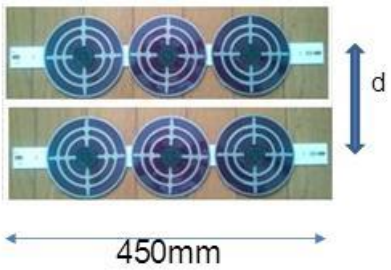


図 Ⅲ-2-A-1-(6). 三連直列パネル

このように、遮光率の制御が可能になったシステムを用いて、福島県にあるビニルハウスの天井部分に太陽光発電設備の設置を行った。今回の検討ではビニルハウス内を 3 区画に分け、1 区（透過率 100%、太陽光発電設備の設置なし）、2 区（透過率 83%）、3 区（透過率 66%）とし、それぞれの区画の天井部分に所定の密度で三連直列パネルを設置した（図Ⅲ-2-A-1-(7)）。ビニルハウス内における栽培品目としては、日射量の少ない冬季でも栽培可能なホウレンソウ、小松菜、サラダカブとし、それぞれの品目を 66 株/m^2 の割合で植えて、区画ごとの日射量と気温とともに生長を観測する。栽培品目のモニタリングについては、カメラによる生長の様子の観測を行い、約一ヶ月経過後の長さと重量を測定することとした。
各種品目については通常 50 日程度で収穫可能となるが、種まきから 34～36 日後に各品目の生育がある程度のレベルに達したため、サンプリングを行って生育状況を確認した（図Ⅲ-2-A-1-(8)）。小松菜、ホウレンソウ、サラダカブともに各区より 4 株をサンプリングし、作物の長さと重量を測定し平均値を比較することで生育状況を比較した（図Ⅲ-2-A-1-(9)）。ただし、1 区ではビニルハウスに隣接する樹木の影の影響が多少あるため、透過率が 66%、83%のデータを外挿して透過率 100%のデータとした。この結果より、太陽光の透過率による生長の差異に関しては、長さについては透過率による差異が少なく、重量については透過率による生長の差があることが明らかとなった。透過率が小さいほど農作物の重量の増加が遅くなる傾向が見られ、その影響は特にサラダカブで顕著であった。

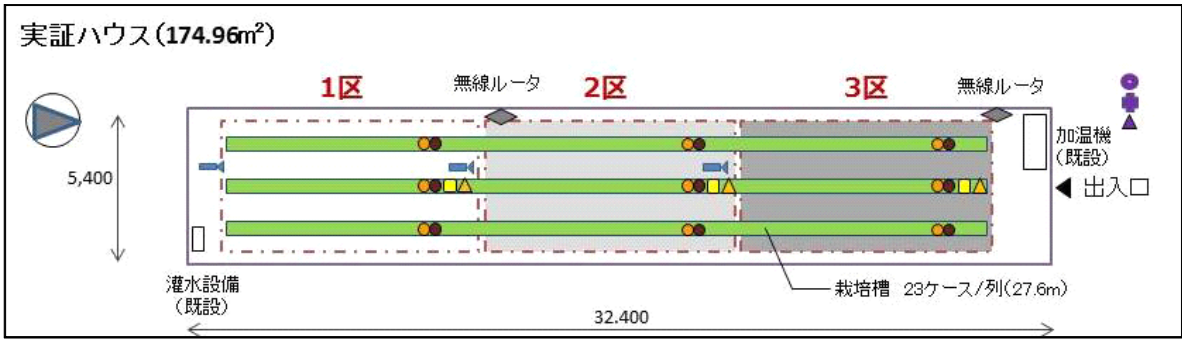


図 Ⅲ-2-A-1-(7). ビニルハウス内の区分

図 Ⅲ-2-A-1-(8). 各区よりサンプリングした作物の外観

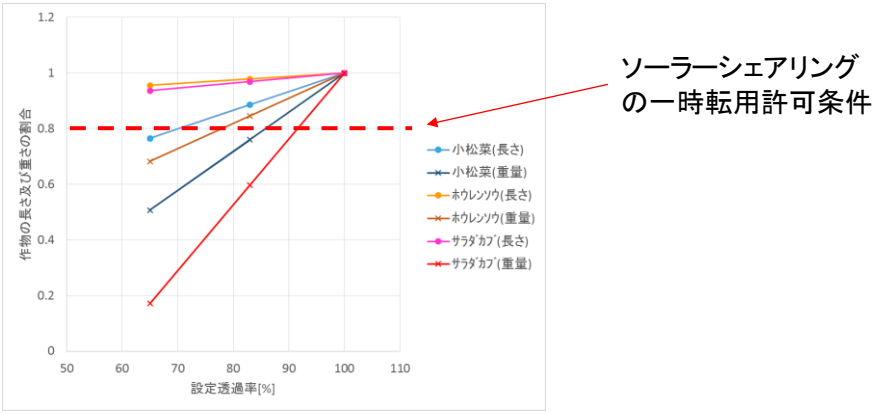


図 Ⅲ-2-A-1-(9). 太陽光の透過率と各区よりサンプリングした作物の収量の相関

図Ⅲ-2-A-1-(9)の結果をソーラーシェアリングの一時転用認可の指針と照らし合わせると、単収の 2 割減の破線との比較になる。これによると、ホウレンソウに関しては透過率が 66%の条件で生育した重量が収率 8 割を割っているものの、その他の条件では収量が確保可能であり、ソーラーシェアリングが成立することが分かる。一方で、小松菜とサラダカブは透過率が 83%でも重量が一時転用許可条件を下回るため、発電設備による遮光率を低減する必要がある。

今回の実証試験では、小松菜、ホウレンソウ、サラダカブの三種で冬季のみの検証を行ったが、今後様々な植物で同様の検証を各季節で行うことで太陽光発電と作物の生育の両立が図れることが期待される。本産業はまだ検証段階ではあるが、様々な植物に展開可能であることが実証されれば、日本発の産業として成長する可能性を秘めている。

A.2　実用化・事業化見通し

今回の研究開発では、図Ⅲ-2-A-2-(1)の様なアプリケーションを対象にプラスチック色素増感太陽電池の実用可能性の実証実験を行った。

図 Ⅲ-2-A-2-(1). 想定アプリケーション

まず、ポータブル電源及び災害時非常用電源としてであるが、使用しない時はコンパクトに収納し、発電を行う際に、組み立て・展開して、電力利用もしくは蓄電を行うというコンセプトは有効性を示すことができた。現状、他の太陽電池と比較し、変換効率、耐久性面では劣るものの、常時設置を必要としない使い方においては、現性能からの若干の改良で使用上十分である事がわかっている。その為、今後予測される大震災・大水害を含む災害に対して、可搬性・収納性に優れる「プラスチック色素増感太陽電池」をベースに、更にコンパクトで軽量な太陽電池パネルの開発と蓄電システムを含む全体の低コスト化を進め、事業化の初期ステージのキラーアプリとして実用化を推進していく。

また、今回の実証では、パネルの軽量性を活かして、従来の太陽電池では設置できない、もしくは設置し難い場所への設置や発電機能以外の機能の実装の検証を意識し、窓やビニルハウスに設置した。課題はあるものの、既存の窓やビニルハウスに設置の際には、特段の工事も必要ではない事、発電と遮光という異なった機能に関して、バランスを取りながら利用できる事がわかってきた。計画段階では、シーズベースの実証発案であったが、設置・実証を進めていく過程で、これらのアプリにおいては、色素増感太陽電池パネルの特徴を明確な強みとして利用できることが明示された。これより遮光と発電の両立が期待される窓やビニルハウスに設置する太陽電池パネルのとしての実用化も進める。但し、窓やビニルハウスに設置する場合、太陽電池セルの単価にもよるが、設置後 3～5 年は使い続けたいという要望もあり、耐久性の更なる改善が必要なため、災害時非常用電源向け商品より事業化は遅くなる想定である。

今回、住宅向けもしくは太陽光発電所向けといった比較的大きな規模での実証試験を行っているが、現状レベルの性能では、故障したセルの交換を前提としなければ、安定した発電は望めないことがわかっている。このアプリでは太陽光発電の安定稼働が必須なため、定期的なセル交換が低コストでできる様な仕組み、パネルや架台及びサービスの開発が不可欠である。現状、それらの方向性が見えていないため、このアプリにおける実用化・事業化は中断する。

但し、例えば、解体・移動を前提とするテントや仮設住宅や未電化地域の住宅には、軽量・収納性・可搬性が高い本技術はマッチすると考えられるため、実用化に向けた検討を行う。

以上、まとめると、実用化・事業化を検討するアプリケーションとしては、次の様なものを想定している。

・災害の際の避難時などに使用する災害時非常時用電源
・農業の電化・IT 化の為のビニルハウス用電源（ソーラーシェアリングも視野に入れる）
・テントや仮設住宅向け及びアジア・アフリカなどの未電化地域向け太陽光発電電源

A.3　波及効果

本技術のポイントは、軽量でフレキシブルな太陽電池パネルの実現により、従来、設置できなかった強度の弱い建物・構造物や樹木の直上に設置が可能となる点と、そのパネルに遮光率を調整できる仕組みを組み込むことで、農業用ビニルハウスや果樹の上部空間、建物の窓といった日光の透過が必要となる場所への設置が可能となる点である。これらの差別化ポイントにより、太陽光発電が未利用であった環境への再生可能エネルギーの導入拡大につながることが期待される。また、本テーマのパネルは軽量でフレキシブルな特徴を有するため、収納保管や輸送にも適している。このため、災害時の非常用電源や未電化地域への簡易設置太陽光発電システムとしての適用が容易であり、再生可能エネルギーの安全・安心な導入が可能となる。

【拡大する再生可能エネルギーの市場ニーズ】
・災害時非常用電源市場、ポータブル電源市場
東日本大震災の際に、「避難時に困ったこと」として抽出されたのが、情報収集を行うための電源が無い、避難生活初期における生活用電源が無い、という問題であった。それを受けて、自治体等で避難想定場所への太陽電池パネルを設置等が行われているが、十分ではない。可能であれば、各家庭に常備する防災リュックとセットになっており、災害時に防災リュックと共に太陽光発電システムを持って避難できるのが望ましいが、現状の太陽光発電システムでは、重量、大きさともに、収納・携行のニーズを満たすことができない。軽量かつフレキシブルな本パネルは、原理的に収納性、携行性ともに優れており、不要な時は防災リュックにしまっておき、必要に応じて、組み立てて発電することが可能である。想定ユーザーは、各家庭となるが、災害時のみでなく、キャンプ等のアウトドア用の電源としての利用も可能である。

・遮光が必要な農業、家庭向け太陽光発電システム市場
既存の太陽電池では設置できない場所に設置したい、日光を透過させて使用したいというニーズが近年高まってきている。特に、農業用のビニルハウス、露地栽培の果樹の直上に設置して、太陽光発電売電目的のソーラーシェアリングを希望する農家や、農作業の軽減のために独立した電力を使用したいというニーズが明確化してきている。また、東日本大震災よりエコロジーが社会に浸透し、夏場、遮光に使用してエアコンによる消費電力を削減する取り組みがなされてきており、簡単に個人で設置できる太陽光発電システムのニーズも出てきている。このシステムの想定している最終購入者は、前者はビニルハウスを持つ農家や果樹を行っている農家、後者は学校、企業、各家庭になる。
上記のニーズに対して、軽く、フレキシブルで設置場所を選ばす、かつ、遮光率を簡単に調整できる本パネルの技術開発を行い、実用化することで、これらのニーズを満たすことが可能である。

・未電化地域向け簡易太陽光発電システム市場
東南アジアやアフリカの物流が未発達で未電化の地域においては、輸送コストが安く、設置やメンテナンスが容易な太陽光発電システムのニーズがある。本技術開発の成果として想定している軽く収納性が高い太陽電池パネルは、輸送コストが安く、セルの交換により太陽光発電システムのメンテナンスが行えるため、未電化地域向け各家庭用の太陽電池パネルとしては最適である。現状は BOP 層向けに、数十 W の結晶シリコン太陽電池が販売されているが、輸送性、メンテナンス性、コストパフォーマンスに優れた太陽電池は存在しない。”A Energy efficiency conference2012”の資料によると ASEAN の未電化地域の住民は計 131.1 百万人とされている。未電化地域の住民へのスマートフォンの普及が急速に進んでおり、徐々にスマートフォンへの充電インフラ不足が問題となりつつある。本技術を用いた発電・蓄電システムが実現すれば、未電化地域の電力需要を補うのみならず、それらの地域の文化レベル向上にも波及する可能性がある。同様の戦略はアフリカにも展開が可能で、売り上げ規模および波及効果は更に増大することが期待される。

A.4　今後の展開

これまで紹介してきた色素増感太陽電池パネルの最大の特徴は、遮光率が調整でき、どこにでも設置が可能で、収納性が高いことである。今後の展開のポイントは、従来のパネルにはない特徴を有する太陽電池パネルを商品化して、これまで太陽光発電が利用できていなかった農業、家庭、未電化地域といった場面に、太陽光発電を普及させ、エコロジーと利便性のシェアリングをはかる点にある。技術開発のステージから大学を通じて高付加価値作物生産農家と協業し、先端技術と農業の融合による将来の日本の農業のあり方について検証し発展に寄与していく。

また、将来低コスト化が期待される色素増感太陽電池をベースとして、ディスポーザブル／リサイクル可能な太陽電池パネルとして、日本国内での太陽電池の地産地消と強い産業としての新たなビジネスモデルを構築する。新たな産業創成のの実現に向けて、今後の展開を次の 4 つの項目に分けて明示する。4 つの項目は①商品、②価格、③販売場所、④プロモーション、である。

①商品

災害時非常用電源市場およびポータブル電源市場に対しては、通常は防災リュック等に収納しておき、発電が必要になった場合に組み立てて発電・蓄電をするシステムの収納性をアピールしていく。また、蓄電機能が必須となるため、発電パネルと小型蓄電装置をセットとした商品を設計し販売する予定である。遮光用簡易設置型太陽光発電システム市場においては、高付加価値作物を生産する農家に対して、ビニルハウス等、既存の太陽電池パネルの設置が困難である場所にも、簡単に設置が可能で、遮光率が調整できるフレキシブルな太陽電池パネルを開発・製造していく。これまでの調査から、一部の作物では 20%程度の遮光率が良いとされており、それらの調査結果から太陽電池パネル 1 セットの設置面積と発電電力量を設定することが可能だと考えている。賛同いただける農家と協力して、太陽電池パネルによる遮光率と発電電力量を調整し、最終的な商品構成につなげていきたいと考えている。また、家庭用の簡易設置遮光パネルとしては、より高い遮光率で 2～4m^2の面積が要求されており、そのニーズにも対応したパネルを開発・製造していく。家庭用遮光パネルに対するニーズと太陽電池パネルに求められる機能を調査しシステムを設計する必要があるため、引き続き情報収集に努めたい。未電化地域向けには、各家庭で使用するための軽量でメンテナンス性が高く、低コストなパネルを開発・製造していく。

②価格

災害時非常用電源市場およびポータブル電源市場に関しては、展示会でのヒアリング調査より、大凡の上限価格が分かったため、それをターゲットプライスとした。遮光用簡易設置型太陽光発電システムは、太陽電池パネルと蓄電装置のセットを想定しており、前者より高額となるが、1～3 年で投資回収が十分可能な価格を設定している。パネル及び蓄電装置の容量によっても価格が大きく異なるので、様々な組み合わせに対応できるように価格設定を行う。未電化地域向けとしては、BOP 層を対象とした価格設定を行っているが、より低価格化を意識した仕様の調整と低コストのバランスをとる様な商品設計が必要であり、現地での実証、調査を行う事を考えている。

上記の価格については現時点での暫定的なものであるため、今後の状況に応じて変動させていく。

③販売場所

未電化地域向け以外の商品については、いずれもインターネットを通じた直販、量販店での販売を想定している。ビニルハウス向けについては、JA と協業しての販売も考えている。ビニルハウス向けで大規模な設置、売電が行われるケースでは、インテグレータへの販売もあり得る。一方、未電化地域向けとしては、JICA 等からのアドバイスを踏まえ、地域に根差した販売網、小売り手法等のビジネス形態を取り入れていく。なお、交換用のセルも上記のルートで販売する。

④プロモーション

農業用途として地域活性化やブランディングのツールとして、地域の農家や JA と協業した形で販促活動を行い、そのルートで自治体への販促も行う。より広い展開としては、アグリ展などの展示会へ出展して全国展開を図る。家庭向けには、インターネットを中心とした販促活動となる。未電化地域向けとしては、JICA 等の支援を受けながらビジネス実証、構築を進めていく。

A.5　論文、特許、学会発表等

	H24	H25	H26	終了後	計
特許出願（うち外国出願）	0	1	1	1	3 件
論文（査読付き）	0	0	0	0	0 件
研究発表・講演（うち国際会議）	0	0	0	2	2 件
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0	1	1 件
受賞実績	0	0	0	0	0 件
展示会への出展	0	0	1	0	1 件

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外国PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	太陽誘電㈱	特願 2013-87466	国内	2013年4月18日		色素増感太陽電池及びその製造方法	内田守、染井秀徳、福島岳行
2	太陽誘電㈱	特願 2014-257676	国内	2014年12月19日		色素増感太陽電池及びその製造方法	染井秀徳
3	太陽誘電㈱	特願 2015-210308	国内	2015年10月27日		太陽電池モジュール	染井秀徳、太田謙一（ビフレステック）

【論文・学会発表】
なし

【受賞】
なし

B　プラスチック基板 DSC 発電システムの開発

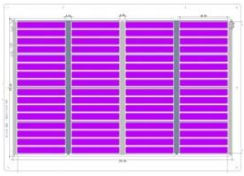
B.1　成果詳細

（実用化に向けた開発課題の抽出）

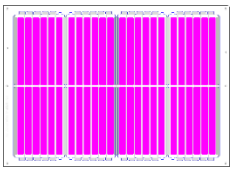
B.1.1　DSC サブモジュール、パネルの設計・製作・設置

実使用環境に適したサブモジュール構成を見出すため、下図 4 種類のサブモジュールを設計・製作し評価を行った。それぞれの特性を考慮し各実証試験に用いるサブモジュールを決定した。

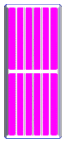
9S4P



4S16P

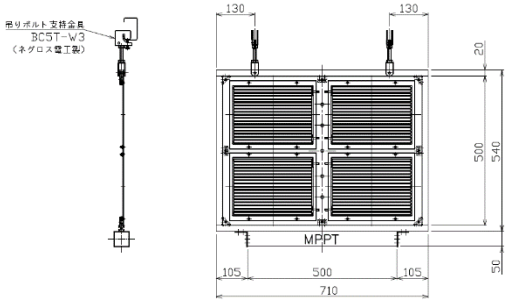


6S8P

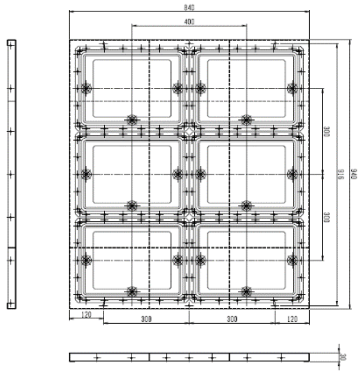


Z6S2P

サブモジュールは各実証試験環境に合わせてパネル化を行った。用途開拓では、意匠性を持ったモジュール、パネルを製作し、外部機関への貸し出しや、展示会への出展などに使用した。



温室設置（吊り下げ式）



屋外設置（モジュール封入式）

室内用インテリア用途

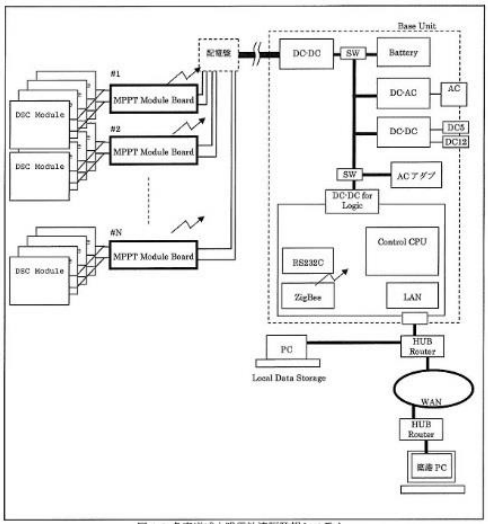
スペクトラ・セル

神奈川県ロゴ

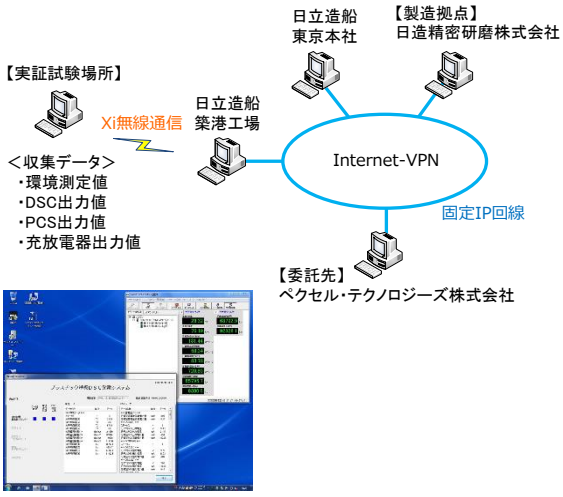
B.1.2　発電システムの設計・製作・設置

DSC サブモジュールから出力される電力を最も効率的に取り出し、集電して充電器に蓄電するために、日立造船にて DSC に特化した電子制御回路の設計を行った。また、気温、湿度、日射、照度等の周囲環境データを取り込みロギングするシステムも構築した。

実証試験で収集したデータは、産総研九州センターを除き、日立造船築港工場に設置した遠隔集中監視 PC を介して参照できるシステムとした。



発電システム構成



遠隔データ収集システム

B.1.3　実証試験の概要

本助成期間中に、下記の実証試験を開始した。（合計 418.75W 相当）

1）屋内設置 1
場所：　D 社実証店舗
出力：　35W 相当（1sun 下）
開始時期：　H27 年 2 月下旬

2）屋内設置 2
場所：　日立造船築港工場（大阪市）
出力：　166.25W 相当（1sun 下）
開始時期：　H27 年 2 月下旬

3）屋内設置 3（室内インテリア用途）
場所：　日立造船南港本社（大阪市）
出力：　15W 相当（1sun 下）
開始時期：　H25 年 9 月上旬

ロビーへの設置状況

4）屋外設置 1
場所：　産業技術総合研究所九州センター
出力：　15W 相当（1sun 下）
開始時期：　H27 年 1 月下旬

実証試験外観

5）屋外設置 2
場所：　日立造船築港工場（大阪市）
出力：　15W 相当（1sun 下）
開始時期：　H27 年 2 月下旬

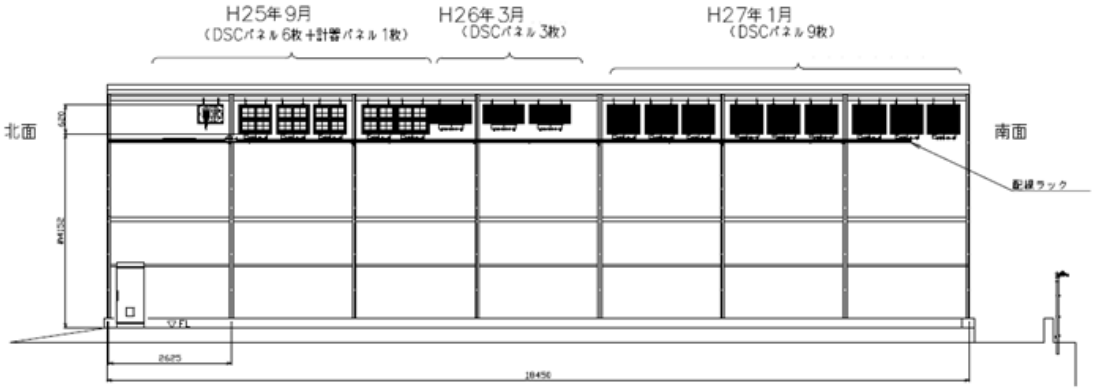
実証試験外観

6）温室設置 1

場所：　神奈川県農業技術センター

出力：　90W 相当（1sun 下）

開始時期：　H25 年 9 月上旬（30W）、H25 年 3 月下旬（15W）、H27 年度 1 月中旬（45W）



パネル配置レイアウト

温室外観

実証試験外観

7）温室設置 2

場所：　日立造船築港工場（大阪市）

出力：　82.5W 相当（1sun 下）

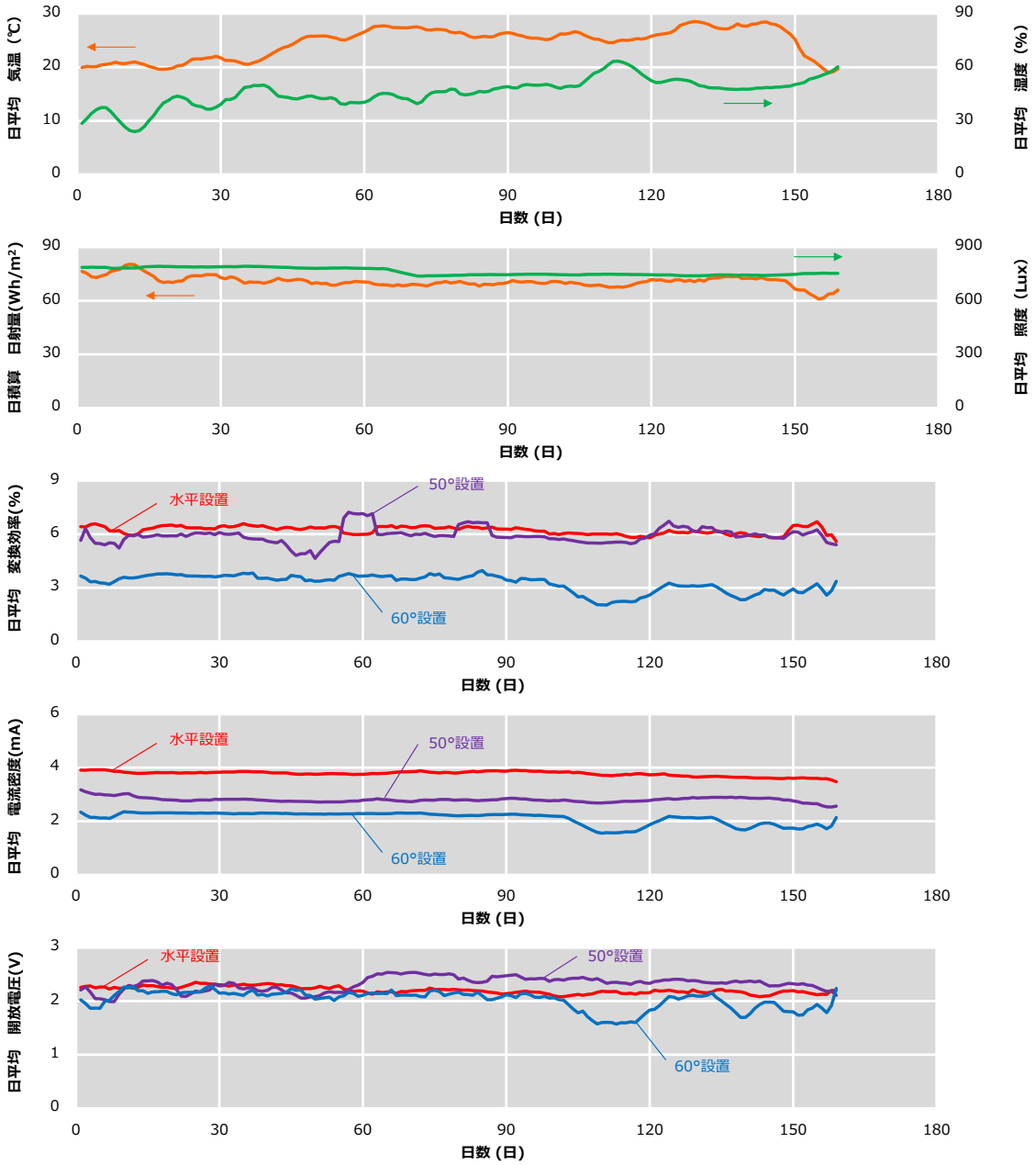
開始時期：　H25 年 8 月上旬（30W）、H25 年 11 月上旬（35W）、H26 年 9 月上旬（17.5W）

実証試験外観

実証試験外観

B. 1. 4　実使用環境下での発電量や耐久性の評価、分析

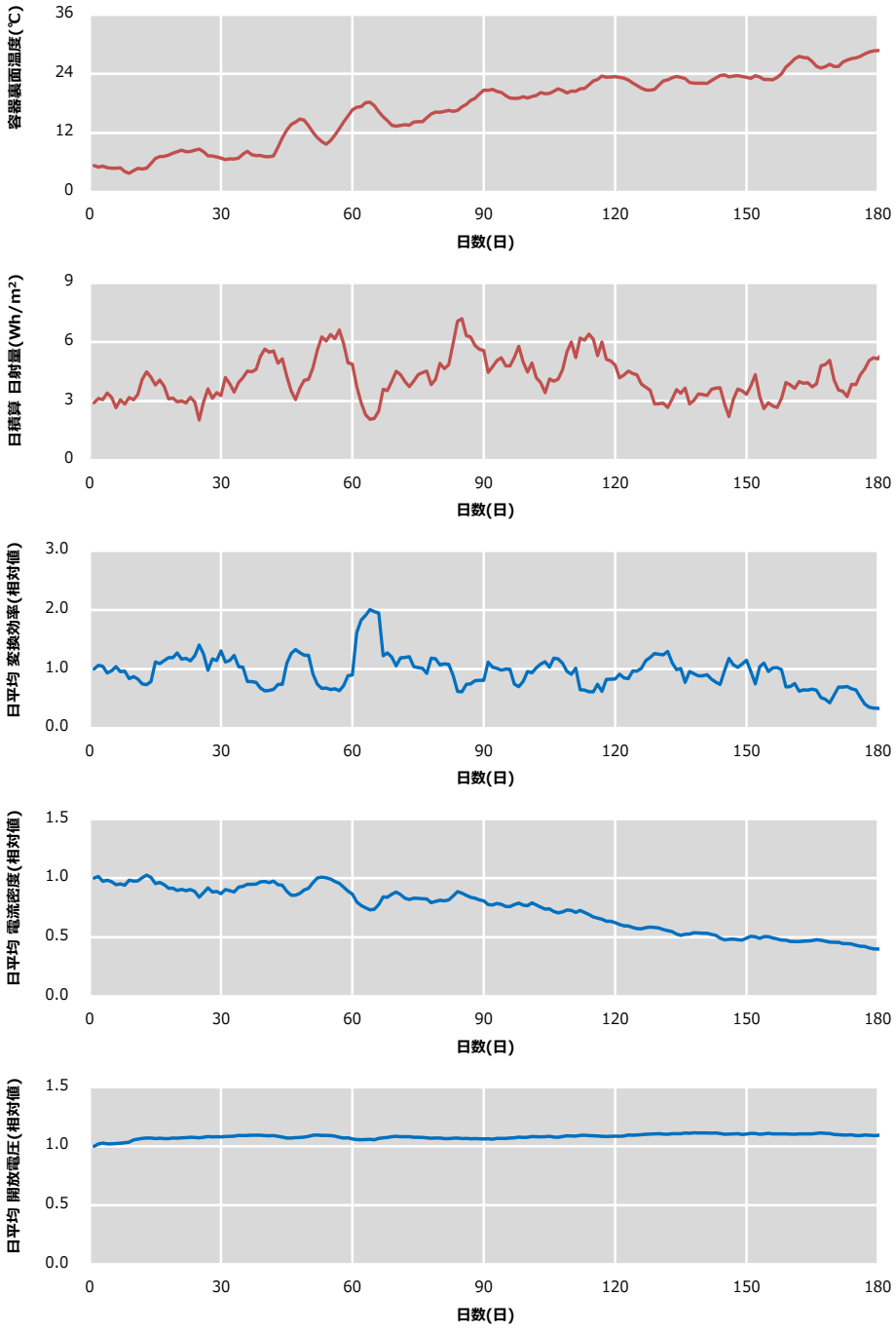
1）屋内設置　実証データ



※ A4サイズ1枚あたりの出力値

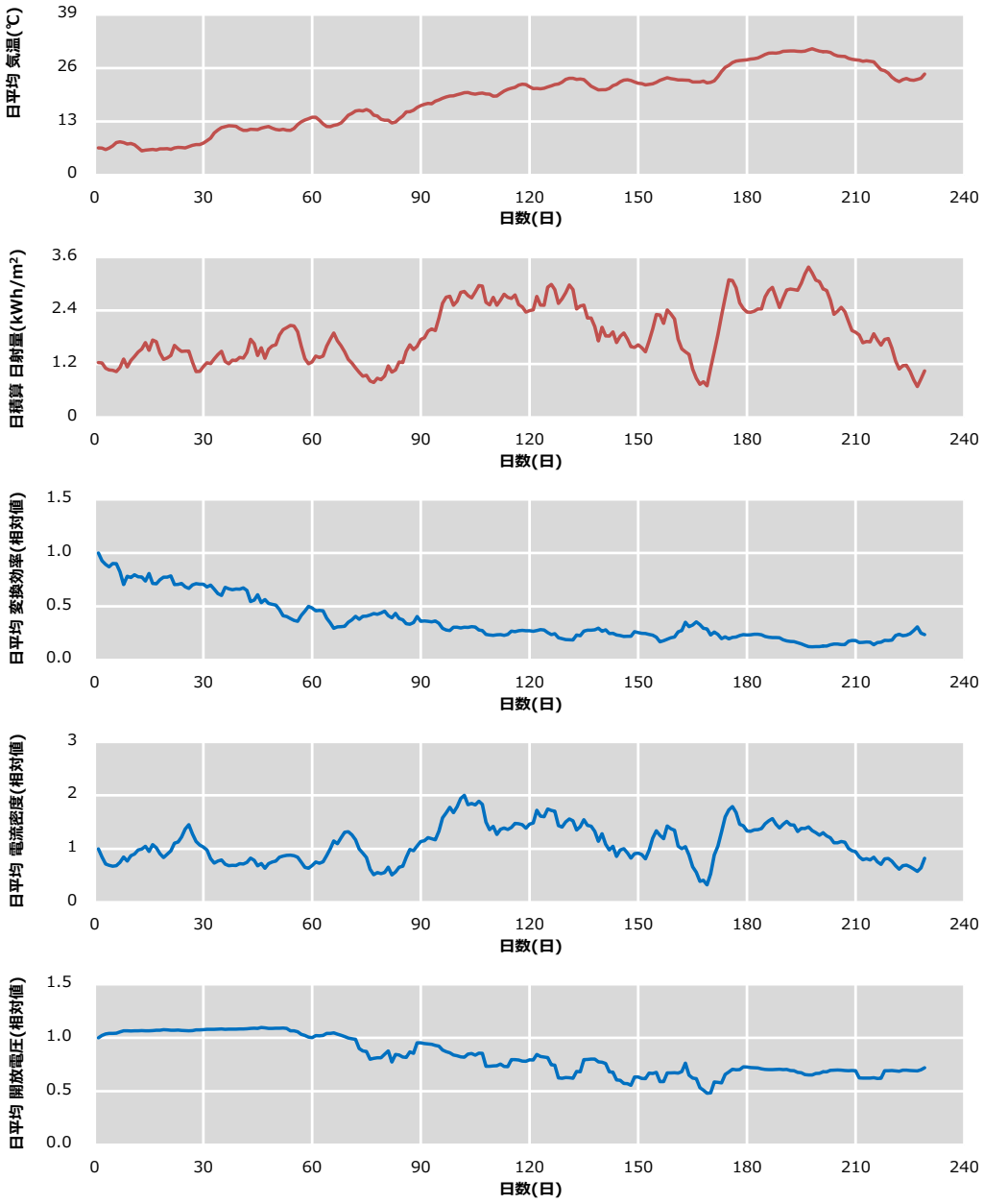
・設置後 160 日を経過し性能を維持している。
・屋内照明下で設置角度水平±50°までは同じ性能で設置角度に依存しない。
・自社開発屋内用発電システム（MPPT, PCS）は問題なく稼働している。
・今後も実証データ収集を継続する予定。

2）屋外設置　実証データ



・ガラス蓋の密封容器内にモジュールを入れ屋外に設置(N2 ガスを封入)。
・設置後 180 日以上経過、150 日を越えたあたりから変換効率の低下が見られる。
・夏場の気温上昇に伴う熱影響の可能性あり。
・更に傾向を見るために今後も実証データ収集を継続する予定。

3）温室設置　実証データ



・温室内最上部に垂直吊り下げ(東西向き)
・設置後 230 日以上経過、設置当初から徐々に変換効率の低下が見られる。
・外装の封止性能低下の可能性あり。
・自社開発屋内用発電システム（MPPT,PCS）は問題なく稼働している。
・更に傾向を見るために今後も実証データ収集を継続する予定。

B.2　実用化・事業化見通し

B.2.1　成果の実用化・事業化に向けた戦略

DSC は従来の屋外型電力用途の結晶シリコン、薄膜シリコン、化合物系太陽電池などと比較して、発電効率や寿命、製造コストなどの面で特筆すべき優位性は見られない。しかしながら、DSC には従来の太陽電池とは異なる特長を持ち、更には支持基板にプラスチックフィルムを採用することで、これまでにない全く新しい太陽電池の用途、市場が見込まれる。このプラスチック基板 DSC の特長として、下記が挙げられる。

・薄型で軽量
・光の入射角度に対する依存が少ない
・シースルーで両面発電が可能
・照度の変化に対する電圧変動が小さく低照度でも高電圧を得られる
・可視光領域で効率よく発電可能
・将来の低コスト化が見込まれる

これらの特長を生かした新しい太陽電池の用途として、「農作物の育苗や栽培用のビニールハウスやガラス温室」、「屋内商業施設」、「透明な屋根の下への設置（カーポート、テラス、ルーフ等）」などを想定し、本助成事業で実証試験を行った結果、「屋内商業施設」への適用が最も有効であると判断している。

B.2.2 成果の実用化・事業化に向けた具体的取り組み

本助成事業の中で商業施設の屋内設置用途で、実用化の可能性を見出した。ユーザとして D 社の協力のもと試験的に構築された模擬店舗で実証試験を H27 年 2 月から行ない、実環境下（に近い模擬環境）で要件の把握と問題点に対するフィードバックを行っている。

B.2.3 成果の実用化・事業化の見通し

D 社に関連した商業施設の屋内設置用途における年間出荷台数は、約 460 万台であり、これに DSC 発電システムを組み込む場合、売上規模は約 460 億円のポテンシャルがある。例えば上記全国規模のうち、約 12%に DSC が導入されると仮定しても、約 55 億円以上のビジネス市場と成り得る。

B.3　波及効果

DSC は意匠性が高く「人に見られる」太陽電池として、屋内遊戯施設だけでも、ゲームセンター、ボーリング場、カラオケ店など、様々な場所に取り付けられ、商業施設においても、ショッピングモール、駅、空港などへの展開が考えられ、幅広い分野への波及効果が見込まれる。また、カラフルで親しみやすい外観は人目に付き、一般来場者への環境問題への意識付けにも有効な手段と考える。

B.4　今後の展開

2 年間の実証試験を継続し、実使用環境下での発電量や耐久性の評価･分析を行う。H29 年度末以降から、屋内設置でプラスチック基板 DSC の特長を生かせる用途で、十分な事業化検討を行い、必要な出荷量に伴う量産製造装置の設備投資を計画する。まずは国内で販売を行い十分な販売実績を得た後に海外展開、輸出も視野に入れる。

B.5　論文、特許、学会発表等

	H24	H25	H26	終了後	計
特許出願（うち外国出願）	0	0	0	0	0 件
論文（査読付き）	0	0	0	0	0 件
研究発表・講演（うち国際会議）	0	0	0	0	0 件
新聞・雑誌等への掲載	3	1	0	0	4 件
受賞実績	0	0	0	0	0 件
展示会への出展	1	4	1	0	6 件

【特許】
なし

【論文・学会発表】
なし

【受賞】
なし

C　色素増感太陽電池実証実験プロジェクト

C.1　成果詳細

C.1.1　高耐久性緑色素の開発

目的：色素増感太陽電池は他方式の太陽電池に比べデザイン性に優れておりカラフルな色彩のセルを作製することも可能であるが、耐久性等実用仕様に耐え得る色素はほぼ赤色に限定されていた。今回高耐久性の緑色色素を開発しその検証を行った。

目標：緑色素セルが 85℃高温加速試験 1000hr 後の発電効率 90%以上

試験概要

・実施場所：

京都市美術館（京都市左京区岡崎円勝寺町１２４）

京都市国際交流会館　（京都府京都市左京区粟田口鳥居町２－１）（図Ⅲ-2-C-1-(1)）

・アプリケーション形態：ランタン（赤色、緑色単一色）

・セルデザイン（図Ⅲ-2-C-1-(3)）

・色素増感太陽電池セルスペック

サイズ：120 mm×123 mm

・パネル設置角度：水平設置（0°）

・電解液：既存電解液

成果：最初にデザインの無い緑単一色セルでの 85℃高温加速試験を行い、その結果を図Ⅲ-2-B-2-(2)に示す。結果は目標値を大幅に上回る 159%となった。100%を上回る結果となったのは色素増感太陽電池では製作後、色素によっては一定時間を経てセル内でエージングが進行し性能向上することがあり、今回の緑色素はその傾向が特に大きかったことが原因である。さらにこの図からは初期性能上昇を除いても 95%を維持していることが分かり、これは特性保持率 10 年間相当と推察される。また実地試験にても加速試験の成果が得られていることを確認した。（表Ⅲ-2-C-1-(1)）

図　Ⅲ-2-C-1-(1)　実証試験の様子

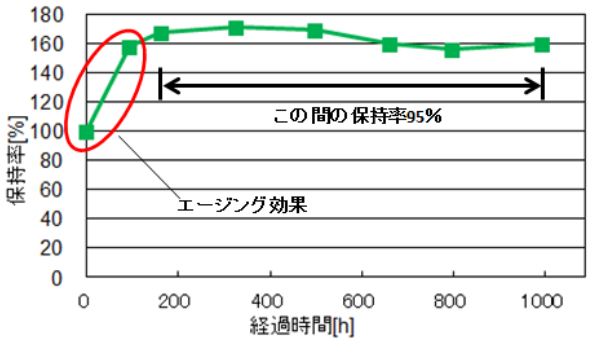


図　Ⅲ-2-C-1-(2)高温加速試験（85℃）

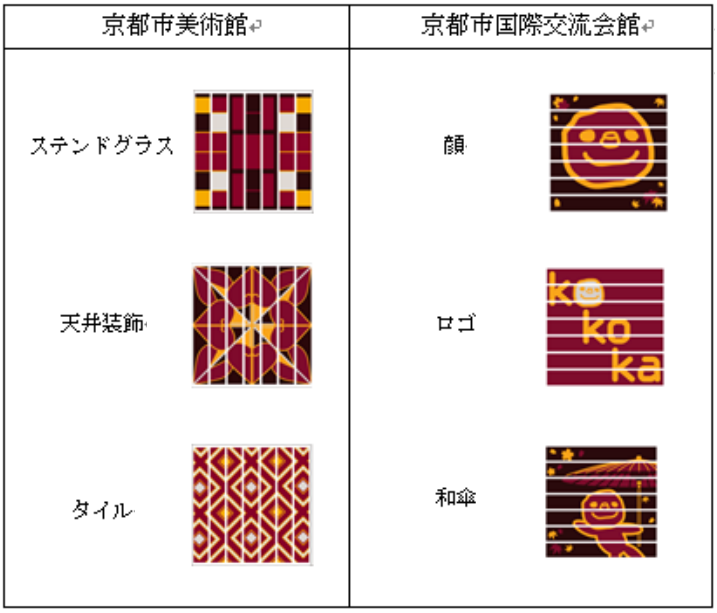


図 Ⅲ-2-C-1-(3)　セルデザイン

表 Ⅲ-2-C-1-(1)　実証試験前後の保持率（試験期間 2 年間）

デザイン	Pmax保持率 [%]	Ipm保持率 [%]	Vpm保持率 [%]	Eff保持率 [%]
	186.5%	209.6%	89.0%	186.5%
	187.6%	209.2%	89.7%	187.6%
	205.2%	253.8%	80.9%	205.2%
	210.8%	265.9%	79.3%	210.8%
	192.5%	206.9%	93.0%	192.5%
	193.9%	215.0%	90.2%	193.9%
	142.8%	176.5%	80.9%	142.8%
	200.1%	240.5%	83.2%	200.1%
	167.9%	189.7%	88.5%	167.9%
	159.9%	185.9%	86.0%	159.9%
	169.7%	208.7%	81.3%	169.7%
	142.2%	160.2%	88.7%	142.2%

デザインは濃淡の程度（発電能力）が異なる 3 種類を用意した。色素、デザインと月別平均充電率の推移を図Ⅲ-2-C-1-(4)に示す。緑色素は発電効率が赤色素の約半分程度であるため、色素の違いにより満充電到達率に大きな差が見られている。また出力の低い緑色素の方がデザインの影響を受けやすい傾向が見られる。これは出力が低いほど、満充電に到達しにくくなるため、結果としてデザイン（出力）の差が表れているものと考えられ、日射量の低くなる冬期にかけてデザインの差が生じ、夏季では差が生じにくくなることからも裏付けられる。

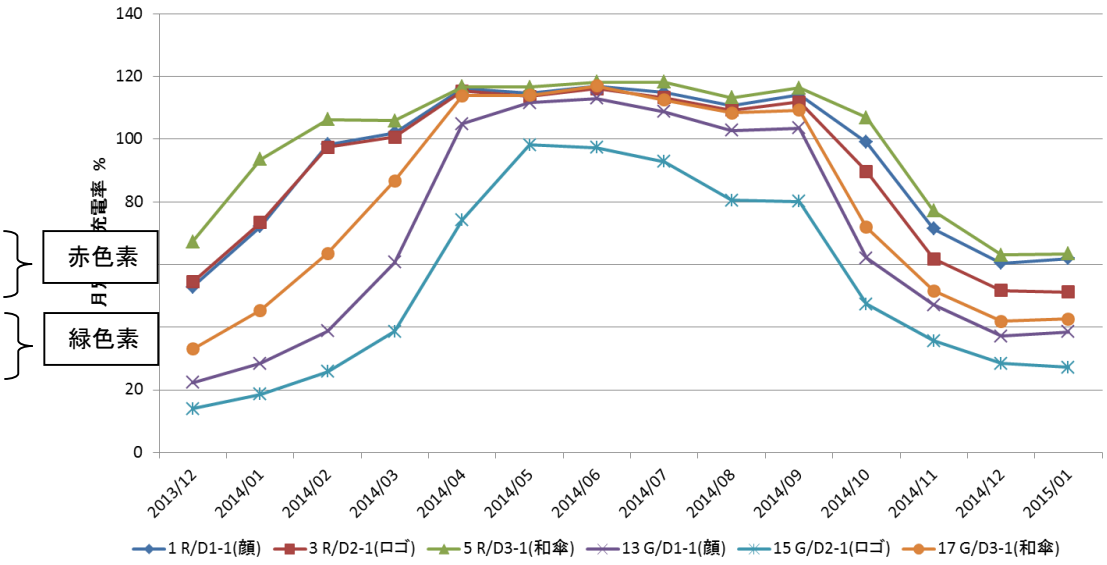


図 Ⅲ-2-C-1-(4)　色素、デザインと月別平均充電率の推移（京都市国際交流会館）

C.1.2　ランタンの月別平均充電率

目的：色素増感太陽電池はシリコン等他方式の太陽電池と比較し、太陽光の入射角度あるいは光強度に対する発電の依存度合いが低いことが知られているがその傾向を確認する。

目標：赤色色素ランタンの屋外暴露試験 12 ヶ月後の充電率 100%維持

試験概要:

- 実施場所：
  日本写真印刷株式会社（京都市中京区壬生花井町３）（図Ⅲ-2-C-1-(5)）
- アプリケーション形態：ランタン（赤色色素のみ）
- 色素増感太陽電池セルスペック
  サイズ：120 mm×123 mm
- パネル設置角度：水平設置（0°）　、垂直設置（東西南北方位90°）
- セルデザイン：無し
- 電解液：既存電解液

