

(二) 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. 成果の詳細

我が国の色素増感太陽電池関連技術の世界における優位性を堅持するためには、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、そのためには、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、産学連携による強力な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を活発化させるとともに、その優れた知見に基づくフィードバックを基盤に、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の力を相乗的に持ち寄ることで、実用化に向けた強力な推進力を生み出す新研究開発体制を構築する。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方向である。

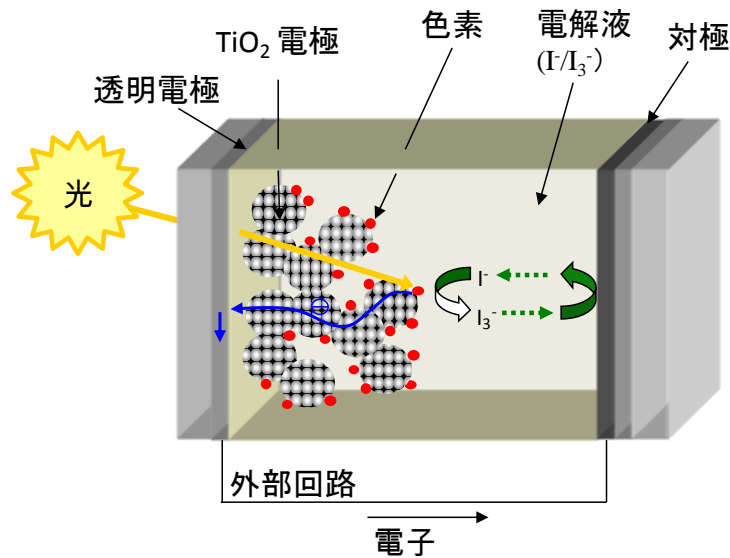
そこで、これら“三層”に注目した研究開発体制、具体的には三つの研究グループを構成する。まず、“三層”それぞれの部材において高性能材料を開発する“材料開発グループ”、そして、“三層”で起こる様々な光誘起反応（電子注入、再結合等）や材料の劣化機構を解析する“メカニズム解析グループ”そして、得られる成果を統合し高効率、高耐久性セルおよびモジュールを開発する“セル・モジュール開発グループ”である。これらの研究開発グループが結集し、お互いの研究成果のフィードバックを通して研究開発を加速し、目標の達成を実現する。

(1)-1 高効率化技術（セル）／シングルセル

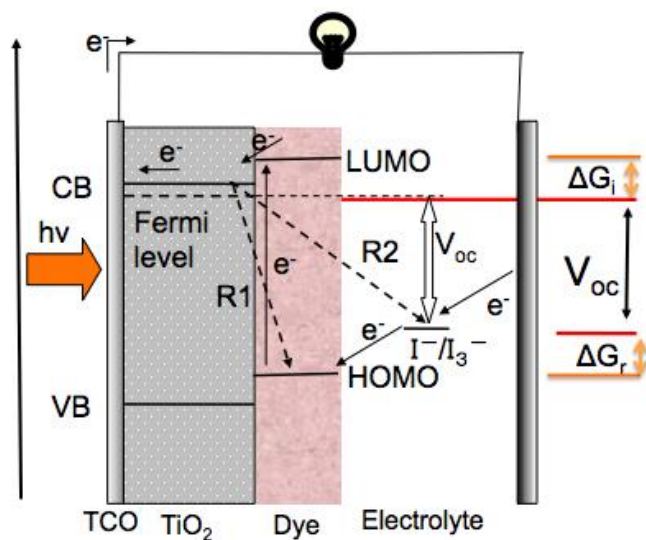
① 色素増感太陽電池の高効率化の指針

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変換効率 15%を達成する。



図III-2-(ニ)-A-1(1) 色素増感太陽電池の構成概略図



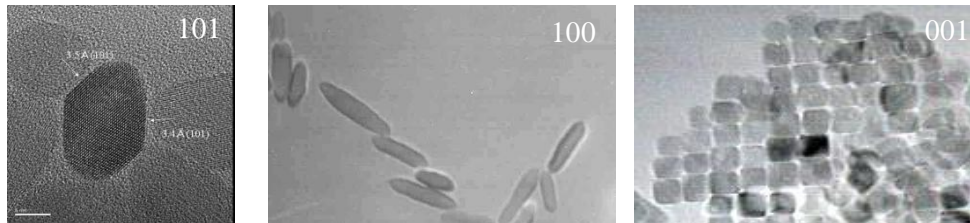
図III-2-(ニ)-A-1(2) 色素増感太陽電池のエネルギーダイアグラム

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。

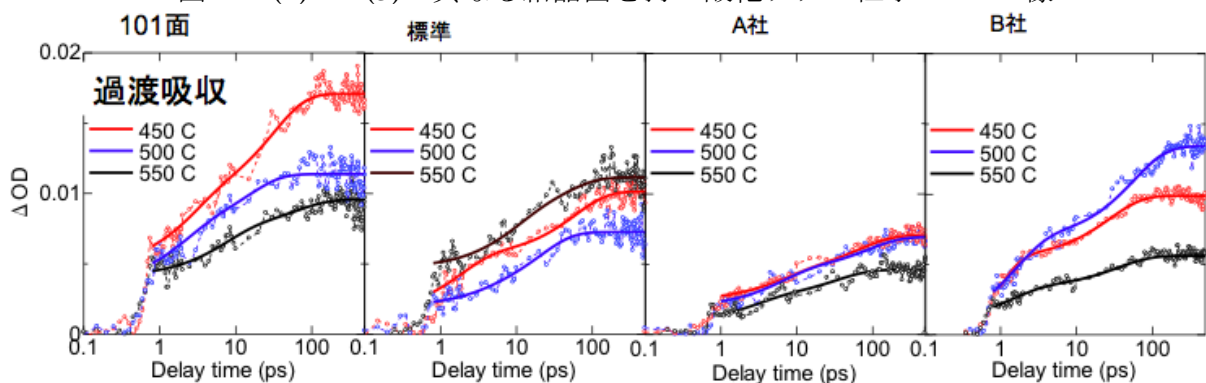
- 1 電子注入効率の高い酸化チタンの開発
- 2 電荷再結合を抑制する色素の開発
- 3 還元し易い色素の開発
- 4 再結合を抑制し、色素を還元し易いレドックス対の開発
- 5 長波長化／高吸収係数色素の開発（ ΔG 低減に伴う周辺技術）

①-1 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)

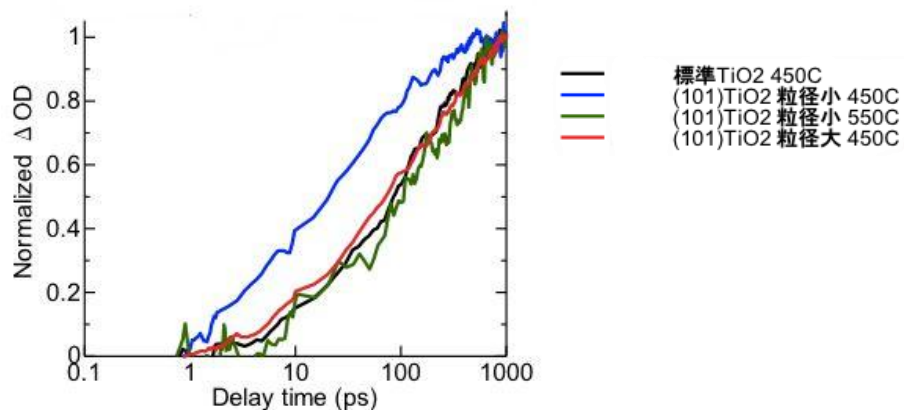
電子注入に必要な ΔG として約 0.2eV 必要な理由として、通常の酸化チタン粒子の表面にさまざまな結晶面が露出していることが原因として考えられる。そこで異なる結晶面が選択的に露出した酸化チタン粒子を合成し、その電子注入速度を測定した。なお、電極は異なる酸化チタン粒子を異なる焼成温度を用いて作製した。



図III-2-(ニ)-A-1(3) 異なる結晶面を持つ酸化チタン粒子の TEM 像



図III-2-(ニ)-A-1(4) 色素から酸化チタンへの注入過程



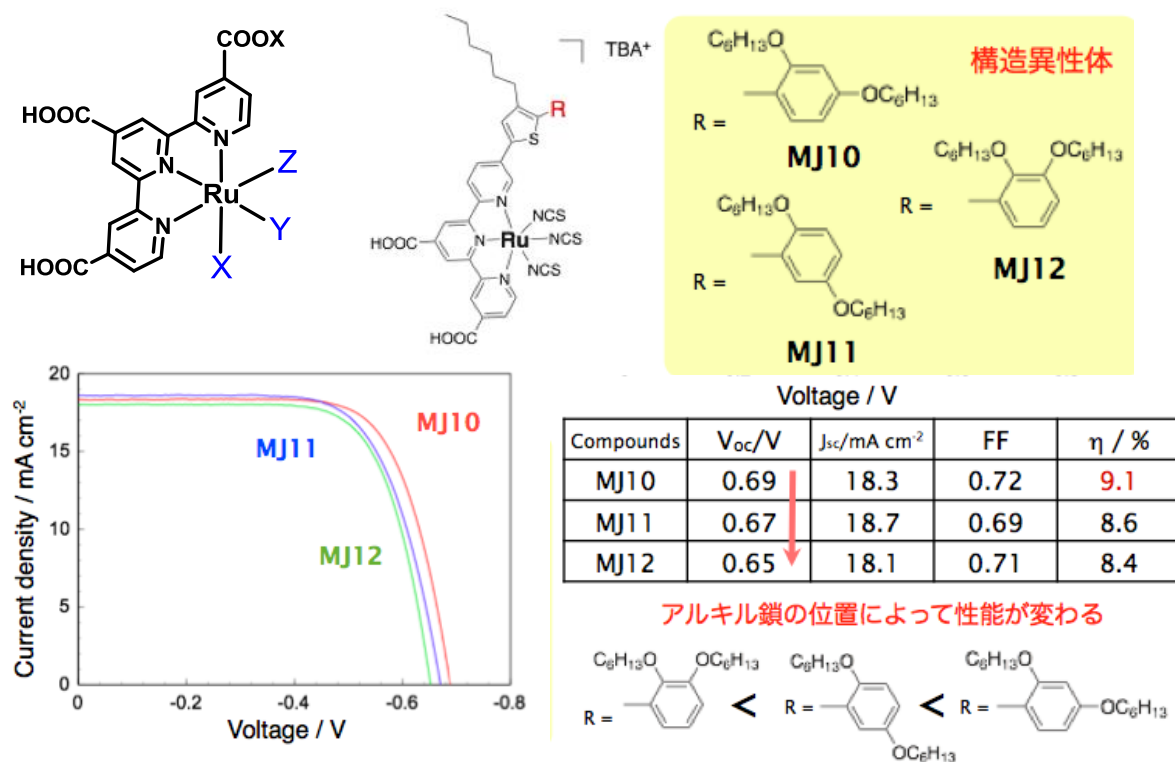
図III-2-(ニ)-A-1(5) 色素から酸化チタン(101)面への注入過程 (規格化)

酸化チタン粒子の合成法と焼成温度共に注入速度に影響があり、酸化チタンの合成を制御することで、性能が向上する余地があることが分かった。

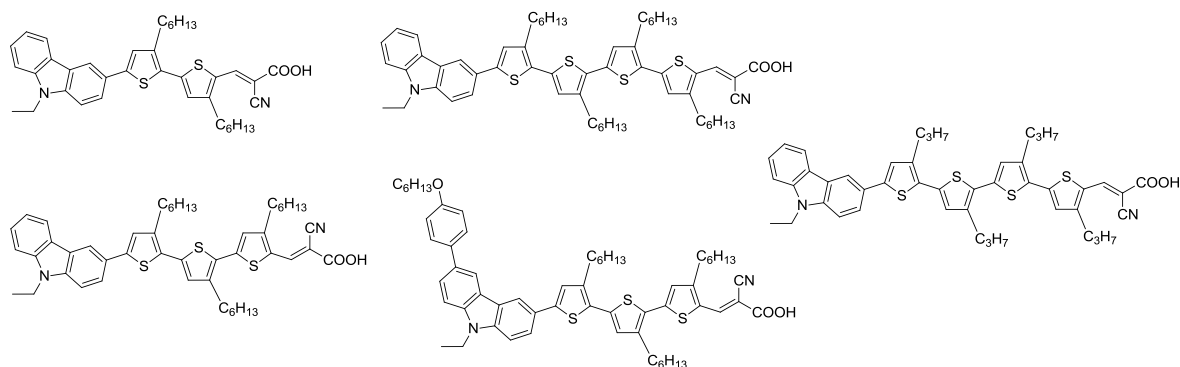
①-2 電荷再結合を抑制する色素の開発 (信州大学)

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。そこでルテニウム錯体と有機色素に対して、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があった。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。再結合の抑制への効果はアルキル鎖の位置によって異なる。



図III-2(-)-A-1(6) 様々な位置にアルキル鎖を持つ新規ルテニウム錯体とそれを用いた太陽電池の性能

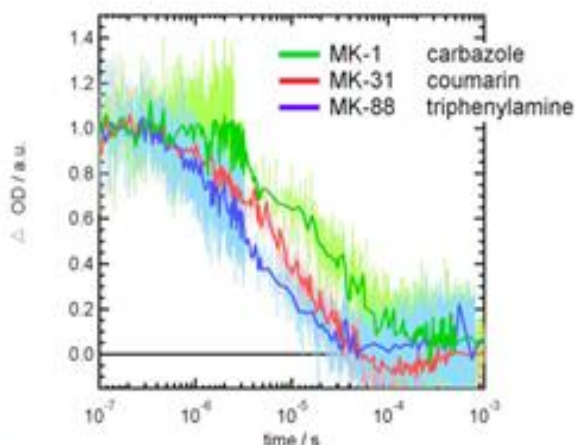


図III-2(-)-A-1(7) 様々な位置にアルキル鎖を持つ新規カルバゾール系有機色素

①-3 還元し易い色素の開発

(富士フイルム株式会社 再委託 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、色素カチオンの還元速度を測定したところ、クマリンが他の部位に比べて速いことが分かった。これはドナー部位の一部がレドックス対を引き寄せることで還元が速くなったと考えられ、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。



Reduction rate : triphenylamine > coumarin >> carbazole

Carbazole

HOMO / V (vs NHE) : 1.1

Coumarin

HOMO / V (vs NHE) : 0.85

Triphenylamine

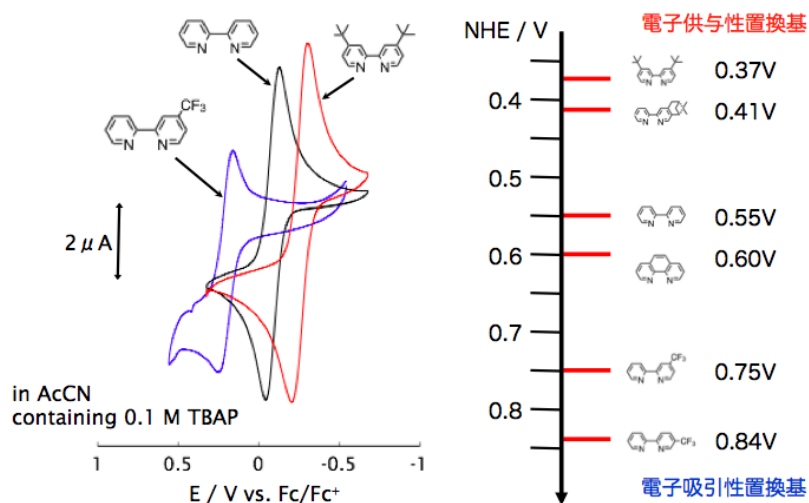
HOMO / V (vs NHE) : 1.0

図III-2(-)-A-1(8) 異なる部位を持つ色素を用いた太陽電池の ΔG

図III-2(-)-A-1(8)より、異なる部位を持つ色素を用いた太陽電池における色素カチオンの還元.カルバゾール色素は ΔG が小さい割に還元が速いことが示された。

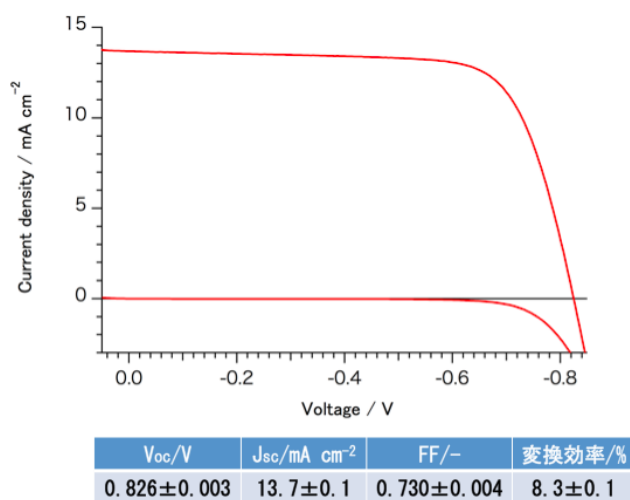
①-4 再結合を抑制し、色素を還元し易いレドックス対の開発（信州大学、メルク株式会社）

ΔG を低減させるために異なる酸化還元電位を持つコバルト錯体を合成した。図III-2(-)-A-1(9)にその錯体の配位子と酸化還元電位を示す。配位子の置換基によって大きく酸化還元電位が制御できることが分かる。これらを用いて太陽電池を作製したところ、酸化還元電位がより正側になるにつれて、電荷再結合が速くなり、電位差ほど開放電圧が向上しないことが分かった。またバルキーな配位子を持つコバルト錯体は電荷再結合を抑制することが分かった。そこで、これらの特性を組み合わせることで再結合を抑制しつつ ΔG を低減できる可能性が示された。



図III-2(-)-A-1(9) コバルト錯体の配位子と酸化還元電位の関係

また、これらのコバルト錯体レドックス対と図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(7)に示されるような有機色素を組み合わせてセルを作製したところ、最高効率として 8.3%、開放電圧は 0.83V の値が得られた (図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(10))

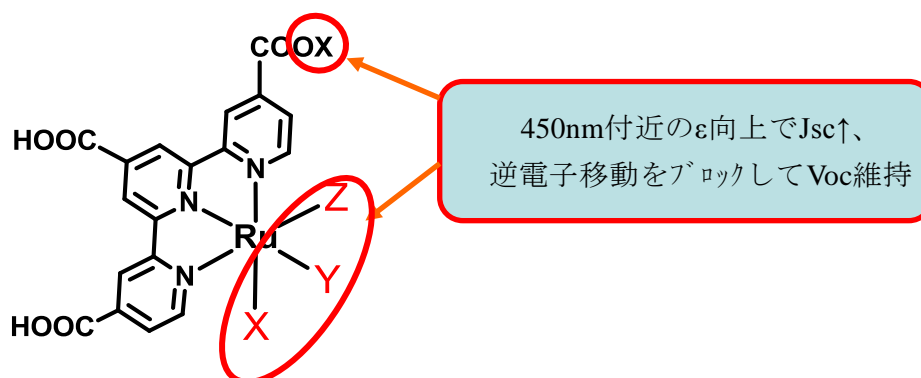


図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(10)有機色素とコバルト錯体レドックス対を用いた太陽電池の IV 特性

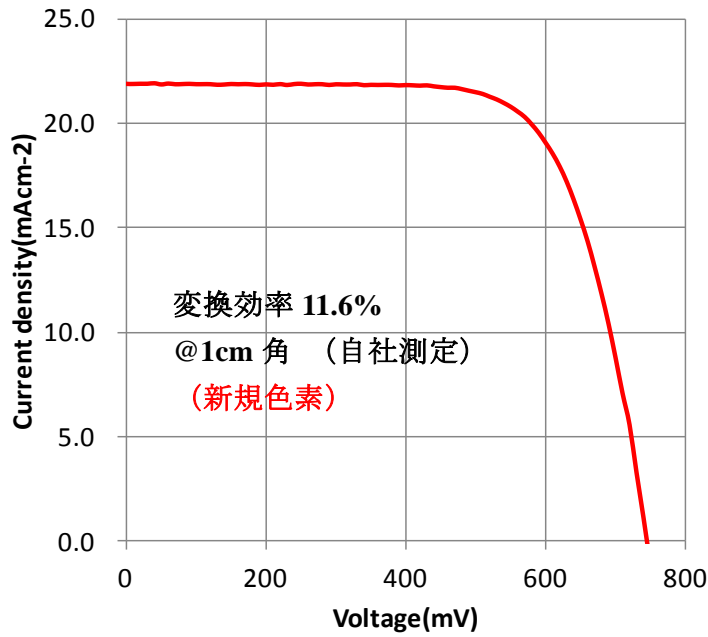
①-5 長波長化/高吸収係数色素の開発 (ΔG 低減に伴う周辺技術)

①-5-1 ターピリジン Ru 色素の短波可視域の ε 向上による Jsc 向上の検討
(富士フイルム株式会社)

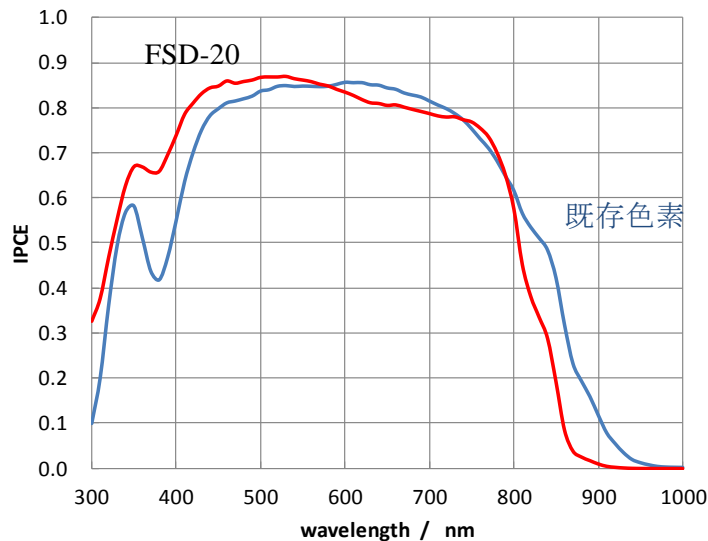
IPCE が 900nm まで長波で、これまで最も高い効率を示している Black Dye は、400nm~600nm の IPCE がピピリジン系の色素 N719 などと比べると低い、この部分のモル吸光係数を高めることで、Jsc を向上させることができると考えた。この観点で新たに設計・合成したターピリジン Ru 色素 FSD-20 は、Black Dye と同等以上の変換効率を示すことがわかった。Ru 色素 FSD-20 を用いて、①-6 セル化技術を活用したセルの IV 特性と IPCE 特性を図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(12)に示す。



図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(11) 新設計ターピリジン系 Ru 色素 FSD-20 の設計



(a) IV 特性



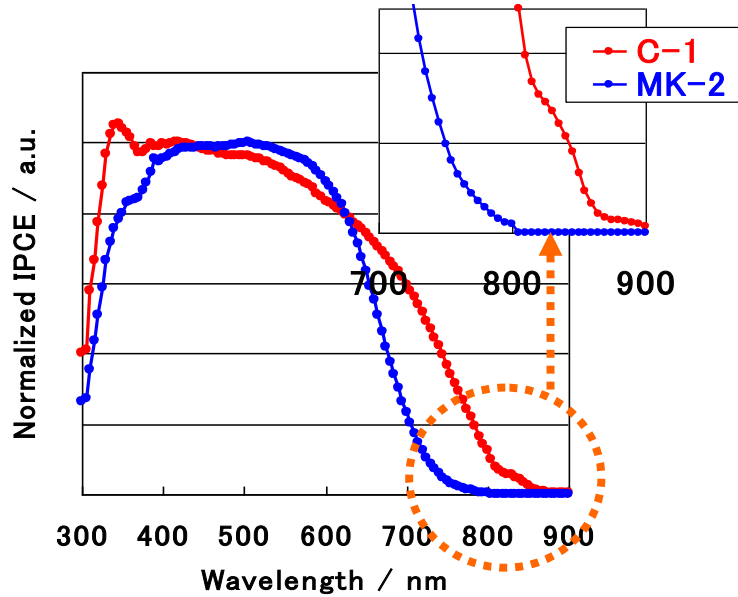
(b) IPCE 特性

図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(12) FSD-20 を用いたセルの電池性能

①-5-2 D- π -A 型有機色素の π 共役部位の導入(綜研化学株式会社)

MK2の π 共役部位に相当する部分を改良することで長波化を狙った色素の設計と合成を検討してきた。

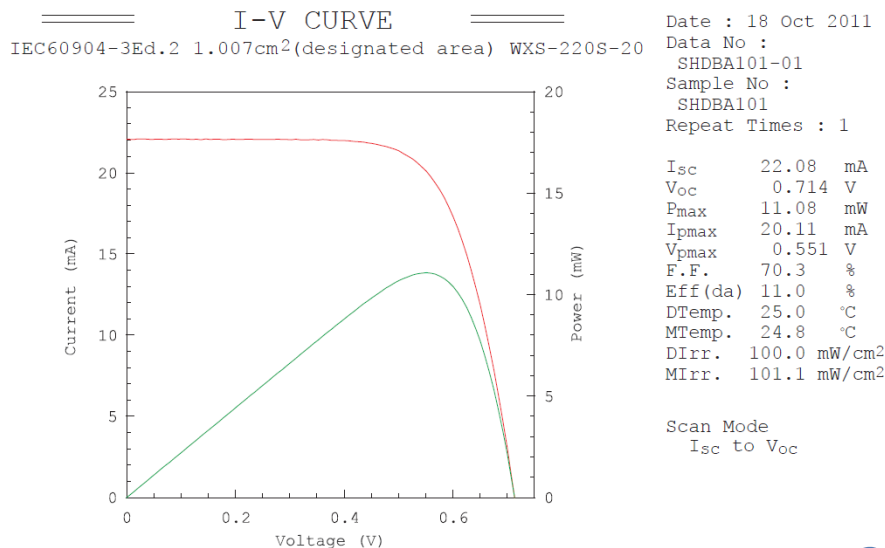
その結果、これまでで最も波長の長かったベンチマークの有機色素 MK-2 よりも長波長化する C-1 の合成に成功した。C-1 は、ベンチマークの有機色素 MK-2(800nm)よりも IPCE の長波端が長波長化 (880nm)することが分かった。現在、Co レドックスとの組み合わせでも機能する構造設計を取り入れ、Jsc、Voc のどちらも向上させる設計を探索中。これにより、大幅効率向上を狙う。



図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(13) C-1 を用いた色素増感太陽電池の IPCE スペクトル

①-6 セル化技術 (シャープ株式会社)

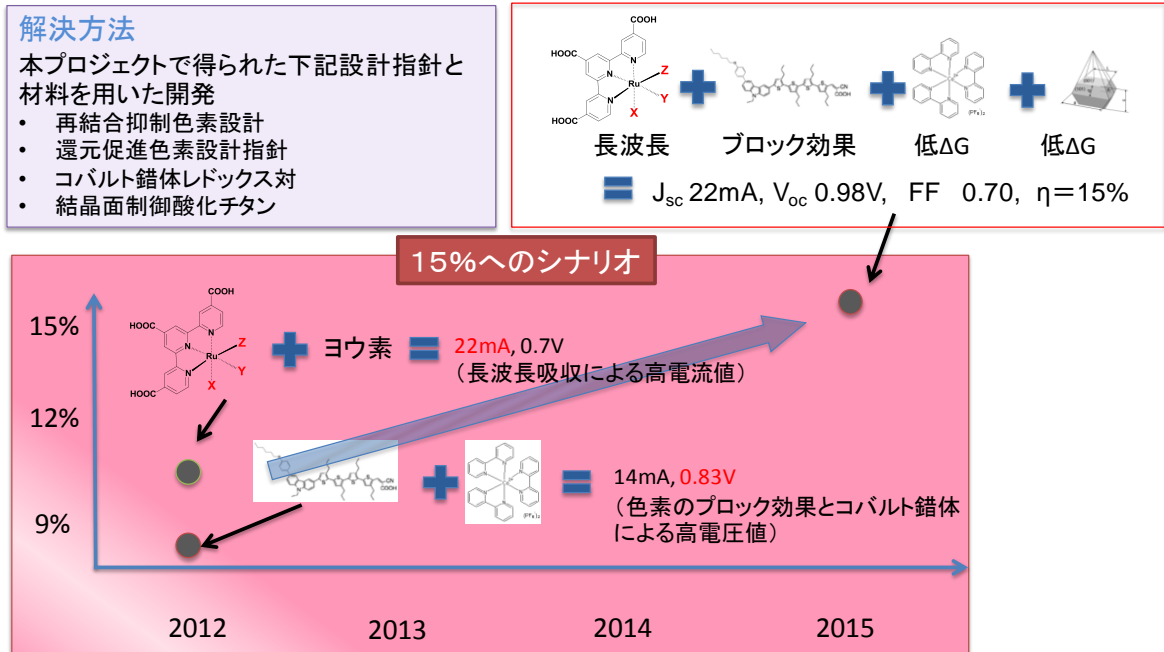
色素増感太陽電池は、酸化チタン、色素、電解液による三層界面の制御が重要であり、各材料設計指針に基づき設計された材料の能力を十分に引き出すためには、各界面の制御の適正化が必要不可欠である。界面の基礎となる酸化チタンの形成は、(1)-2 モジュール化技術による酸化チタン基板均一形成技術を活用し、各色素における様々な吸着条件を検討、電解質組成の検討を行うことにより、既存色素(Black Dye)を用いた 1cm 角セルにおいて、中間目標である変換効率 11.0% (AIST 測定) を達成することができた。



図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(14) Black Dye を用いた色素増感太陽電池の IV 特性

①—7 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、順方向の電子移動は遅くなり、逆方向の電子移動は速くなる問題がある。しかし今回得られた色素の設計指針、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 15% を達成する。具体的には $J_{sc}=22\text{mA}/\text{cm}^2$ 、 $V_{oc}=0.98\text{V}$ 、FF 0.7 である。酸化チタンには結晶面を制御したものを、色素には、最適なアルキル鎖を持ち、かつ還元を促進する機能を持つもの、レドックス対には正側の酸化還元電位を持ち、かつ再結合を抑制する置換基を持つものを組み合わせることで達成する。



図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(15) 最終目標達成へのシナリオ

② 高効率化技術（セル）／タンデムセル（九州工業大学、新日鐵化学株式会社）

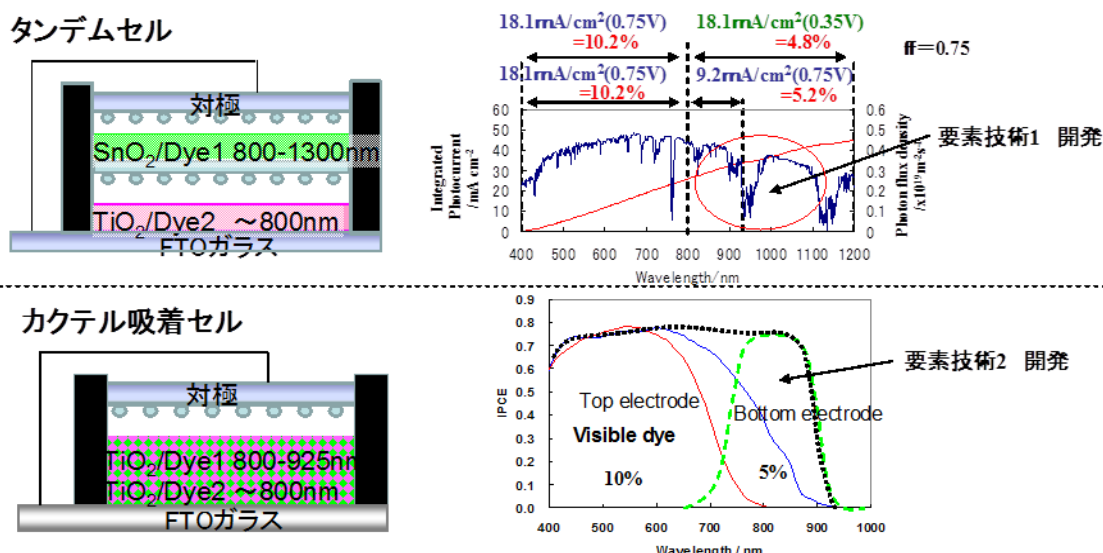
■ 研究目標

<最終目標（平成 26 年度末）> タンデムセルの開発目標

- ・ トップ電極（可視域光電変換）、ボトム電極（IR 域光電変換）からなるタンデムセルまたは、複数の色素（可視域光電変換用と IR 域光電変換用）を混合（カクテル）吸着するセル用に長波長色素を開発し、単色で吸収端 1300nm（タンデム）、925nm(カクテル)、効率 5%を狙う。さらにそれをうい、1 cm 角相当のタンデムセルまたはカクテル吸着セルにて 15 %相当を狙う。

<中間目標（平成 24 年度末）>

- ・ 要素技術 1 タンデム用ボトム電極の開発： 吸収端 1100 nm、IPCE50%
- ・ 要素技術 2 カクテル吸着型電極の開発： 吸収端 925 nm



図III-2-(二)-A-1(16) タンデムセルとカクテル吸着セル

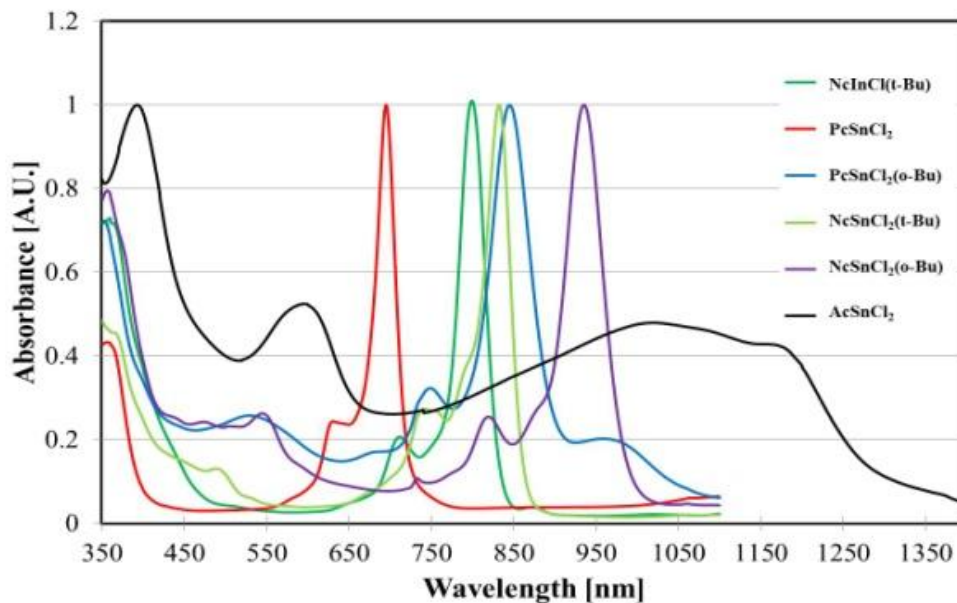
<中間目標 達成度：達成可能>

- ・ 吸収端が 1300nm、1100nm、900nm となる結合基を有し、分子軌道準位と結合基への LUMO 偏りを制御した色素合成に成功した。
- ・ タンデム用ボトムセル用色素として、950nm 吸収端で、IPCE40%となる新規な結合基を有する色素を見出した。
- ・ TiO₂用長波長色素として耐久性フタロシアニン色素で 900nm 吸収端で、単色セルにて発電を確認した。
- ・ TiO₂用長波長色素として耐久性ポルフィリン色素で吸収端 950nm となる色素を合成し単色セルにて発電を確認した。
- ・ 長波長領域の光電変換効率の低下は、色素の会合による励起電子の失活と推測され、色素骨格に立体障害を有する置換基を導入することにより IPCE 向上の見込み。

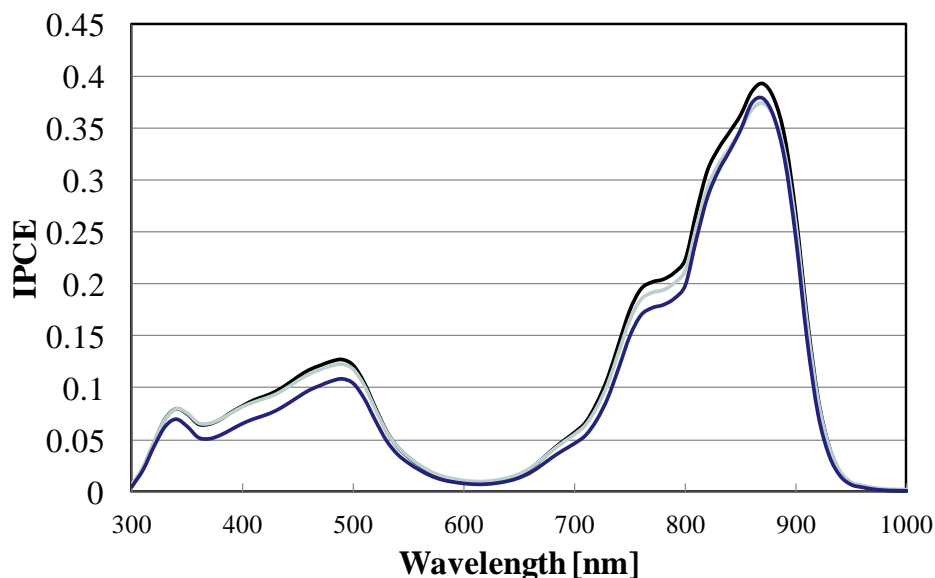
■ 成果の意義

要素開発 1：タンデム用ボトム電極の開発（九州工業大学、新日鐵化学株式会社）

耐久性を有するフタロシアニン系色素で 1300 nm に達する色素母体構造を合成し、スペクトルを確認した（図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(17)）。これらの色素は分子軌道計算で吸収波長と軌道準位の整合性を予測の元に吸着用結合基を付与し、設計、合成したもの。ボトム電極に必要な酸化錫で特異的に発電する色素構造を新しく見出した。発電に成功した開発色素の現状性能は、図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(18)に示すように IPCE: 0.4, IPCE 端 950 nm が得られた。これらの長波長色素設計技術を駆使し、今後カクテル用色素で吸収端 925nm の色素開発を狙う。



図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(17) フタロシアニン色素スペクトル



図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(18) IPCE

要素開発 2：カクテル吸着用長波長色素の開発（九州工業大学、新日鐵化学株式会社）

低価格化が期待できる TiO₂ を使用するカクテル吸着用長波長色素の開発を行った。1300nm までの色素合成技術を応用することで、カクテルセルの目標である吸収端 925nm を有しアンカー機能を持ち耐久性が期待されるフタロシアニン系色素、およびポリフィリン系色素を合成した。図 III-2-(ニ)-A-1(19) に合成した色素の紫外可視吸収スペクトルを示す。吸収端 950nm の Por-1 を合成でき、図 III-2-(ニ)-A-1(20) に示す IPCE 曲線が得られ、発電を確認した。長波長域で IPCE が小さいのは、色素の会合による励起寿命の減衰が原因と考えられる。今後会合を防止する分子構造を導入することにより、近赤外域で高い IPCE 値が得られる見込みである。

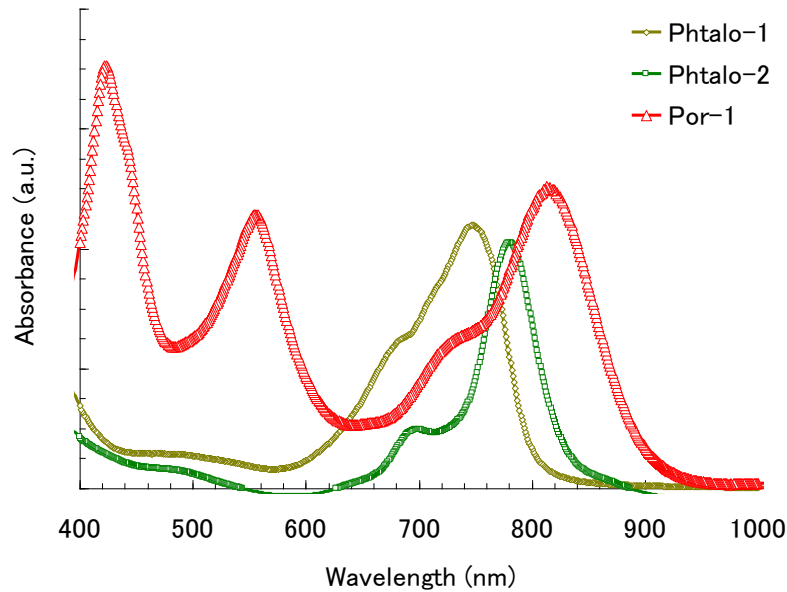


図 III-2-(ニ)-A-1(19) 耐久性を有する新フタロシアニン系、新ポリフィリン系色素の吸収スペクトル

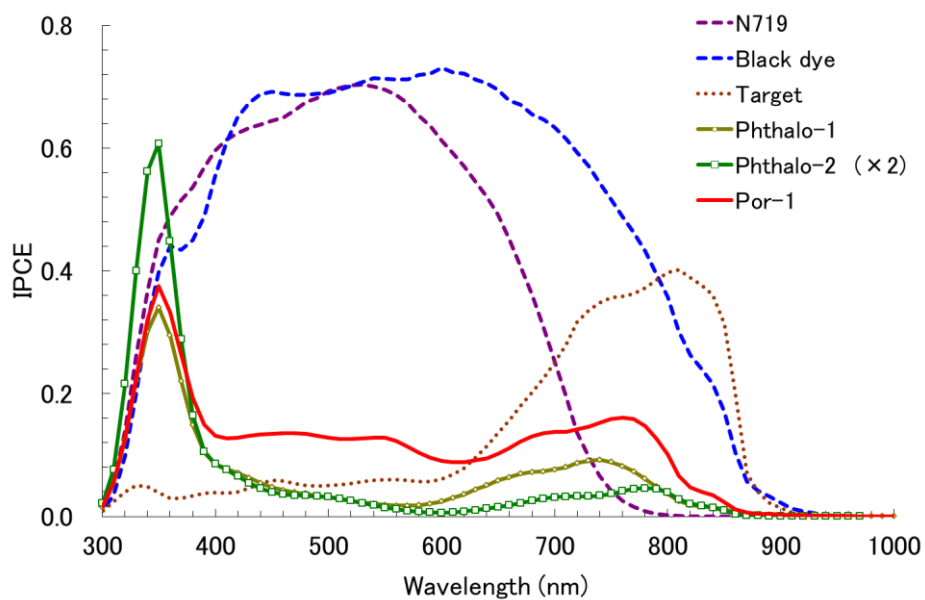
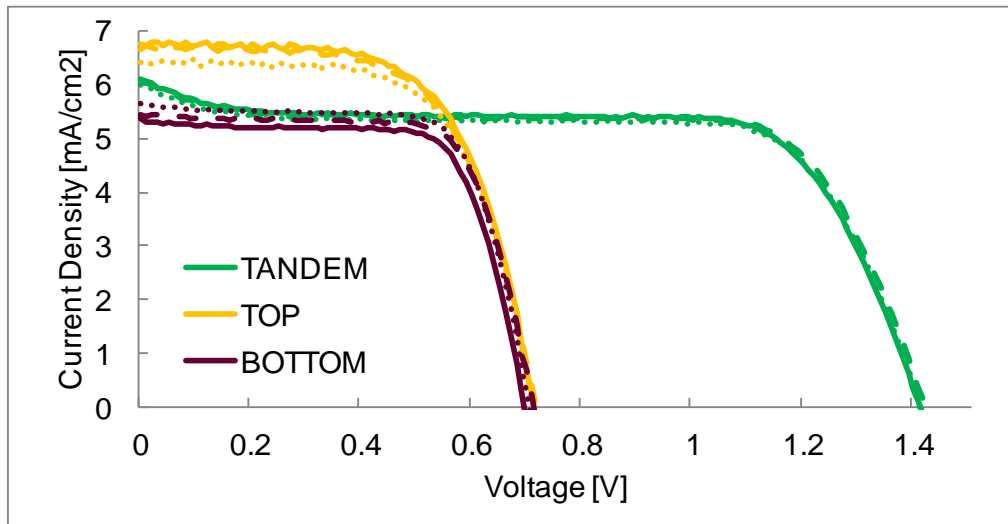


図 III-2-(ニ)-A-1(20) 耐久性を有する新フタロシアニン系、ポリフィリン系色素を用いた IPCE 曲線

新タンデム構造の提案、実証 (九州工業大学)

従来のタンデム型色素増感太陽電池は高コストの透明導電膜基板を3-4枚使用することが一般的でありコスト上昇が懸念されている。今回、ボトムセルにバックコンタクト構造を導入することにより、透明導電膜ガラスを一枚に削減することができ低コスト化新規技術が構築できた。可視域の吸収を有する2種類のモデル色素を使いタンデムセルとして動作するかどうかを検証した。検証結果を図III-2-(ニ)-A-1(21)に示す。本セル構造によりタンデムセルの低コスト化が可能なアプローチであることを実証した。タンデムセルの低コスト化の第一歩として期待できる。



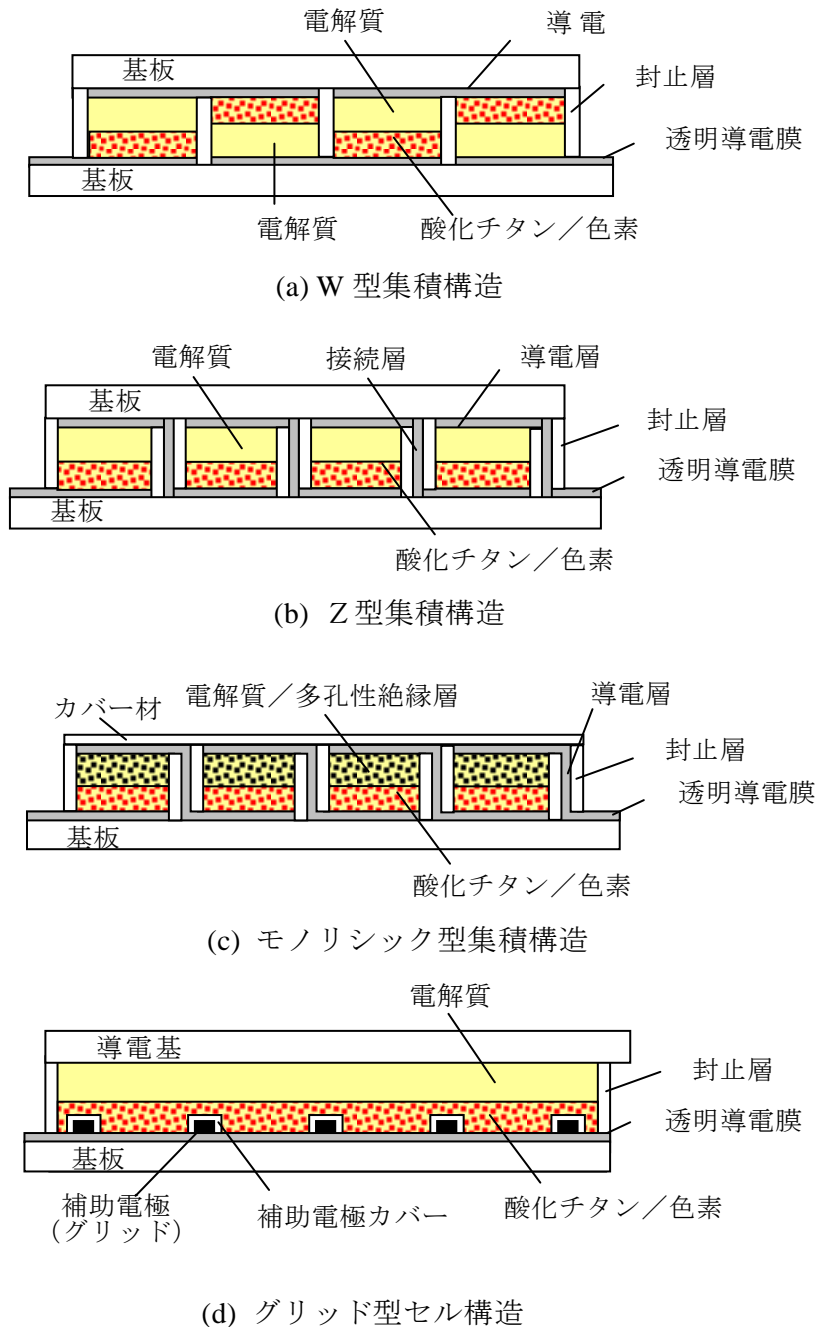
図III-2-(ニ)-A-1(21) タンデムセルの性能

(1)-2 モジュール化技術

① 低コスト・量産型色素増感太陽電池モジュール構造の選定（シャープ株式会社）

色素増感太陽電池には、様々なモジュール構造が存在し、それぞれの構造において、性能、低コスト性、量産性などの優位性が全く異なるため、低コスト・量産型色素増感太陽電池モジュールの実証を目指す研究開発においては、どの構造を選択するかが非常に重要となる。