成果：水平設置の場合、目標値を達成していることを確認した。一方垂直設置で各方位での発電挙動を調べたが北側を除く方位（東、南、西）で満充電に達しており、北側でも夏季は 60%、冬季でも 30%以上の充電率を維持しており、最適な製品設計を行う事で利用可能になるものと考えている。（図Ⅲ-2-C-1-(6)）

図 Ⅲ-2-C-1-(5)　実証試験の様子

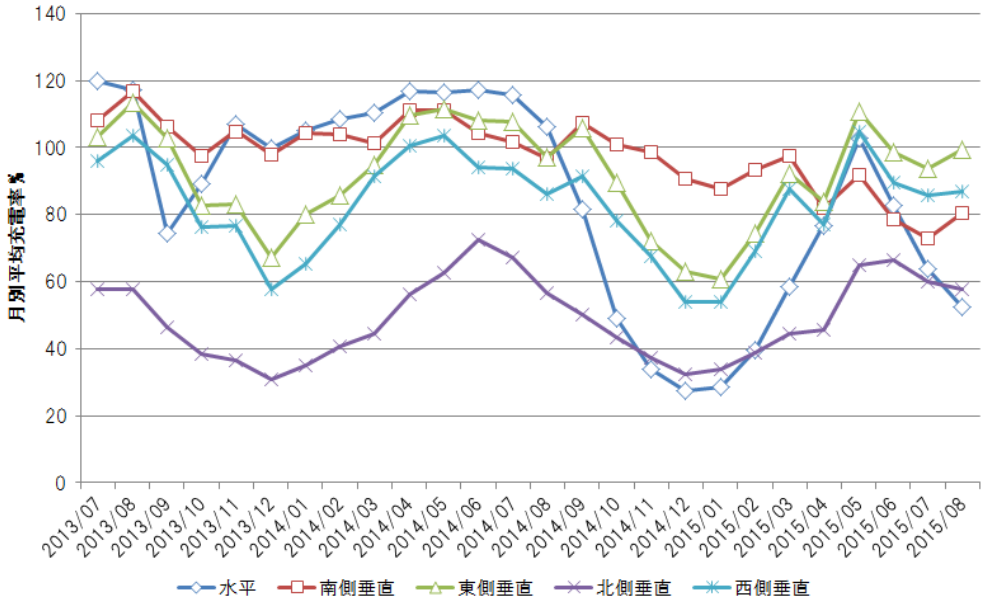


図 Ⅲ-2-C-1-(6)　各設置方位における月別平均充電率の推移

C.1.3　垂直設置モジュールの屋内発電効率保持率

目的：色素増感太陽電池は両面受光での発電が可能であること、太陽光の入射角度あるいは光強度に対する発電の依存度合いが低いことや屋内や低日射環境下での発電効率に優れる等の特徴を持っている。ここでは屋内環境下での発電効率を検証した。また設置場所は屋外では極めて人通りが多い環境であり、色素増感太陽電池の意匠性がどれ程有効かを調べる目的で、2 種類のデザインのモジュールを設置した。

目標：赤色色素セル屋内環境下で 12 ヶ月後の発電効率の保持率 100%維持

試験概要:

- 実施場所：芝浦工業大学（図Ⅲ-2-C-1-(7)）
- アプリケーション形態：屋内窓垂直設置パネル（赤色色素のみ）
- 色素増感太陽電池セルスペック
  - サイズ（1パネルあたりの外形寸法、固定フレーム含む）：1035 mm×2000 mm
  - 構成：パネルは、12ｃｍ×36㎝サイズのセルを３枚を並列接続したものをモジュール単位とし、６モジュール直列で接続したパネルを２台設置している。
- 電解液：既存電解液
- パネル設置方位：南東
- パネル設置角度：垂直設置（90°）

成果：図Ⅲ-2-C-1-(8)に発電効率（発電量比）を示す。棒グラフは月別概算出力効率（左縦軸）を表し、折れ線グラフは設置月基準保持率（右縦軸）を表している。この図より 12 ケ月後の発電効率が100%以上あることを確認した。12月に高い出力効率が見られるのは、パネルが設置されている窓の外側には植栽やビルが立ち並んだ環境であり、ビルの陰や冬場は落葉することでパネルに陽が差し込むようになったことが影響している。

図 Ⅲ-2-C-1-(7)　実証試験の様子

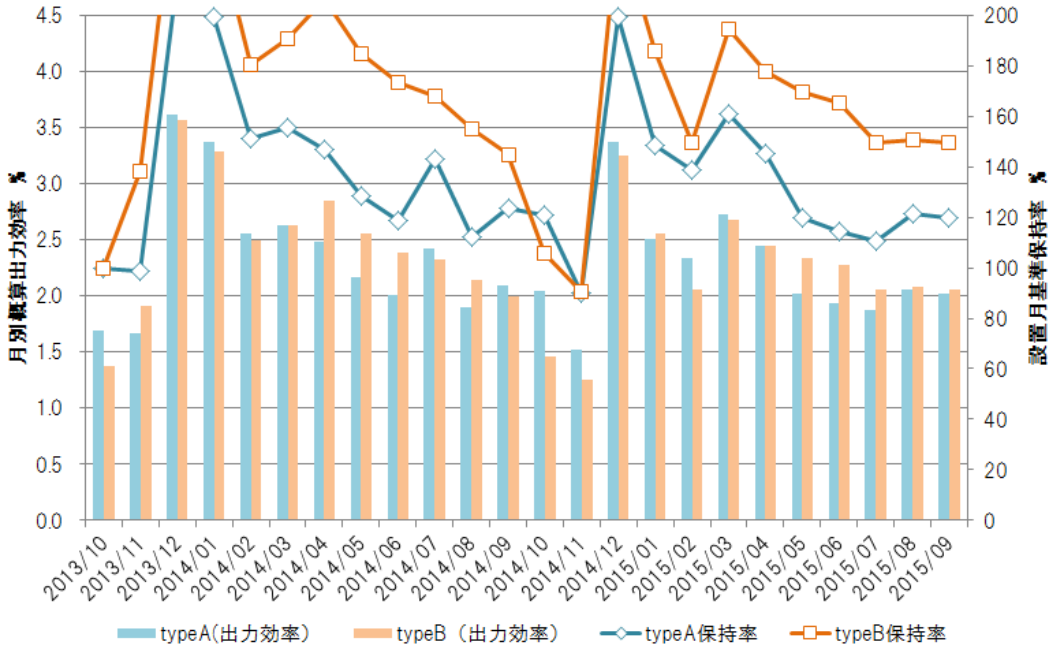


図 Ⅲ-2-C-1-(8)　発電効率（発電量比）の月別推移

C.1.4　高耐久性電解液の開発

目的：有機系太陽電池はシリコン等の無機系の太陽電池と比較して低寿命であり耐久性の向上が課題である。この項では現行電解液よりもより漏えいを抑えることを目的とした高沸点の電解液を用いて耐久性の改善効果を確認する。

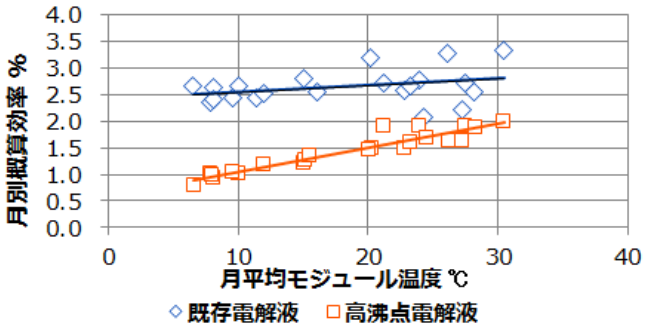
目標：12ヶ月後の発電効率の保持率95%以上

試験概要:

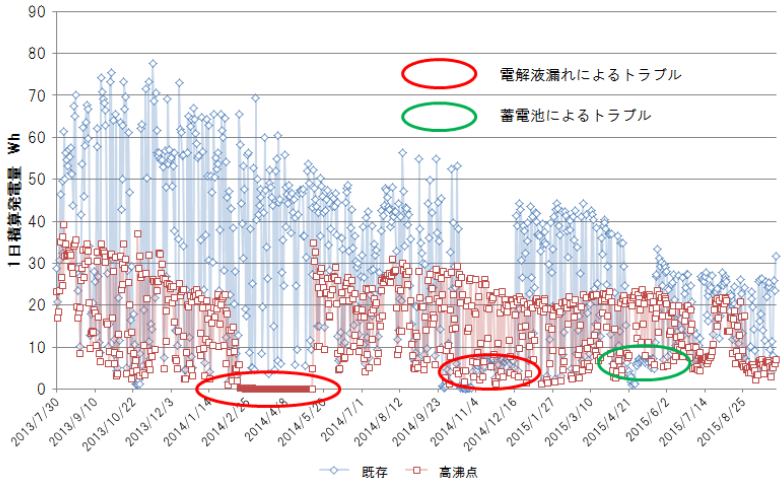
- ・実施場所：大黒パーキングエリア（神奈川県横浜市 鶴見区大黒ふ頭15）（図Ⅲ-2-C-1-(9)）
- ・アプリケーション形態：屋根垂直設置モジュール（赤色色素のみ）
- ・モジュールスペック
  - サイズ：1058 mm×2384 mm
    各タイプは、12ｃｍ角セルを８枚を直列構造したものをモジュール単位とし、７モジュール直列で構成されている。
- ・パネル設置方位：南東
- ・パネル設置角度：垂直設置（90°）

成果：95%の目標に対し94%の保持率を維持していることを確認した（図Ⅲ-2-C-1-(10)）。目標に届かなかった理由としてセル内に気泡が発生しているセルが観察され、封止破壊による電解液漏れが主原因であると推察している。又高沸点電解液は図Ⅲ-2-C-1-(11)に示すように既存電解液と異なり変換効率に温度依存性があることも確認された。このためグラフからは一見して2種類の電解液の比較は分かりにくいが、同月毎のデータをトレースすると高沸点電解液の方が長寿命であることが確認できた。

図Ⅲ-2-C-1-(9)　実証試験の様子



図Ⅲ-2-C-1-(11)　電解液の温度依存



図Ⅲ-2-C-1-(10)　電解液による月別概算効率の挙動

C.1.5　制御方式の適正評価

目的：一般に太陽電池パネルの屋外で使用する際には，出来るだけ多くの電力を得るため最大電力値追従（MPPT : maximum power point tracking）装置を用いた発電電力の瞬時的電子制御を行っている。色素増感太陽電池の発電応答速度は他方式の太陽電池よりも遅いことが知られており，色素増感太陽電池に好適な制御方式を検討する必要がある。

目標：市販品の MPPT、電圧固定タイプ、DSC の応答速度に合わせて開発した MPPT の 3 種類を用いて各種制御方式の最適日射条件を把握する。

試験概要:

・実施場所：
　テクノアークしまね（島根県松江市北陵町1番）（図Ⅲ-2-C-1-(12)）
　くにびきメッセ （島根県松江市学園南１丁目２－１）
・アプリケーション形態：広告掲示板
・色素増感太陽電池モジュール
　サイズ：645 ㎜×150 ㎜
　○タイプＡ（赤色５セル直列構造）
　○タイプＢ（赤色２セル緑色３セル直列構造）
　○タイプＣ（緑色５セル直列構造）
　○タイプＤ（赤色２セル緑色３セル直列構造）
・電解液：既存電解液
・パネル設置方位：南
・パネル設置角度：垂直設置（90°）
・制御方式（3種類）
　○固定電圧制御：動作電圧を一定に固定して制御を行う固定電圧制御回路
　○市販ＭＰＰＴ制御：シリコン太陽電池向け市販ＭＰＰＴ制御回路
　○改造ＭＰＰＴ制御：市販ＭＰＰＴの応答速度を遅らせるよう変更を施したもの

成果：低照度域では固定電圧制御方式が、高照度域では市販、開発した MPPT 制御方式が優位であることを確認した。（図Ⅲ-2-C-1-(13)）この傾向は赤、緑、混色系共に同じであることも確認した。（図Ⅲ-2-C-1-(14)）

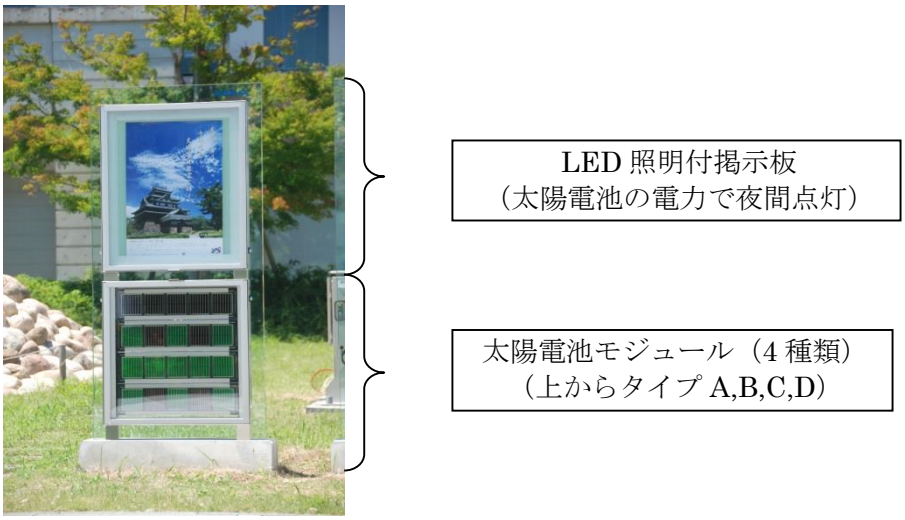
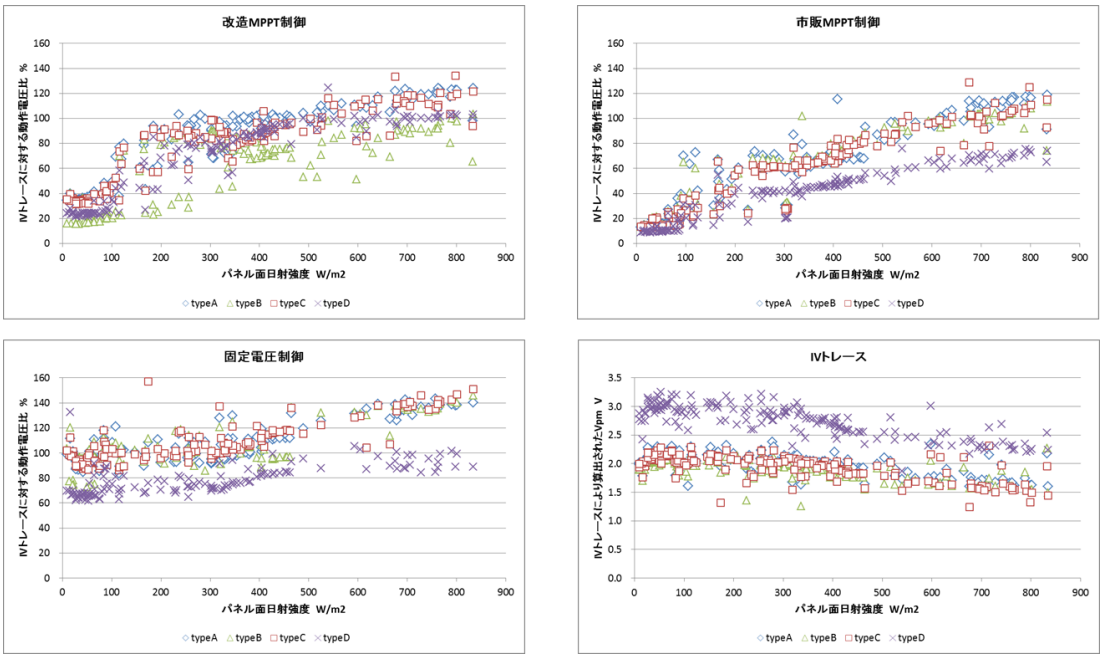


図 Ⅲ-2-C-1-(12)　実証試験の様子



図Ⅲ-2-C-1-(13)　IV トレースに対する制御機器の動作電圧比

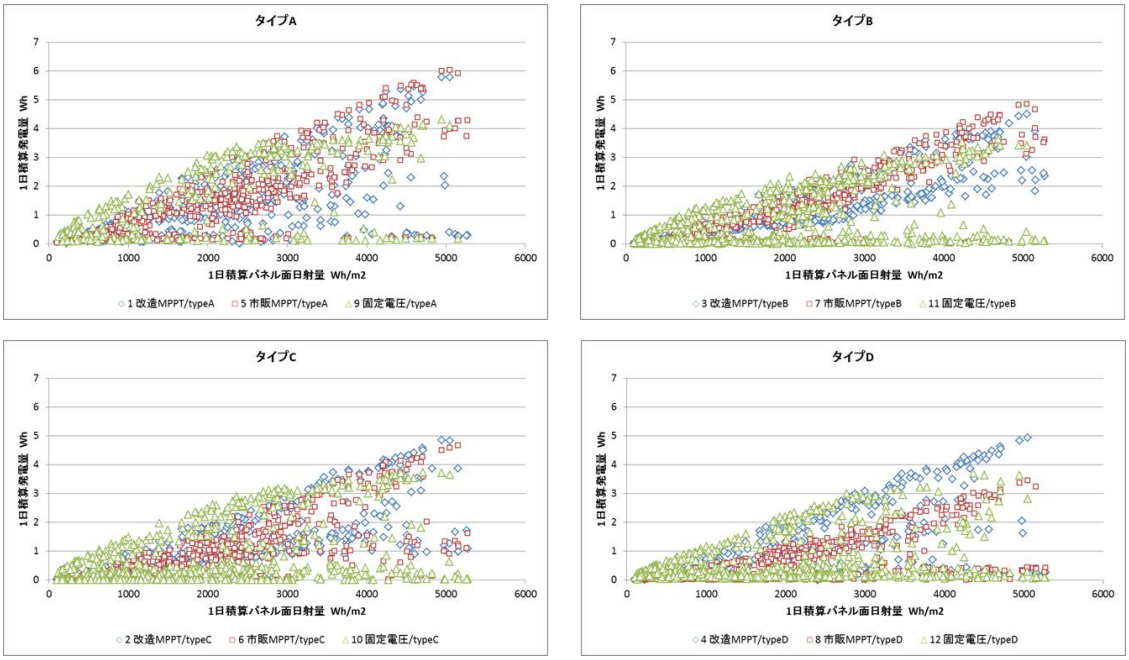


図 Ⅲ-2-C-1-(14)　各モジュールパターンにおける日射量と発電量の関係

C.1.6　モジュール軽量化

目的：耐久性を向上する目的で当社では色素増感太陽電池を合わせガラスで挟んだモジュール構成を採用しているが、重量が大きくなり設置環境が限定される等の課題があり、モジュールを軽量化することが求められている。今回、ガラスー樹脂のハイブリッドの特殊プラスチックを合わせガラスの代替として適用することで軽量化を図り、その耐久性を評価した。

目標：当社現行合わせガラス方式の 1/2 の重量。耐久性は同等。

試験概要:

・色素増感太陽電池モジュール
　サイズ：645 mm×150 mm
・実施場所：
　芝浦工業大学田町キャンパス（東京都港区芝浦3-9-14）（図Ⅲ-2-C-1-(15)）
・アプリケーション形態：
　屋内窓垂直設置パネル（赤色色素のみ）（図Ⅲ-2-C-1-(7)）
　大型ランタン（赤色色素のみ）（図Ⅲ-2-C-1-(15)写真内右）
・アプリケーションサイズ：180㎜×180㎜×920㎜（架台含む）

成果：合わせガラスに代わり特殊プラスチックを利用することで耐久性は同等で 1/3 の重量を達成。実地試験でも成果を確認した。重量及び耐久性のデータを表Ⅲ-2-C-1-(2)、図Ⅲ-2-C-1-(16)に示す。

表 Ⅲ-2-C-1-(2)　モジュール重量比較

ガラスモジュール	特殊プラスチックモジュール
888g	263g

（モジュール外形：150㎜角時）

図 Ⅲ-2-C-1-(15)　実証試験の様子

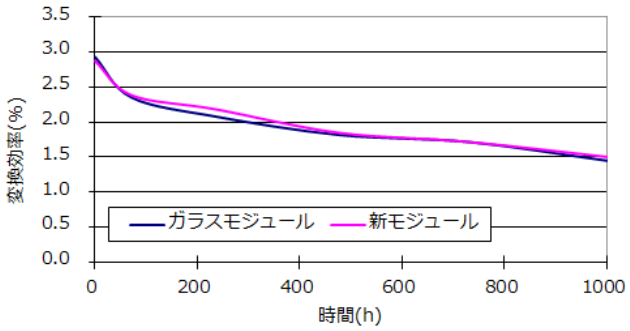
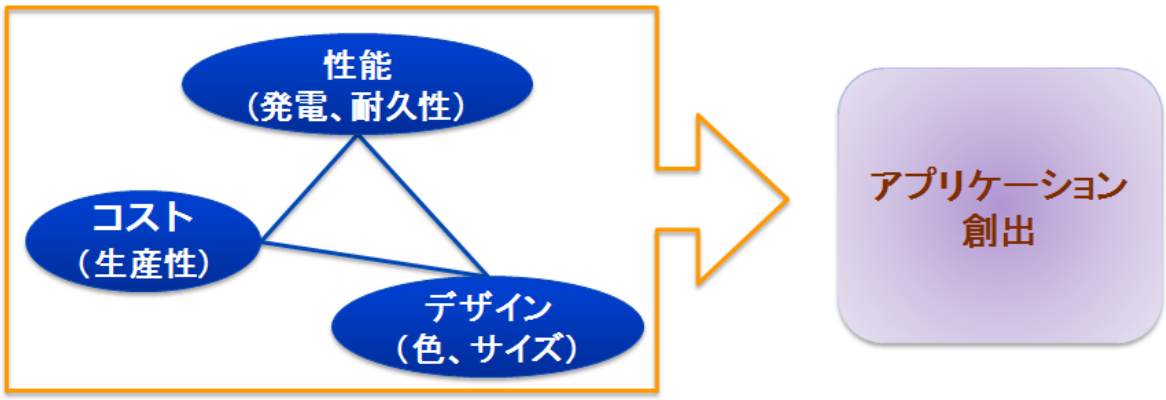


図 Ⅲ-2-C-1-(16)　高温高湿加速試験評価(85℃85%)

C.2　実用化・事業化見通し

C.2.1　成果の実用化・事業化に向けた戦略

本研究では色素増感太陽電池が他方式の太陽電池と差別化できる機能を重視したアプリケーションを創出し事業化への礎とする。



色素増感太陽電池が優位な特徴
（１）室内等の低照度環境下での発電特性
（２）デザイン性
（３）光源入射角による発電効率の低下が小さい
（４）両面受光（シースルー）

事業化に向けた戦略
色素増感太陽電池の発電特性や上記特徴を活かすことができるアプリケーションの創出戦略を以下に掲げる。これら戦略に伴ったアプリケーションは他方式の太陽電池では代替することが困難であり色素増感太陽電池の事業化を可能にすることができると考える。
（１）　系統連携は行わず太陽電池単独で駆動する独立電源設計のアプリケーション
（２）　他方式の太陽電池では設置困難な環境下で利用できるアプリケーション。例えば室内や木陰などの低照度下や垂直設置をする必要がある環境。
（３）　デザインを必要とするアプリケーション。

C.2.2　成果の実用化・事業化に向けた具体的取り組み

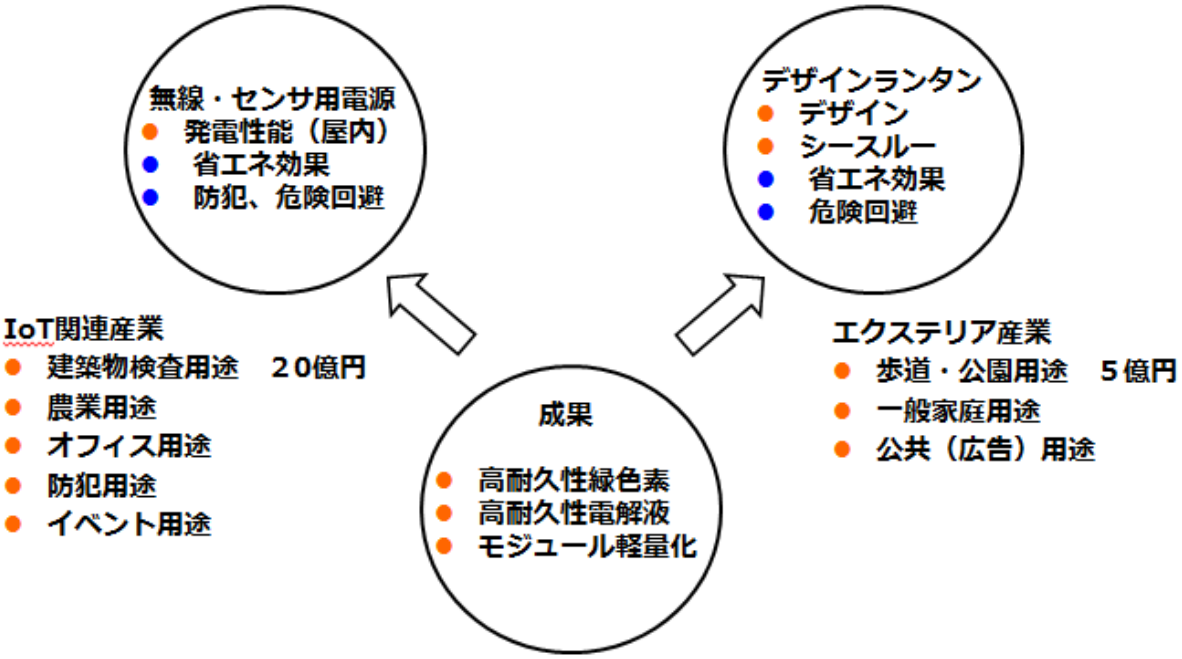
現在、前項で記載した戦略に基づき、以下の２種類のアプリケーションの製品化を検討している。

アプリケーション	DSC の優位性	用途例	対象業界
無線・センサ用電源	低照度環境下でアモルファスシリコン太陽電池より高い発電能力を発揮する	・橋等の構造物の劣化をリアルタイムに計測 ・精度の良い又こまめな室内の照明、温度の管理等	建設業界 IoT 関連業界
デザインランタン	デザインを施すことができること。又シースルー性。	・山間部などで利用できるランタン、誘導灯等	エクステリア産業

C.2.3 成果の実用化・事業化の見通し

前項で検討しているアプリケーションの製品イメージ、課題を以下に示す。

製品イメージ



課題

課題	課題内容	今後の取組
コスト	原材料コストは高止まりしており他方式の太陽電池比べて価格面で不利であり、DSC の普及の妨げになることが予測される	・材料メーカーとの価格交渉 ・製造条件の検討
低照度下での発電能力	アモルファスシリコンよりも低照度での発電能力は高いものの更なる発電能力の向上を求められている。	・材料、構成の検討
デザイン	蓄電池への充電などを行うため電圧を高める必要がありセルの分割を行っているがデザイン性が損なわれる。	・昇圧機を用いた単セルでの回路設計 ・製造条件の検討

上記課題のなかでも原材料コストは最も大きな課題である。設備投資を考慮する必要はあるが原材料コストは購入量により大幅にコストが下がることから、コストが大幅に下がる規模の製造量が見込める企画が見つかれば実用化・事業化に拍車が掛かるものと考える。

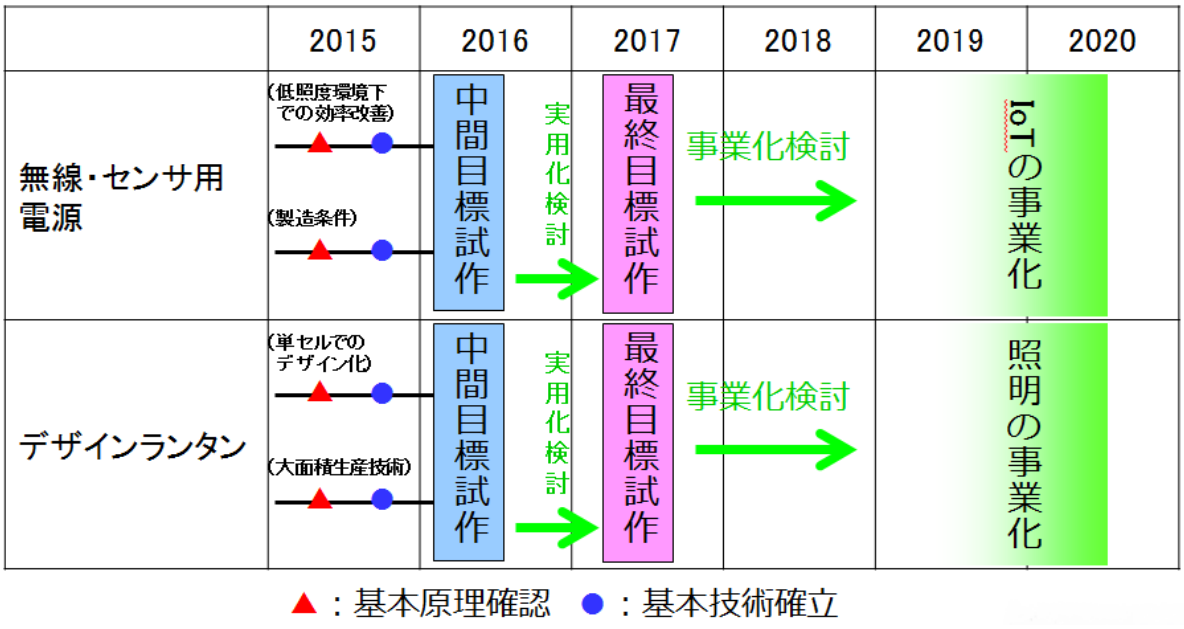
C.3　波及効果

今回開発した色素増感太陽電池は IoT の普及促進への貢献が期待できる。これにより農業生産効率の向上、農産物の低価格化、室内での省電力化、建造物の安全性向上などの波及効果が見込める。

C.4 今後の展開

検討している 2 種類のアプリケーションの実用化・事業化計画を以下に示す。

実用化・事業化計画



C.5　論文、特許、学会発表等

	H24	H25	H26	終了後	計
特許出願（うち外国出願）	0 (0)	0 (0)	1 (0)	0 (0)	1 件
論文（査読付き）	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 件
研究発表・講演（うち国際会議）	0 (0)	0 (0)	2 (0)	0 (0)	2 件
新聞・雑誌等への掲載	2	3	0	0	5 件
受賞実績	0	0	0	0	0 件
展示会への出展	1	3	2	0	6 件

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	日本写真印刷株式会社 島根県	特願 2015-049322	日本	2015 年 3 月 12 日	なし	色素増感太陽電池及び色素増感太陽電池セルの接続方法	坂根正恭、大栢伸次、眞田雄矢、古川雅彦、今若直人、金山真宏、岩田史郎

【論文・学会発表】

なし

【受賞】

なし

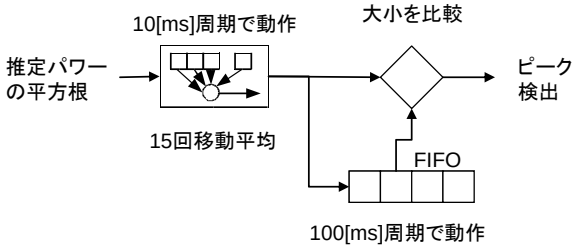
D　色素増感太陽電池モジュールの実証評価

D1　シャープ株式会社

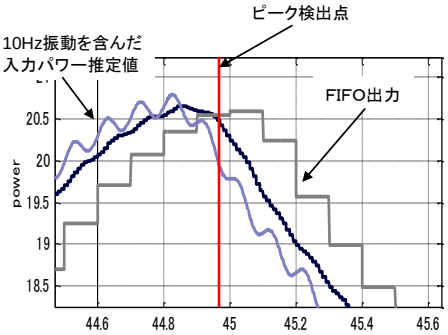
D1.1　成果詳細

１）太陽光発電システム設計

パワーコンディショナーへの接続による動作の検証を実施した。MPPT（最大電力点追従: Maximum Power Point Tracking）とは異なり、高効率化制御のためのインバータ制御指令による入力パワー推定処理を行い、気象条件の変化に対する適切な最適動作点を推測するシステムの評価を行った。



(a)ピーク検出部ブロック図



(b) ピーク検出部のシミュレーション結果

図 Ⅲ-2-D1-1-(1)　共通サイトC設置モジュールパワーコンディショナーの(a)ピーク検出部ブロック図と(b)ピーク検出部のシミュレーション結果

本システムは以下の流れにより実行されている。①入力パワーのピーク値の推定処理を行うことで最初のピーク値が推定され、最初の制御指令値が作成される。②最初の制御指令値から数100ms を置いた時刻において入力パワーを観測する。その際、観測した 2 点の入力パワーから、2 回目のトルク指令値を作成する。③その後、ピーク検出処理を行う。入力パワーが上昇から下降に転じた場合にも制御指令値を回生に設定する必要がある。このタイミングを調べるために、図Ⅲ-2-D1-1-(1) (a)の制御ブロックにより、ピーク検出演算を行った。図 Ⅲ-2-D1-1-(1) (b)は、10 Hz の振動成分を持つ入力パワーの平方根を入力した場合のシミュレーションによるピーク検出動作波形である。図Ⅲ-2-D1-1-(1) (b)の結果から、実機では推定値に振動が重畳するため不安定動作が生じる恐れがあるが、ピーク検出に影響がないことを確認できた。

このシステムを用い、共通サイトA、共通サイトC、ならびに共通サイトD の各サイトの制御システムとして導入し、実証試験検証を実施した。

２）太陽光発電システム試作

シャープ株式会社において、ＮＥＤＯ委託研究「三層協調界面構築による高効率・低コスト・量産型色素増感太陽電池の研究開発（高効率・高耐久性モジュールに関する研究開発）」（委託期間平成２２年４月１日～平成２７年２月２８日）の業務において、20cm 角サイズ(20cm□)までの大きさのＤＳＣモジュールの試作を行ってきた。

本事業では、20cm□サイズのモジュールをさらに30cm□へスケールアップさせる検討を行った。その結果を図Ⅲ-2-D1-1-(2)に示す。30cm□モジュールへのスケールアップでは、ＮＥＤＯ委託研究で構築した電極均一化技術などを適用することで、変換効率の低下が 20cm□とほぼ同等の30cm□モジュールのスケールアップに成功した。

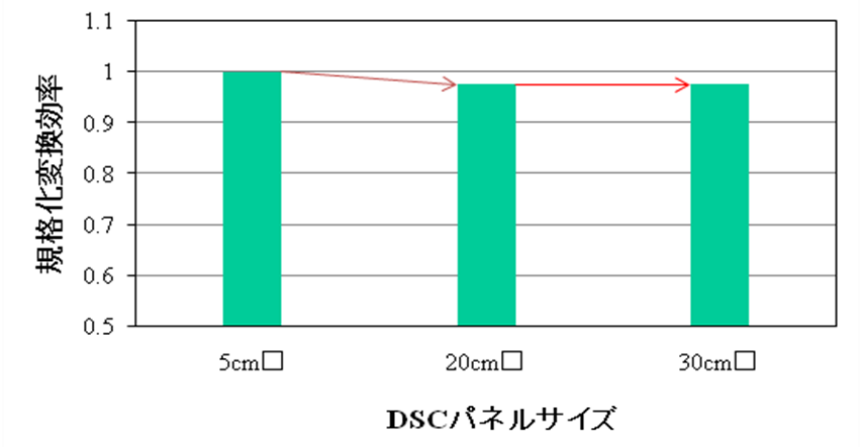


図 Ⅲ-2-D1-1-(2)　色素増感太陽電池モジュールの変換効率のサイズ依存性

３）太陽光発電システム設置・施工

社内および社外の試験場における実証試験を実施するにあたり、各サイトへのモジュール設置、および施工を実施した。サイトは以下の通りである。

社内：葛城事業所、天理事業所
社外：共通サイトA、共通サイトB、共通サイトC、および共通サイトD

各サイトのモジュール設置架台の進捗に合わせ、モジュールを作製し、各サイトでのモジュール設置作業を実施した。
平成24年度に葛城事業所にモジュールを設置し、平成25年度には、共通サイトA、共通サイトB、ならびに共通サイトCに設置し、平成26年度には、天理事業所、および共通サイトDに設置し、社内では、葛城事業所、天理事業所、社外では、共通サイトA、共通サイトB、および共通サイトDの各設置サイトでのデータ取得を開始した。
設置したモジュールの外観は、４）の実使用環境下でのデータ収集・評価分析でまとめて記す。

４）実使用環境下でのデータ収集・評価分析

３）において、各実証サイトでのモジュール設置用架台を設置し、モジュールを設置してきた。各サイトの外観ならびにデータについて説明していく。

・葛城事業所

(a)北面90度　　(b)南面90度

図 Ⅲ-2-D1-1-(3)　葛城事業所　モジュール設置外観

葛城事業所では、南面 90 度、および北面 90 度に設置した DSC モジュールと他の太陽電池モジュールとの発電量の比較を行った。図Ⅲ-2-D1-1-(3)は、(a)北面 90 度ならびに(b)南面 90 度に設置したモジュールの外観を示す。各図の上部に 3 つならんだモジュールは、左から、結晶 Si、a-Si、CIGS の各モジュールを示している。図Ⅲ-2-D1-1-(4)には北面 90 度に設置した DSC モジュールと他の太陽電池の定格出力に対する発電割合(パフォーマンスレシオ Performance Ratio：以下 PR)を示す。PR は、DSC モジュールの方が他の太陽電池モジュールよりも高いことを確認できた。南面 90 度の場合も同様に PR が高い傾向を確認している。

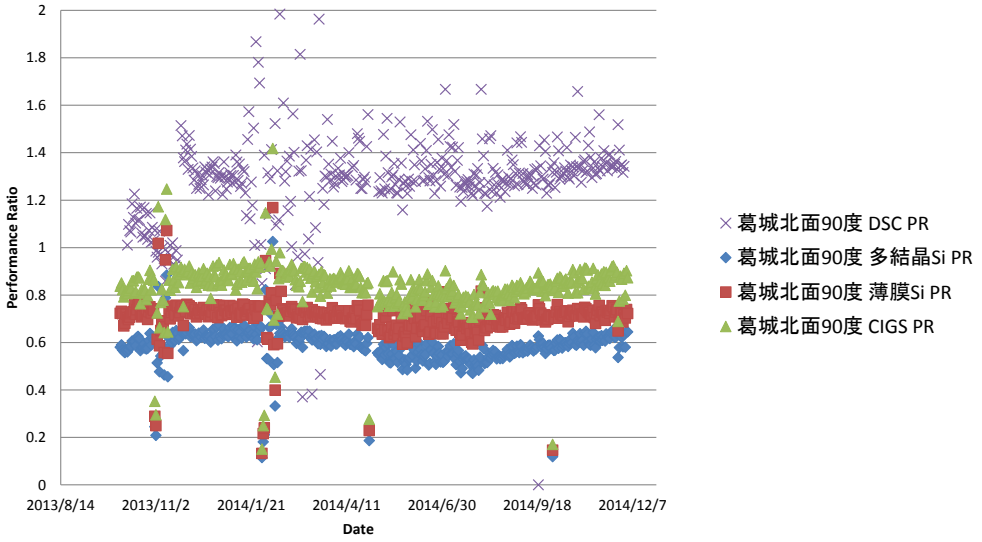


図 Ⅲ-2-D1-1-(4)　葛城事業所北面 90 度設置 DSC モジュールと他の太陽電池と PR 比較

・天理事業所

図 Ⅲ-2-D1-1-(5)　天理事業所　モジュール設置外観

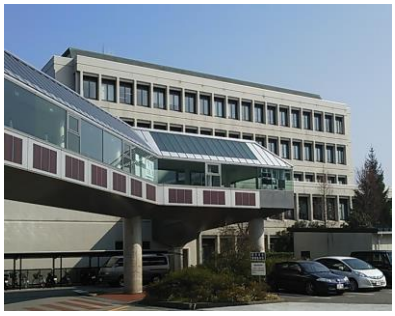
天理事業所では、東西南北 90 度面および 30 度面に設置した DSC モジュールの発電量を評価した。図Ⅲ-2-D1-1-(5)はその外観を示す。図 5 の正面左側が東面を、また正面右側が北面を示している。つまり北東側からモジュール架台を見ていることになる。この架台に設置したモジュールにおいて、表Ⅲ-2-D1-1-(1)に PR 特性例を示す。夏と冬に計測した特性では、ほとんどの設置面で定格出力以上の発電量が得られていることがわかった。これは、太陽光入射角に応じて、散乱光の影響が発電特性に大きく影響した結果を示していると考えている。

表 Ⅲ-2-D1-1-(1)　天理事業所東西南北設置 DSC モジュールの各方位 PR 特性例

	北面 90 度	南面 90 度	東面 90 度	西面 90 度	北面 30 度	南面 30 度	東面 30 度	西面 30 度
夏至付近	1.04	1.35	1.40	1.23	1.02	1.43	0.87	1.00
冬至付近	1.09	1.38	1.08	1.16	1.31	1.48	1.41	1.42

・共通サイトA

共通サイトAでは、壁面設置における発電量の積雪の影響の評価を目的に、モジュールを設置した。図Ⅲ-2-D1-1-(6)は、南面90度に設置したモジュールの外観を示している。正面のガラス張りの廊下の屋内側にモジュールを設置している。これらのモジュールに対し、積雪の有無による日照時間当たりの発電量の変化を、Si太陽電池と比較した。その結果を表Ⅲ-2-D1-1-(2)に示す。その結果、色素増感太陽電池の場合では、積雪がある場合、日照時間当たりの発電量が積雪がない時に比べ増加するのに対し、Si太陽電池の場合では、ほとんど変化しないことが確認できた。これは、積雪による散乱光に対する色素増感太陽電池の有効性を示していると考えられる。


(a)積雪無し南面90度

(b)積雪有り南面90度

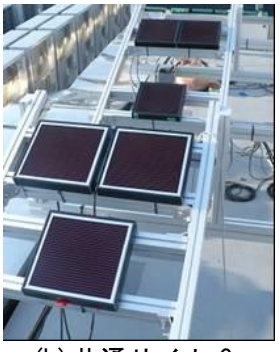
図 Ⅲ-2-D1-1-(6) 共通サイトA モジュール設置外観

表 Ⅲ-2-D1-1-(2) 共通サイトAの南北面90度設置DSCモジュールの日照時間当たりの発電量のSiとの比較

各日発電量比較	南面90度設置 日照時間当りの発電量(Wh)		北面90度設置 日照時間当りの発電量(Wh)	
	DSC	Si	DSC	Si
2014/2/7(積雪有晴)	2.28	2.36	0.55	0.21
2014/2/24(積雪無晴)	2.09	2.40	0.39	0.24

・共通サイトB、共通サイトC、共通サイトD

(a)共通サイトB


(b)共通サイトC

(c)共通サイトD

図 Ⅲ-2-D1-1-(7) 各サイトのモジュール設置外観

共通サイトBでは、NEDOから委託を受ける「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」業務の一環として、屋外暴露システムが設置されている。この設備を用い、試作したDSCモ

ジュールの実環境下での計測を行った。その外観を図Ⅲ-2-D1-1-(7) (a)に示す。この図に示すように、3 直のストレージで実証評価を行っている。

共通サイト C、並びに共通サイト D では、東京大学飯田准教授開発のパワーコンディショナー（（１）の太陽光発電システム設計参照）を用いて、発電量の評価を行った。それらの外観を図Ⅲ-2-D1-1-(7) (b)および(c)に示す。共通サイト C のモジュールは、単独、並びに 2 直のストレージで検証し、共通サイト D は、2 直 2 並のアレイで検証した。

図Ⅲ-2-D1-1-(8)は、各サイトの設置からの PR の経過を示している。この図から、特徴的な変化が 2 つ見られている。一つは、共通サイト D の PR の変化が他のサイトに比べ急速に劣化していることである。もう一つは、共通サイト B と共通サイト C の PR の変化において、共通サイト B の方がやや早く劣化していることである。前者では、モジュールの接続方法がアレイであるため、東大開発のパワーコンディショナーに今までにない課題が生じたことが考えられる。共通サイト C に設置のモジュールは、単独、並びに 2 直のストレージであることはすでに述べたが、この場合の PR は図Ⅲ-2-D1-1-(8)に示すように急速な劣化は見られていないことから、アレイに対する制御系の確立が課題として抽出される。後者では、共通サイト B の制御システムと、共通サイト C の制御システムが異なっていることが起因していると考えられる。共通サイト B と共通サイト C はいずれもストレージでの検証を実施しているため、PR の変化は制御システムが要因の一つとなっていることが示唆される。現在、データ取得を継続し、制御システム以外の要因を抽出し、検証を実施している。

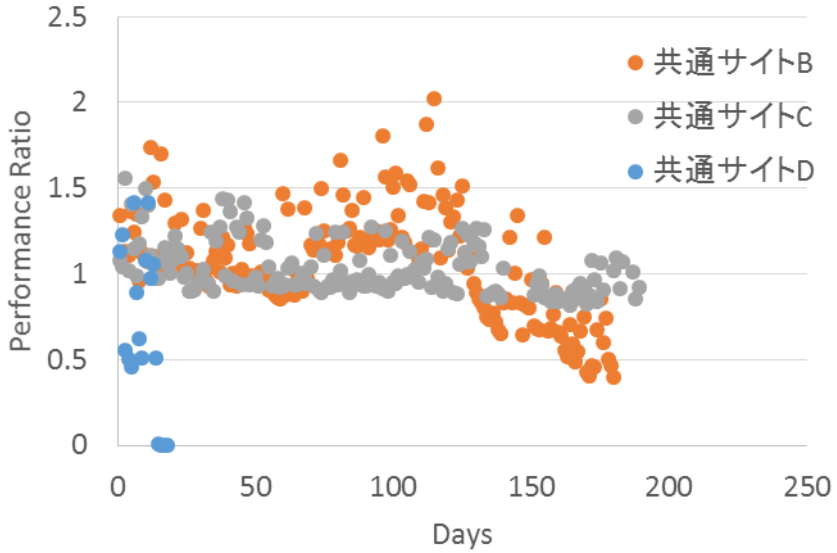


図 Ⅲ-2-D1-1-(8)　各サイトの PR 測定例

D1.2　実用化・事業化見通し

D1.2.1 成果の実用化・事業化に向けた戦略

昨今の政策（FIT）により太陽電池が著しく普及し、結晶シリコン太陽電池の価格やワット単価が下落し、新規の太陽電池が新たに参入することが難しくなっている。そのような状況の中、色素増感太陽電池の商品化のためには、色素増感太陽電池の特長を活かした新規の市場開拓が必要である。

１つには色素増感太陽電池の変換効率が光入射角に依存せず、散乱光に対しても高い発電効率を示す特長を活かし、ビル壁面やマンションのベランダへ傾斜角 90 度で設置（壁面設置）する用途が新規市場として挙げられる。また、低光量下においても開放電圧の低下が少なく、効率良く発電できる特長を活かし、屋内で使用する環境センサー用電源などが新規市場として考えられる。これらの用途に限らず、色素増感太陽電池の特長を活かした新規市場を開拓していく必要がある。

D1.2.2 成果の実用化・事業化に向けた具体的取り組み

壁面設置用途において、実環境下での発電量と長期安定性が必要不可欠である。実環境下での発電量は、有機系先導技術開発において、モジュールの屋外暴露試験を実施し、東西南北面 90 度設置を想定した使用環境における発電量を実測することで、色素増感太陽電池の他の太陽電池に対する優位性を示すデータを得ている。また、最も懸念される信頼性の観点においては、本プロジェクトにおいて JIS 規格 C8938 の試験（耐熱性、耐湿性、耐光性、温湿度サイクル）を実施し、物理・化学の原点に立ち戻った劣化メカニズム解析を行うことで劣化挙動の理解と抑制を行うことで、目標である性能低下 10%以内達成し（一部未達）、実用化・商品化に最低限必要な信頼性を確保できた。

屋内用途の市場においても、上記壁面設置の場合や屋内用途と同じで、色素増感太陽電池の発電特性や信頼性の確保は重要であり、モジュールの北面 90 度設置における発電特性では、入射光量が小さい場合に定格の 1.8 倍の発電量を示すなど、低光量下での応用商品が期待される。また、屋内でも温度上昇が懸念される場合には、JIS 規格 C8938 の耐熱性試験において実施した温度による性能低下抑制技術をそのまま適用できる。

ただし、屋内では、照射光による太陽電池への入力が非常に小さく、動作可能なアプリケーションは限られている。本プロジェクトでは、その点を鑑み、具体的なアプリケーションを想定して屋内での色素増感太陽電池による発電、充電、動作の検討を行い、屋内における太陽電池の応用用途の可能性について示すことができている。

D1.2.3 成果の実用化・事業化の見通し

屋内用途を想定したアプリケーションは、使用環境が屋外用途に比べて厳しくないため、直近の市場投入となり得る。課題は、低コストで作製可能な量産プロセスの確立と投入市場の見極めである。

量産プロセスの確立では、一枚の基板から複数の太陽電池を作製する（多面取り）技術や、時間を要する電解液の注入工程の簡略化技術、性能および信頼性のバラツキを抑える貼り合せ（封止）技術の検討が重要であり、これらに関しては、継続研究を実施することにより、目標とする仕様に近づきつつある。

もう一つの課題である投入市場の見極めでは、世間のニーズを的確に捉えて、他の太陽電池では不可能な用途と市場の開発を行えれば、色素増感太陽電池の早期商品化は可能であると考えている。

色素増感太陽電池の壁面設置用途での実用化を鑑みた場合、本プロジェクトにおける高信頼性化検討において、JIS 規格 C8938 の試験（耐熱性、耐湿性、耐光性、温湿度サイクル）を実施し、性能低下 10%以内を達成しているが、実使用を考慮すると、500h, 1000h の試験時間では不十分であり、今後更なる試験の継続と高信頼性化が必要と考えられる。このため、壁面設置用途での実用化は、屋内用途での実用化の次段階の目標になると考えられる。

D1.3　波及効果

（１）当該分野への波及効果(技術的・人材育成)

- 色素増感太陽電池モジュールの気象条件と発電特性との相関の実証試験を実施することができた。本実証試験により、モジュールと制御システムとの接続法に技術的課題が示唆され、更なる技術的な進展が予測される。
- 大きなコンソーシアムでのプロジェクト体制の下で、複数の企業・大学・公的研究機関相互での人材交流が行われており、産官学それぞれにおいて将来指導的立場に立てる人材育成に貢献。

（２）関連分野への波及効果(技術的・経済的・社会的)

- 有機エレクトロニクス材料技術、及び可視光光触媒や人工光合成などの光電変換関連技術のレベルアップなどの技術的な波及効果が期待できる。
- 色素増感太陽電池の特長を生かした設置場所の提案など、太陽電池の潜在市場の開拓にも、大きな影響（波及効果）を与えるものと予想される。

D1.4　今後の展開

4．3 実用化の見通しに記載の通り、本プロジェクトで実施したモジュールの高効率化および信頼性の基礎データの取得により、更なる実用化の期待が高まるが、最初に屋内用途市場に対して、色素増感太陽電池の既存太陽電池と異なった特徴を生かした新規市場開拓（環境センサー用電源等）を行うことができる可能性があり、これによる太陽電池全体の市場拡大を目指す。

また、信頼性 JIS 規格 C8938 などをさらに長期間実施し、色素増感太陽電池用の加速係数の算出などを実施して信頼性を確保し、半屋外・屋外における新規用途開拓を目指す。

D1.5　論文、特許、学会発表等

本事業における論文、特許、学会発表は無し。「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」におけるシャープ株式会社の成果については「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」の事業原簿参照

【特許】
なし

【論文・学会発表】
なし

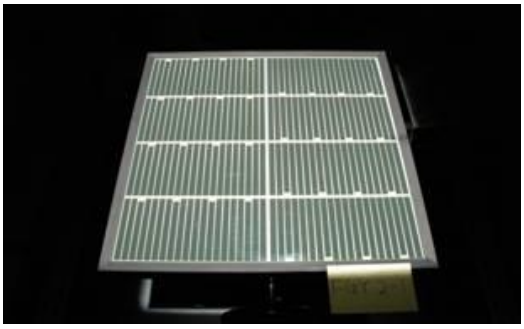
【受賞】
なし

D2　株式会社フジクラ

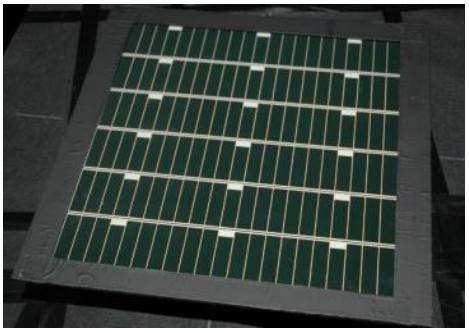
D2.1　成果詳細

(1) 太陽光発電システム設計

本助成事業で使用するDSCモジュールは本助成事業と同時に実施したNEDO委託研究「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発　高効率・高耐久性色素増感太陽電池モジュールの研究開発」により開発した高耐久性DSCモジュールをベースとして製作した(図Ⅲ-2-D2-1-(1))。南向きで使用するモジュールは、集電配線部での電圧降下の影響を有限要素法によるシミュレーションを活用して見積もり、開口率とのバランスを勘案しながら最適化し、従来設計より電圧降下を抑制できる配線デザインとした。



図Ⅲ-2-D2-1-(1)　50cm角モジュールパネル外観



図Ⅲ-2-D2-1-(2)　30 cm角モジュールパネル外観

さらに、1 sun条件下に合わせて配線設計されているパネルをベースに0.1 sun条件をターゲットに有限要素法を用いた再設計をあわせて行い、発電面積を8.7%増加させ、Ag配線面積を32.7%減少させた最適設計を得た。同様に電流・電圧設計の異なる30 cm角モジュールもサイズに合わせた最適設計を行った(図Ⅲ-2-D2-1-(2))。

モジュール選択の幅を広げ様々な使用環境に適応できるようにするため、モジュール裏面の筐体をバックシート式に切り替えた軽量化モジュールを検討した。バックシート式とするとモジュール内への水分侵入の懸念が生じる。乾燥剤を使用することで10年間に侵入する水分量を吸収でき、50 cm 角モジュールに軽量化遮水構造を適用することができることがわかったが、実際にモジュールとして試作したところ端子を取り出す部分の耐久性に課題があることがわかり実証評価では採用を断念した。

これらのモジュール設計を踏まえて、DSCの特性にマッチした制御システムの開発を実施した結果は後章で説明する。

(2) 太陽光発電システム試作

本助成事業に適用するDSCモジュールの製造プロセスを作業者の熟練度や能力に依存せず実施できるよう工程全体を再度見渡しQC手法を用いた改良と管理を行った。

また本改良を通して判明した、より信頼性が要求される工程のうち、特に発電性能や耐久性に影響の大きい工程については、安定的に試作を行うための自動化を進め、安定的に試作を行うためのプロセス技術開発を実施した。また同じく品質への影響が大きい課題に対しては、本事業のモジュール構造に合わせた要素プロセス技術開発を行った。

上述の開発技術を適用して効率化した試作工程で 50cm 角モジュールを試作し、1sun 下での発電特性を評価した。図Ⅲ-2-D2-1-(3)に示す通り、従来プロセスによるモジュールの変換効率(η)、最大出力(Pmax)、短絡電流密度(Jsc)、開放電圧(Voc)、フィルファクタ(FF)を基準としたき、η、Pmaxは19%向上、FFは11%向上、Jscは6.5%向上し、開発したプロセス技術の有効性を確認できた。

また、大型DSCモジュール製造の歩留りは、2012年度の0.75から、2014年度には0.87まで向上した。(図Ⅲ-2-D2-1-(4))

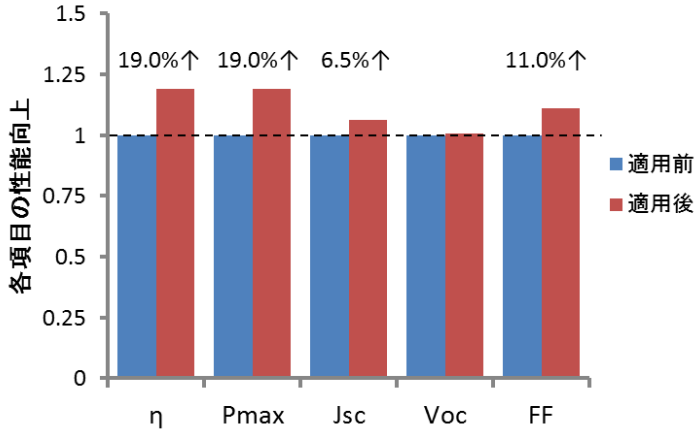


図 Ⅲ-2-D2-1-(3) 開発技術を適用した 50cm 角モジュールの発電特性

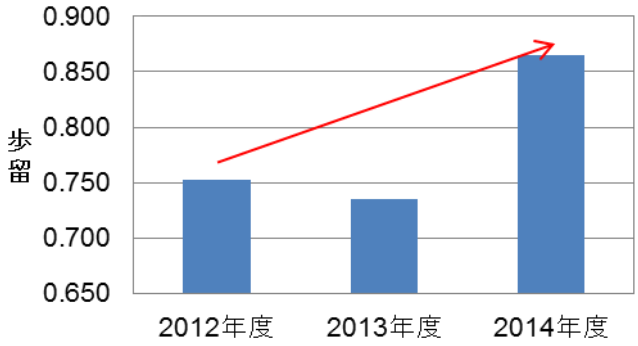


図 Ⅲ-2-D2-1-(4) 各年度の DSC モジュール製造歩留り

(3)太陽光発電システム設置・施工、及び実使用環境下でのデータ収集・評価分析

製造した DSC モジュールは日本各地の様々な場所、設置環境（南 35°、南壁面、北壁面、屋内など）でフィールドテストを行い、その発電特性や耐久性を評価した。配線腐食や UV カット塗膜剥離等で劣化したモジュールは順次リプレースした。

(3) -a 社内フィールドテスト: 千葉県佐倉市

社内フィールドテストでは、各設置環境（南 35°、南壁面、北壁面）において、角度依存性、照度依存性などの特性がどの様に発揮されるか、結晶 Si 太陽電池、CIGS 太陽電池と比較しながら評価した。図Ⅲ-2-D2-1-(5)は、擬似太陽光照射下（1sun）で変換効率 6.0%の DSC モジュールパネルにおける、屋外（南 35°設置）での実発電出力と、変換効率 6.0%として算出した発電量計算値との比較で、晴天、曇天、雨天の各天候下いずれの場合にも定格値以上の発電出力が得られており、特に曇天、雨天時は計算値の 1.4～1.7 倍程度の出力が得られており、色素増感太陽電池の特徴は実環境でも発揮されることが明らかになった。

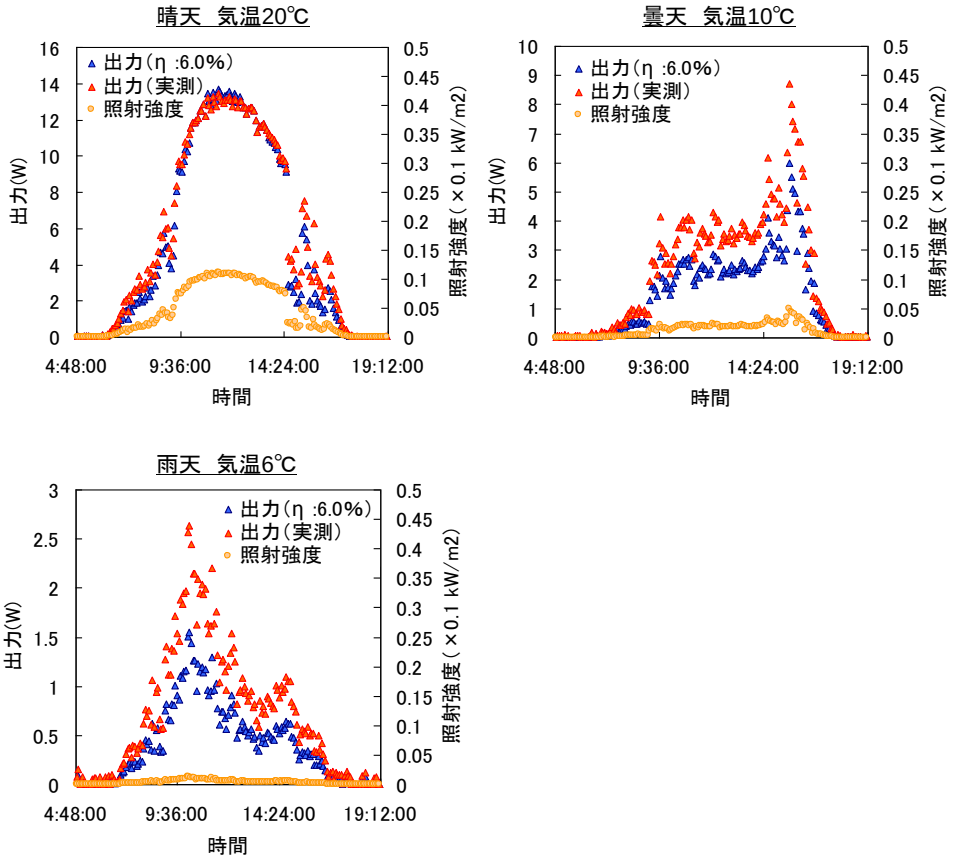


図　Ⅲ-2-D2-1-(5)　試作モジュールの屋外発電特性

(3) -b　社外フィールド試験サイト①

南 30°の条件で 50cm 角モジュールパネル 5 枚を設置し、フィールド試験を行った。ここでは、結晶 Si 太陽電池と比較しながら、評価を行った。

(3) -c　社外フィールド試験サイト②

従来の太陽電池と電気的な特性が異なる DSC では、それに適合した制御システム（インバーターなど）の設計、評価が必要であり、開発を実施した。試作したシステムの実証試験のため、社外フィールド試験サイト②に設置架台を設置し、50cm 角 DSC モジュールと比較用の各種太陽電池（バルク結晶 Si 系、薄膜 Si 系、化合物系）を設置して評価を行った。試作システムはここで応答特性、制御アルゴリズム改良を進め、その後社外フィールド試験サイト④での実証実験に導入した。

上記の3サイトそれぞれの南斜面に設置した 50cm 角 DSC モジュールと Si 太陽電池の発電量を、晴天時及び雨天時について図Ⅲ-2-D2-1-(6)に示す。設置場所や天候にかかわらず、南斜面設置では DSC は Si 太陽電池よりも低い発電量であったが、いずれのサイトでも晴天時より雨天時の方が発電量の差が小さくなっており、照度が低い場合に発電性能が高くなるという DSC の特性は確認出来た。

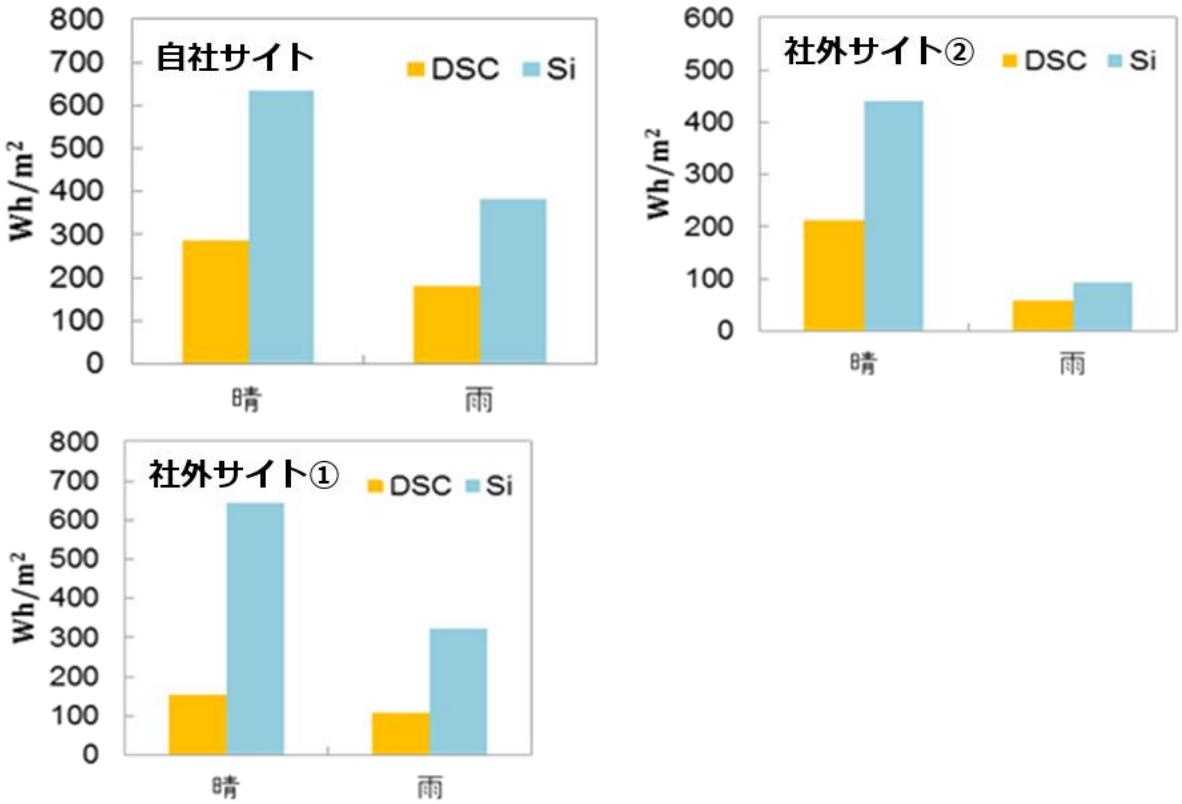
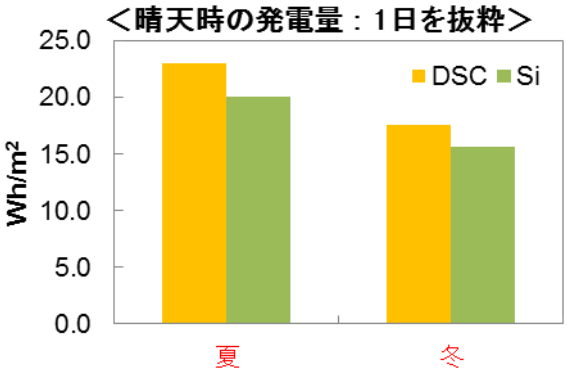


図 Ⅲ-2-D2-1-(6) 晴天及び雨天時の自社サイト、社外サイト①、社外サイト②
それぞれの南斜面に設置した 50cm 角モジュールと Si 太陽電池の発電量比較
計測時期:2~4 月

(3) -d 社外フィールド試験サイト③

社外フィールド試験サイト③の渡り廊下部に 50cm 角モジュールを壁面設置し、フィールドテストを行った。本サイトでは DSC が有利となる北側壁面での出力特性と耐久性を評価した。

図Ⅲ-2-D2-1-(7)に廊下部北壁面に設置した 50cm 角 DSC モジュールと Si 太陽電池の夏及び冬の晴天時の発電量を示す。どちらの季節においても、(3) -a と同様に、DSC モジュールの発電量は比較の Si 太陽電池よりも高くなった。



図Ⅲ-2-D2-1-(7) 社外フィールド試験サイト③の廊下部北壁面に設置した
50cm 角 DSC モジュールと Si 太陽電池の発電量の比較
夏:7 月、冬:12 月 いずれも晴天時の計測結果

図 Ⅲ-2-D2-1-(8)は北壁面に設置した 50cm 角 DSC モジュールと Si 太陽電池の出力を経時的に測定した結果である。1 年を通して 50cm 角 DSC モジュールが安定して発電していることを確認できた。

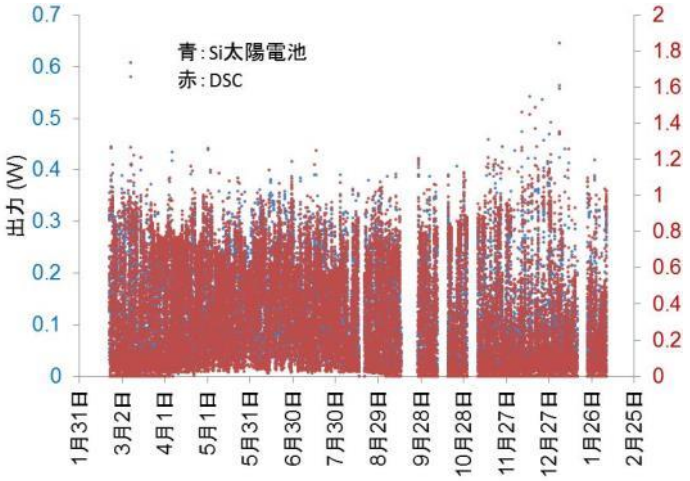


図 Ⅲ-2-D2-1-(8) 50cm 角 DSC モジュールと Si 太陽電池の出力の継時測定結果

(3) -e 社外フィールド試験サイト④

社外フィールド試験サイト④は寒暖差が大きく日射量が多い地域であり、太陽電池を使用する上で厳しい環境と言える。この社外フィールド試験サイト④の南斜面に 50cm 角 DSC モジュールを設置し、その耐久性評価を行った。設置前と、設置後約 1 年経過したモジュールを疑似太陽光照射下で IV 測定した結果を図Ⅲ-2-D2-1-(9)に示す。発電性能は設置前から低下することはなく、むしろ向上する結果となり、開発した 50cm 角 DSC モジュールが、寒暖差が大きく日射量が多い環境でも、1 年以上の使用に耐え得る耐久性を有することを確認できた。

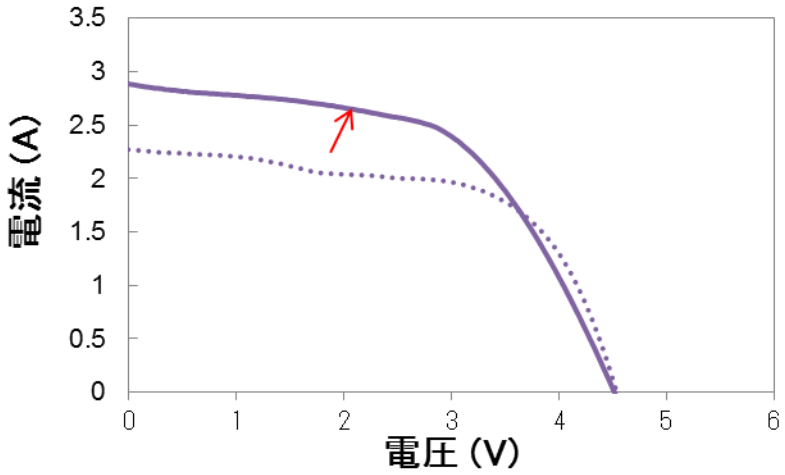


図 Ⅲ-2-D2-1-(9) 社外フィールド試験サイト④に設置した
50cm 角 DSC モジュールの発電性能変化　点線：設置前　実線：1 年経過後

(3) -f 社外フィールド試験サイト⑤

実際の使用環境を想定した応用センシングシステム実証試験として、人感システム電源に DSC モジュールを適用する検討を行った。

本システムの従来基板において消費の大きかった部品を再選定して既存回路から 1/5 の低消費電力化を行ったうえで、開発した人感システムに 50cm 角 DSC パネル 2 枚を直列接続して電力供給を行ったところ、1,000 lux 以上の照度で安定動作することを確認できた。図Ⅲ-2-D2-1-(10)に 2,000 lux 環境下での動作状態をモニタリングした結果を示す。日中何度も人感通知ブザーが動作したことが確認できる。ただし、室内を含む任意の箇所に設置することを考えると、照度が 1,000 lux 以下になる場所も多く、サイトへの設置は見送った。より使いやすいシステムにするためには消費電力のさらなる低減と DSC の効率向上が必要である。

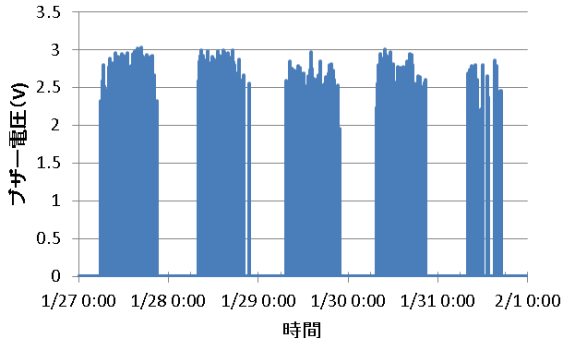


図 Ⅲ-2-D2-1-(10) ブザー電圧

これらのフィールドテストの途中で故障したモジュールは回収し、原因の解析と対策を行った。
故障原因は以下のようなものがあった

a. 積雪によるガラス表面 UV カット樹脂の剥離

DSC を UV 光から守る UV カット塗膜は耐候性試験（サンシャインウエザー試験、クロステープカット試験、ヒートサイクル試験、ヒートショック試験）をクリアしているが、フィールド試験時において、塗膜面に雪が積もった際に剥離するケースがあることがわかった。対策として、より安定した新たな UV カット剤の選定・評価を実施した。新規選定品では、降雪時の剥離トラブルは解消した。

b. 寒暖差によるガラス表面 UV カット樹脂の剥離

寒暖差の大きい社外フィールド試験サイト④に設置した 1 部のモジュールで新規選定の UV カット塗膜でも剥離が生じることがわかった（他のサイトでは起こらない）。この剥離は、塗膜の膜厚ムラが比較的大きい場所で生じており、膜厚均一性の管理条件をより厳しく設定する必要があることがわかった。

c. 異物による集電配線腐食

複数の試作モジュールにおいて設置直後に集電配線と電解液が反応して腐食し、故障するものが生じた。故障解析を行ったところ、配線保護膜に異物の混入が見られ、さらに異物の解析結果から混入経路、原因を特定した。工程の見直しを行い、この様な異物混入を生じないようポイントとなる部分のクリーン化を徹底した結果、設置直後の配線腐食故障はほぼ解消した。

d. ピンホールによる集電配線腐食

前出のクリーン化の対応を行うことで集電配線腐食が生じなくなったものの、引き続きモジュール作製を続けるうち、再度集電配線の腐食が多発するようになった。配線の顕微鏡観察を行った結果、腐食の発生したモジュールでは集電配線保護膜に多数のピンホールが観察されたが、材料を改良することで従来より簡素でピンホールのない集電配線が成膜可能となった。

(4) まとめ

以上の通り、2 年間の助成事業の中で集電配線大型 DSC モジュールの製造プロセス技術開発及び実証評価試験を行い、実際の環境で使用した際に高い効率を示す DSC モジュールを、高い歩留まりで製作するための基礎的な技術を得ることが出来た。また実際の使用中に発生するいくつかの不良についても、原因を解明し、解決をすることが出来た。現在製作できる DSC モジュールは少なくとも

北向きなどの使用で従来の太陽電池をしのぐ性能を発揮し、1 年以上の使用に耐えることを示すことが出来た。

D2.2　実用化・事業化見通し

D2.2.1 成果の実用化・事業化に向けた戦略

フジクラでは DSC 実用化の入り口としてエネルギーハーベスティング（環境発電）の分野、次のステップとして BIPV など屋外の日射制限のある場所での発電用途への適用を考えている。エネルギーハーベスティング分野は当該分野に係わる市場の規模が急速に成長すると見込まれており、2020 年には 12 兆円の市場規模に至るとの報告がある。このうち、ここに適用される太陽電池モジュールのマーケットは 2500 億円程度と試算されている。当初の環境発電ではμA オーダーの微小消費電力の装置を小型太陽電池などで動作させるパターンが多くなると見込まれるが、本助成事業でフィールド実証を行った集電配線型 DSC モジュールは北面への設置でも 0.1～0.5W 程度の電力供給が可能なため、従来の小型太陽電池や一次電池では十分な電力が得られず、日照の向きや商用電源の用意など、設置場所・設置条件に大きな制約を受けていたが、本事業の技術を利用することで非常に自由度の高い設置が可能になると考えている。このような用途は東日本大震災後に特に要望が高まってきている。この技術は日本国内のみならず、電化の進んでいない地域を含め世界的に展開可能なものであり、周辺システムも含めて関連技術・商品の海外輸出が期待出来る。

主たる設置先には道路、鉄道、河川敷、山間部などが挙げられるが、これらの場所を管理するインフラ事業者に対しては、電力・通信ケーブル等の販売・工事／施工・サービス提供と言った当社の既存営業ネットワークを活用することが可能で、（その他の潜在顧客を含め）展示会などの機会を利用して探索を進めていく。

事業化の障害となる要因には、原材料の安定確保と他社特許回避の問題がある。DSC はこれから急速に立ち上がる製品であるため、現段階で専用材料（酸化チタンナノ粒子や色素など）の供給体制が万全とは言えず懸念がある。また近年 DSC に関する権利範囲の広い特許が複数成立しており、これらについて使用権の取得も必要となる。これら 2 つの課題は一社では対応出来ないが、DSC 事業化を見込む他のメーカーと公的機関の間で強固に連携して交渉を進めていく必要がある。

D2.2.2　成果の実用化・事業化に向けた具体的取り組み

展示会における市場へのアピールや、既存営業ネットワークなどを活用して屋外用途への DSC 顧客の探索を進めている。

具体的な取り組みとしては、潜在顧客に対し DSC の発電能力の理解を深めるため、弊社が別途屋内用途向けに開発し、既に実用化している DSC と、それを電源とした客先評価用小型ワイヤレスセンサーネットワークシステムを活用し、本事業の具体化に向け、貸し出しによる実証テストや実働デモンストレーションといった顧客探索活動を進めている。このような活動が結果的に本事業の実用化に向けた成果にも繋がる見込みである。

D2.2.3　成果の実用化・事業化の見通し

現在までの顧客探索状況から DSC の性能／特性に需要があることははっきりしている。顧客は室内のような極低照度で設置工事、メンテナンスフリーでデバイスを動作させるような典型的なエネルギーハーベスティングだけでなく、屋外のある程度明るい場所で、日射状態や方角を気にせずに太陽電池独立電源が設置ができることにも興味をもつ例が少なからずあるため、このような用途では本委託事業で開発した北壁面設置で最適な性能を発揮する集電配線型 DSC が適すると考えている。ただし、上述の通り事業化の障害となる特許や原材料の課題については早急に解決していく必要がある。

D2.3　波及効果

本研究成果による DSC は、林間やビルの壁面などの日陰を含む、設置環境を問わない屋外用電源として最適なものであり、屋外エネルギーハーベスティングシステムの有力電源である。そのため、立ち上がりつつある広域ワイヤレスセンシング分野の市場拡大に貢献が期待される。このような分野は、例えば NEDO で現在実施中の「社会課題対応システム開発プロジェクト」（ロボット・機械システム部）や、「クリーンデバイス社会実装推進事業」（電子･材料・ナノテクノロジー部）などで技術開発が進められており、その関連成果を実製品に応用する際の駆動電源用途として本成果は大いに利用され、顧客利便性を高めるものと期待される。

D2.4　今後の展開

本研究成果の DSC を実際に想定分野（広域ワイヤレスセンシング分野など）へ適用していくためには、DSC モジュール単独ではなく、蓄電や電圧変換などを含めたシステムとしての安定電源供給を可能とし、そのうえでのさらなるコストダウンが必要となる。動作電圧向上を含めた出力向上を行うことで、構造が簡素でデザイン自由度の高い単セルモジュールによる電源システムを製作できるようになるため、太陽光発電システム次世代高性能技術開発の継続研究によりこの実現を狙う。また屋外用 DSC モジュールは過酷な条件で長期間使用されるため、実環境での長期信頼性試験を引き続き継続し、実寿命（MTTF）解析と、信頼性評価方法の標準化を進める必要がある。このため本研究開発の成果の活用と、自社試験サイト評価を継続して実施していく。ただし１０年を超える長期の信頼性を実際に確認するには当面至らないことから、当初は短期保証の用途で顧客/市場探索を進めて行き、需要の動きに注目しながら適切な時期に生産を開始する。これにより拡大市場での実績を作り、安定顧客の確保による販売量拡大とコストダウンを狙う。

D2.5　論文、特許、学会発表等

本事業における論文、特許、学会発表は無し。「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」における株式会社フジクラの成果については「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」の事業原簿参照

【特許】
なし

【論文・学会発表】
なし

【受賞】
なし

E　有機薄膜太陽電池の生産プロセス技術開発および実証化検討

E.1　成果詳細

本事業の実施計画時に予定若しくは検討した有機薄膜太陽電池（以下 OPV）の実証試験場所は以下の通り。

１．三菱化学事業所内
２．岡山県
３．倉敷市
４．北九州市
５．仙台市科学館
６．仙台国際センター内渡り廊下
７．竹中工務店　技術研究所内
８．大成建設　技術センター内 ZEB 実証棟
９．首都高速道路　代々木パーキングエリア内

結果、ほぼ上記通り、また産総研他追加含め、下表に示す１１件の実証試験設備を設置し、現在試験中である（２０１７年２月まで継続する予定)。

【表 Ⅲ-2-E-1-(1)】実証試験一覧

	平成25年度			平成26年度							
場所	首都高速 代々木P 屋内	竹中 工務店 屋内	岡山県庁 屋内	大成建設 屋内	スリーエム仙台市 科学館 屋内	昇社四日市 事業所内 屋外	産総研 九州センター 屋外	首都高速 用賀P 屋外	昇社水島 事業所内 屋外	昇社横浜 研究センター内 屋内	仙台 国際センター 屋内
開始	2013/ 11/26	2013/ 11/27	2014/ 2/20	2014/ 5/29	2014/ 6/27	2014/ 10/10	2014/ 12/11	2015/ 1/29	2015/ 2/7	2015/ 2/10	2015/ 2/20
目的	窓際立掛 実証	日除け 実証	ｶﾞﾗｽ重ね合せ 実証	ZEBｼｽﾃﾑ 実証	窓設置 実証	実証基礎 データ	ｱﾙﾐ複合板 屋外耐久 実証	ｶﾞﾗｽ垂直 屋外設置 実証	実証基礎 データ	窓設置 実証	窓設置 実証
システム	独立電源 LED ＋ ﾌｫﾄﾌﾚｰﾑ	独立電源 LED	独立電源 LED ＋ ﾌｫﾄﾌﾚｰﾑ	系統連系 (ZEB消費)	独立電源 LED	独立電源	系統連系	独立電源 LED	系統連系 (系統消費)	独立電源 (ﾃﾞﾓ表示)	系統連系 (系統消費)
タイプ	フレキ シースルー	アルミ複合板 ルーバー	ガラス シースルー	ガラスカーテンウォール	フレキ シースルー	ガラス/ バックシート	アルミ複合板 屋外	ガラス屋外 シースルー	簡易 フレキ	フレキ シースルー	フレキ シースルー
写真											

本事業では、OPV モジュールの性能把握の為の屋内外曝露試験に加え、具体的な用途として建材一体型（BIPV）を志向した実証試験も行っている。

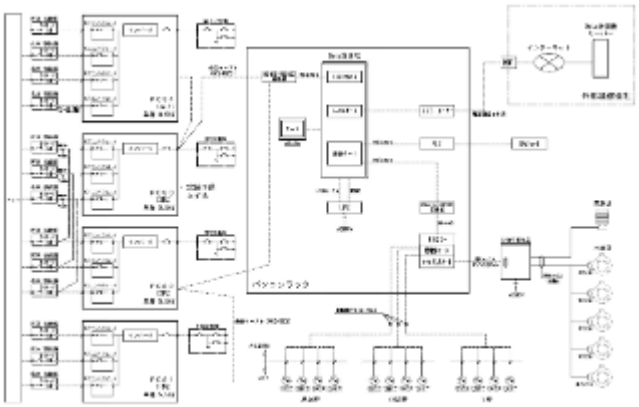
一方、計画していた自動車用途（AIPV:Automotive Integrated Photovoltaics）の実証試験については、OPV モジュールの変換効率がまだ低く、利用面積が限られる自動車への実装試験には至らなかったが、今回の屋内外曝露試験で一部代替していると考えている。後述するように、OPV の発電力は初期安定化後一定の寿命が見込まれ、更なる改良により車体やウィンドウ貼り付けによる車載用途が可能であることが示された。

以下、実施計画で挙げた開発項目ごとに成果を述べる。

①太陽光発電システム設計

OPV の発電力を具体的アプリケーションに適用しつつ、その実用性を実証する為のシステムを提案/設計し、展開した。太陽電池モジュールのタイプ及び設置面積（容量）に応じた用途（負荷）を適切に選定し、様々な用途/アプリケーションへの適用可能性を実証できた。

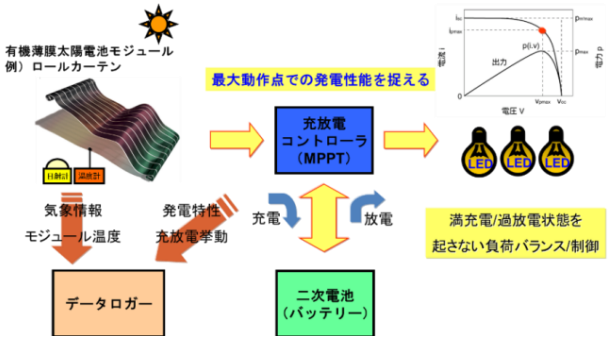
とりわけ大容量設置が可能なケース（大成建設 ZEB 実証棟ガラスカーテンウォール仕様）においては、従来のシリコン結晶系タイプやアモルファスシリコンタイプの太陽電池同様　汎用の PCS（パワーコンディショナーシステム）を用いた系統連系での用途に適用可能であることを示した（図Ⅲ-2-E-1-(1)）。



【図 Ⅲ-2-E-1-(1)】
系統連系システム例(大成建設 ZEB 実証棟)

一方で中/小容量設置のケースではオフグリッド（独立電源系）構成を構築し、照明やサイネージ用途への実用性を示すことができた。オフグリッド（独立電源）タイプでは、2 次電池が過充電もしくは過放電状態に陥らないようにバランス設計を行い、MPPT による太陽電池発電性能の最大ポテンシャルをモニターしつつ、システムとして実用的なアプリケーションへの適用の実証を目的に構成した。(図Ⅲ-2-E-1-(2))

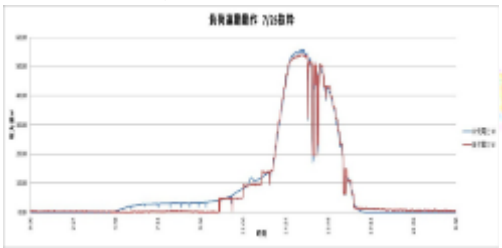
本実証試験では、一部を除き小容量（100Wp 以下）の独立電源系にて得られた電力の利用法を具体的なアプリケーションを用い、実用性を示してきた。しかし、小容量故に、負荷とのバランスが崩れる（建物影、不日照日の連続）と 2 次電池が過放電状態に陥りやすい。汎用の充電コントローラやインバータの過放電防止装置の殆どが 2 次電池電圧のみを監視するものであり、ポンピング現象等によって急速に 2 次電池電圧降下が生じると、これらの防止機構が誤作動し、システム停止が頻発しかねない。今回、本実証試験（仙台市科学館以降）では、この電圧監視に加え直流電力計を導入し、発電力をモニターしつつ、この発電力に応じた負荷消費量を選択しバランスさせる制御手法を採用した（図Ⅲ-2-E-1-(3)）。



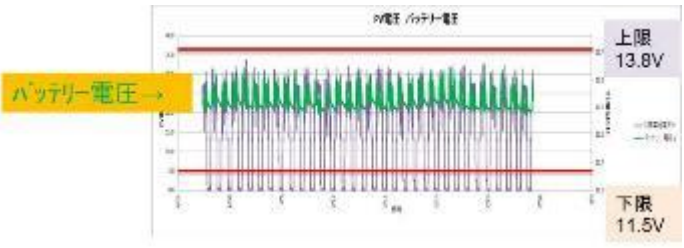
【図 Ⅲ-2-E-1-(2)】独立電源系の実証試験ｼｽﾃﾑ基本構成

【図 Ⅲ-2-E-1-(3)】発電量-負荷連動制御　構成図

これにより　発電力推移に対して負荷消費電力が追従して制御され（図Ⅲ-2-E-1-(4)）、2 次電池電圧が制御範囲内で安定推移していることが示されている。（図Ⅲ-2-E-1-(5)）



【図 Ⅲ-2-E-1-(4)】発電力および負荷消費電力推移



【図 Ⅲ-2-E-1-(5)】バッテリー電圧推移

②太陽光発電システム（モジュール）試作

１）有機半導体の大量合成とハンドリング技術の確立

OPV に用いる p 型有機半導体の開発では、発電特性のみならず溶解性、調液したインクの粘度安定性、塗布膜の耐熱性など Roll to Roll プロセス適性が期待される有機半導体のｽｸﾘｰﾆﾝｸﾞ合成・評価を行い、そこから選出された化合物の量産化技術を開発し、70g ｽｹｰﾙの量産試作（外部委託）に成功した。同時に、分子構造の簡素化、原料調達先多様化、および合成スキーム合理化（反応条件・精製法簡素化など）が奏功し、コストダウンが大きく進展した。

また、この p 型有機半導体材料を用いた発電層インクの組成検討では、インク安定性・成膜性・プロセス条件影響度・素子特性・素子耐久性の評価から、有望な系統について三菱化学横浜研究所小型ロール塗布機にて Roll to Roll 塗布評価を行った。そこでは、発電層の上下に積層する正孔輸送層や電子輸送層とマッチングさせるべく、塗布欠陥（ハジキ、スジ、ムラ等）を極力解消し、層間接着を向上させた（図Ⅲ-2-E-1-(6)、実生産や商品レベルで十分とは言い難いが、本事業向けには適用可能なレベルまで改良できた）。

【図 Ⅲ-2-E-1-(6)】
Roll to Roll 塗布評価

加えて、実用性に優れ Roll to Roll 工程に適合する、透明電極や電荷輸送層を開発した。即ち、透明電極は薄く（＝面積単価安く）比較的低温で成膜できる電極を採用した。電子輸送層（ETL）は安価な材料により形成した。正孔輸送層（HTL）は、当該塗布膜の機械強度を改善した。

OPV セルの封止についても検討した。特に OPV の場合には、水分（と酸素）によるダメージを受けやすいことから、水蒸気（ガス）バリアが重要である。本開発では多様な設置が可能で意匠性が高いシースルーOPV フィルムモジュールを構成する封止層構成(図Ⅲ-2-E-1-(7))の基本設計を行った。各材料の最終候補（一覧を表Ⅲ-2-E-1-(2)に示した）の組合せ性能、開発段階、及び販売実績を勘案し、バリアフィルム A/シール材 A、バリアフィルム B/シール材 B の組合せを採用した。

【図 Ⅲ-2-E-1-(7)】
ｼｰｽﾙｰ OPV 封止構造

【表 Ⅲ-2-E-1-(2)】封止部材最終候補一覧

メーカー	A 社 バリア A	B 社 バリア B	C 社 バリア C
透湿度 (g/㎡・day)	10^{-3} 台	10^{-4} 台	10^{-3} 台
光線透過率(%)	86	約 90	約 90
素子封止性能	(Ref.)	大幅向上	向上
調達	製品	量産試作品	開発品
備考		○透明性高く外観良好 ○封止性高い	×開発段階で量産試作には検討要

メーカー	D 社 シール A	E 社 シール B	F 社 シール C	G 社 シール D
透湿度 (g/㎡・day)	20	9	64	32
光線透過率(%)	約 90	90	約 90	約 90
調達	製品	外注試作品	製品	開発品
素子封止性能	(Ref.)	○ (ref よりやや低め)	△	△
接着 バリア A	>10N/inch	>30N/inch	9N/inch	>30N/inch
接着 バリア B	数 N/inch	15N/inch	数 N/inch	数 N/inch
備考		○透明、外観良好 ○素子封止良好	△素子封止低め ×接着低い	△素子封止低め ×量産試作検討要

２）生産技術の確立

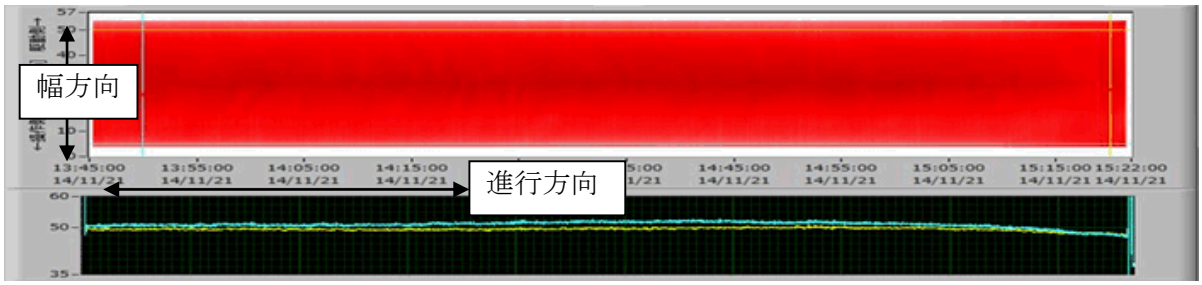
実証試験用 OPV モジュールの Roll to Roll 試作を通し、発電層／バッファー層／電極層のウェットおよびドライ成膜，モノリシックかつ多セル直列構造を形成するパターニング，及びバリアフィルムとシール材を用いたラミネート封止などを中心とした OPV 生産技術開発を実施した。結果、薄膜太陽電池の形成された長尺基材の Roll to Roll 搬送技術を確立する等、Roll to Roll 生産技術実用化の目処を得ることができた。

また、本事業期間中全３０回の試作検討における歩留りを、代表例で解析したところ、Roll to Roll プロセスからシート（枚葉）へ切り出した後、枚葉プロセスにおける不良発生比率が大きかった。特に封止プロセスで発生する皺や気泡などによる外観不良（性能には問題ないと思われる）が主な不良原因であり、枚葉加工技術の改善も行った。

また、試作装置のハード面の改善も実施した。以下に例示する。

・ロールコーターで、塗布乾燥面の傷つき防止の為に、パスライン(フィルムの通過するライン)とＥＰＣ（端面位置制御）ラインを変更した。

・フィルム全面の色調を検査するためのインライン検査機を導入した（図 Ⅲ-2-E-1-(8)）。



【図 Ⅲ-2-E-1-(8)】色調検査結果例

・有機層膜厚測定に用いるセンサーを改良し、従来より多くの材料の膜厚測定を可能とした。
・レーザーパターニング装置の除塵システムを改良した。

３）大型モジュールの確保

三菱化学水島事業所 OPV 試作設備で試作したシースルーOPV フィルムを使用して、必要に応じ三菱化学四日市事業所の大型太陽電池モジュール試作設備にて追加工し、実証試験用モジュールを試作した。以下に例示する。

・[表]透明ﾌｨﾙﾑ/OPV ﾌｨﾙﾑ/金属樹脂複合板[裏]で貼り合せたパネル型モジュール（約 1.8m×0.2m､他）
・薄板ｶﾞﾗｽ/OPV ﾌｨﾙﾑ/薄板ｶﾞﾗｽで貼り合せたｼｰｽﾙｰｶﾞﾗｽ型ﾓｼﾞｭｰﾙ（最大約 1.7m×1.5m､図Ⅲ-2-E-1-(9)、他）
・[表]透明ﾌｨﾙﾑ/OPV ﾌｨﾙﾑ/ｱﾙﾐﾊﾞｯｸｼｰﾄ[裏]で貼り合せたｼｰﾄ型ﾓｼﾞｭｰﾙ（約 1.7mm×0.6m）

【図 Ⅲ-2-E-1-(9)】
ｼｰｽﾙｰｶﾞﾗｽ型モジュール(1.7m×1.5m)

③太陽光発電システム設置・施工

各種 OPV 太陽電池モジュールについて、屋外実証 7 件、屋内実証 4 件、計 11 件の太陽光発電システムの設置および施工を行い、発電データの取得を開始した。表Ⅲ-2-E-1-(3)に示すように多種モジュール、多用途での多岐にわたる太陽光発電システムの設置、施工を通し、使用環境（屋内-屋外、垂直-傾斜、等）、モジュール性能、発電システムの異なる様々な用途へ OPV モジュールが適用できる可能性を示した。また、表Ⅲ-2-E-1-(4)に示したように、モジュールタイプの違いによる影響を検証する目的の設置・施工も行った。