ここで、図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(22)に各モジュール構造を記載する。



図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(22) 色素増感太陽電池モジュール構造例

(a) W型集積構造

図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(22) (a)に示す構造はW型集積構造といわれ、所定の場所に導電層ないし透明導電膜（TCO）が形成された2枚の基板上に一つおきに素子を作製し、2枚の基板上の素子が互い違いになるようにそれぞれの基板を張り合わせることで各セルを作製し、それぞれが直列接続される。

(b) Z型集積構造

図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(22) (b)に示す構造はZ型集積構造といわれ、1枚のTCO付き基板上に素子を作製し、もう一枚のTCO付き基板を対極として使用する。素子を作製したTCO付き基板と対極を張り合わせて各セルを作製し、セルと隣り合う対極とを電氣的に接続させる接続層を作製することにより、それぞれが直列接続される。

(c) モノリシック型集積構造

図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(22) (c)に示す構造はモノリシック集積構造といわれ、Z型集積構造のTCO付き基板を1枚にした構造であり、酸化チタンなどの各層を順次下部層上に直接形成させて、最終的に、各セルを直列接続させる構造となっている。

(d) グリッド型セル

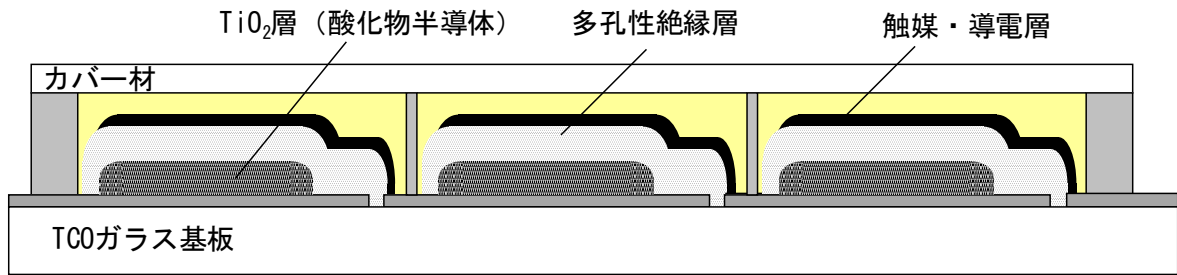
図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(22) (d)に示す構造はグリッド型構造と言われ、集積構造ではなく、ユニットセル構造である。この構造は、TCO上に酸化チタンなどを大きく形成するため、発電した電子を取り出すときに、TCO電極の抵抗が大きく影響する。そのため、銀などで補助電極（グリッド電極）を形成し抵抗低減を行っている。ただし、色素増感電池ではヨウ素系の電解液を使用するため、電極腐食防止のためカバー材を形成する必要がある。

ここで、色素増感太陽電池におけるモジュール構造をW型、Z型、モノリシック型、グリッド型に分類し、低コスト性と量産性の両面から解析を行った。

表Ⅲ-2-(ニ)-A-1(1) モジュール比較

モジュールタイプ	W型	Z型	Monolithic型	Grid型
・使用基板（現状） ・TCO基板使用枚数	TCO基板 2枚使用	TCO基板 2枚使用	TCO基板 1枚使用	TCO基板、メタル基板など 2枚 or 1枚+メタル基板
TCO基板1枚化の可能性（低コスト性）	可能（実証済）	⇒Monolithic型	TCO1枚構造	可能
TCO基板1枚化の課題・問題点（量産性）	プロセス数・多	—	検討例・少	プロセス数・多（外部接続） 高集積密度化・難
国内実施研究機関	Sharp	Sony	アイシン精機 Sharp（NEDOプロで単セル実証）	フジクラ Sony

その結果、各モジュールタイプに関する特徴を列挙したが、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。



図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(23) モノリシック構造 (断面概略図)



図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(24) モノリシック構造 (写真)

② モノリシックモジュールの高効率化 (シャープ株式会社)

モノリシック型構造の課題抽出検討において、多孔性絶縁層を TiO₂ 電極層に積層するだけで短絡電流密度 (Jsc) と曲線因子 (FF) がそれぞれ、10%、5.5%低下する問題が判明した。色素吸着量測定および交流インピーダンス法による内部抵抗解析を行ったところ、Jsc 低下は色素吸着量の減少、FF 低下はイオン拡散抵抗の増大が主な原因であることが判明した。

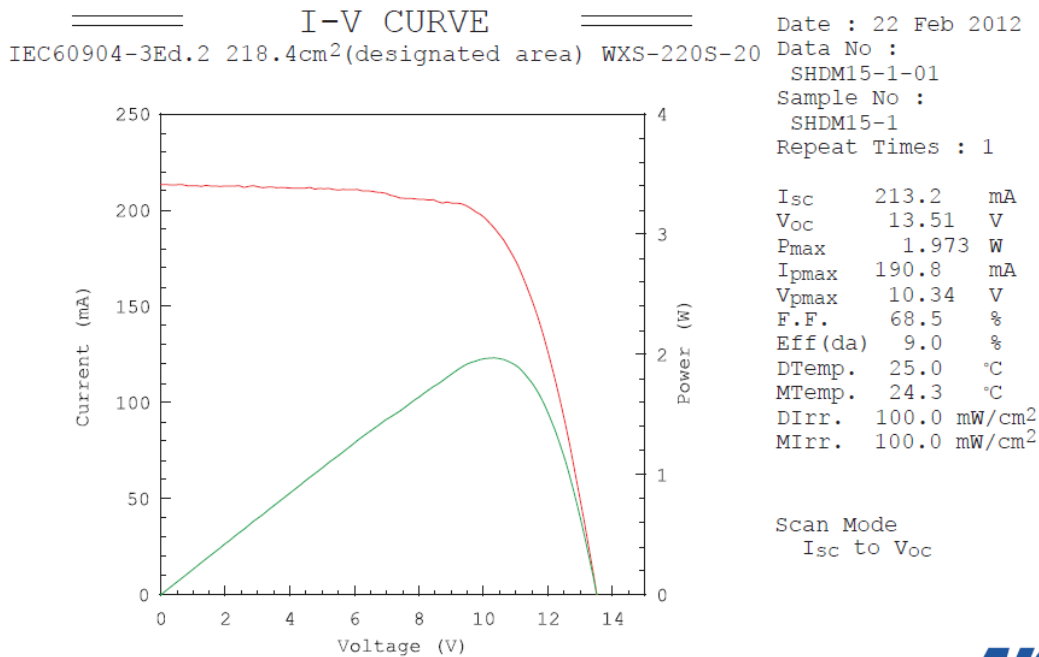
そこで、色素吸着量の減少による Jsc 低下を改善すべく、多孔性絶縁層の検討を行った。その結果、表Ⅲ-2-(ニ)-A-1(2)に示すように Jsc の低下を約2%まで低減することに成功した。また、多孔性絶縁層内を移動するイオンの拡散抵抗も低減したため、FF の改善も可能となった。

表Ⅲ-2-(ニ)-A-1(2) 多孔性絶縁層を薄膜化した場合の IV 特性の変化
(Voc: 開放電圧、Eff.: 変換効率)

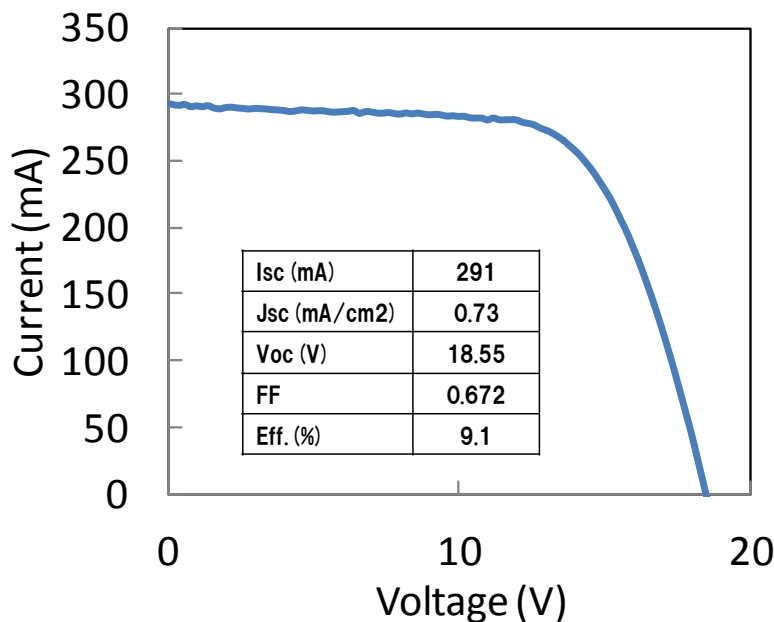
	Jsc(mA/cm ²)	Voc(V)	FF	Eff.(%)
サンドイッチセル (ref.)	20.81	0.673	0.660	9.25
モノリシックセル (改良後)	20.37	0.372	0.657	9.00

上記多孔性絶縁層薄膜化による Jsc 向上と、受光面積率の向上技術 (82.0%→92.1%) を用いて、モノリシック型のユニットセルを直列接続した 5cm 角モジュール検討を行い、変換効率 9.2% (AIST 測定値) という変換効率を得ることができた。

これらのモノリシックモジュールの作製技術を基に、大面積化検討を行った。5cm 角から、10cm 角、15cm 角、20cm 角と大面積化検討を行い、図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(25),(26)に示す通り、変換効率を低下させることなく、大面積化を行うことが可能となり、15cm 角サブモジュールで変換効率 9.0% (AIST 測定)、20cm 角サブモジュールで変換効率 9.1% (自社測定)を達成した。なお、これらの値は集積型色素増感太陽電池における世界最高効率である(弊社調べ)。今後、高効率化技術(セル)からのフィードバックを行い、最終目標の達成を目指す。



図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(25) 15cm 角モノリシックサブモジュール IV 特性



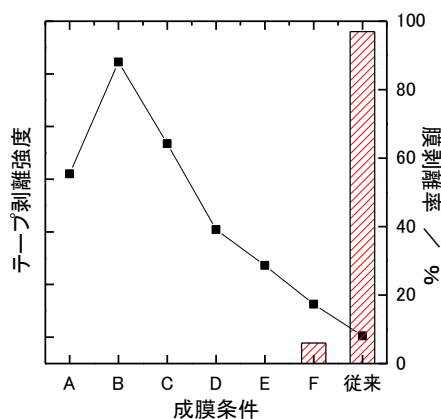
図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(26) 20cm 角モノリシックサブモジュール IV 特性

③高耐久性モジュール材料の開発（住友大阪セメント株式会社）

本研究開発では、実用化を目指した高効率・低コスト・量産型色素増感太陽電池の実現の為に、環境、資源、性能のバランスを考慮したモジュール形成材料を検討する。具体的には、酸化物半導体多孔質膜、絶縁性多孔質膜、触媒材料含有導電膜が必要であり、各それぞれの適している材料を見出し、これらの材料を大面積化が容易に行うことができるスクリーン印刷用ペースト化を行う。

a. 酸化物半導体材料

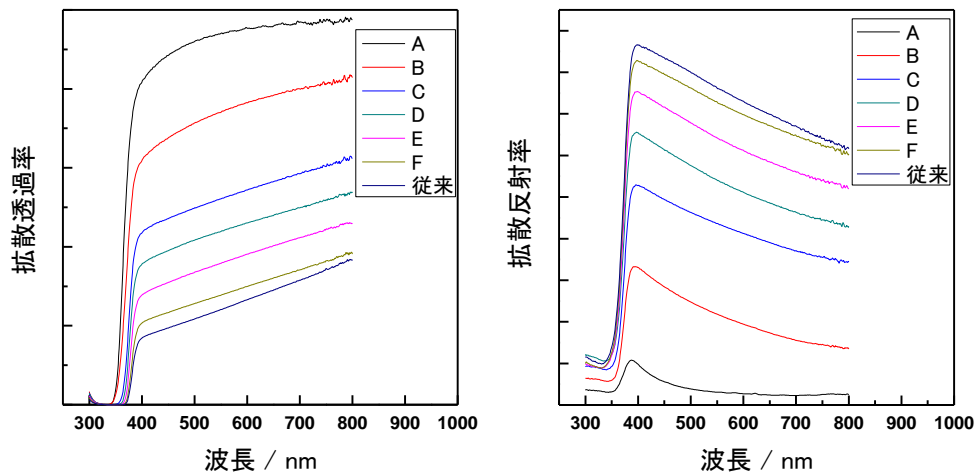
モジュール材料は、太陽電池の電極構造によって必要となる材料が異なる。プロジェクトコンソーシアム内での開発の方向性を統一し、検討を開始した。低コストの色素増感太陽電池モジュールを開発する上でのコンソーシアム内での目指すべきモジュール構造をTCO ガラス基板1枚のみ利用したモノリシック型とした。決定された構造での問題点抽出の為に、従来のセパレート型セルの負極に対し、絶縁性多孔質膜の積層印刷した結果、酸化物半導体層に膜剥離が生じた。これは、光閉じ込め効果を高める為に、光散乱性の高い粒子径の大きな粒子を利用しているが、本粒子を含むペーストを印刷焼成し、成膜されたのみでは粒子接合力が弱いことが起因していることが分かった。このため、粒子接合力を高める検討を実施し、機械的強度への影響、電池特性への影響、光学特性への影響を確認した。図III-2-(ニ)-A-1(27)、表III-2-(ニ)-A-1(3)、図III-2-(ニ)-A-1(28)に示すとおり、強度を増す処理を施すと性能への影響が確認された。このため、性能低下を抑制しつつ、積層構造を得られる条件としてEを積層構造検討の標準品として決定し、コンソーシアム内大面積モジュール検討担当先にサンプル提供した。



図III-2-(ニ)-A-1(27) 膜成膜条件による機械的強度への影響

表III-2-(ニ)-A-1(3) 膜成膜条件による電池性能への影響

TiO ₂ 積層条件	TiO ₂ 積層膜			
	Jsc	Voc	FF	Eff
A	0.82	1.01	1.02	0.85
B	0.80	1.03	1.03	0.85
C	0.93	1.01	1.02	0.95
D	0.94	1.01	1.02	0.97
E	0.96	1.02	1.02	0.99
F	0.97	1.01	1.01	0.98
従来	1.00	1.00	1.00	1.00



図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(28) 膜成膜条件による光学特性への影響

前項の検討により、酸化物半導体と絶縁性多孔質膜の積層構造を歩留まり良く得ることに成功した。この構造においては、従来のサンドイッチ型構造ではなかった多孔質層が挿入されている為に、電解質の拡散阻害によって性能低下の可能性がある。この影響は電池特性の短絡電流密度 J_{sc} および形状因子 FF が低下することが予想される。積層膜の電池性能の結果を表Ⅲ-2-(ニ)-A-1(4)に示す。

表Ⅲ-2-(ニ)-A-1(4) 積層構造膜の電池性能

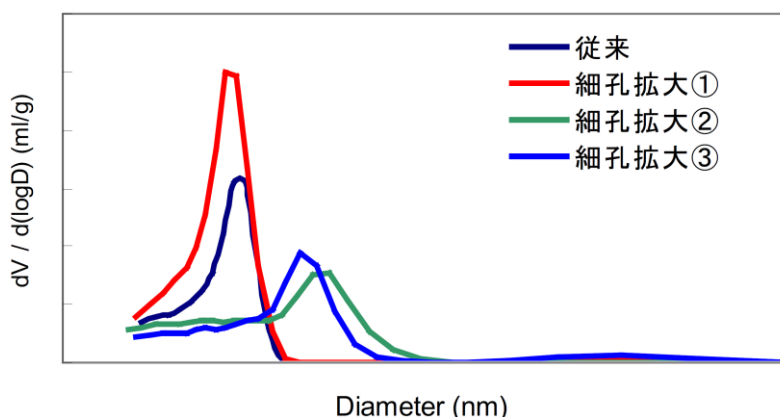
TiO ₂ 積層条件	成膜剥離率	TiO ₂ 積層/INS積層膜			
		J_{sc}	V_{oc}	FF	Eff
A	0%	0.82	1.01	1.00	0.83
B	0%	0.91	1.00	1.01	0.91
C	0%	0.94	1.01	1.00	0.96
D	0%	0.96	1.03	0.99	0.97
E	0%	0.95	1.02	1.00	0.97
F	6%	0.96	1.00	1.01	0.97
従来	97%	-	-	-	-

この結果より、 J_{sc} 低下についてすべての条件について確認されたが、 FF の低下については起きていない。本検討においては、性能低下を光電変換効率が9%以上の高いレベルで確認することから始めている関係で、使用した電解液の粘性が低く、電解質レドックスのイオン拡散が早い為に現象として現れていないと考えている。このため、耐熱試験に耐えうる電解液を数種類検討する必要がある。

また、酸化物半導体膜に求められる特性の一つに細孔構造最適化がある。これは電解液のイオン拡散に密接に関係する項目であり、イオン液体電解液や高沸点溶剤電解液の場合は、細孔内のイオン拡散による抵抗増の影響が光電変換特性を低下させることが知られている。本検討では従来の2倍の細孔径を有する酸化チタン多孔質膜を形成できるペーストの開発を行い、コンソーシアムの高効率化検討、電解質開発、モジュール開発の各担当に材料を提供した。Co 錯体、イオン液体電解質などの検討に本改良品の結果を含んでいる。

b. 絶縁材料

モジュール検討先より、絶縁性多孔質膜形成ペーストを使用すると色素吸着性が低下するとの報告を受け、これらの問題について検討を行った。色素吸着量の変化については、当社の検討においては吸着量の減少は見受けられず、絶縁性材料由来である可能性や多孔質膜の細孔径が影響し色素吸着を阻害している可能性などを検討している。図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(29)に細孔径を変更した例を示す。



図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(29) 多孔質絶縁層の細孔径拡大検討

色素の吸着阻害に関して、電極を色素溶液に浸漬した際に、多孔質構造である絶縁層内を通過する色素の移動性に関する物理的な要因と、絶縁層材料そのものが関与する化学的な要因を想定し、絶縁層の構造および絶縁材料について検討を行い、色素吸着阻害要因を抽出した。また、絶縁層を積層して作製したセルの JIS 規格 C8938 耐熱性試験 (B-1) を実施し、耐久性のある色素吸着量低減を抑制した材料を開発し、モジュール検討先に提供した。平成 24 年度は、これまでの検討で得られた知見を基に、大面積、連続印刷対応絶縁層ペースト開発を行っている。

c. 触媒・導電材料

平成 22 年度は、耐熱試験を行った際に、触媒として用いている白金が溶解してしまうことによって、著しい性能劣化を示す問題を解決する為に、材料スクリーニングとして金属、合金、炭化物、窒化物など、計 40 種類以上の材料に対して、現在も耐熱試験を実施した。また、代替材料となる材料として報告のあった高分子系材料に関して検証を行った結果を示す。

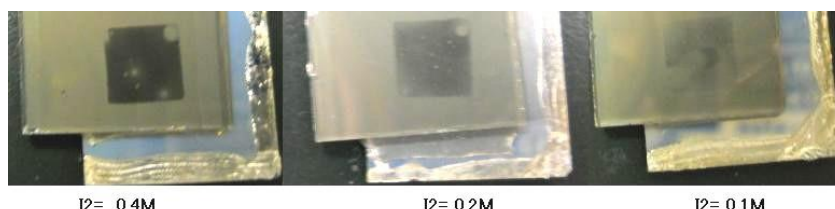
表Ⅲ-2-(ニ)-A-1(5) 触媒材料の耐熱評価

触媒材料	加熱前				85°C×250h後				劣化率
	Jsc	Voc	FF	Eff	Jsc	Voc	FF	Eff	
導電性ポリマーA	0.32	0.77	0.29	0.07	0.40	0.59	0.72	0.17	2.46
導電性ポリマーB1	0.48	0.88	1.07	0.45	0.35	0.72	1.10	0.28	0.63
導電性ポリマーB2	0.98	0.98	0.83	0.80	0.82	0.97	0.43	0.34	0.43
Pt	1.00	1.00	1.00	1.00	0.10	0.78	0.55	0.04	0.04

加熱試験後、白金は、大幅に性能低下を示しており、セルを観察すると溶解していることが分かった。一方、導電性ポリマーはポリマーB2において、加熱試験前では、短絡電流密度は白金並みの性能を示し、白金代替材料として期待できる結果であったが、加熱試験

後では、FF が低下した。ポリマーの膨潤も若干ながら確認でき性能劣化要因の一つと考えられる。長期安定的な触媒性能を得る為には、固定化することも検討する必要がある。

色素増感太陽電池の構成材料である電解質は、一般的にヨウ素系化合物等を用いている。このヨウ素はハロゲン族であることから、水を含んだ状態においては高い腐食性を示し、図Ⅲ-2-1-(30)に示すように白金をも溶解させる。熱耐久性試験に熱的安定性に優れているイオン液体を溶媒とする電解液（メルク社製）を用いて、60 種以上の材料スクリーニングを実施し、耐久性材料の抽出を行った。



図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(30) ヨウ素電解液のヨウ素濃度と白金溶解性
(黒色になっている部分が溶解している部分：裏面より観察)

導電性材料とイオン液体電解液をガラス瓶に入れ密閉し、85℃で 1000 時間後に目視およびイオン液体電解液中の成分を ICP で分析し溶解性を確認した。表Ⅲ-2-(ニ)-A-1(6)に試験をクリアした 10 種余りの材料を示し、表の中に各材料の概算価格を記載した。イオン液体電解液中のヨウ素濃度が材料溶解性に影響を与えることも確認した。

表Ⅲ-2-(ニ)-A-1(6) 導電材料候補

材料	概算単価(円/kg)	抵抗率(Ω cm)
カーボン	500	5.0E-05
チタン	2,000	4.2E-05
A	9,000	9.0E-06
B	9,000	1.7E-05
C	6,500	4.0E-05
D	13,000	4.4E-05
E	6,500	4.5E-05
F	20,000	5.4E-05
G	6,500	6.1E-05
H	7,000	8.4E-05
I	9,000	9.1E-04

※c面内方向

これらの結果から、導電材料としての低コスト材料候補として、カーボンがもっとも低コストであり、有望であるが、更に低抵抗を望む場合には、金属チタンがコストパフォーマンスの高い候補である。しかし、チタンは酸化するため微粒子化が困難で印刷法などに適応が難しい等の課題がある。

触媒材料としてはカーボン系材料で触媒能を有することが確認できたが、それ以外では反応性は著しく低かった。現在、抽出したカーボン系材料を中心に触媒の最適化を検討し、大面積印刷対応の触媒導電ペーストの開発を行っている。

(2) モジュール化・耐久性向上

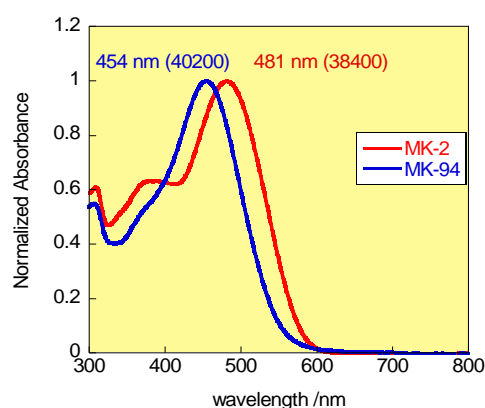
① 信頼性向上技術（単セル基礎技術）

①-1 吸着力向上による耐久性向上の分子設計指針の探索

（富士フイルム株式会社 再委託 独立行政法人 産業技術総合研究所）

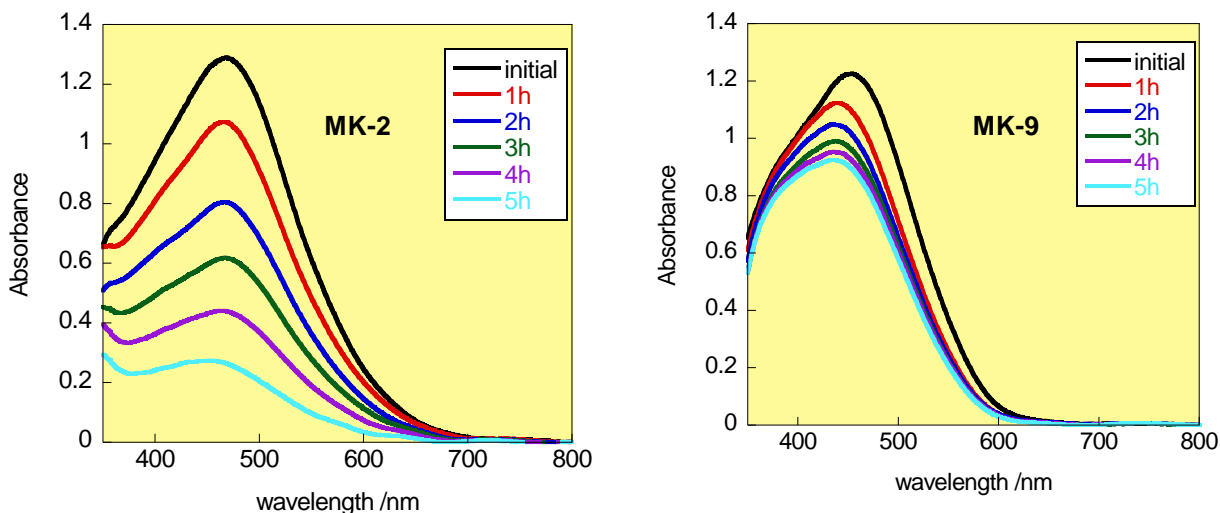
酸化チタンとの吸着を強固にし、85℃以上の高温条件で酸化チタンからの脱着しにくい有機色素の開発を目的とし、吸着基としてリン酸基を持つカルバゾール系有機色素の合成を行ってきた。

前駆体であるリン酸ジエチルエステル体の合成に関しては、前年度に合成に成功しており、脱エステル化反応の検討を行った。チオフェン環が一つの色素(MK-92)の脱エステル化はトリブロモボロンにより達成できるが、チオフェンが3つ(MK-93)および4つ(MK-94)の色素前駆体化合物の脱エステル化においては、トリメチルシリルブロミドにより達成することができた。このようにして得られたリン酸基を吸着基として持つカルバゾール系有機色素の溶液中および酸化チタン上の UV-vis スペクトルを測定した。20%THF-トルエン溶液での UV スペクトルを比較してみると、すべての場合において、通常のカルボン酸吸着基を持つカルバゾール系色素よりも約 30 nm も短波長にシフトしていることがわかった。それに伴い、酸化チタン上における UV スペクトルも短波長化し、リン酸吸着基を持つ太陽電池セルの IPCE スペクトルも全体的に短波長シフトした。

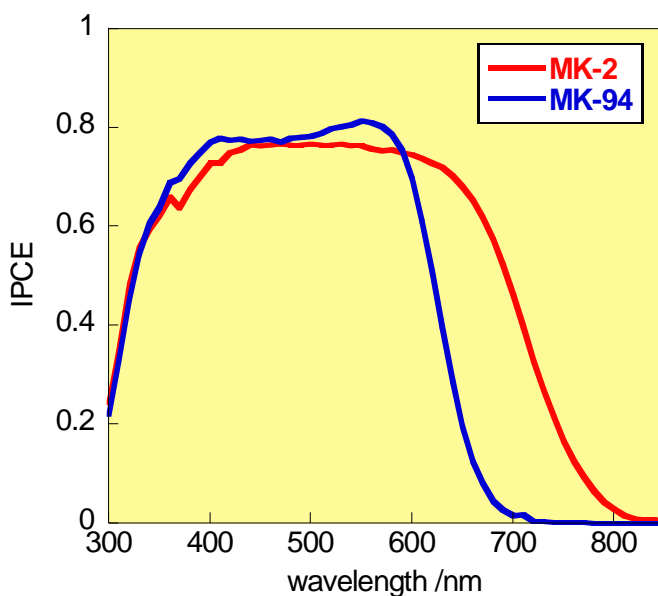


図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(31) MK-2 と MK-94 の UV スペクトル（溶液）

酸化チタンへの吸着能力を調べるために、色素が吸着したナノポーラス酸化チタン薄膜ガラス基板を 3-メトキシプロピオニトリル中に浸漬し、85℃の条件で色素の脱着の様子を UV スペクトルにて追跡する実験を行った。参照として、カルボン酸吸着基を持つカルバゾール系有機色素（MK-1, MK-2）も用いて比較した。その一例（MK-2 と MK-94）を図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(32)に示す。吸着基がカルボン酸である色素（MK-2）においては、5時間の浸漬後、75%以上の色素分子が脱着した。一方で、リン酸を吸着基として持つ色素（MK-94）の場合は、色素の脱着率が 25%程度に抑えられることがわかった。すなわち、リン酸による酸化チタンへの吸着はカルボン酸に比べて強固であることがわかった。実デバイスにおいては、今回の実験と比較して電解液の量のはるかに少なく実際には短時間であまり脱離しないと考えられるが、長期耐久性を考えた際には色素脱離によって性能低下を招く恐れがあるため、高温条件下においても脱着しない色素が有利であると考えられる。

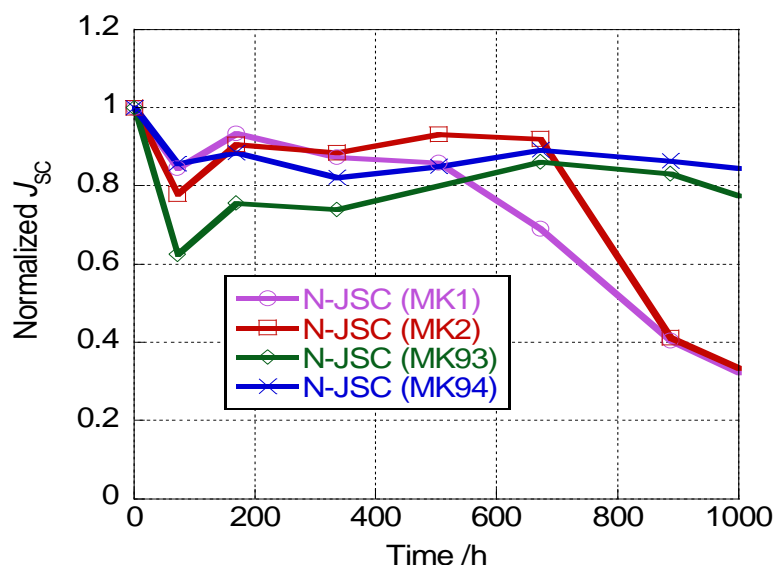


図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(32) MK-2 と MK-94 の酸化チタン上の UV スペクトル変化



図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(33) MK-2 と MK-94 を用いた色素増感太陽電池の IPCE スペクトル

これらのリン酸吸着基を持つカルバゾール系有機色素の光電変換特性について調べ、カルボン酸吸着基の色素を用いた太陽電池セル特性と比較した。図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(33)に MK-2 および MK-94 の IPCE スペクトルを示す。MK-94 (リン酸吸着基) の IPCE スペクトルは 400 nm から 600 nm 付近までは 80% 近い IPCE 値を示すが、MK-2 (カルボン酸吸着基) に比べると、長波長側の吸収端が約 100 nm も短波長にシフトしていることがわかる。また太陽電池セルの光電変換特性は 4.8% (短絡電流密度: 11.1 mA/cm²、開放電圧: 0.73 V、形状因子: 0.59) と同条件にて測定した MK-2 (変換効率: 7.1%、短絡電流密度: 15.7 mA/cm²、開放電圧: 0.72 V、形状因子: 0.63) と比べると、短絡電流密度が低くなり、結果、光電変換効率が低下していることがわかる。このことは、色素の吸収波長のリン酸基による電子吸引性の低下に伴う短波長シフトに起因していると考えられる。



図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(34) 85°Cにおける短絡電流密度の変化

次に太陽電池セルの85°C条件下での耐久性について調べるために、3-メトキシプロピオニトリル電解液を用いた色素増感太陽電池セルを作製し、暗所下85°Cの恒温槽に保管し、随時IV測定を行うことによって変換特性の経時変化を追跡した。その結果、カルボン酸吸着基を持つ有機色素(MK-1, MK-2)では1000時間後には短絡電流密度が4割以下に減少した。一方、リン酸吸着基を持つカルバゾール系有機色素(MK-93, MK-94)では、およそ8割の短絡電流密度が保持することがわかり、85°Cと比較的高温条件下でも色素は酸化チタンから脱着していないことがわかった。

このようにリン酸吸着基を持つ有機色素は耐久性色素として有用であり、現在光吸収波長の短波長化しない、もしくは短波長化しにくい有機色素の開発を行っている。

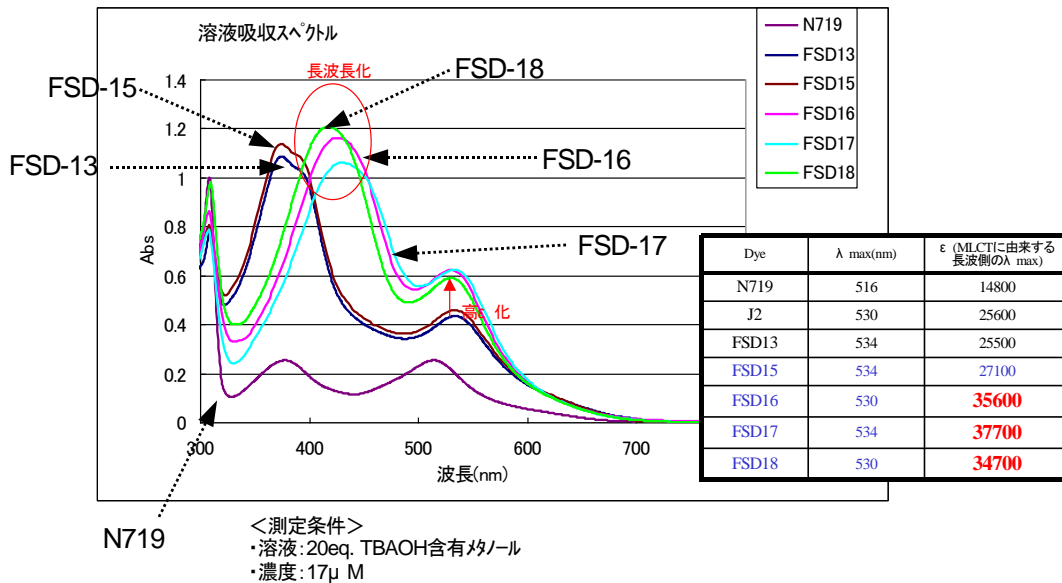
①-2 疎水性基導入による高効率・高耐久性色素の設計の探索検討 (富士フイルム株式会社)

高モル吸光係数ピペリジン系Ru色素(a)とターピリジン系Ru色素(b)の二つの骨格に対して疎水性基を導入による耐久性向上の検討した。

a. 高モル吸光係数ピペリジン系Ru色素

目的の耐久性達成が期待できる疎水性基を持ち、かつモル吸光係数が現行のN719の1.7倍のRu錯体色素FSD-13を以前独自に開発していたが、今回NEDOプロジェクトのために再合成して、効率と耐久性を評価した。FSD-13は、単セルで目標の $J_{sc}=24\text{mA}/\text{cm}^2$ に対して、あと $6\text{mA}/\text{cm}^2$ に迫る、 $J_{sc}=18\text{mA}/\text{cm}^2$ を出せるポテンシャルを持つことを確認した。また、B-1試験条件での耐久性をベンチマークのN719と比較し、高い耐久性を有することを確認した。

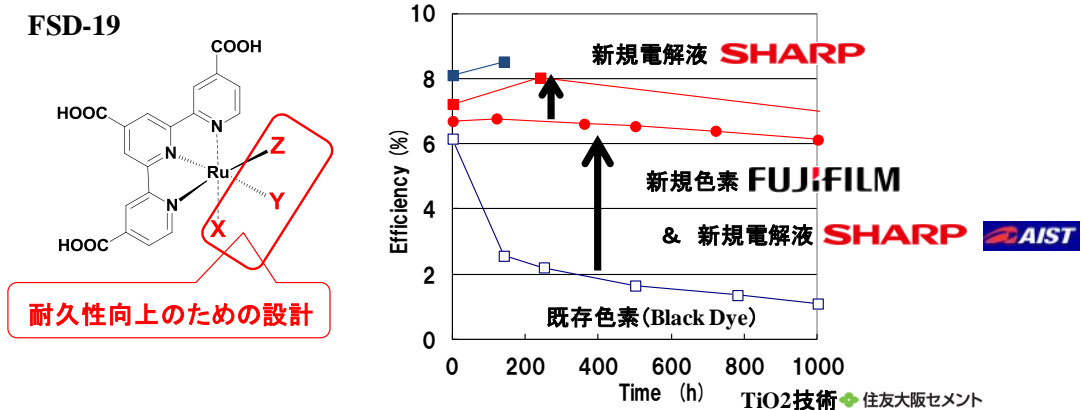
この知見を基にさらに、FSD-13よりも更にモル吸光係数が大きい(N719の2.4~2.5倍の)FSD-16, 17, 18を新たに合成することに成功した。



図III-2-(二)-A-1(35) 新規高モル吸光係数 Ru 色素の溶液吸収スペクトル

b. 高耐久ターピリジン Ru 色素の開発

Black Dye 同等の長波長吸収を持ち、かつ耐久性向上が期待できる置換基を有する新規ターピリジン色素 FSD-19 の開発に成功した。一次評価セルでは、Black dye よりも高い、変換効率を示した。



図III-2-(二)-A-1(36) FSD-19 の構造設計と B-1 試験結果

FSD-19 を用いてシャープ株式会社にて信頼性試験用のミニセルを作成し、事項に記載の独立行政法人 産業技術総合研究所とシャープ株式会社の劣化メカニズム解析の成果を基に、シャープ株式会社による電解液の改良との組み合わせで初期変換効率 7.2%、B-1 試験後の効率低下率が 10%以内となることがわかった。

①-3 耐久性試験における劣化メカニズムの解明

(シャープ株式会社 再委託 独立行政法人 産業技術総合研究所)

光照射における色素増感太陽電池デバイスの性能劣化要因を明確にするため、耐光性

試験 A-5 での J_{sc} 低下要因の解析を行った。最初に、受光面上の UV 光カットフィルタ有無による J_{sc} 変化と電子注入反応の効率変化を測定した結果を図 III-2-(=)-A-1-(37)(a)に示す。

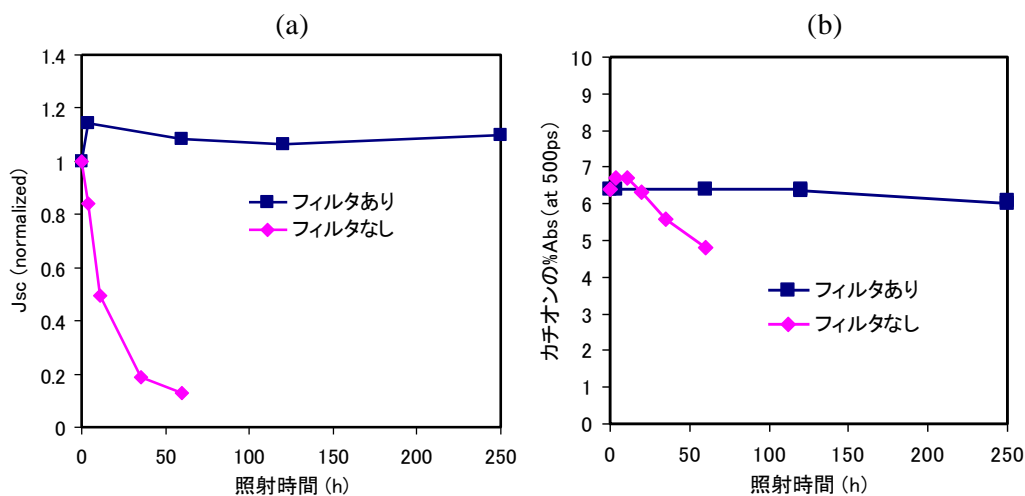


図 III-2-(=)-A-1(37) (a)耐光性試験 A-5 における J_{sc} の時間変化、(b) 過渡吸収分光により評価された電子注入反応の効率（カチオンの %Abs）の光照射時間依存性。

※(b)の縦軸が電子注入効率に相当

図 III-2-(=)-A-1(37) (a)では、UV 光カットフィルタがない場合に J_{sc} が大きく減少し、性能低下のほとんどが J_{sc} 低下によるものであった。そこで、色素劣化が J_{sc} に与える影響を明確化するため、N719 色素から酸化チタン電極への電子注入反応過程の光照射時間依存性を、拡散反射型フェムト秒過渡吸収分光法により評価した。結果を図 III-2-(=)-A-1(37) (b)に示す。図 III-2-(=)-A-1(37) (a)に示すように、フィルタなしのセルでは電流値が 10 時間オーダーで大きく減少したが、図 III-2-(=)-A-1(37)(b)に示すように、その場合の電子注入効率の低下は僅かである。よって、主に電解液の劣化が性能低下の主な原因であると判明した。一方、紫外光をカットした場合（フィルター有）は電流値の減少は 100 時間まで見られないが、電子注入過程は予想通り収率として照射時間が増加してもほとんど減少しておらず、また反応プロセス、つまり反応速度もほとんど変わらないことを確かめることができた。以上より、紫外光が素子劣化に大きく影響しているが、大きな劣化を受ける部分は色素ではなく電解液であり、電解液の劣化抑制という高信頼性化への方向性を見出した。

①-4 高信頼性要素材料の開発

(シャープ株式会社 再委託 独立行政法人 産業技術総合研究所)

キャリア輸送材中の酸化還元対であるヨウ素レドックスの安定性を評価するため、ヨウ素レドックス中の I_3^- の吸光度変化の溶媒依存性と添加物依存性の評価を行った。結果を図 III-2-(=)-A-1(38)に示す。

図 III-2-(=)-A-1(38) (a)が示すように、 I_3^- の吸光度の経時変化は溶媒に大きく依存し、特に同じ溶媒 A でも水分量やメーカーが異なると経時変化が異なることが判明した。また、溶媒 B においては I_3^- が安定して存在することが分った。図 III-2-(=)-A-1(38) (b)は、 I_3^- の吸光度の経時変化の添加物依存性を示すが、 I_3^- の吸光度の変化は、添加物の

影響は溶媒に比べると小さいが、添加物 B のように添加により I_3^- の安定性が改善されることが判明した。以上の結果より、加速試験における電解液の劣化抑制は、溶媒や添加物により改善可能であることを見出した。

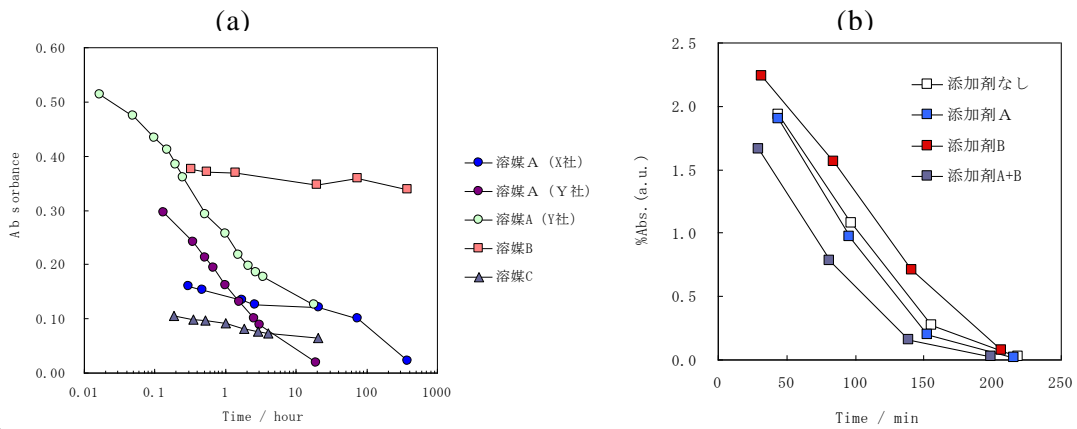


図 III-2(-)-A-1(38) I_3^- の吸光度の経時変化の(a)溶媒依存性と(b)添加物依存性 (室温保持)

①-5 高信頼性セルの効率向上検討

(シャープ株式会社 再委託 独立行政法人 産業技術総合研究所)

高信頼性セルの効率向上を実施するため、電解液中の添加物のセル性能、とりわけ J_{sc} に与える影響を評価するため、N719 色素から酸化チタン電極への電子注入過程の添加物依存性を、拡散反射型フェムト秒過渡吸収分光法を用いて評価した。結果を図 III-2(-)-A-1(39)に示す。図 III-2(-)-A-1(38)より、材料 X, Y のうち、材料 X の添加では電子注入効率の大きな変化は見られないが、材料 Y の添加では濃度が大きくなるに従い、電子注入効率が大きく減少することが見出された。セルの発生電流 (J_{sc}) も A, B, C の順で低下しており、信頼性向上のために添加した材料が J_{sc} を低下させていることが判明した。よって、高信頼性化と高効率化を両立させるためには、材料 X のように J_{sc} を低下させない添加物の開発が必要不可欠となる。

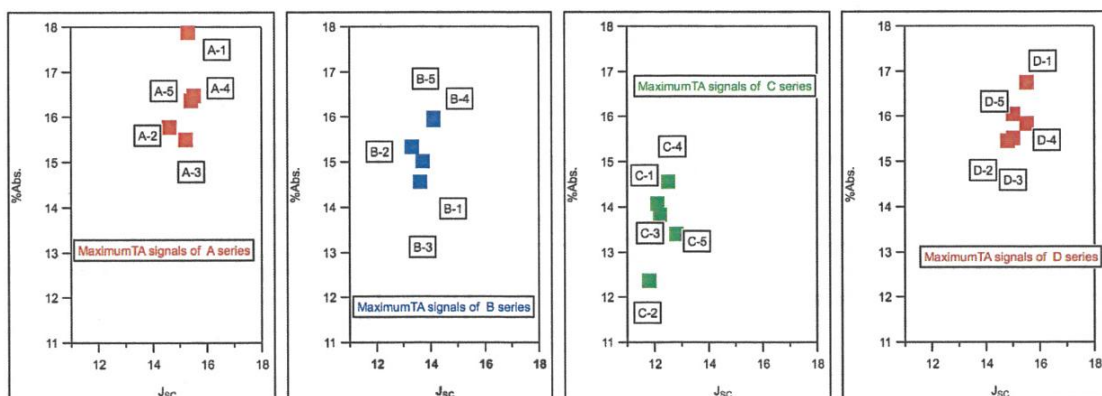
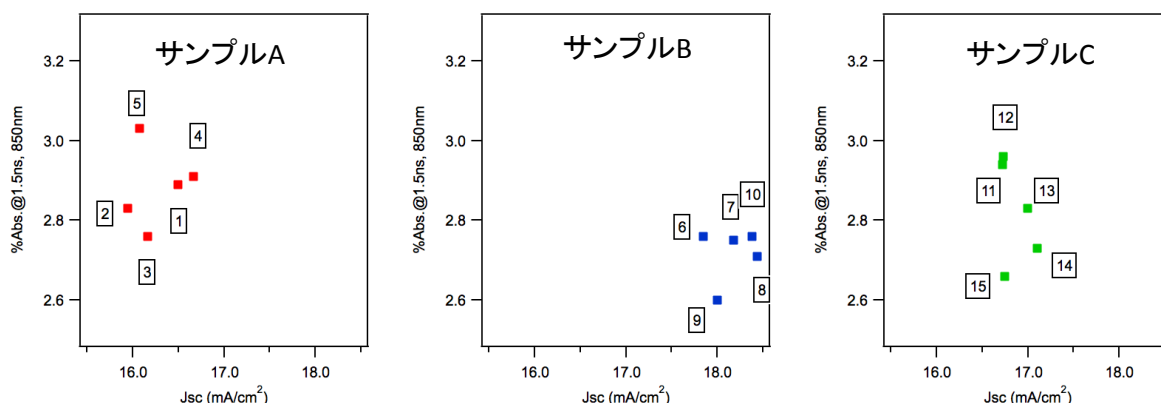


図 III-2(-)-A-1(39) N719 色素から酸化チタン電極への電子注入効率の電解液中の添加物依存性 (縦軸が電子注入効率に相当)