【表 Ⅲ-2-E-1-(3)】実証試験用 OPV 発電システムの設置、施工分類

モジュールタイプ	屋内外	設置面（方位,角度）	発電システム	設置場所
パネル	屋内	ﾙｰﾊﾞｰ（南）	独立電源	竹中工務店
	屋外	水平（南,傾斜 26°）	系統連系	産総研九州
シースルー ガラス	屋内	垂直（南）	独立電源	岡山県庁
	屋内	垂直（東西南北）	系統連系	大成建設
	屋外	垂直（南）	独立電源	用賀 PA
シート	屋外	水平(南, 傾斜 5°）	系統連系	水島事業所屋外暴露場
シースルー フィルム	屋内	垂直（南東）	独立電源	代々木 PA
	屋内	垂直(西)	独立電源	仙台市科学館
	屋内	垂直（南北）	独立電源	仙台国際センター
	屋内	垂直（南）	独立電源	横浜研究所ゲスト棟

【表 Ⅲ-2-E-1-(4)】OPV モジュールタイプ比較実証用設置、施工

モジュールタイプ	屋内外	設置方式	発電システム	設置場所
パネル シースルーガラス シート	屋外	水平(傾斜 5°、南)	系統連系	水島事業所屋外暴露場

④実使用環境下でのデータ収集・評価分析

OPV モジュールの実証試験発電データ解析により、OPV 特有の発電特性の知見が得られ、ラボ実験データとの比較検証による確認および考察を行った。今後は、設置後２年間（最長２０１７年２月まで）の試験を継続するが、特に

・窓貼り設置への方位・緯度の影響の知見
・屋外設置での OPV 発電挙動の屋内設置との比較
・モジュール発電寿命の推定（屋内、屋外）
・発電シミュレーションによる発電予測

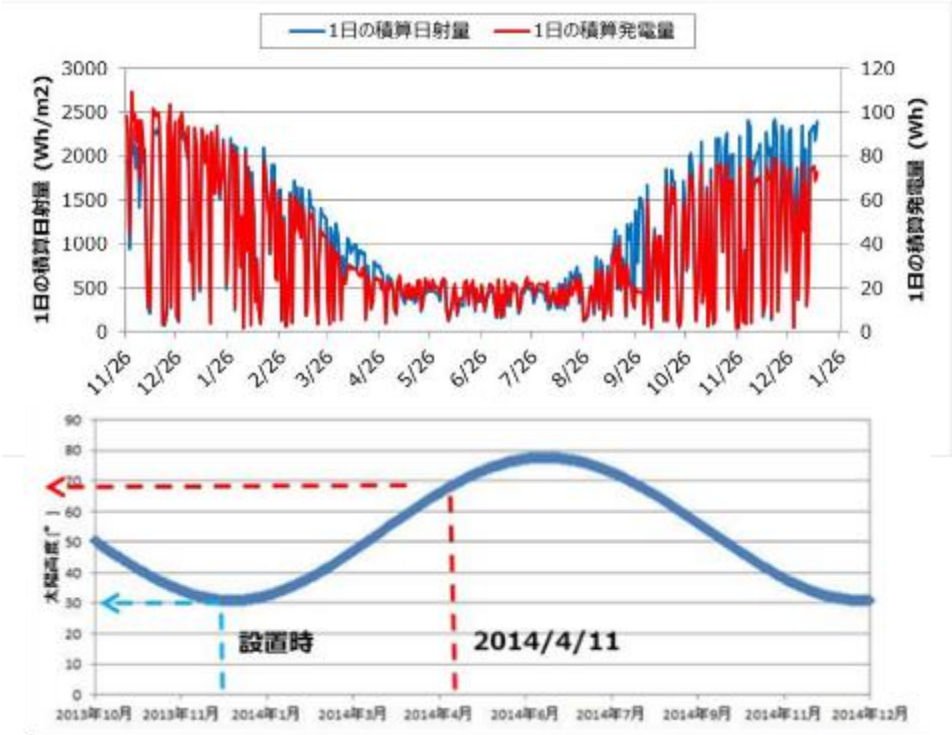
が成果として得られる予定である。さらに、発電寿命推定の結果を基に、発電シミュレーションと組み合わせた各種用途での OPV システムの年間発電量予測が可能になると見込んでいる。

現在、途中経過として以下の結果が得られている。

１）季節変動

首都高速 代々木パーキングエリアでの実証試験（2013/11/26～）において、南に向いた窓辺へ屋内側から立てかけた OPV モジュールの発電量を経時で追跡している。

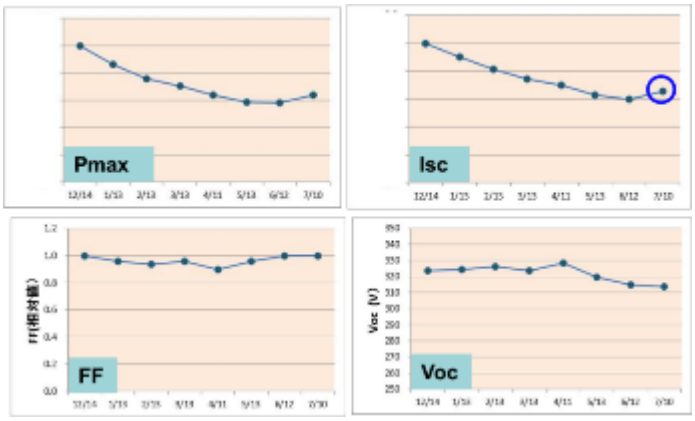
1 日の積算日射量と積算発電量(3 並列モジュール合計)の日毎の変化を図Ⅲ-2-E-1-(10)に示す。夏至前後で日射量、発電量ともに落ち込みが観測され、その原因は建物外壁の軒からの影であった。太陽の南中高度（図Ⅲ-2-E-1-(11)）と発電挙動がほぼ真逆になっている。垂直設置においては太陽光の放射強度よりも、入射角度（と設置方位）が支配的となる。さらに本件の様に窓ガラスを介すると、ガラス面での太陽光反射の角度依存により、この傾向がより顕著になると考えられる。



上：【図 Ⅲ-2-E-1-(10)】1 日の積算日射量および積算発電量の経時変化
下：【図 Ⅲ-2-E-1-(11)】南中高度の季節変動（国立天文台データより）

２）産総研評価

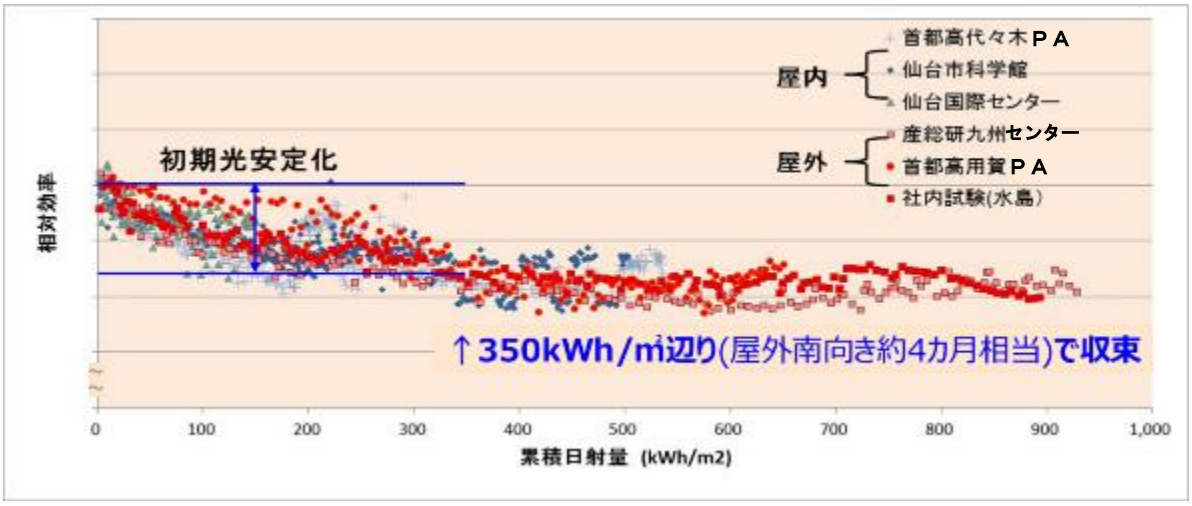
産総研九州センターでの実証試験（2014/12/12～）では、全実証試験中唯一、系列毎の IV 特性が計測されるため、IV 測定で得られる短絡電流 Isc、開放電圧 Voc、フィルファクターFF も含めて、考察が行える。途中経過として設置後９ヶ月間の経時変化（南向き傾斜角 26°、晴天時正午の IV 測定データ）を図Ⅲ-2-E-1-(12)に示す。ここでは、Pmax と Isc が連動して低下後、夏になって向上に転じている。一方で、Voc と FF はほとんど変化しないことから、等価回路における直列抵抗や並列抵抗の悪化ではなく、即ち腐食、断線、短絡等の回路の劣化とは考えられない。ラボでの検討結果を考え合わせると、これはアモルファスシリコン系等で生じる光安定化（効率低下）現象であると考えている（メカニズムは諸説あり、別途研究中）。この現象が夏にさしかかる頃に安定し、モジュール温度の上昇の上昇に伴い、正の出力ー温度係数を有する OPV モジュールの出力が上昇に転じたものと思われる。



【図 Ⅲ-2-E-1-(12)】
産総研屋外曝露の経時変化

３）経時劣化

屋外と屋内の実証試験の代表例について、経時変化を図Ⅲ-2-E-1-(13)に示した。各試験間で設置方位・角度が異なり日射強度の違いはあるものの、累積日射量で整理すると、アモルファス Si と同様の初期光安定化がみられ、累積日射量が 350kWh/㎡辺り（屋外南向き３０°傾斜設置の場合３～４か月に相当）で収束している。また、その後の発電挙動含め、屋内設置と屋外設置の間に大きな違いは見られていない。引き続き、計測を続ける。



【図 Ⅲ-2-E-1-(13)】屋内外曝露（代表例）の

以上、Roll to Roll プロセスによる OPV の製造技術を開発し、全国各地で実証試験を行い、現時点までに OPV の高い実用性を実証できた。引き続き OPV の実証試験を継続しつつ、気候変化や設置環境の影響を長期的に評価・解析し、更なる性能向上に資する技術開発へつなげたい。

E.2　実用化・事業化見通し

E.2.1　成果の実用化・事業化に向けた戦略

これまで太陽電池の用途としては結晶系シリコンを中心とした太陽電池によるメガソーラーや住宅用途等、平置き中心であった。また、近年、建物の省エネや災害時における機能維持に関する要求が高まっており、快適性を損なわずに消費エネルギーを削減し、その上で必要なエネルギーを再生可能エネルギー等で賄うことで省エネを実現する方向に向かっている。面積的、形状的に平置きに限りのあるビル用途等への設置多様化を可能とする新タイプの太陽電池の実現が求められている。既存の太陽電池は結晶シリコン系などの無機物が一般的であるが、重く、硬く、設置方法も平置きが中心であり、使用用途が限定されている。本テーマでは有機系太陽電池の特徴である軽量性、柔軟性、光透過性や色調といった優れた意匠性などを特長とした新しいコンセプトの太陽電池を提案し、これまで適用できなかった分野への用途拡大を行い、事業化を進めていく。

E.2.2 成果の実用化・事業化に向けた具体的取り組み

プレ・マーケティングとして、既存太陽電池の置き換えのみならず、設置多様化、エネルギーの地産、地消に貢献する多種多様な用途を考慮したサンプルを作成し、用途展開が期待できる各方面に評価していただいている。

また、実証実験にて有機太陽電池の優位性などを検証し、有機太陽電池の特長を把握、商品としての性能、信頼性などの諸特性の向上を検討中である。

一方、安価に量産できるための製造設備の設計検討は同時並行で検討している。

E.2.3 成果の実用化・事業化の見通し

用途展開として最近プレスリリースした透明性等意匠性や設置の容易性に特長を有する太陽電池を、市場に展開中である。窓や壁面などを有効活用しこれまでの既存太陽電池では対応が困難な市場分野であり、競合もなく、十分な性能、品質、価値があれば事業化の可能性も高い。今後の省エネ社会、地産エネルギー社会の実現に貢献する省エネビルや ZEB 本格化前/後の既築物件に対応できる太陽電池として事業化を推進していく。

E.3　波及効果

平置き中心であった従来の太陽電池から、今回開発した有機薄膜太陽電池は透明等意匠性や設置容易性などの特長から、ビル壁面等垂直面等への適用が可能である。国土交通省統計、資料から推算すると太陽電池設置可能性は従来の無機系太陽電池に比し、数倍に広がると見積もられる。

また、電力消費の多い都市部で発電するため、原子力発電所や水力発電所のある遠隔地からの送電の必要性は少なく、送電ロスなど少ない。加えて、主に経済活動が活発な昼間に発電するので、昼間電力ピークカットの効果もあり、単純な発電量増分の効果だけでなく、それ以上のエネルギー市場への波及効果があると考えている。

E.4　今後の展開

省エネ、地産地消エネルギー社会の実現のため、従来の系統連系電源だけでなく、エネルギー源多様性の推進や、災害、ピークカット、地域、場所単位の発電・消費が求められている。そのためには、従来の屋根やメガソーラーといった平置き用途だけでなく、パネル設置場所が限られる都市部においては、適用できなかった壁面、窓へ太陽電池を展開する必要がある。軽量性、柔軟性、光透過性や色調といったデザイン性の特長を有する OPV を活用し、省エネ、創エネに貢献できる新市場への展開を図っていきたい。

E.5　論文、特許、学会発表等

	H24	H25	H26	終了後	計
特許出願（うち外国出願）	0	2	3	0	5 件
論文（査読付き）	0	0	0	0	0 件
研究発表・講演（うち国際会議）	0	2	2	0	4 件
新聞・雑誌等への掲載	0	15	10	13	38 件
受賞実績	0	0	4※	0	4 件
展示会への出展	0	6	7	0	13 件

※大成建設 ZEB 実証棟としての受賞

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外国PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	三菱化学(株)	特願 2014-063042	国内	2014 年 03 月 27 日	出願	太陽電池モジュール	船山　勝矢 石井　泰助 柏木　拓也
2	三菱化学(株)	特願 2014-066836	国内	2014 年 03 月 27 日	出願	太陽電池装置	佐藤　聡 船山　勝也
3	三菱化学(株)	特願 2014-115767	国内	2014 年 06 月 04 日	出願	コポリマー、半導体層形成用組成物、有機電子デバイス及び太陽電池モジュール	佐竹　賢一 古屋　光教 藤田　理恵子 河井　潤也 佐藤　済
4	三菱化学(株)	特願 2014-160687	国内	2014 年 08 月 06 日	出願	コポリマー、光電変換素子、太陽電池及び太陽電池モジュール	藤田　理恵子 古屋　光教 毛利　和弘 佐竹　賢一 鍋田　真紀 河井　潤也
5	三菱化学(株)	特願 2015-026827	国内	2015 年 02 月 13 日	出願	組成物、光電変換素子、太陽電池及び太陽電池モジュール	出島　栄治 武井　出 酒井　良正

【論文・学会発表】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名	査読	発表年
1	山岡　弘明	三菱化学（株）	有機薄膜太陽電池の開発動向と今後の展開	日本写真学会誌 Vol.75No.6,506		2012年
2	山岡　弘明	三菱化学（株）	フレキシブル有機薄膜太陽電池の開発と今後の展開	化　学　工　学 78(11),796		2014年
3	山岡　弘明	三菱化学（株）	「有機薄膜太陽電池の開発と今後の展開」（学会発表）	第60回高分子年次大会 特別セッション－高分子・今・未来－ 高分子学会		2013年
4	山岡　弘明	三菱化学（株）	化学で作る太陽電池はどう変わるか（学会発表）	第3回CSJ化学ﾌｪｽﾀ―日本化学会		2013年
5	山岡　弘明	三菱化学（株）	Development of Thin-Film Organic Photovoltaics and Evolution in the Future	AM-FPD'14　国際会議 2014 主催：応用物理学会　共催：日本化学会		2014年

【受賞】
・ＢＥＬＳ　最高ランク「☆☆☆☆☆」を大成建設ZEB実証棟が取得（2014年6月）
・ＣＡＳＢＥＥ　最高評価のＳランクを大成建設ZEB実証棟が取得
・「平成26年度　地球温暖化防止活動　環境大臣表彰」を大成建設ZEB実証棟が受賞（2015年1月）
・ＬＥＥＤ　最高ランクのプラチナ認証を大成建設ZEB実証棟が取得

※大成建設ＨＰ
http://www.taisei.co.jp/giken/topics/1424246552378.html

補足資料

【研究発表・講演】
2014年7月21日　神奈川県　「薄膜太陽電池キックオフフォーラム」
2014年7月10日　日経エレクトロニクス、ＪＯＥＭ「有機エレクトロニクスの次の方向性を考える」シンポジウム
2014年1月24日　CEREBA「第11回　CAREBA技術交流セミナー」
2013年　7月24日　PVJapan　「次世代太陽電池　～集光型、有機薄膜型、色素増感型太陽電池の最新動向」専門セミナー

【展示会】
2015年2月　NEDOフォーラム　（会場：東京国際フォーラム）
2014年12月　エコプロダクツ展　（会場：東京ビックサイト）
2014年11月　三菱ケミカル　ジュニア　デザインアワード
2014年10月　創エネ・あかりパーク２０１４（会場：上野公園）
2014年7月　材料フェスタ　in 仙台
2014年7月　PV　JAPAN　旭硝子ブース
2014年7月　再生エネルギー展　NEDOブース
2014年1月　炭素の魔法展
2014年1月　World Future Energy Summit NEDOブース（アブダビ）
2013年12月　Smart community 2013 in Indonesia NEDOブース
2013年11月　三菱ケミカル　ジュニア　デザインアワード
2013年7月　スリーエム仙台市科学館　特別展
2013年7月　再生エネルギー展　NEDOブース　（会場：東京ビックサイト）

【新聞・雑誌等への掲載】

□2015年度
2015年10月1日　化学工業日報社　化学経済　有機薄膜太陽電池の開発と市場展開
2015年9月30日　フジサンケイビジネス　日本メーカー、「曲がる太陽電池」で反転攻勢、中国製品支配に風穴
2015年9月3日　日刊工業新聞　三菱化学、ビル窓の内側に貼るフィルム型有機薄膜太陽電池を開発
2015年8月20日　電子デバイス産業新聞　透明発電フィルム　３Ｍと市場開拓へ
2015年8月19日　環境新聞　シースルー発電フィルムを開発／三菱化学
2015年8月17日　電気新聞　三菱化学、窓に貼れる薄膜太陽電池を実用化へ
2015年8月10日　化学工業日報　透明発電フィルム開発、有機薄膜太陽電池を使用
2015年7月9日　日経産業新聞　大成建「ゼロ・エネ」意気込む
2015年7月9日　山陽新聞　三菱化学水島　構内に実証施設　次世代太陽電池を試験
2015年7月3日　日経産業新聞　大成建、エネ収支ゼロ達成
2015年7月1日　化学工業日報　大成建設、国内初の都市型ZEB、計画・評価用シミュレーター開発
2015年6月12日　化学工業日報　岡山特集　三菱化学・水島事業所（企画記事）
2015年6月11日　日刊工業新聞　三菱化学、水島事業所で有機薄膜太陽電池を実証
2015年4月1日　日経産業新聞　大成建設、ビル１棟だけでゼロ・エネに

□2014年度
2014年9月26日　The Wall Street Journal Japan Pushes Zero-Energy Structures
2014年8月21日　日本経済新聞電子版セクション　年間エネルギー収支ゼロ　新技術ずらりの都市型ビル
2014年6月24日　日経産業新聞　大成建設「エネ　ゼロ」へ一歩、ビル外壁に太陽電池、商業化、課題はコスト削減
2014年5月19日　化学工業日報　三菱化学、OPVの変換効率向上へ、１５年度モジュールで７％
2014年4月23日　半導体産業新聞　三菱化学　発電する外壁開発、ZEB導入を視野

2014 年 4 月 15 日　日刊工業新聞　イチ押し環境製品（２５）三菱化学と大成建設―有機薄膜太陽電池外壁ユニット
2014 年 4 月 7 日　建設工業新聞　太陽電池外壁を開発／ZEB 対応へ実証試験開始／大成建設
2014 年 4 月 4 日　北海道建設新聞　《製品技術》大成建設らが有機薄膜太陽電池ユニットを開発
2014 年 3 月 28 日　建設通信新聞　外壁発電ユニットを ZEB 実証棟に導入／大成建設、三菱化学
2014 年 3 月 28 日　電気新聞　大成建設と三菱化学が外壁向けに薄膜太陽光を開発　ZEB 実証棟へ導入

□2013 年度
2014 年 3 月 26 日　化学工業日報　三菱化学―大成建設、有機薄膜太陽電池を外壁材に、ユニットを開発
2014 年 3 月 25 日　日刊建設工業新聞　大成建設、三菱化学／有機薄膜太陽電池外壁ユニットを開発／ZEB 実証棟に導入
2014 年 3 月 24 日　日刊工業新聞　三菱化と大成建設、ビル外壁で太陽光発電
2014 年 3 月 18 日　山陽新聞　薄く曲げられる次世代太陽電池、県庁で稼働実験　三菱化学水島が試作
2013 年 11 月 20 日　日刊工業新聞　三菱化、有機太陽電池実用化へ―「ビル窓発電」実証急ぐ
2013 年 11 月 5 日　化学工業日報　竹中工務店、三菱化学の有機薄膜太陽電池一体型ルーバーの実証開始
2013 年 11 月 5 日　日刊工業新聞　竹中工務店、太陽電池一体型ルーバー実用化へ実証開始
2013 年 11 月 5 日　日刊建設工業新聞　竹中工務店／有機系太陽電池一体型ルーバーの実証実験開始
2013 年 11 月 5 日　建設通信新聞　竹中工務店／有機系太陽電池一体型ルーバー／外装材適用への実証実験
2013 年 11 月 1 日　化学工業日報社　化学経済　有機太陽電池で拓く太陽電池の可能性
2013 年 10 月 24 日　山陽新聞　有機薄膜太陽電池　水島で試験生産スタート　三菱化学　薄くて軽い次世代型　建材、車メーカーにサンプル品出荷１５年度量産化へ
2013 年 10 月 24 日　日刊工業新聞　三菱ケミ、ビル窓で薄膜太陽電池を実証
2013 年 7 月 19 日　化学工業日報　NEDO、有機系太陽電池、仙台など各地で実証実験開始
2013 年 7 月 17 日　河北新聞　有機薄膜太陽電池の発電量や耐久性、２年間実証実験／三菱化学、仙台で
2013 年 5 月 20 日　交通毎日新聞　首都高　有機系太陽電池の技術開発へ　低コストなど利点、２社と合同ＰＡで実証実験
2013 年 4 月 25 日　建設通信新聞　首都高、有機系太陽電池の開発へ

以上

添付資料

添付資料１：プロジェクト基本計画

・「太陽エネルギー技術研究開発」基本計画

添付資料２：事前評価関連資料

・事前評価書

・「有機系太陽電池実用化先導技術開発　基本計画（案)」に対する
パブリックコメント募集の結果について

「太陽エネルギー技術研究開発」基本計画

新エネルギー部

１．研究開発の目的・目標・内容

（１）研究開発の目的

環境と調和した健全な経済産業活動と安全・安心な国民生活の実現を図るため、クリーンエネルギーである太陽光発電の更なる普及が要望されている。太陽光発電の更なる普及を実現するためには、これまでに蓄積した技術の更なる高効率化、共通基盤技術の発展及び低コスト化を可能とする革新的技術の開発が不可欠である。本プロジェクトは、経済性・出力安定性といった課題を克服し、新エネルギー等の自律的な普及を図ることを目標とするエネルギーイノベーションプログラムの一環として実施する。

太陽光発電の急速な普及を背景に、海外においても、太陽光発電技術の開発が精力的に取り組まれており、太陽光発電ロードマップ（ＰＶ２０３０＋）で示された技術課題の解決に向け、まさに、グローバルな開発競争となっている。我が国は太陽光発電の技術開発及びその導入量・生産量において長らく世界一を誇っていたが、欧州を中心に行われている導入普及政策により、市場の中心は欧州へと移り始めており、我が国の地位確立のためには、これまで以上の技術開発が必要となっている。このため、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「ＮＥＤＯ」という。）は、産学の科学的知見を結集して太陽光発電の技術開発を行い、これを産業技術へ繋げていくとともに、社会の共通基盤として情報の整備、提供を通じて、行政、産業界、地域住民等の間で科学的知見に基づいた正確かつ適切な認識の醸成を図ることを目的に、本プロジェクトを実施する。

（２）研究開発の目標

太陽光発電ロードマップ（ＰＶ２０３０＋）に示された２０２０年の発電コスト１４円／ｋＷｈ、２０３０年の７円／ｋＷｈ、２０５０年の７円／ｋＷｈ未満達成に資する技術の開発を目標とする。

なお、個々の研究開発項目の目標は別紙「研究開発計画」に定める。

（３）研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。

【委託事業】

①革新的太陽光発電技術研究開発（革新型太陽電池国際研究拠点整備事業）〔委託事業〕

②太陽光発電システム次世代高性能技術の開発〔委託事業、共同研究事業（負担率：２／３）〕

【助成事業】

③有機系太陽電池実用化先導技術開発〔助成事業（負担率：２／３）〕

２．研究開発の実施方式

（１）研究開発の実施体制

本研究開発は、ＮＥＤＯが、単独ないし複数の企業、大学等の研究機関（原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別な研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点からの国外企業との連携が必要な場合はこの限りではない）から公募によって研究開発実施者を選定し実施する。

ＮＥＤＯは、研究開発に参加する各研究開発グループの有する研究開発ポテンシャルを検討し、これを最大限活用することにより効率的な研究開発を図る観点から、必要に応じて研究開発責任者（プロジェクトリーダー）を指名し、その下に効果的な研究を実施する。

（２）研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するＮＥＤＯは、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標、並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて外部有識者による技術検討委員会等を設置し、開発内容について審議し、その意見を運営管理に反映させる他、プロジェクトリーダーを指名しているプロジェクトは、四半期に一回程度プロジェクトリーダー等を通じてプロジェクトの進捗について報告を受けること等を行う。

３．研究開発の実施期間

本研究開発の実施期間は研究開発項目ごとに以下のとおりとする。

① 革新的太陽光発電技術研究開発（革新型太陽電池国際研究拠点整備事業）

本研究開発の期間は、平成２０年度から平成２６年度までの７年間とする。

② 太陽光発電システム次世代高性能技術の開発

本研究開発の期間は、平成２２年度から平成２６年度までの５年間とする。

③ 有機系太陽電池実用化先導技術開発

本研究開発の期間は、平成２４年度から平成２６年度までの３年間とする。

４．評価に関する事項

ＮＥＤＯは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価及び事後評価を実施する。なお、中間評価結果を踏まえ必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。なお、評価の実施時期や方法は、研究開発項目毎に別紙研究開発計画に記載する。

５．その他重要事項

（１）研究開発成果の取扱いについて

①成果の普及

本研究開発で得られた研究成果についてはＮＥＤＯ、委託先、助成先とも普及に努めるものとする。

②知的基盤整備事業又は標準化等との連携

得られた研究開発の成果については、知的基盤整備又は標準化等との連携を図るため

データベースへのデータ提供、開発した技術を搭載した太陽電池の国内外への普及を見据えた標準案の検討や提案及び規制に係る情報提供等を積極的に行う。

③知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第２５条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

なお、開発した太陽電池システムの事業化を支える知財戦略の構築と適切な知財管理を必要に応じて実施することとする。

（２）基本計画の変更

ＮＥＤＯは、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、内外の研究開発動向、政策動向、プログラム基本計画の変更、評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

（３）根拠法

① 革新的太陽光発電技術研究開発（革新型太陽電池国際研究拠点整備事業）
「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第１５条第１項第１号イ」

② 太陽光発電システム次世代高性能技術の開発
「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第１５条第１項第１号イ」

③ 有機系太陽電池実用化先導技術開発
「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第１５条第１項第３号」

６．改訂履歴

（１）平成２２年３月、「新エネルギー技術研究開発」の研究開発項目⑦「革新的太陽光発電技術研究開発（革新型太陽電池国際研究拠点整備事業）」及び新規研究開発項目「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」を統合して新たに制定。

（２）平成２３年３月、研究開発項目①「革新的太陽光発電技術研究開発（革新型太陽電池国際研究拠点整備事業）」の４．達成目標の中間目標（平成２４年度末）の追記及び最終目標（平成２６年度末）を修正。

（３）平成２４年３月、新規研究開発項目「有機系太陽電池実用化先導技術開発」を新たに制定したこと等による修正。

（４）平成２５年３月、研究開発項目①「革新的太陽光発電技術研究開発（革新型太陽電池国際研究拠点整備事業）」の４．達成目標の最終目標（平成２６年度末）を修正。

（５）平成２５年６月、研究開発項目①「革新的太陽光発電技術研究開発（革新型太陽電池国際研究拠点整備事業）」の４．達成目標の（２）高度秩序構造を有する薄膜多接合太陽電池の研究開発のグループリーダーの変更に伴う修正。

（別紙）[研究開発計画]

研究開発項目①「革新的太陽光発電技術研究開発（革新型太陽電池国際研究拠点整備事業）」

１．研究開発の必要性

現在、世界的にこれまでにないほど、環境に対する意識が高まっている。その中で２００７年の「地球温暖化対策に関する内閣総理大臣演説」において、２０５０年までに温室効果ガスCO_2の排出量を半減する『Ｃｏｏｌ　Ｅａｒｔｈ　５０』が発表された。太陽光発電はこの提案に貢献し、持続可能な社会の構築に資する技術の一つとして期待されている。大規模な普及を実現し、期待に応えるためには、太陽光発電の性能の飛躍的な向上が必要である。それにより、住宅や商用施設等での導入促進や、未利用地等での大規模発電等、太陽光発電の適用可能域を抜本的に拡大し、さらに海外の砂漠など全地球的な視点での太陽光発電の利用も可能とするなど、グローバルな展開も期待される。しかしながら、求める性能レベルにまで飛躍的に向上させるためには、従来技術の延長線上にない革新的な技術の開発が必要不可欠である。

また、我が国の太陽光発電技術は世界のトップ水準にあるが、海外を見渡すと、近年、米国のＳｏｌａｒ Ａｍｅｒｉｃａ Ｉｎｉｔｉａｔｉｖｅ（ＳＡＩ:ソーラー・アメリカ計画）や欧州のＳｔｒａｔｅｇｉｃ Ｒｅｓｅａｒｃｈ Ａｇｅｎｄａ（ＳＲＡ:戦略的研究計画）など太陽電池に関する技術開発計画が策定され、その双方で新材料・新構造等による革新的な太陽電池の開発が取り上げられており、既にいくつかの開発プロジェクトが立ち上がっている。

革新的な太陽電池の開発にあたっては、多岐に亘る可能性の確認と選択を進めることが重要であり、それぞれの技術分野の専門家との協力により知見を積み上げていく必要がある。

このような観点から、温室効果ガスの半減に寄与する技術を確立し、日本の技術的優位性を超長期に亘って維持するためには、我が国においても革新的な超高効率太陽電池の開発を実施する研究グループを形成し、その中心的研究機関を中心として、優れた海外の研究者と協力を行いながら積極的かつ継続的な研究開発を推進する必要がある。

２．目的

地球温暖化対策として温室効果ガスの大幅削減に寄与するために、太陽光発電の性能を飛躍的に向上させることを目的とする。これにより、住宅や商業施設等での導入促進や、未利用地等での大規模発電等、太陽光発電の適用可能域を抜本的に拡大することが可能となる。

また、２０５０年に向けた長期的視野に立ち、国内の知見・技術を結集して、新材料・新構造等を利用した革新的な太陽光発電技術を開発することで、日本の技術的優位性を超長期に亘って維持し、産業競争力強化に資することを目的とする。

３．研究開発の具体的内容

本研究開発では、太陽光発電技術に関連し、新材料・新構造等を利用して「変換効率４０％超」かつ「発電コストが汎用電力料金並み（７円／ｋＷｈ）」の達成へのアプローチを探索し、可能性を実証することを目標にした研究開発を行う。

本研究開発では、変換効率向上のためのブレークスルーを探ることを優先的に行い、低コスト化技術については変換効率向上技術の進捗に応じて取り組むこととする。また、海外の先進的な研究機関・大学等と情報や研究人材の交流（研究員の派遣や受入れ等）を実施し、研究開発を促進させる。

本研究開発では以下の技術分野を対象とする。

・多接合型太陽電池
・量子ナノ構造太陽電池
・光マネジメント構造（波長変換・波長分割構造等）
・その他新概念太陽電池（熱光起電力技術：ＴＰＶ、プラズモン太陽電池等）
・革新的太陽電池評価技術

本研究開発では、公募によって複数の研究グループを選定し、研究開発を委託により実施する。ただし、本研究開発にあたっては新たな研究施設等の建設は行わない。

平成２３年度から実施する「高効率集光型太陽電池セル、モジュール及びシステムの開発（日ＥＵ共同開発)」については、国際共同研究・実証等に係る事業であり、委託により実施する。

４．達成目標

２０５０年までに「変換効率が４０％」かつ「発電コストが汎用電源未満（７円／ｋＷｈ未満)」の太陽電池を実用化することを目指した研究開発の中で、本研究開発は変換効率４０％の実現に向けた技術の基礎・探索研究段階と位置づけて研究開発を実施する。

個別研究開発テーマの最終目標及び中間目標は、テーマごとに取り組む技術の現在の成熟度と、２０５０年に到達すべき技術レベルから、平成２６年度末時点で達成すべき技術レベルを判断し、以下の通りとする。

（1）ポストシリコン超高効率太陽電池の研究開発

国立大学法人東京大学先端科学技術研究センター　所長　中野　義昭氏をグループリーダーとして以下の目標で研究開発を実施する。

中間目標（平成２２年度末）

・Ⅲ－Ⅴ族系材料による高集光多接合太陽電池で非集光時の変換効率３３％と集光時の変換効率４２％を達成する。
・新概念太陽電池については動作原理を実証する。
・高度光利用技術についてはデバイスプロセスと組み合わせて量子収率を１０％高めることに資する。

中間目標（平成２４年度末）

・Ⅲ－Ⅴ族系材料による高集光多接合太陽電池で非集光時の変換効率３５％と集光時の変換効率４５％を達成する。
・新概念太陽電池については変換効率１５％を達成する。
・高度光利用技術については量子ナノ構造層吸収を３倍に高めることに資する。

最終目標（平成２６年度末）

・Ⅲ－Ⅴ族系材料による高集光多接合太陽電池で、３接合セルでは非集光時の変換効率３６％と集光時の変換効率４５％を、４接合セルでは非集光時の変換効率３９％と集光時の変換効率４８％を達成する。
・新概念太陽電池については変換効率４０％を達成する。

（２）高度秩序構造を有する薄膜多接合太陽電池の研究開発

平成２０年度～２４年度の期間については、独立行政法人産業技術総合研究所太陽光発電工学研究センター　センター長　近藤　道雄氏を、平成２５年度～２６年度の期間についは、独立行政法人産業技術総合研究所太陽光発電工学研究センター　研究センター長　仁木　栄氏をグループリーダーとして以下の目標で研究開発を実施する。

中間目標（平成２２年度末）

・シリコンおよび化合物多接合太陽電池について要素セル材料の開発並びにデバイス化により、多接合太陽電池で変換効率２０％を達成する。
・新概念太陽電池については動作原理を実証する。
・高度光利用技術においてはデバイスプロセスと組み合わせて変換効率２０％の達成に資する。

中間目標（平成２４年度末）

ボトムセルおよびトップセルの要素材料の開発並びにデバイス化を行う。また光マネジメント技術、スマートスタック技術を開発し、多接合太陽電池で変換効率２０％を達成する。高度光利用技術についてはデバイスプロセスと組み合わせて変換効率２０％の達成に資する。

最終目標（平成２６年度末）

ボトムセルおよびトップセルについて要素セルの高度化ならびに高度光利用技術の組み合わせにより多接合太陽電池で変換効率３０％を達成する。

（３）低倍率集光型薄膜フルスペクトル太陽電池の研究開発

国立大学法人東京工業大学大学院理工学研究科　電子物理工学専攻　教授　小長井　誠氏をグループリーダーとして以下の目標で研究開発を実施する。

中間目標（平成２２年度末）

バンドエンジニアリング、薄膜フルスペクトル太陽電池、光マネージメント・ＴＣＯ等の研究開発により、低倍率集光時、真性変換効率２０％（有効受光面積：１ｃｍ^2）を達成する。

中間目標（平成２４年度末）

開発した薄膜フルスペクトルの光吸収層ならびに周辺技術等を用いた５～６接合薄膜フルスペクトルセルにより、真性変換効率２５％（低倍率集光、有効受光面積：１ｃｍ^2）を達成する。

最終目標（平成２６年度末）

薄膜フルスペクトルセルにより、真性変換効率４０％（低倍率集光、有効受光面積：１ｃｍ^2）を達成する。

（４）革新的太陽電池評価技術の研究開発

独立行政法人産業技術総合研究所太陽光発電工学研究センター　センター長　近藤　道雄氏をグループリーダーとして以下の目標で研究開発を実施した。

最終目標（平成２２年度末）

集光型多接合太陽電池評価技術の開発
薄膜多接合太陽電池評価技術の開発

（５）高効率集光型太陽電池セル、モジュール及びシステムの開発（日ＥＵ共同開発）

豊田工業大学大学院工学研究科　特任教授　山口　真史氏をグループリーダーとして以下の目標で研究開発を実施する。

中間目標（平成２４年度末）

・セル変換効率：４２％以上、モジュール変換効率：３３％以上

・集光型太陽電池の高精度測定の課題明確化

最終目標（平成２６年度末）

・セル変換効率：４５％以上、モジュール変換効率：３５％以上

・集光型太陽電池の標準測定技術の確立（測定再現性±０．５％以内）

５．評価の時期及び方法

ＮＥＤＯは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を平成２２年度及び平成２４年度に実施し、研究開発テーマごとに進捗を判断し、技術分野及び研究開発テーマの見直し・絞り込み等を行い、必要に応じて研究グループの整理を行う。（４）革新的太陽電池評価技術の研究開発については、事後評価を平成２４年度の中間評価と同時に実施する。また、その他の事後評価を平成２７年度に実施する。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

研究開発項目②「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」

〔研究開発の目的〕

１．政策的な重要性

本事業はエネルギーに関する技術開発を目的とする「エネルギーイノベーションプログラム」の一環として実施する。本プログラムに加え、太陽光発電は「Ｃｏｏｌ　Ｅａｒｔｈ－エネルギー革新技術計画」の中でCO_2大幅削減を可能とする重要技術に位置づけられ、また、新成長戦略（２００９年閣議決定）等の種々の政策の中でその重要性・必要性について言及されている。

２．我が国の状況

我が国は高度成長期の負の側面である公害問題や二度にわたる石油危機を技術革新の契機として活用することで克服し、世界最高の環境技術を獲得するに至った。

ところが今日では、数年前まで世界一を誇った太陽光発電がドイツ・スペインの後塵を拝するようになり、我が国が本来持つ環境分野での強みを、必ずしも活かすことができなくなっている。

３．世界の取り組み状況

米国や欧州においても国家レベルで太陽光発電の技術開発に取り組んでおり、米国やドイツの研究開発費は日本の２倍以上である。さらに太陽光発電システムの各種普及支援施策（フィードインタリフや余剰電力購入、補助金など）が取られている。この結果、２００８年における太陽光発電システムの年間導入量は、スペイン、ドイツ、イタリア、米国、韓国、そして日本という順番になっている。

４．本事業のねらい

本事業では、低炭素社会の実現のため我が国政府が打ち出した目標（２００９年４月９日内閣総理大臣講演）（太陽光発電の導入規模を２０２０年に現状の２０倍（２８ＧＷ）にする）の達成に資する研究開発として、モジュール高効率化及びコスト低減の観点から、各種太陽電池の変換効率の向上、原材料・各種部材の高機能化、モジュール長寿命化、評価技術等の共通基盤技術等の開発を行うことを目的とする。

〔研究開発の目標〕

１．過去の取り組みとその評価

平成１８年度から２１年度まで実施した「太陽光発電システム未来技術研究開発」及び「太陽光発電システム共通基盤技術研究」等により、２０２０年における発電コスト目標（１４円／ｋＷｈ）達成に必要な要素技術の開発などが行われ、目覚ましい成果が得られた。一方、平成２１年度に実施した（前倒し）事後評価委員会では、太陽光発電システム普及の鍵となるグリッドパリティー実現に向けての、さらなるコスト低減や耐久性向上等に向けた技術開発を国が継続して行う必要性について提言を受けた。

２．本研究開発の目標

太陽光発電ロードマップ（ＰＶ２０３０＋）に記載の発電コスト目標：１４円／ｋＷｈ（２０２０年）、モジュール製造コスト目標：７５円／Ｗ、モジュール変換効率目標：２０％（２０１５～２０２０年時点）の実現に資する各種太陽電池の高効率化、低コスト化に係る技術を確立することを目標とする（各太陽電池種別の具体的な達成目標は後述）。

３．本研究開発以外に必要とされる取り組み

本事業とは別に、ＮＥＤＯでは、平成２０年度から「革新的太陽光発電技術研究開発」の取り組みを行っており、２０５０年にCO_2排出量半減を実現するための画期的な太陽光発電技術の開発（「変換効率４０％超」かつ「発電コストが汎用電力料金並み（７円／ｋＷｈ）」を実現可能とする超長期的課題への取り組み）を実施している。

４．全体としてのアウトカム目標

２０２０年における太陽光発電導入量２，８００万ｋＷ（現状の２０倍）の実現に寄与する。この導入実現により、１，５００万トンのCO_2削減効果が期待される。

〔研究開発の内容〕

上記目標を達成するため、以下の研究開発について実施する。

〔委託事業、(共同研究事業（ＮＥＤＯ負担率：２／３))〕

（イ）結晶シリコン太陽電池
（ロ）薄膜シリコン太陽電池
（ハ）ＣＩＳ等化合物系太陽電池
（ニ）色素増感太陽電池
（ホ）有機薄膜太陽電池
（ヘ）共通基盤技術

本研究開発項目は、（１）実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術」に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ち寄り協調して実施する事業、又は（２）試験・評価方法、基準・プラットフォームの提案等、国民経済的には大きな便益がありながらも、民間企業の研究開発投資に見合うものが見込めない「公共財の研究開発」事業であり、原則、委託事業として実施する。ただし、（１）については、上記以外のもの(※1)は、共同研究事業（ＮＥＤＯ負担率：２／３）として実施する。

※１ 民間企業単独、民間企業のみでの連携、大学等の単独等、産学官連携とならないもの。

（イ）結晶シリコン太陽電池

１．研究開発の必要性

結晶シリコン太陽電池は変換効率の高さの点で、今後も太陽電池の普及において中心的役割を果たすことが期待されており、普及拡大のためにはコスト低減と高効率化を同時に実現することが必須である。

結晶シリコン太陽電池は、従来厚さ２００μm程度の結晶シリコン基板を用いており、シリコン材料のコストが太陽電池全体のコストに占める割合が大きく、低コスト化を阻害している。また、近年の結晶シリコン太陽電池の生産規模の急激な拡大はシリコン原料の需給逼迫を招き、今後の結晶シリコン太陽電池の普及拡大を制約することが懸念されている。また、シリコン基板の超薄型化に伴う効率低下をおこさずに、モジュール変換効率２０％の水準を目指すことが重要である。

これらの課題を解決するため、低コストシリコン材料の製造技術、１００μm程度の超薄型シリコン基板スライス技術、１００μm程度の超薄型セル高効率化技術の開発が重要である。

２．研究開発の具体的内容

結晶シリコン太陽電池において、コスト低減と変換効率の向上を図るため、以下の研究開発を実施する。

ⅰ）コスト低減

・ソーラーグレードの原料シリコンを安価に製造する技術、結晶シリコンを安価に製造する結晶成長技術等を開発する。

・厚さ１００μm程度のセルに対して反り、割れ等が生じない電極形成工程、スライス技術の最適化、スライス後の洗浄処理が不要、カーフの回収・再利用が可能等の新技術等を開発する。

ⅱ）高効率化

イ）モジュール変換効率向上に資する太陽電池形成プロセス（光及びキャリア閉じ込め、接合形成、パッシベーション等）の手法・条件の抜本的な見直しと、ヘテロ接合等新構造・新手法を開発する。

ロ）高品位な結晶シリコンを製造する結晶成長技術を開発する。

３．達成目標

ⅰ）コスト低減

・結晶シリコンを安価に製造する技術を開発し、シリコン製造コスト等を試算する。達成目標（中間目標を含む）は設定した製造規模でのシリコン製造コストで表し、その値は各研究テーマ毎に設定し実施計画書に記載する。

・カーフロス１２０μm未満、又はカーフを生じない新たな製法等を確立する。

ⅱ）高効率化

イ）モジュール

＜中間目標＞

・厚さ１００μm程度、１５ｃｍ角程度のセルにおいて変換効率２０％、モジュールでの変換効率１８％以上を達成する。

＜最終目標＞

・厚さ１００μm程度、１５ｃｍ角のセルにおいて、変換効率２５％以上、モジュールの変換効率２０％以上を達成する。

ロ）高品位シリコン製造技術

１５ｃｍ角程度のセルにおいて、以下の目標値を達成する。

＜中間目標＞

・キャリア寿命：１００μｓｅｃ（拡散長 約1mm）以上

・シリコン純度：６N以上

＜最終目標＞

・キャリア寿命：４００μｓｅｃ（拡散長 約2mm）以上

・シリコン純度：７N以上

（ロ）薄膜シリコン太陽電池

１．研究開発の必要性

厚さ数μｍのシリコン系薄膜により構成される薄膜シリコン太陽電池は、シリコン原料の使用量が少ないため、現在市場の主流である結晶シリコン太陽電池と比較して製造コスト、ひいては発電コストの大幅な低減が見込まれ期待されている。また、軽量基板上への太陽電池形成が可能であることから、多用途化にも適している。しかしながら、現状ではモジュール変換効率が低く１２％程度であり、より一層の改善が必要である。また、更なる低コスト化のためには、製造プロセス及び生産性改善等による製造コストの低減等が必要である。

本研究開発は、以上の背景に基づき、薄膜シリコン太陽電池の変換効率向上及び製造コスト低減を目指して実施する。

２．研究開発の具体的内容

モジュール高効率化及び生産性向上を図るため、以下の研究開発を実施する。

ｉ）高効率化

光マネジメントとして入射光の反射・屈折の制御等による光閉じ込め技術の高度化、高品質（低欠陥密度、低抵抗、高透明度）な透明導電膜の開発等を行う。

多接合化として光劣化抑制技術､界面へのバッファ層導入や粒界制御による開放電圧向上、欠陥密度の低減と価電子制御技術、バンドギャップ設計と材料高品質化、高効率化のためのパッシベーション技術､各薄膜と透明電極及び裏面金属電極との接合界面並びに各薄膜間の接合界面の高品質化の開発等を行う。

ii）製造コスト低減

新概念を導入した製膜装置の開発による高速製膜技術の開発、大面積基板（ガラス、フィルム基板等）に高品質な薄膜を高スループットで製膜し得る製膜技術及び製膜装置・プロセスの開発等を行う。

３．達成目標

ｉ）高効率化

＜中間目標＞

・３０×４０ｃｍ程度の基板に製膜した２接合以上の多接合薄膜シリコン太陽電池においてモジュール変換効率１３％以上（安定化効率）を達成する。

＜最終目標＞

・３０×４０ｃｍ基板に製膜した２接合以上の多接合薄膜シリコン太陽電池においてモジュール変換効率１４％以上（安定化効率）を達成する。

ii）製造コスト低減

＜中間目標＞

・装置の設計・作製と条件出しを完了し、任意サイズの基板において製膜速度１．０ｎｍ／ｓｅｃ以上を達成する。

＜最終目標＞

・幅１ｍ以上の基板において製膜速度２．５ｎｍ／ｓｅｃ以上、膜厚分布±５％以下を達成する。

なお、高生産性実現において、製膜速度向上以外の手法でも同等と認められる提案は、別途協議のうえ採用する。

（ハ）ＣＩＳ等化合物系太陽電池

１．研究開発の必要性

ＣＩＳ等化合物系薄膜太陽電池は、結晶シリコン太陽電池、薄膜シリコン太陽電池に続いて市場投入された太陽電池であるが、現在ＣｄＴｅ太陽電池等との激しい価格競争の中にあり、高い経済性が求められている。

ＣＩＳ等化合物系薄膜太陽電池は、結晶シリコン太陽電池に匹敵する高い変換効率を実現できる可能性があり、また、軽量基板上への太陽電池形成が可能であることから多用途化にも適している。更に、最近では、従来と異なる新規なプロセスを開発して低コスト製造を実現しようとする試みが見られるようになってきた。

しかし、現時点では、変換効率は３０ｃｍ角モジュールで１３から１６％程度で、この太陽電池に期待されるレベル（結晶シリコン太陽電池並み）に到達しておらず、また、軽量基板上での製造技術や新規な低コスト製造プロセスも実用化までには今一歩のところにある。

また、海外では集光型太陽電池で一定規模の市場がすでに形成されており、日本がこの市場に遅れることなく参入するためには、集光型太陽電池システムの低コスト化が早急に必要とされるところである。

２．研究開発の具体的内容

ＣＩＳ等化合物系薄膜太陽電池では、実用化規模の大面積及び材料のポテンシャルを引き出すために小面積モジュールでそれぞれ高効率化を図る。また、軽量基板上での製造技術や新規な低コスト製造プロセスの実用化に向けた開発を実施する。

集光型太陽電池では、システム全体としてのコストダウンを目指し、太陽電池セル以外に光学系や追尾架台等の低コスト化技術開発を実施する。

ⅰ）ＣＩＳ等化合物系高効率化

光吸収層の高品質化、接合界面特性の改善、集積化技術、ワイドギャップ材料の高品質化技術（欠陥密度低減等）等の開発を行う。

ⅱ）ＣＩＳ等化合物系製造プロセスの開発

軽量基板を用いた低コスト製造プロセス､従来の製造法と異なるＣＩＳ等化合物系太陽電池の低コスト製造プロセス（非真空プロセス等）等の開発を行う。

ⅲ）集光型太陽電池の低コスト化技術開発

Ⅲ-Ⅴ族化合物／シリコンモノリシックタンデム等低コスト集光型太陽電池、低コスト集光系・ミラー・レンズ、低コスト架台・システム等の開発を行う。

３．達成目標

ⅰ）ＣＩＳ等化合物系高効率化

＜中間目標＞

・サブモジュール（３０ｃｍ角程度）で変換効率１７％以上を達成する。

・小面積セル（１ｃｍ角程度）で変換効率２２％以上を達成する。

＜最終目標＞

・サブモジュール（３０ｃｍ角程度）で変換効率１８％以上を達成する。

・小面積セル（１ｃｍ角程度）で変換効率２５％以上を達成する。

ⅱ）ＣＩＳ等化合物系製造プロセスの開発

軽量基板上での製造技術や、新規な低コスト製造プロセス等により製造したサンプルを供試する。達成目標（中間目標を含む）は単位出力当たりの製造コスト等（円／W）で表し、その値は研究テーマ毎に設定し実施計画書に記載する。

ⅲ）集光型太陽電池の低コスト化開発

開発した光学系や追尾架台等を用いたモデルシステムを実際に建設し、そのコストを基にプラント建設コストを算出する。達成目標（中間目標を含む）は例えば単位面積当たりの建設コストで表し、その値は研究テーマ毎に設定し実施計画書に記載する。

（ニ）色素増感太陽電池

１．研究開発の必要性

色素増感太陽電池はコストの点でシリコン材料を用いないので高純度シリコン価格高騰の影響を受けない。また、高真空プロセスを用いず、スクリーン印刷、ロールツーロール等の工程で製造が可能なので低コスト化が期待されている。機能面の点では光入射角度依存性が小さく、発電出力の温度依存性が小さいため、夏季でも発電特性が落ち込まない等の利点がある。

課題は変換効率が低いことであり、現時点で環境試験・耐久性試験で相対効率低下１０％以内をクリアしているセルでは変換効率は３％程度である。また、信頼性においても水分の進入等による劣化等の問題がある。

コスト面、性能面での色素増感太陽電池のメリットを生かし実用化を実現するためには、変換効率及び信頼性の向上が必要である。

２．研究開発の具体的内容

高効率化と耐久性向上を図り、以下のモジュール製造プロセスの研究開発を実施する。

ⅰ）高効率化

・新規色素（長波長応答色素）、高性能半導体電極、タンデム構造色素太陽電池の開発等を行う。

ⅱ）モジュール化技術開発・耐久性向上

・封止構造形成技術、不揮発性電解質の開発、スクリーン印刷、ロールツーロール等のプロセス技術の導入による量産化検討、半導体電極の低温形成技術の開発等を行う。

・劣化メカニズムの解明及び耐久性向上のための技術開発を行う。

３．達成目標

高効率かつ耐久性に優れたモジュールを開発する。モジュールは以下の効率と耐久性を同時に満たすことを目標とする。

ⅰ）高効率化

＜中間目標＞

・セル変換効率（安定化効率）　１１％（１ｃｍ角程度）以上

・モジュール変換効率（安定化効率）　７％（３０ｃｍ角程度）以上

＜最終目標＞

・セル変換効率（安定化効率）　１５％（１ｃｍ角程度）以上

・モジュール変換効率（安定化効率）　１０％（３０ｃｍ角程度）以上

ⅱ）モジュール化・耐久性向上

＜中間目標＞

・ＪＩＳ規格Ｃ８９３８の環境試験、耐久性試験（温湿度サイクル、耐熱性、耐湿性、温度サイクル、光照射の各試験）において相対効率低下１０％以内

＜最終目標＞

・ＪＩＳ規格Ｃ８９３８の環境試験、耐久性試験（温湿度サイクル、耐熱性、耐湿性、温度サイクル、光照射の各試験）において相対効率低下１０％以内

（ホ）有機薄膜太陽電池

１．研究開発の必要性

有機薄膜太陽電池はコストの点でシリコン材料を用いないので高純度シリコン価格高騰の影響を受けない。また、高真空プロセスを用いず、スクリーン印刷、ロールツーロール等の工程で製造が可能なので低コスト化が期待されている。機能面の点では光入射角度依存性が小さく、発電出力の温度依存性が小さいため、夏季でも発電特性が落ち込まない等の利点がある。

課題は変換効率が低いことであり、現時点ではセルで６％程度である。また、信頼性においても水分の進入等による劣化等の問題がある。

コスト面、性能面での有機薄膜太陽電池のメリットを生かし、実用化を実現するためには、変換効率と信頼性の向上が必要である。

２．研究開発の具体的内容

高効率化と耐久性向上を図り、以下のモジュール製造プロセスの技術開発を実施する。

ⅰ）高効率化

・有機半導体（特にｐ型）、電子・ホール輸送層等の材料探索、短絡電流向上のための光電変換部分の増大（バルクヘテロ接合）、新デバイス構造構築、積層化に係る技術開発等を行う。

ⅱ）モジュール化技術開発・耐久性向上

・スクリーン印刷、ロールツーロール等のプロセス技術の導入による量産化検討、劣化メカニズムの解明及び耐久性向上のための技術確立等を行う。

３．達成目標

高効率かつ耐久性に優れたモジュールを開発する。モジュールは以下の効率と耐久性を同時に満たすことを目標とする。

ⅰ）高効率化

＜中間目標＞

・セル変換効率（安定化効率）　　８％（１ｃｍ角程度）以上

・モジュール変換効率（安定化効率）　　６％（３０ｃｍ角程度）以上

＜最終目標＞

・セル変換効率（安定化効率）　　１２％（１ｃｍ角程度）以上

・モジュール変換効率（安定化効率）　　１０％（３０ｃｍ角程度）以上

ⅱ）モジュール化技術開発・耐久性向上

＜中間目標＞

・ＪＩＳ規格Ｃ８９３８の環境試験、耐久性試験（温湿度サイクル、耐熱性、耐湿性、温度サイクル、光照射の各試験）において相対効率低下１０％以内

＜最終目標＞

・ＪＩＳ規格Ｃ８９３８の環境試験、耐久性試験（温湿度サイクル、耐熱性、耐湿性、温度サイクル、光照射の各試験）において相対効率低下１０％以内

（へ）共通基盤技術

１．研究開発の必要性

太陽光発電システムの利用拡大や技術発展のためには、システムを構成するモジュール等の性能、耐久性、安全性、システムとしての発電量算定評価や信頼性評価等の各種評価方法の確立、国際的な規格化・標準化、システムの認証、リサイクル・リユースの技術開発等の産業基盤の整備が必要である。また、各電池に共通した部材の高機能化、長寿命化を図る必要がある。さらに、諸外国の研究機関との連携、国際エネルギー機関（ＩＥＡ）への参画等による戦略的な活動は、産業競争力の確保と国際貢献の双方を意識した国の活動として重要である。

２．研究開発の具体的内容

以下の研究開発項目を実施する。

ⅰ）発電量評価技術等の開発
ⅱ）信頼性及び寿命評価技術の開発
ⅲ）リサイクル・リユース技術の開発
ⅳ）共通材料・部材・機器及びシステム関連技術開発
ⅴ）標準化支援事業及びＩＥＡ国際協力事業等

ⅰ）発電量評価技術の開発

イ）発電量評価

発電量評価技術として、きめ細かい範囲でのスペクトルを含めた日射量のデータベースを構築し、測定した当日の日射量・気象データから特定地域の翌日の発電量を推定する技術を開発する。

ロ）太陽電池の性能評価

太陽電池評価技術として、光照射効果を考慮した実効性能評価技術を開発する。また、高精度屋外性能評価技術を開発する。さらに、新材料・新技術に対応した新型太陽電池の評価技術を開発する。

基準太陽電池校正技術の研究開発として、高精度絶対放射計とその校正技術の開発を行う。また、絶対分光感度法による一次基準セルの校正技術を開発する。さらに、二次基準モジュールの校正精度の向上を図る。

ⅱ）信頼性及び寿命評価技術の開発

信頼性評価技術の開発として、太陽電池モジュールや太陽光発電システムの屋外曝露試験データを取得、分析評価し、劣化要因を抽出する。また、これと併せてモジュール、封止材等の長寿命化技術の開発を行う。試作モジュール等も用いて劣化メカニズムを解明し屋内での部材も含めた寿命評価試験方法を開発し、規格化を推進する。

更に、太陽光発電システムの長寿命化等に寄与する可能性がある各電池に共通した高機能材料の寿命試験方法を確立する。

ⅲ）リサイクル・リユース技術の開発

新たな種類の太陽電池や破損､粉砕された太陽電池モジュール等のリサイクル等の関連技術の開発を行う。また、リユース及び補修回収技術の開発並びに安全性等評価を行い、そのための基準を定める。更に、ＬＣＡ評価として、これまでの評価の見直しとリサイクル等の廃棄処理まで考慮した評価を実施する。

なお、必要に応じ環境関連技術、低コスト化技術、高効率化技術等について問題抽出や課題解決のための方向性検討・調査等を行う。

ⅳ）共通材料・部材・機器及びシステム関連技術開発

結晶シリコン、薄膜シリコン、ＣＩＳ等化合物系太陽電池等の各種太陽電池に適用でき、コスト低減（省プロセス化、信頼性向上）、高効率化が見込める共通材料、部材・機器及びシステム関連技術の開発を行う。

ⅴ）標準化支援事業及びＩＥＡ国際協力事業等

標準化調査研究において､太陽電池の性能評価及び太陽光発電システムに関する国内外の標準策定に向けた活動を行う。

諸外国の技術開発動向や政策動向等について、ＩＥＡ活動等から調査・分析し、諸外国の動向等を把握し、技術開発の方向性や分析・評価手法等について検討する。

３．達成目標

ⅰ）発電量評価技術の開発

イ）発電量評価

・スペクトルを含めた日射量のデータベースを構築する。
・地域の日射量・気象データから発電量を推定する技術を開発する。

ロ）太陽電池の評価技術

・実効性能評価技術：光照射効果（１年以上）を考慮した実効性能評価技術を確立する。
・高精度屋外性能評価技術の開発：測定再現性２％以内の評価方法を確立する。
・各種新型太陽電池評価技術：ＮＥＤＯの開発成果も含めて基礎データを収集、分析、評価し、必要に応じ規格化を図りつつ基本的評価手法を確立する。
・基準太陽電池校正技術：ＷＲＲファクター０．５％以内の構成技術を確立する。
・絶対分光感度法による一次基準セルの校正技術：校正の不確かさ０．５％以内の構成技術を確立する。
・二次基準モジュールの校正精度：校正の不確かさ１．０％以内を達成する。

ⅱ）信頼性及び寿命評価技術の開発

２０～３０年の屋外曝露に相当する屋内での寿命評価試験方法等について、モジュール及びシステムとして基本的な評価技術を開発し､規格化に向けた技術要件を整理する。

また､工程管理で信頼性確保を判定できる方法を確立し､簡易に寿命を判定できる方法を確立する。

さらに､モジュールやシステムの屋外曝露試験を行い、電気的物理的な劣化状況に

関するデータを収集、分析、評価等を行うとともに、システムも含めた劣化要因について抽出する。

ⅲ）リサイクル・リユース技術の開発

新たな種類の太陽電池にも対応したリサイクル関連技術を確立する。

また、リユース及び補修回収技術の開発並びに安全性等の評価を行い、そのための基準を定める。

さらに、ＬＣＡ評価の見直しを行い、新型太陽電池の廃棄を含めたＬＣＡ評価を完了する。

ⅳ）共通材料・部材・機器及びシステム関連技術開発

具体的な開発目標及び実施内容は､採択テーマごとにＮＥＤＯと実施者との間で協議の上個別に設定することとする。

ⅴ）ＩＥＡ国際協力事業及び標準化支援事業等

・ＩＥＣ・ＪＩＳに係る標準化活動を行う。

・諸外国の技術動向や政策動向等を調査・分析し、諸外国の動向を把握した上で、技術開発の方向性や、分析・評価手法の開発方針等を明確にする。

〔研究開発の実施方法〕

（１）研究開発の実施体制

本研究開発は、ＮＥＤＯが単独ないし複数の原則本邦の企業、大学等（原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別な研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点から国外企業との連携が必要な場合はこの限りでない。）から公募によって選定した研究開発実施者（又は研究開発グループ）が、ＮＥＤＯが委嘱したプロジェクトリーダーである豊田工業大学大学院工学研究科　特任教授　山口　真史氏（（イ）から（ホ））、東京工業大学統合研究院　特任教授　黒川　浩助氏（（ヘ））の下で、それぞれの研究テーマの目標達成を実現すべく研究開発を実施する。

（２）研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するＮＥＤＯは、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、太陽光発電技術委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、四半期に一回程度プロジェクトリーダー等を通じてプロジェクトの進捗について報告を受けること等を行う。

本プロジェクトへの参加者は、これらのＮＥＤＯのマネジメントに従い、我が国政府が打ち出した目標（太陽光発電の導入規模を２０２０年に現状の２０倍（２８ＧＷ）、２０３０年に４０倍（５３ＧＷ）にする）の達成に必要な取り組みに協力するものとする。

〔評価に関する事項〕

ＮＥＤＯは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義及び将来の産業への波及効果等について、外部有識者による中間評価を平成２４年度、事後評価を平成２７年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等適宜見直すものとする。

〔その他重要事項〕

・若手研究者の育成を図るため、学生等の研究参加を促進する環境を整備する。
・産業界が実施する研究開発との間で共同研究を行う等、密接な連携を図ることにより、円滑な技術移転を促進する。

研究開発項目③「有機系太陽電池実用化先導技術開発」

１．研究開発の必要性

ＮＥＤＯは、太陽光発電の普及拡大に向けて技術開発等に取り組んでいるところであるが、取り組みの１つとして、製造原価を安く、軽量に作製することができ、かつ、設置場所の制約の少ない有機系太陽電池の要素技術開発を行っている。

有機系太陽電池は、これまでの技術開発の成果等により、実用化が間近な状況に到達しつつあるが、この成果を事業化につなげるためには、有機系太陽電池を実際の使用環境下で実証し、実用化に向けた課題の改善を図っていく必要がある。

２．目的

有機系太陽電池を使用した太陽光発電システムの設計・試作を行い、その性能や品質を実証・評価し、実用化に向けた課題を抽出し、技術開発にフィードバックすることにより、有機系太陽電池の実用化を促進する。

３．研究開発の具体的内容

有機系太陽電池を使用した太陽光発電システムを設計・試作・設置し、実使用環境下で発電量・耐久性等を実証・評価することで、実用化に向けた開発課題を抽出し、実用化検討にフィードバックする。また、実証試験の結果得られるデータの課題分析については、ＮＥＤＯは実証試験課題検討委員会を設置し、当該委員会で実証データを分析・課題抽出を行い、対策検討に至るまで支援する。さらに、本実証研究を通じ、有機系太陽電池の市場要件（コスト・発電量・設置条件・耐久性・信頼性・デザイン等）を把握し、用途開拓を行う。

なお、本事業では、公募によって高い技術力を有し、かつ、将来の事業化を企図する企業等を助成事業者として選定し、最適な研究開発体制を構築する。

４．達成目標

有機系太陽電池の実用化に向けた具体的な開発課題を抽出し、技術開発にフィードバックすることに加え、ユーザーが求める市場要件を明確にし、用途拡大のシナリオを明らかにする。

５．評価の時期及び方法

ＮＥＤＯは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義及び将来の産業への波及効果等について、外部有識者による事後評価を平成２７年度に実施する。また、研究の進捗状況を踏まえ必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等適宜見直すものとする。

事前評価書

	作成日	平成 24 年 2 月 3 日

1. プロジェクト名	太陽エネルギー技術研究開発 研究開発項目③有機系太陽電池実用化先導技術開発
2. 推進部署名	新エネルギー部

3. プロジェクト概要（予定）

(1)概要

1)背景

ＮＥＤＯは、太陽光発電の普及拡大に向けて技術開発等に取り組んでいるところであるが、 取り組みの１つとして、製造原価を安く、軽量に作製することができ、かつ、設置場所の制約の少ない有機系太陽電池の要素技術開発を行っている。有機系太陽電池は、これまでの技術開発の成果等により、実用化が間近な状況に到達しつつあるが、この成果を事業化につなげるためには、有機系太陽電池を実際の使用環境下で実証し、実用化に向けた課題の改善を図っていく必要がある。

2)目的

有機系太陽電池を使用した太陽光発電システムの設計・試作を行い、その性能や品質を実証・評価し、実用化に向けた課題を抽出し、技術開発にフィードバックすることにより、有機系太陽電池の実用化を促進する。

3)実施内容

有機系太陽電池を使用した太陽光発電システムを設計・試作・設置し、実使用環境下で発電量・耐久性等を実証・評価。実用化に向けた開発課題を抽出し、実用化検討にフィードバックする。

また、この実証研究を通じ、有機系太陽電池の市場要件（コスト・発電量・設置条件・耐久性・信頼性・デザイン等）を把握し、用途開拓を行う。

(2)規模　45 億円（想定）（助成事業［ NEDO 負担率：2/3］）

(3)期間　平成 24 年度～26 年度（3 年間）

4. 評価内容

(1)プロジェクトの位置付け・必要性について

1)ＮＥＤＯプロジェクトとしての妥当性

太陽光発電システムの更なる普及拡大を図るためには、製造原価を安くすることができ、軽量に作製することができ、かつ、設置場所の制約の少ない

（光強度や照射角度依存性が低い特性をもつ）有機系太陽電池の市場投入が欠かせない。

このため、経済産業省は、「技術戦略マップ2010」及び「Cool Earth エネルギー革新技術計画」において、有機系太陽電池を重要技術として位置付けている。

ＮＥＤＯは、「太陽光発電システム次世代高性能技術開発」を平成22年度からスタートし、有機系太陽電池の材料技術、モジュール化技術等の要素技術開発を実施している。しかし、これらの成果を実用化につなげるためには、有機系太陽電池を実際の使用環境下で実証し、実用化に向けた課題の改善を図っていく必要がある。

係る観点から、本実証研究においては、有機系太陽電池の設計・試作を行い、その性能や品質を実証・評価し、実用化に向けた課題を抽出し、技術開発にフィードバックすることにより、有機系太陽電池の実用化を促進する。

有機系太陽電池の要素技術開発と並行して本実証研究を実施し、有機系太陽電池の市場投入時期を前倒しできれば、再生可能エネルギーの導入量拡大、有機系太陽電池国内メーカーの国際競争力確保、新規市場開拓、早期市場投入による先行者利益獲得等が期待され、その意義は大きい。

他方で、有機系太陽電池の市場の立ち上がりが見えにくい状況で、民間企業が単独で実証のための投資を行うことは、技術開発にまで立ち返った対応が必要になることまで想定されるため、投資リスクは高い。現下の市場動向や経済情勢から民間企業による積極的な投資が厳しい状況にあることも鑑みれば、ＮＥＤＯが主導して支援することは妥当である。

2) 目的の妥当性

国内外の研究開発動向について、日系企業は、材料技術、モジュール化技術の性能では先行しているものの、パイロットライン建設等の生産投資については、海外企業に比べ遅れている状況である。そのため、本実証事業を通じ、製品市場のあり方をいち早く示し、企業の生産投資を促すことは喫緊の課題であり、本実証事業の目的は妥当であると考えられる。

(1) プロジェクトの位置付け・必要性についての総合的評価

本事業は、有機系太陽電池の実用化前倒しに大きく寄与するものであり、エネルギーセキュリティー向上、CO_2排出量削減、国際競争力の強化等に大きく寄与することから、位置づけ、必要性は妥当と考えられる。

(2) プロジェクトの運営マネジメントについて

1) 成果目標の妥当性

本事業の目的・目標は、有機系太陽電池を使用した発電システムを試作し実証・評価することにより、実用化に向けた具体的な開発課題を抽出し、技

術開発にフィードバックすることに加え、ユーザーが求める市場要件を明確にし、用途拡大のシナリオを明らかにすることであり、実用化を前倒す趣旨に照らし妥当である。

2)実施計画の想定と妥当性

有機系太陽電池の実用化前倒しの趣旨に照らし、3年間の事業としている。1年目から2年目の前半に太陽光発電システムの設計・試作を行い、2年目の後半から3年目に設置・実証試験を行うこととしている。事業終了後、企業がすみやかに量産投資、製品販売に着手できるタイムスケジュールとしており、妥当と考えられる。

3)評価実施の想定と妥当性

研究開発の意義、目的達成度、成果の技術的意義、将来の産業への波及効果等について随時確認を行い、必要に応じて研究開発内容の見直し等を行う。また、外部有識者による事後評価を平成27年度に実施する。

4)実施体制の想定と妥当性

公募により、高い技術力を有し、かつ将来の事業化を企図する企業等を助成事業者として選定し、最適な研究開発体制を構築する。なお、セル・モジュール試作のための機械装置等費は助成対象外とすることで、企業の自主的な装置導入を促し、実用化に対するマインドの高い企業を選定する。

事業化を企図する企業を主体とした事業であるため、メーカーの競争力の源泉となる太陽光発電システムの設計・試作は競合的に実施する。

他方、実証試験の結果得られるデータの課題分析については、共同で分析するメリットがあるため、ＮＥＤＯは、実証試験課題検討委員会（仮称）を設置し、助成事業者から提供を受ける実証データを分析。課題抽出をし、対策検討に至るまで支援する。

5)実用化・事業化戦略の想定と妥当性

実用化・事業化に当たっては、実使用環境下での課題の抽出と用途開拓が大きな課題である。本実証事業では、軽量・フレキシブル性・制約の少なさ・意匠性の特性を活かし、既存の太陽電池では設置が難しい場所への市場開拓の可能性を追求する。

(2)プロジェクトの運営マネジメントについての総合的評価

本プロジェクトの目的、実施計画、予算とも、有機系太陽電池の実用化の前倒しを念頭に置いた取り組みとして適当と考えられる。

(3)成果の実用化・事業化の見通しについて

1)プロジェクト終了後における成果の実用化・事業化可能性

実用化直後は、変換効率、耐久性が既存の太陽電池に比べ制約があると考えられるため、当初は発電特性、軽量性、フレキシブル性、意匠性が求めら

れる市場に進出し、既存の太陽電池では設置が難しい場所での市場を確保する。将来、要素技術研究の成果により、基礎性能が向上した段階では、新築住宅、太陽光発電所といった大規模市場に進出する。

2)成果の波及効果

有機系太陽電池は、材料の合成、組み合わせ及び製造プロセスの最適化に多くのノウハウが必要なことから、容易に海外にキャッチアップされない技術として、海外との競合に強みを発揮できると期待される。

また、市場投入が進めば、システムインテグレーター、施工会社等の関連業界の雇用に貢献すると考えられる。

(3)成果の実用化・事業化の見通しについてについての総合的評価

現時点で可能な限り市場等を明確に見通している。

書式１

「有機系太陽電池実用化先導技術開発 基本計画（案)」に対するパブリックコメント募集の結果について

平成 24 年 4 月 13 日
NEDO
新エネルギー部

NEDO POST 3 において標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。
みなさまからのご協力を頂き、ありがとうございました。

1. パブリックコメント募集期間
　　平成 24 年 2 月 9 日～平成 24 年 2 月 23 日
2. パブリックコメント投稿数＜有効のもの＞
　　計１件
3. パブリックコメントの内容とそれに対する考え方

ご意見の概要	ご意見に対する考え方	基本計画・技術開発課題への反映
全体について [意見 1]（１件） 持論ですが、以下のように考えています。 ・太陽電池の普及は、先進国と途上国で進む。 ・先進国では省エネと CO_2 削減の観点で進む。 ・途上国ではインフラ整備の観点で進む。 ・途上国では初期のビジネスとして収益は期待できない。 ・途上国では実証や初期試作段階で製品の完成度を上げるフェーズで用いることができる。 ・先進国には途上国での展開において得た知見をフィードバックし、完成度を高めたもので展開すると価格の安定化とシステムの効率化で市場展開しやすくなる。 上記の観点を踏まえると、色素増感においても実証段階の技術レベルで途上国では十分実用的であり、途上国等で実証を終えた段階で先進国	ご意見ありがとうございます。 有機系太陽電池の早期の実用化、世界市場への展開を図るには、ご指摘の観点は重要だと捉えています。本事業で採択した助成事業者とも問題意識を共有しつつ、海外展開に向けた支援を検討して参ります。	特になし。

	に持ってくることで、非常に完成度を上げられたものが国内展開できる。また、途上国で本格展開する段階では、他企業に先行することができる。 海外での市場導入を含めた事業化の検討、及び世界での日本技術力のアピールを含めるとした場合、想定されうる初期市場（途上国）を見据えた展開も本実証事業で行うことができるようにしてもらいたい。 具体的には、 ・色素増感太陽電池は非常に軽量かつフレキシブルな発電デバイスとなりうるため、インフラの未整備エリアでの実用に期待できる。つまり、今後は、携帯やスマホ型のツールの爆発的に流行っている途上国での需要が見込まれる。 ・こういった地域に対する実用性と期待感をフィードバックするよう、実証の場を世界に広げ、そこでは、パイオニア的立場で日本からの輸出ルートも構築することも必要かと思われる。結晶シリコン型太陽電池の市場戦略失敗の二の舞（世界展開において市場に出遅れた事例）にならないためにも、次世代太陽電池のソーラー市場は、視野を世界に向けて戦略的に展開していけるものとすると有効かと思われる。 このため、本事業では、 ・日本に閉じた技術とするのではなく、世界に先駆けて日本の技術を展開できるようマーケティングの醸成を図れるものとする。 ・この際、日本企業では、国内展開しか視野におけないところもあることを鑑み、世界市場で戦える技術戦略上の支援が図れるものとする。 といった、特許出願範囲を世界視野に置くための支援等も含めてはどうか。実証フィールドもぜひ途上国の選定を可能なものとして頂きたい。 世界トップの市場醸成をこの技術で達成したいと心より願っております。素晴らしい公募となりますように。		

以上

２．分科会における説明資料

次ページより、プロジェクト推進部署・実施者が、分科会においてプロジェクトを説明する際に使用した資料を示す。

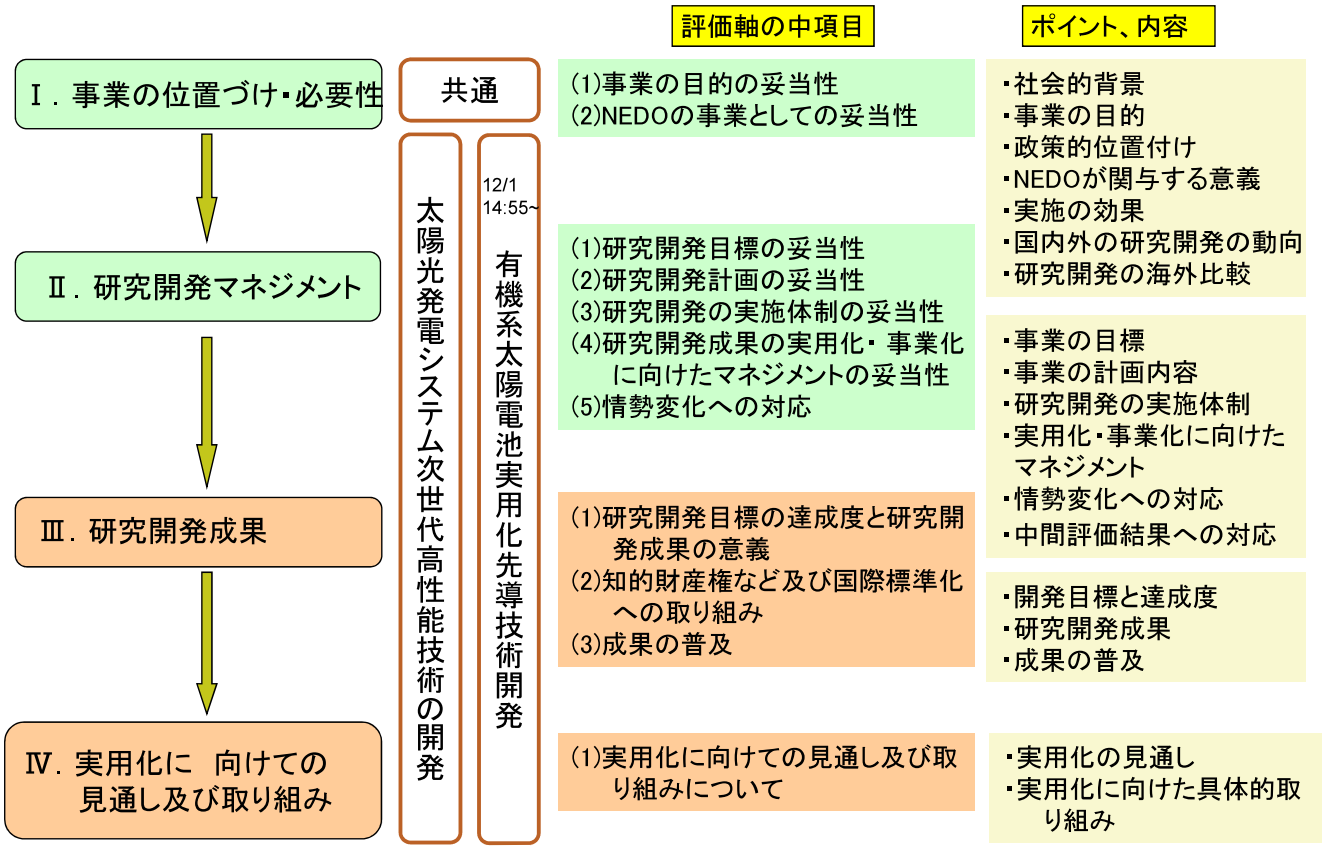
太陽エネルギー技術研究開発
『太陽光発電システム次世代高性能技術の開発』
（平成22年度～平成26年度　5年間）

『有機系太陽電池実用化先導技術開発』
（平成24年度～平成26年度　3年間）

事後評価説明資料（公開）

NEDO
新エネルギー部
2015年11月30日～12月1日

発表内容



Ⅰ．事業の位置づけ・必要性（1)事業の目的の妥当性

－上位施策の概要１－

「麻生内閣総理大臣スピーチ（新たな成長に向けて）」（2009年4月9日）
太陽電池の導入量を２０２０年までに２０倍、２０３０年までに４０倍とする目標が示された。

新成長戦略（基本方針）～輝きのある日本へ～（2009年12月30日閣議決定）
（グリーン・イノベーションによる成長とそれを支える資源確保の推進）
電力の固定価格買取制度の拡充等による再生可能エネルギー（太陽光、風力、小水力、バイオマス、地熱等）の普及拡大支援策や、低炭素投融資の促進、情報通信技術の活用等を通じて日本の経済社会を低炭素型に革新する。

「第３期科学技術基本計画」（2006年3月閣議決定）
総合科学技術会議において、太陽光発電が戦略重点科学技術の一つとして選定された。

エネルギー基本計画（2010年6月18日閣議決定）
基本的視点と目標： 第１章、第２章
・エネルギーの安定供給確保（energy security）、環境への適合(environment)、市場機能(economic efficiency)の３Ｅの実現を図ることである。
・２０３０年に向け中長期的な視点で、エネルギー自給率を大幅向上（約１８%→約４割）、エネルギー起源のＣＯ２の３０%削減を目指す。
・エネルギー製品等の国際市場で、我が国企業群がトップクラスのシェアを獲得する。

目標実現のための取組： 第３章 第２節 １．再生可能エネルギーの導入拡大
太陽光発電は、今後、大幅な発電コストの低下が期待され、住宅・非住宅とも潜在的な導入量が大きく、産業の裾野が広い。一方、現状では発電コストが他の発電方式に比べて高い、という課題がある。

Ⅰ．事業の位置づけ・必要性（1)事業の目的の妥当性

－上位施策の概要２－

エネルギーイノベーションプログラム（経済産業省　2008年4月制定）
目的
資源に乏しい我が国が将来に渡り持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発・導入・普及によって、各国に先んじて次世代のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。エネルギー安全保障の確立や世界全体の温室ガスを2050年までに半減するという長期目標を達成するのが目的である。

1-III　新エネルギー等の開発・導入促進
太陽光、風力、バイオマスなどの新エネルギーはエネルギー源の多様化や地球温暖化対策の観点から重要である。しかし、現時点では経済性や出力安定性といった普及へ向けての課題が存在する。そのため、これらの課題解決に向けた技術開発の推進及び新エネルギーの導入促進のための関連施策の実施により、更なるエネルギーの普及を推進する。

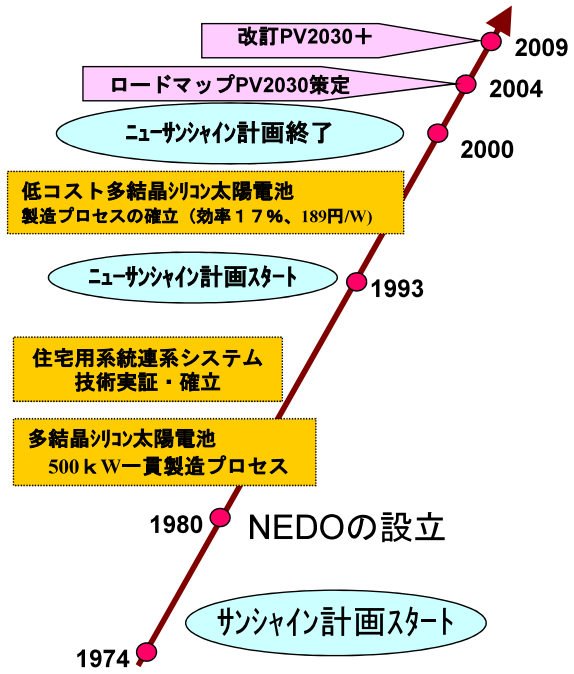
エネルギー技術戦略（技術戦略マップ２００９）
③ 新エネルギーの開発・導入促進
太陽光、風力などの再生可能エネルギーの利用は、例えば、わが国の太陽光発電の導入量が世界のトップレベルとなるなど一定の実績を上げてきた。しかしながら、一次エネルギー供給に占める割合は依然として低い状況である。
　太陽光発電については、わが国の太陽電池生産量、導入累積量は既に世界のトップレベルであるが、一層の導入拡大のためには、経済性の改善、変換効率の向上、原材料の供給安定化等、様々な課題がある。これらの課題解決のためには、シリコン系太陽電池としては、薄膜化によるシリコン使用量の低減や多接合などの高効率化が重要であり、非シリコン系太陽電池としては、化合物（ＣＩＳ）系薄膜太陽電池、色素増感太陽電池等の高効率化、耐久性向上等に向けた技術開発が重要である。

Ⅰ．事業の位置づけ・必要性 (1)事業の目的の妥当性

―公的関与の意義―

エネルギー技術開発は長期間を要するとともに大規模投資を伴う一方で将来の不確実性が大きいことから、民間企業が持続的な取組を行うことは必ずしも容易ではない。
このため政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となる。
（エネルギーイノベーションプログラムより）

太陽光発電はエネルギー・環境政策にとって重要な新エネルギー技術普及に向けた早期の低コスト化技術が必要



Ⅰ．事業の位置づけ・必要性 (2)NEDOの事業としての妥当性

―NEDO関与の意義―

マネジメントプロセス	企画・立案	体制構築	事業推進
NEDOの強み	✓産学官を取り纏めてロードマップを策定（事業環境の変化に即して改訂） ✓国策を盛り込んだ企画が可能	✓産学官を組み合わせた柔軟な体制を構築可能 ✓３０年以上に亘るコーディネートの経験	✓公的機関としての中立性 ✓独法制度を最大限に活かして柔軟に推進

長期間に亘る太陽電池の技術開発を牽引しているNEDOが関与するのが適切

マネジメントのポイント			
	✓業界全体のニーズを把握するために産学官のヒアリングを実施 ✓ＰＶ２０３０＋を踏まえた目標設定	✓複数の競合企業を、コンソーシアムに纏め上げ共通の技術目標に向けて研究開発を推進 ✓企業、大学、公的研究機関でコンソーシアムを形成	✓大学及び公的研究機関の基礎研究成果を企業の事業化に活かせるように調整 ✓必要に応じて加速資金を投入 ✓事業環境の変化に即して追加公募を実施

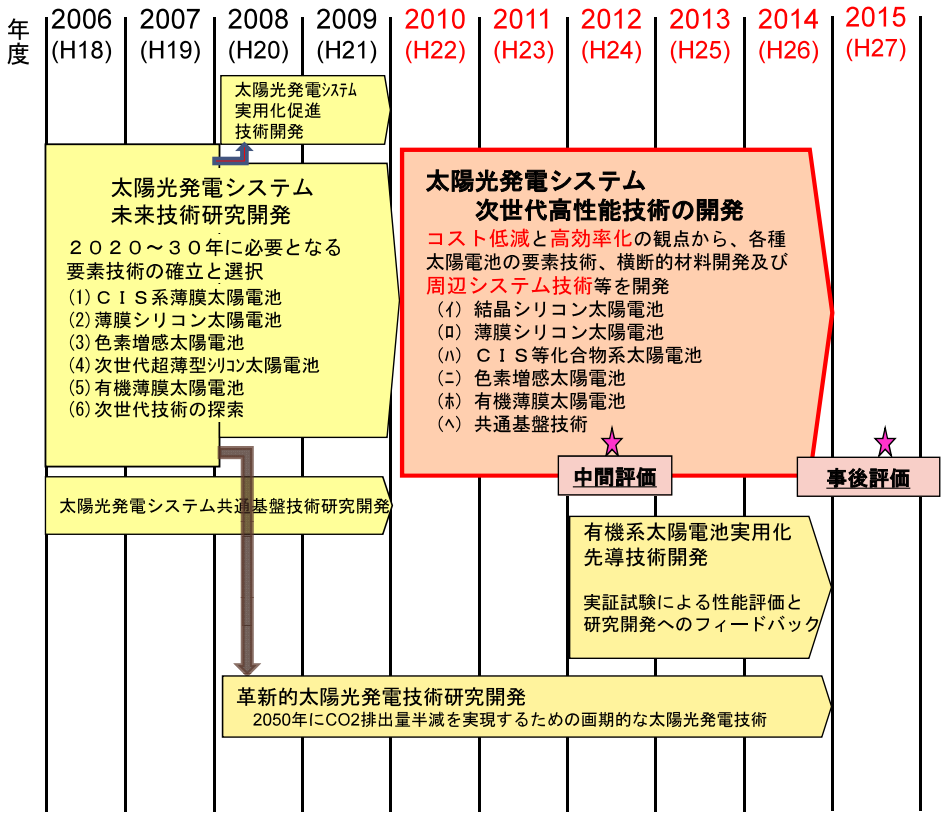
太陽エネルギー技術研究開発

『太陽光発電システム次世代高性能技術の開発』

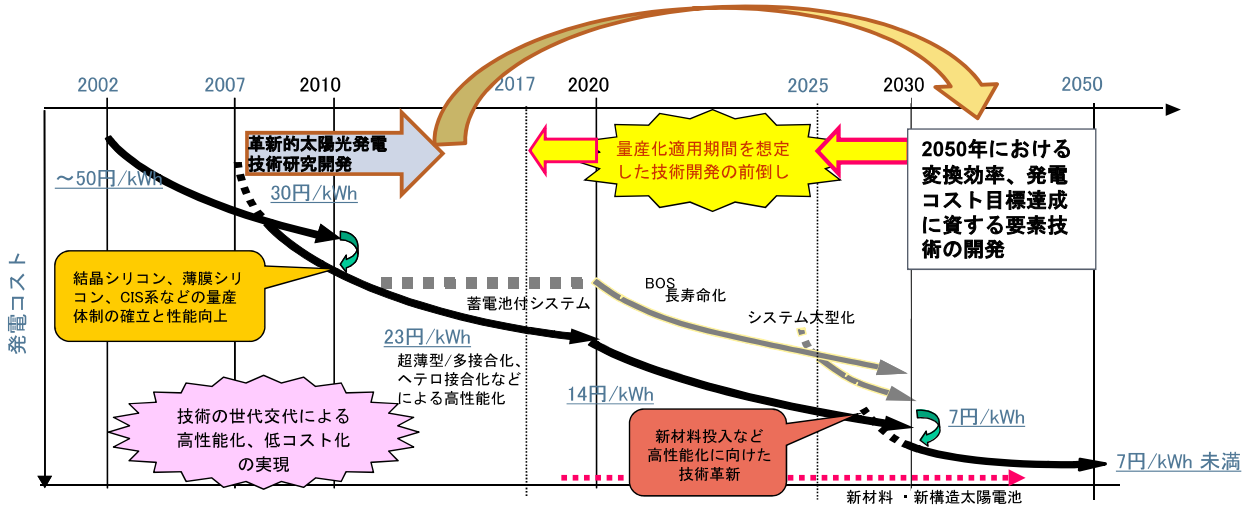
（平成22年度～平成26年度　5年間）

Ⅰ．事業の位置づけ・必要性　(2)NEDOの事業としての妥当性

－位置づけ－



ー背景／PV2030(＋)ー



実現時期（開発完了）	2010年～2020年	2020年(2017年)	2030年(2025年)	2050年
発電コスト	家庭用電力並 23円/kWh程度	業務用電力並 14円/kWh程度	汎用電源並み 7円/kWh程度	汎用電源未満 7円/kWh未満
モジュール変換効率 （研究レベル）	実用モジュール16% （研究セル20%）	実用モジュール20% （研究セル25%）	実用モジュール25% （研究セル30%）	超高効率モジュール 40%
国内向生産量（GW/年）	0.5～1	2～3	6～12	25～35
国外向生産量（GW/年）	～1	～3	30～35	～300

ー背景／PV2030(＋)ー

2050年に向けた太陽電池セル・モジュール変換効率目標（%）

赤字が次世代プロジェクトの目標値

個別技術の開発目標	太陽電池[1]	現状(2009年度)		2017年		2025年		2050年
		モジュール(%)	セル[5](%)	モジュール(%)	セル[5](%)	モジュール(%)	セル[5](%)	モジュール(%)
	結晶Si[2]	～16	25	20	25	25	(30)	40%の超高効率太陽電池（追加開発）
	薄膜Si	～11	15	14	18	18	20	
	CIS系	～11	20	18	25	25	30	
	化合物系[3]	～25	41	35	45	40	50	
	色素増感	ー	11	10	15	15	18	
	有機系[4]		5	10	12	15	15	

1) セルは技術の到達水準を示す指標で、研究室での小面積セル。モジュールは実用化技術段階。
2) 結晶シリコンは単結晶、多結晶などを区別せず、シリコン基板を用いた太陽電池として設定。
3) 集光時の変換効率。
4) 新しい太陽電池として有機系太陽電池にも開発目標を設定した。
5) モジュール目標を達成するために最低限必要なセルの変換効率。

―基本計画における「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」の位置づけ―

基本計画 の [研究開発計画]

研究開発項目①「革新的太陽光発電技術研究開発」（革新型太陽電池国際研究拠点整備事業）
（１）ポストシリコン超高効率太陽電池の研究開発
（２）高度秩序構造を有する薄膜多接合太陽電池の研究開発
（３）低倍率集光型薄膜フルスペクトル太陽電池の研究開発
（４）革新的太陽電池評価技術の研究開発
（５）高効率集光型太陽電池セル、モジュール及びシステムの開発（日ＥＵ共同開発）

研究開発項目②「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」
〔委託事業、（共同研究事業（ＮＥＤＯ負担率：２／３））〕
（イ）結晶シリコン太陽電池
（ロ）薄膜シリコン太陽電池
（ハ）ＣＩＳ等化合物系太陽電池
（ニ）色素増感太陽電池
（ホ）有機薄膜太陽電池
（ヘ）共通基盤技術　←ｉ）～ⅳ）

評価の対象となる研究開発テーマ

研究開発項目③「有機系太陽電池実用化先導技術開発」
有機系太陽光発電システムを設計・試作・設置、実使用環境下で発電量・耐久性等を実証・評価

―「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」の目標―

【ねらい】
太陽光発電の導入規模を２０２０年に現状の２０倍（２８ＧＷ）、発電コスト１４円／ｋＷｈを達成するため、モジュール高効率化及びコスト低減の観点から、各種太陽電池の変換効率の向上、原材料・各種部材の高機能化、モジュール長寿命化、評価技術等の共通基盤技術等の開発を行う。

【目標】
太陽光発電ロードマップ（PV2030+）に記載の
　発電コスト目標：14円/kWh（2020年）
　モジュール製造コスト目標：75円/W
　モジュール変換効率目標：20%（2015～2020年時点）
の実現に資する各種太陽電池の高効率化、低コスト化に係る技術を確立することを目標とする。（各太陽電池種別の具体的な達成目標は別途提示）

Ⅱ．研究開発マネジメント(2)研究開発計画の妥当性

ーＰＪ立ち上げ作業と予算規模ー

- **プロジェクト立ち上げ時の取り組み**
  - ✓ **企画に際して１１０事業者に対するヒアリングを実施。**
  - ✓ **前身プロジェクトの事後評価を前倒しで実施。評価コメントを基本計画策定に反映。**
- **当初公募（平成22年度）**
  - ✓ **４１件の応募に対し、２１件のテーマを採択。**
- **追加公募（平成24年度）**
  - ✓ **２３件の応募に対し、　７件のテーマを採択。**

ー研究開発予算（実績）の推移（単位：億円）ー

年度	H22	H23	H24	H25	H26	総額
Ⅰ　結晶シリコン太陽電池	10.3	15.4	21.4	18.7	12.6	78.4
Ⅱ　薄膜シリコン太陽電池	8.3	13.4	9.7	5.3	4.5	41.2
Ⅲ　CIS・化合物系太陽電池	4.1	8.9	11.2	7.9	5.7	37.7
Ⅳ　色素増感太陽電池	5.9	6.1	11.4	5.0	3.4	31.8
Ⅴ　有機薄膜太陽電池	5.5	6.6	4.9	5.2	5.6	27.8
Ⅵ　共通基盤技術	9.2	12.4	16.2	13.8	10.1	61.7
計　特別会計(需給勘定)	43.2	62.7	74.8	56.0	41.9	278.5

Ⅱ．研究開発マネジメント(3)研究開発の実施体制の妥当性

ー実施体制（プロジェクトリーダー（ＰＬ））ー

１．ＮＥＤＯとＰＬの役割分担

【ＮＥＤＯ】
- ✓ 実施体制の構築、予算の確保、進捗等に応じたプロジェクト運営。

【ＰＬ】
- ✓ 実施者の研究手法、開発の方向性の適切性を判断、必要に応じて指導。
- ✓ 進捗状況を把握、指導と助言を行いＮＥＤＯに報告。
- ✓ 必要に応じて技術的観点に基づく実施体制見直し案をＮＥＤＯに提示。

２．ＰＬとその担当分野

プロジェクトリーダー
豊田工業大学　山口特任教授

(イ)結晶シリコン太陽電池
(ロ)薄膜シリコン太陽電池
(ハ)CIS等化合物太陽電池
(ニ)色素増感太陽電池
(ホ)有機薄膜太陽電池
(ヘ)共通基盤(共通材料・部材・機器システム等)