A : 材料 X 添加、B : 材料 X+Y 添加、C : 材料 X+Y 添加 (Y 濃度 2 倍)、D: 添加なし

次に、富士フイルム株式会社開発の FSD-19 を用いて、色素から酸化チタン電極への電子注入過程の添加物依存性を、同じく、拡散反射型フェムト秒過渡吸収分光法を用い

て評価した。結果を図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(40)に示す。



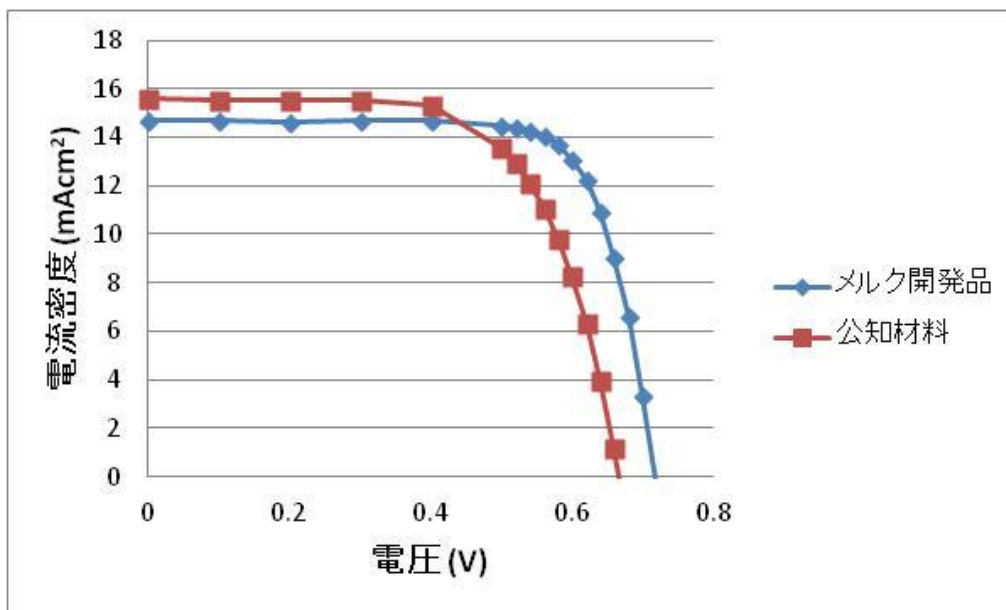
図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(40) FSD-19 色素から酸化チタン電極への電子注入効率の電解液中の添加物依存性（縦軸が電子注入効率に相当）

A：材料 Y 添加、B：材料 Z 添加、C：材料 Z 添加（Z 濃度 5 倍）

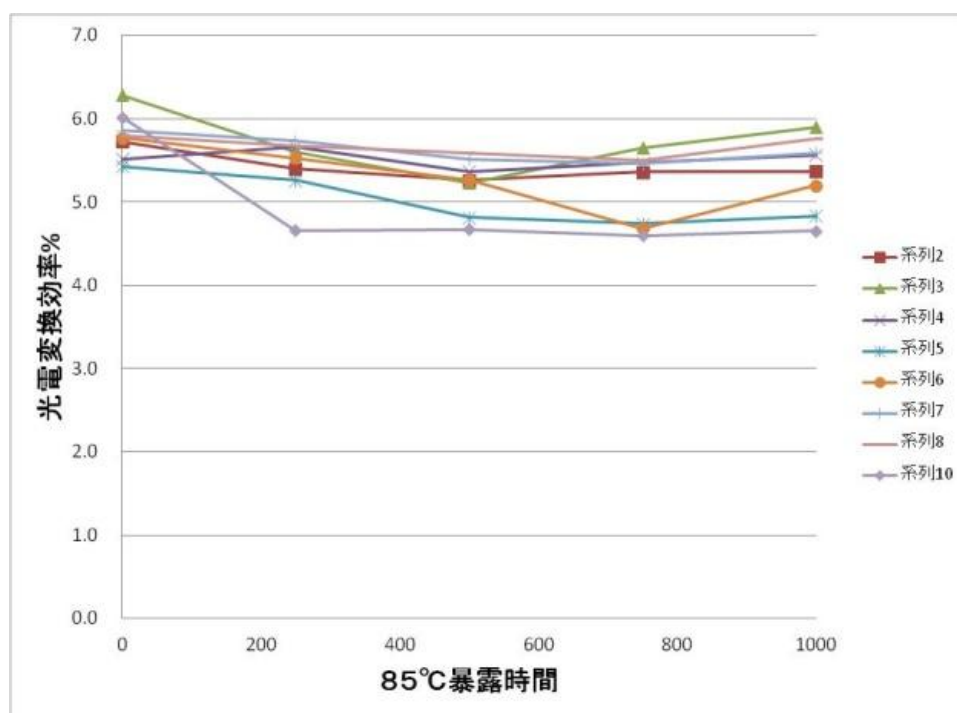
図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(40)より、FSD-19 色素を用いたセルでは、材料 Y、弊社にて開発した材料 Z、さらには材料 Z の濃度を 5 倍にしたいずれの場合においても電子注入効率に変化せず、電子注入効率が電解液に依存しないことが判明した。FSD-19 の過渡吸収測定に関する測定は難解であり、議論の余地が存在するが、本検討結果における FSD-19 色素および材料 Z のように電子注入効率、さらには Jsc に影響を及ぼさない色素および添加物が、高信頼性化と高効率化の必要条件であると考えられる。

①—6 イオン液体ベースの耐久性電解液開発（メルク株式会社）

モジュール低コスト化のために不揮発性である従来のイオン液体ベースで最高の効率をもたらす公知の組成では、室温での粘度が 70mmPas（弊社追試測定値）程度であったが、これに鋭意改良を加えた結果、目標短絡電流に相当する 40mmPas 以下にまで低減することができた。さらに富士フイルム株式会社提供の色素と弊社開発の添加剤の組合せを探ることにより電解液の高性能化を図り、弊社で作製した単セルでも効率 8.0%が確認された（図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(41)）。イオン液体ベースの電解液としては、高効率であり、溶液ベースの電解液に迫ることができた。また、上記セルの 85°C耐熱性試験において 9 割の効率保持を確認できた（図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(42)）。



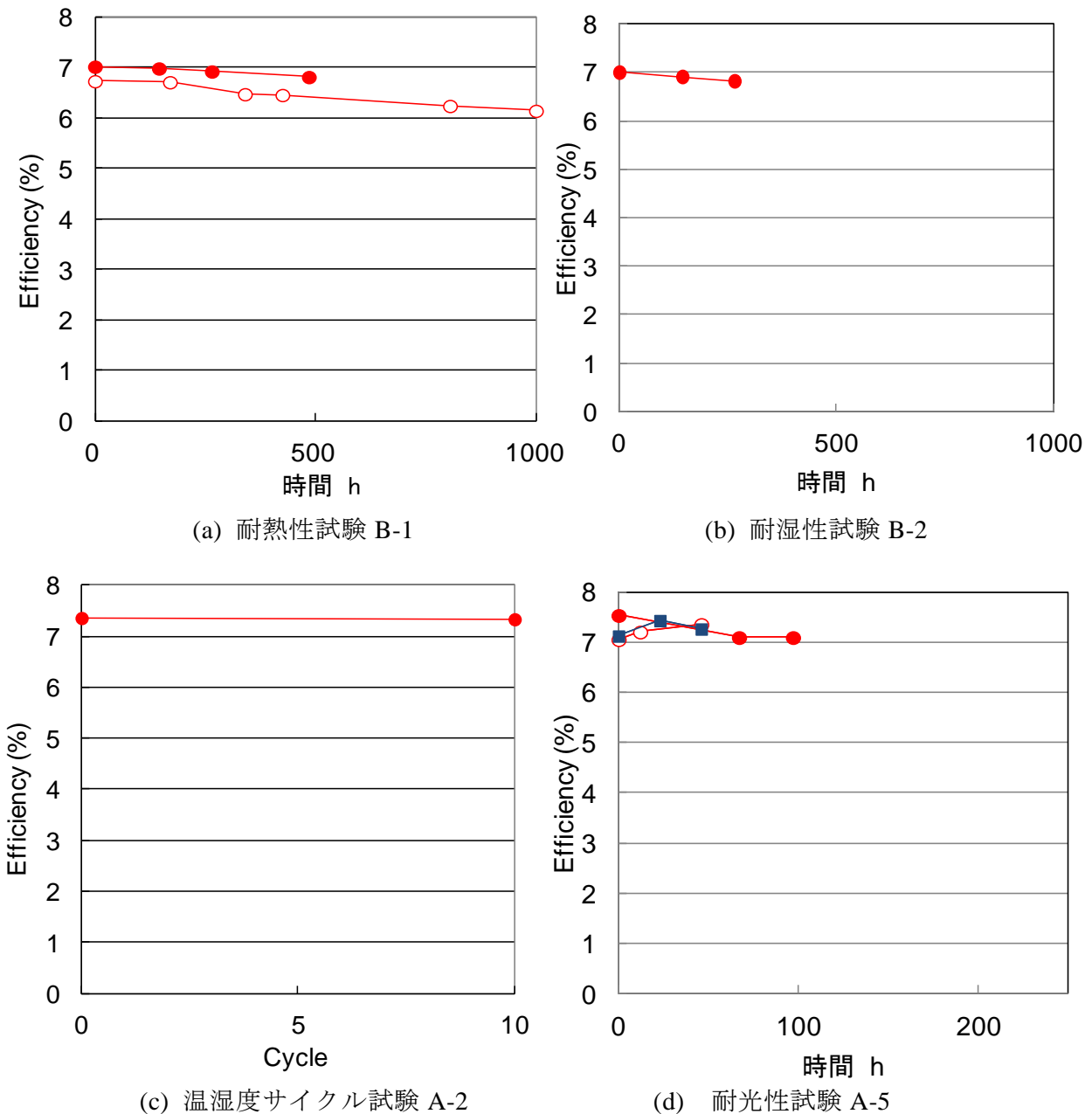
図Ⅲ-2-(=)-A-1(41) IV 特性



図Ⅲ-2-(=)-A-1(42) 耐熱性試験結果

② 信頼性向上技術（モジュール化技術）（シャープ株式会社）

①信頼性向上技術（単セル基礎技術）に記載の技術を用いて、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。その結果を図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(43)に示す。



図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(43) 5cm 角モノリシック集積サブモジュールの(a)耐熱性試験 B-1、(b)耐湿性試験 B-2、(c)温湿度サイクル試験 A-2、(d)耐光性試験 A-5 評価結果

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）、耐湿試験（B-2）試験で目標達成（見込み）した。今後、30cm 角程度のサブモジュールを用いた温湿度サイクル試験（A-2）、耐熱性試験（B-2）の実施し、中間目標の達成を目指す。

研究開発項目ごとの成果・達成度

表Ⅲ-2-(ニ)-A-1(7)

中間目標	研究開発成果	達成度	コメント
(1)-1 高効率化 (セル) (信州大学) 中間目標 吸収端 850nm かつ全吸収波長領域での平均 IPCE が 80%となる新規色素開発	新規ターピリジン配位子によって 400-600nm の IPCE が 80%以上を達成	△	長波長領域の吸光度の向上
中間目標 ΔG が 0.1eV 低減できる色素の合成	ドナー基を持つ配位子の合成により達成	○	ヨウ素レドックス以外のレドックス対への対応
中間目標 高効率小型セルの開発 (変換効率 11% (1cm 角程度))	<ul style="list-style-type: none"> ・ ΔG 低減の為の色素とレドックス対の設計指針の確立 ・ 酸化チタン結晶面制御による効率向上可能性を見いだした 	○	設計指針に添った材料開発
中間目標 各機関で合成された材料、作製されたセルの評価	シャープ、富士フイルム、綜研化学、産総研、メルク、住友大阪セメントの材料・セル評価を実施し、フィードバックした。	○	
(1)-1 高効率化(セル) (住友大阪セメント株式会社) 中間目標 高効率酸化物半導体電極開発結晶面制御技術確立	<ul style="list-style-type: none"> ・ 結晶面が異なる (101), (100), (001) 面を露出した酸化チタン結晶の合成技術を確立した。 ・ 海外品と比較し弊社製酸化チタンが高性能であることを産総研・信州大と共に明確にした。 	○	なし
(1)-1 高効率化 (セル) (富士フイルム株式会社) 中間目標 変換効率 11% (1cm 角程度) となる色素の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ 変換効率 11.4% @ 1cm² となる新規 Ru 錯体色素 FSD-20 を見出した。 ・ IPCE 長波端が 880nm となる有機色素 C-1 を開発した。 ・ レドックス対との組合せで Voc=0.8V となる有機色素を見出した。 	○	なし

<p>(1)-1 高効率化 (セル) (メルク株式会社)</p> <p>中間目標 変換効率 11% (1cm 角) を満たすため電解液の平衡電位を 0.1-0.2 eV 下げる。</p>	<p>着色の薄く意匠性に影響のないコバルト電解液を作製し V_{oc} 0.81 V、FF 0.79、変換効率 8.2% という単純な有機色素を用いたセルとしては非常に高い値を得た。</p>	○	なし
<p>(1)-1 高効率化 (セル) (シャープ株式会社)</p> <p>中間目標 変換効率 11% (1cm 角程度)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 変換効率 11.0% (1cm 角 AIST 測定)達成 変換効率 11.4%(新規色素) (1cm 角 自社測定) 達成 	○	なし
<p>(1)-1 高効率化 (セル) (九州工業大学、新日鐵化学株式会社)</p> <p>中間目標 長波長色素の開発/タンデムセルボトム電極用色素母体構造の合成</p>	<ul style="list-style-type: none"> 耐久性フタロシアニン系色素にて 色素母体構造合成 1300nm までの吸収波長を有し、分子軌道準位が制御された、吸着用結合基を有する色素を合成。 	○	なし
<p>中間目標 長波長色素の開発/タンデムセルボトム電極用色素開発 (九工大&新日化) 吸収端 1100nm IPCE 50%</p>	<ul style="list-style-type: none"> 耐久性フタロシアニン系色素にて IPCE:40%, IPCE 端 950 nm を有する色素合成(SnO₂用) 	△	なし
<p>中間目標 長波長色素の開発/カクテル吸着セル用長波長色素 (九工大&新日化) 吸収端 925nm</p>	<ul style="list-style-type: none"> 耐久性ポルフィリン系色素にて 840nm に吸収を有し、吸収端 940nm となる色素を合成し単色セルにて発電を確認 (TiO₂) 耐久性フタロシアニン系色素にて 800nm に吸収を有し、吸収端 900nm となる色素を合成し、単色セルにて発電確認 (TiO₂) 	○	<ul style="list-style-type: none"> タンデム用長波長色素開発の知見を生かし低コスト化への寄与が期待できるカクテル吸着長波長色素の開発に今後注力する

<p>(1)-1 高効率化 (セル) (九州工業大学)</p> <p>中間目標 新タンデムセル構造の実証</p>	<p>バックコンタクト電極を備えた新規タンデム構造を提案し、直列セルとして動作することを実証</p>	○	なし
<p>(1)-2 高効率化 (モジュール) (シャープ株式会社)</p> <p>中間目標 モジュール変換効率 7% (30cm 角程度)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・変換効率 9.1% (20cm 角 自社測定)達成 ・変換効率 9.0% (15cm 角 AIST 測定)達成 	◎	なし
<p>(1)-2 高効率化 (モジュール) (住友大阪セメント株式会社)</p> <p>中間目標 モノリシックモジュールに必要な材料 (酸化物半導体、絶縁材料、触媒導電) を開発し、光電変換特性 7% に貢献。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・モノリシック構造特有課題に関し、シャープと連携し、各構成材料を開発。膜強度と性能低下、絶縁材料による性能低下等を改善する新規材料を開発。 ・上記の大面積モジュールに必要な材料の提供により、20cm 角モノリシックモジュールでの変換効率 9.1% に貢献。 	○	なし
<p>(2)モジュール化・耐久性向上 (シャープ株式会社)</p> <p>中間目標 JIS C8938 試験 (A-2,A-5,B-2) 後の相対効率低下 10% 以下</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・(A-2) 変換効率 7% サブモジュールで低下率 10% 以内を達成 ・(A-5) 7% サブモジュールで低下率 10% 以内を達成 (見込み) ・(B-2) B-1 試験で、7% サブモジュールで低下率 10% 以内を達成 (見込み)。 	△	30cm 角程度のモジュールでの実証。
<p>(2)モジュール化・耐久性向上 (富士フイルム株式会社)</p> <p>中間目標 JIS C8938 試験 (A-2,A-5,B-2) 後の相対効率低下 10% 以下の色素開発。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・単セルで初期変換効率 7.2% で耐熱性試験 (B-1) 低下率 <10% とする Ru 色素 FSD-19 を開発した。 	○	なし

	<ul style="list-style-type: none"> ・単セルで B-1 試験での Jsc 低下を低減するアンカー基を見出した。 		
(2)モジュール化・耐久性向上 (メルク株式会社) 中間目標 JIS C8938 試験 (A-2,A-5,B-2) 後の相対効率低下 10%以下の電解質開発および不純物の影響評価	<ul style="list-style-type: none"> ・従来のイオン液体ベースで最高の効率をもたらす公知の組成での粘度 70mmPas を 40mmPas まで改善し、変換効率 8.0%を得た。85°C耐熱性試験において9割の効率保持を確認できた。 ・従来難しかったヨウ素を含む電解液の微量水分測定を行った。 	○	なし

また、特許、論文、外部発表の件数は、表Ⅲ-2-(ニ)-A-1(7)のとおりである。

表Ⅲ-2-(ニ)-A-1(7) 特許、論文、外部発表等の件数

	H22	H23	H24	計
特許出願 (うち外国出願)	7(1)	22(2)	10(0)	39 件
論文 (査読付き)	5	5	1	11 件
研究発表・講演 (うち国際会議)	18(4)	48(13)	5(5)	71 件
新聞・雑誌等への掲載	0	1	0	1 件
受賞実績	0	2	0	2 件
展示会への出展	1	1	0	2 件

※平成 24 年度 7 月 25 日現在

2. 実用化・事業化見通し

■ 成果の実用化の可能性

色素増感太陽電池の実用化のためには、実環境下での発電量と長期安定性のデータが必要不可欠である。

現在の色素増感太陽電池は、本プロジェクトの最終目標 30cm 角程度のサブモジュールで変換効率 10%に対して、現在、変換効率 9%まで向上させることができている。さらに、JIS 規格 C8938 における太陽電池素子に関わる試験（耐熱性、耐湿性、耐光性、温湿度サイクル）の達成の見込みが得られている状況である。

本プロジェクトの目標である変換効率を得られた場合、現状の薄膜シリコン太陽電池と同等レベルの変換効率となるため、発電デバイスとしての性能には問題はない状況となる。この状況下で、実環境下での発電量と長期安定性が確認できれば、市場投入には十分な材料となりえる。

■ 実用化に向けての課題

現在、開発を行っている信頼性技術は JIS 規格 C8938 を用いているが、あくまでも既存の太陽電池の JIS 規格を適用しているにすぎず、モジュール強度や電気回路に関わる項目以外は、既存の太陽電池とは全く異なるため、基本的な劣化メカニズム解明が必要となる。

本プロジェクトでは、耐光性、耐熱性に関する色素増感太陽電池の劣化メカニズムの検討を行っているが、目標変換効率、目標信頼性を満足する材料系統が固定された時点で、劣化メカニズム機構に基づく、加速係数選定などの実施も必要不可欠である。

これらの検討と上記の実環境下の安定性データにより、本来の色素増感太陽電池の信頼性を評価できることとなる。これらの検討には、国際標準化なども動きも必要になると考えられ、今後の対応を必要と思われる。現在、シャープ株式会社では、「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（FIRST）」にて行われている標準化検討にも参画し、モジュールメーカーとして一躍を担っている。

■ 市場の見通し

色素増感太陽電池は、既存の太陽電池と異なった特徴がある。たとえば、シリコン系太陽電池にくらべ、低照度でも効率低下が少なく、効率の光入射角依存性が小さいなどの利点がある。朝夕や曇天での光照射条件での効率低下が小さいため、一年を通してのトータル発電量で比較するとピーク変換効率での不利を補うことができるという報告もある。そのため、既存の太陽電池市場の他の新規市場開拓（住宅用北面設置、ビル、マンションへの壁面設置）を行うことができる可能性があり、これにより、太陽電池全体の市場拡大にもつながる。

また、色素増感太陽電池は、カラーバリエーションの展開が可能であり、既存の住宅用太陽電池の市場展開も可能と考えられる。ユーザーニーズなどの調査も必要であるが、「低コストかつカラーバリエーション」が、結晶系シリコン太陽電池より出力が低いことより勝るユーザー価値になる場合は、既存市場への展開、商品ラインナップの拡充などの展開も可能となる。

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% @1cm² (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、独自色素 (非グレッツェル色素) で 11.6% (自社測定) を達成したことにより、高効率化技術研究開発の活性化と進展が予測される。
- 低コスト・量産型の集積型サブモジュール (5cm 角から 20cm 角まで面積を拡大) で変換効率 9.0% (AIST 測定、自社測定) 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。
- 既存色素 (Black Dye) と同等以上の性能を示す色素材料開発など、産官学の技術連携によりコンソーシアムでの技術開発を実施し、全日本体制での技術開発の可能性を示唆。
- 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。
- 太陽光発電コストの低下による再生可能エネルギーの普及とスマートグリッド構築の促進に貢献し、太陽電池業界以外にも大きな経済的波及効果が予想される。さらに、地球温暖化ガス排出量削減による環境問題の軽減と原発依存からの脱却促進などの大きな社会的波及効果が期待される。
- また、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

1. 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、今後は、実環境下での実証試験を実施する必要がある。現在、使用している信頼性 JIS 規格 C8938 が、有機系材料を使用する色素増感太陽電池の信頼性規格に適合するかなどの検討が必要である。そのためには、信頼性に関する標準化検討も必要であり、さらに、色素増感太陽電池用の加速試験等の検討も必要と考えられる。

また、色素増感太陽電池は、既存の太陽電池と異なった特徴を生かした新規市場開拓（住宅用北面設置、ビル、マンションへの壁面設置）を行うことができる可能性があり、これにより、太陽電池全体の市場拡大にもつながると考える。

5. 特許論文リスト

表Ⅲ-2-(ニ)-A-5(1)【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	シャープ	特願 2011-253937	国内 PCT	2011/11/21	出願	湿式太陽電池および湿式太陽電池モジュール	福井篤他
2	シャープ	特願 2011-254135	国内 PCT	2011/11/21	出願	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
3	シャープ 富士フイルム	出願予定	国内		出願		福井篤他
4	シャープ 富士フイルム	出願予定	国内		出願		室伏教雄他
5	シャープ	出願予定	国内		出願		福井篤他
6	シャープ	出願予定	国内		出願		扇谷恵他
7	シャープ	出願予定	国内		出願		古宮良一他
8	新日鐵化学 九州工業大学	特願 2010-195240	国内	2010/9/1	擬制 取下	色素増感太陽電池	早瀬修二他
9	新日鐵化学 九州工業大学	特願 2010-195699	国内	2010/9/1	擬制 取下	色素増感太陽電池	早瀬修二他
10	新日鐵化学 九州工業大学	特願 2011-21390	国内	2011/2/3	公開	色素増感太陽電池	早瀬修二他
11	新日鐵化学 九州工業大学	13/036540	US	2011/2/28	公開	DYE-SENSITIZED SOLAR CELL	早瀬修二他
12	新日鐵化学 九州工業大学	特願 2011-070220	国内	2011/3/28	出願	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	早瀬修二他
13	新日鐵化学 九州工業大学	特願 2011-070221	国内	2011/3/28	出願	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	早瀬修二他
14	新日鐵化学 九州工業大学	特願 2011-257863	国内	2011/11/25	出願	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	早瀬修二他
15	新日鐵化学 九州工業大学	特願 2012-067436	国内	2012/3/23	出願	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	早瀬修二他

						電変換素子	
16	新日鐵化学 九州工業大学	特願 2012-114540	国内	2012/5/18	出願	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	早瀬修二他
17	新日鐵化学 九州工業大学	特願 2012-114539	国内	2012/5/18	出願	ポルフィリン色素並びにポルフィリン色素を用いた色素増感太陽電池及び光電変換素子	山口能弘他
18	新日鐵化学 九州工業大学	特願 2012-114541	国内	2012/5/18	出願	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	早瀬修二他
19	住友大阪セメント	出願予定				ペースト、光電変換膜および色素増感太陽電池	八久保鉄平他
20	富士フイルム	特願 2011-81209	国内	2011/3/31	出願	色素、光電変換素子及び光電気化学電池	大森皓史他
21	富士フイルム	特願 2011-177756	国内	2011/8/15	出願	色素、光電変換素子及び光電気化学電池	大森皓史他
22	富士フイルム 信州大学	特願 2011-195638	国内	2011/9/8	出願	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
23	富士フイルム	特願 2011-208549	国内	2011/9/26	出願	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 他
24	富士フイルム	特願 2011-214661	国内	2011/9/29	出願	光電変換素子及び光電気化学電池、これに用いる色素	谷征夫 他
25	富士フイルム	特願 2011-214662	国内	2011/9/29	出願	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	谷征夫 他
27	富士フイルム	特願 2011-214663	国内	2011/9/29	出願	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	小林克 他
28	富士フイルム	特願 2011-216659	国内	2011/9/30	出願	光電変換素子及びこれを用いた光電気化学電池	佐藤寛敬他
29	富士フイルム	特願 2011-275124	国内	2011/12/15	出願	光電変換素子及び色素増感太陽電池	佐々木晃逸他
30	富士フイルム	特願 2011-275129	国内	2011/12/15	出願	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 他

31	富士フイルム	特願 2011-284561	国内	2011/12/25	出願	光電変換素子及び色素増感太陽電池	濱田和博 他
32	富士フイルム	特願 2012-42466	国内	2012/2/28	出願	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 他
33	富士フイルム	特願 2012-61232	国内	2012/3/16	出願	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 他
34	富士フイルム 信州大学	特願 2012-74832	国内	2012/3/28	出願	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
35	富士フイルム	特願 2012-78147	国内	2012/3/29	出願	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 他
36	富士フイルム	特願 2012-78148	国内	2012/3/29	出願	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	小林克 他
37	富士フイルム 信州大学	特願 2012-110995	国内	2012/5/14	出願	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	木村睦 他
38	メルク	特願 2011-282339	国内	2011/12/22	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	吉崎浩樹 他

表Ⅲ-2-(ニ)-A-5(2)【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	Ryoichi Komiya	sharp	IMPROVEMENT OF THE CONVERSION EFFICIENCY OF A	The 21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference	無	2011

			MONOLITHIC TYPE DYE-SENSITIZED SOLAR CELL MODULE	November 28th - December 2nd, 2011, Fukuoka, Japan		
2	宇佐川 準	九工大	TCO-less 3D dye-sensitized solar cells consisting of charge separation sheet and direction to high efficiency cells by using TCO-less structure.	IEEE, PVSEC 35, Proceeding. 5 p.	有	2011
3	早瀬 修二	九工大	High efficiency 3D dye sensitized solar cells and the nano-surface control	World Journal of Engineering 8, 9-14	有	2011
4	早瀬 修二	九工大	色素増感太陽電池の最新技術動向	ウェブジャーナル	有	2011
5	宇崎 健史郎	九工大	Dye-sensitized solar cells consisting of 3D-electrodes	Journal of Solar Energy Engineering, 132, 021204-021210, 132,	有	2010
6	宇崎 健史郎	九工大	Tandem Dye-Sensitized Solar Cells Consisting of Nanoporous Titania Sheet	Jpn. J. App. Phys., 49, 082301-082305	有	2010
7	宇崎 健史郎	九工大	3D-dye-sensitized solar cells consisting of TCO-less structures -Aiming at high efficiency from the view point of light harvesting and charge collection-	Sol. Energy Mater. Sol. Cells., 231, 021204	有	2010
8	宇崎 健史郎	九工大	Tandem dye-sensitized solar cells consisting of floating electrode supported by non-conductive mesh	Advances in Science & Technology, 74, 157-163	有	2010

9	尾込 裕平	九工大	Probing mechanism of dye double layer formation from dye-cocktail solution for dye-sensitized solar cells	Thin Solid Films, 519, 1087-1092	有	2010
10	山口能弘	新日化	色素増感太陽電池	福岡 I S T イノベーションクラブ グリーンイノベーション研究会	無	2011
11	山口能弘	新日化	色素増感太陽電池	日本技術情報センター	無	2011
12	Kentaro Kawata	メルク	Nondestructive Three-Dimensional Observation of the Electrolyte in a Dye-Sensitized Solar Cell Combined with the Local Photocurrent Dynamics	Japanese Journal of Applied Physics, <i>in press</i>	有	2012
13	高野真悟	住友大阪セメント	色素増感太陽電池用酸化チタン	Technical Report 2012, P.56-58 住友大阪セメント 新規技術研究所発行	無	2012
14	Ryuzi Katoh	産総研, 日大	Tunneling-Type Charge Recombination in Nanocrystalline TiO ₂ Films at Low Temperature	The Journal of Physical Chemistry Letters. 2, 1888–1891 (2011)	有	2011
15	Ryuzi Katoh	産総研, 日大	Effect of dye concentration on electron injection efficiency in nanocrystalline TiO ₂ films sensitized with N719 dye	Chemical Physics Letters 511, 336–339 (2011)	有	2011
16	加藤隆二	産総研, 日大	色素増感太陽電池の動作機構からみた高効率化への指針	ケミカルエンジニアリング 57(2012)43-47	無	2011

表Ⅲ-2-(ニ)-A-5(3) 【主要国際会議】

番号	発表者	所属	タイトル	国際会議名	発表年月日
1	Ryoichi Komiya	シャープ	IMPROVEMENT OF THE CONVERSION EFFICIENCY OF A MONOLITHIC TYPE DYE-SENSITIZED SOLAR CELL MODULE	PVSEC-21	2011/11
2	早瀬 修二	九工大	New dye sensitized solar cells consisting of 3D photoanode	RE2010	2010/6
3	宇佐川 準	九工大	TCO-less 3D-dye sensitized solar cells-Direction to high efficiency cells consisting of tandem and hybrid structures	IPS 18	2010/7
4	Byung Park	九工大	Dye-sensitized solar cells consisting of multiple electron injection system	HOPV2011	2011/5
5	幸後 健	九工大	Dye-Sensitized Solar Cells (DSC) with Flexible Nanoporous Titania Sheet-Transparent conductive Oxide-Less Flexible DSC (TCO-Less Flexible DSC), TCO-Less Cylinder DSC, and Flexible Hybrid DSC	26thEU VSEC	2011/9
6	貞升健吾	九工大	Photovoltaic performances of SnO ₂ based bottom electrodes for tandem dye-sensitized solar cells	PVSEC 21	2011/11
7	早瀬 修二	九工大	New dye sensitized solar cells consisting of 3D photoanode	SIMTEC	2010/6
8	早瀬 修二	九工大	TCO-less 3D dye-sensitized solar cells consisting of charge separation sheet-Tandem, hybrid, cylinder and fiber cells	IEEE Nano 2010	2010/8
9	早瀬 修二	九工大	Dye-sensitized solar cells with various shapes based on flexible porous titania sheets -flexible,flat, cylinder, fiber, hybrid and tandem	IJWBME 2011	2011/12

			solar cells		
10	Shogo Mori	信州大	Combined effect of the structures of sensitizers and cobalt complex redox couples on the electron lifetime in dye-sensitized solar cells	Hybrid and Organic Photovoltaics Conference 2012 (Sweden)	2012/5
11	Shogo Mori	信州大	Factors Controlling Charge Recombination Kinetics in Dye-sensitized Solar Cells	The First International Conference on Photocatalysis and Solar Energy Conversion: Development of Materials and Nanomaterials (Korea)	2012/5/30
12	Shogo Mori	信州大	Design of Interface to Retard Charge Recombination in Dye-sensitized Solar Cells	Sungkyun International Solar Forum 2012 (Korea)	2012/6/1
13	Hiromi Shinohara	メルク	Recent Progress in the Development of Electrolyte for Dye-sensitized Solar Cell	GDCh-Wissenschaftsforum Chemie 2011	2011/9/7
14	Kentaro Kawata	メルク	ELECTROLYTES DEVELOPMENT FOR DYE-SENSITISED SOLAR CELLS	PVSEC-21	2011/11/30
15	Ryuzi Katoh	産総研, 日大	Charge generation and recombination in nano-structured TiO ₂ films	JSPS-KVA 合同シンポジウム	2011/5/31.
16	Ryuzi Katoh	産総研, 日大	Charge separation and recombination processes in bare and dye-sensitized nanocrystalline TiO ₂ films	SPIE optics + photonics	2011/8/25
17	Ryuzi Katoh	産総研, 日大	processes in dye-sensitized solar-cells studied by time-resolved laser spectroscopy	KJFP-2011	2011/10/29
18	Akihiro Furube	産総研	Femtosecond Spectroscopy and Microscopy of Organic Solar Cell Materials	ICTF-15	2011/11/11
19	Akihiro Furube	産総研	Ultrafast transient absorption	ISSS-6	2011/12/14

			spectroscopy of dye-sensitized solar cells		
20	Akihiro Furube	産総研	Presence of Non-electron-injecting Dyes in Dye-Sensitized Solar Cells	TSRP-2012	2012/1/4
21	Ryuzi Katoh	産総研, 日大	Charge generation and recombination in dye-sensitized nano-structured TiO ₂ films	HOPV12	2012/5/7
22	Akihiro Furube	産総研	Linker length dependence of photoinduced electron injection and recombination between MK-dyes and TiO ₂ nanocrystalline film	221th ECS meeting	2012/5/7

表Ⅲ-2-(ニ)-A-5(4)【新聞発表】

番号	発表機関	新聞名	発表年月日
1	メルク	電波新聞	2012/2/29

表Ⅲ-2-(ニ)-A-5(5)【受賞】

番号	発表者	所属	受賞名	発表年
1	Ryoichi Komiya	シャープ	Young Researcher Paper Award (PVSEC21)	2011/11
2	Ryuzi Katoh	産総研, 日大	光化学協会賞	2011/9

表Ⅲ-2-(ニ)-A-5(6)【展示】

番号	発表機関	展示会	発表年
1	新日鐵化学	PV-EXPO2011	2011/3
2	シャープ	東京モーターショー	2011/11

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

① 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 (株式会社フジクラ)

色素増感太陽電池は、シリコン材料を使用しない太陽電池であり、高真空プロセスを必要とせず、スクリーン印刷により製造可能な為、大幅な低コスト化が期待される太陽電池である。本研究開発では、PV2030+に掲げられた 2020 年における太陽光発電による発電コスト目標 14 円/kWh を、色素増感太陽電池を用いた発電システムにおいて達成する為に、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を実施している。変換効率の目標値は、30cm 角程度のモジュールにおいて、平成 24 年度の間目標で 8%、平成 26 年度の最終目標で 10%であり、さらに JIS 規格 C8938 の環境試験・耐久性試験における相対効率低下 10%以内も両立させて達成する。また、この開発したモジュールを用いて屋外耐久性も実証する。

具体的には以下の 3 つの小項目に分け研究開発を進めている。

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」

本項目では、30cm角以上の大面積DSCモジュールにおいて、高い効率を有した上で長期屋外使用に耐えうる高耐久性の確立を目的とした技術開発を行う。

2) 「色素増感太陽電池モジュールの屋外耐久性実証」

本項目では、色素増感太陽電池の屋外での実用化に向けて、モジュールを接続した大面積パネルの作製技術を開発する。また、その屋外実証試験を行い、実環境下における色素増感太陽電池の動作特性を調べる。

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」

本項目では、高耐久性色素増感太陽電池モジュール(30cm角程度)について、変換効率 10%以上を達成するための各種技術開発を行う。

以下に各項目における研究成果を記す。

①-1) 「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」

本項目における研究開発では、平成 22 年度に発電部面積あたりでの変換効率が 8%程度の 5 cm 角セルを用いて、JIS C 8938 試験の各試験(温度サイクル、温湿度サイクル、光照射、耐熱性、耐湿性)での効率低下 1%以内を達成した。平成 23 年度は前年度の高効率化技術開発で開発した、照射エリアあたりの変換効率 $\eta(\text{ap}) = 8\%$ 程度の 5 cm 角セル(発電部あたりの変換効率 $\eta(\text{ac})$ では 9.2%)を複数作製し、JIS C 8938 試験で最も過酷であった耐湿性試験 B-2 (85°C, 85% RH, 1000 時間)を実施した。本試験での時間経過に伴うセル変換効率の測定結果を図 III-2-(ニ)-B-1(1)に示す。図 III-2-(ニ)-B-1(1)のプロットは試験したセルの一部のみを記しているが、その効率がほぼ変化することなく維持できている事が確認できる。平成 23 年度に B-2 試験に投入した $\eta(\text{ap}) = 8\%$ 程度の 5 cm 角セルの数は 40 セルであり、この内 32 セルで 1000 時間後の効率低下 5%以内を達成した。なお、耐久性目標をクリアできなかったセルは、作製時の不良が確認されているものが大半であり、製造工程の改善によって、より安定的に耐久性を確保する事が可能と考えられる。

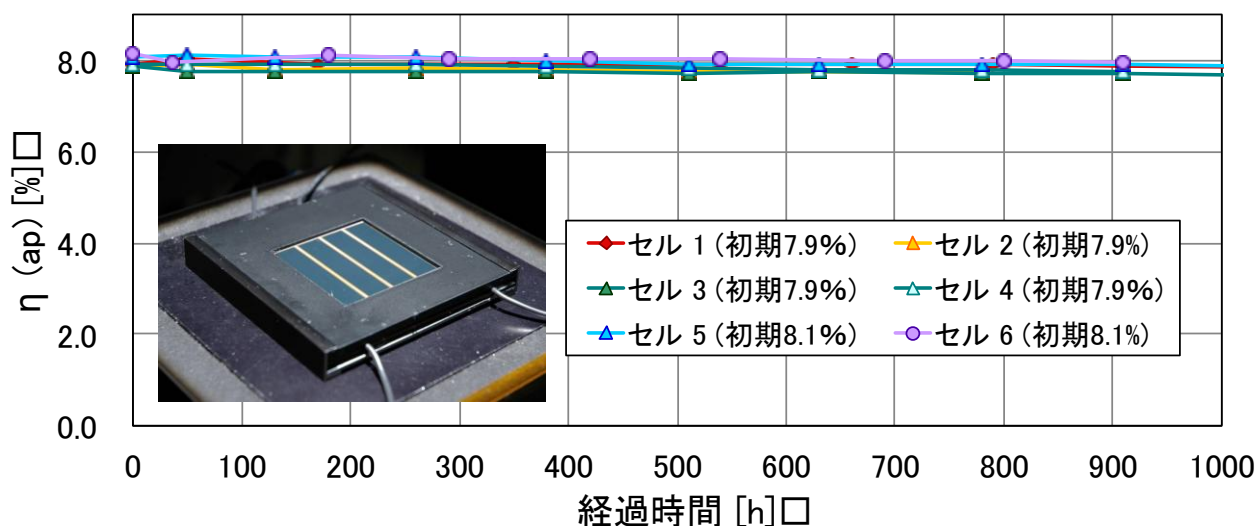


図 III-2-(=)-B-1(1) η (ap) = 8%程度の 5cm 角セルにおける耐湿性試験 B-2 での変換効率変化

次に、モジュールの大面積化では、8つのユニットセルを直列接続した 50 cm 角モジュール(図 III-2-(=)-B-1(2)左)と、その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-(=)-B-1(2)右上)をそれぞれ作製し、その変換効率改善および耐久試験を実施した。

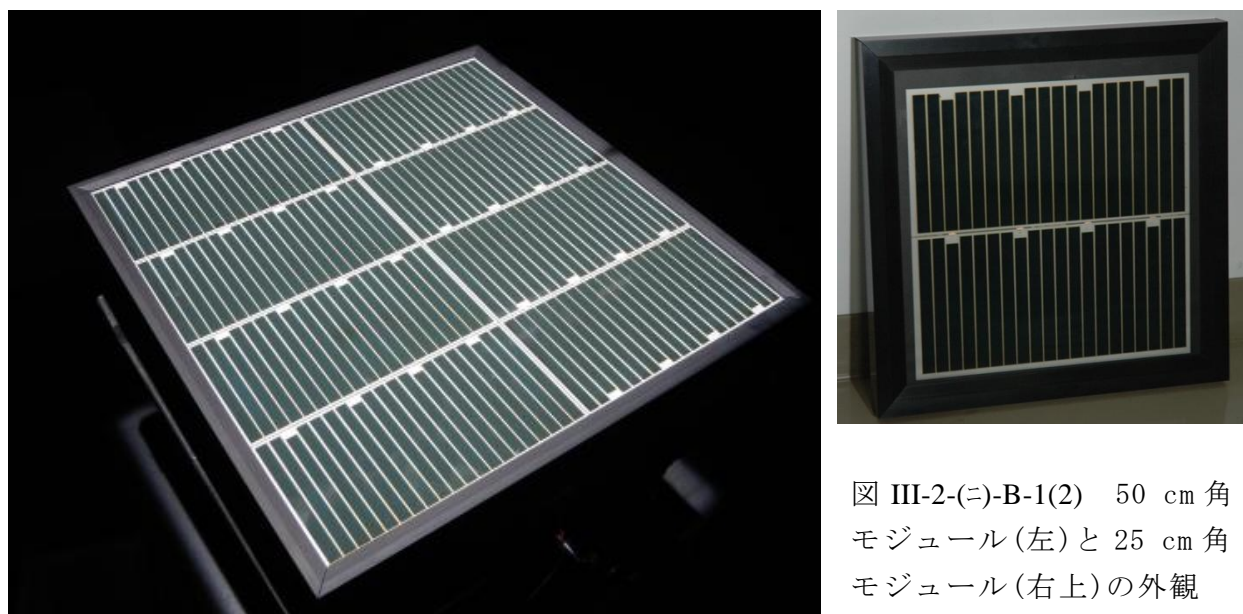


図 III-2-(=)-B-1(2) 50 cm 角モジュール(左)と 25 cm 角モジュール(右上)の外観

まず変換効率の点では、平成 22 年度に試作した 50 cm 角モジュールでは 1つのユニットセルあたりの変換効率で 7.4%が最高であったが、平成 23 年度における封止方法の改善により、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でのユニットセル効率では、Voc, FF のそれぞれが 5cm 角セルと比べ 1 割程度低い値となっており、今後の改善点となっている。また、本モジュールの耐久性改善では、従来 20cm 角程度にすると 1セル中に数カ所発生していた保護層の欠陥部をなくすために、従来よりも印刷精度の斑を抑えた大面積に適用可能な保護層形成技術を開発した。更に、大面積モジュールでの電解液封止方法も改善を進め、大面積でも安定的に封止構造が形成

可能なモジュール封止技術を開発した。これらの改善の結果、25 cm 角でも性能低下を抑えることに成功し、 $\eta(\text{ap}) = 7.2\%$ の25 cm 角モジュールにおいてB-2試験(85°C, 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(3))。本プロジェクト「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」における平成24年2月末までの色素増感太陽電池モジュールの達成目標は、30cm 角程度のモジュールで7%以上の効率かつJIS C 8938試験での相対効率低下10%以内であり、本研究開発ではこの目標を平成23年度中に達成することに成功した。

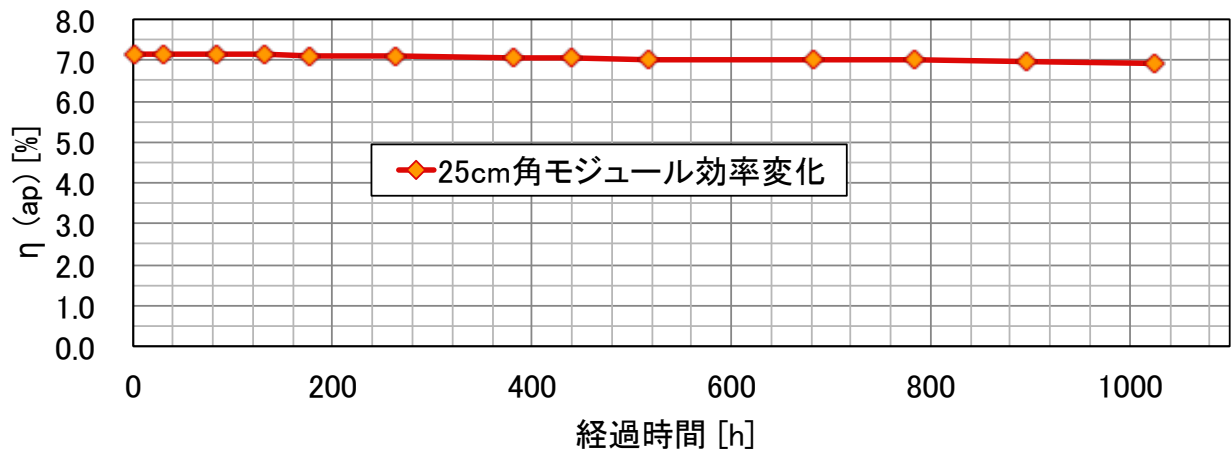


図 III-2-(ニ)-B-1(3) $\eta(\text{ap}) = 7.2\%$ の25 cm 角モジュールでの耐湿性試験 B-2 における変換効率変化

更に、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を50 cm 角モジュールにも適用することで、50 cm 角モジュールの8つのユニットセルの効率をほぼ均一化する事に成功し、50 cm 角モジュールのアパーチャーエリアでの変換効率 $\eta(\text{ap}) = 6.7\%$ を達成した。平成24年度はこの50 cm 角モジュールを用いて、屋外耐久性実証試験を実施している。

①-2) 「色素増感太陽電池モジュールの屋外耐久性実証」

本項目での本格的な屋外実証は平成24年度から実施している。ただし、この予備的な実験として、50 cm角モジュールを屋外サイトに設置しての性能測定を平成23年度に実施した。この結果、色素増感太陽電池の特長として光量が低い・入射角が狭いなどの条件下で、定格条件の変換効率よりも高い効率が得られる事が確認された。現在進めている実証試験では、この色素増感太陽電池の特色をより活かせる手法を求め各種特性の確認を進めている。

①-3) 「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」

本小項目での検討として、平成22年度に20 cm角サブモジュールでの開口率最適化、ならびに色素担持条件など効率向上に向けた最適化を実施した。この結果として、耐久性の維持できる部材を用いて、照射エリアあたりの変換効率 $\eta(\text{ap}) = 8.3\%$ を達成した。本プロジェクト開始前での20cm角サブモジュールの変換効率は7.1%であり、この研究開発において大幅な効率向上に成功した。

また、5 cm角セルを用いて進めた高効率化技術開発では、平成22年度の最高変

換効率が $\eta (ap) = 8.4\%$ であった 5 cm 角のセルに対し、電解液組成、チタニア電極構造、色素吸着条件などをそれぞれ改善し、変換効率を $\eta (ap) = 9.2\%$ まで向上させることに成功した(図 III-2-(ニ)-B-1(4))。この変換効率改善で使用した各材料は、既に耐久性確保に成功している材料類のみを使用しており、本セルでも耐久性が確保できると期待される。今後、本セルでの耐久性試験を実施し、大面積モジュールの効率向上技術として確立させる。

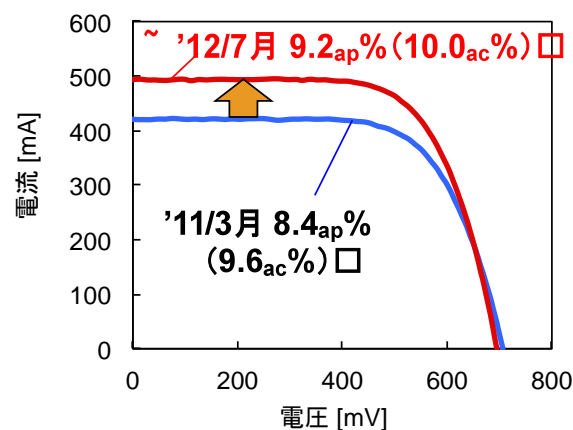


図 III-2-(ニ)-B-1(4) 高効率化技術開発による耐久性仕様 5 cm 角セルでの I-V 曲線の変化

② 高効率・高耐久性色素増感太陽電池の基盤的研究 (学校法人 東京理科大学)