プロジェクトリーダー
東京工業大学　黒川教授

(ヘ)共通基盤(評価技術・リサイクル技術等)

計６２契約（Ｈ２６年度事業終了時）

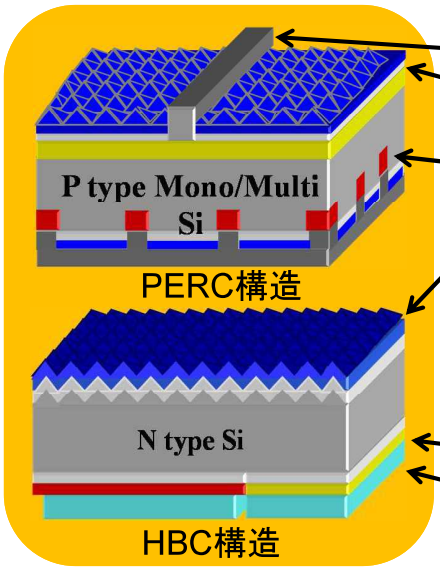
ー研究概要 結晶シリコン太陽電池ー

＜最終目標＞

- 高品位シリコン製造技術として１５ｃｍ各程度のセルにおいて、キャリア寿命４００μｓｅｃ（拡散長約２ｍｍ）以上、シリコン純度７Ｎ以上を達成する。
- カーフロス１２０μｍ未満、またはカーフロスを生じない新たな製法等を確立する。
- 厚さ１００μｍ程度、１５ｃｍ角のセルにおいて、変換効率２５％以上、モジュールの変換効率２０％以上を達成する。

【低コスト化】
- シリコンインゴットのコスト削減
- 基板の薄型化
- カーフロスの削減
- カーフの再利用
- 電極コスト低減

【高効率化】
- シリコンインゴットの品質向上
- 光吸収、反射ロス低減
- 表面再結合ロスの低減



- 微細配線、銅電極
- 微細テクスチャー
- 高品質パッシベーション
- インゴット成長技術
- スライス技術
- シミュレーション技術
- 評価解析技術
- ヘテロ技術
- 裏面電極技術

ー実施体制 結晶シリコン太陽電池ー

NEDO ↔ 指示・協議 ↔ プロジェクトリーダー
・所属　豊田工業大学　大学院工学研究科
・役職名　特任教授
・氏名　山口　真史

極限シリコン結晶太陽電池の研究開発（委託）
- 学校法人豊田工業大学（平成22年～平成26年）
  ・産業開発プラットフォームの構築（太陽電池試作ライン）
- 国立大学法人九州大学（平成22年～平成26年）
  ・革新的太陽電池用単結晶成長法の研究開発
- 独立行政法人物質・材料研究機構（平成22年～平成26年）
  ・太陽電池用低価格単結晶シリコン成長法の研究開発
- 国立大学東北大学（平成22年～平成25年）
  →国立大学法人名古屋大学（平成25年～平成26年）
  ・浮遊キャスト成長法による高品質Ｓｉ多結晶インゴット結晶成長技術
- 兵庫県立大学（平成22年～平成26年）
  ・スライス時のカーフの回収・再利用
- コマツＮＴＣ株式会社（平成22年～平成26年）
  ・太陽電池向け１００μｍウェーハの効率的加工技術の構築
- 京セラ株式会社（平成22年～平成26年）
  ・次世代超薄型高効率結晶シリコン太陽電池
- 三菱電機株式会社（平成22年～平成26年）
  ・微細レーザ加工技術による高効率化研究開発
- シャープ株式会社（平成22年～平成26年）
  ・次世代超薄型結晶シリコン太陽電池の低コスト・高効率化プロセス開発
- 国立大学法人東京工業大学（平成22年～平成26年）
  ・ナノ表面・界面制御による超薄型シリコン・ヘテロ接合太陽電池
- 国立大学法人岐阜大学（平成22年～平成26年）
  ・次世代ヘテロ接合シリコン結晶太陽電池の接合評価
- 独立行政法人産業技術総合研究所（平成22年～平成26年）
  ・銅ペーストの研究開発
- 国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学（平成22年～平成26年）
  ・室温レーザードーピングプロセスの研究開発
- 学校法人明治大学（平成22年～平成26年）
  ・産業開発プラットフォームの構築（物性評価）
- 新日本ソーラーシリコン株式会社（平成22年～平成24年）
  ・ソーラーグレード原料シリコンの分析評価に係る研究開発
- 国立大学法人京都大学（平成22年～平成24年）
  ・浮遊キャスト成長法による高品質Ｓｉ多結晶インゴットの結晶成長技術
- 株式会社ＳＵＭＣＯ（平成22年～平成24年）
  ・高効率、低価格ＥＭＣ多結晶ソーラーシリコン製造技術確立

共同研究 ↔ 株式会社コベルコ科研（平成22年～平成26年）
・マルチワイヤーソーによるシリコンウェハ切断技術の研究開発
共同実施 ↔ 学校法人金沢工業大学

共同研究 ↔ 新日本ソーラーシリコン株式会社（平成22年～平成24年）
・太陽電池用ポリシリコンのシリコン原料転換の研究開発
再委託 ↔ 東邦チタニウム株式会社

太陽電池用シリコンの革新的プロセス研究開発（委託）
- 太平洋セメント株式会社（平成22年～平成24年）
  ・高純度原料の開発　→（再委託）東海カーボン株式会社
- 国立大学法人弘前大学（平成22年～平成24年）
  ・シリカの直接還元プロセスの開発
- 国立大学法人東京大学（平成22年～平成24年）
  ・Ｓｉ精製プロセスの開発

赤外線ＦＺ法によるN型四角形状シリコン単結晶育成方法の研究開発（委託）
- 株式会社クリスタルシステム（平成24年～平成26年）
  ・育成方法および装置の開発
- 国立大学法人山梨大学（平成24年～平成26年）
  ・特性評価

銅ペースト量産化技術と試験・評価方法に関する研究開発（委託）
- ナミックス株式会社（平成24年～平成26年）
  ・銅ペーストと量産化技術の開発
- 独立行政法人産業技術総合研究所（平成24年～平成26年）
  ・銅ペーストの印刷技術試験・評価方法の開発

共同研究 ↔ 株式会社カネカ（平成24年～平成26年）
・超低コスト高効率Ａｇフリーヘテロ接合太陽電池モジュールの研究開発
再委託 ↔ 独立行政法人産業技術総合研究所

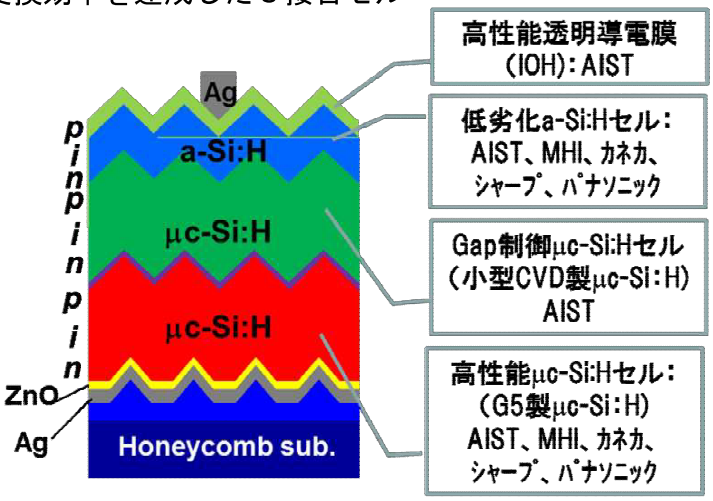
ー研究概要　薄膜シリコン太陽電池ー

＜最終目標＞

- ３０×４０ｃｍ基板に製膜した２接合以上の多接合薄膜シリコン太陽電池においてモジュール変換効率１４％以上（安定化効率）を達成する。
- 幅１ｍ以上の基板において製膜速度２．５ｎｍ／ｓｅｃ以上、膜厚分布±５％以下を達成する

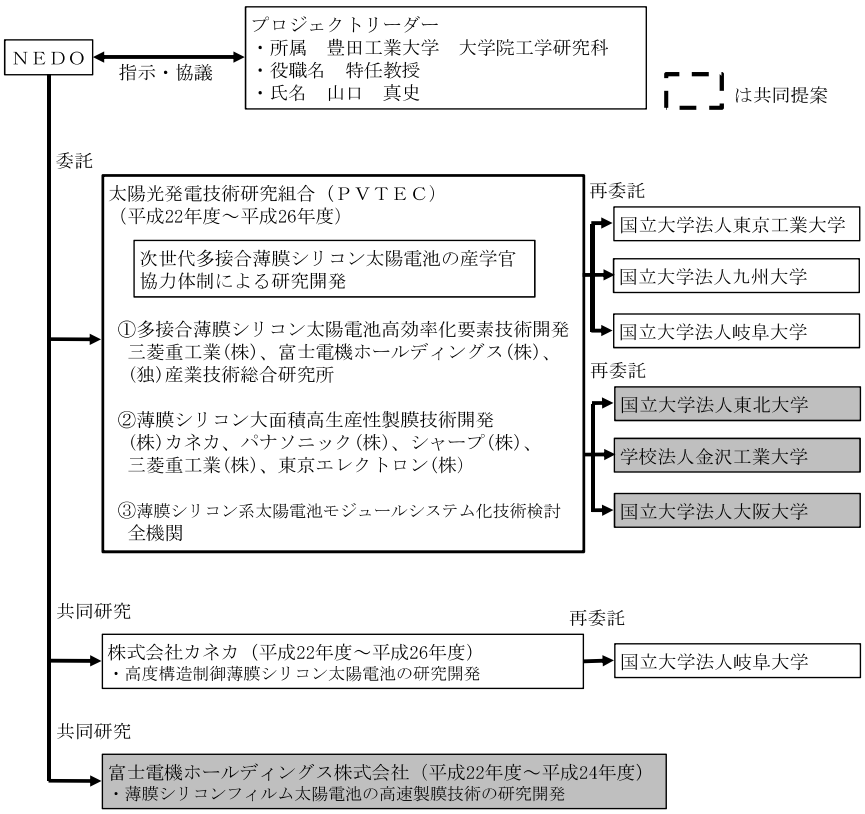
■高効率化

世界最高となる変換効率を達成した３接合セル



a-Si:H/μc-Si:H/μc-Si:H

ー実施体制 薄膜シリコン太陽電池ー

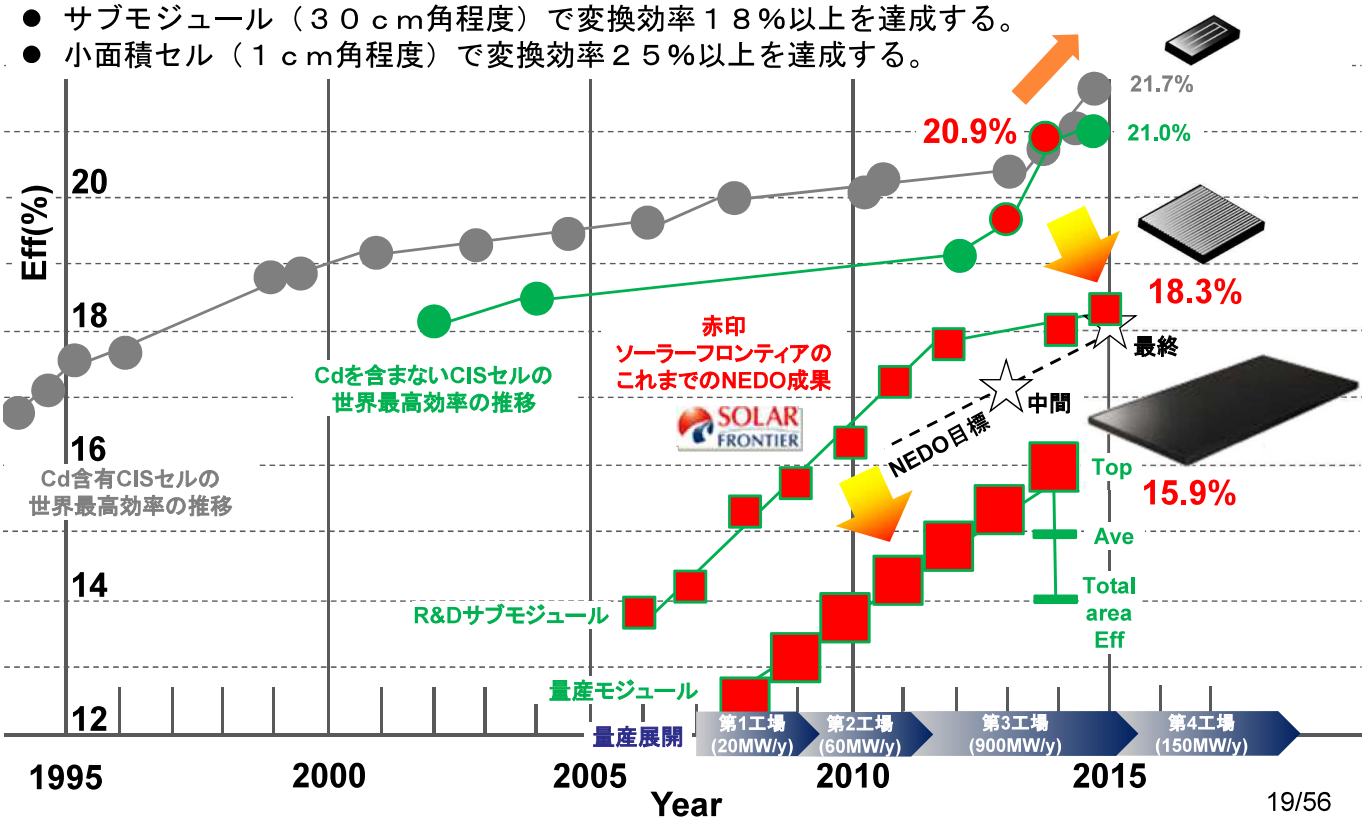


ー研究概要　ＣＩＳ等化合物系太陽電池ー

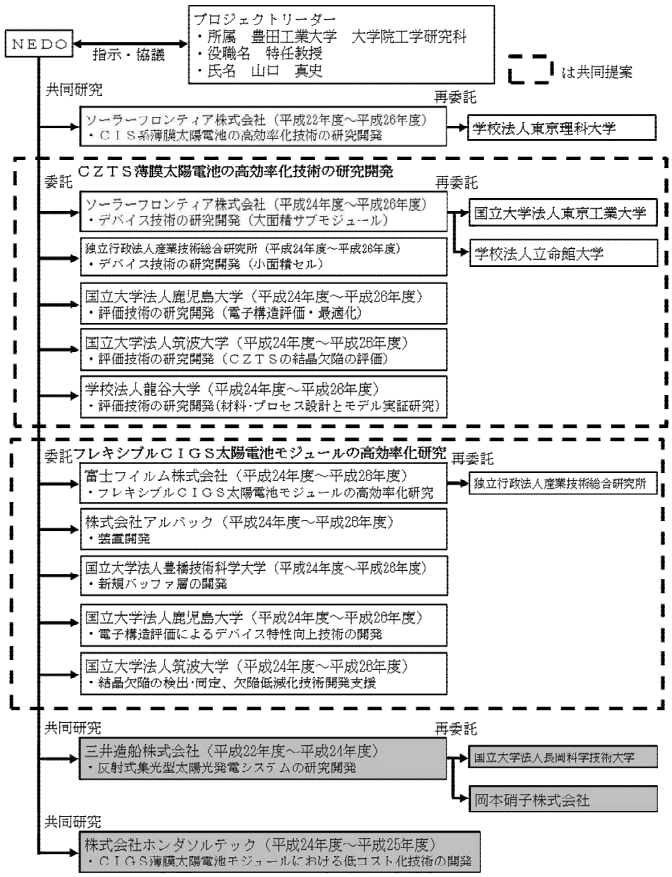
大幅な記録更新を達成しており
近日プレスリリース予定

＜最終目標＞

- サブモジュール（３０ｃｍ角程度）で変換効率１８%以上を達成する。
- 小面積セル（１ｃｍ角程度）で変換効率２５%以上を達成する。



ー実施体制　ＣＩＳ等化合物系太陽電池ー

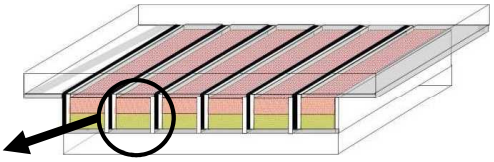


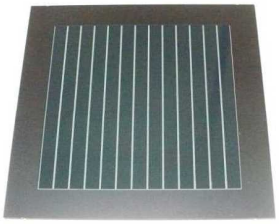
ー研究概要　色素増感太陽電池ー

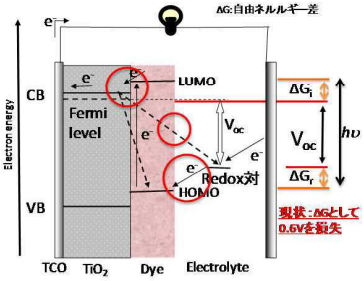
＜最終目標＞

- セル変換効率（安定化効率）　１５％（１ｃｍ角程度）以上
- モジュール変換効率（安定化効率）　１０％（３０ｃｍ角程度）以上

色素増感太陽電池モジュール







高効率モジュール化技術

◆ 事業化を考慮した
「低コスト・量産型モジュール構造」の提案および実証
ーTCO基板削減（1枚化）がポイントー
◆ 高信頼性化技術
◆ 大面積化技術、材料開発
5cm角 → 10cm角 → 15cm角 → 20cm角 → 30cm角程度
多孔性絶縁層材料開発、（正極）導電層材料開発

高効率セル化技術

◆ 開放電圧値Vocの向上
反応エネルギー差ΔGの低減
◆ 短絡電流値Jscの向上
色素開発
◆ タンデム化技術
・カクテル吸着セル

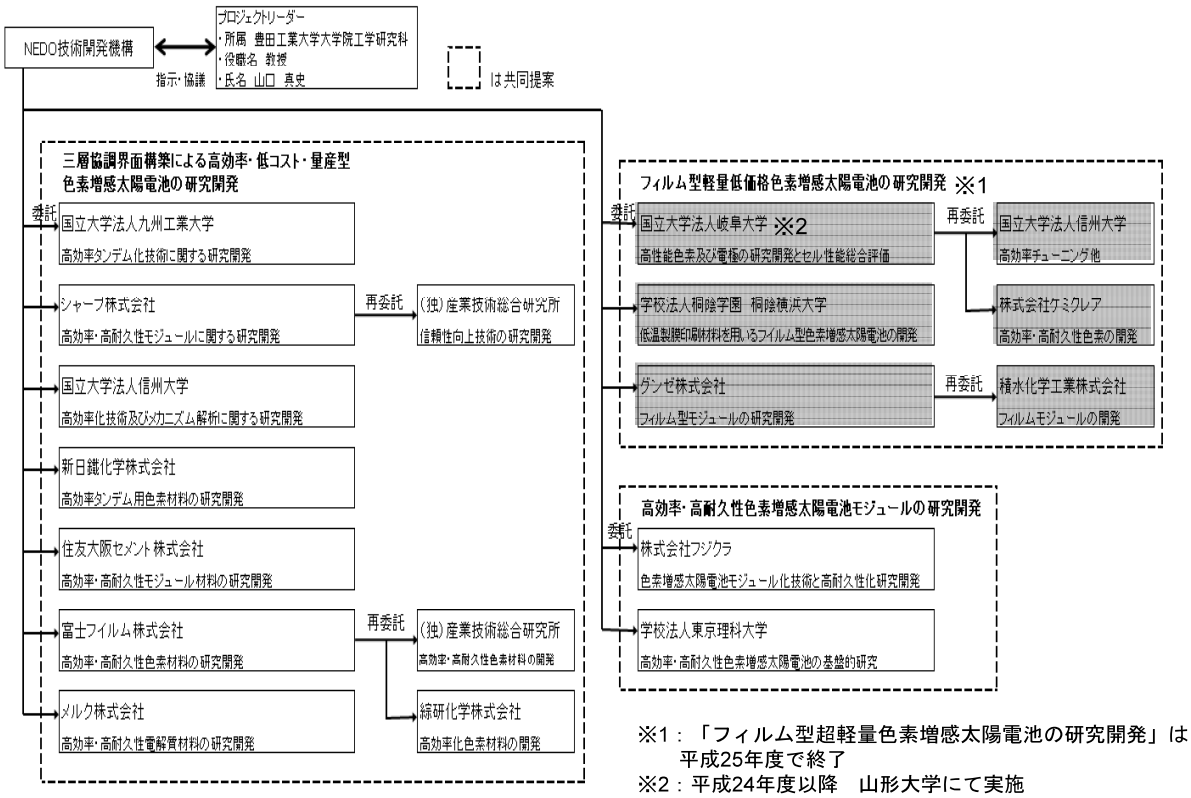
フィードバック

信頼性向上技術

◆ 劣化メカニズムの解明
◆ 高信頼性材料の開発
◆ デバイス化技術

事業化への礎の構築

ー実施体制 色素増感太陽電池ー

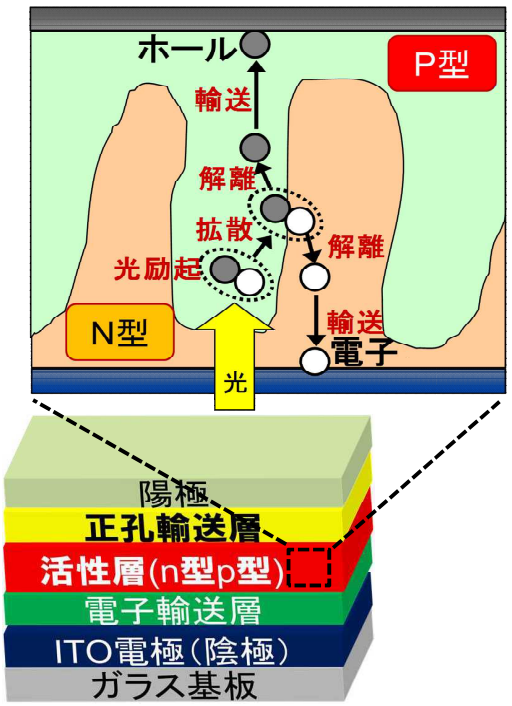


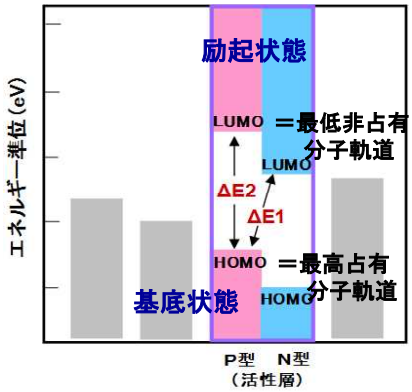
※1：「フィルム型超軽量色素増感太陽電池の研究開発」は
平成25年度で終了
※2：平成24年度以降　山形大学にて実施

―研究概要　有機薄膜太陽電池―

＜最終目標＞

- セル変換効率（安定化効率）　１２％（１ｃｍ角程度）以上
- モジュール変換効率（安定化効率）　１０％（３０ｃｍ角程度）以上

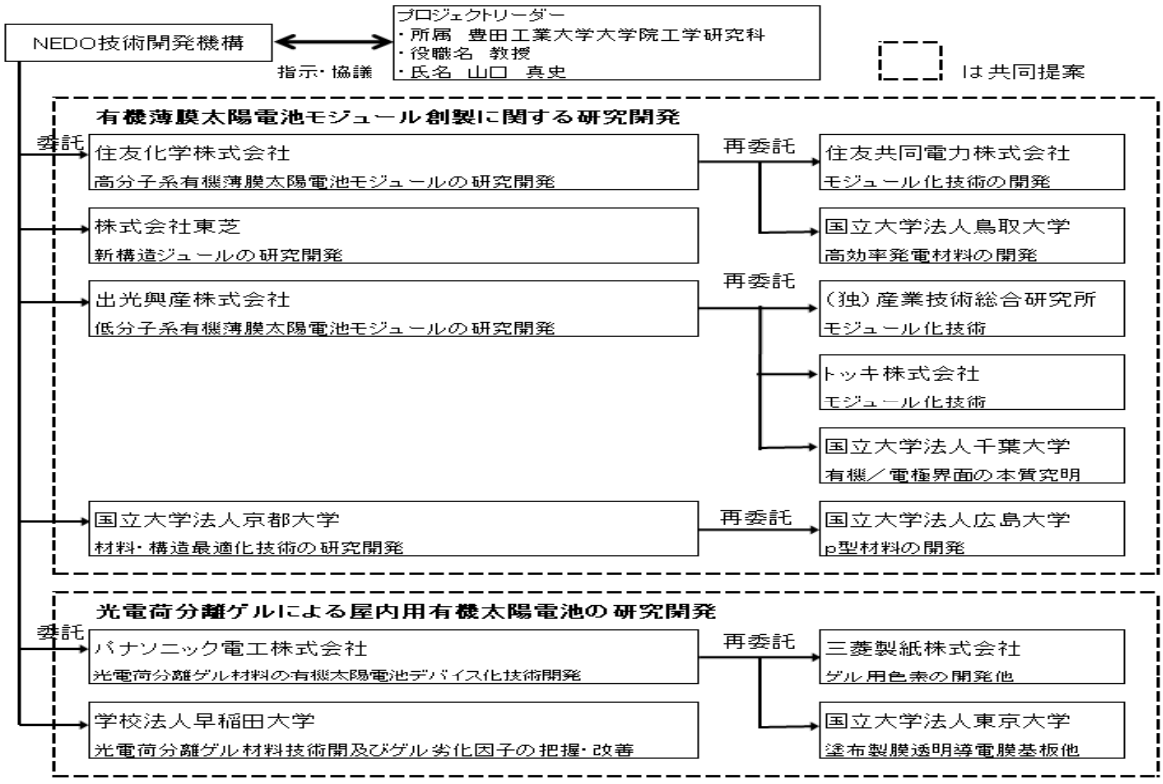




エネルギーダイアグラム

Voc…ΔE1拡大（低HOMOのP型）
Jsc…ΔE2縮小（Narrow bandgap）
再結合抑制、光マネジメント
FF…バンドマッチング（中間層）、
材料の高移動度化、リーク低減

―実施体制　有機薄膜太陽電池―



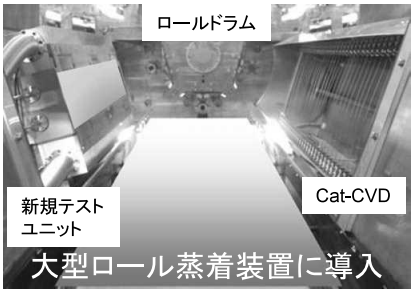
―研究概要　共通基盤技術（共通材料・部材・機器及びシステム関連技術開発）―

＜内容＞

結晶シリコン、薄膜シリコン、ＣＩＳ等化合物系太陽電池等の各種太陽電池に適用でき、コスト低減（省プロセス化、信頼性向上）、高効率化が見込め共通材料、部材・機器及びシステム関連技術の開発を行う。

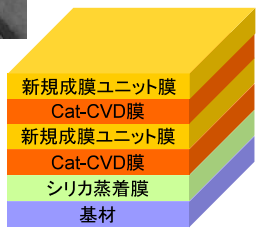
＜最終目標＞

- 幅1m,長さ1000m以上、WVTR10^{-6}g/(m^2・d)以下を達成する。
- 幅1m,長さ1000m以上、XeWM3000hr後のWVTR10^{-5}g/(m^2・d)以下を確認する。
- WVTR10^{-6}g/(m^2・d)超ハイガスバリアフィルムのコストを2012年度10^{-4}g/(m^2・d) 比80%以下へ低減する。



ロールtoロールプロセスにて
バリア層の積層構成を検討

積層構造例

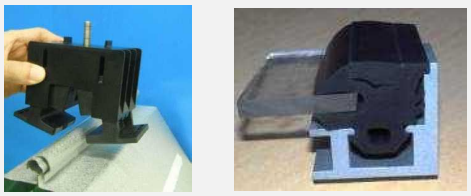


＜最終目標＞

- 複合化による部品点数削減率50%以上、据付作業に必要な人員、時間の20%削減を達成・実証する。
- 機能複合化部品およびモジュール構造として20年相当以上の耐久性（IEC61215, IEC61730準拠）を実証する。

① モジュールの軽量・フレームレス化

② 据付部品のボルト・ナットレス化

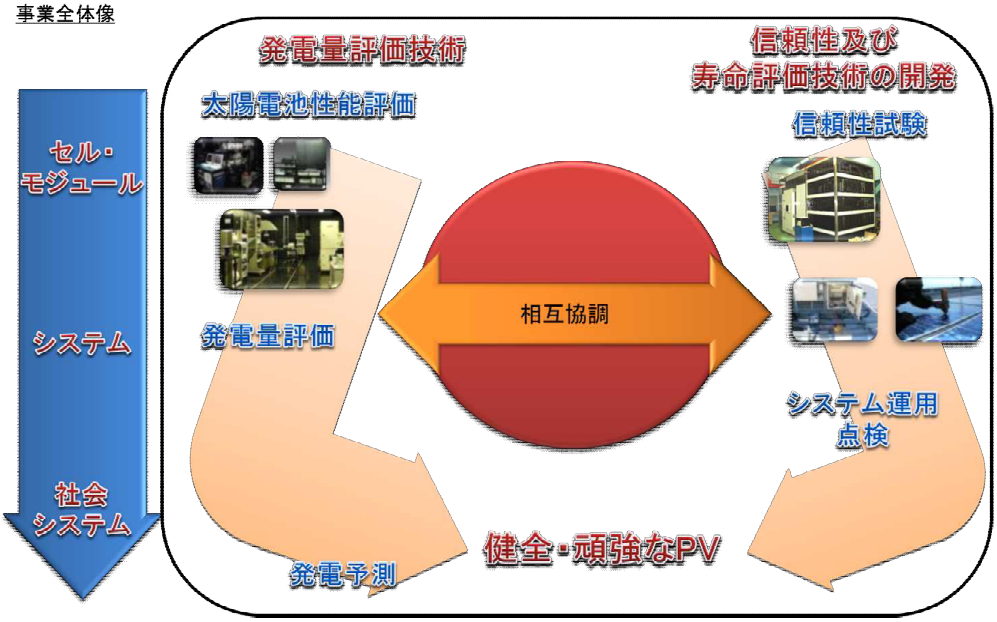


―研究概要　共通基盤技術（発電量評価技術等の開発・信頼性及び寿命評価技術の開発）―

＜最終目標＞

- スペクトルを含めた日射量のデータベースを構築する。
- 地域の日射量･気象データから発電量を推定する技術を開発する。
- 高精度屋外性能評価技術として、測定再現性2%以内の評価方法を確立する。
- 基準太陽電池校正技術として、WRRファクター0.5%以内の校正技術を確立する。
- 屋内での寿命評価技術を開発し、規格化に向けた技術要件を整理する。
- 屋外暴露試験でのデータ収集、分析、評価から、システムも含めた劣化要因を抽出する。

事業全体像

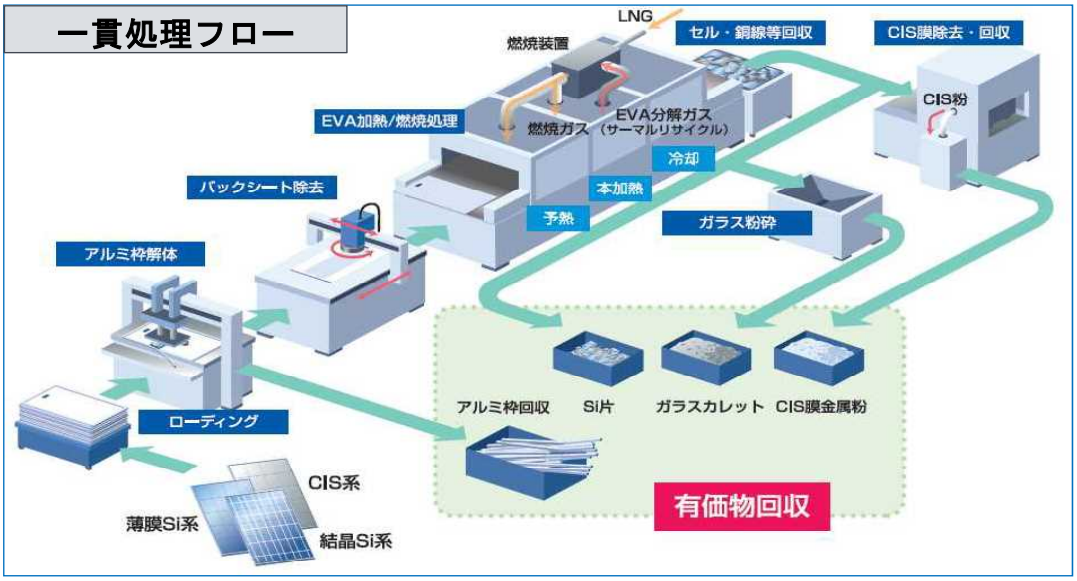


―研究概要　共通基盤技術―

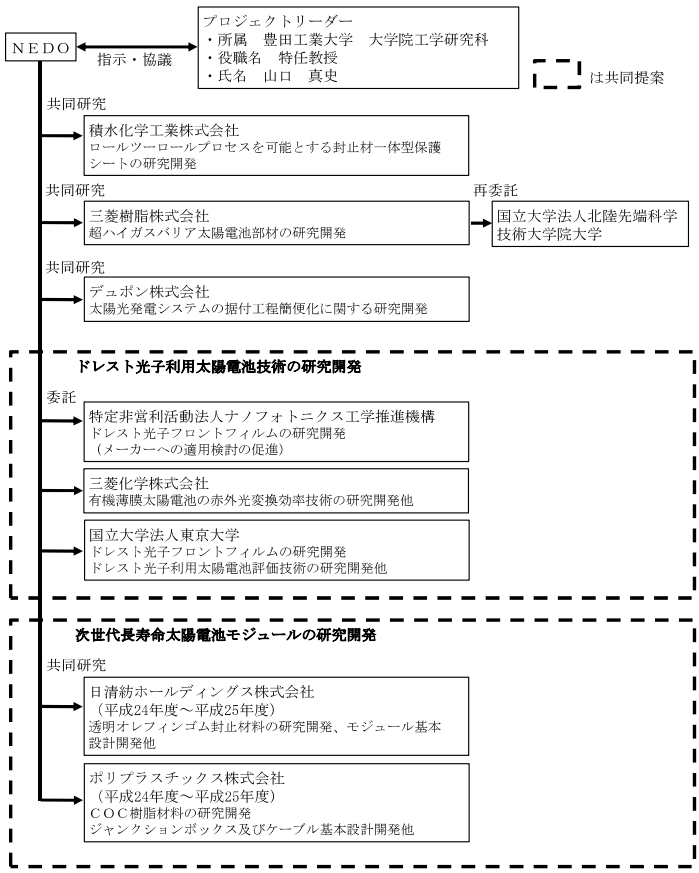
＜最終目標＞

- 年間200MW処理時のコスト５円／W」を達成できる低コスト・汎用リサイクル処理技術の開発
- LCA評価の見直しを行い、新型太陽電池の廃棄を含めたLCA評価を完了する
- 広域対象のPVシステム汎用リサイクル処理に必要な社会システム整備に関する必須事項を専門委員会で議論できていること。

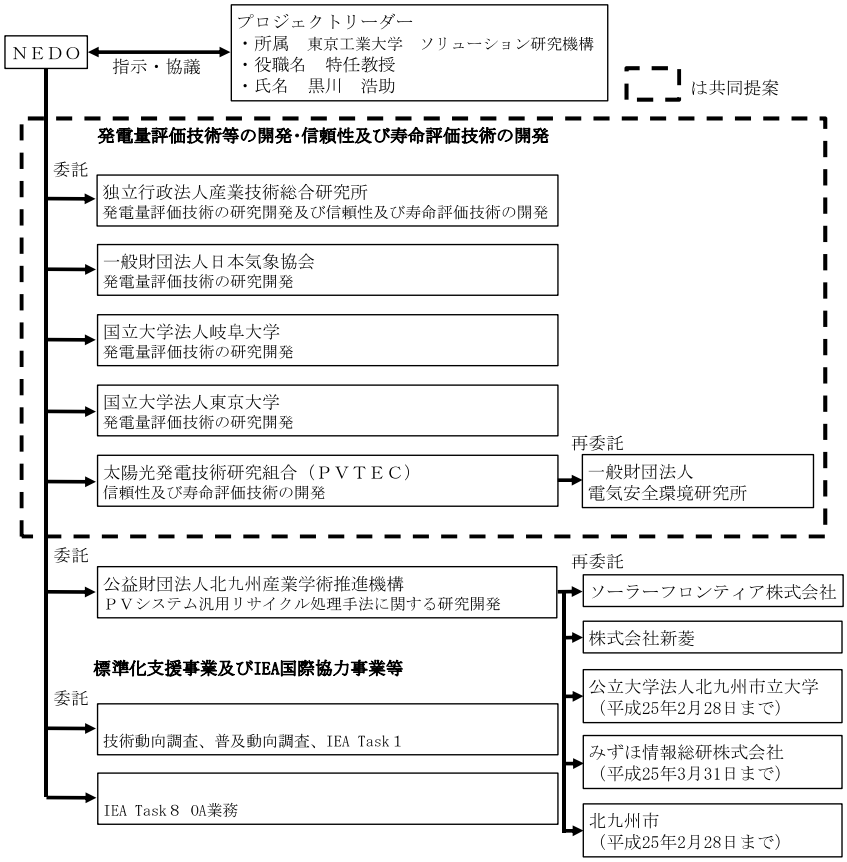
低コスト汎用リサイクル処理技術の開発



―実施体制 共通基盤技術（部材、材料）―



―実施体制 共通基盤技術（評価、リサイクル、調査）―



―研究開発の運営管理―

ＮＥＤＯとプロジェクトリーダーは、協力してプロジェクトの運営管理を実施。
プロジェクト開始時から進捗報告会、ＮＥＤＯ成果報告会で開発の進捗を把握。必要に応じて開発実施場所も訪問。

年度	2010(H22FY)	2011(H23FY)	2012(H24FY)	2013(H25FY)	2014(H26FY)	2015(H27FY)
進捗報告会（6分野それぞれ開催）	1	3	1 （中間評価実施年）	3	2	0
成果報告会	1	1	1	1	1	1

進捗報告会	主な指導内容
結晶シリコン太陽電池	（平成26年8月）ＦＩＴに頼らず、基幹電力、エネルギーとして一本立ちすべく、早期実用化・事業化、次世代後継プロジェクトを見据えて成果を出すよう指導した。また、セルメーカに対しては、コンソと一層の協力をして更なる改善に取り込むこと、モジュール効率について目標達成に向け取り組むよう指示した。
薄膜シリコン太陽電池	（平成26年8月）最終目標を達成するためには、これまでに得られた要素技術成果を上手く組み合わせる事が不可欠。いつまでに何をするのか線表を作成したうえで、各機関との連携を指導すること。また、得られた研究開発成果で、コンソーシアム全体にどのように貢献するのか明確にするように指示した。
CIS等化合物系太陽電池	（平成23年11月）市場規模や製品ニーズについて調査を行い、フレキシブル太陽電池の必要性の明確化に努めるよう指示。 （平成24年2月）CIS薄膜の構造評価等が不十分なので、大学や産総研からバックアップを受けるよう、実施者（企業）へ指示。
色素増感太陽電池 有機薄膜太陽電池	（平成23年11月）光電変換材料の基本特性からセル特性を推定する評価手法を検討すること。 （平成24年2月）アモルファスに対する優位性を明確にすると共に、コスト試算と市場性の評価を進めること。 （平成25年11月）性能・コスト・信頼性のバランスを考え低コストのモジュール構造を目指すこと、早期市場参入を実現するためには、自社内に太陽電池を組み込んだ商品としてのニーズを開拓することを指示した。 （平成26年1月）低コスト化のみではなく実用化には効率、寿命が必要となるため、更なる高効率化に取り組むよう指示した。また、市場ニーズを開拓しているメーカーでは社内市場規模がどれだけあるか、性能とコストのバランスが取れているか、どの程度の耐久性が必要かを確認することを指示した。
共通基盤技術	（平成23年3月）ロールツーロールプロセスを可能とする封止材一体型保護シートの展開として、結晶シリコンについても検討するよう指示した。 （平成24年3月）発電量予測技術に関して、予測技術のユーザーとして、電力事業者に加え、地域のエネルギーマネジメント業者や事業プランナー等への展開も視野に入れるよう、指示した。 （平成25年10月）最終的な出口となるモジュールメーカー(の事業部門)との連携を重視するよう、指示した。 （平成26年2月）本技術開発フェーズから実用化・事業化までや、九州・中国地方での取組みから全国展開についてもシナリオなどを想定するよう、指示した。

―加速・拡充―

研究開発項目	主な予算増額
結晶シリコン太陽電池	増額金額：７１４百万円（平成２３年８月および平成２４年１０月） 内　　容：高品位な接合界面、清浄な電極/アモルファスシリコン界面を形成する装置等を導入した。 効　　果：ヘテロ接合バックコンタクト型シリコン太陽電池で世界最高レベルとなる変換効率25.1%を達成した。
薄膜シリコン太陽電池	増額金額：２５０百万円（平成２４年４月） 内　　容：競合企業（シャープ、パナソニック、カネカ）が共同で活用している製膜装置（Ｇ５サイズ）を改造した。 効　　果：製膜装置の改造が今年度中に実現することで、研究開発の加速が期待できる。
CIS等化合物系太陽電池	増額金額：３１百万円（平成２３年９月） 内　　容：フレキシブルＣＩＧＳ太陽電池の量産試作装置を改造した。 効　　果：フレキシブルＣＩＧＳ太陽電池の基板の加熱時間を短縮でき、基板搬送が安定化した。
	増額金額：２８百万円（平成２４年３月） 内　　容：ＣＩＧＳ太陽電池のライフタイムやバンドギャップなどの正確な評価が可能な測定装置を導入した。 効　　果：サブモジュールの変換効率の更なる向上が期待できる。
色素増感太陽電池	増額金額：５６０百万円（平成２４年５月：２社分） 内　　容：大面積の色素増感太陽電池モジュール作製装置、モジュール試作材料費等。 効　　果：大面積基板対応の装置導入により、効率良くモジュールを作製することが可能となった。
有機薄膜太陽電池	増額金額：１０６百万円（平成２４年１０月） 内　　容：ペロブスカイト太陽電池製造設備（ドライエアー発生設備、グローブボックス等） 効　　果：新たに開始したペロブスカイト太陽電池の劣化機構を解析し、高い耐久性を実証した。再現性あるプロセスを確立した。
共通基盤技術	増額金額：２３百万円（平成２３年９月） 内　　容：集光型評価用ミニモジュールの作成、高感度焦電型光パワーメーターの導入、模擬電源の改造等。 効　　果：集光型等の新型太陽電池の測定精度の向上やシステム点検技術の検証が可能となった。 増額金額：１１百万円（平成２５年１１月） 内　　容：日射量データベースの精度向上と日射スペクトルデータベース構築のためのデータ整備。 効　　果：改良版日射量データベース及び日射スペクトルデータベースを作成した。 増額金額：４６百万（平成２５年１０月） 内　　容： EVA熱処理装置の改良、薄膜スクレーパー改造やアルミ枠解体支援装置の改造。 効　　果：より現実に近いリサイクルー貫処理システムとしての性能評価が可能となり、低コスト・汎用リサイクル処理技術の早期実用化に必須となる、性能・安全性・採算性に関する信頼性の高い評価データが取得できた、最終目標の効率的・効果的達成に繋がった。

―追加公募―

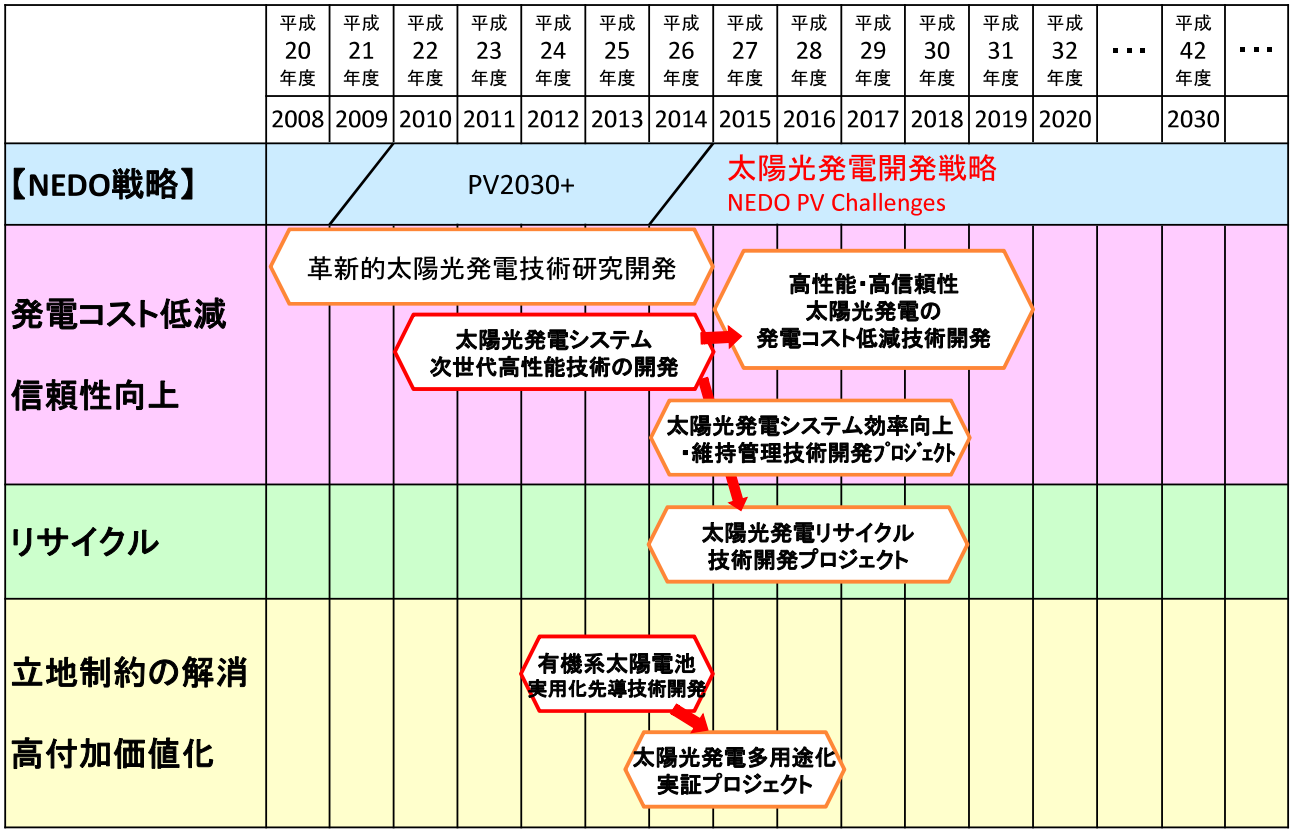
太陽電池の更なる高効率化・低コスト化に加え、太陽電池に係る新たな部材の開発等に取り組むべく、２０１２年６月に１３．８億円（契約予定額[平成24年度分]）の追加公募を実施。７件を採択した。

研究開発項目	内容
結晶シリコン太陽電池	事業名：超低コスト高効率Agフリーヘテロ接合太陽電池モジュールの研究開発 実施者：（委託先）カネカ（再委託先）産業技術総合研究所
	事業名：銅ペースト量産化技術と試験・評価方法に関する研究開発 実施者：（委託先）ナミックス株式会社（委託先）産業技術総合研究所
	事業名：赤外線FZ法によるN型四角形状シリコン単結晶育成方法の研究開発 実施者：（委託先）株式会社クリスタルシステム（委託先）山梨大学
CIS等化合物系太陽電池	事業名：CIGS薄膜太陽電池モジュールにおける低コスト化技術の開発 実施者：（共同研究先）ホンダソルテック
	事業名：ＣＺＴＳ薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発 実施者：（委託先）昭和シェル石油、産業技術総合研究所、鹿児島大学、筑波大学、龍谷大学 （再委託先）東京工業大学、立命館大学
共通基盤技術	事業名：次世代長寿命太陽電池モジュールの研究開発 事業者：（共同研究先）日清紡ホールディングス株式会社、ポリプラスチックス株式会社
	事業名：ドレスト光子利用太陽電池技術の研究開発 事業者：（委託先）ナノフォトニクス工学推進機構、三菱化学株式会社、東京大学

ー中間評価結果への対応ー

主な指摘	対応
太陽光発電を実用化するためには、変換効率の向上もさることながら、コスト面での評価もより積極的に行う必要がある。	事業実施者との間で、コストに関する情報交換、議論を強化。開発目標がコスト低減に及ぼす効果を精査し、可能な限り実施計画に反映した。
あるべき姿を想定して、世界に通用する「実用化」技術の開発をどのように行うか、今後の計画の見直しが必要であろう。	状況の変化を踏まえ、技術開発の指針としていた太陽光発電ロードマップ（PV2030+）の見直し作業に反映した。新たな技術開発戦略は、「太陽光発電開発戦略NEDO PV Challenges」として平成26年9月に公表した。同戦略と本プロジェクトの開発成果は、平成27年度事業に反映されている。
日本の国際競争力を高めるためには、技術レベルが世界的に見てどの辺にあるかの自己評価をするとともに、今後の方向性をより明確にしていく必要がある。	引き続き、産業動向、技術動向の把握に努め、自己評価を進め、実用化等、成果の最大化が期待できるテーマの加速（増額）、実用化の見通しが立たないテーマは中止する等、平成25年度以降のマネジメントに反映した。
変換効率ばかりでなく、開発すべき技術、開発している技術を多面的に捉えていくことが必要である。細かい数字をクリアしたかしないかだけで過度に評価しすぎると、本質的な研究開発の進捗を妨げることになる。数値化できないものに対する正当な評価も必要。単に数値目標のクリアばかりを考えるのでなく、研究開発の本質的進展を見据えたマネジメントが必要である。	中間評価前からテーマに応じて変換効率以外の目標も設定していたが、実施者と議論し、さらに多面的な目標設定に努め、実施計画に反映した。

ーNEDOの技術開発指針の見直しと技術開発プロジェクトー

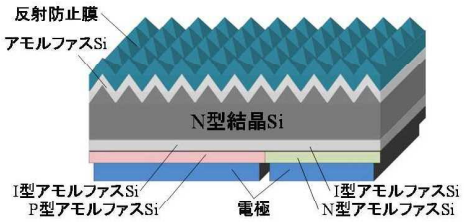


Ⅲ. 研究開発成果 (1)研究開発目標の達成度と研究開発成果の意義

ーNEDOプロジェクトにおける主な成果ー

シャープ

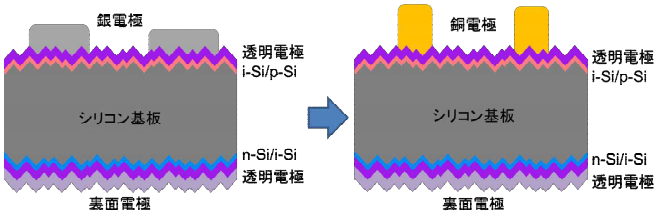
結晶シリコン太陽電池で世界最高レベルの変換効率25.1%を達成しました。今回の成果はヘテロ接合バックコンタクト統合技術の開発により、従来技術では困難であった高い開放電圧の実現と短絡電流の増加の両立により得られたものです（2014年3月）。



ヘテロ接合バックコンタクト結晶シリコン太陽電池の構造図

カネカ

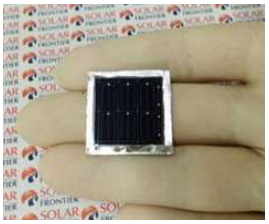
両面電極型ヘテロ接合結晶シリコン太陽電池として世界最高となるセル変換効率25.1%を実用サイズである**5インチのセルサイズ（152cm²）で達成**しました（2015年10月）。更に大型の6インチのセルサイズ（239cm²）でも24.5%を達成しています（2015年7月）。



世界最高記録を達成した結晶シリコン太陽電池の構造図

ソーラーフロンティア

カドミウム(Cd)を含まないCIS系薄膜太陽電池で、セレン化硫化法による光吸収層の改良と透明導電膜の高性能化によって**2014年当時世界最高となる変換効率20.9%を達成**しました。また、30cm角サブモジュールで変換効率18.3%を達成しました(2014年4月)。



世界最高効率20.9%を達成したCIS系薄膜太陽電池

Ⅲ. 研究開発成果 (1)研究開発目標の達成度と研究開発成果の意義

ー結晶シリコン太陽電池の目標と達成状況ー

テーマ	最終目標	達成状況	達成度	今後の課題
太陽電池用低価格単結晶シリコン成長法の研究開発	キャリア寿命400μsec以上	<九州大学、NIMS> シングルシードキャスト法で、キャリア寿命最大**465μsec**を達成	○	結晶成長条件の最適化(軽元素、不純物低減)
太陽電池向け100μmウェーハの効率的加工技術の構築	・100μmウェハを歩留95%以上で加工可能なこと。 カーフロス100μmで加工可能なこと	<コマツNTC> 固定砥粒加工法で、ウェハ厚100μm(歩留95%以上)、**カーフロス75μm**の加工を達成	◎	スライスプロセスとセル性能の相関を明確化
次世代超薄型結晶シリコン太陽電池の低コスト・高効率化プロセス開発	厚さ100μm程度、15cm角において、 ・セル変換効率25%以上 ・モジュール変換効率20%以上	<シャープ> ヘテロ接合バックコンタクト構造シリコン太陽電池を開発。 **セル変換効率25.1%(世界最高レベル)**、モジュール変換効率20.1%を達成	○	セルサイズの大面積化、セル厚さの最適化
超低コスト高効率Agフリーヘテロ接合太陽電池モジュールの研究開発	・セル変換効率24% ・モジュール変換効率22.5%	<カネカ> Agフリーヘテロ接合結晶シリコン太陽電池を開発。 **セル変換効率24.5%(6インチ世界最高)、25.1%(5インチ両面電極世界最高)**、 モジュール変換効率22.5%を達成	◎	

◎　大幅達成、○　達成、△　達成見込み、×　未達

Ⅲ. 研究開発成果 (1)研究開発目標の達成度と研究開発成果の意義

ー薄膜シリコン太陽電池の目標と達成状況ー

テーマ	最終目標	達成状況	達成度	今後の課題
次世代多接合薄膜シリコン太陽電池の産学官協力体制による開発	安定化効率 12%以上	安定化効率 10.2%（世界最高効率） （最少劣化率2.4%@効率8.9%） （Jsc:17mA/cm2@効率9.65%）	△	光劣化の抑制。 低速製膜での開放電圧低下の抑制。
	短絡電流 35mA/cm^{2}以上	ﾊﾆｶﾑﾃｸｽﾁｬ(HC)基板を用いたnip微結晶Siセルで 短絡電流 32.9mA/cm^2、 QE積分値 34.0mA/cm^2 （変換効率11.8%（世界最高効率）		発電層膜質改善、セル上下の形状組合せによる光閉じ込め構造の検討等要素技術開発が不十分
	小面積安定化効率 15% （30×40cm^{2}製膜ﾌﾟﾛｾｽで14%相当）	a-Si/μc-Siﾀﾝﾃﾞﾑｾﾙ安定化効率12.7%（世界最高効率） a-Si/μc-Si/μc-Siﾄﾘﾌﾟﾙｾﾙ安定化効率13.6%（世界最高効率）		特にa-Siセルの特性が不十分
高度構造制御薄膜シリコン太陽電池の開発	・実用化サイズモジュール（モジュールサイズ1420×1100mm）にて安定化後200W	世界で初めて中間層を有する大面積3接合モジュール(a-Si/中間層/a-SiGe/中間層/μc-Si)を量産機にて作成し、基板サイズ1420×1100mmにて世界トップレベルとなる初期184W（AIST測定）を達成。	○	・光劣化抑制による大面積モジュールの安定化出力改善 ・光閉じこめによる電流向上、発電層の性能およびプロセス改善による電圧、F.F.の向上。

◎　大幅達成、○　達成、△　達成見込み、×　未達

Ⅲ. 研究開発成果 (1)研究開発目標の達成度と研究開発成果の意義

ーＣＩＳ等化合物系太陽電池の目標と達成状況ー

テーマ	最終目標	達成状況	達成度	今後の課題
CIS系薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発	サブモジュール変換効率向上 目標：サブモジュール効率18%	サブモジュール効率 18.3%	○	
CZTS薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発	サブモジュール変換効率向上 目標： サブモジュール効率13%	サブモジュール効率 11.8%	△	開放電圧向上が必要
フレキシブルCIGS太陽電池モジュール高効率化研究	課題1：30cm□フレキシブルCIGS集積型モジュールで変換効率18%以上	作成プロセスの構築は完了したがこの工程で作成した集積型太陽電池の性能確認に至っていない。	×	インジウム法規制に伴う設備対応が必要

◎　大幅達成、○　達成、△　達成見込み、×　未達

Ⅲ. 研究開発成果 (1)研究開発目標の達成度と研究開発成果の意義

ー色素増感太陽電池の目標と達成状況ー

テーマ	最終目標	達成状況	達成度	今後の課題
ガラス基板型色素増感太陽電池(電圧型)の研究開発 「三層協調界面構築による高効率・低コスト・量産型色素増感太陽電池の研究開発」	(1) 高効率化 ・セル変換効率15% ・モジュール変換効率10%(30cm角相当) (2)モジュール耐久性向上 ・30 cm角モジュールでJIS C8938試験後相対効率低下10%以下	(1)高効率化 ・セル 変換効率11.9%を達成 (1cm角 AIST測定) ・モジュール 変換効率10.65%達成 (5cm角 AIST測定) 変換効率10.0%達成 (20cm角 自社測定) (2) 5cm角サブモジュールで低下率10%以内を達成	○	TCO基板の反りの解消による試験の30cm角相当のモジュールでの実証。
ガラス基板型色素増感太陽電池(電流型)の研究開発 「高効率・高耐久性色素増感太陽電池モジュールの研究開発」	(1) 高効率化 ・セル変換効率15% ・モジュール変換効率10%(30cm角相当) (2) モジュール耐久性向上 ・30 cm角モジュールで変換効率9%以上且つJIS C8938試験相対効率低下5%以下	(1)高効率化 ・セル 変換効率11.8%(1cm角)を達成(自社測定で最大12.45%) ・モジュール 変換効率10.0%達成 (5cm角 AIST測定) (2) 25cm角集電配線モジュールの耐久性向上を行い、JIS耐久性クリア(相対効率低下3%)	○	効率向上

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

Ⅲ. 研究開発成果 (1)研究開発目標の達成度と研究開発成果の意義

ー有機薄膜太陽電池の目標と達成状況ー

テーマ	最終目標	達成状況	達成度	今後の課題
汎用型有機薄膜太陽電池の研究開発 「有機薄膜太陽電池モジュール創製に関する研究開発」	(1) 高効率化 ・セル変換効率12% ・モジュール変換効率10%(30cm角相当) (2)モジュール耐久性向上 ・30 cm角モジュールでJIS C8938試験後相対効率低下10%以下	(1)高効率化 ・セル 変換効率11.0%達成 (1cm角AIST測定) 自社測定で最大12.0% ・モジュール 変換効率9.2%達成 (30cm角AIST測定) ※自社測定で最大10.5% (2)30 cm角モジュールでJIS C8938試験後相対効率低下10%以下 達成	○	
蓄電機能付有機薄膜太陽電池の研究開発 「光電荷分離ゲルによる屋内用有機太陽電池の研究開発」	(1) 高効率化 ・セル変換効率20%(低照度200Lx下) (2)変換効率16%以上(屋内照度環境下での蓄電機能付与) (3)500サイクルでの維持率90%以上の実現	(1)高効率化 ・セル変換効率21.1%達成 (1cm角自社測定:低照度200Lx下) (2)"変換効率19.8%×蓄電容量1.3mWh"を両立 (3)500サイクルでの維持率90%以上を達成	○	

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

Ⅲ. 研究開発成果 (1)研究開発目標の達成度と研究開発成果の意義

ー共通基盤技術の目標と達成状況（発電量評価･信頼性及び寿命評価技術の開発/リサイクル技術の開発）ー

テーマ	最終目標	達成状況	達成度	今後の課題
Ⅰ)発電量評価技術の開発 ①太陽電池性能評価･校正技術	･光照射効果を考慮した実効性能評価技術を確立する。 ･新型太陽電池性能評価技術の基本的評価手法を確立する。 ･測定再現性2%以内の屋外評価方法を確立する。	･アモルファス及びCIGS太陽電池の一年以上屋外暴露後想定出力評価手法を開発。 ･ 新型太陽電池評価技術検証、標準化、国際整合性確認、周知、普及を図った。 ･PVモニタセル使用及び200ms以内の高速測定により測定再現性±2%以内を達成。	○	評価技術の普及と低コスト化
②発電量推定と予測技術	･地域の日射量･気象データから新型太陽電池を含む各種太陽電池の発電量推定技術を開発する。 ･気象庁の日射観測地点を対象に日射スペクトルデータの全国整備を行う。 ･分散発電量予測及び広域発電量予測モデルの高精度化と検証。	･結晶シリコ太陽電池について、±3%の精度で発電量推定が可能になることを確認した。 ･全国の気象官署における日射スペクトルを推定するデータベースを構築した。 ･全数計測ケースと比較して、サンプリング手法、全量把握ケース、日射予測からの推定ケースについてもRMESにおいて0.05kW/m2以を確認。	◎	発電量予測技術の運用の具体化
Ⅱ)信頼性･寿命評価技術の開発 ①モジュール･機器耐久性評価技術	･寿命に影響するモジュールの劣化要因を推定する。 ･透過率に換算して10-5 g/m2dayまでのモジュール内水蒸気浸入を検出可能な調査方法を確立する。	･紫外光照射と組合わせた複合加速試験により屋外での劣化現象の再現に成功。劣化要因も封止材から生成する酢酸であることを明確化。 ･カルシウム法を用いて、10-5 g/m2day台の浸入水蒸気量を定量化するとともに、信頼性向上を実現可能なモジュール部材の設計指針も提唱。	○	加速試験と寿命の関係の明確化
②システム点検技術	･オンサイト点検において気象センサを利用しないで発電性能10%低下を検出可能な手法を開発する。	･開発した手法で住宅8サイトについてモニタリングシステムによる性能評価との比較を行い、±10%で推定できることを確認。	○	点検技術の普及と低コスト化
③リユースモジュール健全性試験技術	･リユースモジュールに要求される基本性能を整理し、ガイドライン案の策定に必要なデータを提供する。	･リユースモジュールのガイドライン（結晶Si系モジュールの再販売時に必要な提示事項）[素案]として、取り纏めを完了した。	○	ガイドラインの普及
Ⅲ)リサイクル技術の開発 広域対象のPVシステム汎用リサイクル処理手法に関する研究開発	･年間200MW処理時のコスト5円／Wを達成できる低コスト･汎用リサイクル処理技術の開発 ･LCA評価を完了	･処理コスト目標「5円/W@年間200MW処理」の実現妥当性を確認 ･結晶Si系／薄膜Si系／CIS系に於いて、其々36／61／67(kg-CO2/kW)のCO2削減効果が得られることを確認	○ ○	エジェクタ挿入部の耐熱性強化

◎　大幅達成、○　達成、△　達成見込み、×　未達

Ⅲ. 研究開発成果 (1)研究開発目標の達成度と研究開発成果の意義

ー共通基盤技術の目標と達成状況ー

テーマ	最終目標	達成状況	達成度	今後の課題
次世代長寿命太陽電池モジュールの研究開発	・高信頼性太陽電池用封止シート適用モジュール性能モジュールの開発耐PID(85℃、85%RH、-1000V、1000h、発電劣化率5%未満)の達成	スーパーストレート構造の耐PID・単結晶48セルモジュールに対し、認証機関TUVにて、85℃、85%RH、-1000V、1000hの条件で、発電劣化なし(発電劣化率0%)	○	モジュールの低コスト化
ドレスト光子利用太陽電池技術の研究開発	・太陽電池の変換効率をプラス1.0%以上向上させる200㎜角以上のドレスト光子フロントフィルムの開発 (効率18%以上の結晶シリコン太陽電池を用いて検証) ・有機薄膜太陽電池の変換効率を、2%以上向上させる、100㎜角以上の電極の開発	・フロントフィルムを実装し、樹脂パッケージ化した156㎜角の太陽電池(効率η＝18.1%)を用い $\Delta\eta$ = +2.1% を達成（JET計測） ・素子、及びモジュールで2%以上の効率向上を達成	○ ○	事業化評価

◎　大幅達成、○　達成、△　達成見込み、×　未達

Ⅲ. 研究開発成果 (1)研究開発目標の達成度と研究開発成果の意義

ー共通基盤技術の目標と達成状況ー

テーマ	最終目標	成果	達成度	今後の課題
ロールツーロールプロセスを可能とする封止材一体型保護シートの研究開発	薄膜a-Si太陽電池用保護シートの開発	モジュール工程のロールツーロールプロセス化を実現できる封止材の開発し、ラミネート速度＝3m/分を達成。	○	他の太陽電池への展開と信頼性確立
超ハイガスバリア太陽電池部材の研究開発	シリカ蒸着複合膜による超ハイガスバリアフィルムの加工技術開発において幅1m,長さ1000m以上、WVTR10^{-6}g/m^2/day以下を達成。	広幅ロールサンプル（幅1200mm）をロールtoロールプロセスで加工。WVTR10^{-6}g/m^2/dayのバリアロールフィルムの作成を可能とした。	○	評価技術の確立
太陽光発電システムの据付工程簡便化に関する研究開発	複合化による部品点数削減率50%以上、据付作業に必要な人員、時間の20%削減を達成・実証する。	樹脂・金属ハイブリッド構造の施工簡便化部品を開発し、施工部品の部品点数を60%削減、据付作業に必要な人員を33%削減、施工時間45%削減を達成。	◎	力学的ストレスに対する耐久性検証

◎　大幅達成、○　達成、△　達成見込み、×　未達

Ⅲ. 研究開発成果　**(2)知的財産権など及び国際標準化への取り組み**
(3)成果の普及

ー成果発表等ー

◆特許出願件数と学会発表等

（2015年2月末時点）

項　目	特許出願		論文（査読付）	研究発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	受賞実績	展示会への出展
	国内	外国					
①結晶シリコン太陽電池	133	55	147	552	19	22	25
②薄膜シリコン太陽電池	17	4	43	215	6	6	17
③ＣＩＳ等化合物系太陽電池	36	19	46	134	763	3	29
④色素増感太陽電池	92	41	71	253	18	10	22
⑤有機薄膜太陽電池	107	50	7	78	6	4	8
⑥共通基盤技術	105	22	46	322	23	10	21
計	**490**	**191**	**360**	**1,554**	**835**	**55**	**122**

◆共通基盤技術の開発成果は、標準化も推進。
◆開発成果の普及については、ＮＥＤＯ自らも毎年「成果報告会」を開催したほか、国際会議、展示会やプレスリリース等で広報に努めた。

Ⅲ. 研究開発成果 (3)成果の普及

―展示会への出展―

―成果報告会の開催―

―日射量データベースの構築とWEB公開―

日射スペクトルデータベースも2015年12月上旬公開予定

― プレスリリース ―

Ⅳ. 実用化に 向けての見通し及び取り組み

―事業終了後の展開―

項目	
①結晶シリコン太陽電池	参画した企業の多くは本プロジェクトで得られた成果を活用し、3年以内の実用化・事業化を計画している。また、更なる高効率化・低コスト化に向け「高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発」事業で研究開発を実施する。
②薄膜シリコン太陽電池	開発した大面積3接合モジュールは、2013年より実用化、事業化しており、住宅向け屋根用建材に特化した事業化戦略を引き続き行う。一方、薄膜シリコン技術についてはヘテロ接合太陽電池に応用展開し、一層の高性能化を図る。
③CIS等化合物系太陽電池	小面積の単セル構造における要素技術は、集積構造での性能確認へと発展させていく。さらに、製品サイズでの面内均一性と製造プロセスの繰り返し再現性の確認を担保するための検証を行い、工場での生産技術に順次適用し、量産での性能・歩留り・稼働率の検証、信頼性試験の後、製品にインストールされる。
④色素増感太陽電池	3社は低照度向け色素増感太陽電池の実用化に向け継続研究を実施中。情報端末・デバイスへの用途拡張、環境監視システム等の電源用途への実用化を目的とした材料、構造、プロセスの開発を行い、各デバイスのサンプル出荷等を通して事業への展開を狙う。
⑤有機薄膜太陽電池	2社は継続研究を実施中。建材一体化モジュール、屋内照明・低照度対応のEI PV、タンデムセルの更なる高効率化検討等を行い、高効率有機太陽電池の実用化を狙う。また、ペロブスカイト太陽電池は新規プロジェクトへ展開し、高効率且つ低コストな太陽電池の実現に向けた開発を行う。
⑥共通基盤技術	・開発した評価技術については普及と低コスト化に努めるとともに、評価技術の更なる高精度化と長期寿命評価技術の確立に向けて研究開発を実施する。 ・開発したPVリサイクルシステムの長期信頼性/安定性/経済性の実証を行う。

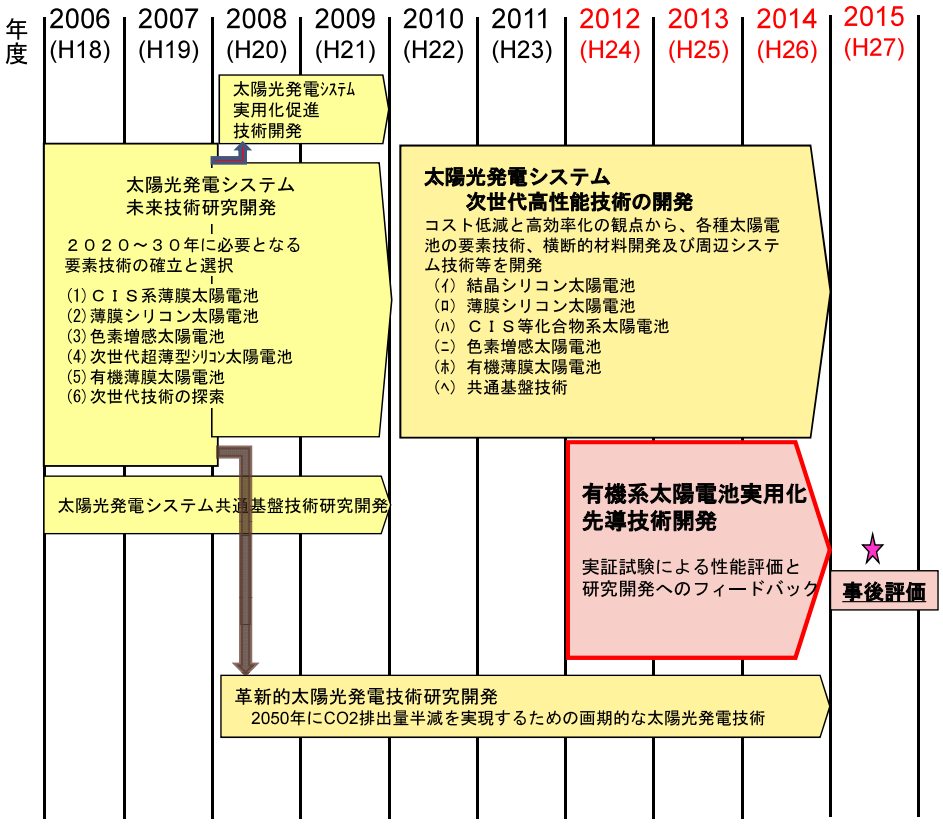
太陽エネルギー技術研究開発

『有機系太陽電池実用化先導技術開発』

（平成24年度～平成26年度　3年間）

Ⅰ．事業の位置づけ・必要性　(2)NEDOの事業としての妥当性

－位置づけ－



―基本計画における「有機系太陽電池実用化先導技術開発」の位置づけ―

基本計画 の [研究開発計画]

研究開発項目①「革新的太陽光発電技術研究開発」（革新型太陽電池国際研究拠点整備事業）
（１）ポストシリコン超高効率太陽電池の研究開発
（２）高度秩序構造を有する薄膜多接合太陽電池の研究開発
（３）低倍率集光型薄膜フルスペクトル太陽電池の研究開発
（４）革新的太陽電池評価技術の研究開発
（５）高効率集光型太陽電池セル、モジュール及びシステムの開発（日ＥＵ共同開発）

研究開発項目②「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」
〔委託事業、（共同研究事業（NEDO負担率:2／3））〕
(イ)結晶シリコン太陽電池
(ロ)薄膜シリコン太陽電池
(ハ)CIS等化合物系太陽電池
(ニ)色素増感太陽電池
(ホ)有機薄膜太陽電池
(ヘ)共通基盤技術　←i)～iv）

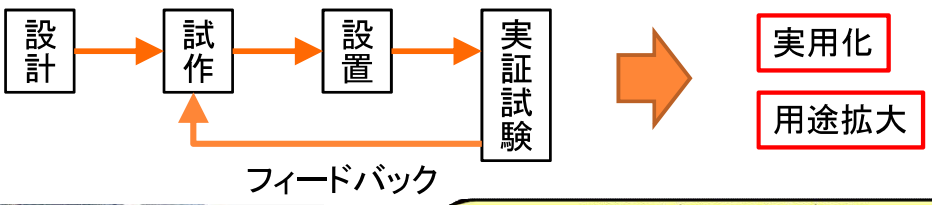
研究開発項目③「有機系太陽電池実用化先導技術開発」
有機系太陽光発電システムを設計・試作・設置、実使用環境下で発電量・耐久性等を実証・評価

評価の対象となる
研究開発テーマ

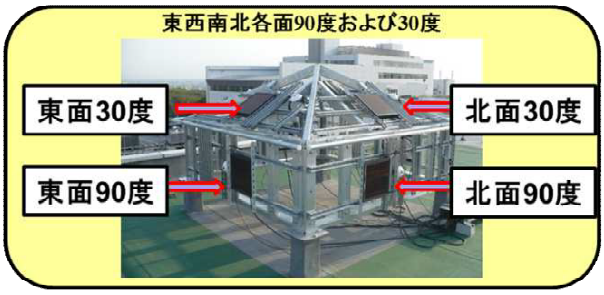
【研究開発の目的、目標】

目的　有機系太陽電池を使用した太陽光発電システムの設計・試作を行い、その性能や品質を実証・評価し、実用化に向けた課題を抽出し、技術開発にフィードバックすることにより、有機系太陽電池の実用化を促進する。

目標　有機系太陽電池の実用化に向けた具体的な開発課題を抽出し、技術開発にフィードバックすることに加え、ユーザーが求める市場要件を明確にし、用途拡大のシナリオを明らかにする。



屋外サイトに1年間設置した
50cm角モジュール（フジクラ）



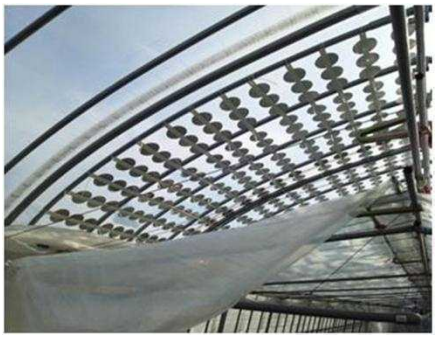
設置方位、角度依存性の実証（シャープ株式会社）

以下5テーマ(7事業者)を実施

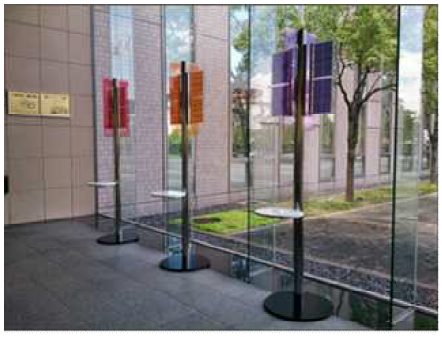
交付額(NEDO負担額実績)(単位:百万円) 助成率2／3

テーマ、事業者 ＼ 年度		H24	H25	H26	総額
プラスチック色素増感太陽電池の実用性検証	太陽誘電株式会社	78.8	200.6	182.3	461.7
	ビフレステック株式会社	46.5	44.5	32.6	123.6
プラスチック基板DSC発電システムの開発	日立造船株式会社	84.0	112.7	124.2	320.9
色素増感太陽電池実証実験プロジェクト	日本写真印刷株式会社	94.3	133.3	55.0	282.5
色素増感太陽電池モジュールの実証評価	シャープ株式会社	27.5	74.7	18.7	120.9
	株式会社フジクラ	62.0	75.5	53.3	190.9
有機薄膜太陽電池の生産プロセス技術開発および実証化検討	三菱化学株式会社	243.5	448.0	415.5	1,107.0
計		636.6	1,089.3	881.7	2,607.6

本プロジェクトにおける実証試験例



ビニルハウスの天井部分を利用した
ソーラーシェアリング(太陽誘電、ビフレステック)



室内インテリア用途（日立造船）

ウインドウフィルムタイプの
ＯＰＶモジュール（三菱化学）

京都国際交流会館に設置したランタン
（蓄電式:日本写真印刷）

（1）設置後2年間のデータ収集義務

本プロジェクトは、実証試験について設置後2年間データ収集を継続することを取り決めており、モジュールの交換、継続については引き続き状況を聞きながら試験を続けている。

平成24年	平成25年	平成26年	平成27年	平成28年
設計・設置・実証試験開始（プロジェクト期間）			実証試験継続	

（2）同一条件でのデータ収集の実施
（産総研九州センターとの連携）

「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」の共通基盤技術の開発の一環として、産総研九州センターと連携し、同一条件下でのデータ取得を実施している。

Ⅲ．研究開発成果 (1)研究開発目標の達成度と研究開発成果の意義

テーマ	最終目標	主要成果	達成度
プラスチック色素増感太陽電池の実用性検証（太陽誘電（株）、ビフレステック（株））	有機系太陽電池の実用化に向けた具体的な開発課題を抽出し、技術開発にフィードバックすることに加え、ユーザーが求める市場要件を明確にし、用途拡大のシナリオを明らかにする。	・ディスク型DSCモジュールの実証試験を実施。劣化セル交換による特性の回復を確認。 ・軽量を活かしたビニールハウスへの設置の有効性を検証できた。	○
プラスチック基板DSC発電システムの開発（日立造船（株））		・屋内照明下で160日性能維持を確認。プラスチック基板DSCの特長が最大限生かせる環境は屋内設置と判断し、意匠性の高いサンプルを試作して営業展開を継続中。	○
色素増感太陽電池実証実験プロジェクト（日本写真印刷（株））		・高耐久性緑色色素：高温加速試験にて発電効率保持率1000時間後の発電効率を維持。実地試験で成果を確認した。 ・高沸点電解液を用いることで12ケ月後94%の保持率を達成。	○

Ⅲ. 研究開発成果 (1)研究開発目標の達成度と研究開発成果の意義

テーマ	最終目標	主要成果	達成度
色素増感太陽電池モジュールの実証評価（シャープ(株)）	有機系太陽電池の実用化に向けた具体的な開発課題を抽出し、技術開発にフィードバックすることに加え、ユーザーが求める市場要件を明確にし、用途拡大のシナリオを明らかにする。	・モジュール：20cm角⇒30cm角へスケールアップに成功。 ・屋外設置角度及び方位依存性を確認。また、積雪の有無による晴天時の日照時間当たりの発電量は、Si太陽電池よりも色素増感太陽電池が高いことを確認。	○
色素増感太陽電池モジュールの実証評価（(株)フジクラ）		・様々な気象環境下でのDSCの故障パターンが判明し、対策を完了。 ・新千歳空港ではエスカレーター安全装置の給電設計・製作を行い、動作可能なことを明らかにした。	○
有機薄膜太陽電池の生産プロセス技術開発および実証化検討（三菱化学(株)）		・有機半導体材料の大量合成、Roll to Rollプロセスによる OPV多層構造、及び封止に関する生産技術を獲得し、工業生産の目途を得た。 ・各種OPVモジュールの発電データ解析により、OPV特有の発電特性に関する知見が得られた。	○

Ⅲ. 研究開発成果 (3)成果の普及

―成果発表―

◆特許出願、研究発表等（実施者） （2015年11月末時点）

特許出願	論文（査読付）	研究発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	受賞実績	展示会への出展
17	0	12	49	4	33

特許等の開発成果には、実証で得られた知見をフィードバックする技術開発事業で整理しているものも多い。
（「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」で整理する等。）

―事業終了後の展開―

各社アプリケーションを開拓し、客先での実証、サンプル出荷を通して実用化に向けた取り組みを行っている。

屋外用途
- ビル壁面設置
- 北側屋根設置
- 農業用途
- デザインランタン

屋内用途
- 無線・センサ用電源
- デザイン電源（屋内照明光源）
- モバイル用電源

OPVの特長である高いデザイン性を活かしたOPV壁面用ユニット（三菱化学）
大成建設での実証試験中

参考資料１　分科会議事録

研究評価委員会

「太陽エネルギー技術研究開発／太陽光発電システム次世代高性能技術の開発・有機系太陽電池実用化先導技術開発」

(事後評価)分科会　議事録

日　時：平成27年11月30日（月）9：40～18：15（1日目）
　　平成27年12月 1日（火）9：40～17：20（2日目）
場　所：WTCコンファレンスセンター　Room A（世界貿易センタービル　3階）

出席者(敬称略、順不同)

＜分科会委員＞

分科会長	庭野　道夫	東北大学　電気通信研究所　教授
分科会長代理	工藤　一浩	千葉大学 大学院工学研究科　人工システム科学専攻　教授
委員	宇佐美　章	一般財団法人電力中央研究所　材料科学研究所　上席研究員
委員	垣内　弘章	大阪大学　大学院工学研究科　精密科学・応用物理学専攻　准教授
委員	田中　良	株式会社NTTファシリティーズソーラープロジェクト本部　部長
委員	西尾　光弘	佐賀大学　大学院工学系研究科　電気電子工学専攻　教授
委員	廣瀬　文彦	山形大学　大学院理工学研究科　教授

＜推進部署＞

渡邊　重信	NEDO	新エネルギー部　総括主幹
山田　宏之	NEDO	新エネルギー部　主任研究員
竿本　仁志	NEDO	新エネルギー部　主査
佐藤　剛彦	NEDO	新エネルギー部　主査
西村 隆雄	NEDO	新エネルギー部　主査
穂積 潤一	NEDO	新エネルギー部　主査
小田 和彦	NEDO	新エネルギー部　主査
長谷川　真美	NEDO	新エネルギー部　主任
豊田　富美穂	NEDO	新エネルギー部　主査
佐々木　崇水	NEDO	新エネルギー部　主査

＜実施者＞

山口　真史　豊田工業大学　大学院工学研究科 教授【PL】
黒川　浩助　東京工業大学　ソリューション研究機構　特任教授【PL】

大下祥雄	豊田工業大学　半導体研究室　　教授
進藤勇	株式会社クリスタルシステム　　代表取締役社長
小倉哲造	株式会社コベルコ科研　技術本部材料ソリューション事業部　主席研究員
髙橋　哲	ナミックス株式会社　技術開発本部　　技師
足立 大輔	株式会社カネカ　太陽電池・薄膜研究所　主任
高川悌二	PVTEC 技術部長
目黒智巳	株式会社カネカ　太陽電池・薄膜研究所　基幹研究員
杉本広紀	ソーラーフロンティア株式会社　厚木リサーチセンター 技術開発部　課長
山中英生	富士フイルム株式会社　R&D 統括本部　先端コア技術研究所　研究マネージャー
菱川　善博	国立研究開発法人産業技術総合研究所
野田　松平	公益財団法人北九州産業学術推進機構　センター長
浅野　元彦	積水化学工業株式会社　開発研究所
天内　英隆	三菱樹脂株式会社　グループリーダー
下木　有生	デュポン株式会社
村上　照夫	東京大学
山岸　亙	特定非営利活動法人ナノフォトニクス工学推進機構　担当部長
川野　敏史	三菱化学株式会社　主席研究員
仲濱　秀斉	日清紡メカトロニクス株式会社　担当部長
福井　篤	シャープ株式会社
松井浩志	株式会社フジクラ
都鳥　顕司	株式会社　東芝
関口隆史	パナソニック株式会社
染井秀徳	太陽誘電株式会社
中山　茂昭	日立造船株式会社
坂根　正恭	日本写真印刷株式会社
千葉　恭男	シャープ株式会社
松井浩志	株式会社フジクラ
米山　孝裕	三菱化学株式会社

＜評価事務局等＞

吉田　卓生	NEDO 技術戦略研究センター　職員
徳岡　麻比古	NEDO 評価部　部長
保坂　尚子	NEDO 評価部　統括主幹
成田　健	NEDO 評価部　主査

議事次第：

(分科会１日目)

（公開セッション）

1. 開会、資料の確認　9:40～　9:45（5 分）
2. 分科会の設置について　9:45～　9:50（5 分）
3. 分科会の公開について　9:50～　9:55（5 分）
4. 評価の実施方法　9:55～10:00 (15 分)
5. プロジェクトの概要説明

5.1 「事業の位置づけ・必要性」、「研究開発マネジメント」　10:00～10:30（30 分）
「研究開発成果」、「成果の実用化に向けた取り組み及び見通し」

5.2　質疑　10:30～11:00 (30 分)

（入替　5 分）

（非公開セッション）

6. プロジェクトの詳細説明および実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み

6.1 結晶シリコン太陽電池

6.1.1 極限シリコン結晶太陽電池の研究開発　11:05～11:35 (説明 30 分)
11:35～12:03 (質疑 28 分)

（入替　2 分）

6.1.2 赤外線 FZ 法による N 型四角形状シリコン単結晶育成方法の研究開発
12:05～12:15 (説明 10 分)
12:15～12:23 (質疑 8 分)

（昼食・休憩　47 分）

6.1.3 マルチワイヤーソーによるシリコンウエハ切断技術の研究開発
13:10～13:20 (説明 10 分)
13:20～13:28 (質疑 8 分)

（入替　2 分）

6.1.4 銅ペースト量産化技術と試験・評価方法に関する研究開発
13:30～13:40 (説明 10 分)
13:40～13:48 (質疑 8 分)

（入替　2 分）

6.1.5 超低コスト高効率 Ag フリーヘテロ接合太陽電池モジュールの研究開発
13:50～14:00 (説明 10 分)
14:00～14:08 (質疑 8 分)

（休憩　12 分）

6.2 薄膜シリコン太陽電池

6.2.1 次世代多接合薄膜シリコン太陽電池の産学官協力体制による研究開発
14:20～14:40 (説明 20 分)
14:40～14:58 (質疑 8 分)

（入替　2 分）

6.2.2 高度構造制御薄膜シリコン太陽電池の研究開発

15:00～15:10（説明 10 分）

15:10～15:18（質疑 8 分）

（休憩　12 分）

6.3 CIS 等化合物系太陽電池

6.3.1 CIS 系薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発

15:30～15:45（説明 15 分）

15:45～15:58（質疑 13 分）

（入替　2 分）

6.3.2CZTS 薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発

16:00～16:20（説明 20 分）

16:20～16:38（質疑 18 分）

（入替　2 分）

6.3.3 フレキシブル CIGS 太陽電池モジュールの高効率化研究

16:40～16:50（説明 10 分）

16:50～16:58（質疑 8 分）

（休憩　12 分）

6.4 共通基盤技術①

6.4.1 発電量評価技術等の開発・信頼性及び寿命評価技術の開発

17:10～17:30（説明 20 分）

17:30～17:48（質疑 18 分）

（入替　2 分）

6.4.2 広域対象の PV システム汎用リサイクル処理手法に関する研究開発

17:50～18:00（説明 10 分）

18:00～18:08（質疑 8 分）

（入替　2 分）

（公開セッション）

明日の予定、その他　18:10～18:15（説明 5 分）

閉会　18:15

(分科会 2 日目)

(非公開セッション)

開会、事務連絡　9:40～9:45 (説明 5 分)

6.5 共通基盤技術②

6.5.1 ロールツーロールプロセスを可能とする封止材一体型保護シートの研究開発

9:45～9::55 (説明 10 分)

9:55～10:03 (質疑 8 分)

(入替　2 分)

6.5.2 超ハイガスバリア太陽電池部材の研究開発

10:05～10:15 (説明 10 分)

10:15～10:23 (質疑 8 分)

(入替　2 分)

6.5.3 太陽電池発電システムの据付工程簡便化に関する研究開発

10:25～10:35 (説明 10 分)

10:35～10:43 (質疑 8 分)

(入替　2 分)

6.5.4 ドレスト光子利用太陽電池技術の研究開発

10:45～11:05 (説明 20 分)

11:05～11:23 (質疑 18 分)

(入替　2 分)

6.5.5 次世代長寿命太陽電池モジュールの研究開発

11:25～11:35 (説明 10 分)

11:35～11:43 (質疑 8 分)

(昼食　47 分)

6.6 色素増感太陽電池

6.6.1 三層協調界面構築による高効率・低コスト・量産型色素増感太陽電池の研究開発

12:30～12:50 (説明 20 分)

12:50～13:08 (質疑 8 分)

(入替　2 分)

6.6.2 高効率・高耐久性色素増感太陽電池モジュールの研究開発

13:10～13:20 (説明 10 分)

13:20～13:28 (質疑 8 分)

(休憩　7 分)

6.7 有機薄膜太陽電池

6.7.1 有機薄膜太陽電池モジュール創製に関する研究開発

13:35～13:55 (説明 20 分)

13:55～14:13 (質疑 18 分)

(入替　2 分)

6.7.2 光電荷分離ゲルによる屋内用有機太陽電池の研究開発

14:15～14:25 (説明 10 分)

14:25～14:33 (質疑 8 分)

(入替　2 分)

6.8 全体を通しての質疑①

14:35～14:45 (質疑 8 分)

(休憩　10 分)

6.9 有機系太陽電池実用化先導技術開発

6.9.0 全体説明　14:55～15:00 (説明 5 分)

6.9.1 プラスチック色素増感太陽電池の実用性検証

15:00～15:10 (説明 10 分)

15:10～15:18 (質疑 8 分)

(入替　2 分)

6.9.2 プラスチック基板ＤＳＣ発電システムの開発

15:20～15:30 (説明 10 分)

15:30～15:38 (質疑 8 分)

(入替　2 分)

6.9.3 色素増感太陽電池実証実験プロジェクト

15:40～15:50 (説明 10 分)

15:50～15:58 (質疑 8 分)

(入替　2 分)

6.9.4 色素増感太陽電池モジュールの実証評価

16:00～16:10 (説明 10 分)

16:10～16:18 (質疑 8 分)

(入替　2 分)

6.9.5 有機薄膜太陽電池の生産プロセス技術開発および実証化検討

16:20～16:30 (説明 10 分)

16:30～16:38 (質疑 8 分)

(入替　2 分)

6.10 全体を通しての質疑②

16:40～16:45 (質疑 5 分)

(入替　5 分)

(公開セッション)

7. まとめ・講評　16:50～17:15(講評 25 分)

8. 今後の予定、その他　17:15～17:20(説明 5 分)

9. 閉会　17:20

議事内容

（公開セッション）

１．開会、資料の確認

開会宣言ののち、配布資料の確認（評価事務局）が行われた。

２．分科会の設置について

資料2に基づき研究評価委員会分科会の成立が評価事務局より告げられ、委員、実施者、推進者、評価事務局の自己紹介が行われた。最後に、推進者からの挨拶が行われた。

３．分科会の公開について

評価事務局より資料 3 に基づき説明し、議題 6.「プロジェクトの詳細説明」を非公開とすることが了承された。引き続き資料 3 に基づき、事務局より分科会出席者の守秘義務についての説明及び非公開資料の取扱いについての説明が実施された。

４．評価の実施方法について

NEDOの評価の考え方について事務局より資料4-1～4-5をまとめたパワーポイントにより、評価の手順、評価項目・評価基準、評価報告書の構成について説明があり、了承された。

５．プロジェクトの概要説明

５．１　事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント

研究開発成果、成果の実用化に向けた取り組み及び見通し

５．２．　質疑応答

推進部署により資料６に基づき説明が行われ、以下の質疑応答が行われた。

【庭野分科会長】　どうもありがとうございました。先ほど、評価委員の先生方に講評を本日お願いすると申しましたが、明日の最後ですので、訂正致します。

これからただいまの説明に対しまして御意見、御質問お伺いいたしますが、時間を 30 分用意してございますので、どうぞ委員の皆様には積極的にコメント等をお願い致します。

今、技術の御説明もありましたが、技術のほうの詳細につきましては、この後の議題６で議論いたしますので、ここでは主に事業の位置づけ、必要性、マネジメントについての御意見をお願いしたいと思います。

それでは、委員の皆様、御質問、御意見等ありましたら、どうぞよろしくお願いいたします。

【田中委員】　PV2030＋の目標値については、たしか 2020 年に 29 ギガワットを入れる云々という形になっているんですけれども、現在もう既に今年の６月で約 21 ギガワットを導入されているということがあるわけでして、そういった形から見たときに、この計画というのはもう少し見直す必要というのがあるのかどうかということと、それから、もう一つは現在、太陽電池については残念ながら、国産のメーカーさんにしても、何にしても、海外技術からかなり輸入、OEM か、ODM か、いろいろ言い方はありますけれども、かなり輸入されているわけですけれども、この開発をした技術というのは、結果的に海外で、そこの系列の会社なり何なりが海外にその技術を移転して入れるということは可能なのかどうかということと、せっかく日本の貴重な税金を使って、そういう形がいいのかどうかちょっと疑問はあるんですけれども、その辺のところのお考えというのはどう

なっているのでしょうか。

【山田主研】　ありがとうございます。まず2点御質問いただいたと思いますが、1点目の導入量、もう21ギガ入っているのではないかという点については、御指摘のとおりかと思います。PV2030＋までNEDOが掲げていた目標、あるいは上位施策に掲げていて一番最初に出てくる言及される目標というのは、導入量を増やすということでございました。私どもも、導入量を増やすための施策ということでロードマップを作ってきた経緯がございます。

その後、固定価格買取制度が始まり、導入量が急速に増えているのは御指摘のとおりです。それを踏まえまして、計画を見直す必要はあるのかということですが、まずこのPV2030＋という戦略自体を見直すということを行いました。これはどういうことかといいますと、増やすための戦略ではなくて、増えた後、大量導入社会が実現した後どうするかという戦略に見直したということでございます。これがまず1つ。

また、それに伴って技術開発の計画を見直す必要があるのかということにつきましては、現時点、このプロジェクトで取り組んだ内容につきましては否定されるものではなく、発電コストを低減するというのは、固定価格買取制度下においても必要な目標だと考えておりますので、やったことが無駄になったとは考えていないということをお答えしたいと思います。

ただ、例えば宇佐美委員の御専門の御紹介のところでもありましたけれども、系統接続制約をどう回避していくのか。そういった取組につきましては、このプロジェクトのスコープとしては至らないところがあったと思いますので、例えばこの制約の解消として何かできないのかという取組でありますとか、私どものグループとは異なりますけれども、系統連系のための技術開発というのは別途グループを立ち上げて取り組んでいるところでございます。

続きまして、2点目の御質問、海外への移転につきましてですけれども、御質問の意図にもよりますけれども、海外への移転というのが、ほかの企業への移転ということであれば、私どもとしては余りそれは歓迎したくない、できれば自社でと思っております。

ただ、一方で、生産国を日本国内にとどめておかなければいけないのかといいますと、決してそうではないと。もちろん国内に生産拠点があって、雇用も生んで、売上げも立ってということは非常に望ましいことでございますけれども、今、私どもでは、必ずしもそこにこだわってはおりません。太陽電池メーカーでも海外に製造拠点を置いているところもあります。どちらがベターか、我々として歓迎すべきかというのはございますが、否定はしていない。

以上で回答になりましたでしょうか。

【田中委員】　はい。ありがとうございます。

【庭野分科会長】　そのほか。宇佐美委員、どうぞ。

【宇佐美委員】　今の内容に関連して、コメントを1点と、質問を1点させていただきたいと思うんですけれども、先ほどの一部繰り返しになりますけれども、本プロジェクトが始まる時点と終了時点では社会の状況が大きく変わっている。終了時点で、先ほど導入量の話がありましたけれども、認定設備量でいうと8,000万kW程度あるということなん