本研究では、「2020 年に発電コスト 14 円/kWh を達成するための太陽光発電システム製造技術」の候補の一つである色素増感太陽電池 (DSC) について、高効率かつ屋外利用可能な高耐久性 DSC モジュールの開発、ならびにそのシステム化を行うことを目的としている。具体的には、JIS 規格 C8938 試験後(温度サイクル試験 A-1、温湿度サイクル試験 A-2、光照射試験 A-5、熱耐久性試験 B-1、耐湿性試験 B-2)の効率低下が 10%以下である 30 cm 角以上のモジュールにおいて、中間目標で 8%、最終的には 10%の変換効率を達成することを目指している。東京理科大学では 10cm 角サブモジュールで安定化効率 10%と効率低下 10% 以内の達成と、モジュールの高性能化のために 1 cm 角 DSC での高効率化を検討し、中間目標で 11%、最終的には 13%以上の変換効率の達成を狙う。各研究項目での成果を以下に記す。

②-1) 「1 cm 角程度セルおよび 10cm 角サブモジュールの高効率化技術の研究開発」

まず本項目では、TiO₂ 光電極から電解液中の I₃⁻への逆電子移動を抑制することによる V_{oc} の向上を目的とし、各種金属酸化物薄膜による TiO₂ 光電極の表面修飾を行った。ほとんどの金属酸化物では J_{sc}、V_{oc} が共に大きく減少し、変換効率も大きく低下する結果となった。一方、Al₂O₃ あるいは MgO で表面修飾を行った場合は J_{sc} が多少減少したものの、V_{oc} が向上し、結果として変換効率が向上した。そこで、Al₂O₃ と MgO の表面修飾について最適条件の探索を行ったところ、未修飾で 10.4%であった変換効率は 10.8%に向上した(表 III-2-(ニ)-B-1(1))。いずれも V_{oc} が 30 mV 程大きくなったことが変換効率の向上につながっている。OCVD 法によって TiO₂ 光電極中における電子寿命を調べたところ、Al₂O₃ と MgO いずれも場合も電子寿命が大きく向上していることが分かった。また、TEM による表面観察では、TiO₂ 粒子上に 1.3 nm 程の薄膜が形成されていることが明らかと

表 III-2-(ニ)-B-1(1) TiO₂ 光電極表面修飾による性能の変化

Treatment	J _{sc} [mA cm ⁻²]	V _{oc} [V]	FF [-]	η [%]
None	20.8	0.70	0.71	10.4
Al[OCH(CH ₃) ₂] ₃ ^a	20.4	0.73	0.72	10.8
Mg(OCH ₂ CH ₃) ₂ ^b	20.4	0.73	0.72	10.8

なった。以上の結果は、 Al_2O_3 や MgO 薄膜のブロッキング効果により、 TiO_2 光電極から電解液中の I_3^- への逆電子移動が抑制されたことを示している。一方、 Al_2O_3 や MgO の前駆体の種類によって、金属酸化物薄膜のブロッキング効果に顕著な違いが見られることが分かった。例えば、金属アルコキサイドを用いた場合は変換効率が向上したが、金属塩化物を用いた場合は変換効率が減少した。 TiO_2 光電極中での電子寿命の向上が見られないことや、TEM 観察によっても TiO_2 粒子上に薄膜の生成が確認できなかったことから、金属酸化物の前駆体のアニオンの種類が薄膜形成に重要な役割を果たしていることが明らかとなった。この様に本検討によって、適切な金属酸化物による TiO_2 光電極の表面修飾を行うことにより、 J_{sc} を低下させずに V_{oc} を向上させることが可能であることが明らかになった。

次に、Black dye を用いた DSC のさらなる高性能化の方法として、Black dye と各種有機色素を用いた共増感型 DSC の作製を試みた。Black dye との共増感色素として 11 種類の有機色素を検討した結果、NKX-2553 と D131 を用いた場合のみ光電変換効率が向上し、それ以外では Black dye を単独で用いた場合よりも変換効率が低下した。次に、Black dye と NKX-2553(あるいは D131)の濃度比を変化させた場合について検討し、最適な濃度比の探索を行った。その結果、Black dye 単独で 10.00%であった変換効率は NKX-2553 との共増感により 10.32%、D131 との共増感により 11.01%にそれぞれ向上した(表 III-2-(ニ)-B-1(2))。変換効率の向上は、主に大幅な J_{sc} の向上に起因しており、

表 III-2-(ニ)-B-1(2) 共増感を用いた DSC の性能変化

Entry	J_{sc} (mA/cm^2)	V_{oc} (V)	FF	η (%)	Black dye ($\times 10^{-7} \text{ mol}/\text{cm}^2$)	Organic dye ($\times 10^{-7} \text{ mol}/\text{cm}^2$)
Black dye	20.6	0.68	0.71	10.00	3.5	
Black dye + DCA	21.3	0.70	0.71	10.57	2.7	
Black dye + NKX-2553	22.1	0.66	0.71	10.32	2.8	1.7
Black dye + NKX-2553 + DCA	23.0	0.69	0.71	11.18	2.4	1.6
Black dye + D131	23.2	0.68	0.71	11.01	2.8	3.3
Black dye + D131 + DCA	23.5	0.68	0.72	11.57	2.3	2.0

(TiO_2 : 45 μm , 0.226 cm^2)

NKX-2553 や D131 を添加したにもかかわらず、Black dye の吸着量に大きな変化が見られなかったことがその理由であると考えられる。さらに、これらの共増感型 DSC において共吸着剤(DCA)の添加効果についても検討を行った。各最適濃度比の色素溶液に様々な濃度で DCA を添加して DSC の作製を行った。その結果、変換効率は DCA を添加することで向上し、一定濃度を超えると低下することが明らかとなった。DCA 共存下における Black dye と NKX-2553、及び Black dye と D131 の共増感型 DSC において変換効率は 11.18%、及び 11.33%(反射防止膜装着下では 11.57%)となり、中間目標の 11%を超える値が得られた。DCA を添加することにより J_{sc} と V_{oc} が共に向上し、 TiO_2 光電極中での電子寿命も向上したことから、DCA の添加により TiO_2 のコンダクションバンドからの逆電子移動が抑制されたと考えられる。一方、DCA の添加により、Black dye と有機色素の吸着量は共に僅かに減少していた。それにもかかわらず J_{sc} が

向上した理由は、DCAの添加によりTiO₂表面上でのBlack dyeの会合体形成が抑制されたためと考えられる。共増感型DSCにおいては、有機色素の存在によりBlack dyeの会合体形成は抑制されると考えられてきたが、本検討により、共増感型DSCにおいても共吸着剤の添加効果があることが確認された。

更に、Black dyeを用いたDSCのさらなる高性能化の方法として電解液組成の検討を行った。特に、これまで用いてきた基本組成の電解質の一部を新たな電解質に置換した場合の効果について詳細な検討を行った。薄膜のTiO₂光電極を用いた場合、従来の電解液組成では5.69%であった変換効率が、電解液Dを用いると6.27%となった(表III-2-(ニ)-B-1(3) 電解液によるDSC性能変化

Electrolyte	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	FF	η (%)
標準組成	10.80	0.735	0.716	5.69
A	11.56	0.730	0.704	5.93
B	8.43	0.751	0.748	4.74
C	11.82	0.724	0.712	6.09
D	12.53	0.712	0.702	6.27
E	10.91	0.718	0.685	5.37

III-2-(ニ)-B-1(3))。これは主に J_{sc} の向上に起因することが分かった。また、TiO₂光電極中での電子寿命が大きく向上しており、これが J_{sc} の向上に寄与したものと考えられる。一方、Black dyeとD131の共増感型DSCにおいて電解液Dの効果を検討したところ、標準組成の電解液で6.54%であった変換効率は6.74%となり、共増感型DSCにおいても

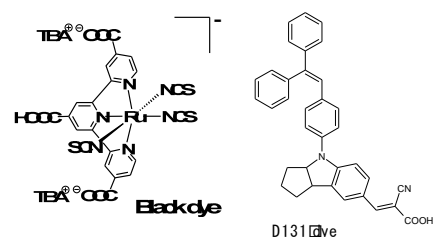
電解液Dは有効であることが確認された。以上の結果を踏まえ、従来の最適条件に電解液Dを適用してDSCを作製したところ、光電変換効率は11.8%まで向上した。自己測定ではあるが、この値はルテニウム錯体色素を用いたDSCにおいて現在の世界最高レベルの値である。図III-2-(ニ)-B-1(5)にはこれら効率向上技術をまとめた図を示す。

◆ 小面積セル(4~5mm角)での効率向上技術開発

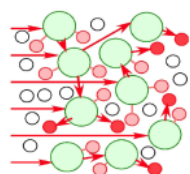
E

各種改善法による太陽電池性能の変化

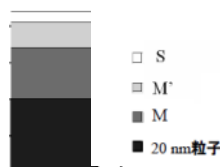
電極構造とセル構成	J_{sc} [mA/cm ²]	V_{oc} [V]	FF [H]	η [%]
従来型	21.0	0.69	0.71	10.3
表面修飾型	20.4	0.73	0.72	10.8
TiO ₂ Beads型	22.3	0.70	0.71	11.0
光閉じ込め最適化	22.6	0.70	0.71	11.2
ダイ・カクテル	23.5	0.68	0.72	11.6
総合最適化	25.1	0.67	0.70	11.8



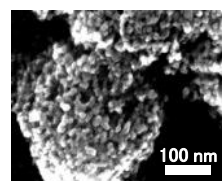
自己測定ではあるが、5mm角セルで世界最高レベルとなる11.8%の変換効率を達成



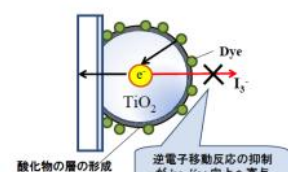
大粒子による光散乱を利用した光閉じ込め効果



開発した新TiO₂光電極構造



Beads型TiO₂凝集粒子



TiO₂光電極への表面修飾

図 III-2-(ニ)-B-1(5) 東京理科大における小面積セル高効率化技術開発のまとめ

②-2) 「10cm 角サブモジュールの耐久性向上の研究開発」

平成 22 年度の検討により、耐熱性試験(B-1 試験)中における DSC の変換効率の低下は主に色素の脱離による J_{sc} の低下によるものであることを明らかにした。TiO₂ 光電極からの色素の脱離は、セル作製工程における微量水分の混入により促進されると考えられるため、本研究では湿度コントロール下においてセル作製を行い、セル作製環境の湿度がセルの耐熱性に及ぼす影響を調べた。大気下、クリーンルーム中、グローブボックス中の 3 つの環境下において作製したセルの耐熱性試験(B-1 試験)の結果を表 III-2-(ニ)-B-1(4)に示す。大気下で作製したセルでは、1000 時間経過後の相対変換効率が 82%であったのに対し、クリーンルーム中で作製したセルは 96%であり、グローブボックス中で作製したセルでは変換効率の低下はほとんど見られず、B-1 試験(85 °C、1000 時間)をクリアすることができた。この結果は、セル作製環境中の湿度とセルの耐熱性には密接な関係があり、セル作製環境化の湿度を制御することによりセルの耐熱性を向上させることができるということを示している。

表 III-2-(ニ)-B-1(4) 各環境下で作製したセルの耐熱性試験(B-1 試験)における性能変化

作製環境	85°C経過時間	Jsc[mA/cm ²]	Voc[V]	ff[-]	η [%]	性能残存率[%]
大気下作製	4	12.94	0.68	0.66	5.78	100.00
	1000	10.98	0.60	0.73	4.75	82.19
クリーン・ルーム 中で作製	8	9.84	0.63	0.67	4.14	100.00
	1002	10.45	0.56	0.67	3.98	96.25
グローブボック ス中で作製	0	10.72	0.66	0.63	4.48	100.00
	1000	11.66	0.59	0.71	4.46	99.40

また、本検討では高性能・高耐久性色素の開発を目指し、Black dye と同様のターピリジン配位子を持ち、またアンカー基としてオルトジカルボキシフェニル基を有する新規色素(TUS-20、TUS-21)の合成を行った。TUS-20 はターピリジンにオルトジカルボキシフェニル基を導入した配位子を持つ色素であり、その吸収スペクトルは Black dye に比べて約 30 nm ほど全体的に短波長側にシフトしていた(図 III-2-(ニ)-B-1(5))。一

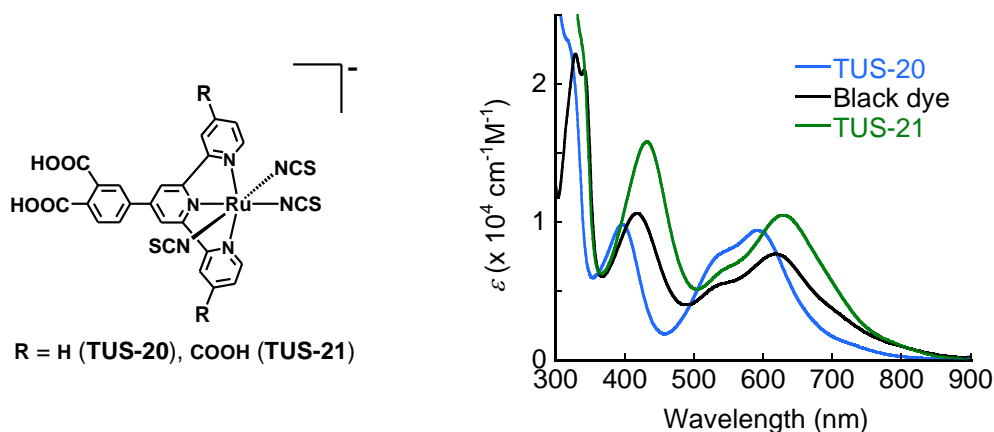


図 III-2-(ニ)-B-1(5) 新規色素 TUS-20, TUS-21 の構造と紫外-可視吸収スペクトル

方、TUS-21 はターピリジン配位子の両端のピリジン環にもカルボキシル基を有し、より Black dye に近い構造を持つ色素である。TUS-21 の吸収スペクトルは Black dye とほぼ同じ吸収端であり、可視光領域全体において Black dye よりも大きなモル吸光係数を持つことが分かった。

表 III-2-(ニ)-B-1(5) TUS20、TUS-21 および Black dye を用いた 5mm 角セルの性能

Dye	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	FF	η (%)	Amount of dye adsorption (x 10 ⁻⁷ mol/cm ²)
TUS-20	16.18	0.635	0.707	7.23	3.3
TUS-21	20.80	0.666	0.669	9.25	1.1
Black dye	20.40	0.704	0.726	10.42	2.3

表 III-2-(ニ)-B-1(5)には TUS20、TUS-21 および Black dye を用いた 5mm 角セルの性能を示す。TUS-20 を用いた DSC では変換効率 7.23% が得られた。Black dye を用いた DSC と比べて J_{sc} の値が著しく小さく、また V_{oc} の値も小さいことが分かった。IPCE スペクトル

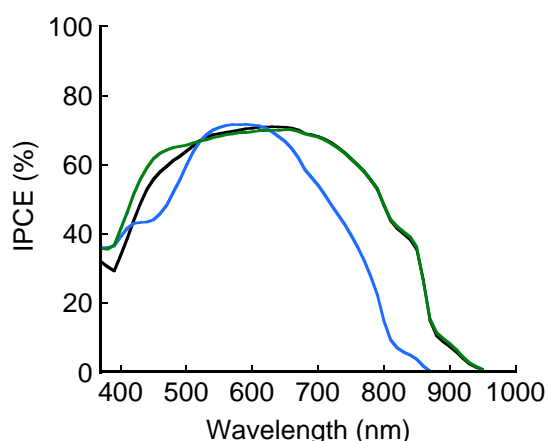


図 III-2-(ニ)-B-1(6) 各種色素を用いた 5mm 角セルの IPCE スペクトル[TUS20(青線)、TUS-21(緑線)、Black dye(黒線)]

を測定したところ、TUS-20 では 650 nm よりも長波長側における変換効率が Black dye に比べて著しく小さかった(図 III-2-(ニ)-B-1(6))。この結果は、TUS-20 の吸収スペクトルが Black dye に比べて短波長側にシフトしていることを反映していると考えられる。また、TiO₂ 光電極中における電子寿命が著しく短いことも確認された。一方、TUS-20 は Black dye よりも TiO₂ への吸着速度が遥かに大きく、飽和吸着量も約 1.8 倍にまで増加していることが分かった。さらに、TiO₂ からの脱離が完全には進行しないことも分かった。

以上の結果は、オルトジカルボキシフェニル基がアンカー基として有用であり、TUS-20 が Black dye よりも高い吸着能を持つことを示すものである。

一方、TUS-21 を用いた DSC では変換効率 9.25% が得られた(表 III-2-(ニ)-B-1(5))。 J_{sc} は Black dye の値を超える 20.80 mA/cm² であった。上図に示すように 520 nm よりも長波長領域においては Black dye と同じ IPCE 値を示し、短波長領域ではより高い値を示した。TUS-21 が可視光領域全域において Black dye よりも高いモル吸光係数を持つことが IPCE の向上につながったと考えられる。一方、TUS-21 の吸着量は Black dye の半分ほどに留まり、また、TUS-20 とは異なり TiO₂ から容易に脱離することが分かった。この結果は、TUS-21 が TUS-20 とは異なる様式で TiO₂ に結合していることを示唆していると考えられる。

②-3) 「低コストサブモジュール作製のための基礎材料の研究開発」

DSC の低コスト化に向けては、対極における触媒である白金の代替材料開発が必要不可欠である。本検討では、白金代替材料として各種カーボン材料を用いたカーボン対極の作製方法と高性能化について検討を行った。平成 23 年度では、4 種類のカーボン材料についての検討を行い、実際にカーボン対極を作製してそのセル性能を調べた。下表に示す通り、カーボン B を用いた対極のセルでは変換効率が 8.4% であり、白金対極を用いたセルの 94% に相当する変換効率を達成できた。このカーボン対極を用いた 5mm 角セルの最適化を進め、最高 9.8% の変換効率を達成した(表 III-2-(ニ)-B-1(6))。本成果により、カーボン材料を用いて白金対極に匹敵する性能を示す低コストカーボン対極を作製できることが示された。

表 III-2-(ニ)-B-1(6) 各種カーボン対極を用いた DSC の性能

対極種類	Jsc [mA cm ⁻²]	Voc [V]	FF [-]	η [%]	対極膜厚 [μ m]
Pt (参照)	18.4	0.71	0.68	8.9	—
カーボンA	19.6	0.65	0.62	7.8	10.3
カーボンB	19.4	0.68	0.64	8.4	3.1
カーボンC	19.9	0.68	0.58	7.9	6.9
カーボンD	19.0	0.67	0.60	7.6	7.3

以下、特許、論文、外部発表などの件数を表 III-2-(ニ)-B-1(7)に、研究開発項目ごとの成果・達成度を表 III-2-(ニ)-B-1(8)にそれぞれ示し、本項目のまとめとする。

表 III-2-(ニ)-B-1(7) 特許、論文、外部発表等の件数

	H22	H23	H24	計
特許出願 (うち外国出願)	0 (0)	5 (0)	0 (0)	5 件
論文 (査読付き)	4	7	0	11 件
研究発表・講演 (うち国際会議)	26(7)	34(5)	4	64 件
新聞・雑誌等への掲載	3	1	0	4 件
受賞実績	1	2	2	5 件
展示会への出展	2	1	0	3 件

※平成 24 年度 7 月 25 日現在

表 III-2-(ニ)-B-1(8) 研究開発項目ごとの成果・達成度

中間目標	研究開発成果	達成度	コメント
①-1 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 (株式会社フジクラ) 30 cm 角程度のモジュールで効率 8%以上かつ JIS C8938 試験での相対効率低下 10%以内	25cm 角 $\eta_{ap}=7.2\%$ のモジュールで 85°C, 85%RH, 1000h 後での性能低下 3% 今後、①-3 の高効率化技術を適用する事で変換効率も達成の見込み	◎	耐久性に関して目標を大幅に超えて達成
①-2 色素増感太陽電池モジュールの屋外耐久性実証とシステム化技術開発 (株式会社フジクラ) 1 m ² 程度のパネルを作製し、連続屋外動作(1 ヶ月以上)を実証 (H24 年度より開始)	50cm 角モジュール 4 枚を屋外に設置し、試験中。 (H24 年 9 月達成予定)	△	
①-3 高耐久性色素増感太陽電池モジュールの高効率化技術の研究開発 (株式会社フジクラ) 変換効率 9%以上の高耐久性色素増感太陽電池サブモジュール (5cm 角程度) の開発	耐久性材料を用いた 5 cm 角サブモジュールで $\eta_{ap} = 9.2\%$ を達成	○	
②-1 1cm 角程度セルおよび 10cm 角サブモジュールの高効率化技術の研究開発 (東京理科大学) 1cm 角セルで変換効率 11%以上、10cm 角セルで 10%の達成	5mm 角セル 11.8%(自己測定)、1cm 角セル 10.5%(AIST 測定) 今後、5 mm 角セル高効率技術を 10 cm 角への適用していく。	○	
②-2 10cm 角サブモジュールの耐久性向上の研究開発 (東京理科大学) 変換効率 9%の 10cm 角サブモジュールで JIS C8938 試験での相対効率低下 10%以内	1cm 角セル (4~5%) で耐熱性試験性能低下率 0% 1cm 角セル耐久性技術を 10 cm 角への適用する事で目標達成見込み	△	
②-3 低コストサブモジュール作製のための基礎材料の研究開発 (東京理科大学) Pt 代替対極を用いた 1cm 角セルで $\eta=10\%$ の達成、非 FTO セルで 8%の達成	カーボン対極セル (5mm 角) 9.8%、非 FTO 5mm 角セル 4.4% 今後、1cm 角への拡大、非 FTO 基板セル高性能化の検討により目標達成見込み	△	

2. 実用化・事業化見通し

これまでの当研究開発において得られた色素増感太陽電池(DSC)の性能は、別項でも記載の通り、高効率仕様の5 mm角セルでは11.8%の変換効率が得られており、耐久性仕様の集電配線型モジュールでは、5 cm角で9.2%、25 cm角では7.4%の変換効率が得られている。この耐久性仕様モジュールは(85°C・85%RH)×1000時間などJIS-C8938の各種耐久性試験をクリアできるものであり、DSCの性能として世界トップレベルの技術水準に達している。この様に、当グループの技術はDSCの実用化を図る上で優位な位置付けにある。

今後の当研究開発では、既に達成している5 cm角での変換効率を25 cm角などの大面積でも達成可能とするとともに、各モジュールの変換効率をもうひと段引き上げることで、より高効率かつ高耐久性を有するDSCモジュールを実現していく。さらに、本プロジェクトの成果を基として、平成24年度からは「有機系太陽電池実用化先導研究開発」も並行して実施する。この「有機系太陽電池実用化先導研究開発」では、これまで試作段階であった大面積DSCモジュールの製造プロセスの確立を進めるとともに、屋外実証試験にて各種条件下における発電特性、耐久性などのデータを集める事を目的としている。上記2つの研究開発を実施していく事で、DSCの実用化・事業化に向けた基盤を確実なものとする。

具体的な実用化に向けた方針としては、まずDSCの特長を活かした分野からの立ち上げを見込んでいる。DSCの特長として、従来のSi系太陽電池と異なり、光の照射強度が弱くなるとむしろ変換効率が向上し、また、入射角度が大きくなっても変換効率が安定しているという点が挙げられる。この利点を活かし、他の太陽電池よりも優位性の高い分野からの実用化を進める。実用化後、製造規模の拡大に伴い材料コストを低減していくとともに、その特性改善を進めることで生産規模を拡大した事業化へと繋げていく。

3. 波及効果

色素増感太陽電池(DSC)は、生産に関する設備投資額が少なく、飛躍的な事業拡大の可能性が高いデバイスと考えられる。さらに、2020年の発電コスト14円/kWhの実現から2030年の発電コスト7円/kWhをも見通せるポテンシャルをもつ技術でもある。従って、研究開発成果としてこのDSCの実用化に目処がつくことによる太陽電池産業への影響は非常に大きく、汎用電力並みのグリッドパリティも現実的となるとともに、独自の応用の広がりによる新市場開拓の期待もあり、太陽電池の普及・拡大が全世界的に進むものと期待できる。

また、DSCは従来の太陽電池とは異なる光強度・入射角依存性を有するため、既存太陽電池の主たる活躍フィールドではない分野での新たな利用形態を見込む事ができる。例えば、近年注目されているセンサーネットワークにおいて、DSCは従来の太陽電池よりも設置場所の制約が少ない電源用途として有望であり、配線や電池交換の手間も無くすることが可能である(図 III-2-(ニ)-B-2(1))。このセンサーネットワークの拡大は、インフラ・環境管理の高品質化に繋がり、人々の生活の安全性・利便性向上に大きく貢献できる。この様にDSCは従来利用できなかったフィールドでの太陽電池の利用を広げることにもできる技術であり、その関連技術・商品の提供に伴う経済効果も期待できる。

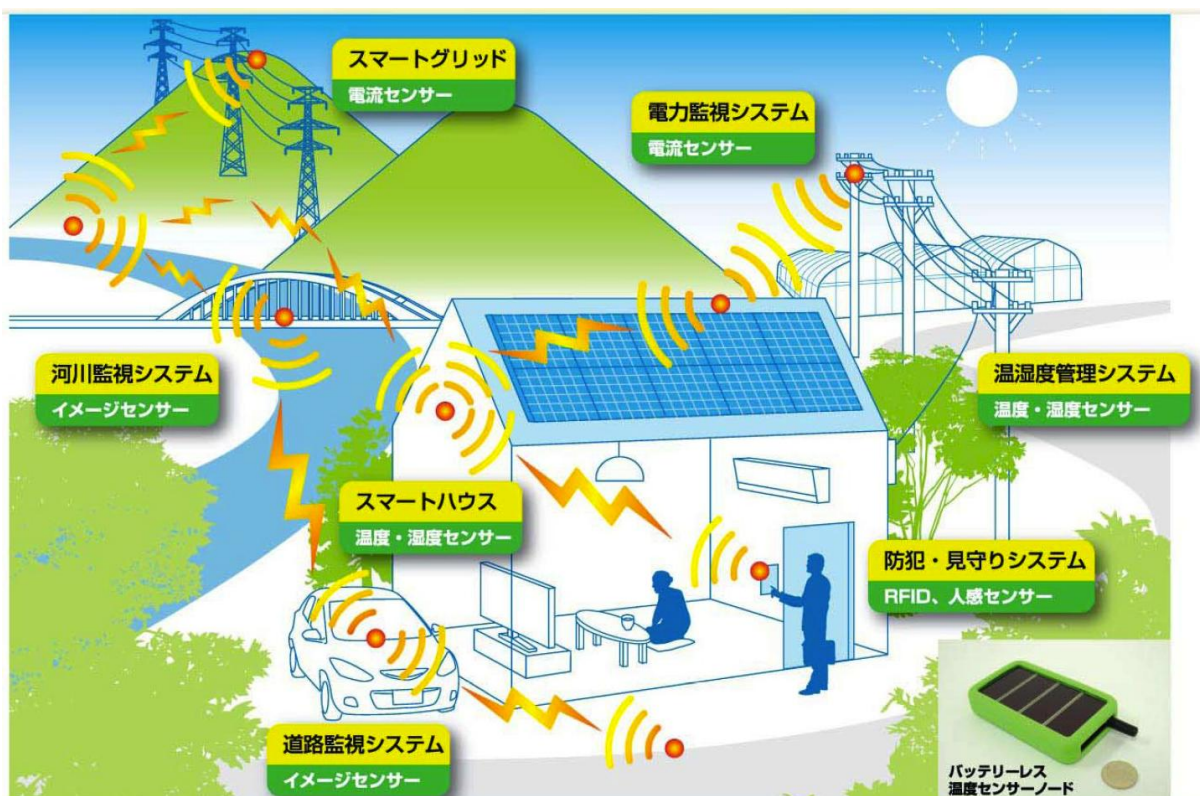


図 III-2-(ニ)-B-2(1) センサーネットワークへの DSC 利用イメージ
(株)フジクラ パンフレットより抜粋)

4. 今後の展開

別項でも記載の通り、当グループでは既に(85℃・85%RH)×1000時間など JIS-C8938 に準ずる複数の耐久性試験をクリアできる、変換効率7%以上の高耐久性 DSC モジュールを開発しており、DSC の性能として世界トップレベルの技術水準に達している。

今後、平成26年度までの当研究開発において、既に9.2%を達成している5cm角セルの効率を新規材料の利用やセル構成の改善により10%以上に引き上げるとともに、30cm角程度のモジュールでも同等の効率が得られるように改善することで、最終目標である耐久性を有する変換効率10%のDSCモジュールを達成する。

さらに、平成24年度から並行して3年間実施する「有機系太陽電池実用化先導研究開発」において、大面積DSCモジュールの製造プロセスの確立を進めるとともに、屋外実証試験を行うことでDSCの各種条件下における発電特性や耐久性などのデータを集めていく。この上記2つの研究開発を実施していく事で、DSCの実用化に向けた基礎を確立する。

この委託事業終了後の事業化スケジュールを表III-2-(ニ)-B-4(1)に記す。DSC商品化の第一ステップとしては、その特長を活かした分野での小規模生産を想定している。この小規模生産によって、材料コストの低減や生産効率向上を進めるとともに、DSCの市場を拡大していく。製造コストの低減や市場規模の拡大を達成した後、更なる事業拡大に向けた設備増強を行いよりスケールアップした事業化へと繋げていく。

表 III-2-(ニ)-B-4(1) 委託事業終了後のスケジュール

	H27年度□	H28年度□	H29年度□	H30年度□	H31年度□
・商品化準備 (設計・客先評価など)□					
・量産化検討 (技術開発・体制確立)□	★事業化判断□	★設備増強判断□	★事業継続判断□		
・生産□	小規模体制確立□	生産効率向上□	顧客スケジュールに沿った小規模生産(サンプル等)□	スケールアップ□	市場要求に応じて規模拡大□
・販売□					

5. 特許論文リスト

表 III-2-(ニ)-B-5(1)【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	出願	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	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
3	(株)フジク ラ	特 願 2012-078709	国内	2012/3/30	出願	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	出願	色素増感太陽電池	土井克浩
5	(株)フジク ラ 東京理科大学	特 願 2012-083235	国内	2012/3/30	出願	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

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

表 III-2-(ニ)-B-5(2)【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	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-sensitized 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 TiO ₂ 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 efficiency of 7.6%	Solar Energy Materials & Solar Cells	有	2010年5月
5	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-	日本太陽エネルギー学会誌	有	2010年9月

6	小野孝彦、山口岳志、荒川裕則	東京理科大学	メソポーラスSnO ₂ 光電極を用いた色素増感太陽電池-SnO ₂ 光電極の酸化物薄膜による表面修飾効果-	日本太陽エネルギー学会誌	有	2010年10月
7	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
8	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
9	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.120	無	2012年2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	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
12	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
13	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

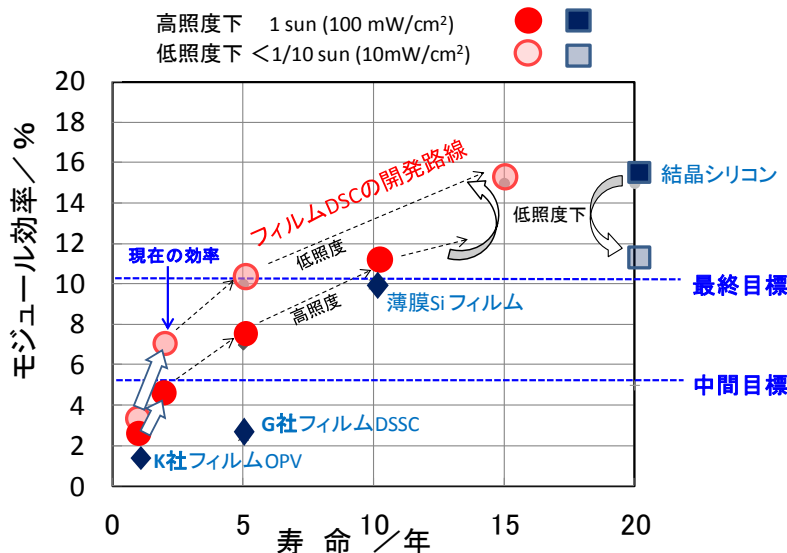
【その他外部発表】

1. 2010年6月25日付 日刊工業新聞:研究室作製の10cm角色素増感太陽電池モジュールを用いて温度サイクル試験をクリアしたことが紹介された
2. 2010年6月30日～7月2日:パシフィコ横浜で開催されたPV Japan 2010において10cm角色素増感太陽電池モジュール、およびポスターを出展
3. 2011年2月16日付 日経産業新聞:色素増感型太陽パネル-薄暗くても発電、電源に-
4. 2011年3月2日～4日:第4回国際太陽電池展(PV EXPO 2011)へのブース出展
5. 2011年12月:幕張メッセで行われたPV JAPAN 2011において10cm角色素増感太陽電池モジュール、10cm角プラスチック基板色素増感太陽電池モジュールを出展

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

本プロジェクト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ており、現時点における開発進捗状況と他の太陽電池との関係については以下の通りである。プロジェクト開始時から比べるとモジュール性能は確実に向上しており、現在上市しているフレキシブル有機太陽電池の効率レベルはクリアしている。



図III-2-(ニ)-C-1(1) 開発状況とポジショニング

また、高効率化におけるNEDOの中間目標は7%であるが、これは、ガラス基板を想定したものであり、本コンソーシアムではNEDOとの合意のもと独自目標を設定し、フィルム基板型DSCの実用化を目指して開発に取り組んでいる。

なお、研究項目ごとの成果・達成度を次頁の表に示す。現時点では、中間目標を達成していない項目もあるが、これまでの成果を活かして開発を進めることによって、今年度中（H25年3月）には達成する見込みである。

中間目標を達成するために、変換効率については J_{sc} （電流値）、 V_{oc} （電圧値）ともに向上することが必要である。 J_{sc} の向上については、発電に有効な波長範囲を広げることで対応できると考えている。昨年度までの取り組みのなかで、波長の異なる複数の増感色素を組み合わせることにより、 V_{oc} を低下させずに発電波長範囲を拡大し、さらに強色増感効果が得られることを見出しており、開発をさらに進めることにより向上可能である。 V_{oc} についても半導体膜の化学修飾によって向上できると考えている。

また、水と酸素のセル内への侵入が太陽電池の性能劣化につながっていると考えており、基板と封止層のバリア性を高めることで耐久性の向上が可能である。さらに、微量の水や酸素の浸入では性能低下しないようにするための非ヨウ素電解液の開発も進めており、これらの技術の結集により、H24年度中に中間目標を達成できると確信している。

表Ⅲ-2-(ニ)-C-1(1) 研究開発項目ごとの成果・達成度（コンソ全体）

中間目標	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 ・100cm ² フィルムモジュールで変換効率 5%	セル変換効率 6.1%(TiO ₂ 型) 5.3%(ZnO型) モジュール変換効率 4.0%(TiO ₂ 型) 3.1%(ZnO型)	△ (H25年3月達成予定)	・Jsc(電流値)の向上 ・Voc(電圧値)の向上
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	△ (H25年3月達成予定)	・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：△、 達成不可：×

表Ⅲ-2-(ニ)-C-1(2) 研究開発項目ごとの成果・達成度（委託先別）

中間目標 (グンゼ株式会社)	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 ・100cm ² フィルムモジュールで変換効率 5%	セル変換効率 5.3%(ZnO型) モジュール変換効率 3.1%(ZnO型)	△ (H25年3月達成予定)	・Jsc(電流値)の向上 ・Voc(電圧値)の向上
②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	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 60℃-90%クリア	△ (H25年3月達成予定)	・バリア性の向上
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	○	

中間目標 (桐蔭横浜大学)	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 印刷法による酸化チタン フィルム光電極の作製	ITO膜との密着強いスクリー ン印刷用 TiO ₂ ペースト開発 セル変換効率 6.1%(TiO ₂ 型)	○	
②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	白金コロイド/PEDOT 複合膜 による塗布型対極を開発 安定性(～80℃)と耐久性の 高い非ヨウ素電解液の開発	○	
③モジュール設計評価技術 の開発 ・100cm ² フィルムモジュール で変換効率 5% ・実証試験と実用性評価	両面発電型モジュールの作 製および 1sun～1/200 sun の 光量範囲における出力安定 性を確認、モジュール変換効 率 4.0%(TiO ₂ 型)	△ (H25年3月 達成予定)	シリーズ抵抗の低減、 モジュール効率の向 上

中間目標 (山形大学)	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	セル変換効率 5.3%(印刷法・ フィルム基板) 耐久性は酸化チタンに勝る ことを確認	△ (H25年3月 達成予定)	・IPCEの向上 ・Voc(電圧値)の向上
②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	ZnO印刷膜を用いたセルにつ いて 4.6% (D149) → 5.8% (DN350)への効率向上と命綱 アンカーによる耐久性向上	○	

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ている。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るという形で実用化に向けて精力的に開発を進めている。

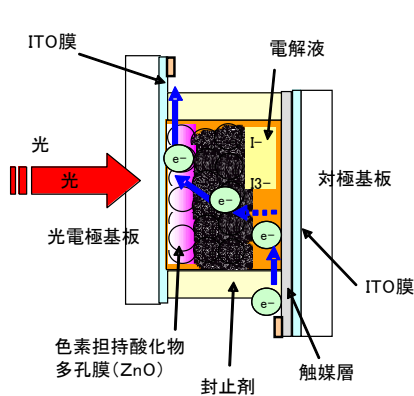


図 III-2-(ニ)-C-1(2) 色素増感太陽電池の構成

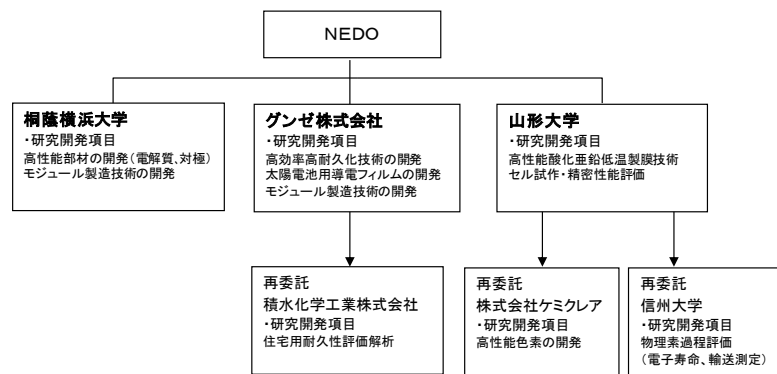


図 III-2-(ニ)-C-1(3) 開発体制図

従来、半導体層として酸化亜鉛膜と酸化チタン膜を検討していたが、より開発効率を高めるために、どちらかに一本化する必要があると感じており、半導体膜に関して比較試験を実施した。イオン液体型電解液を用いた系で実用性を判断するため、特にバリア機能を付与せず太陽電池セルを高温高湿環境 (60°C-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°C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ていると考えている。

この比較試験の結果から、本コンソーシアムでは、酸化亜鉛半導体膜を選択し、色素増感太陽電池の実用化に向けて、高性能フィルムモジュールの開発を進めた。

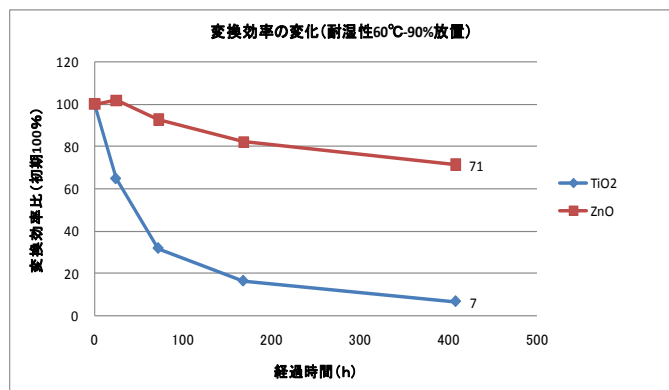
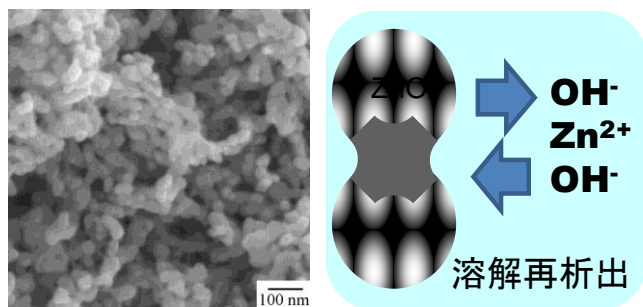


図 III-2-(ニ)-C-1(4) 酸化亜鉛膜と酸化チタン膜の耐久性評価

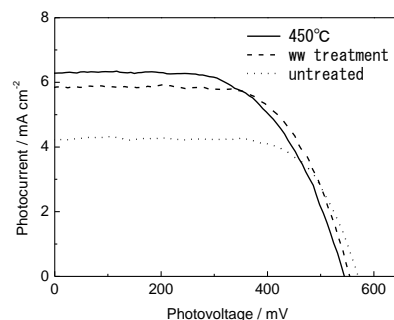
(1) 高効率化技術の開発

(a) 温水処理効果

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も見出している。



図Ⅲ-2-(ニ)-C-1(5) 酸化亜鉛ナノ粒子のSEM写真



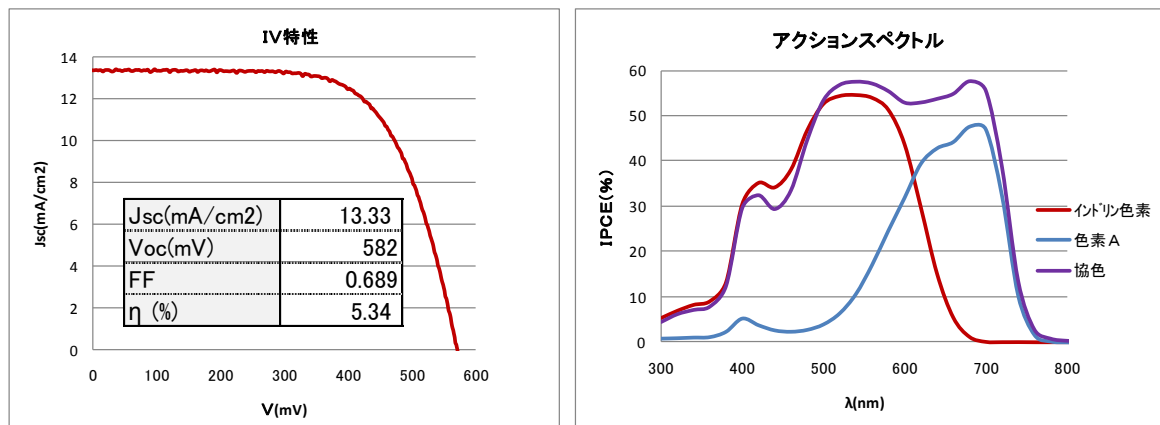
図Ⅲ-2-(ニ)-C-1(6) 温水処理による J_{sc} の向上

(b) 複数色素の活用

フィルム基板酸化亜鉛型色素増感太陽電池において、主に半導体膜成膜技術と色素吸着技術の開発により、セルの変換効率を従来の3%から5.3% ($\phi 6\text{ mm}$ サイズ、高沸点有機溶媒電解液、封止セル)に向上させた。これは、酸化亜鉛フィルム型セルで封止タイプでは世界最高水準である。

成膜技術については、酸化亜鉛微粒子の選定とペースト材料開発による酸化亜鉛膜の構造制御と電解液の最適化により特性を向上させた。また、酸化亜鉛型ではルテニウム色素が好適でないため、有機色素では色素吸収波長範囲が狭く、特性低下の原因になっていたが、長波長吸収型色素の開発と複数色素の組合せ技術により、長波長側の吸収波長範囲を拡大し、セル特性を大幅に向上することができた。また、アクションスペクトルを確認すると、増感色素の感度を向上させる強色効果の存在も確認できた。

また、色素の構造と強色効果の関連についても傾向を把握しており、今後、更なる高効率化が可能であると考えられる。

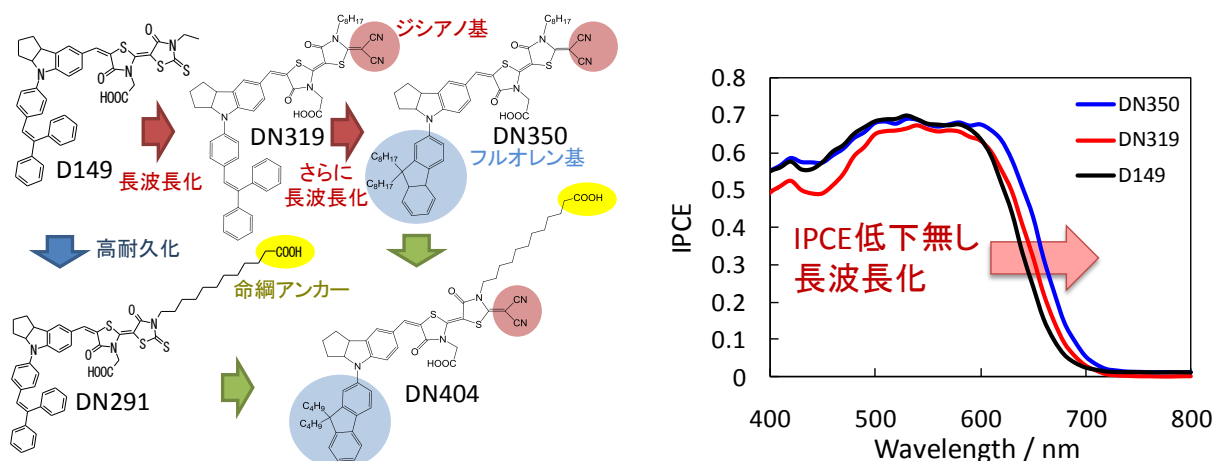


図Ⅲ-2-(ニ)-C-1(7) 酸化亜鉛フィルム型セルのIV特性とアクションスペクトル

(C) 高性能色素の開発

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(8) 酸化亜鉛フィルム型セルの I V 特性とアクションスペクトル

(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

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。

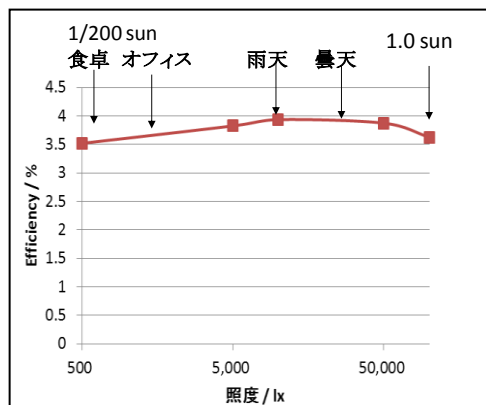


図Ⅲ-2-(ニ)-C-1(9) メタルメッシュ基板の製造例とメッシュパターン

(b) PEDOT対極を用いた両面発電型モジュール試作

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140×55mm、厚さ0.5mm、重量10g）のモジュールの試作を行い、最大出力は0.22W（ $V_{oc} \geq 4V$ ）、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%、 $V_{oc} 3.5V$ 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。