ですね。その 1 点としては、この事業期間中に固定価格買取制度があったというのが、これは無視できないと思うんですけれども、ただ、いくら固定価格買取制度があったとしても、要するに、物としていい物ができていない限り、普及とか、そういうことはないと思うんですね。

そういった意味で言いますと、NEDO さんのやってこられた技術開発というのは、ある意味でいうと、今現状の普及に対して十分貢献したんじゃないかと。それは誇っていいと私は考えております。

で、コメントが 1 つなんですけれども、それに対して、1 点とすると、じゃあ、認定設備が 8,000 万 kW あるということになると、要するに、技術開発としてもう十分やったと。NEDO さんの技術開発は成功裏に終わったんじゃないかと、そんなような指摘というのはどこかで出てくる可能性があると思うんですね。今御説明された、それに関してやることがある、そういったところを御説明されたと思うんですけれども、もう少し詳しく具体的に、そういった話があったときに、いや、やる必要があるんだと、実際まだこういったところが必要なのだ、そういったところを明らかにするために、もう少し詳しくお聞かせ願えたらと思います。

【山田主研】　ありがとうございます。励ましのお言葉と難しい御質問、ありがとうございます。お手元の資料にはないのですが、別の資料を少し御紹介したいと思います。まず導入量が増えているということは間違いございませんし、今後も系統接続制約はございますけれども、住宅等を中心にある程度増えていく。認定量も、6 月末、ちょうど 3 年間で 82 ギガに達しておりますので、確実に認定量の達成に向けて導入量は増えていくと思います。こちらに示しましたのは、10 キロワット以上の太陽光発電のイニシャルですね、システム価格を棒グラフにしておりまして、このブルーのバーが太陽光発電システムの発電コストでございます。このオレンジが買取価格でございますけれども、固定価格買取制度が始まってから、発電コストは下がり続けております。それに伴って買取価格も下がっているんですけれども、実はシステム価格は昨年少し上がりました。これは、発電コストを下げるに当たりまして、実施者さんが様々な工夫と努力をして、設備利用率を上げることで発電コストを下げる取組をしてきたんですけれども、平均的に見るとシステム価格が上昇に転じていると。つまりこのまま放っておいて発電コストが下がり続けますかというと、それは否ではないかと考えております。宇佐美委員から御指摘いただいたように、成果が上がっているのではないかということについては大変ありがたいと思っているものの、まだまだ十分ではないのではないか、やるべきことはあるのではないかと考えております。

また、これは、システム価格、太陽光発電システムでの議論でありまして、先ほど取り組んでいたのは、もちろんシステム視点でもやっているんですけれども、多くの予算を割いていたのが太陽電池の部分であります。電池以外のシステムについては、より取組を強化していかなければいけないと考えておりまして、そういった点でも今後の技術開発については取り組んでまいりたいと考えております。その一例としまして、システムに特化した技術開発プロジェクトも立ち上げた次第です。まだこの成果が出るのには時間がかかるかもしれませんけれども、そうした取組にも着手しているという点、御理

解いただければと思います。

【庭野分科会長】　よろしいでしょうか。

【宇佐美委員】　はい。

【庭野分科会長】　そのほか、ございませんでしょうか。垣内委員。

【垣内委員】　私も今の内容に関連した質問なのですけれども、まさに今教えていただきたいと思っていたスライドを先ほど出していただいて、PV2030＋で書かれているロードマップがどれぐらい達成できているかということが一番興味があって、2014 年度の段階で2020 年の目標をクリアはしていないでしょうか。

【山田主研】　クリアはしていません。

【垣内委員】　大体ロードマップどおりに進んでいるという理解でよろしいんでしょうか。

【山田主研】　はい。PV2030＋で掲げていた発電コストの目標というのは、こうあるべきということを掲げていて、積み上げではなかったということをまず御理解いただきたいと思います。ですから、ロードマップどおりにというか、ロードマップに向かって、ロードマップで掲げた目標に向かって発電コストが現実社会で下がってきているということは間違いないと思います。ただ、これがこのままずっと下がり続けるか。放っておいても下がり続けるか。これは固定価格買取制度導入時点で、競争原理でおのずと下がるんだという議論もありましたけれども、放っておいて 14 円まで下がるかというのはなかなか難しいのではないかと考えています。

【山口 PL】　関連して補足させていただきたいんですけれども、先生のおっしゃるとおり、PV2030＋のロードマップでいうと、大体目標を達成しているのですけれども、実際は世の中、中国製品も出てきて、実際は次の 2030 年に、今 75 円／ワットで出したのですけれども、それを 50 円ぐらいにしないと競争できないということになっています。

一方、パナソニックの HIT とか、サンパワーのバックコンタクトのセルは、モジュールは、1 ドル／ワットでも売れるんですね。だから、日本の生きる道の 1 つは、高性能で、長寿命で、できれば低コストもあるんですけれども、技術開発を踏まえてそういうものを出していく必要があると個人的には思っていますけど。

【庭野分科会長】　よろしいでしょうか。そのほか、ございませんでしょうか。

私のほうから。これ、全体のプロジェクトの位置づけですけれども、先ほど、3 つの事業の説明がございましたが、革新と次世代と、あと、新しく有機というのが 2012 年に始まったということをご説明頂きました。それぞれのプロジェクトの位置づけというか、特徴というか、そこをもう一度整理して頂けませんでしょうか。

【山田主研】　次世代プロジェクト、有機のプロジェクト、革新プロジェクト、この 3 点の違いとことでよろしいでしょうか。

【庭野分科会長】　はい。

【山田主研】　次世代高性能技術の開発、こちらは 2020 年の 14 円／キロワットアワーを達成するための取組でございます。先ほど、まだ電池が主であったということを申し上げましたが、システムについても極力チャレンジしようとしていたプロジェクトであります。

こちらの革新プロジェクトは、2050 年という、超長期な、長期を更に超えるような非

常にロングタームの目標を掲げておりまして、太陽電池の変換効率でいいますと、40%を超えるようなものを目指すとか、新概念の、新しい概念の太陽電池の技術を開発、導入しようという、非常に野心的なプロジェクトでございました。

そして、有機系太陽電池の実用化先導技術開発。こちらは、有機系太陽電池の技術開発が進んでまいりまして、ただ、それが実際にどのように使えるのか。発電コスト低減という意味で使えるのか、それともそれ以外の価値があるのか。用途、使い道といいますか、市場開拓、用途拡大という意味でどれぐらいのポテンシャルがあるのかというのを確認するために、また技術開発を後押しするために、これは結晶シリコンや薄膜に比べて新しい技術でありましたので、それを加速するという意味も込めて、途中から追加して実施したものでございます。

【庭野分科会長】　そうしますと、先ほど山口先生の方からご説明頂いた、日本の強みを生かすプロジェクトとして、革新プロジェクトがあり、最高の効率を目指して新しいものを作り、それで世界と戦っていく。次世代の方は、PV2030＋に向けてのプロジェクトである。但し、先ほど御質問あったように、大分世の中の情勢は変わっているので、その中でこのプロジェクトをどういうように位置づけるかというのは今後の課題ではないかなと思います。

あと、有機なんですけれども、これはそうしますと、太陽電池というのは、性能等議論しないといけないと思いますが、用途があっての性能ということになるので、どういう用途があるかというのを検討した上で、どういう開発をやらないといけないかということでこの事業を始められたと捉えてよろしいでしょうか。

【山田主研】　それで結構かと思います。

【庭野分科会長】　ほかの先生から御質問ありませんでしょうか。もう 10 分、時間ありますので。

【田中委員】　さっきの PV2030＋のときに、その下の背景のところもそうなんですけれども、最初、私ども、7 円云々というのは、2030 年という目標に対してという形だったのですけれども、この表を見ると、2030 年が消えて、急に 2050 年の超高効率で一遍に飛んでしまっているんですけれども、これは何か理由があるんですか。その次の表を見るとそういう形になっているんですが。

【山田主研】　まずこちらの表で御説明したいんですけれども、2030 年の目標は 7 円でございます。そこから先は 7 円未満。未満というのは、6 円がいいのか、5 円がいいのかというところは議論せずに、全く新しい技術を導入することによって、差別化、市場拡大を図るというものでございまして、ここの新材料、新構造と小さく書いてありますけれども、7 円未満を目指そうと。7 円未満というのは、7 円でとどまらない全く新しい太陽電池を作ろうと。これが革新プロジェクトの考え方でございます。

PV2030、これは 2004 年に作った 2030 ではこの 7 円までだったんですけれども、2030＋になるときに、更にロングタームの目標を追加したという経緯がございます。お答えになりましたでしょうか。全く新しい技術を開発するという、それまでとは異なるアプローチと考えています。

【庭野分科会長】　よろしいでしょうか。コストの問題は大変難しい問題で、世の中の情勢

によってもどんどん変わってくるというところがあると思いますが、できるだけいいものを作ろうというのがこういうプロジェクトの一番大事なところかなと思いますけれども、そのほかございませんでしょうか。工藤先生、何かございますか。

【工藤分科会長代理】　結構よく分かりました。もう一つは、長期を目指しているものは、結局全く新しい材料とか、今の有機の見込みについては、合体することもあり得るという理解なのか、全く別のものなのか。それが実証とともに、何か次の展開という部分は似ていて、この先の話から結果を出すと思われますが、何かつながる予定はあるのでしょうか。

【山田主研】　2050 年目標に向けて取り組んでいたものにつきましは、何でもかんでも新しければ良いということではなく、まず効率がすごく高いものというところで少し絞った経緯がございます。これは昨年度終了したプロジェクトですけれども、このプロジェクトでは有機自体、つまり次世代プロジェクトでターゲットとしているような色素増感、あるいは有機薄膜というものはターゲットにはしていませんでした。これは結果としてですね。ただ、今後もそうですかということにつきましては、2030 年目標の 7 円／キロワットアワー、あるいは 2020 年目標の 14 円／キロワットアワーに向けて、我々は新しいプロジェクトを別途立ち上げておりまして、この中では、有機薄膜、あるいは色素増感太陽電池の中から生まれた成果の 1 つとして、ペロブスカイト型の材料を使った太陽電池というのがございますけれども、それをこの新しいプロジェクトのターゲットの中には入れております。ですから、将来発電コストを低減していくという文脈でいいものが出てくれば、2030 年に向けた技術開発に取り組む可能性はあると思います。要領を得なくて恐縮ですけれども、PV2030＋では 2050 年というターゲットを加えたんですけれども、太陽光発電開発戦略、新しく出した技術開発指針の中では、今、2030 年までをターゲットとしておりまして、2050 年については、現時点では一旦お休みしているところであります。その中で、ペロブスカイトはこのプロジェクトでスコープの中に入れました。有機薄膜でありますが、色素増感につきましては、用途を開拓する別の取組の中で一部御支援を継続しているというのが現状でございます。

【庭野分科会長】　よろしいでしょうか。その他ございませんでしょうか。

私の方からもう 1 点。細かい話なのですが、成果の発表等のところですけれども、44 ページでしょうか。CIS のところですけど、新聞、雑誌等への掲載が 763 と多くて、特許がその割には少ない。これは今注目されはじめたためということかもしれないですけれども、ちょっとその辺の事情をお聞かせください。

【山田主研】　フォームにあったので、この項は入れているんですけれども、これは掲載される側の評価、掲載する側の評価でありまして、私どもの努力とは違うのかもしれませんが、こちらの発表する側、我々、アクションを取った側としては、ほかとも余り変わらないのかなと。ただ、注目の度合いという意味では、日本の国産メーカーが強いということもあって大きく取り上げていただいているのかなと分析しております。

【庭野分科会長】　もう少し特許も。

【山田主研】　特許をもっと取るべきということですか。

【庭野分科会長】　ええ。非常に注目されているということであればという。

【山田主研】　ここは非公開セッションでも御議論いただければと思いますけれども、特許だけではなく、中心的な役割を果たしていただいているメーカーは、製造に当たってノウハウ、レシピのところが重要と聞いておりますので、そこは特許だけという戦略ではないと理解しています。また、推進している企業の数もほかと異なりますので。

【庭野分科会長】　詳細につきましてはこの後の議題でも議論になろうかと思いますけれども、その他ございませんか。よろしいでしょうか。

それでは、ありがとうございました。そのほかの御意見、御質問は、また詳細の内容につきましては、この後詳しく説明していただきまして、その際に質問をいただきたいと思います。

（非公開セッション）

６．プロジェクトの詳細説明

省略

（公開セッション）

７．まとめ・講評

【庭野分科会長】　それでは、再開したいと思います。

長時間でしたけど、審議終了いたしましたので、ここで各委員の皆様から講評をいただきたいと思います。

廣瀬委員から始めまして、こちらのほうに向かって順番にお願いしますが、二、三分程度ということで、どうぞよろしくお願いいたします。

【廣瀬委員】　最初に私から講評ということで大変僭越でございますけれども、率直な感想ですね。この 2 日間見させていただいて、成果は非常に著しいということで、僕は大変驚くとともに、皆様のご努力に大変敬意を表したいと思いました。特に、シリコンの結晶型、それから、CIS の化合物の成果は非常に著しいと思います。今後の、次のプロジェクトでのさらなる発展を期待したいと思っております。

それから、有機系の太陽電池実用化先導技術開発も、これもやっぱりやってみないとわからないことがたくさん出てきてはいるんですが、非常に成果としては楽しみだというふうな印象を持ちました。

一部で、目標未達な課題もございましたが、ぜひ大きな壁に当たっている課題とかそういったものを広く国民に発信して、若いプレーヤーも参画できるよう、課題というものを整理して発信していただければと思います。非常にすばらしい成果が出ていると私は拝見いたしました。以上でございます。

【庭野分科会長】　次に、西尾委員、お願いします。

【西尾委員】　何か同じようなことになってしまうのですけど、もう成果はすばらしいというか、中にはもう世界トップですかね。そういったものがたくさん上げてあり、そういった意味ではすごいものだと私は思いました。

評価のところで、せっかく世界トップを上げているにもかかわらず、何かさらなる高いハ

ードルを上げている。やっている方はちょっとかわいそうだなという、むしろそんな印象を持ったんですけど、それはそれだけの切羽詰まった何か事情が、半導体産業の事情があるかと思って聞いておりましたけど、そういった方も高い評価は与えたいと個人的には思っています。

それから、先ほどと同じなんですけど、シリコン系はほんとうに連携がうまくとれて、やれているような印象を受けました。

何か新産業に参加しようとする意欲される企業さんにとって、新たなそういった思いもよらない課題が入ってくると非常につらいなという、そういう印象を受けました。

それから、CZTS ですかね。あちらのほうはもう聞いておりまして、かなり複雑な半導体系ですかね。市場は高いものがあると思いますので、何らかの形で支援していただければ、日本にとってまた新しい材料が開かれてくるような気がします。

それから、色素と有機のほうも皆さん頑張っておられて、それで、最近、ペロブスカイト系がすごいポテンシャルを持っているというような話の一方で、鉛が入っているとかいった問題もあるようですので、従来のほうも何らかの形で動かしておいたほうがいいような気が、個人的にはしました。以上でもう終わりたいと思います。

【庭野分科会長】　ありがとうございます。

次は、田中委員、お願いいたします。

【田中委員】　これとはちょっと違うんですけれども、先週、実はもう来年度の固定価格買い取りのヒアリングを 2 時間、ばっちりと METI さんとやり合ったというか、受けまして、どうするんだという形で話をして。その中で出てきたのは、技術は当然のことと進むんでしょうけども、やっぱりコスト、コストというのが大前提で実は出てきていまして、そういった形からすると、今回、事後評価という形で、一応開発の目途がある程度ついたという形の評価ですので、今度それをいかに世の中に入れていくのかというのが最も重要な要素になってくるんじゃないかと思うんですけれども、せっかく開発して、いいデータなり、いいものができたのに、使えないことには意味がないということと、それから、もう一つは、やっぱり諸外国に負ける前に先導的にやっていくというのが非常に重要な要素になっていくんじゃないかと思いますので、今回の成果をどういうふうに実用化して、世の中に入れていくのかというのが最大の課題になるんじゃないかなというふうに思っています。

【庭野分科会長】　ありがとうございます。

次、垣内委員、お願いします。

【垣内委員】　中間評価のときにそのコストの話がよくわからなくて、いろいろ皆さんから指摘があったと思うんですけど、今回はそのあたりかなり明確にしていただきまして、着実にロードマップに沿ったような形でコストが下がっているというふうな感じを受けました。それは非常によかったというふうに感じました。

私は個人的にシリコンの薄膜関連の研究をやっていますので、やっぱり薄膜シリコン太陽電池ですね。中間評価の段階からかなり厳しそうだという話で、大きなブレークスルーが出てこないかなということで、非常に期待はしていたんですけれども、技術レベルはもちろん非常に高いんですけど、なかなか今、難しいところに来ているというふうな印象を率直に受

けたんですね。ただ、先ほどもちょっと話がありましたけれども、技術は高いので、それを有効に利用できるところは利用していっていただいて、引き続き何らかの大きなブレークスルーを期待したいなというふうに、私個人的には思っています。

あとは、分野によっては、コンソーシアム、連携がかなりうまく機能して、大きな成果が幾つも出ていたと思うんですが、まあ、そうじゃない分野ももちろんありました。ですから、連携したことがどれぐらい研究の進展に貢献したかというところを明確にしていただいて、それをちゃんとまとめていただいて、今後、今まで連携がうまくいっていなかった分野についても、難しい点はあると思うんですけど、連携をどんどん推進していっていただきたいというふうに思います。

以上です。

【庭野分科会長】　ありがとうございました。

それでは、次は宇佐美委員、お願いします。

【宇佐美委員】　冒頭にお話しさせていただいたんですけれども、本プロジェクトの始まるときと現在とでは、特に市況といいますか、周囲の普及の状況が全然違うと。何度も繰り返しになって恐縮ですが、現状としてはもう 2,000 万とかを超える量が導入されていて、認定料量にすると 8,000 万以上あるということなんですね。私ども電気事業の一員として、実際のところ、もう現場の問題として、明日からぐっと、明日からということになるんですけれども、実際の系統運用部門とやりとりをして、どのように電力系統を運用していくのか。これはほんとうに現場の問題としてやっております。

そんな中で、一方、少なくとも電気事業全体がどうかというと、なかなか難しいと思うんですが、私はそうあってほしいと信じたいんですけれども、必ずしも太陽光の普及を阻害したいというわけではないんですね。やっぱり私どもが系統運用部門の方々と一緒に電力系統の運用を考えているというのは、いかに太陽光を使うようにしていくのかということをいろいろ知恵を出し合って、電力の中でやっていると、そのように考えています。

そんな中で特に、今日も含めて、昨日から 2 日間聞かせていただいた率直な感想として、要は、太陽光の技術開発レベルというのは、日本は非常に高くて、非常にいいものができているというふうに感じました。そんな中で、今言ったように、普及というのを阻害するようにするということではなく、より普及していくためにはどうしたらいいのか。それは私どもの電気事業の一員として電気事業の中でも考えていきたいし、実際にやっていますし、今回こういったところに出席させていただいているというのも一つではあると思うんですけど、NEDO さんとかそういった太陽電池にかかわる方とも、特に弊所はもう少し自由な立場でありますので、協力させていただいて、どういったふうに普及をしていくのか。そういったことはぜひ考えさせていただきたいと、そのように感じております。

そういった意味で、成果としては非常に上がっていて、ただ、ターニングポイントであって、今までと同じようなスタンスでこれから続けられるのかというのは、やっぱり考えるべきところは考えるところがあるのかなと、そのように感じました。

細かい具体的なところでいいますと、それぞれの太陽電池、いろいろな形で成果が上がっているというのは事実でして、目標が達成した、しないというのはあるんですけれども、大

半のものは目標を達成しておりまして、そういった意味でも非常に立派な成果だと。一方で、目標を達成していなくても、世界の技術水準からすると、非常にレベルが高いものというのは数多くあって、そういった意味では十分な成果があるんじゃないかと、そのように感じております。

一方で、今まで長くやってきた太陽電池系とかで、今、冒頭で申したように、世の中の流れの中で、実用化、それから、商品化、なかなかそういうのが難しいというようなものも散見されるのも事実でございまして、ただ、そういったものは、今まで技術開発をしてきた中で、ほんとうに繰り返しになるんですけれども、非常に高い技術レベルを持っているので、それをうまく使う、うまく生かす、それはいろんな形があると思います。そういったことはぜひ続けていただきたいと思います。

特にコンソーシアム等を通して、同じ太陽電池系の中でもいろいろと情報交換して、メーカー間でもやはりそういった技術のやりとりをして、仮に事業化を断念したとしても、他のメーカーの中でそれが生きるとかですね。そういったものもあるかと思いますので、いずれにしても、そういった形でぜひ続けていただきたいと思います。

以上です。

【庭野分科会長】　ありがとうございました。

それでは、工藤委員、お願いします。

【工藤分科会長代理】　改めてこの大規模かつ少し質の違う太陽電池の開発プロジェクトで、次世代の高性能、高効率を目指す目的と実用化に向けて、多くの違う素子をそろえて、同じ土台でスタートし、どれが実用化に向かうかという目標設定は非常にいいプロジェクトだと思います。また、これだけ世の中が変わっている中で、山口先生、黒川先生のプロジェクトリーダーの指導のもとにいろいろ見直されたというのは、非常に評価しております。

それで、ほとんど皆様が言われているように、世界最高レベルという成果がこれから出ているというのは、大きな成果だと思うのですが、そのオールジャパンの中で結構うまくいっている部分と、課題として残された部分が出されたところで、果たしてほんとうにオールジャパンが有効に活かされているかなという、やや疑問を持つところが一部見受けられたというのも事実です。

それから、ここで言っていいのかどうかわからないですけれども、有機太陽電池を屋外で実用化するというのは、正直、スタートのときからやや心配したところですけれども、そのとおりに近いところがかなり多く見られてきたところは、次のプロジェクトへの展開というところだと思われます。また、日本が一番弱いのが、技術力は世界トップレベル、しかし、応用面でどうも一歩おくれるというのが、別の観点からも見えており、有機はやはり産業デザインだと思いますね。そういうところの出口がほんとうに見つかれば、効率を度外視したような、一部で出たように、安心感を求めるような応用とか、人間にフィードバックするようなところをぜひとも見つけていただければありがたいと思っています。

最後に一言。諸事情でやめたところもありそうですが、せっかくの成果にほこりが積もるような、また文書だけが残っているだけじゃなくて、今後スタートできるときには一歩も遅れずに、すぐキャッチアップできるということを期待しております。

以上でございます。

【庭野分科会長】　ありがとうございました。

私の番になるわけですが、もう大体言い尽くされていると思います。まずこの太陽光発電というのはこれからも非常に重要だと思っています。特に私は大震災を経験して、そのときにエネルギーをどうするかということを切実に感じまして、プロジェクトの中にありましたけれども、災害時の非常用の電源のようなものが大事です。そのような観点からも是非この太陽光の発電の開発事業は、これからも続けて頂きたいし、性能を上げてもらいたいと思います。

その一方で、太陽光発電というのはエネルギーをつくる方なんですけれども、この事業とは離れるかもしれませんが、エネルギーをどのように利用するかといった、システムの問題をこれから考えないといけないと思います。これは黒川先生が前から指摘されていますがこれを、どういうふうにしていくかというのは社会インフラをどうするかとも関わって、これからの日本の大きな課題ではないかなと思っています。

成果がすばらしかったというのは、私も同感です。すばらしい成果がこれからどのように実用化されるか、どのように生かしていけるかがこれから大事になってきて、先ほども話がありましたように、世の中にどうやって入れていくかところを考えないといけないと思います。有機もまだ捨てたものではないと私は思っていますので、それをこれからも引き続き考えてもらいたいと思います。

もう一つは、この事業が始まって、また３年前の中間評価のときと比べても、世の中の情勢が変わってきています。この世の中の情勢にその都度対応していかないといけないというのは非常に大変なことですが、日本が世界に引けを取らない力を持つためには、情勢に迅速に対応していく必要かあると思います。この事業で変化に対応して、成果を上げたところもあるように思います。

最後に、様々な研究を続けて頂きたいと思います。大学にいると感じますが、もちろん実用化に近いところは伸ばすというのは大事ですけれども、これからの事業の芽になるような研究というのは大事であると思っています。研究の多様性というのは、技術の力を向上させるために非常に大事なことだと思います。選択と集中というのは言われますが、それだけではなくて、様々な研究をやり続けていくと、日本独自の技術がこれからも続いて出てくるのではないかと思います。

以上で私の講評とさせていただきます。

以上、評価委員の各先生方から講評いただきましたので、ここで最後に推進部、または山口先生、黒川先生から一言ございましたらよろしくお願いいたします。

【山口 PL】　2 日間、どうもありがとうございました。評価委員の先生方のおっしゃること、その通りで、先ほどのコンソーシアムでやる云々というのは、なかなか結果というのは証明できないんですけど、結晶シリコンの分野でいうと、カッパーペーストとかスライシングとか、そういった部分で連携して、それがいい成果になりつつあると思います。薄膜シリコンもやったんですけど、やっぱり世界最高を出したのですが出口がなかなかないので、それが違った展開に、各先生がおっしゃったように、ヘテロ構造では生きると思うんですけれ

ども、もう一つは光マネジメントで多分、結晶シリコンとかCIGS系にも生きると個人的には思っているので、今後そういうふうに進めていきたいと思っています。

もう一つやっぱり普及を拡大するにはどうしたらいいかという、宇佐美先生のお話ですけれど、個人的にはさっき委員長がおっしゃったように、将来は多分、個人的には社会インフラとして、PVを含めた再生可能エネルギーを主体にした社会になると、それが何十年先かわかりませんけれども、がらっと変わったような社会形態になるというふうに思っているので、そのためにはやっぱりNEDOさんと経産省含めて、技術開発は少なくともあと15年はやってほしいし、できれば30年ぐらいやってくれれば本物になるかと思うので、ぜひご支援をお願いします。

あとはやっぱり若い人の育成も非常に重要ですし、個人的には普及拡大する意味で、今、私のやっている分野では、トヨタ自動車と車載応用を考えていまして、やっぱり効率15%ぐらいじゃだめだと。効率30%以上で、フレキシブルで、なおかつ、安いものと言われているので、最初は高くてもいいんでしょうけど、夢としては、希望としてはそういうものを開発していきたいと思っています。

今日はどうもありがとうございました。

【黒川PL】　先ほど庭野委員長から私のコメントにご支持いただいて、大変ありがとうございます。

実はそういう意味で、我々、太陽光発電はサンシャイン計画でスタートして、ほんとうに40年ずっと続けてこられたわけですけど、それのかなり初期の時代にどうやって使うのかという話はやっぱりあったんですね。太陽電池の素子面だけが最初に出てきまして、使うほうがなくて、太陽電池を使うところ、日本なんか電力系統がいっぱい走っているから要らないよという議論が最初にありました。電中研さんから先ほど電力ネットワーク面の問題点のお話がありましたが、私は大胆にも最初に提案したのが、日本中の住宅の屋根に太陽光を載っけて、それを電力系統として連携すると。

私はもともと直流送電屋なので、パワエレ使えば、そんなことはできますよと言って、自分自身、大蔵省に直接予算をとりにいったんですね。そのころは工業技術院でしたけど。それがまた、その年の新規テーマ、たった一個でしたので当選しまして、それがおそらく太陽電池とプラス、住宅のシステム。それが日本としては、例えば六甲アイランドでそういうモデルシステムを組んで、うまくいったから最初の政府の補助政策で立ち上がったわけですよね。

そういう経緯からすると、私は今、スマートグリッドなんて言ってやっていますが、NEDOさん、別々に何か島があるようですけど、そうじゃなくて、その中でやっぱりメーンプレーヤーは太陽光なんだと。私はいまだに思っていまして、電中研さんにも、上から目線だけじゃなくて、ちょっと下からも攻めていくようなロジックでやっていただきたいなと長い間思っています。

これは今日の評価のとは全く違いますけど、個人的な希望はそういう意見を持っておりますので、よろしくお願いいたします。

【山田主研】　では、推進部署から。まず2日間、ほんとうにありがとうございました。

また、講評も拝聴していまして、大変参考になりましたので、努力してまいりたいと思います。

推進部としては、まずプロジェクトという、「期間と目標を設定するマネジメントの仕方」と、先ほどご指導あったように「長く続けていく、あるいはその状況の変化に対応していく」、そのバランス、兼ね合いの難しさがあるなというのを感じながら聞いておりました。ただ、幸い、今、黒川先生からお話あったように、縦割りを乗り越えていかなきゃいけないんですけれども、私どもNEDOは、広い分野を見ていけますし、太陽光という分野に仮に限ったとしても、プロジェクトを超えた視点でマネジメントができる環境にあります。実際そういうことにチャレンジしていますので、今日のこのプロジェクトの評価を踏まえて、先生方には引き続きご指導いただけるとうれしいなというふうに思っております。

私からは以上です。

【渡辺統括主幹】　最後ですけれども、推進部を代表いたしましてお礼を申し上げたいと思います。2日間にわたり、ほんとうにありがとうございました。最後の講評の中では全体的に評価をいただいたということで、我々推進部、担当している者全てが非常に、やってよかったなと思っているところでございます。ただ、多分いろいろこれから足りないところをさらに補っていく必要があると思っていまして、引き続きご指導をいただきたいと思っております。

いろいろ講評の中でコメントをいただいている中で、黒川先生も山口先生もおっしゃったように、これからやっぱり再生可能エネルギーがたくさん、どんどん入っていく中で、これをどうやって使っていくか。このままだとせっかく発電した再生可能エネルギーの電力を使わずに捨ててしまうことにもなりかねない。そういうような状況になっていくんだろうなという、そういう意味で、この再生可能エネルギーをむだにしないで、全体としてうまく使っていく、そういうような方法も考えていかなければいけないと思っています。

ただ、これは必ずしも新エネ部だけではできない部分もありますので、NEDO全体として取り組んでいく課題だと思っていますので、そういう意味ではNEDOの中の担当部局の連携をうまくやっていく必要があるなと考えているところでございます。

引き続きいろいろご相談にも伺いたいと思いますので、ご指導のほどよろしくお願いいたします。2日間にわたりまして、どうもありがとうございました。

【庭野分科会長】　どうもありがとうございました。

８．今後の予定、その他

９．閉会

以上

配布資料

資料１　研究評価委員会分科会の設置について
資料２　研究評価委員会分科会の公開について
資料３　研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘と
　非公開資料の取り扱いについて
資料 4-1　ＮＥＤＯにおける研究評価について
資料 4-2　評価項目・評価基準
資料 4-3　評点法の実施について
資料 4-4　評価コメント及び評点票
資料 4-5　評価報告書の構成について
資料 5-1　事業原簿（公開）－太陽光発電システム次世代高性能技術の開発－
資料 5-2　事業原簿（公開）－有機系太陽電池実用化先導技術開発－
資料６　プロジェクトの概要説明資料（公開）
　「事業の位置づけ・必要性」、研究開発マネジメント」
　「研究開発成果」及び「成果の実用化に向けた取り組み及び見通し」
資料 7-1-1　極限シリコン結晶太陽電池の研究開発（非公開）
資料 7-1-2　赤外線FZ法によるN型四角形状シリコン単結晶育成方法の研究開発(非公開)
資料 7-1-3　マルチワイヤーソーによるシリコンウエハ切断技術の研究開発(非公開)
資料 7-1-4　銅ペースト量産化技術と試験・評価方法に関する研究開発(非公開)
資料 7-1-5　超低コスト高効率 Ag フリーヘテロ接合太陽電池モジュールの研究開発
(非公開)
資料 7-2-1　次世代多接合薄膜シリコン太陽電池の産学官協力体制による研究開発
(非公開)
資料 7-2-2　高度構造制御薄膜シリコン太陽電池の研究開発(非公開)
資料 7-3-1　CIS 系薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発(非公開)
資料 7-3-2　CZTS 薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発(非公開)
資料 7-3-3　フレキシブル CIGS 太陽電池モジュールの高効率化研究(非公開)
資料 7-4-1　発電量評価技術等の開発・信頼性及び寿命評価技術の開発(非公開)
資料 7-4-2　広域対象の PV システム汎用リサイクル処理手法に関する研究開発(非公開)
資料 7-5-1　ロールツーロールプロセスを可能とする封止材一体型保護シートの研究開発
(非公開)
資料 7-5-2　超ハイガスバリア太陽電池部材の研究開発(非公開)
資料 7-5-3　太陽電池発電システムの据付工程簡便化に関する研究開発(非公開)
資料 7-5-4　ドレスト光子利用太陽電池技術の研究開発(非公開)
資料 7-5-5　次世代長寿命太陽電池モジュールの研究開発(非公開)
資料 7-6-1　三層協調界面構築による高効率・低コスト・量産型色素増感太陽電池
の研究開発(非公開)
資料 7-6-2　高効率・高耐久性色素増感太陽電池モジュールの研究開発(非公開)

資料 7-7-1　有機薄膜太陽電池モジュール創製に関する研究開発(非公開)
資料 7-7-2　光電荷分離ゲルによる屋内用有機太陽電池の研究開発(非公開)
資料 7-9-1　プラスチック色素増感太陽電池の実用性検証(非公開)
資料 7-9-2　プラスチック基板ＤＳＣ発電システムの開発(非公開)
資料 7-9-3　色素増感太陽電池実証実験プロジェクト(非公開)
資料 7-9-4　色素増感太陽電池モジュールの実証評価(非公開)
資料 7-9-5　有機薄膜太陽電池の生産プロセス技術開発および実証化検討(非公開)
資料８　　今後の予定
参考資料１　ＮＥＤＯ技術委員・技術委員会等規程
参考資料２　技術評価実施規程

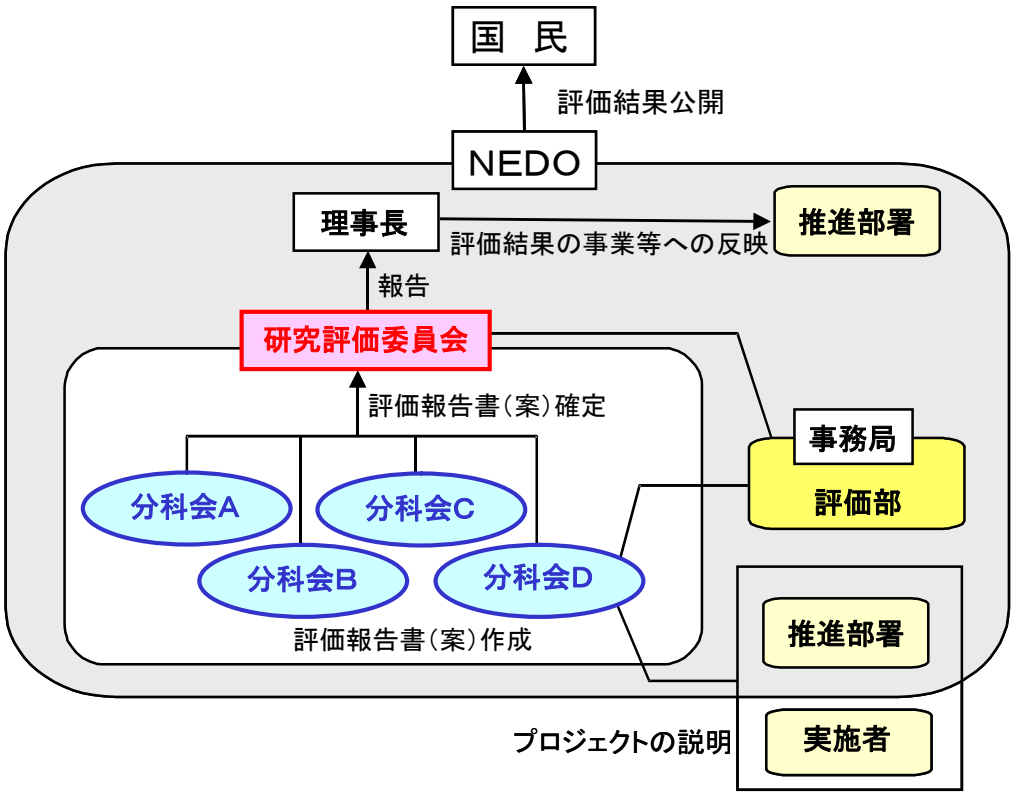
以上

参考資料２　　評価の実施方法

本評価は、「技術評価実施規程」（平成 15 年 10 月制定）に基づいて実施する。

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）における研究評価の手順は、以下のように被評価プロジェクトごとに分科会を設置し、同分科会にて研究評価を行い、評価報告書（案）を策定の上、研究評価委員会において確定している。

- 「NEDO 技術委員・技術委員会等規程」に基づき研究評価委員会を設置
- 研究評価委員会はその下に分科会を設置



１．評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において

- 業務の高度化等の自己改革を促進する
- 社会に対する説明責任を履行するとともに、経済・社会ニーズを取り込む
- 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を促進する

としている。

本評価においては、この趣旨を踏まえ、本事業の意義、研究開発目標・計画の妥当性、計画を比較した達成度、成果の意義、成果の実用化の可能性等について検討・評価した。

２．評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員選定に当たっては以下の事項に配慮して行う。

- 科学技術全般に知見のある専門家、有識者
- 当該研究開発の分野の知見を有する専門家
- 研究開発マネジメントの専門家、経済学、環境問題、国際標準、その他社会的ニーズ関連の専門家、有識者
- 産業界の専門家、有識者

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外し、また、事前評価の妥当性を判断するとの側面にかんがみ、事前評価に関与していない者を主体とする。

これらに基づき、委員を分科会委員名簿の通り選任した。

なお、本分科会の事務局については、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構評価部が担当した。

３．評価対象

「太陽エネルギー技術研究開発／太陽光発電システム次世代高性能技術の開発・有機系太陽電池実用化先導技術開発」を評価対象とした。

なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プロジェクトの内容、成果に関する資料をもって評価した。

４．評価方法

分科会においては、当該事業の推進部署及び実施者からのヒアリングと、それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価及び実施者側等との議論等により評価作業を進めた。

なお、評価の透明性確保の観点から、知的財産保護の上で支障が生じると認められる場合等を除き、原則として分科会は公開とし、実施者と意見を交換する形で審議を行うこととした。

５．評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、NEDOが定める「標準的評価項目・評価基準」をもとに、当該事業の特性を踏まえ、評価事務局がカスタマイズしたものである。

評価対象プロジェクトについて、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義、実用化に向けての取り組みや見通し等を評価した。

資料 4-2

「太陽エネルギー技術研究開発／太陽光発電システム次世代高性能技術の開発・有機系太陽電池実用化先導技術開発」に係る評価項目・評価基準

１．事業の位置付け・必要性について

(1) ＮＥＤＯの事業としての妥当性

・ 特定の施策（プログラム）、制度の下で実施する事業の場合、当該施策・制度の目標達成のために寄与しているか。
・ 民間活動のみでは改善できないものであること、又は公共性が高いことにより、ＮＥＤＯの関与が必要とされる事業か。
・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

(2) 事業目的の妥当性

・ 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

２．研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
・ 目標達成度を測定・判断できる具体的かつ明確な開発目標を設定しているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマごとの配分を含む）となっているか。
・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

(3) 研究開発実施の事業体制の妥当性

・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
・ 適切な研究開発実施体制になっており、指揮命令系統及び責任体制が明確になっているか。
・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and／or 競争が十分に行われる体制となっているか。
・ 知的財産取扱（実施者間の情報管理、秘密保持、出願・活用ルール含む）に関する考え方は整備され、適切に運用されているか。

(4) 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性
・ 成果の実用化・事業化につなげる戦略が明確になっているか。
・ 成果の実用化・事業化シナリオに基づき、成果の活用・実用化の担い手、ユーザーが関与する体制を構築しているか。
・ 全体を統括するプロジェクトリーダーが選任されている場合、成果の実用化・事業化シナリオに基づき、適切な研究開発のマネジメントが行われているか。
・ 成果の実用化・事業化につなげる知財戦略(オープン／クローズ戦略等) や標準化戦略が明確になっており、かつ妥当なものか。

(5) 情勢変化への対応等
・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向等に機敏かつ適切に対応しているか。

３．研究開発成果について

(1) 目標の達成度と成果の意義
・ 成果は目標を達成しているか。
・ 成果は将来的に市場の拡大あるいは市場の創造につながることが期待できるか。
・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。
・ 目標未達成の場合、達成できなかった原因が明らかで、かつ目標達成までの課題を把握し、この課題解決の方針が明確になっているなど、成果として評価できるか。
・ 設定された目標以外に技術的成果があれば付加的に評価する。
・ 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、又は汎用性のある成果については、将来の産業につながる観点から特に顕著な成果が上がっている場合は、海外ベンチマークと比較の上で付加的に評価する。
・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
・ 大学又は公的研究機関で企業の開発を支援する取り組みを行った場合には、具体的に企業の取り組みに貢献しているか。

(2) 知的財産権等の取得及び標準化の取組
・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、又は実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。

(3) 成果の普及
・ 論文等の対外的な発表は、将来の産業につながる観点から戦略的に行われているか。
・ 成果の活用・実用化の担い手・ユーザー等に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

４．実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

本項目における「実用化・事業化」の考え方
当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることを言う。

(1)成果の実用化・事業化の見通し

- 産業技術としての見極め（適用可能性の明確化）ができているか。
- 実用化に向けて課題が明確になっているか。課題解決の方針が明確になっているか。
- 成果は市場やユーザーのニーズに合致しているか。
- 実用化に向けて、競合技術と比較し性能面、コスト面を含み優位性は確保される見通しはあるか。
- 量産化技術が確立される見通しはあるか。
- 事業化した場合に対象となる市場規模や成長性等により経済効果等が見込めるものとなっているか。
- プロジェクトの直接の成果ではないが、特に顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)がある場合には付加的に評価する。

(2)実用化・事業化に向けた具体的取り組み

- プロジェクト終了後において実用化・事業化に向けて取り組む者が明確になっているか。また、取り組み計画、事業化までのマイルストーン、事業化する製品・サービス等の具体的な見通し等は立っているか。

標準的評価項目・評価基準

平成２５年5月１６日
NEDO

はじめに

本「標準的評価項目･評価基準」は、「技術評価実施規程」に定める技術評価の目的※を踏まえ、NEDO として評価を行う上での標準的な評価項目及び評価基準として用いる。

本文中の「実用化・事業化」に係る考え方及び評価の視点に関しては、対象となるプロジェクトの特性を踏まえ必要に応じ評価事務局がカスタマイズする。

※「技術評価実施規程」第 5 条(技術評価の目的) ①業務の高度化等自己改革の促進、②社会への説明責任、経済･社会ニーズの取り込み、③評価結果の資源配分反映による、資源の重点化及び業務の効率化促進

なお「評価項目」、「評価基準」、「評価の視点」は、以下のとおり。

◆評 価 項 目 ：「１．・・・」
◆評 価 基 準 ：上記、各項目中の「（１）・・・」
◆評価の視点：上記、各基準中の 「・」

評価項目・基準・視点

１．事業の位置付け・必要性について

(1) ＮＥＤＯの事業としての妥当性

- 特定の施策（プログラム)、制度の下で実施する事業の場合、当該施策・制度の目標達成のために寄与しているか。
- 民間活動のみでは改善できないものであること、又は公共性が高いことにより、ＮＥＤＯの関与が必要とされる事業か。
- 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

(2) 事業目的の妥当性

- 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

２．研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- 目標達成度を測定・判断できる具体的かつ明確な開発目標を設定しているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマごとの配分を含む）となっているか。
- 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

(3) 研究開発実施の事業体制の妥当性

- 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- 適切な研究開発実施体制になっており、指揮命令系統及び責任体制が明確になっているか。
- 研究管理法人を経由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。
- 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and／or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- 知的財産取扱（実施者間の情報管理、秘密保持、出願・活用ルール含む）に関する考え方は整備され、適切に運用されているか。

(4) 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性

（基礎的・基盤的研究開発及び知的基盤・標準整備等研究開発の場合は、「事業化」を除く）

- 成果の実用化・事業化につなげる戦略が明確になっているか。
- 成果の実用化・事業化シナリオに基づき、成果の活用・実用化の担い手、ユーザーが関与する体制を構築しているか。
- 全体を統括するプロジェクトリーダーが選任されている場合、成果の実用化・事業化シナリオに基づき、適切な研究開発のマネジメントが行われているか。
- 成果の実用化・事業化につなげる知財戦略(オープン／クローズ戦略等) や標準化戦略が明確になっており、かつ妥当なものか。

(5) 情勢変化への対応等

- 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向等に機敏かつ適切に対応しているか。

３．研究開発成果について

(1) 目標の達成度と成果の意義

- 成果は目標を達成しているか。
- 成果は将来的に市場の拡大あるいは市場の創造につながることが期待できるか。
- 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。
- 目標未達成の場合、達成できなかった原因が明らかで、かつ目標達成までの課題を把握し、この課題解決の方針が明確になっているなど、成果として評価できるか。
- 設定された目標以外に技術的成果があれば付加的に評価する。
- 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、又は汎用性のある成果については、将来の産業につながる観点から特に顕著な成果が上がっている場合は、海外ベンチマークと比較の上で付加的に評価する。
- 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- 大学又は公的研究機関で企業の開発を支援する取り組みを行った場合には、具体的に企業の取り組みに貢献しているか。

(2) 知的財産権等の取得及び標準化の取組

- 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、又は実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

(3) 成果の普及

- 論文等の対外的な発表は、将来の産業につながる観点から戦略的に行われているか。
- 成果の活用・実用化の担い手・ユーザー等に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- 一般に向けて広く情報発信をしているか。

(4) 成果の最終目標の達成可能性（中間評価のみ設定）

- 最終目標を達成できる見込みか。
- 最終目標に向け、課題とその解決の道筋が明確に示され、かつ妥当なものか。

４．実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

本項目における「実用化・事業化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることであり、さらに、当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動(売り上げ等)に貢献することを言う。

なお、評価の対象となるプロジェクトは、その意図する効果の範囲や時間軸に多様性を有することから、上記「実用化・事業化」の考え方はこうした各プロジェクトの性格を踏まえ必要に応じカスタマイズして用いる。

(1)成果の実用化・事業化の見通し

- 産業技術としての見極め（適用可能性の明確化）ができているか。
- 実用化に向けて課題が明確になっているか。課題解決の方針が明確になっているか。
- 成果は市場やユーザーのニーズに合致しているか。
- 実用化に向けて、競合技術と比較し性能面、コスト面を含み優位性は確保される見通しはあるか。
- 量産化技術が確立される見通しはあるか。
- 事業化した場合に対象となる市場規模や成長性等により経済効果等が見込めるものとなっているか。
- 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。
- プロジェクトの直接の成果ではないが、特に顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)がある場合には付加的に評価する。

(2)実用化・事業化に向けた具体的取り組み

- プロジェクト終了後において実用化・事業化に向けて取り組む者が明確になっているか。また、取り組み計画、事業化までのマイルストーン、事業化する製品・サービス等の具体的な見通し等は立っているか。

◆プロジェクトの性格が「基礎的・基盤的研究開発」である場合は以下を適用

４．実用化に向けての見通し及び取り組みについて

(1)成果の実用化の見通し

- 実用化イメージに基づき、課題及びマイルストーンが明確になっているか。
- 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。
- プロジェクトの直接の成果ではないが、特に顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)がある場合には付加的に評価する。

(2) 実用化に向けた具体的取り組み

・ 成果の実用化に向けて、誰がどのように引き続き研究開発を取り組むのか明確になっているか。

◆プロジェクトの性格が「知的基盤・標準整備等の研究開発」である場合は以下を適用

４．実用化に向けての見通し及び取り組みについて

(1)成果の実用化の見通し

・ 整備した知的基盤についての利用は実際にあるか、その見通しが得られているか。
・ 公共財として知的基盤を供給、維持するための体制は整備されているか、その見込みはあるか。
・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。
・ ＪＩＳ化、標準整備に向けた見通しが得られているか。注）国内標準に限る
・ 一般向け広報は積極的になされているか。
・ プロジェクトの直接の成果ではないが、特に顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)がある場合には付加的に評価する。

(2) 実用化に向けた具体的取り組み

・ 成果の実用化に向けて、誰がどのように引き続き研究開発を取り組むのか明確になっているか。

本研究評価委員会報告は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）評価部が委員会の事務局として編集しています。

NEDO 評価部
部長　徳岡　麻比古
統括主幹　保坂　尚子
担当　　成田　健

＊研究評価委員会に関する情報は NEDO のホームページに掲載しています。
（http://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu_index.html）

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地
ミューザ川崎セントラルタワー20F
TEL 044-520-5161　FAX 044-520-5162