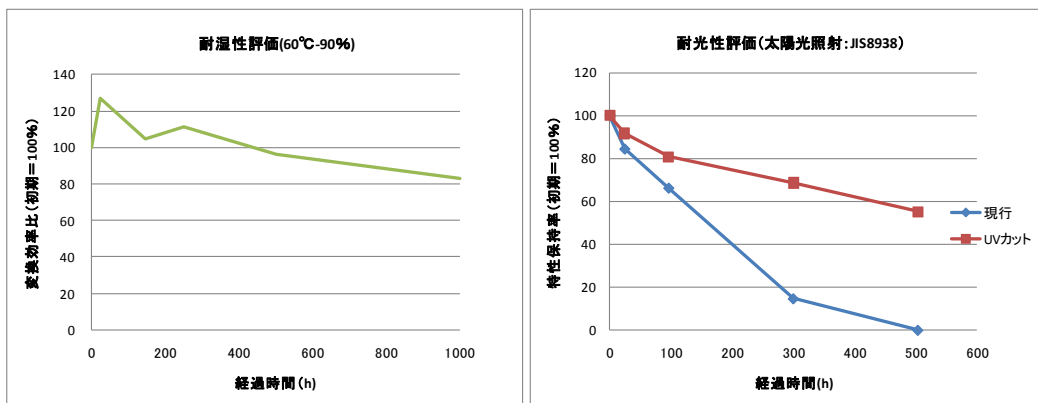


図III-2-(ニ)-C-1(10) 両面発電型モジュールと光量変動と出力の関係

(3) 耐久性向上技術の開発

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。

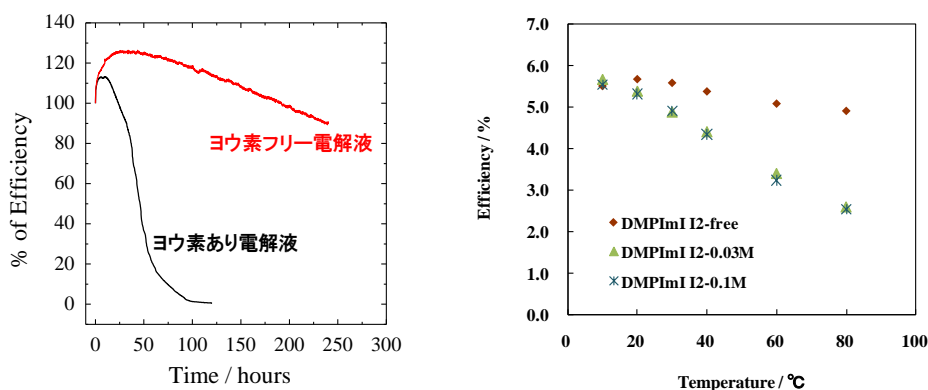
まず、耐高温高湿性について、単セルでは60°C90%RH条件の1000時間をクリアすることができた。しかし、85°C85%RH条件では劣化が大きく、現在のところ、目標未達である。モジュールではさらに劣化しやすくなる傾向であるが、ガスバリアフィルムのラミネートにより耐湿熱性も向上できることを確認した。また、耐光性については、UVカットフィルムの装着や表面UVカットコートにより、耐光試験での効率半減劣化時間を100時間から500時間に向上させることができた。いずれに関しても、耐久性向上の手法は見出ししており、今後の取り組みによりJIS規格C8938の達成は可能であると考えている。



図III-2-(ニ)-C-1(11) 耐久性能評価結果 (60°C-90%、耐光性)

(b) ヨウ素フリー電解液の開発

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-(二)-C-1(12) 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

本コンソーシアムは、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、屋内用途から短期的な屋外使用の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条件にモジュールを設置し、プレ実証評価を実施した。現状、想定されているDSCのメリットを有効利用するため、住宅の窓にDSCを設置し、他の太陽電池との違いを評価することとした。

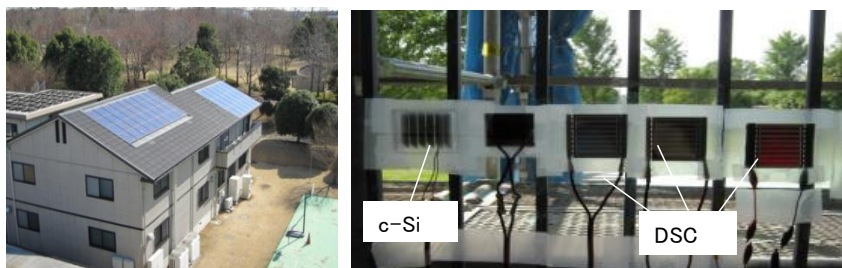
実証評価にあたり、住宅の窓(屋内)に設置することを想定した信頼性試験として温度サイクル(-10℃←→60℃)試験を実施し、フィルムモジュールは若干の低下は見られるが、試験可能レベルと判断し、実証試験を開始した。

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)での低抵抗負荷条件における一日の出力変化測定を行った。

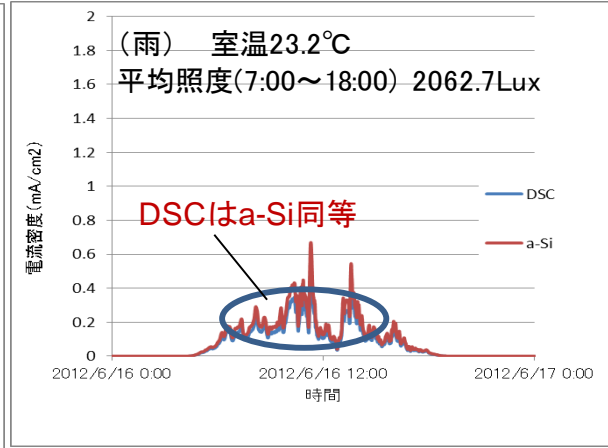
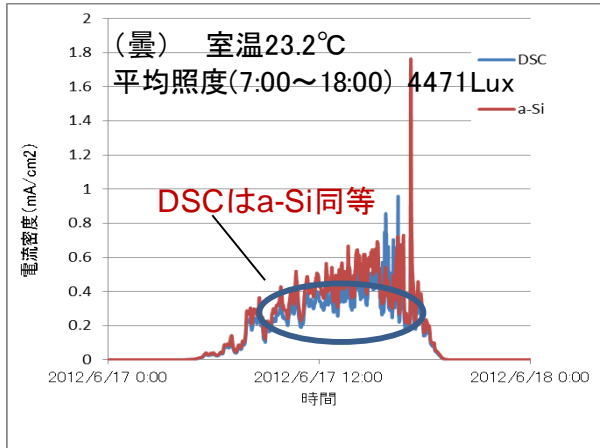
本試験の結果は下記のとおりである。

- ・日射の少ない部屋および雨天時・曇天時、DSCは、a-Siとほぼ同等性能を発現した。

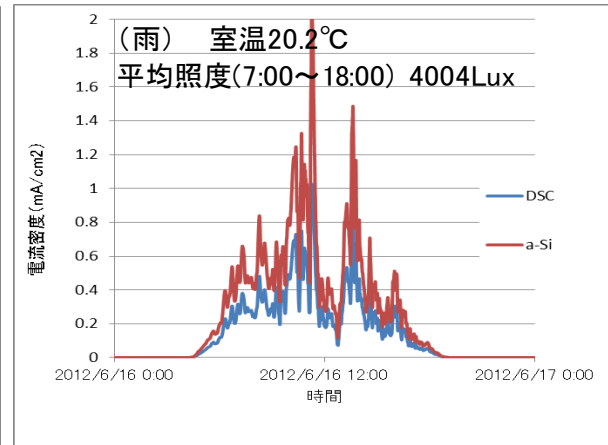
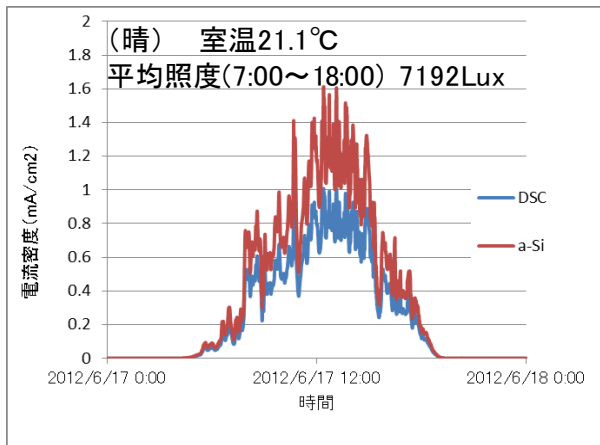
本試験では、色素増感太陽電池の実用性能を明確に把握することができただけでなく、窓やその他の建築物に貼ることができるフィルム型色素増感太陽電池の大きなメリットを示すことができたと考えている。



図Ⅲ-2-(二)-C-1(13) モデル住宅における実装試験の様子



図Ⅲ-2-(ニ)-C-1(14) 各太陽電池の一日の出力変化 (曇天時、雨天時：西面窓)



図Ⅲ-2-(ニ)-C-1(15) 各太陽電池の一日の出力変化 (晴天時、雨天時：南面窓)

表Ⅲ-2-(ニ)-C-1(3) 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 年度計	2			10	8	
グンゼ	1				1	展示会 3
岐阜大	1			8		研究発表、講演 40 展示会 2
桐蔭横浜大				2	7	研究発表、講演 8 展示会 2
平成 23 年度計	6			10	3	
グンゼ	4					学会ポスター1、研究会 2、展示会 2
岐阜大				8		研究発表、講演 31 展示会 1
桐蔭横浜大	2			2	3	研究発表、講演 21 展示会 3
平成 24 年度計	0			4	3	1
グンゼ						
山形大				3		研究発表、講演 4
桐蔭横浜大				1	3	研究発表、講演 4 展示会 1

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条項)

また、知的財産権の確保や成果の普及についても積極的に取り組んでおり、論文提出は現時点で 23 件である。また、研究発表については特に力を入れており、テレビ等のメディアも利用してフィルム型色素増感太陽電池の実用性についてアピールしている。また、展示会にも出展し、フィルム型ならではのアプローチについて提案している。

表Ⅲ-2-(ニ)-C-1(4) 最終目標達成の可能性

研究課題	最終目標 (平成 26 年度末)	対策
①高効率化	モジュール効率 10% (1000cm ²)	・高性能色素と協色技術開発 ・タンデム用中間電極の開発
②耐久性の向上	JIS 規格 C8938 相対効率低下 10%以下	・バリア膜ラミネート技術の開発 ・固体電解質の開発
③低コスト製造技術の開発	7,000 円/m ² 以下	・メッシュフィルムの活用 ・ロール to ロール工程を活かした 生産プロセスの構築
④実用化技術の開発	試験販売の実施	・ユーザーニーズの把握と魅力ある 商品の提案

最終目標達成について、耐久性向上の点ではグンゼが保有しているバリア膜の製膜とラミネート技術の活用および、桐蔭横浜大が担当する固体電解質の開発により達成可能だと考えている。また、高効率化に関しては、1000cm² サイズモジュールで変換効率 10%以上というフィルム基板型にとっては非常に高い目標値ではあるが、タンデム構成セルの開発によって達成可能できるものと考えており、そのための中間電極の開発も可能である。また、タンデム構成を用いなくても、高性能色素の開発と酸化亜鉛膜の化学修飾による逆電子防止技術の開発、なにより、半導体膜を酸化亜鉛膜に絞り込めたことにより、コンソーシアム内の開発がより強固なものになっており、フィルム基板型では最高の取り組みができるため、最終目標の達成も可能であると考えている。

また、フィルムを活かした低コスト生産技術の開発についてもメタルメッシュフィルム基板を活用するという一定の方向性を示すことができしており、既存太陽電池が使用できない分野を中心に実用化するという点においても、プロジェクト参画の責任を果たしていきたいと考えている。

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

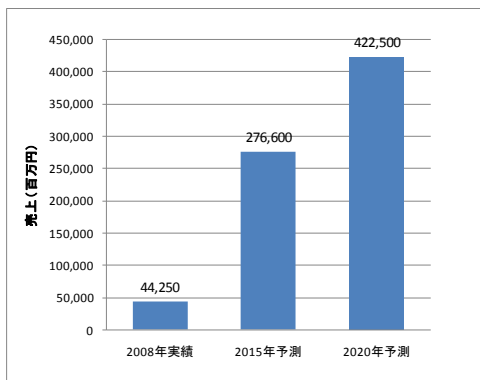
色素増感太陽電池を含めたすべての有機系太陽電池は、結晶シリコン等の無機接合太陽電池との比較において基本的な耐久性に劣ることは、材料上避けられない（JIS 耐光堅牢試験（ブルースケール）最高級フタロシアニンをもっても無機材料に及ばない）。したがって、有機系太陽電池の開発は、シリコンを置き換える可能性に向けるのではなく、シリコンとの共存において、シリコンにとって困難な産業化の分野で、電源として実用化することを目指すことがもっとも社会貢献が大きく、市場の波及効果も大きいと考える。

(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（軽量プラスチックモジュールには本年100万個の生産の見積もり依頼があった）。色素増感型を求める一方で、ユーザーはガラス基板を使う太陽電池は仕様上・安全上も論外との考えであり、この状況を見てもDSCの産業実用化は、軽量プラスチック型に絞ることが重要と認識している。グンゼが実施したユーザーヒアリングだけでもフィルム型色素増感太陽電池のニーズについて、屋内と屋外分野を合わせて年100億円程度の市場が見込まれている。



図Ⅲ-2-(ニ)-C-2(1) フレキシブル太陽電池の市場 (富士経済調べ)

図Ⅲ-2-(ニ)-C-2(2) ヒアリングで得られたフィルム型DSCの用途例

(d) 軽量フレキシブル有機太陽電池の世界的な現状

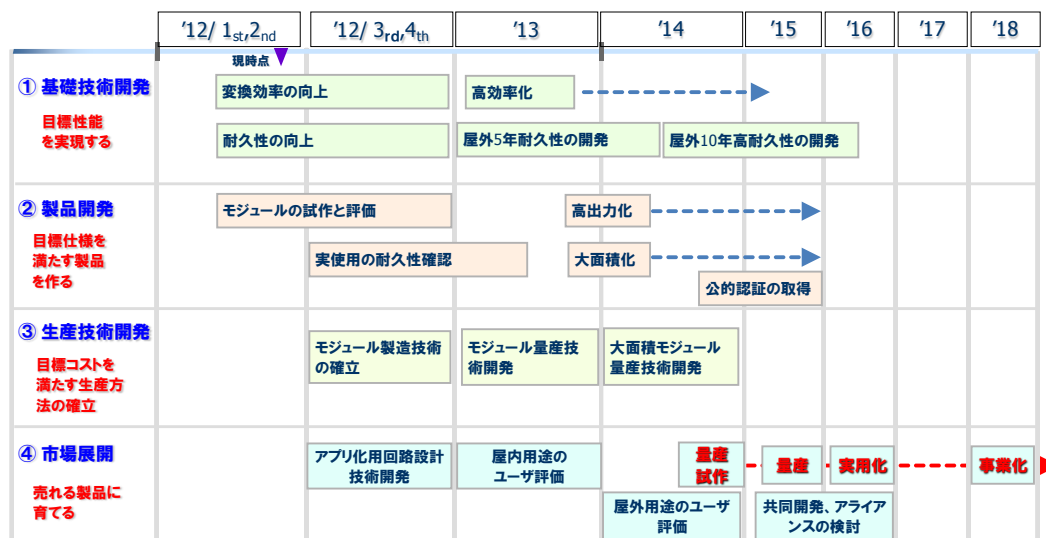
この1年間に、商品化している軽量フレキシブル型の有機系太陽電池のモジュールをすべて入手し、性能と耐久性の評価を実施した（桐蔭横浜大）。有機薄膜型、色素増感型（基板はいずれもプラスチック+金属箔の併用）ともに、モジュール変換効率は1～2%の範囲であり、有機薄膜型は、光量の低下によって電圧の低下と効率の低下を伴った。また、耐久性はいずれの商品も1年以内に効率が1/2以下に低下する傾向が確認された。これと同時に比較した本コンソーシアムの開発品のプラスチックモジュールは、効率が2倍以上高く、また、耐久寿命も1年以上持続することがわかり、現時点では、ユーザーの求める有機系軽量フレキシブル型としては、世界最高のレベルにあることを確認している。

表Ⅲ-2-(ニ)-C-2(1) フレキシブル有機太陽電池の比較

種類	メーカー	基板の種類	両面発電	モジュール変換効率	耐久寿命
色素増感型	本コンソシアム	透明樹脂	あり	3.5～4%	2年以上
	G24I	樹脂/Ti金属	なし	<2.7%	1～2年
有機薄膜型	Konarka	樹脂/Ag金属	なし	1.4%（高光量で低下）	<1年
薄膜Si型	富士電機等	金属箔/樹脂	なし	5.5～8%	10年以上
CIGS型	AIST	Ti金属箔	なし	モジュールはなし	20年以上

(2) 実用化までのシナリオ

まずはフィルム型実用モジュール効率5%と屋内耐久性を早期に確立して、屋内用途の組み込み部品として製品化を進める。並行して、半屋外用途である住宅やオフィスの窓設置用パネルの開発を進める。その後更なるモジュール性能向上を進め、屋外短期耐久性を確立して、屋外分散型電源用途に市場拡大する。概略スケジュールを開発ロードマップの形に示す。



図Ⅲ-2-(ニ)-C-2(3) 実用化スケジュール

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。

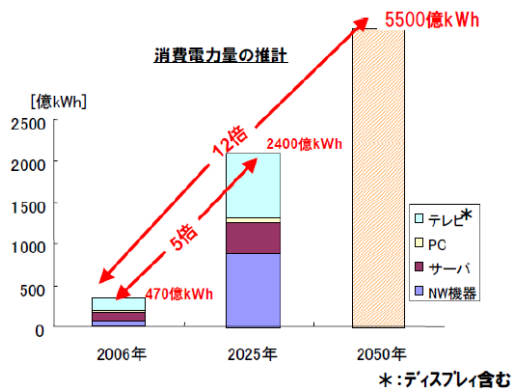
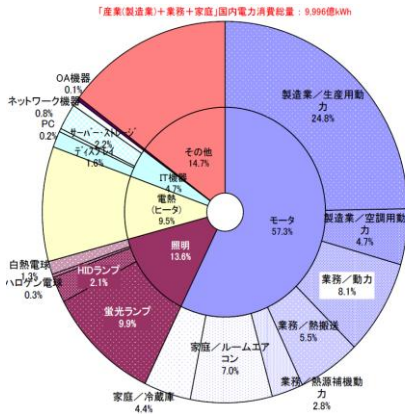
(2) 国内生産と波及誘発効果

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业も必要となるため、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。

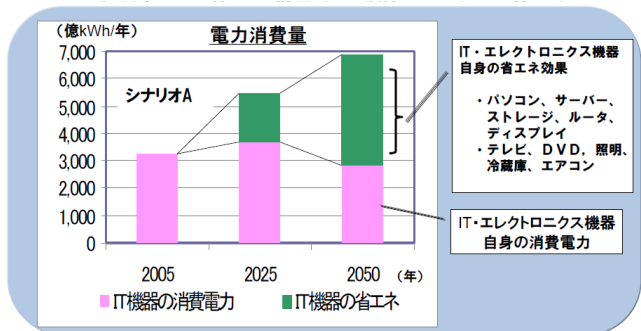
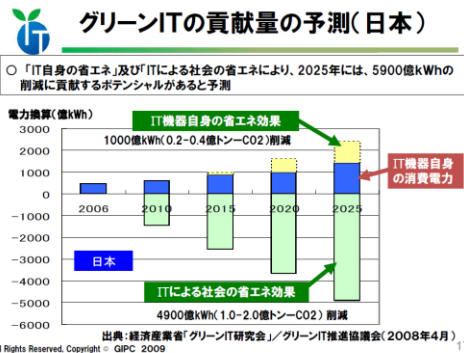
4. 今後の展開

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) IT機器の全国総電力消費量の推移



図Ⅲ-2-(ニ)-C-4(3) IT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、ゲ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し。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

【特許】

表Ⅲ-2-(ニ)-C5(1) (ゲンゼ)

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	ゲンゼ株式会社	2011-28542	国内	2011/ 2/14	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	ゲンゼ株式会社	2011-140186	国内	2011/ 6/24	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	ゲンゼ株式会社	2011-237530	国内	2011/ 10/28	出願	色素増感太陽電池作製用キット	岡本俊紀、河野裕子
4	ゲンゼ株式会社	2011-246822	国内	2011/ 11/10	出願	色素増感太陽電池作製用キット	岡本俊紀、河野裕子
5	ゲンゼ株式会社	2012-08276	国内	2012/ 3/30	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

表Ⅲ-2-(ニ)-C5(2) (岐阜大→山形大)

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 アイテック	2011-056005	国内	2011/ 3/14	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」	吉田 司、萬関一広、伴隆幸、杉浦 隆、近藤洋介、飯田勝康、澤谷清一、大島英紀

表Ⅲ-2-(ニ)-C5(3) (桐蔭横浜大)

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	学校法人桐蔭学園、日立造船(株)	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
2	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

【論文】

表Ⅲ-2-(ニ)-C5(4) (ゲンゼ)

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	岡本俊紀	ゲンゼ	「ロール to ロール事例 集～プロセス応用に向 けた技術課題と対策～」	(株)情報機構 ISBN978-4-904080 -70-2		2011

表Ⅲ-2-(ニ)-C5(5) (岐阜→山形大)

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	A. Yamamoto, M. Noritake, Y. Harumoto, H. Yanagi, K. Mizuta, T. Yoshida	Gifu Universit y	“Excitation Processes of Photoluminescence and Origin og Absorption Peak Shift in ZnO Porous Films Modified with Eu Ions”	<i>Japanese Journal of Applied Physics,</i> 49 , 031106-1~4 (2010)	有	2010
2	M. Matsui, T. Fujita, Y. Kubota, K. Funabiki, J. Jin, T. Yoshida, H. Miura	Gifu Universit y, Shinshu University, Chemiecrea Co., Ltd.	“Substituent effects in a double rhodanine indoline dye on performance of zinc oxide dye-sensitized solar cell”	<i>Dyes and pigments,</i> 86 , 143-148 (2010)	有	2010
3	J. Zhang, L. Sun, K. Ichinose, K. Funabiki, T. Yoshida	Gifu Universit y	” Effect of Anchoring Groups on Electrochemical Self-assembly of ZnO/xanthene Dye Hybrid Thin Film”	<i>Phys. Chem. Chem. Phys.,</i> 12 , 10494-10502 (2010)	有	2010
4	M. Matsui, Y. Asamura, Y. Kubota, K. Funabiki, J. Jin, T. Yoshida, H. Miura	Gifu Universit y Shinshu University Chemiecrea Co., Ltd.	”Highly efficient substituted triple rhodanine indoline dyes in zinc oxide dye-sensitized solar cell”	<i>Tetrahedron,</i> 70 , 7405-7410 (2010)	有	2010

5	Y. Sakuragia, X.-F. Wang, H. Miura, M. Matsui, T. Yoshida,	Gifu University Chemiere Co., Ltd.	"Aggregation of Indoline Dyes as Sensitizers for ZnO Solar Cells"	<i>J. Photochem. Photobiol. A: Chem</i> , 216. , 1-7 (2010)	有	2010
6	吉田司	岐阜大学	酸化物半導体に関する研究開発の現状と今後の動向	日本学術振興会次世代の太陽光発電システム第175「太陽電池の基礎と応用」第7章、253-258、培風館（2010年7月20日発行）	有	2010
7	S. Hori T. Yoshida	Gifu University	"Formation of mixed aggregates between Zn ²⁺ and eosinY relevant to the self-assembly of ZnO/eosinY hybrid materials"	<i>Proc. 2009 MRS Fall Meeting Symposium R</i> , Vol. 1211 , R03-40 (2010)	有	2010
8	S. Haller, T. Sugiura, D. Lincot, T. Yoshida	IRDEP, Gifu University	"Design of a hierarchical structure of ZnO by electrochemistry for ZnO-based dye-sensitized solar cells"	<i>Physica Status Solidi A</i> , Vol. 207 , 2252-2257 (2010)	有	2010
9	K. Ichinose, Y. Kimikado, T. Yoshida	Gifu University	"The Effect of Pre-treatments of F-Doped SnO ₂ Substrates for Cathodic Nucleation of ZnO Crystals in Aqueous ZnCl ₂ Solution with Dissolved O ₂ "	<i>Electrochemistry</i> , 第 79号 , 146-155. (Mar 2011)	有	2011

10	K. Funabiki, H. Mase, A. Hibino, N. Tanaka, N. Mizuhata, Y. Sakuragi, A. Nakashima, T. Yoshida, Y. Kubota, M. Matsui	Gifu Universit y	"Synthesis of a novel heptamethine-cyanine dye for use in near-infrared active dye-sensitized solar cells with porous zinc oxide prepared at low temperature"	<i>Energ. Environ. Sci.</i> , 4 , 2186-2192 (2011)	有	2011
11	L. Sun, K. Ichinose, T. Sekiya, T. Sugiura, T. Yoshida	Gifu Universit y	"Cathodic electrodeposition of p-CuSCN nanorod and its dye-sensitized photocathodic property"	<i>Physics Procedia</i> , 14 , 12-24 (2011)	有	2011
12	M. Matsui, M. Kotani, Y. Kubota, K. Funabiki, J. Jin, T. Yoshida, S. Higashijima, H. Miura	Gifu Universit y Shinshu University Chemiecrea Co., Ltd.	"Comparison of performance between benzindoline and indoline dyes in zinc oxide dye-sensitized solar cell"	<i>Dyes Pigm.</i> , 91 , 145-152 (2011)	有	2011
13	S. Higashijima, H. Miura, T. Fujita, Y. Kubota, K. Funabiki, T. Yoshida, M. Matsui	Chemiecrea Co., Ltd. Gifu Universit y	"Highly efficient new indoline dye having strong electron-withdrawing group for zinc oxide dye-sensitized solar cell"	<i>Tetrahedron</i> , 67 , 6289-6293 (2011)	有	2011
14	T. Kuwajima, Y. Nakanishi, A. Yamamoto, K. Nobusawa,	Gifu Universit y	"Fabrication of Carbon Nanotube/Zinc Oxide Composite Films by Electrodeposition"	<i>Jpn. J. Appl. Phys.</i> , 50 , 085504-1~3 (2011)	有	2011

	A. Ikeda, S. Tomita, H. Yanagi, K. Ichinose1, T. Yoshida					
15	J. Zhang, L. Sun, T. Yoshida	Gifu Universit y	“Spectroelectrochemi cal studies on redox reactions of eosin Y and its polymerization with Zn ²⁺ Ions”	<i>Journal of Electroanalytical Chemistry</i> , 662 , 384-395 (2011)	有	2011
16	T. Zhang, A. Kouyama, M. Miura T. Sugiura,	Gifu Universit y	“Photoelectrochemical Properties of GaN Synthesized by the Reaction of Ga with LiNH ₂ ”,	<i>Transactions of the Materials Research Society of Japan</i> , 36 , 513-516 (2011)	有	2011
17	M. Matsui, T. Shiota, Y. Kubota, K. Funabiki, J. Jin, T. Yoshida, S. Higashijima, H. Miura	Gifu Universit y Shinshu University Chemiecrea Co., Ltd.	“N-(2-Alkoxyphenyl)- substituted double rhodanine indoline dyes for zinc oxide dye-sensitized solar cell”	Tetrahedron 68 4286-4291 (2012)	有	2012
18	屋根 剛 吉田 司	Gifu Universit y	「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 (4~12ページ)、 (2012年4月30日発 行)	有	2012
19	Tiansheng Zhang, Akira Kouyama, Takashi Sugiura,	Gifu Universit y	“Synthesis of particulate InN crystal by the reaction of InCl ₃ with LiNH ₂ ”	<i>Journal of the Ceramic Society of Japan</i> , 120 25-29 (2012)	有	2012

表Ⅲ-2-(ニ)-C5(6) (桐蔭横浜大)

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. Muto, M. Ikegami, and T. Miyasaka	Toin Yokohama Univercity	“Polythiophene-based mesoporous counter electrodes for plastic dye-sensitized solar cells”	J. Electrochem. Soc., 157, B1195	有	2010
2	T. Miyasaka	Toin Yokohama Univercity	Quantum conversion management of the sensitized semiconductor electrodes: Strategies against energy dissipation”	Electrochemistry , 78, 960	有	2010
3	T. Miyasaka	Toin Yokohama Univercity	“Printable Materials and Technologies for Dye-Sensitized Photovoltaic Cells with Flexible Substrates”	Photoelectrochemical Materials and Energy Conversion Processes		2010
4	宮坂 力	桐蔭横浜 大学	プラスチック色素増感太陽電池の高効率化とモジュール化	有機薄膜太陽電池の開発動向		2010
5	宮坂 力	桐蔭横浜 大学	大面積フィルム型色素増感太陽電池	人工光合成と有機系太陽電池		2010
6	T. Miyasaka and M. Ikegami	Toin Yokohama Univercity	“Polymer-based engineering for high-efficiency plastic dye-sensitized solar cells”	J. Photopolymer Sci. Tech., 23, 269-277		2010
7	宮坂 力	桐蔭横浜 大学	太陽電池基板とフレキシブル化技術—有	太陽電池と部材の開発・製造技術		2010

			機系太陽電池を中心に—			
8	宮坂 力、 手島健次 郎、池上和 志	桐蔭横浜 大学	プラスチックセル創 製技術—高効率化と 高耐久化—	色素増感太陽電池 のモジュール化・ 材料開発・評価技 術		2010
9	宮坂 力	桐蔭横浜 大学	フレキシブル色素増 感太陽電池の現状と 課題	太陽電池の基礎と 応用		2010
10	Kun-Mu Lee, Ying-Chan Hsu, M. Ikegami, T. Miyasaka, K.R. Justin Thomas, Jiann T. Lin, and Kuo-Chuan Ho	Toin Yokohama Univercity	“Co-sensitization promoted light harvesting for plastic dye-sensitized solar cells”	<i>Journal of Power Sources</i> , 196, 2416-2421	有	2011
11	T. Miyasaka	Toin Yokohama Univercity	Toward printable sensitized mesoscopic solar cells: Light-harvesting management with Thin TiO ₂ films	<i>J. Phys. Chem. Lett.</i> , 2, 262-269	有	2011
12	T. Miyasaka	Toin Yokohama Univercity	“Dye-sensitized solar cells built on plastic substrates by low-temperature preparation of semiconductor films”	ey Engibneering Materials, vol 451, pp1-19		2011
13	宮坂 力	桐蔭横浜	色素増感太陽電池の	有機デバイス・材		2011

		大学	耐久性向上・長寿命化への取り組み	料の耐久性向上および長寿命化技術」、情報機構、共著, p158 - 169		
14	宮坂 力	桐蔭横浜大学	プリンタブル、フレキシブル色素増感太陽電池の開発動向	ロール to ロール技術の最新動向		2011
15	A. Kojima, M. Ikegami, K. Teshima and T. Miyasaka	Toin Yokohama Univercity	“Highly Luminescent Lead Bromide Perovskite Nanoparticles Synthesized with Porous Alumina Media”	Chem. Lett., 41, 397-399	有	2012
16	宮坂 力	桐蔭横浜大学	色素増感太陽電池の開発	日本写真学会誌, 76, 260-265		2012
17	宮坂 力	桐蔭横浜大学	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
18	宮坂 力	桐蔭横浜大学	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

【その他発表等のリスト】

表Ⅲ-2-(ニ)-C5(7) (ゲンゼ)

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	受賞	日本化学会関東支部大会学生講演賞	2010
4	受賞	日本写真学会 2012 年度学術賞	2012
1	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
2	展示会	第 4 回国際太陽電池展「PV EXPO2011」(東京ビッグサイト)	2010
3	展示会	The 6th Aceanian Conference on Dye-sensitized and Organic Solar Cells (別府)	2011
4	展示会	PV JAPAN 2011 (幕張メッセ)	2011
5	展示会	東芝科学館サイエンスフェスタ (東芝科学館)	2011

(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

(1) 有機薄膜太陽電池 (OPV) の特徴

現在主流となっている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異なる特徴を有している。

用途を考えるうえでは、

- a. 薄型、軽量であり、フレキシブル性に優れ、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。
- b. 室内光あるいは低照度下での変換効率に優れている。
- c. 塗布プロセスでの製造が可能であり、真空プロセスを使わないため製造設備への投資額が少なく済む。また、ロール to ロールプロセスが開発されれば、更なる低コスト化が期待できる。

などの特徴が重要であり、IV章で詳細を説明する。

また、プラスチック基板を使用することにより衝撃に強く割れ難い、特殊金属を用いることがなく、安全性が高いという点も重要である。

更に、エネルギーペイバックタイムが半年以下と短いことから、環境面、経済性の観点でも優れたシステムであると言える (表III-2-(ホ)-A-1(1))。

表III-2-(ホ)-A-1(1) NREU, GWP₁₀₀ and Energy payback time (under 1700kWh/m²/yr irradiation) of a flexible polymer PV system compared to other solar cell technologies (all unframed and without BOS)

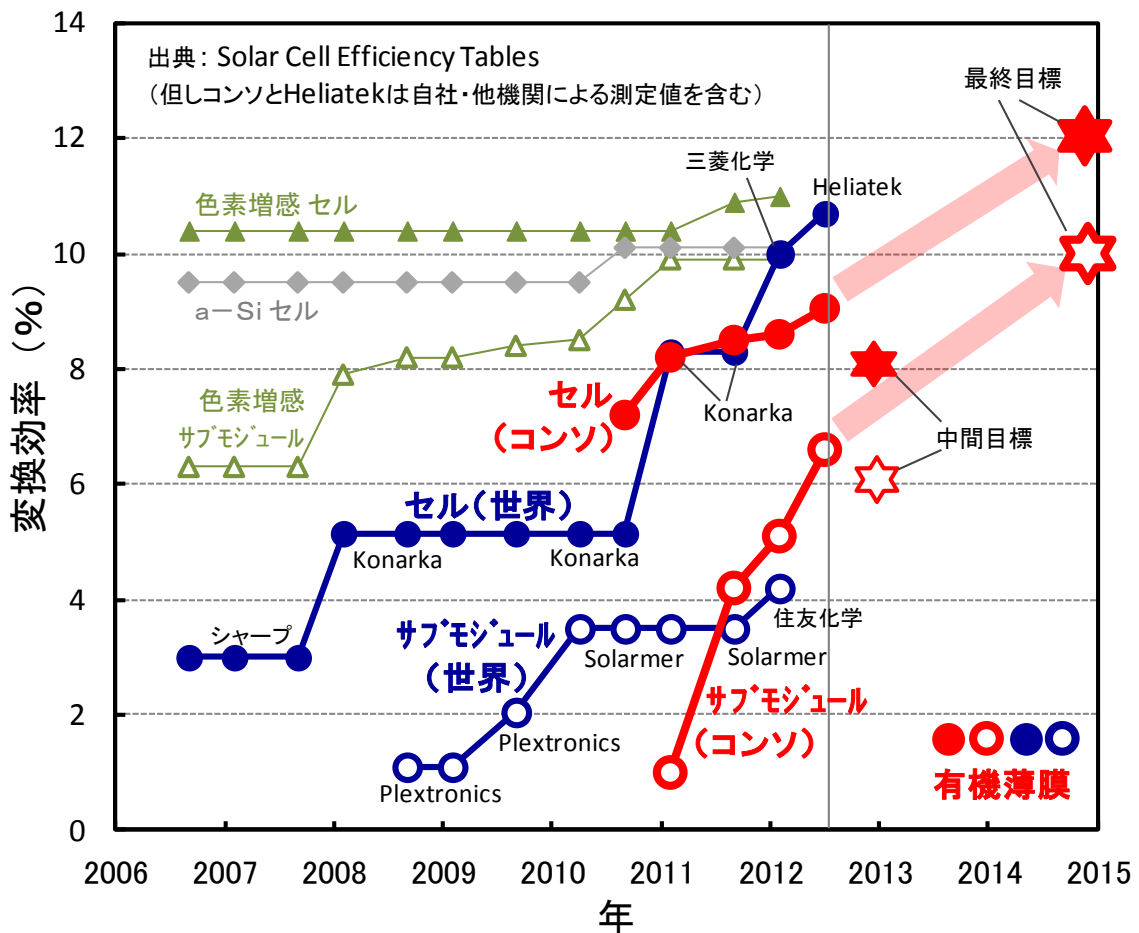
	Polymer (flexible)	mc-silicon	Thin film			
			CdTe	CIS	Silicon	Dye-sensitised
NREU (MJ/W _p)	2.4	24.9	9.5	34.6	17.1	5.8
Climate change (g CO ₂ -eq/W _p)	132	1293	542	2231	993	255
Energy payback time (yrs)	0.19	1.95	0.75	2.71	1.34	0.45

注) "Prog. Photovolt: Res. Appl. 2009; 17:372-393"より抜粋

(2) 世界の中での本コンソーシアムの位置

多くの特徴が期待される有機薄膜太陽電池ではあるが、これまで変換効率が低い時期が長く続いたために、実用化には至らなかった。しかし、1995年にA.J.Heegerらによって導電性高分子と溶解性フラーレン誘導体との混合によるバルクヘテロ接合技術が開発され、効率向上に道が開かれるきっかけとなった。その後、各種のp型材料、n型材料が開発され、また素子構成の検討も進んだために、急速に変換効率が向上してきており、実用化に向けた期待が大きく膨らんできている。図III-2-(ホ)-A-1(1)には、直近5年間の変換効率の推移を、Solar Cell Efficiency Tablesを参考にプロットした。セルにおいては、アモルファスシリコン太陽電池あるいは色素増感太陽電池と肩を並べるレベルに到達している。モジュールにおいてははまだ低い変換効率となっているが、効率向上のスピードは速く、近い将来においてモジュールでも比肩するレベルに達すると期待さ

れている。



図III-2-(ホ)-A-1(1) 変換効率の推移

この効率向上の陰には、国家レベルでの開発促進が功を奏している。地域毎のプロジェクトを以下にまとめる。

1) 欧州

欧州では有機薄膜太陽電池の開発の歴史は比較的長く、M.Greenの第3世代PV project. がきっかけとなり、Eurocell Initiative: Integrated project formation.の中でOrgaPVnetプログラムが2003年、Jerdan Sariciftciの呼びかけでスタートした。その後EUのプロジェクトとしては、以下の3つが動いている。

a. X10D Program:

IMECが中心となり、c-Siと競合できるに十分なOPVの開発を目的に、タンデムでセル効率12%、モジュール効率9%(100cm²)、0.70Eu/Wp 耐久性: 20年(ガラス基板) 10年(foil基板)、パートナーとしてHELIATEK, Solarpress等と薄膜太陽電池の市場をねらう製品と位置づけられている。

b. Sunflower (Sustainable Novel Flexible Organic Watts Efficiently Reliable)

Agfa, BASF, DuPont, TeijinFilm, Amcor Flexible Kreuzlinge, Konarka Tech, など17社のパートナーが効率12%(10%:モジュール効率)、耐久性20年、コスト0.7EU/Wpを目標としたOPV開発を、2011年より総額110MユーロのFP7支援プログラムの

一環として実施している。

c. HIFLEX Project: (FP7-ITC-2009.3.8 : ECProject No. 248678)

Application-driven Project と銘打って、On-the-go charging mobile application を目指し、5 カ国の 7partner(ISE, ECN, RISO, HOLST(ITO-free 基板)、MATRI(用途)、Dr. Schenk(R2R inline processing)で運営されている。

d. その他 Quant Sol WS、Siemens, Linz: Polymer cell での活動、OPV 関連雑誌として Printed Electronics World, Plastic Electronics Magazine など、周辺活動も活発である以上、欧州の状況をまとめると、

- a. 産学官連携が強い。
- b. Consortium の規模もそれだけ大きい。
- c. IMEC, 欧 Konarka, Solaronix, Heliatek のように、特徴をはっきりした活発なグループが存在している。

2) 米国

国家レベルでは、DOE の Sunshot Initiative をサポートする立場の NREL の有機薄膜太陽電池のプログラムが挙げられるが、多くのベンチャーが中心である。なんとと言っても、最近のニュースは Konarka の破産であろう。その他に、開発グループは無数にあり、現在 5%以上の効率を示す材料を持つグループだけでも、30 以上あり、欧州に比べるとより競争的な環境にあり、多くは大学と組んでいる場合が多い。

例) a. Konarka: UCSB、b. Plextronics:、c. Solarmer: UCLA, U. Cicago,

3) 日本

我が国の OPV 有機薄膜太陽電池の研究開発プロジェクトの歴史は、欧米より 10 年遅く、2004-2005 NEDO 革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発「有機薄膜太陽電池の研究開発」(産総研、金沢大、日本触媒)に端著を發し、2006-2009 NEDO 太陽光発電システム未来技術研究開発「超階層ナノ構造素子の開発」(京都大、分子研、ENEOS)、「高効率、高耐久有機薄膜太陽電池の研究開発」(産総研、松下電工)、2009-CREST「有機薄膜太陽電池の高効率化の研究」(京都大、大阪市工研、東工大)において先駆的な取り組みが行われて来た。現在、大型プロジェクトとしては、当該 NEDO プロジェクトの他、最先端研究支援プログラム「低炭素社会に資する有機系太陽電池の開発」(瀬川教授)、JST-CREST、JST-ALCA、S-イノベ、JST-さきがけ等様々なプログラムがあるが、有機薄膜太陽電池の研究開発コンソーシアムとしては当該 NEDO コンソーシアムが最大規模のものと言える。

4) 本コンソーシアムの特徴

他のプロジェクトと比較して、本コンソーシアムは次の強みを持つ。

- a. 現在有機系の最高セル・モジュール効率認証データは全て日本の企業のものである。
- b. 材料からプロセス、モジュールまで広範な技術をカバーしている。
- c. 基礎から応用まで、大学、産総研、企業からなる広範なグループが連携している。

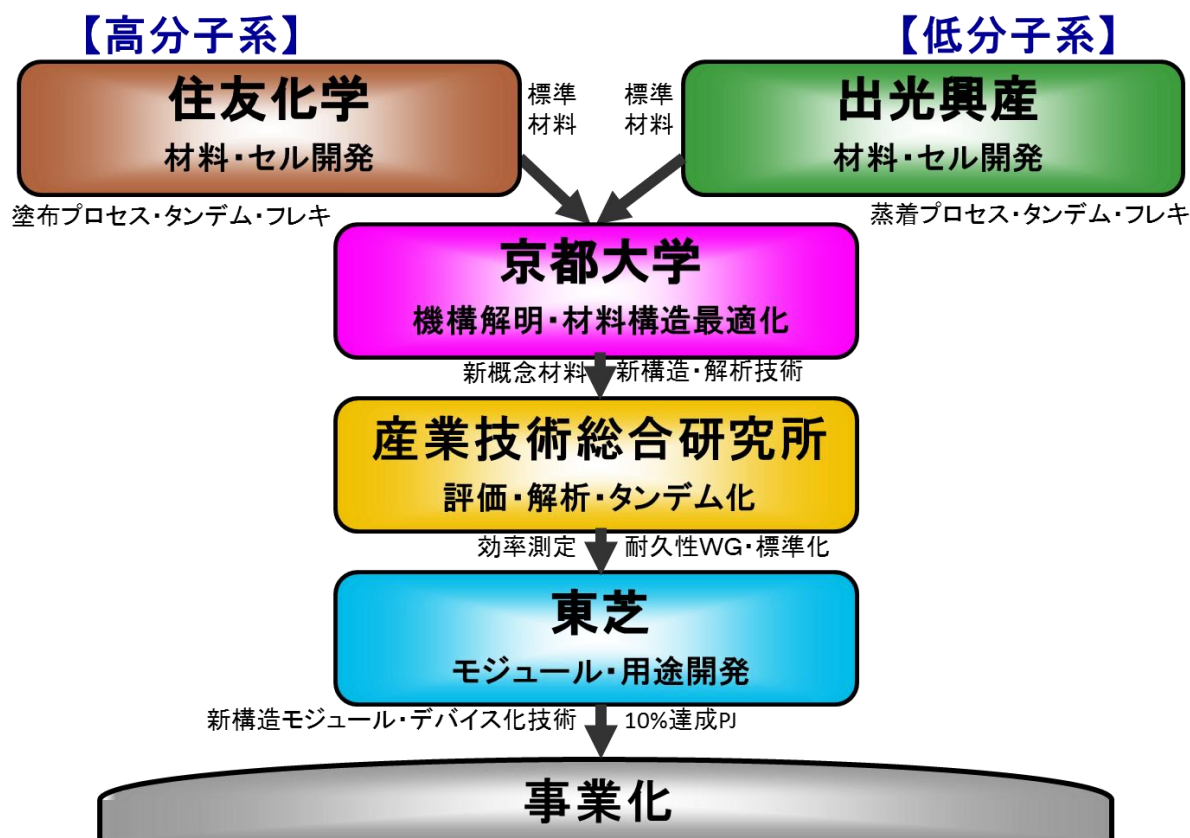
今後、このような強みを生かし、独自材料技術の上に、製造技術を加えた、実用化への道筋を踏まえた広範なコンソーシアム形成が重要であろう。

(3)本コンソーシアムの概要および開発体制

本コンソーシアムの目的は、安価で資源制約の少ない有機薄膜太陽電池モジュールを実用化するために必要となる光電変換組成物およびモジュール製造の要素技術に関する研究開発を行うことである。

光電変換組成物は、高分子系と低分子系が存在する。また、製造プロセスも、塗布プロセスと蒸着プロセスが存在している。世界の開発動向を俯瞰した場合、高分子系-塗布プロセス、低分子系-蒸着プロセスおよび低分子系-塗布プロセスの全ての組み合わせが開発対象になっており、その優劣は確定していない状況にある。よって、本コンソーシアムにおいても、系を限定せずに、それぞれの可能性を追求している。また、モジュールにおける変換効率は依然低いレベルにあり、短期間のうちに効率を向上させるためには、組成物開発とモジュール開発が密に連携していくことが求められる。

以上のことから、高分子系材料の開発に強みを持つ住友化学、低分子系材料に強みを持つ出光興産、n型有機半導体に強みを持つ京都大学、およびモジュール開発からインテグレーターとしても強みを持つ東芝が、それぞれの強みを活かした役割分担で研究開発を進めている。また、組成物開発とモジュール開発を有機的に結び付けるために、機構解明および材料構造最適化を京都大学が担当し、評価、解析を産業技術総合研究所（出光興産再委託先）が担当している。これらの役割の繋がりを分かりやすくするために、図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(2)に模式図を示した。



図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(2) 本コンソーシアムの開発体制

(4) 目標の到達度

表Ⅲ-2-(ホ)-A-1(2) 研究開発項目ごとの成果・達成度

中間目標	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 8%以上 (1cm角程度) ①高分子系セルの研究開発(住友化学)	新規長波長吸収ポリマーを開発し、側鎖基の修飾によるモルフォロジー制御によりシングルセルで8.6%(2mm角)を達成した。また独自短波長吸収ポリマーと組み合わせた高分子タンデムセルで9.1%(1cm角)を達成した。	◎	なし
②低分子系セルの研究開発(出光興産)	シングルセルで効率6.3%(2mm角、自社測定)を達成した。 また、タンデム素子は新規に蒸着型の中間層を開発し、波長分離が十分でない材料組合せにおいても効率6.1%(5mm角セル、自社測定)を達成した。 高分子-低分子によるハイブリットタンデムでは上記波長分離の問題を改善でき、効率8.2%(2mm角セル、自社測定)を達成した。	△ H24年 9月達 成見 込	左記8.2%を確認しているハイブリットタンデムミニセル(2mm角)を1cm角で試作し、目標を達成する見込みである。 十分に波長分離された組み合わせを実現し、低分子タンデムの高効率化を達成する。
③新構造セルの研究開発(東芝)	高起電力で大電流を得られる新規P型ポリマーを開発。また活性層モルフォロジーの最適化とインターレイヤーのバンドマッチング、光マネージメントにより、シングルセル構造で変換効率9.0%(1cm角、自社測定)を達成した。	◎	なし

<p>(2) モジュール変換効率6%以上 (30cm角程度)</p> <p>① 高分子系モジュールの研究開発(住友化学)</p>	<p>サブモジュールのパターンの検討および基板の低抵抗化によりAIST認定として5.2%(20cm角、294.5cm²(da))を達成した。</p>	<p>△ H25年 2月達成見込</p>	<p>・サブモジュールのパターンの高集積化および開口率向上 ・面内膜厚の均一性の向上</p>
<p>② 低分子系モジュールの研究開発(出光興産)</p>	<p>低分子タンデム構成にて、モジュール変換効率4.6%(20cm角、219cm²(da)、自社測定)を得た。 なお、2mm角セルから20cm角モジュールへ発電面積の拡大に伴う効率低下が10%程度に抑制できるモジュール設計技術を確立した。</p>	<p>△ H25年 2月達成見込</p>	<p>これまでに確認された面積アップによる変換効率の低下度合と開口率から、高効率セルと同一構成を適用した場合に6.6%の変換効率が期待される。実際に20cm角モジュールで確認し、目標を達成する見込みである。</p>
<p>③ 新構造モジュールの研究開発(東芝)</p>	<p>メニスカス塗布法による高精度塗布印刷技術を開発し、スクライビングなしでモジュールの開口率を90%に向上させた。また、リーク電流を低減する絶縁層を設けた基板を、シミュレーションを駆使して開発。更に光マネージメントで光利用効率を高めた結果、変換効率6.6%を達成した。(20cm角、396cm²(da)、自社測定) また30cm角モジュールの変換効率をシミュレーションにより予測した結果6.5%が得られており、中間目標と実質的に等価な成果であると考えられる。</p>	<p>○</p>	<p>なし</p>

<p>(3) J I S 規格 C 8 9 3 8 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 1 0 % 以内</p> <p>① 高分子系モジュールの研究開発 (住友化学)</p>	<p>高耐熱ポリマーの適用と素子作製条件を改良したことで試験 1 項目を達成した。</p> <p>温度サイクル試験：未達成 温湿度サイクル試験：達成 (低下 9 %)</p> <p>光照射試験：未達成 耐熱性試験：未達成 耐湿性試験：未達成</p>	<p>△ H25 年 2 月達 成見 込</p>	<p>主な課題：封止不良 解決策：封止技術開発、耐熱バッファ層の開発、プロセス雰囲気制御、等により達成する。</p>
<p>② 低分子系モジュールの研究開発 (出光興産)</p>	<p>封止技術の工夫により、1 項目において目標を達成した。</p> <p>温度サイクル試験：未達成 温湿度サイクル試験：低下 8 % 光照射試験：未達成 耐熱性試験：未達成 耐湿性試験：未達成</p>	<p>△ H25 年 2 月達 成見 込</p>	<p>目標を達成できていない項目について、封止技術の改善、耐熱材料の導入などにより、今年度内に目標を達成する見込みである。</p>
<p>③ 新構造モジュールの研究開発 (東芝)</p>	<p>高耐熱性ポリマーで素子の発電層最適化を行い、ガラス封止構造とすることで、2 種のサイクル試験に於いて目標をクリアした。さらなる材料の耐熱性向上と封止材料、構造の検討を行い残りの 3 項目について、目標達成を目指す。</p> <p>温度サイクル試験：低下 9 % 温湿度サイクル試験：低下 5 % 光照射試験：未達成 耐熱性試験：未達成 耐湿性試験：未達成</p>	<p>△ H25 年 2 月達 成見 込</p>	<p>課題…耐熱耐湿耐光性向上 解決策…封止技術開発、耐熱耐湿耐光材料開発、プロセス雰囲気制御、によって解決する</p>

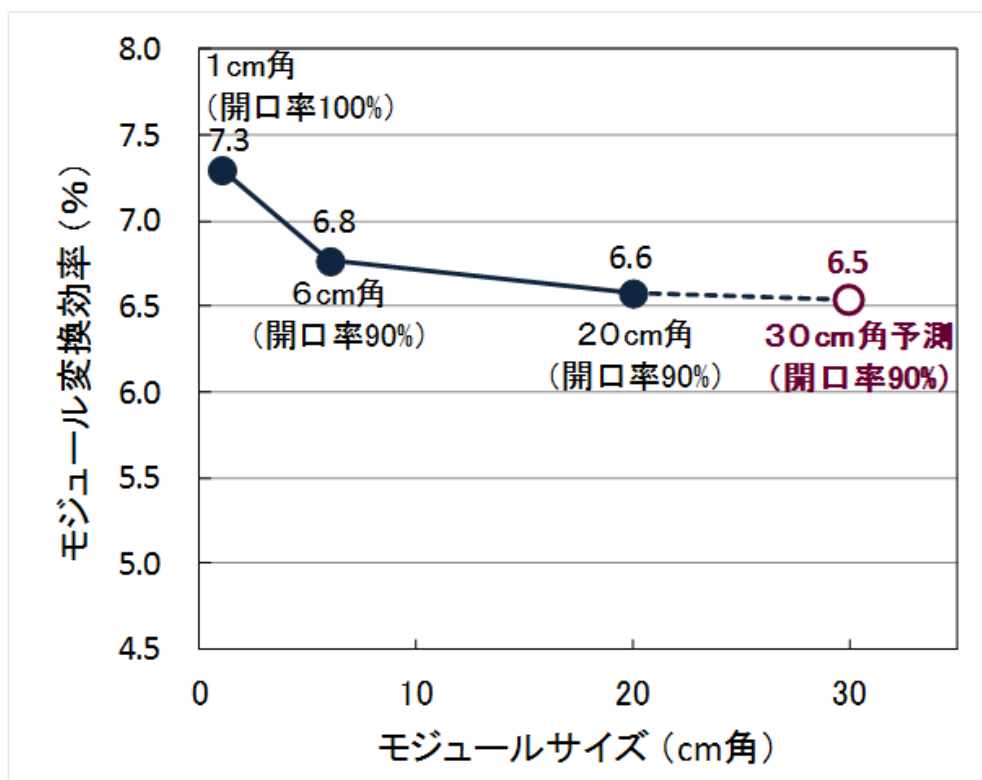
<p>(4)材料・構造最適化技術の研究開発 ①p型材料の開発 (京都大学)</p>	<p>新規4材料を提案し、うち効率6%以上の材料を新たに、2種開発した(特許申請中)。 HOMO-LUMOバンドギャップ調整によりVoc0.8V以上を達成し、吸収波長領域拡大によるJ向上で13 mA cm⁻²を達成しており、早期に、独自ポリマーで効率10%を目指す。</p>	<p>○ 課題：効率12%実現 方策：新規n型材料とのマッチング、高開放電圧(V_{oc})モデルの高効率化・高安定化(耐久性強化)に関して、東芝と連携して開発を加速。 塗布可能な低分子p型半導体材料の高電流密度(J_{sc})モデル化合物に関して、現在、出光興産と連携して長波長吸収材料の開発を加速。</p>
<p>②n型材料の開発 (京都大学)</p>	<p>新規6種類の骨格を有するフラーレン誘導体を新たに開発し、PCBMを20%上回る新材料の開発に成功した。 住化ポリマーAとの組み合わせで、6.2%の効率が可能となったことから、高分子タンデムで、12%の実現が視野に入ってきた。 バンドギャップ調整によりVoc=0.9Vを達成した。 高純度化によるJ向上によりJsc=16 mA cm⁻²以上を達成した。</p>	<p>◎ 課題：p型材料とのマッチング 方策：側鎖の異なる材料開発を行うとともに、Voc=1.0Vをめざした開発を進めていく。</p>
<p>③素子構造の開発 (京都大学)</p>	<p>MOx中間層、電子輸送層の界面制御を行い、酸化チタン層によるシングルセルの最適化で、高FF、耐久性を達成した。</p>	<p>○ 課題：タンデム素子の高効率化 方策：タンデム中間層としての高性能化を進め、今年度内に高FFを達成する。</p>
<p>④機構解明の研究 (京都大学)</p>	<p>独自の固体NMR法、CELIVキャリア移動特性評価法を確立し、in-situ相分離構造解析・耐久性評価を可能とした。</p>	<p>◎ 構造情報を経時的に把握、素子の変化や劣化を解析することに応用し、JIS規格C8938の環境試験・耐久性試験の目標達成に向けて他の委託先との連携を進める。</p>

⑤素子特性の最適化 (京都大学)	光ファイバー型分光感度測定装置を開発し、ライブラリーの迅速評価を可能とするとともに、多元セル作成に用いることの出来る、新規塗布法による多元傾斜組成薄膜作成評価法を実現した。	○ 課題：最適化プロセスの迅速化 方策：開発した HTS 装置をコンソーシアムに開放し、pn 材料の最適化プロセスを迅速化することにより、早期に、効率 12%を実現する。
---------------------	--	--

達成度→ 大幅達成：◎、 達成：○、 達成見込み：△、 達成不可：×

セル変換効率（1 cm角程度）については、9.1%を実現しており、目標値である8%以上を達成した。

モジュール変換効率（30 cm角程度）については、20 cm角で6.6%を実現した。大面積化するにつれ変換効率は低下するが、低下率は徐々に緩やかになることが確認されている。6 cm角および20 cm角の結果から30 cm角モジュールの変換効率を予測した結果、目標値を達成できる可能性が示唆された（図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(3)）。これまで20 cm角で検討してきたのは設備上の問題である。30 cm角に対応した設備導入を進めており、24年度中に30 cmモジュールの試作に着手する予定である。



図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(3) 30 cm角モジュールの効率予測

J I S規格C 8 9 3 8の環境試験・耐久性試験において、現状未達の一部試験項目については今年度中に相対低下率10%以内を達成可能であるとした。その達成のための具体的な対応策に関して以下に記す。

a. 封止技術の改善（耐湿性試験への対応策）

未達の主要因として考えられる“封止の不完全さ”を改善するために、UV光硬化型の封止剤および封止方法の見直しを行う。また、劣化要因となり得る封止剤に直接ソーラーシュミレータの光が当たらない様に、遮光マスクを設置する。

b. 耐熱性材料の導入（耐熱性試験への対応策）

低分子系材料において、太陽電池と電極の間に挿入されるn型バッファ層のガラス転移点が低く（80℃未満）劣化要因となり得る。より耐熱性の高いn型ドーパ材料の導入により耐熱性を向上させる。高分子系材料の場合も同様に、ガラス転移点の高いp型ポリマー材料の導入により、太陽電池層自体の耐熱性を向上させる。

c. プロセス雰囲気制御（光照射試験および耐熱性試験への対応策）

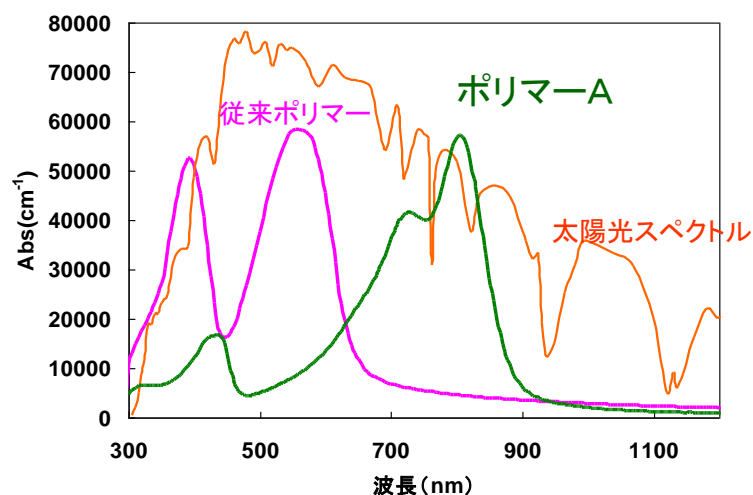
高分子系では、作製をグローブボックス中で行っているが、有機溶媒の調整からデバイス作製、封止までの雰囲気を完全に制御出来ていない。デバイス性能に影響を及ぼす微量な残留水分および酸素を除去するため、有機溶媒の脱酸素および脱水、デバイス作製から封止までのプロセス雰囲気制御を行い劣化要因を取り除く。

(5) 目標毎の開発状況

1) セル変換効率

① 高分子系材料開発

P型材料として、4種類のポリマーの開発を進めている。

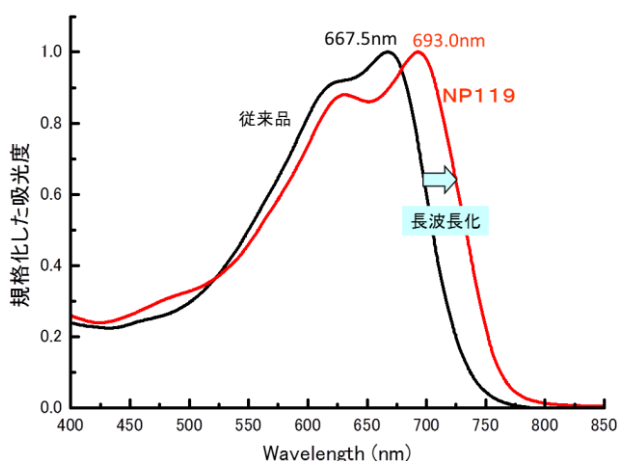


図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(4) ポリマーAの吸収スペクトル

ポリマーAは、吸収末端として900nm、効率のポテンシャルとしては15%を超える効率が期待できる材料である（図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(4)）。種々の改良を加え

モルフォロジーを改善したことにより、シングルセルで変換効率は8.6%を実現した(図III-2-(ホ)-A-1(16))。ポリマーCは、短波長吸収に特徴を持つ材料であり、ポリマーAとの組み合わせによるタンデム構成材料として開発を進めている(図III-2-(ホ)-A-1(28))。

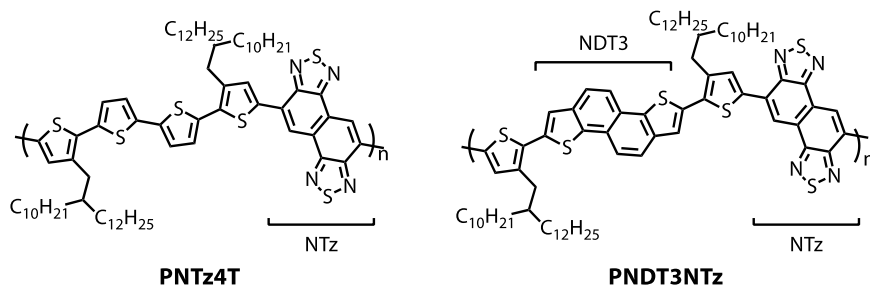
また、NP119は、大電流を得るため長波長吸収性に優れた縮環構造を有するドナー-アクセプター型ポリマーであり、既知材料と比較し、長波長吸収を高めるために共役系を拡張し、更に高起電力を得るためドナーユニットのドナー性を弱めた側鎖を導入した新規P型有機半導体ポリマーである。既知材料に対して、極大吸収波長が25.5nm長波長化することに成功した(図III-2-(ホ)-A-1(5))。



図III-2-(ホ)-A-1(5) NP119の吸収スペクトル

NP119を素子化した場合、従来に比べて高起電力を得られることを確認した(図III-2-(ホ)-A-1(14))。また、ポリマー分子間でトラップされる電荷を減少させ、効率良く電流を取り出すことを目的として、多段精製技術を駆使して低分子成分を除き、分子量分布をシャープにした結果、変換効率が約1.1倍向上することを確認した。

安定性の高い、新規構造探索を行い、これまで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、すなわちドナーユニットにビチオフエンを持つポリマーであるPNTz4T、及びドナーユニットにナフトジチオフエン(NDT3)を有するポリマーであるPNDT3NTzを開発し(図III-2-(ホ)-A-1(6))、PC₆₁BMとのバルクヘテロ接合素子にて最大6.3%のエネルギー変換効率(PCE)を得ており、これらNTz系ポリマーの構造最適化を行うことで、単接合で10%を超えるPCEを目指している。

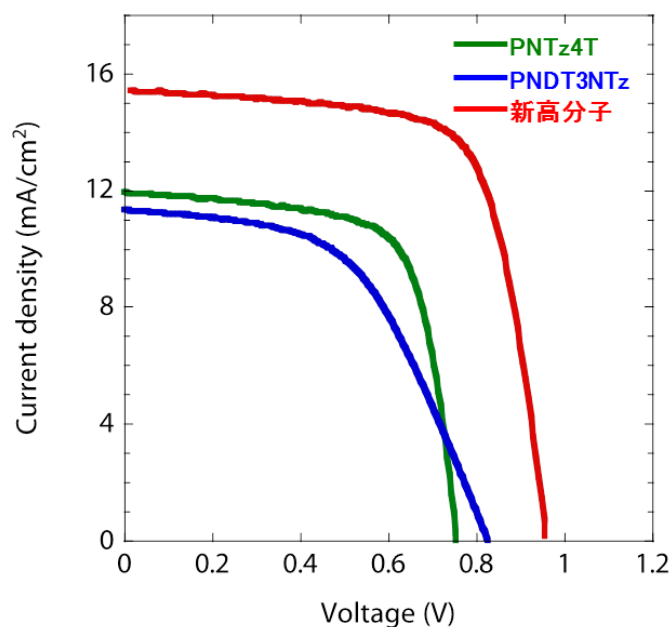


図III-2-(ホ)-A-1(6) ナフトビスチアジアゾール系高性能p型ポリマー

表Ⅲ-2-(ホ)-A-1(3)に PNTz4T 及び PNDT3NTz の物性及び PNTz4T/PC₆₁BM 及び PNDT3NTz 素子の特性、図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(7)にそれぞれのポリマー素子の電流-電圧特性を示す。PNDT3NTz は FF が低いのが問題点であるが、V_{oc} が大きく、J_{sc} も PNTz4T とさほど変わらないことから、PNDT3NTz をベースに最適化することが最有力と考えられる。

表Ⅲ-2-(ホ)-A-1(3)ナフトビスチアジアゾール系ポリマーの物性とポリマー素子の特性

ポリマー	E _g (eV)	LUMO (eV)	HOMO (eV)	J _{sc} (mA/cm ²)	V _{oc} (V)	FF	PCE (%)
PNTz4T	1.54	-3.61	-5.15	12.0	0.76	0.69	6.3
PNDT3NTz	1.67	-3.58	-5.25	11.3	0.83	0.50	4.9
新高分子	1.5	-3.8	-5.3	~16	~0.9	~0.7	~10



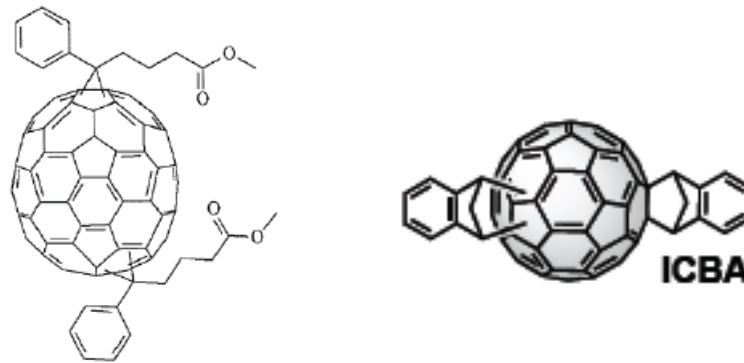
図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(7) ナフトビスチアジアゾール系ポリマー素子の電流-電圧特性

n 型材料の開発では、フラーレン誘導体の高純度化と新規構造のフラーレン誘導体開発の 2 つのアプローチで取り組んでいる。

これまでに PCBM 類では高純度化が効率向上に寄与することを見出している。標準材料として使用している純度 99.5% の PC70BM をカラム精製して高純度化し、酸化物などの不純物を除去して 99.97% とした。本材料を用いて NP119 との素子を作製した結果、J_{sc} と FF が向上し変換効率が 1.37 倍向上した。これは不純物による電荷トラップが減少した効果と推察される。また、ポリマー C との組み合わせでは、FF が 1.04 倍になり、変換効率 η は 5.86% → 6.13% に向上した。今後、これをタンデムに用いることで 10% 以上の効率を期待できる。

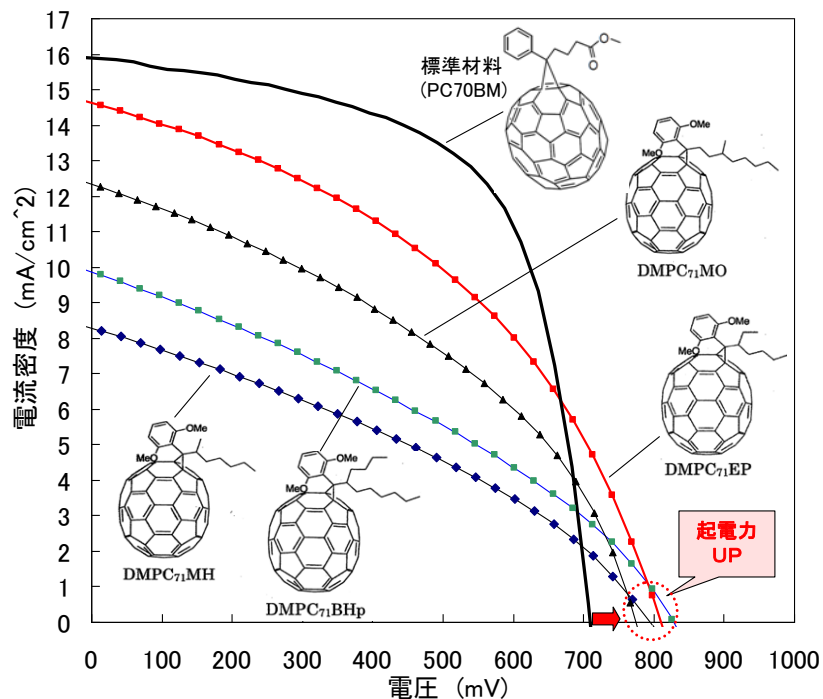
更に BisPC70BM の高純度合成に成功し、分取精製を行い、現在評価中である。また、ICBA の異性体分離を行い、代表的な 4 つのピークについてサンプルを収集し、現在

評価中である（図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(8)）。



図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(8) BisPC70BM (左) および ICBA (右) の構造式

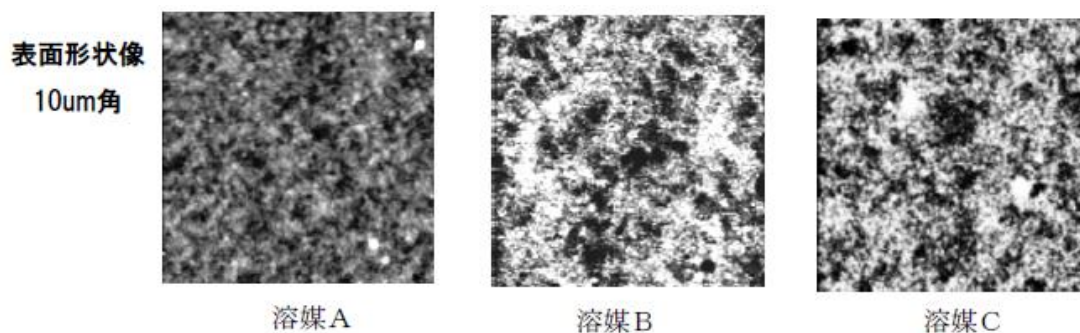
新規構造のフラーレン誘導体の特徴は、標準材料として使用しているPC70BMに比べ、LUMO準位が高いC70系フラーレン誘導体で、起電力の増大（P型のHOMOとN型のLUMOの差の絶対値の増加）が期待できる。図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(9)に試作した素子のIV特性を示した。P型有機半導体はPTB7を用い、8種類のフラーレン誘導体を検討した結果、標準材料のPC70BM（黒線）と比較して、高起電力が得られることを確認した。しかし J_{sc} の低下傾向が認められ、変換効率はPC70BMよりも低くなってしまった。今後、P型有機半導体ポリマーとのモルフォロジーを見直し電流を改善していく。



図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(9) 高LUMOフラーレン誘導体のIV特性

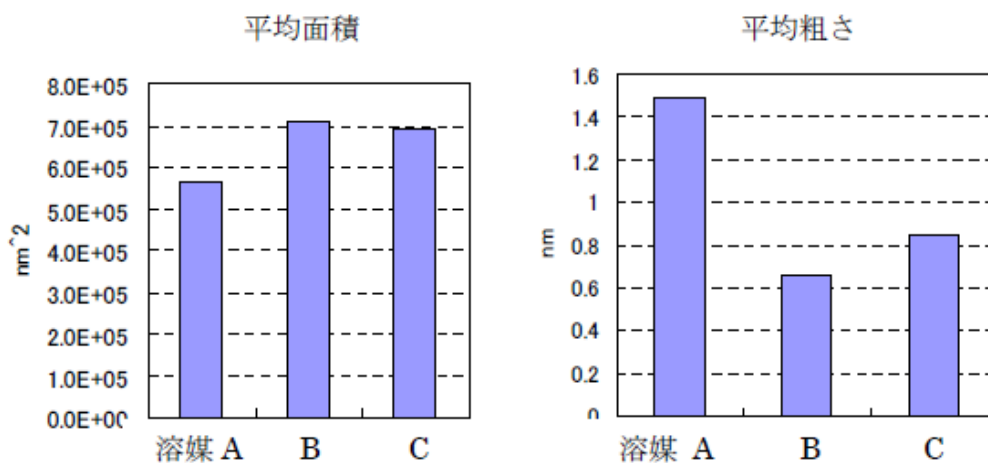
活性層のモルフォロジー最適化も重要な開発項目となっている。

NP119とPC70BMによるバルクヘテロ接合型素子において、沸点の異なる3種類の溶媒で揮発条件を変化させることによりドメインサイズをコントロールし、生成した表面形状をAFMで観察、効率との相関を追った。図III-2-(ホ)-A-1(10)に試作した素子のAFM表面形状画像を示した。変換効率は溶媒Aで6.6%、溶媒Bで4.8%、溶媒Cで3.1%となり、高沸点溶媒を含む溶媒Aの変換効率が高かった。溶媒Aでは均一な粒子が全面に広がっているのに対し、溶媒B、Cでは粗いドメインが存在している。



図III-2-(ホ)-A-1(10) AFM表面形状像. 10ミクロン角

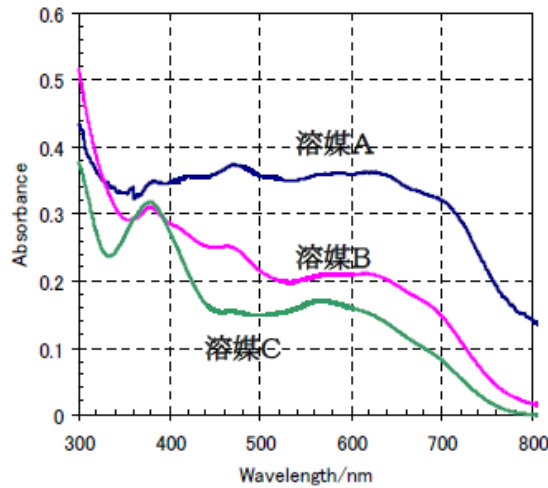
また、AFM画像から、ドメインの平均面積と表面の平均粗さを見積もった（図III-2-(ホ)-A-1(11)）。ドメインの面積は溶媒Aでは小さいが、表面の粗さは溶媒Aが最も大きくなっている。溶媒Aでは面積は小さいが縦方向に大きい粒子が存在している可能性が考えられる。



図III-2-(ホ)-A-1(11) AFMから求めたドメインの平均面積および表面の平均粗さ

さらに、UV-VIS光吸収スペクトルでも、溶媒による違いが観測された（図III-2-(ホ)-A-1(12)）。溶媒AはP型有機半導体に相当する波長の吸収が増加している。こ

これは溶媒Aがポリマー中に若干残留し、ポリマーの側鎖と相互作用した結果、ポリマー芳香環の平面性が高まり π 電子共役長が伸び長波長側の吸収が増加して、発電効率が向上したと推察される。



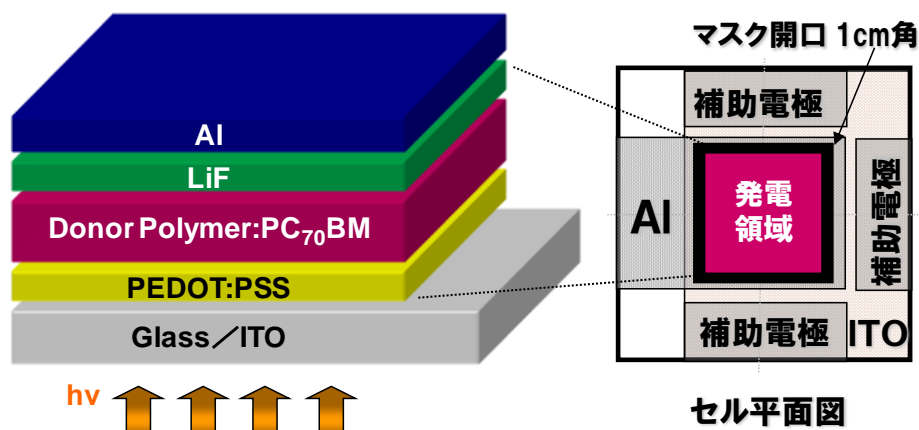
図III-2-(ホ)-A-1(12) セルのUV-VIS吸収の違い

中間層の最適化は、正孔輸送層 (PEDOT:PSS) とP型有機半導体材料とのバンドマッチングを行うことで、効率が向上することを見出した。また電子輸送層はアルカリ金属や、アルカリ土類金属、LiF、酸化チタンなどを検討した。

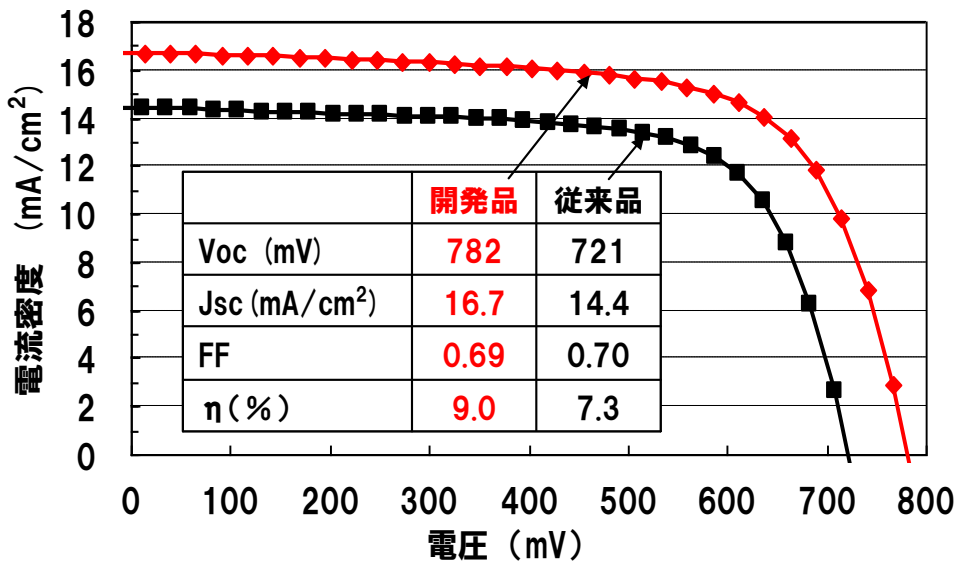
最後にこれら複数の知見をベースに最適化したNP119を用いたセルを試作した。

図III-2-(ホ)-A-1(13)右は試作した1cm角セルの平面図で24mm角のITO付きガラスを基板としている。図III-2-(ホ)-A-1(13)左は素子の断面図で層構成は「ガラス/ITO/PEDOT:PSS/NP119:PC70BM/LiF/Al/封止材/封止基板」となっている。活性層まではスピコートによる塗布膜で、電子輸送層および陰極は抵抗加熱による蒸着法で成膜している。

図III-2-(ホ)-A-1(14) は最適化した素子のIV特性を示した。従来品と比較して起電力が向上し、変換効率9.0%を得た。

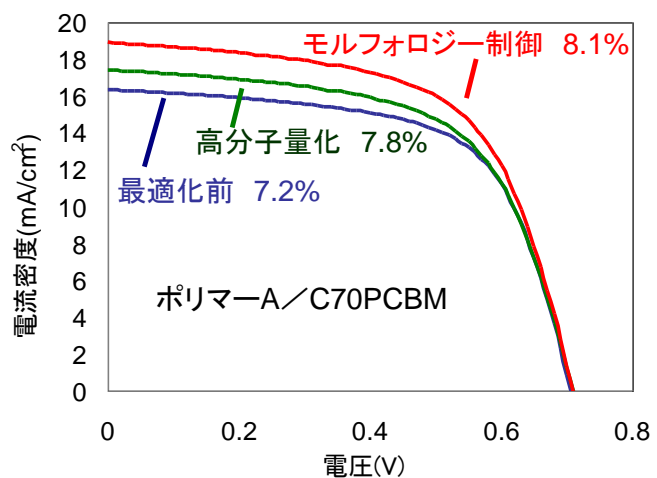


図III-2-(ホ)-A-1(13) 有機薄膜太陽電池の基本構成



図III-2-(ホ)-A-1(14) I V特性

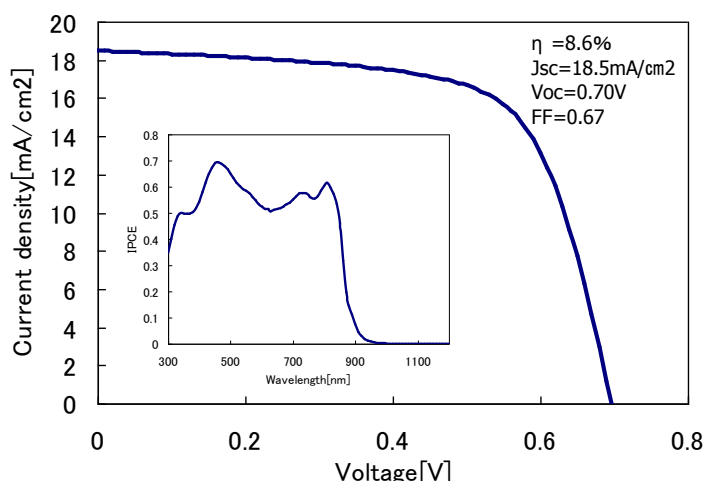
ポリマーAにおいても、モルフォロジーの最適化により変換効率が向上した。ポリマーAを用いた素子の量子効率 (IPCE) は、50%に留まっており、その原因解析として活性層の蛍光分析を行った。その結果、ポリマーAの蛍光は50%程度しか消光されておらず、活性層のモルフォロジーに改善余地のあることが示唆された。そこで、各種溶媒組成によるモルフォロジー改良やポリマーの高分子量化を検討した結果、IPCEの向上に伴うJscが向上し、効率として8.1%の世界最高レベルの効率を達成した (図III-2-(ホ)-A-1(15))。



図III-2-(ホ)-A-1(15)独自長波長吸収材料の効率

更には、ポリマー側鎖の修飾によりモルフォロジーを制御し、高効率化することを試みた。ポリマー側鎖の修飾はモルフォロジーのみならず、移動度などの物性および製膜性への良い効果も期待できる。各種ポリマー側鎖の修飾検討の結果、モルフォロジーの制御が可能となり、90%を超える消光率が得られるようになった。高い消光率は、光吸収されて生成した励起子が効率よくp/n界面に到達して失活 (電荷分離) しているためと推測され、良好な相分離サイズが実現されているものと考えられる。このような改良により、8.6%を達成した (図III-2-(ホ)-A-1(16))。また、今後の更なる高効率化への指針を得るため現状の光電変換ロス要因の解析を行なった。その結果、入射光が

十分吸収されずに透過している透過ロス、光吸収・電荷分離は起こっているが、分離した電荷が再結合するために電流として取り出せていない再結合ロスがあることもわかった。今後は、光マネージメントによる透過ロスの低減、不純物低減などによる再結合ロスの低減等を図り、効率向上を目指したい。

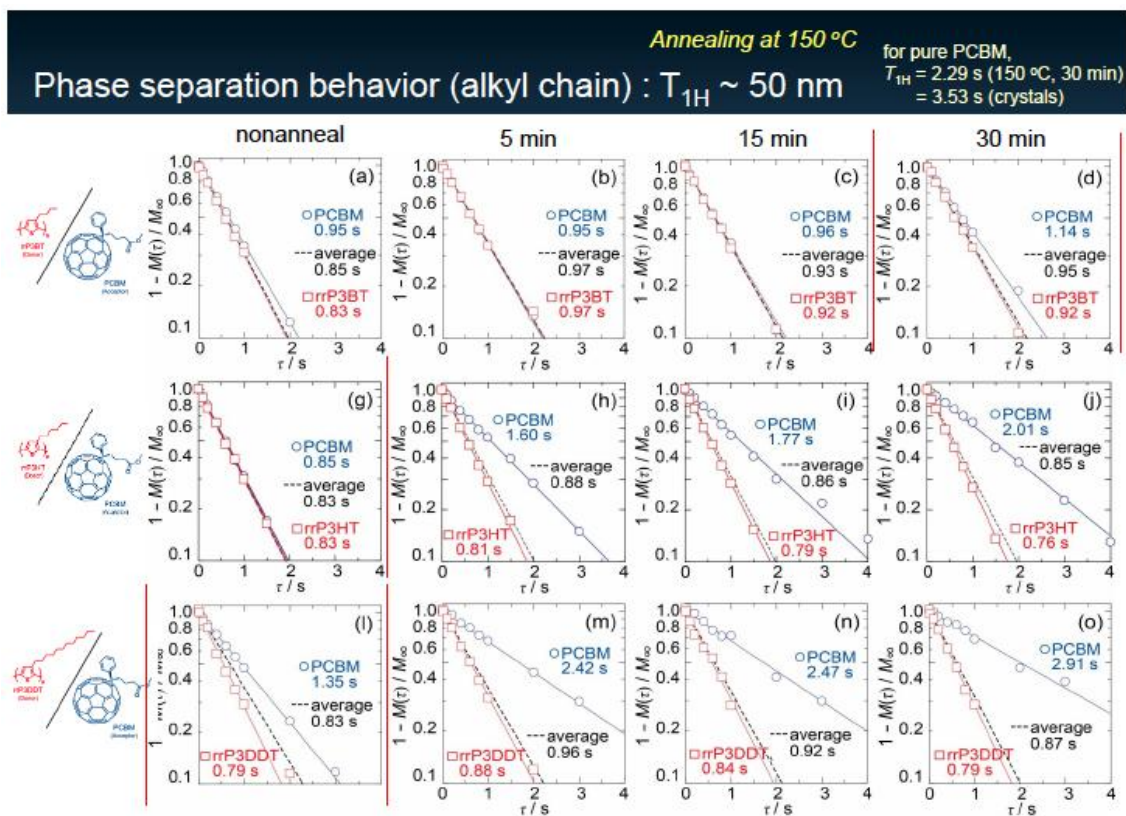


図III-2-(ホ)-A-1(16) 小面積セルの効率

バルクヘテロ型有機薄膜太陽電池におけるアクティブ層内のドナー/アクセプター(D/A)の階層構造は、その太陽電池特性と密接に関係している。同じ材料を用いた場合でも、これらの構造を制御することにより、特性を飛躍的に向上させることが期待できる。また、その構造情報を経時的に把えることにより、素子の変化や劣化を解析することも可能となる。

独自に開発した、固体 NMR 測定によるバルクヘテロ型素子の D/A 相分離構造解析手法を rrP3HT : PC₆₁BM 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示した。同手法を 3 位アルキル側鎖長の異なるポリチオフェン

独自に開発した、固体 NMR 測定によるバルクヘテロ型素子の D/A 相分離構造解析手法を rrP3HT : PC₆₁BM 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示した。同手法を 3 位アルキル側鎖長の異なるポリチオフェン



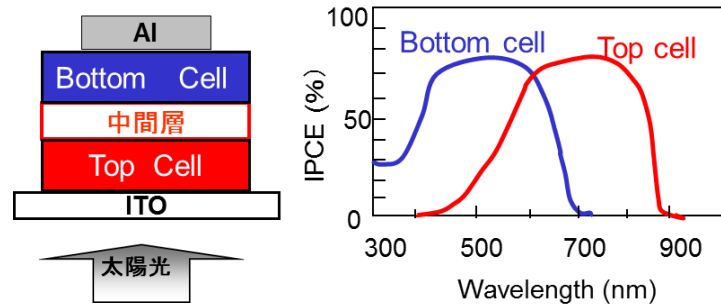
図III-2-(ホ)-A-1(17) 個体 NMR による D/A 相分離構造解析

: PC₆₁BM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、さらには効率向上に反映することを明らかにした。高分子の側鎖は、溶解度、移動度のバランスの観点で検討されることが多いが、今回の検討で、相分離構造にも大きく影響していることが明確となった(図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(17))。

これまでの研究により、有機薄膜太陽電池における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法が確立できた。今後、本NEDOコンソーシアム内の共同研究により、耐久性試験の評価に展開していく予定である。

②低分子系材料開発

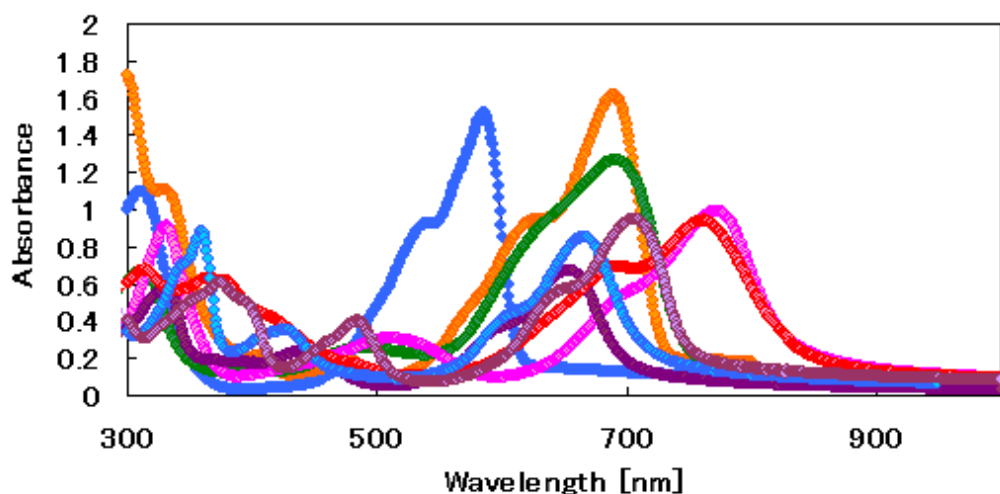
低分子系の材料開発では、ヘテロタンデム方式により、高効率化の目標を達成する考えである。これは、図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(18)に示す波長分離の考え方に則り、異種P型材料から形成されるタンデムセルにて高効率化を達成するものである。



図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(18) タンデムセルの波長分離イメージ

すなわち長波長及び短波長側にて光吸収し、光電変換を行う太陽電池セルをそれぞれトップおよびボトム側に配置し、両者で太陽光の広い波長範囲を活用し、高効率に発電し、目標を達成する見込みである。

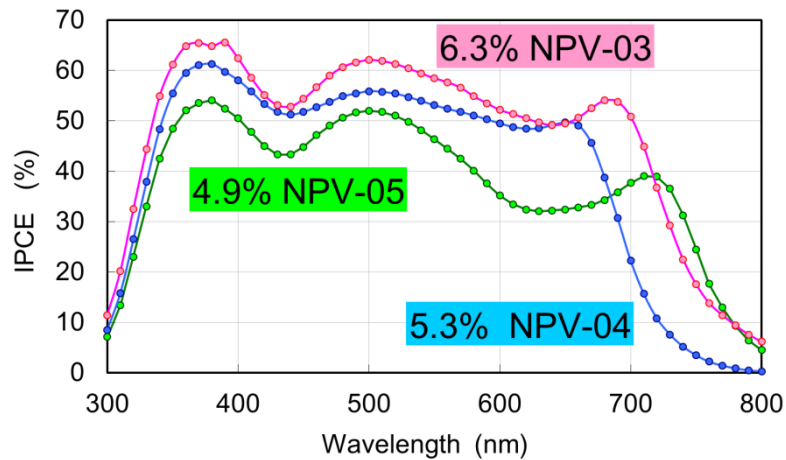
長波長側と短波長側をそれぞれ吸収し、高効率な発電に寄与するp材料を開発する必要がある。図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(19)に、これまでに開発したP型材料の薄膜状態の吸収スペクトルの一部を示す。すべて真空蒸着法により成膜している。500 nmから800 nm以上にわたり強い吸収を有する多くのP型材料を合成、評価した。



図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(19) 開発したp材料の吸収スペクトル(薄膜状態)

図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(20)および表Ⅲ-2-(ホ)-A-1(4)に代表的な3材料に対する分光感度およびシングルセルの性能を示す。これらのデータは後述するように、ナノ構造制

御或いは素子構成検討等の最適化により得られた各材料を用いた現段階におけるシングル素子の到達点を示している。



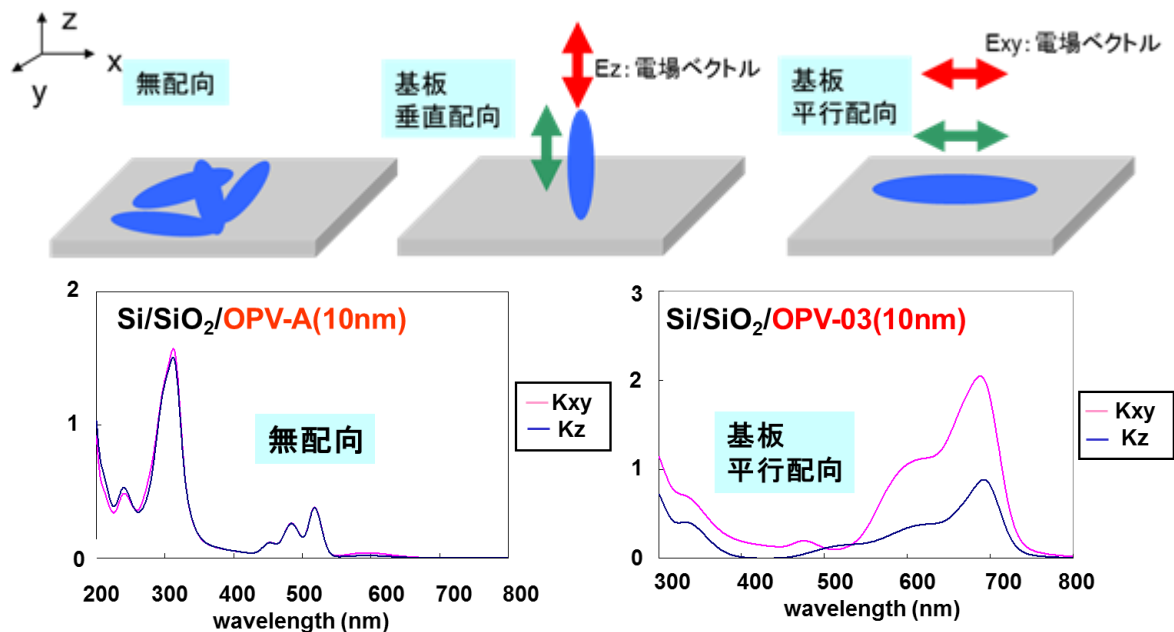
図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(20) p材料3種のシングルセルのIPCE

表Ⅲ-2-(ホ)-A-1(4) p材料3種のシングルセルの性能

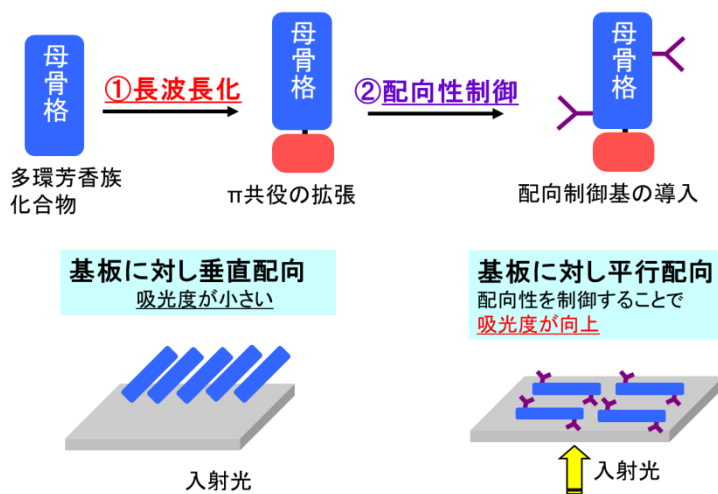
	NPV-03	NPV-04	NPV-05
Voc(V)	0.80	0.97	0.83
Jsc(mA/cm ²)	13.66	10.30	11.3
FF	0.58	0.53	0.52
η (%)	6.28	5.30	4.88

高効率なP型材料の開発は以上のような吸収波長および吸光度の観点だけではなく、薄膜形成時の分子の配向の制御も重要なことがわかった。図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(21)に示すようにNPV-03の場合、分子が基板に対し平行に配向する傾向があることがわかっている。これはSi基板上の蒸着膜にエリプソメトリー測定が、消衰係数 K_x と K_z で大きな異方性があることより推定される。分子の配向ではよく議論されるのは、電荷の輸送性の面であるが、NPV-03の分子層における光吸収強度の向上にも寄与しており、結果的にJscの増加に繋がることがわかる。

後述するように基板加熱蒸着等のプロセス的なアプローチもこのような配向性の制御を目的の一つとする。図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(22)に示すように薄膜状態の配向性を制御するため、分子設計段階から配向性を考慮する必要がある。吸収波長、吸光度及び予てから主張しているHOMO、LUMOなどの電子準位の考慮に加え、新たに分子配向性の制御も考慮したうえで、引き続き波長分離がなされたP型材料の開発に取り組んでいく予定である。



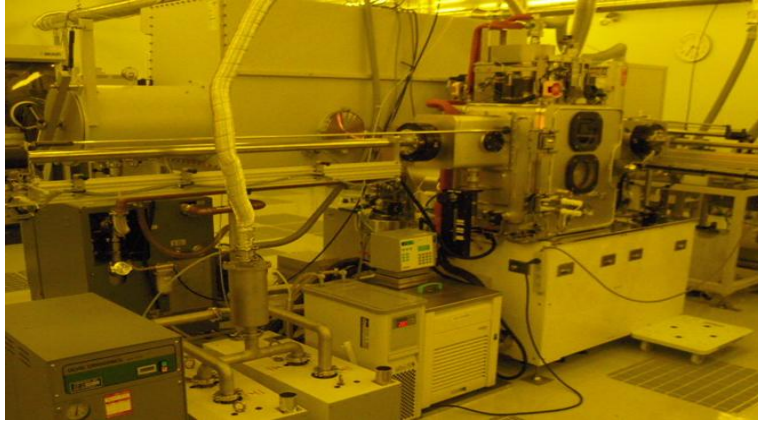
図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(21) 配向性とエリプソメトリースペクトル



図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(22) 配向性を考慮した分子設計のイメージ

また、ナノ構造制御も、高分子材料と同様に重要である。ア．光電変換の場と考えられる p/n 界面（p 材料と n 材料の界面）を如何に増やすか。イ．生成された正孔および電子を各電極へ如何に効率よく輸送し、取り出すか。両方の因子をバランスよく向上させるのがポイントとなる。ここでア．の界面の増加は短絡電流密度 J_{sc} の向上に関係し、イ．は FF と関係すると考えられる。

具体的には、具体的には、2010 年度に導入した熱処理機構を用いた基板加熱蒸着より行っている。本装置は蒸着時の基板加熱だけでなく、蒸着時以外にも赤外線ランプによる基板加熱が可能であり、素子形成後のアニール処理も可能である。またグローブボックスと接続させているので、グローブボックスでの種々のナノ構造を誘起する基板の処理を大気に触れさせることなく実施可能である（図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(23)）。

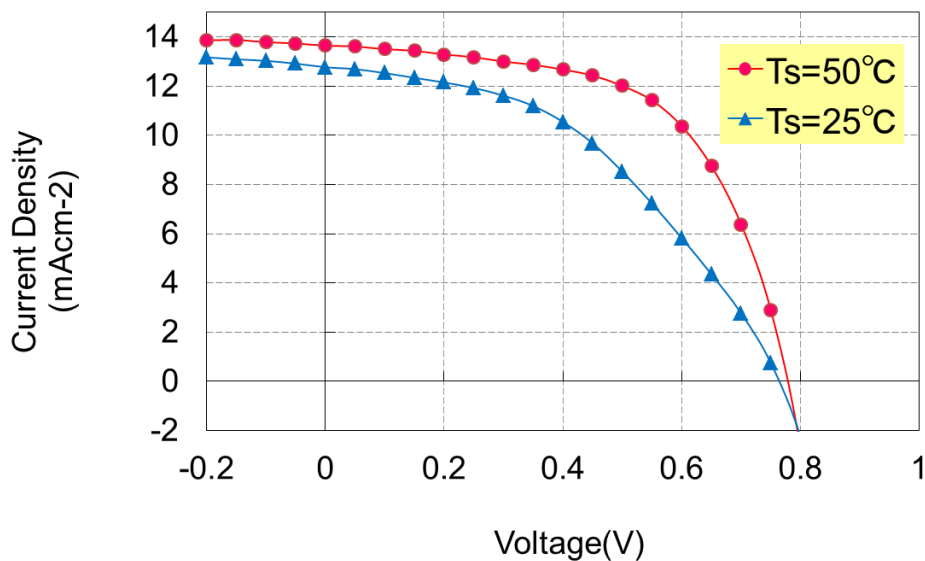


図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(23) 熱処理機構

表Ⅲ-2-(ホ)-A-1(5)および図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(24)にNPV-03のi層を基板加熱蒸着した場合のpin素子の太陽電池特性およびJV特性を示す。本素子は吸収波長が700nm以下の短波長側の吸収材料素子であるが、基板加熱を実施しない同一構成の素子と比較して、効率がほぼ1.4倍に向上した。太陽電池特性としては、 V_{oc} は殆ど変化せず、 J_{sc} およびFFが向上している。

表Ⅲ-2-(ホ)-A-1(5) NPV-03素子の太陽電池特性

	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF	η (%)
$T_s=25^\circ\text{C}$	0.80	13.66	0.58	6.28
$T_s=50^\circ\text{C}$	0.77	12.79	0.44	4.36



図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(24)

これまで陽極として検討している ITO 透明電極は n 型の縮退した半導体であり、本来は陰極としても機能するはずである。そこで以下説明する逆構成、即ち ITO を陰極側および上部電極 Al を正極とする素子構成を、p 材料に NPV-03 を適用し検討した。同じ光活性層の順構成 (ITO を正極、Al を負極) より、FF が向上することを確認した。(図 III-2-(ホ)-A-1(25) 参照) 今後、この逆構成を異なる p 材料へ適用し、更なる高効率化を達成する予定である。

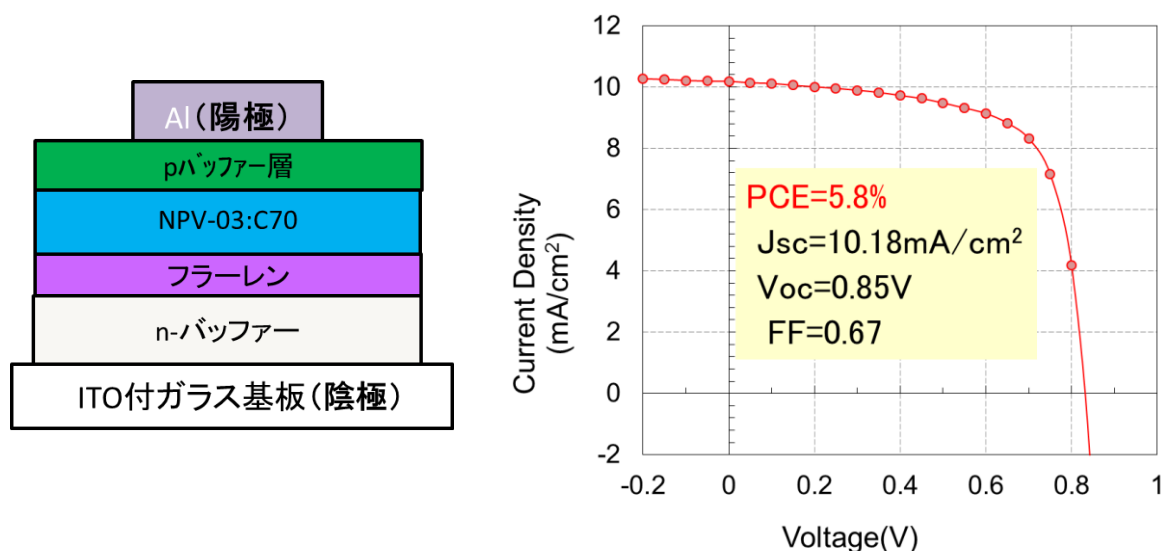


図 III-2-(ホ)-A-1(25) 逆構成素子の JV 特性と素子構成

高純度化は、材料本来の性能を評価するには不純物の混入を可能な限り回避するために、高分子系材料と同様に、高純度化は必要である。有機 EL はじめ有機電子機能材料で問題となるのは、HOMO-LUMO 間の本来であれば、準位が存在しない、不純物が形成するギャップ準位の存在である。太陽電池においても正孔或いは電子の移動に対しトラップを形成し、結果的に J_{sc} 或いは FF の低下につながる可能性がある。

分子科学研究所の平本教授からフラレンの昇華精製に関し、装置の操作等、指導を受け、同様の結晶析出型の昇華精製装置を導入した。図 III-2-(ホ)-A-1(26) に装置全体を示す。系内を高真空領域まで排気した後、大気圧近傍まで不活性ガス (窒素) を導入し、仕込んだ材料に極力均等に熱を加えることで結晶化を促進し、材料の純化を図るのが本装置のポイントである。今後、フラレンに対し様々な精製条件で運転し、太陽電池性能との相関を調べ、運転条件を確定する。その後開発した材料へ展開していく。



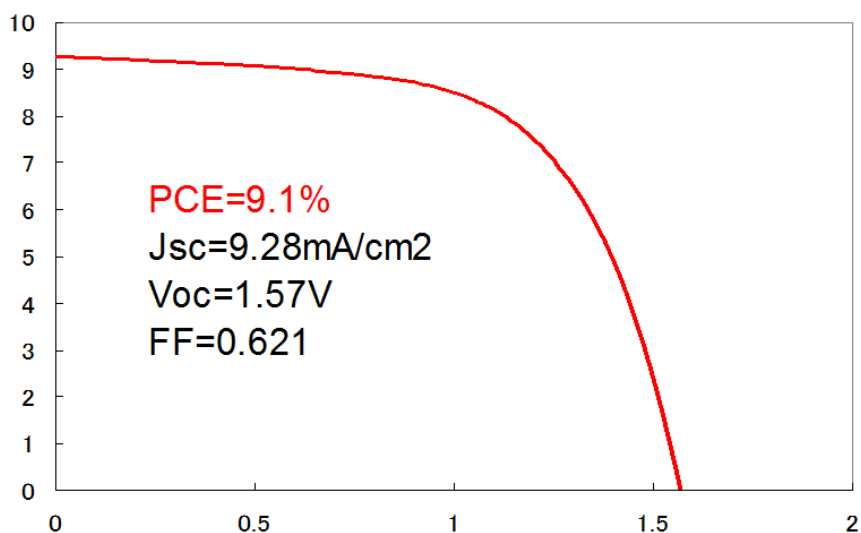
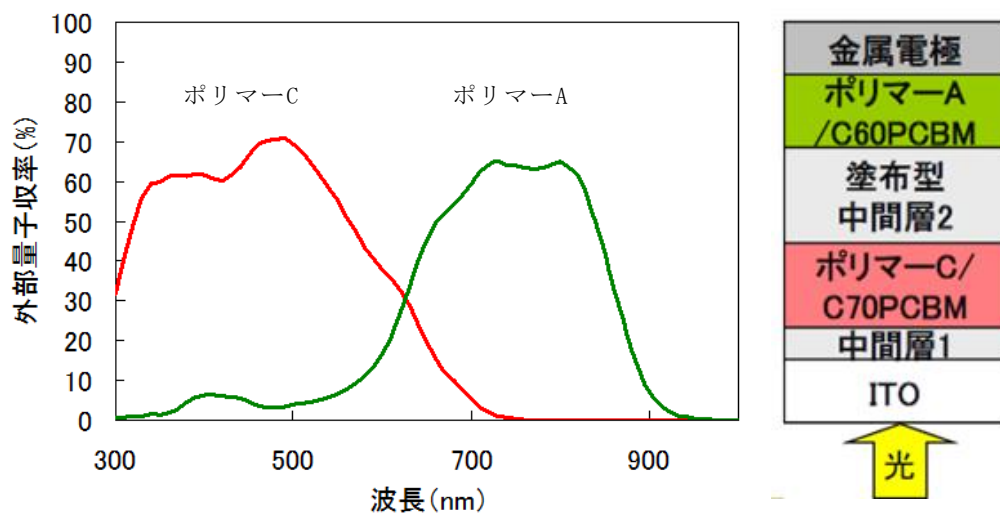
図 III-2-(ホ)-A-1(26) 結晶析出型昇華精製装置

③高効率化検討

各委託先が持つ材料、技術を融合して高効率化を実現するために、コンソーシアム内にプロジェクトを結成してタンデムセルの検討を進めている。

高分子－高分子の組み合わせによる高効率タンデムセル開発の課題は、バックセルの塗布時にフロントセルの溶解をブロックし、ロール to ロールプロセスにも適用可能な高効率塗布型中間層の開発である。この条件を満たす塗布型中間層の検討を進めた結果、ボトムセルにポリマーA、トップセルにポリマーCを用いた系で、変換効率9.1%を達成した（図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(27)）。

トップセル、ボトムセルのそれぞれの単セルの性能を考慮すると、タンデムセルでそれらが理想的に発現されれば、更に高い効率も期待できる。今後、中間層の探索や膜厚の最適化などの検討を継続する予定である。



図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(27) 高分子－高分子タンデムセルの効率

低分子－低分子の組み合わせによるタンデムセルの開発においても、高分子－高

分子と同に中間層の開発が重要な課題となっている。

pタイプドーパントとして新規材料NPV-07を開発し、p材料としてNPV-01を宿主材料とし組み合わせ、高導電性の正孔輸送層を開発した。更に再結合界面を形成するために電子輸送層と組み合わせ、ロスなくフロントセルの電子とバックセルの正孔を再結合させる高効率な中間層を開発することができた。

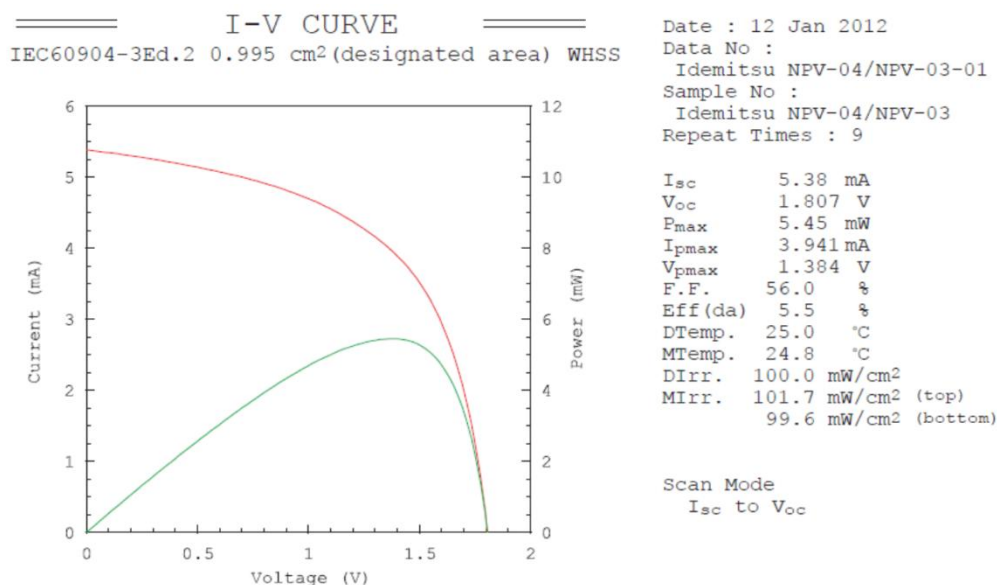
以下にNPV-03およびNPV-04の二つの5%レベルのシングルセルを組合せたタンデムセルの検討結果を示す。中間層の膜厚を実験的に変化させ、陰極A1と陽極ITO含むタンデム素子の光学干渉を調整し、バックセルにも有効に光が入射するように試みた。結果を表III-2-(ホ)-A-1(6)に示す。

表III-2-(ホ)-A-1(6)ヘテロタンデムセルの素子性能 (自社評価結果 5 mm角セル)

素子	材料	Voc (V)	Jsc (mA/cm ²)	FF	η (%)
Bottom cell	NPV-03	0.82	9.50	0.56	4.36
Top cell	NPV-04	0.99	10.50	0.51	5.30
Tandem	NPV04 / NPV03	1.81	5.89	0.57	6.08

図III-2-(ホ)-A-1(20)に示したようにNPV-03とNPV-04シングルセルのIPCEは殆ど重なり、波長分離は十分とは言えない。それにも関わらず、タンデム化に伴う電流値の低下を顕著に抑制できた。更にFFに関しては、FFが小さなトップセルに引きずられるわけではなく、ボトムセルの値よりもむしろ良い値となっており、この中間層は高透過率かつ高導電率の再結合層として機能していると推定した。

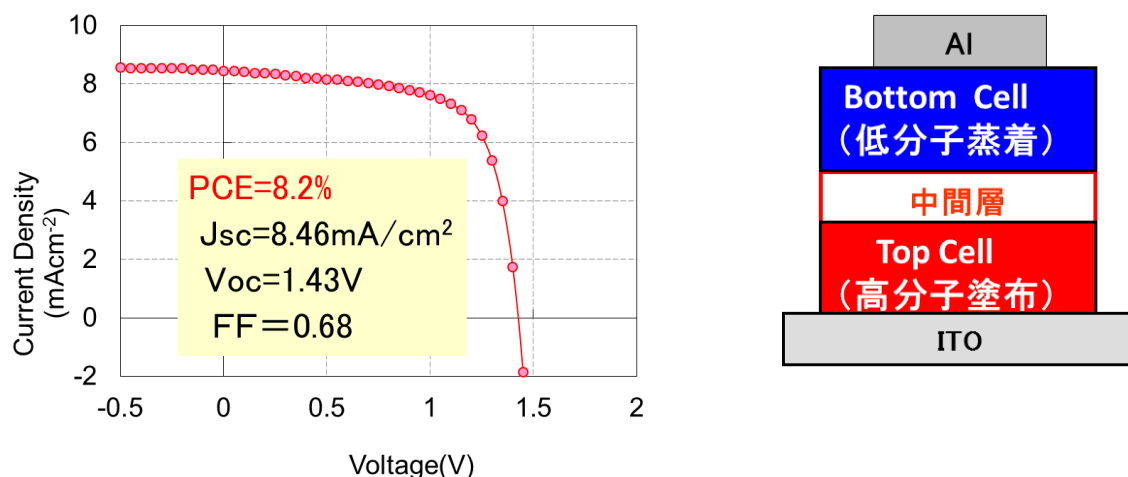
図III-2-(ホ)-A-1(28)に、表III-2-(ホ)-A-1(6)と同じ構成の1 cm角のセルに対する産業技術総合研究所における精密測定結果を示す。同一セルの自社測定値は5.7%であったが、産業技術総合研究所での精密測定では5.5%となった。



図III-2-(ホ)-A-1(28) タンデムセル (1 cm角) の精密測定結果

更に、高分子-低分子の組み合わせによるハイブリットタンデムの開発も進めている。高分子層を塗布プロセスによって製膜した後に、低分子層を蒸着プロセスによって製膜することにより、ハイブリットタンデム素子を作製した（図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(29)）。

トップセルがポリマーA、ボトムセルが短波長低分子材料NPV-03の組み合わせにおいて、変換効率8.2%を実現した。この値は、これまで明らかとなったハイブリットタンデムにおいては世界最高と考えられる。



図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(29) ハイブリットタンデムセル素子構成及び効率

ハイブリットタンデムでは次のような優位な点が挙げられるため、引き続きトップおよびボトムセル用の材料及び素子構造の最適化を図り、更なる高効率化を達成する計画である。

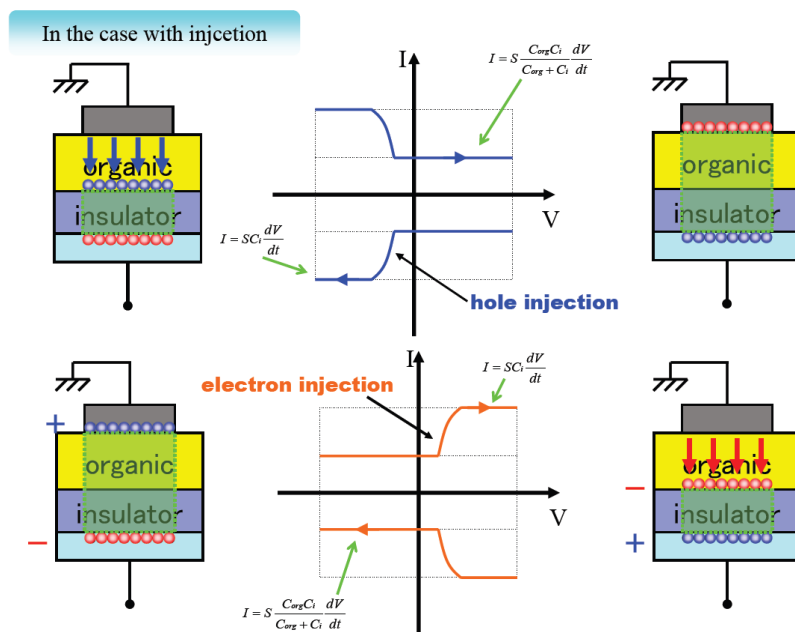
まず、本コンソーシアムの強みである高分子材料および低分子材料を組み合わせることで、他には実現できない可能性が期待できる。次に、塗布-塗布のタンデムで問題となっているような下地（トップセル）を溶解させるリスクを、中間層以降をドライ成膜である蒸着で形成することで、完全に回避している。最後に、コスト的な観点では、塗布と蒸着を組み合わせること自体は、現状の塗布においても電極が概ね蒸着で形成せざるを得ない状況であり、ボトムセルの蒸着工程を塗布工程にさらに付加しても大きなコストアップとはならないと期待できる。

④開発スピード向上に向けた取り組み

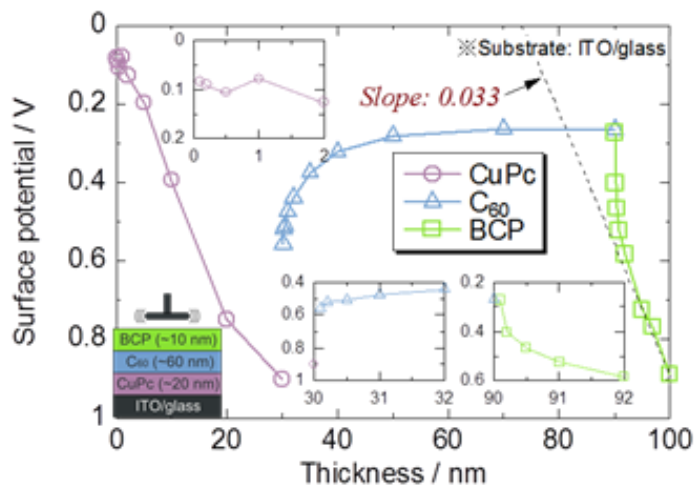
セル開発を効率的に進めるための技術開発にも取り組んできた。

まず、素子構成検討へフィードバックを行い高効率化或いは耐久性を達成するために、有機薄膜太陽電池の動作機構の解明に取り組んだ。最終的には有機太陽電池を形成する材料の分子設計へのフィードバックに繋がりたいと考えている。これまで変位電流法による標準デバイス（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。図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(30)に変位電流法の測定原理を示す。変位電流法は出光で検討している周波数次元の情報が加わったインピーダンス分光と

比較しながら、正孔および電子の注入挙動を解明すべく引き続き検討中である。図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(31)はケルビン法を用いて標準材料による太陽電池素子形成時の各層の表面電位を測定した結果である。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。光収量電子分光法等で検証する予定である。



図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(30) 変位電流測定法について



図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(31) ケルビン法による太陽電池材料の電子準位

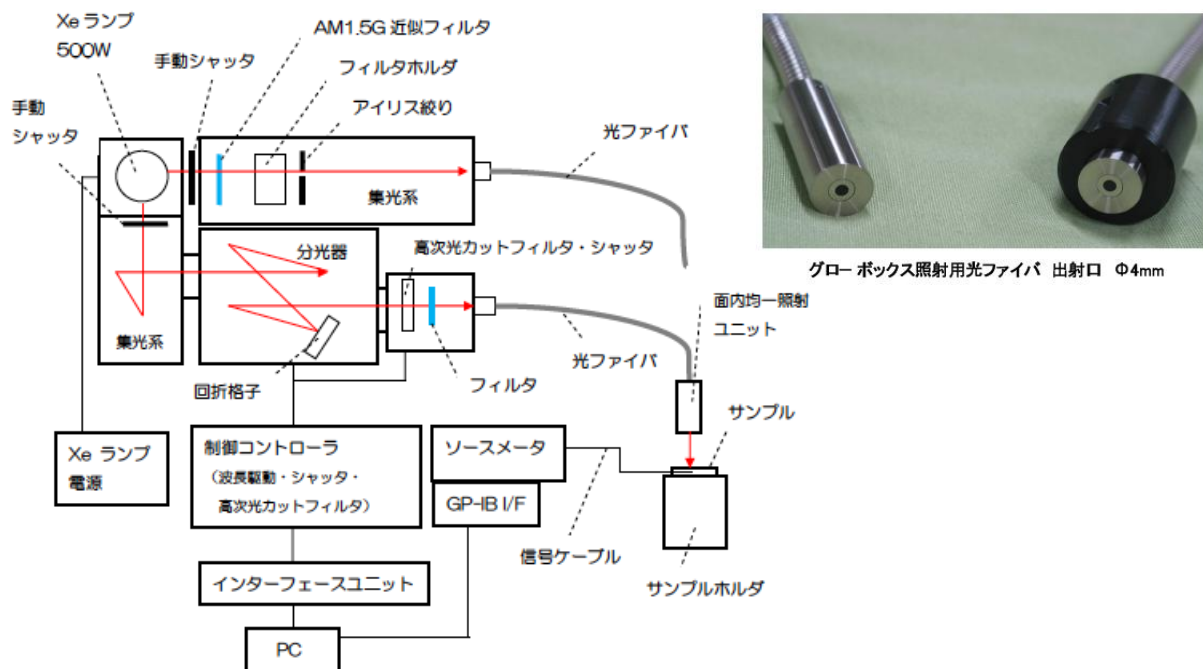
また、素子特性の最適化には、迅速な材料・構造の最適化技術の開発が不可欠である。これは、最も時間のかかるプロセスであるため、通常これまで無視されてきた。そこで、これを、迅速化するコンビ手法を開発し、新規塗布法 MIST 法による傾斜組成

薄膜形性・評価法を実現した(特許申請中)。すなわち、二重噴霧装置を新たに設計・開発し、これを用いることにより活性層となる P3HT と PCBM の二成分についての傾斜薄膜作成に成功した。今後、企業からの優れた材料を用いて、変換効率 12%の早期実現を目指す。

更に、素子の全試作工程を不活性ガス下で行うグローブボックスシステム(図 III-2-(ホ)-A-1(32))が完成し、光ファイバー型分光感度特性測定装置(III-2-(ホ)-A-1(33))を導入により、製造プロセスのみならず、変換効率および外部量子収率(アクションスペクトル)の評価プロセスについても不活性ガス下で実施可能となった。既に測定を行っているが、FFの大幅な向上が観測されており、今後効率 12%の早期実現を目指す。



図 III-2-(ホ)-A-1(32) セル作製/評価用グローブボックスシステム



グローボックス照射用光ファイバ 出射口 Φ4mm

図 III-2-(ホ)-A-1(33) 分光感度特性測定装置の構成概要(左)とグローブボックス照射用光ファイバの写真(右)

最後に、大面積セル作製を指向したスピコート代替成膜プロセスである付加的溶媒スプレー塗布法による、マルチセルの作製とミスト法による傾斜薄膜の作製ならびに2次元評価を実施した。スピコート法と対比すると活性層の膜厚が2-3倍厚い200-300 nmの素子で変換効率1-3%を得た。これを用いた、多元セルを実現し、迅速評価法を確立する。

以上の技術を統合して、最も時間のかかる素子特性の最適化過程を、迅速化できるコンビ手法を開発することにより企業との連携を強化して、変換効率12%の早期実現を目指す。

2) モジュール変換効率

① 塗布プロセス

大型モジュールについては、小面積セルで一般的に使用されるスピコートは使用できないため、大面積化に適した塗布印刷方法を検討する必要がある。また、塗布方法の違いによる、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、塗布方法の開発と並行して大型化に適したインク溶媒組成の検討等が必要となる。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の、効率が最大となるモジュール設計を進める。

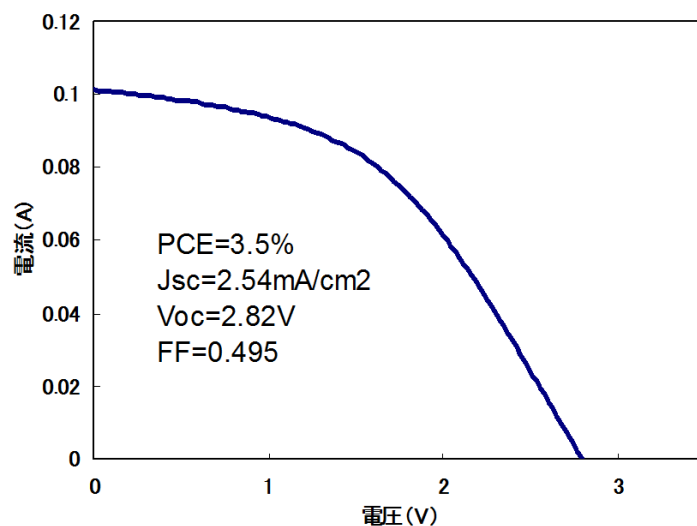
現在、ロール to ロールプロセスに適用可能な塗布法ならびにメニスカス塗布法の2種類の塗布法の開発に取り組んでいる。

まず、ロール to ロールプロセスに適用可能な塗布法での開発状況を説明する。

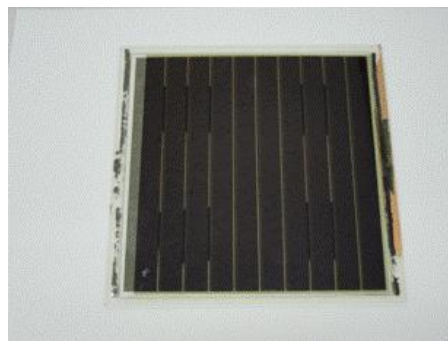
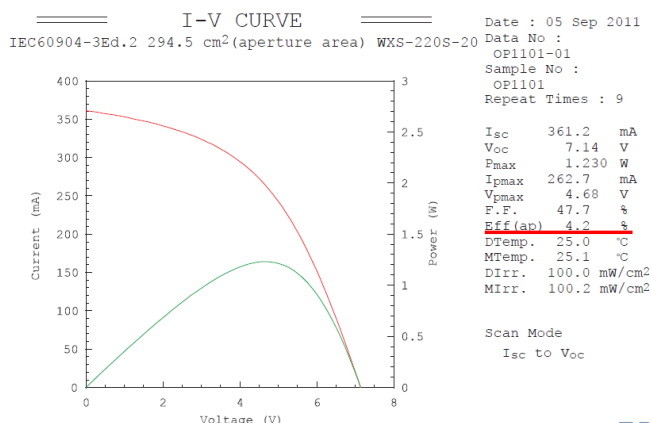
ポリマーAを用い、開口率が70%程度のサブモジュールで、効率3.5% (ap)、4.8% (ac) と、有機薄膜太陽電池の大型サブモジュールとしては世界最高レベルの効率を達成した(図III-2-(ホ)-A-1(34))。

高い開口率が期待できるスクライブによるパターンニングを検討した結果、開口率80%まで開口率の向上に成功した。

更にこれまでに検討した高効率化技術も適用した結果、産総研の精密測定にて効率4.2% (ap)を達成した(図III-2-(ホ)-A-1(35))。



図III-2-(ホ)-A-1(34) 大型サブモジュールの最新効率

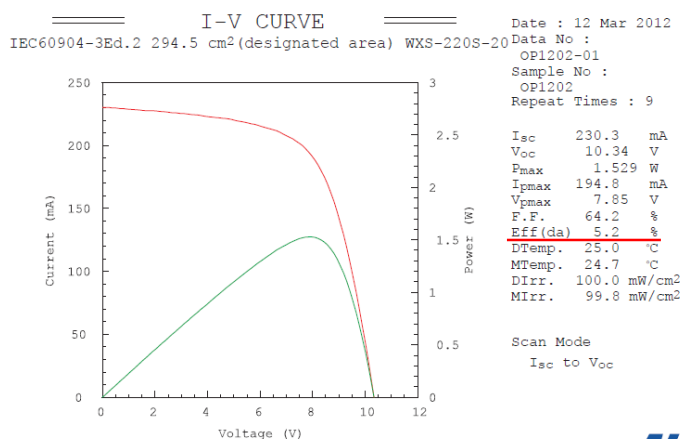


図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(35) 大型サブモジュールの効率

この効率は、その時点での有機薄膜太陽電池サブモジュール世界最高として Solar cell efficiency tables (version 39) (Prog. Photovolt: Res. Appl. 2012; 20:12-20) に掲載された。

更に基板の低抵抗化などにより、F Fが0.477から0.642に大幅に向上し、産総研での精密測定にて効率5.2%を達成した(図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(36))。

今後は、更なる開口率の向上を検討し、高効率化を図りたい。前回よりも効率は向上したものの、スピコートを用いた小面積セルの効率よりも低い結果であり、塗布方法の違いによるモルフォロジーの差異等の原因の解析も進めている。

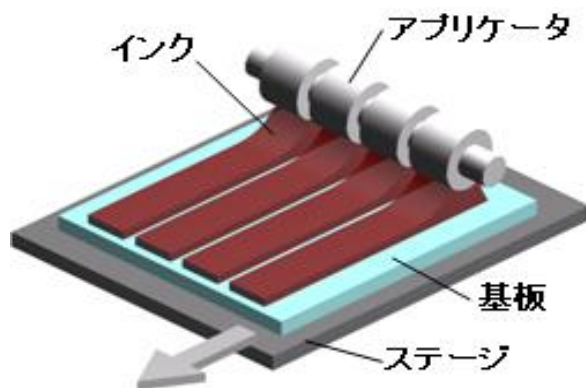


図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(36) 基板の低抵抗化

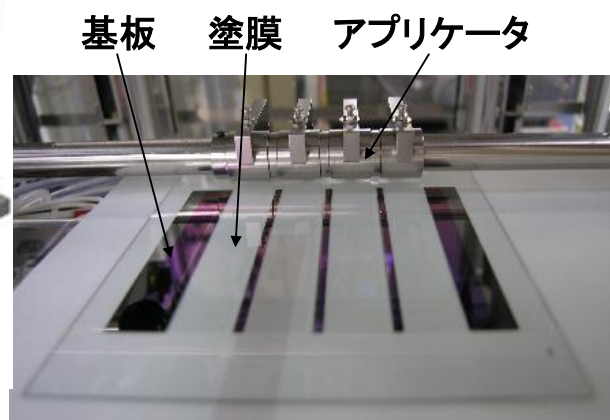
次にメニスカス塗布法の開発状況を説明する。

モジュール開発の中間目標である「モジュール変換効率6%以上」を前倒しで実現すべく、平面型モジュールの開発を行い、試作した20cm角モジュールで変換効率6.6%を達成した。また、産総研に正式測定を依頼し、6.7cm角サブモジュールで変換効率5.3%を得た。いずれも、これまでの有機薄膜太陽電池サブモジュール効率の

公式記録である4. 2%を凌駕し、世界最高レベルにある。



図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(37) メニスカス塗布法



図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(38) メニスカス塗布装置の概観

目標達成のために今年度開発した主要なモジュール化技術は、a. 高精度印刷技術、b. モジュール構造(デバイス)設計技術、c. 電界および光学シミュレーション技術、の3種である。

高精度印刷技術においては、中間層、活性層を形成するキー技術であるメニスカス塗布法(図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(37)、図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(38))の制御により、塗布膜の塗布幅精度、膜厚分布精度を大幅に高めることに成功した。メニスカス塗布法は、ナノサイズの厚さの薄膜を均一に塗布できる独自技術であり、図のような分割アプリケーター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である。開発初期には塗布長140mmの条件で塗布幅精度0.2mm、塗布厚ムラ11%程度であったプロセス能力が、塗布幅精度0.03mm、塗布厚ムラ3%となった。この技術により、長さ20cmの短冊状セルを直列

接続したモジュール構造において、従来は72%であったモジュールの開口率を、90%まで

向上することができた。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。

塗布精度の向上に寄与した主要な制御パラメータは、塗布ギャップ(アプリケーターと基板表面の距離)、塗布速度、塗布時の基板とアプリケーターの温度である。これらのパラメータを、活性層、陰極側中間層、陽極側中間層の各々について最適化することで上記の塗布精度を実現した。このようにして作製した20cm角モジュールの実物写真を図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(39)に示す。今後、さらに塗布精度を向上することにより、モジュール

開口率93%の実現、ひいてはモジュール効率の更なる向上が可能と考えている。

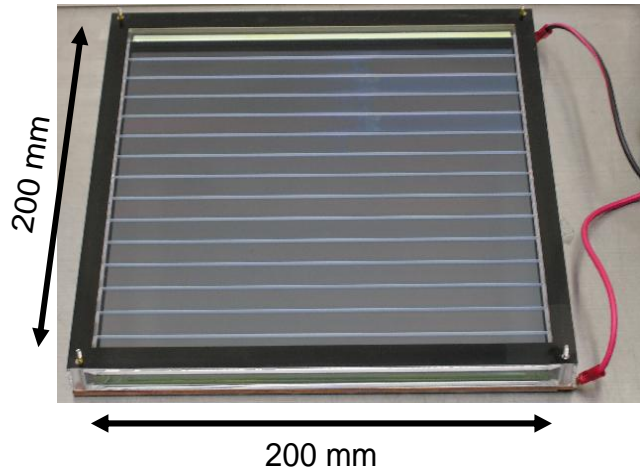
モジュール構造設計では、まず図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(39)に示すストライプ状のセルを直列接続する構造を基本とし、セルの効率特性を可能な限りモジュールにおいても再現することを目指した。具体的には、開口率（セル有効部の面積率）の向上と、発電時の局所的なリーク電流の抑制を念頭に置

いて設計した。

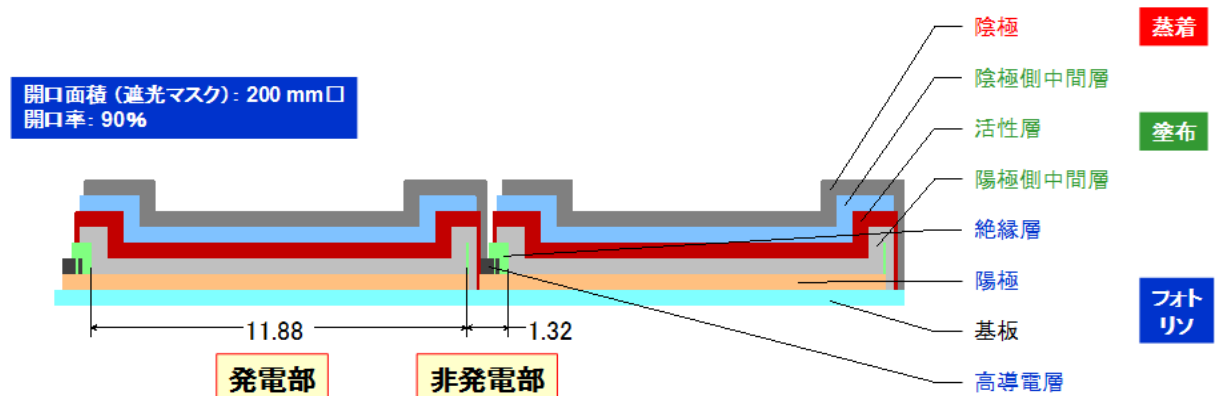
図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(40)に、開発した直列モジュールの断面構造を図示した。発電部の幅（ストライプセル幅）を11.88mmと従来よりも狭い値に設定することでITO陽極における電流損失を抑制すると共に、非発電部を極力狭く(1.32mm)設計することで開口率の向上を図った。非発電部を狭くしたことで、活性層や中間層の塗布幅精度を著しく向上する必要が生じたが、上記メニスカス塗布の開発によりこれを実現

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、図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(40)に図示するように該当箇所に絶縁層を設けた。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、図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(40)に「高導電層」と記載した部分、すなわち陰極を隣接するセルの陽極に接続する部分にMo/A1/Moの層を設けセル間の電氣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90%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(39) 20cm角モジュールの実物写真

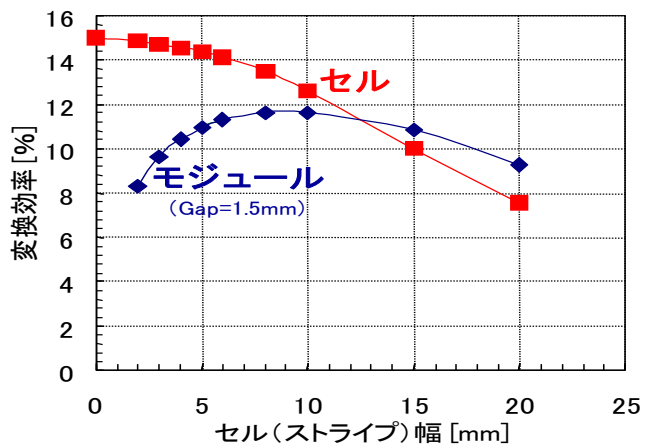


図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(40) 20cm角モジュールの断面設計図

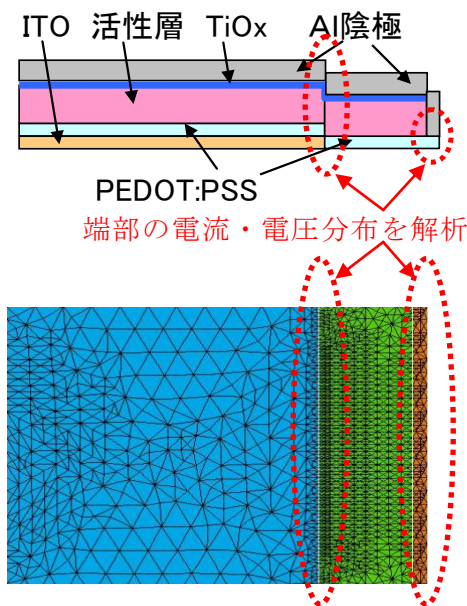
シミュレーション技術の開発は、上記のモジュール設計やメニスカス塗布技術の開発に対して重要な指針を与えるもので、有機薄膜太陽電池開発には必要不可欠な開発アイテムである。特に、モジュールのストライプセルの幅、セル間ギャップ幅、ITO電極抵抗、陰極抵抗、補助電極の抵抗値などの設計値を決定するにあたり、実験で全てを最適化することは事実上不可能であり、シミュレーションによる最適化が極めて有効であった。

シミュレーションの手法は、電極内の微小領域 (dx, dy, dz) に入出力する電流の保存則を書き下すことによって得られる連立偏微分方程式を有限要素法を用いて解き、上記のパラメータと変換効率の関係を導出するものである。セル幅の最適化を目的とした解析結果の一例を図III-2-(ホ)-A-1(41)

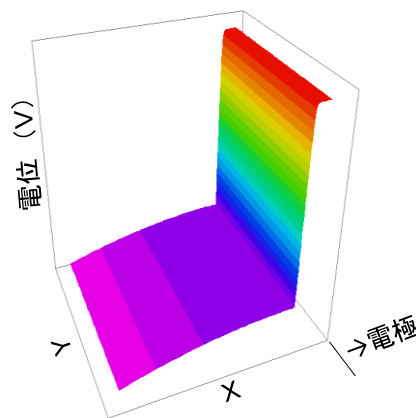
に示す。これらのシミュレーションを駆使して図III-2-(ホ)-A-1(40)のモジュール構造における発電部の幅 (11.88mm) を決定した。また、非発電部の設計にあたっては、図III-2-(ホ)-A-1(42)に示すセル端部における電流・電圧分布の解析結果から決定した。この解析から、セル端部の外側 0.2mm の範囲の発電はセル効率に寄与するため、効率測定においてはこの端部効果を除去できるマスクの使用が必要であることを再確認するとともに、中間層の導電率が 1000[S/m]以上



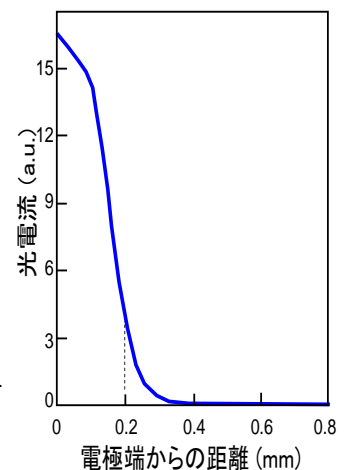
図III-2-(ホ)-A-1(41) セル幅の影響のシミュレーション結果



(a)セルの断面・平面モデル



(b)端部の電圧分布の計算結果



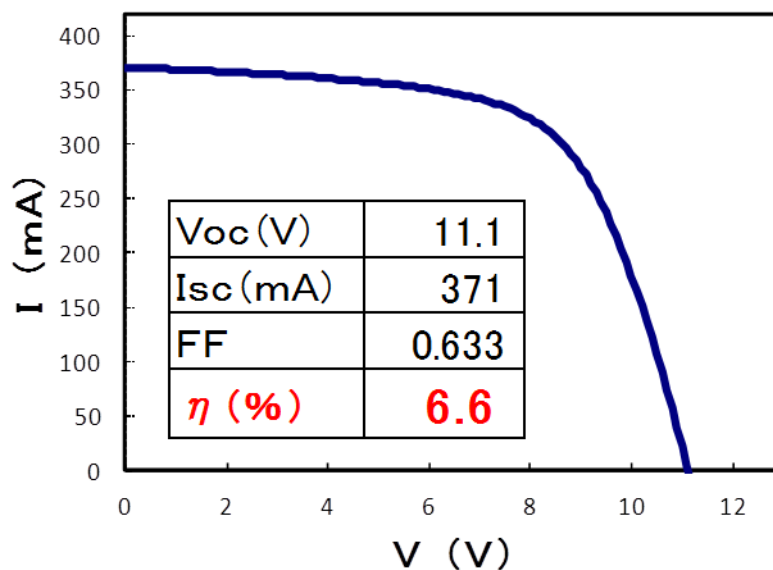
(c)端部の電流分布の計算結果

図III-2-(ホ)-A-1(42)セル端部における電流・電圧分布のシミュレーション結果

になると隣接するセル間で電流のリークが発生し、変換効率が低下することが明らかになった。

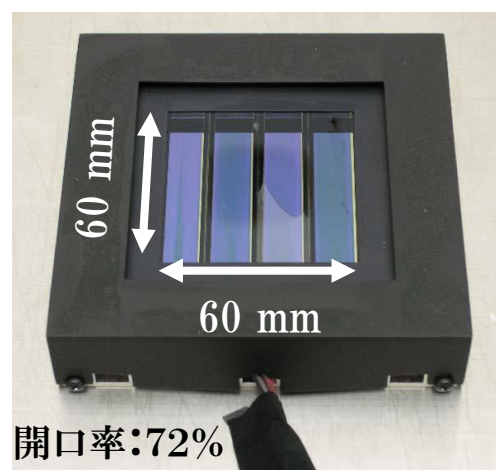
さらに、このシミュレーションによって、ミニセルの効率値からモジュール効率を推定することも可能になった。定量的にも実験結果と良く一致しており、開発の効率化に対し多大の効果が得られた。

以上の技術開発により、図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(43)に示すP Vモジュール特性を得ることができた。20cm角モジュールの変換効率は6.6%に達し、中間目標の6%をクリアできた。

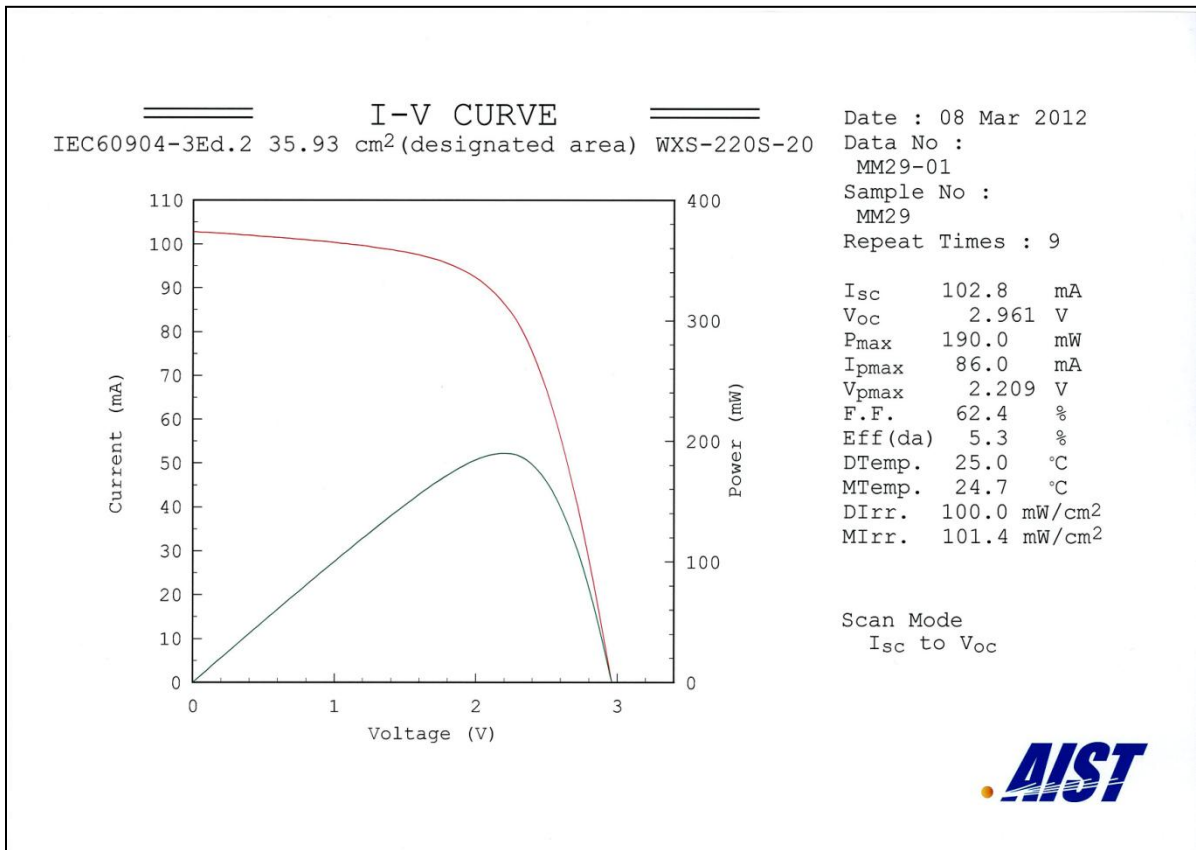


図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(43) 6.6%モジュールのI-V特性

上記の開発に先立ち、67mm角のサブモジュールを試作し、独立行政法人産業技術総合研究所に提出して変換効率の正式測定を行った。本体写真を図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(44)に、測定結果を図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(45)に示す。得られた効率値は5.3%であり、Solar cell efficiency tables (ver. 39)に掲載されている有機薄膜太陽電池サブモジュール効率の公式世界記録4.2%を大きく凌駕した。今後は、上記の効率6.6%モジュール、もしくはこれを超えるサブモジュールを産業技術総合研究所に提出し、測定を依頼する予定である。



図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(44) 産総研で測定したサブモジュール

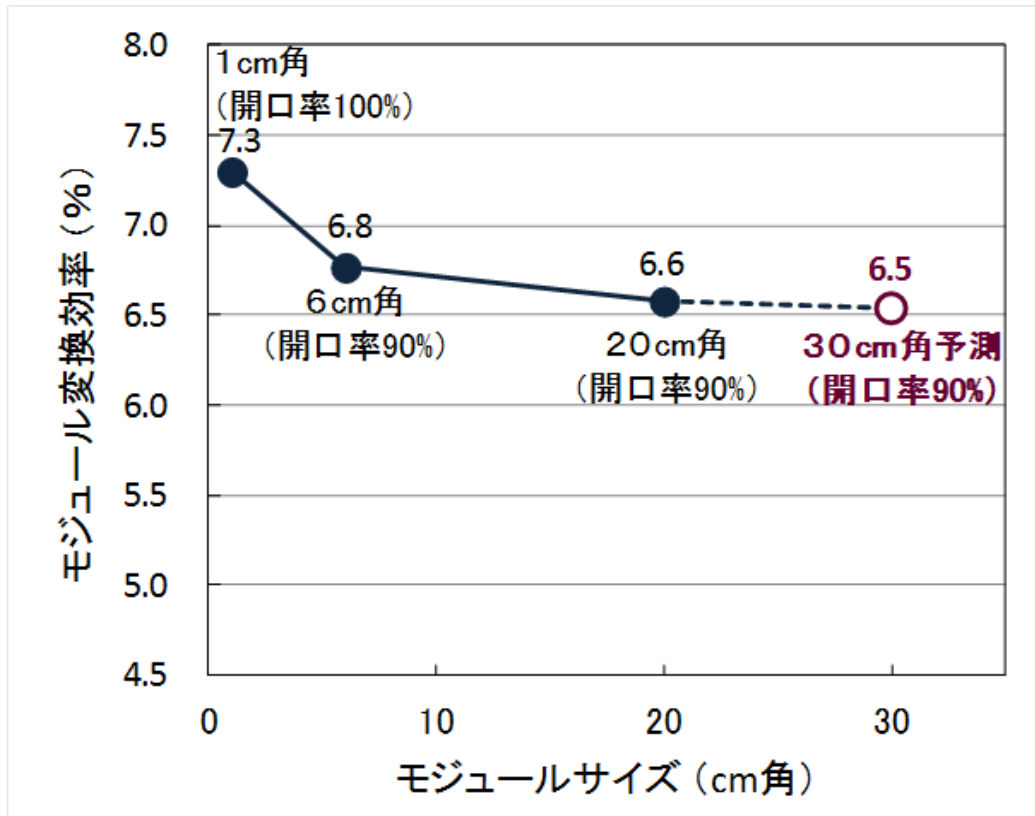


図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(45) 産総研における効率5.3%サブモジュールの測定結果

なお、中間目標は厳密には「30cm角モジュールで効率6%以上」であるが、メニスカス塗布装置、封止ロボット、蒸着装置、ソーラーシミュレーターの全ての装置を、30cm角対応でそろえることが金銭的・時間的に困難であったため、今まで20cm角モジュールで代用してきた。

図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(46)に示すように、上記の1cm角、6.7cm角、及び20cm角の効率から Active Area の変換効率を算出し、30cm角モジュールの変換効率をシミュレートした結果、予測値として6.5%が得られた。従って、上記の結果は中間目標と実質的に等価な成果であると考えられる。

また、24年度中に30cm角に対応できるメニスカス塗布装置、封止ロボット、蒸着装置、ソーラーシミュレーターを導入し、30cm角モジュールの試作に着手する予定である。

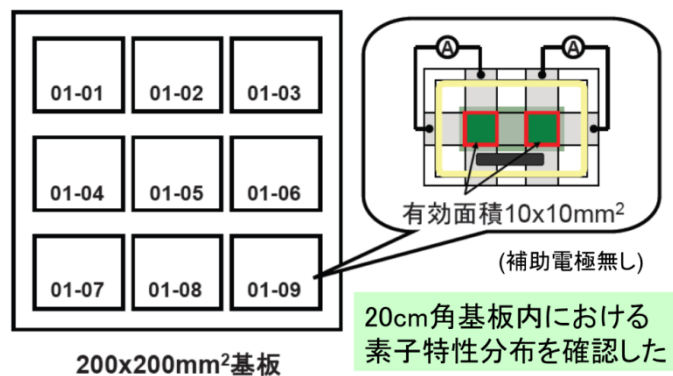


図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(46) 30cm角モジュールの効率予測

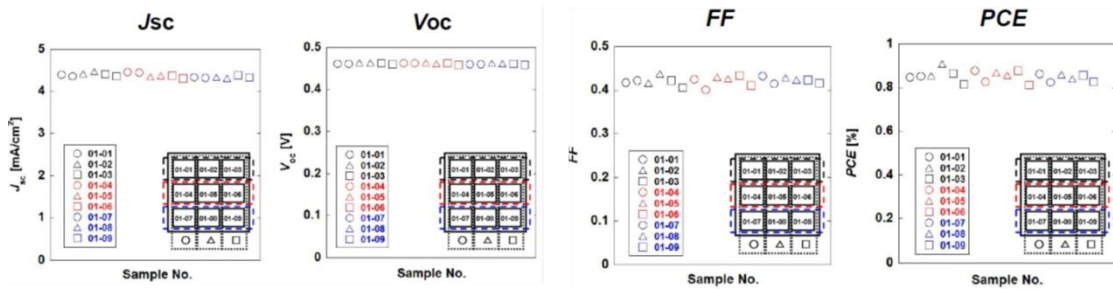
②蒸着プロセス

中間目標である「モジュール変換効率（30cm角程度）6%以上」に対しては、既存装置の改造をなくとも成膜可能な20cm角のモジュールサイズにて、まず目標値を達成することにした。

試作にあたり委託初年度は以下の二点を確認した。20cm角領域での標準構成素子（ITO/CuPc(30)/C60(60)/BCP(10)/Al()内は膜厚(nm)）を構成する有機材料の成膜膜厚のばらつきが4%以下であること。次に20cm角領域に18点配置した1cm角の標準構成セルも変換効率のばらつきも標準偏差が0.0025であり、顕著に抑制されていることを確認した。図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(47)に標準構成素子の配置を示し、図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(48)に太陽電池の各特性パラメーターの分布を示す。



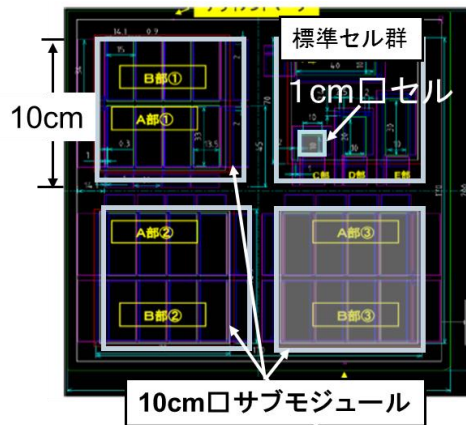
図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(47) 20cm角基板における1cm角素子の配置



	Position	J_{sc} [mA/cm ²]	V_{oc} [V]	FF	PCE [%]
平均値		4.38	0.46	0.42	0.85
標準偏差		5.2E-02	1.6E-03	9.6E-03	2.5E-02

図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(48) 20cm角基板に配置した標準素子の性能

20cm角基板の中に構成の異なる10cm角サブモジュールを、標準素子(CuPc/C60)およびNPV-03系のシングル素子の素子構成でモジュールデザインを確認した(図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(49))。NPV-03系のシングル素子の結果を、表Ⅲ-2-(ホ)-A-1(7)に示した。



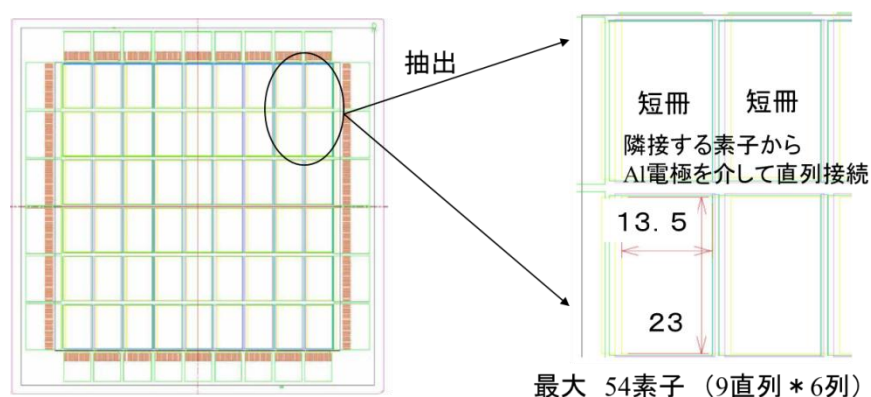
8 cell (Series 4, Parallel 2)
Active area 35.64cm²

図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(49) 10cmサブモジュールで作製したデモパネル

表Ⅲ-2-(ホ)-A-1(7) シングル構成によるセルおよびモジュール性能
上段：1cm角セル、下段：10cm角サブモジュール

Active Area (cm ²)	Voc (V)	Isc (mA)	FF	PCE (%)
1.0	0.82	8.54	0.49	3.42
35.64	3.16	74.38	0.46	3.04

最終的にセル化技術の開発で述べたNPV-03およびNPV-04のヘテロタンデム構成で20cm角モジュール（図III-2-(ホ)-A-1(50)）の試作を行った。



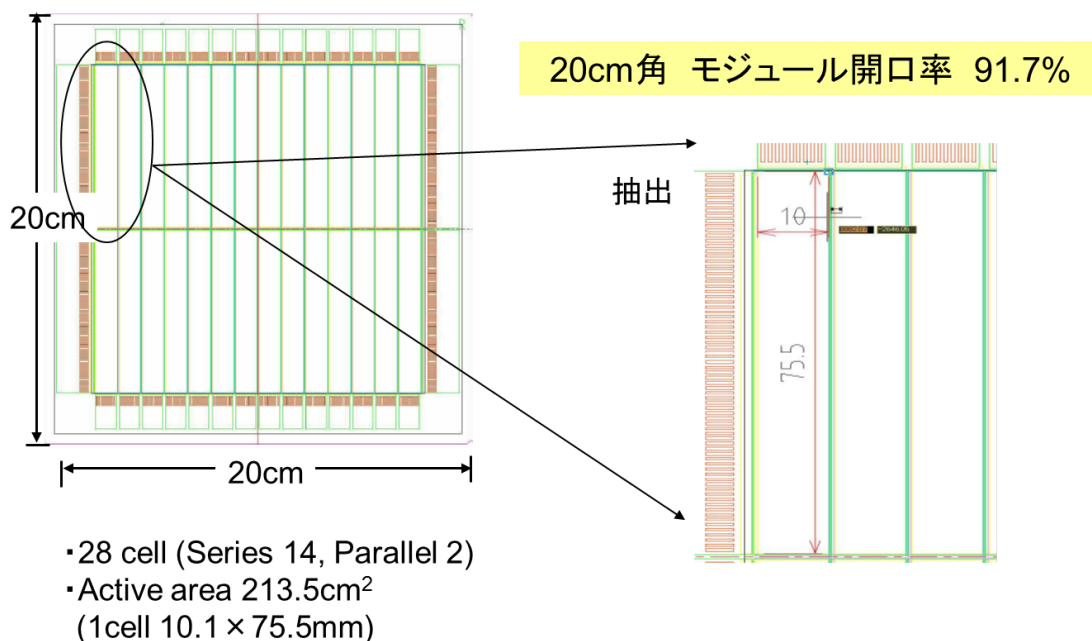
図III-2-(ホ)-A-1(50) 20cm角モジュールデザイン（開口率76%）

開口率76%の20cm角モジュールでは5.1%（ac）の効率が得られ、1cm角セルの効率に比べても、集積化に伴う効率低下が抑制されたモジュールを試作できた（表III-2-(ホ)-A-1(8)）。

表III-2-(ホ)-A-1(8) ヘテロタンデム構成を用いたセルおよびモジュール性能
上段：1cm角セル、下段：20cm角モジュール

Active area (cm ²)	Voc (V)	Isc (mA)	FF	PCE (%)
1.0	1.80	5.69	0.56	5.78
167.67	44.92	32.52	0.59	5.12

同様に開口率91%の20cm角モジュール（図III-2-(ホ)-A-1(51)）でも、アクティブ効率5.1%に、開口率91%を乗じた値となるモジュール効率4.6%（da）が得られた。



図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(51) 20cm角モジュールデザイン (開口率91%)

このように大型化しても効率の低下が抑制されるのは、モジュールを構成する基本セル幅をある一定以上の値とすると効率の低下が発生することを簡単なシミュレーションで確認し、そのデザインルールを適用してモジュール設計を行ったことが一因と考えている。また以下のような成膜上の要因も考えられる。塗布法においては成膜サイズにより、成膜方法が異なるのが一般的である。それに対し当社の検討している真空蒸着はモジュールサイズに依らず、セルの場合と同じ蒸着源が使える性能の変化は殆どないためと考察している。

3) J I S 規格 C 8 9 3 8 の環境試験・耐久性試験

統一した試験方法で評価を進める必要があるため、コンソーシアム内にワーキンググループ (WG) を結成して活動を進めている。

① 趣旨および活動概要

J I S 規格 C 8 9 3 8 の環境試験・耐久性試験の概要を表Ⅲ-2-(ホ)-A-1(9)に示す。

対象となる試験項目は以下の5項目：温度サイクル試験、温湿度サイクル試験、光照射試験、耐熱性試験、耐湿性試験であり、それらにおいて相対効率低下10%以内を目指すことを耐久性の中間目標として挙げている。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。目標に挙げられているC8938はアモルファスシリコン太陽電池を対象としたものであり、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。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本試験を適用することの妥当性を議論することが必要である。例えば光照射前に施す前処理でアモルファスシリコン太陽電池は安定化されるが、有機薄膜太陽電池には同様の効果が認められない。また寿命に影響を与える劣化要因も異なることが予測されるため、加速条件

の適切性を評価することも重要である。耐久性試験を行うに先立って、コンソーシアム内で試験条件を統一し、その妥当性を議論することを目的としたWGを立ち上げた。

表Ⅲ-2-(ホ)-A-1(9) J I S規格C 8 9 3 8 環境試験・耐久性試験の概要

項目	試験名	試験条件	試験時間
A-1	温度サイクル試験	-40°C~90°C、200サイクル(6h以内/サイクル)、開放	1ヶ月
A-2	温湿度サイクル試験	-40°C or -20°C~85°C、85%RH、10サイクル(6h以内/サイクル)、開放	2日
A-3	端子強度試験	引張強さ、曲げ強さ、ねじり強度	
A-4	塩水噴霧試験	40°C、93%RH、濃度5%、7日間	
A-5	光照射試験	(63°C & 83°C)、50%RH、255W/m ² (300~700nm)、500時間、開放、カーボンアーク(キセノン、ハロゲンでも可)	3週間
A-6	ホットスポット試験	参考試験	
A-7	耐風圧試験	指定の加圧線図、または静荷重試験	
A-8	降ひょう試験	氷球の直径φ 25mm、終速度23m/s、10ヶ所	
A-9	防水試験	防沫形または防雨形	
A-10	ねじり試験	指定の変位量	
A-11	耐火試験	700°C、20分	
B-1	耐熱性試験	85°C、1000時間、開放	1.5ヶ月
B-2	耐湿性試験	85°C、85%RH、1000時間、開放	1.5ヶ月
D-1	シーケンス試験	参考試験	

規格：初期効率に対し、10%以内の効率低下。

平成23年10月に第一回会議を産業技術総合研究所にて開催し(京都大学はテレビ会議設備にて参加)、各機関が所有および導入予定の装置情報を共有し、光照射試験の実施条件について議論を行った。C 8 9 3 8 の光照射試験では光源としてカーボンアークを用いた場合の光強度が規定され、キセノン光源やメタルハライド光源も使用可能とされている。コンソーシアム内にカーボンアークがないことからキセノン光源とメタルハライド光源を用い、強度は1 Sun、庫内温度はブラックパネルで63度とすることとした。光照射前に施す前処理は有機薄膜太陽電池に対して光安定化効果を及ぼさないため、行わないこととした。また欧米から提案されている試験条件とC 8 9 3 8、C 8 9 9 1の比較分析を行った。



図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(52) 光照射装置の一例：出光興産所有(キセノン光源)

第二回会議は平成24年3月に産業技術総合研究所にて開催し（京都大学はテレビ会議設備にて参加）、各機関から光照射試験の結果を報告した。代表的なP型材料であるPTB7セルに関する実験を3機関が行って比較したところ、添加剤や陰極の材料が寿命および劣化する電気特性に大きく影響するという知見が得られた。また耐熱性試験の条件を議論して次回に試験結果を報告することを取り決めた。

第三回会議は平成24年4月に京都大学 東京オフィスにて開催した。これに先立って各機関から提案された試験計画を擦り合わせ、コンソーシアム内で5項目の試験を分担する計画を策定した。住友化学と東芝、出光興産と産業技術総合研究所で分担して試験を実施し、一部の試験は依頼機関に外注することとした。C8938では耐熱性試験と耐湿性試験については連続1000時間の試験を規定している。規定に忠実な試験を行った場合に得られる知見は試験前と1000時間経過後の2点のデータに留まる。有機薄膜太陽電池がこれらの負荷によって劣化する途中経過を知ることは性能向上に欠かせない情報であると考え、途中経過を観測するためのモニタ用素子を同条件で試験することとした。24～72時間毎にモニタ用素子を取り出して室温に戻した後に電気測定を行い、再び試験装置にいれる作業を繰り返した。この抜き取りによる扉開閉作業で庫内温度および湿度が1～5分変動したが、試験全体に及ぼす影響は十分に小さいことを確認した。

温度温度サイクル試験および温湿度サイクル試験は試験条件に幅があるため、それぞれ予備実験に基づいて条件を定めた。

温度サイクル試験：サイクル時間4h、1.2°C/min、さらし時間各10min

温湿度サイクル試験：サイクル時間最長、1.4°C/min、低温-20度/-40度

また試験後の素子を解析してプロセス改善につなげるための劣化解析手法について京大を中心に議論した。さらに標準化活動についても国内外の進捗情報を共有した。

第四回会議は平成24年6月に京都大学 東京オフィスにて開催した。各機関から耐熱性試験、耐湿性試験、温度サイクル試験の試験結果および途中経過の報告を行い、現時点での劣化原因と考えられる封止技術の問題点と今後の改善案について、スパンの長さに分けて対策を議論した。



図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(53) 恒温恒湿槽の一例：東芝所有（-40～150度）

②信頼性試験の内容比較

本項では、コンソーシアムで実施した試験結果を報告する。C8938の5項目のうち、平成24年3月時点では光照射試験しか実施されていなかったが、コンソーシアム内で分担することにより5項目すべての試験を実施し、有機薄膜太陽電池の耐久性の現状を把握することができた。

表Ⅲ-2-(ホ)-A-1(10) 試験結果

試験項目	達成度	低下率
温度サイクル試験	○	9%
温湿度サイクル試験	○	5%
光照射試験	△	10%以上
耐熱性試験	△	
耐湿性試験	△	

表Ⅲ-2-(ホ)-A-1(10)に、コンソーシアム全体での試験結果をまとめる。現時点で目標を達成できたのは温度サイクル試験、温湿度サイクル試験で、他の項目については相対効率低下が10%を上回る結果となった。プロセスが耐久性の観点から最適化されていないことが原因であると考え、試験後の素子を電気的および化学的に分析することによって劣化要因を明らかにし、プロセスを改善することで相対効率低下を軽減して目標を達成することを計画している。

③中間目標達成に向けた対応策

中間評価に向けた信頼性試験の実施結果を受けて、現状未達の試験項目については本年度中に相対低下率10%以内を達成可能であるとした。その達成のための具体的な対応策に関して以下に記す。

a. 封止技術の改善

現状、各社独自にガラス封止技術を用いて有機薄膜太陽電池の信頼性試験を実施しているが、中間評価の段階で未達の要因として考えられるのは“封止の不完全さ”にあると言える。UV光硬化型樹脂をベースとした封止剤をUV光照射により硬化させるものであるが、試験結果から判断すると未硬化な部位の存在や接着強度の不十分さにあると考えられる。今後、有機ELグレードの高い封止技術を導入し、封止剤に直接ソーラーシュミレータの光が当たらない様に遮光マスクを設置するなどして封止技術を早急に改善し、光照射試験および耐湿性試験における中間目標を達成する。

b. 耐熱性材料の導入

低分子系材料の場合、太陽電池と電極の間に挿入されるバッファ層は、電子機能を優先するために耐熱性に乏しい材料が用いられている。具体的には、バソキュプロイン（BCP）を電子取出し側のバッファ層として用いるが、ガラス転移点は80℃未満の所にあり、耐久性試験などに対しては劣化要因となり得る。既に、代替材料として耐熱性の高いn型ドーパ材料の導入を検討しており、これにより耐熱性試験における中間目標を達成する。高分子系材料の場合も同様に、よりガラス転移点の高いp型ポ

リマーを導入し、太陽電池層自体の耐熱性を向上させることで目標を達成する。

c. プロセス雰囲気制御

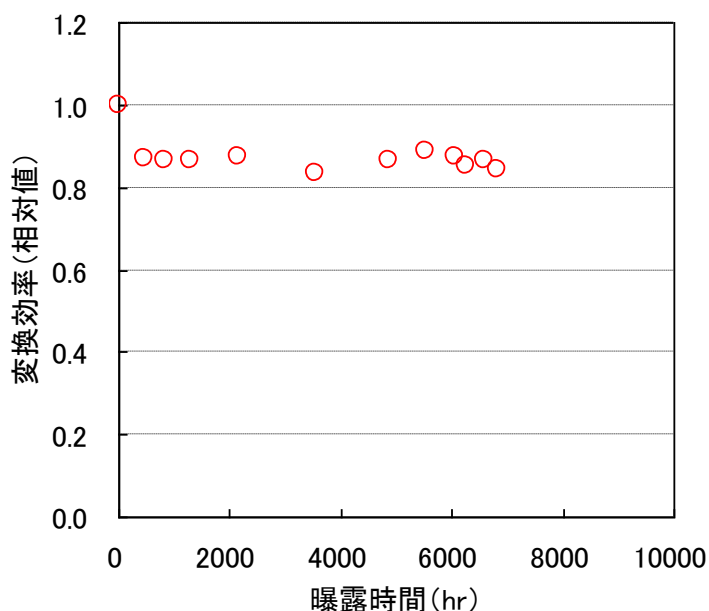
高分子系では、グローブボックスでの作製により水分、酸素などの制御を行っているが、有機溶媒の調整からデバイス作製、封止までを完全に制御している訳では無い。残留する水分がデバイス性能に影響を及ぼしていることが十分に予測される。有機溶媒の脱酸素および脱水、作製から封止まで完全に制御することで、劣化要因を無くし耐久性を向上させることで中間目標を達成する。

4) 有機薄膜太陽電池パネルの評価

再委託先である住友共同電力で、太陽電池パネルの評価設備を活用し、1 m角サイズ（20 cm角×24枚）の有機薄膜太陽電池パネルの屋外曝露試験を開始した。試験条件詳細は以下の通りである。

- a. モジュールサイズ：1200mm × 1000mm
- b. 暴露条件：
 - －照射角度は 34°（経緯 33.95°より）
 - －負荷方式は1回目測定より算出した V_{max} を連続負荷
- c. 評価項目：
 - －モニター項目は、温度（大気とサンプル）、湿度、照度（全天日射計）、風量（超音波風向風速計）
 - －IV測定は、Outside（10分毎、6:00～18:00）ただし、日射量 1mW/cm² 以上のみ計測

現在、9ヶ月経過後も順調に動作しており、約 6800 時間経過後の変換効率の低下率は 15%にとどまっている（図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(54)）。米国の Konarka 社からは約 9900 時間経過後に低下率 20%、Solarmer 社からは約 5500 時間経過後に効率低下 15%が、それぞれ報告されており、ほぼ同等の耐久性が確認されている。今後、併設したシリコン系パネルのデータとの対比により有機薄膜太陽電池パネルの特徴把握や課題抽出を行う。



図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(54) 屋外曝露試験の耐久性試験の結果と有機薄膜太陽電池パネル

(6) 成果の意義

前項で示したとおり、コンソーシアム発足当初は4～6%台であったセル変換効率は9.1%台に到達し、中間目標を前倒しで達成することができた。モジュール効率も20cm角で6.6%に到達し、中間目標をほぼ達成することができた。残された課題である耐久性についても平成25年2月までに達成できる見込みであり、最終目標実現に向け着実に進歩している。最終目標を達成することにより、無機系にはない特徴を生かした新たな太陽電池市場の創造が期待できる。

有機薄膜太陽電池に対する期待は全世界において高まっており、多くの開発プロジェクトが進行している。他プロジェクトの到達度と比較した場合、モジュール効率6.6%は世界最高にある。また、セル効率9.1%は世界最高に準ずるレベル（現世界記録は10.0%）にある。

本コンソーシアムで獲得された成果は、有機半導体材料技術、モルフォロジー制御技術、大面積薄膜形成技術、モジュール化技術、評価技術などの新たな領域を開拓することが期待できるものである。また、これらの成果は、有機薄膜系太陽電池モジュールに限定することなく、次世代有機デバイス全般に応用され得る汎用性を有し、特に、有機半導体デバイス、有機ELディスプレイ、有機EL照明、システムオンフィルムなどへの広範な展開も期待できる。

本コンソーシアムへの投入予算（10.4億円）により、上記の材料・プロセス・デバイス技術を大きく進展させると共に、試作ラインやロール to ロール検討体制の前倒構築を実現し、プロトタイプ作製を可能にするなど、多大の成果を得た。

変換効率の絶対値は未だ競合技術に劣るが、その改良速度は他の技術を大きく凌駕している。結晶シリコン太陽電池の1/1000以下の厚さの超薄膜を塗布あるいは蒸着で形成する技術開発の成果は、低コスト、軽量、フレキシブル、低照度発電、無害といった、他の技術では困難な優位性の実現を可能にするものと言える。

(7) 知的財産権等の取得

これまでの特許出願状況を表Ⅲ-2-(ホ)-A-1(11)に示した。

表Ⅲ-2-(ホ)-A-1(11) 特許、論文、外部発表等の件数

	H22	H23	H24	計
特許出願（うち外国出願）	13(0)	36(19)	3(1)	52件
論文（査読付き）	20	34	7	61件
研究発表・講演（うち国際会議）	95(40)	68(33)	2(1)	165件
新聞・雑誌等への掲載	0	11	1	12件
受賞実績	4	5	0	9件
展示会への出展	1	2	3	6件

出願件数は、外国・PCT出願20件を含め総件数は52件に達しており、知的財産権確保に向け積極的な活動を推進している。

これら特許出願の内、国内出願の内容を表Ⅲ-2-(ホ)-A-1(12)に示した。

表Ⅲ-2-(ホ)-A-1(12) 国内出願の状況

委託先名	材料	セル	モジュール
住友化学	10	3	0
出光興産	3	4	0
東芝	2	1	3
京都大学	5	1	0

特許出願は委託先毎の事業戦略に沿って行われているが、二つの特徴が見てとれる。まず、材料およびセルに関する特許の出願件数が多くなっている点である。その傾向は、材料開発に力点を置いている住友化学、出光興産および京都大学に顕著である。二点目は、モジュール、システム開発も視野に入れている東芝では、モジュールに関する特許の出願件数が多くなっている点である。

このような各委託先の特許戦略がうまく連動し、材料からモジュールまでの広範囲かつ網羅的な知的財産権網を構築することができている。

(8) 標準化の取組

1) コンソーシアム内での活動

各委託先での信頼性試験を統一的に進めること、および情報の共有化を図るために、コンソーシアム内に信頼性試験WGを設置し活動に取り組んでいる。また、耐久性向上を図るため、京都大学を中心に劣化機構の解析を進めている。

2) 標準化に向けた活動

① 国内での標準化

有機薄膜系太陽電池の信頼性試験の規格標準化に関しては、当該標準化を推進予定の最先端研究支援プログラムと連携を図っている。

② 国際標準化

国際標準化の動きとしては、ドイツから I E C / T C 1 1 3 (電気電子製品システムに関するナノテクノロジー) に提案された” Nano-enabled Photovoltaic Devices” の信頼性試験に関する議論が開始され、各国にエキスパート選出の要請があった段階である。N E D O 主催により、今回の動きへの対応について協議が行われ、本コンソーシアムの全事業者が参加した。現時点では流動的な状況であり情報収集に努めるという決定がなされた。

(9) 成果の普及

表Ⅲ-2-(ホ)-A-1(11)に示した通り、論文および研究発表等を合計すると、これまでに244件の発表を行ってきた。また、各事業者内外の事業化母体に対し技術成果を普及すると共に、有機薄膜系太陽電池に適した市場領域や製品化計画について議論・共有化を進めてきた。

これまでの成果・活動に対し、9件の賞を受賞することができた。

(10)最終目標の達成可能性

①セル変換効率の向上

高効率化には、高V_{oc}化、高J_{sc}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、V_{oc}は発電層用材料のP型材料やN型材料のエネルギーレベルで制御できることがわかっており、高V_{oc}化のためには低HOMOのP型材料、高LUMOのN型材料の開発を行う。また、最適化のためのコンビネーション・アプローチを開発する。

高J_{sc}化のために、以下の開発に取り組んでいく。

- a. π共役系を拡張した長波長域まで光を吸収するlow-band gap化P型材料の開発
- b. 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）
- c. 再結合ロス低減のための不純物低減

高FF化については、以下の開発に取り組んでいく。

- a. 直列抵抗低減のための素子界面のバンドマッチング
- b. 並列抵抗改善のための欠陥や不純物低減
- c. ナノ相分離構造の最適化
- d. 素子作成・評価環境の改善

材料・構造最適化技術については、以下の開発に取り組んでいく。

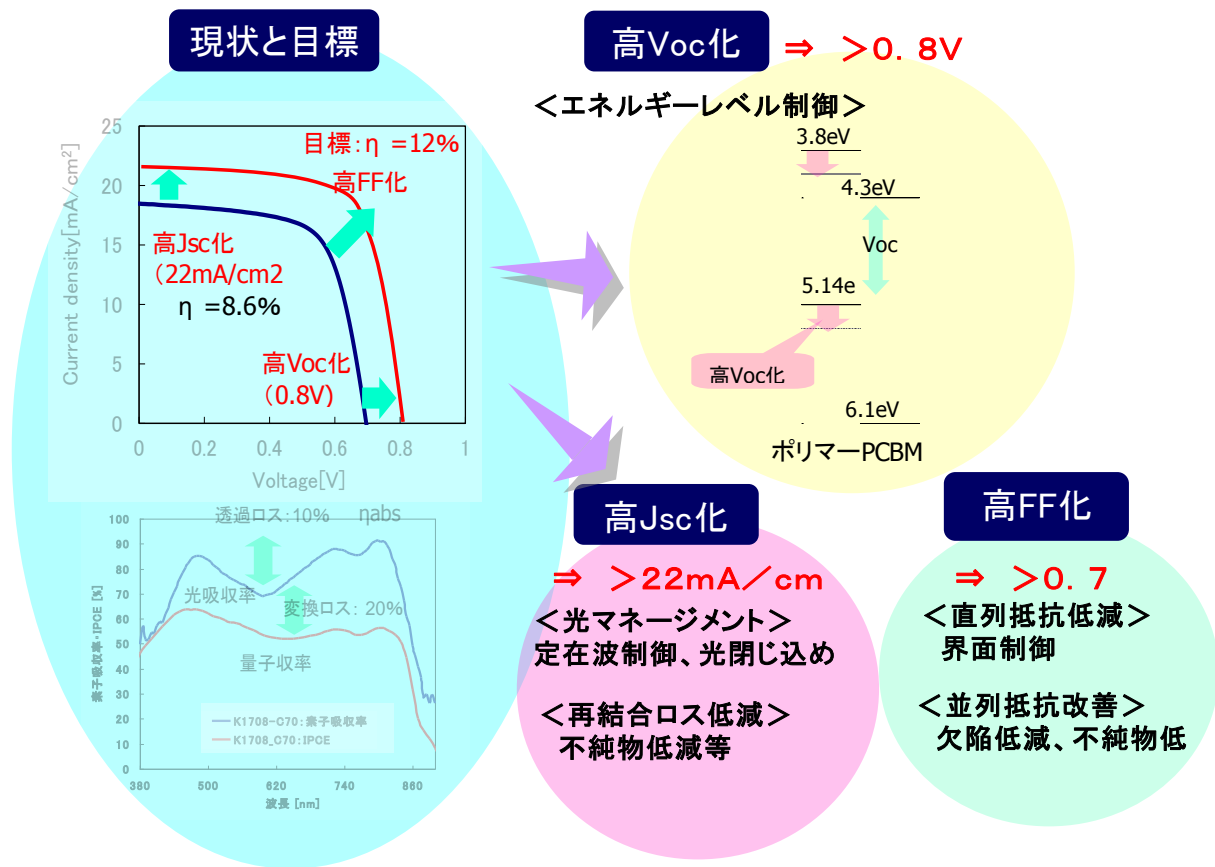
- a. 多元セルを同一環境下で多数作成する手法開発。
- b. 多元セルを同一環境下で迅速に評価する手法開発
- c. 最適セルのナノ構造解析

並行してタンデム型素子を開発を行い、材料の波長分割による効率的な光吸収、高起電力化を実現するために発電層・中間層材料を検討、目標達成を目指す。

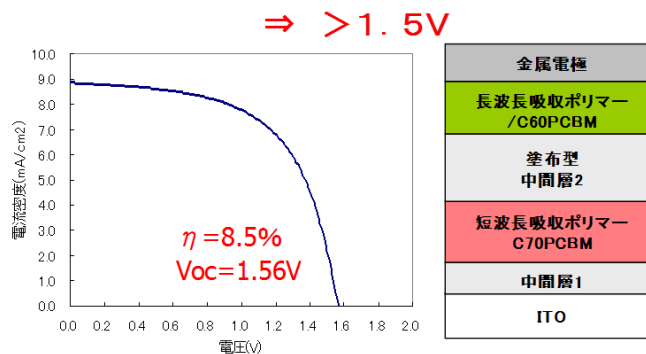
これまで低分子型p材料に関しての高効率化はすべて蒸着法を前提にして説明してきた。しかし低分子を用いた塗布法による成膜もカリフォルニア大学等において継続的に検討されている。開示されているこれら塗布用の低分子はいずれも比較的分子量は大きく、蒸着は困難と推定される。しかし高分子に比較し、再結晶法等精製が容易であり、純度を向上させることが可能と考えられる。したがって低分子塗布は、低分子の特長を残しつつ、成膜の面では高分子の良さを取り込んだ方法と言える。塗布法が低コストというだけでなく、同一構造の高分子p材料は分子量が大きいほど結晶性が向上し、ナノ相分離の構造が形成し易くなり、変換効率が向上するという報告がある。またナノ構造を制御するというプロセス面では、蒸着法では適用が難しい第三成分の添加、溶媒蒸気処理等、適用可能な手段が増える。また既に述べたようにヘテロタンデムセルでは、波長を分離することがポイントであったが、蒸着用の低分子では対応が難しかった長波長吸収を有する材料も、分子量の制約が緩くなった分、分子設計が容易となると考えられる。

以上の課題と方策を図式化した（図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(55)）。これらの課題を解決し、

最終目標であるセル変換効率 12% 以上を達成する



タンデム構造による高Voc化



図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(55) セル効率向上フロー

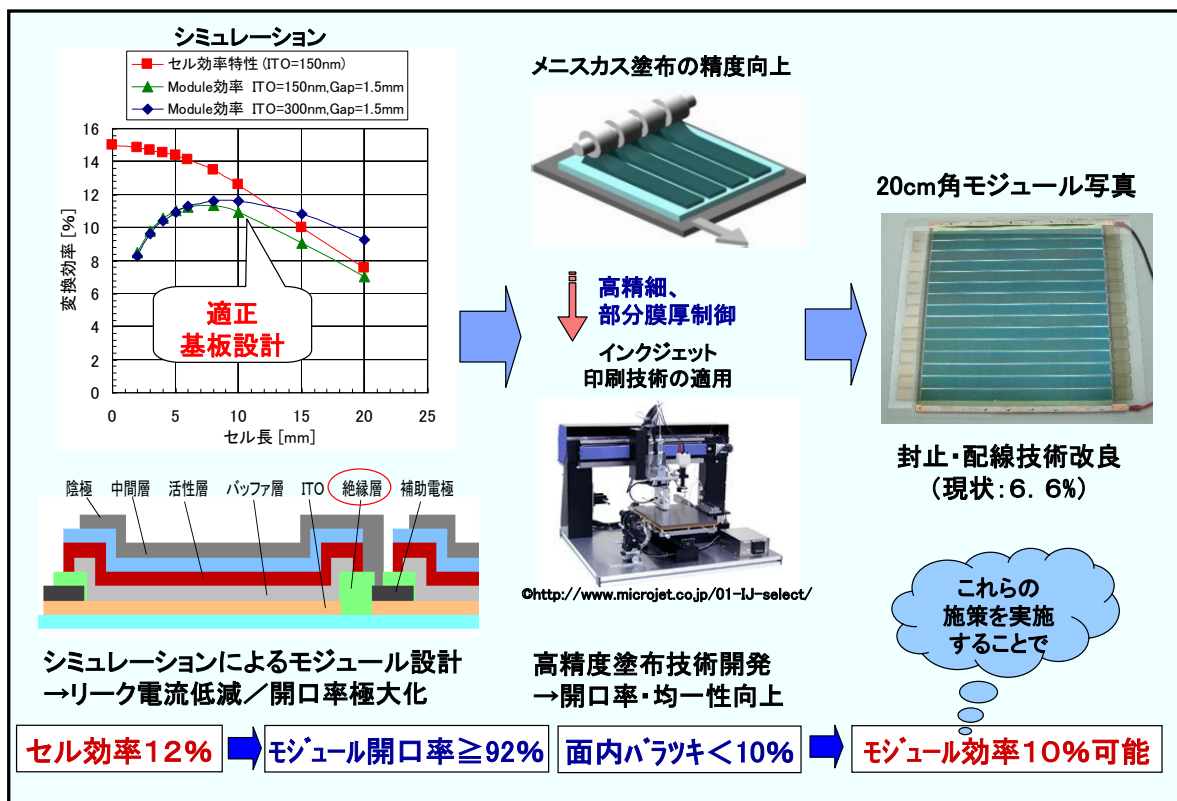
②モジュール変換効率の向上

蒸着プロセスは、有機ELディスプレイ等で既に工業化されているプロセスであり、改めて開発を要する要素技術はない。高開口率が達成できるモジュール設計の最適化と光マネージメントの適用を進めていく。蒸着法がモジュール変換効率の向上の面で優れていることとして、以下のようなことが考えられる。塗布法がセルからモジュールへ集積化されるに従い、その成膜法が大面積対応のものに変化するのに対し、蒸着は蒸着源のサイズが変化するだけであるので、集積化に伴う変換効率の低下が抑えられるという

特長がある。また膜厚均一性がモジュール変換効率に影響を与えることは十分考えられるが、蒸着の膜厚均一性は 300mm²で±2%というレベルで達成されている。

塗布プロセスにおけるモジュール変換効率10%達成への施策を図III-2-(ホ)-A-1(56)に示した。現状では20cm角モジュールで変換効率6.6%を得ている。またミニセル変換効率からモジュール変換効率を算出するシミュレーションツールを立ち上げた。モジュール高効率化の基本施策として、a. 電極端面のリーク電流低減による電流向上、b. メニスカス塗布装置の印刷精度、膜厚精度向上、インクジェット装置による高精細塗布、部分膜厚制御による実効開口率の極大化、c. 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、d. 反射防止、光閉じ込め等による光マネージメントを実施する。

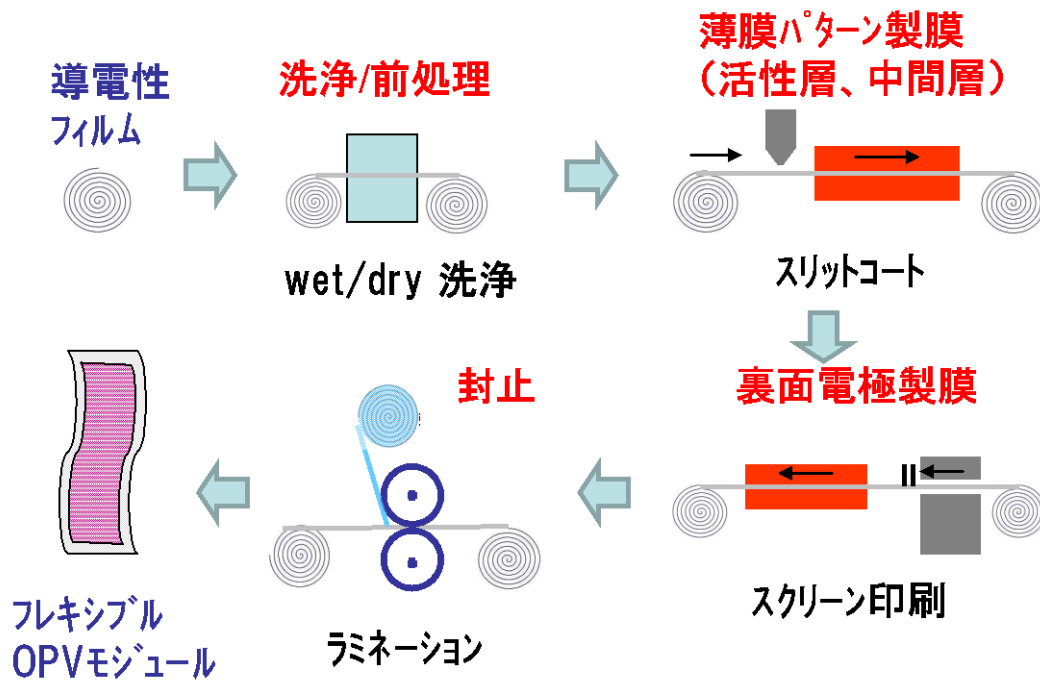
これらの施策により1cm角セルで変換効率12%の材料/素子構造を用いて、30cm角モジュールを作製した場合、モジュール変換効率10.2~10.8%を得られ目標を達成できる。



図III-2-(ホ)-A-1(56) モジュール効率10%達成の為の開発フロー

更に、中間評価以後は、フィルム基板を用いたフレキシブル・モジュール化技術の開発を進める。フィルム基板上にサブモジュールを製作する上で、フィルムとガラスの特性(耐熱性、光透過性、ガス透過性、平坦性等)に違いがあるものの、モジュール変換効率に対する課題は共通しており、ガラス基板で適用した均一製膜、開口率極大設計の知見を適用する。

また、従来の枚葉方式に加え、ロール to ロール方式によるモジュール連続製造技術を開発する（図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(57)）。特に連続製膜では、乾燥工程が枚葉処理と大きく異なる為、乾燥温度プロファイルと膜性能（活性層のモルフォロジー等）の相関を明らかにする。また、高集積化の為に、基板伸縮、搬送蛇行、基板上での液伸縮等のパターン変動要素に対し、連続制御可能なアライメント技術と連続に適したデバイス構造の両者から高集積モジュール化技術を開発する。



図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(57) ロール to ロールプロセス概要



図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(58) ロール to ロールスクリーン印刷ライン (H23 年度導入)

③耐久性の向上

中間評価以降、高効率かつ長寿命の有機薄膜太陽電池の開発を達成するにあたり、特に耐久性向上に向けた課題の明確化が必要であると考ええる。そこで、各環境試験・耐久性試験における有機薄膜太陽電池での課題の抽出を行い、開発すべき技術項目を整理することが重要である。

まず、課題に関しては、現時点では以下の様に整理される。

- a. 光照射試験（△）；
有機半導体材料の光酸化劣化（特に、フラーレンの劣化）
- b. 耐熱性試験（△）；
有機半導体層の結晶性および相分離構造の変化
- c. 耐湿性試験（△）；
封止の不完全性（水分透過）による有機半導体特性の劣化
- d. 温度サイクル試験（○）；
 - b. と同様の課題、電極およびバッファ層との界面劣化
- e. 温湿度サイクル試験（○）；
 - b. ～d. と同様の課題

但し、有機薄膜太陽電池の劣化に関しては未解明の部分が多く、更に、材料毎に結晶性、相分離構造などの劣化挙動が異なるため、基礎的な構造解析および劣化解析を行う必要がある。従って、基礎的な構造解析および劣化解析に関しては、今後京都大学の評価グループを中心に取り組み予定である。

次に上記課題への対応策として、以下の技術項目の開発が必要であると考えられる。

a. 封止技術

有機ELグレードの封止技術を用いているが、ガスバリア性を含めて有機薄膜太陽電池に必要な性能指数は明らかになっていない。ガスバリア性との相関を明らかにし、特に耐湿性試験に耐え得る封止技術の検討を行う必要がある。封止材料の見直し、封止プロセスの再検討などを行い、実用化に耐え得る封止技術を開発する。

b. 高耐久性デバイス構造

酸素や水分をブロックする効果が期待される酸化チタン、酸化モリブデン等の金属酸化物層をバッファ層として、有機薄膜太陽電池層を挟み込んだ、いわゆる「逆構造型セル」の導入を行う。可能なら塗布可能な金属酸化物のゾルゲル法またはナノ粒子塗布法などによりこれを形成する技術を構築する。更に、金属酸化物を代替する有機部材および複合部材が開発されれば、その導入も行う予定である。

c. 耐光性技術

試験結果を踏まえて、当面はフィルターまたは紫外線吸収剤による紫外線カットが必須であると考ええる。また、可視光領域での光劣化に対しては、光劣化が生じる吸収波長の同定が必要であり、その劣化要因が酸素などの外部因子による場合はその抑制が重要となる（高耐久性デバイス構造と同様）。他方で、内部要因であるフラーレンおよびポリマーの材料劣化の場合、改めて耐光性フラーレンおよびポリマーの分子設計などが必要となることも想定される。

d. 耐熱性技術

耐熱性はポリマー材料のガラス転移点や、バルクヘテロ接合の様な混合状態での転移温度など、材料依存性が大きいいため、材料毎の設計指針が必要となる。基本的な方向性としては、耐熱性試験温度である摂氏85℃以上の熱アニーリング処理による最適化は必須であると考ええる。従って、ガラス転移点などがそれ以上のポリマー材料、低分子材料、フラーレンの開発が必要である。

2. 実用化・事業化見通し

前節でも述べた通り、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徴を有している。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徴を具体的に説明する。

第一の特徴は、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。この特徴を活かして、多くの企業、研究機関から、種々の試作品が発表されている（図Ⅲ-2-(ホ)-A-2(1)）。

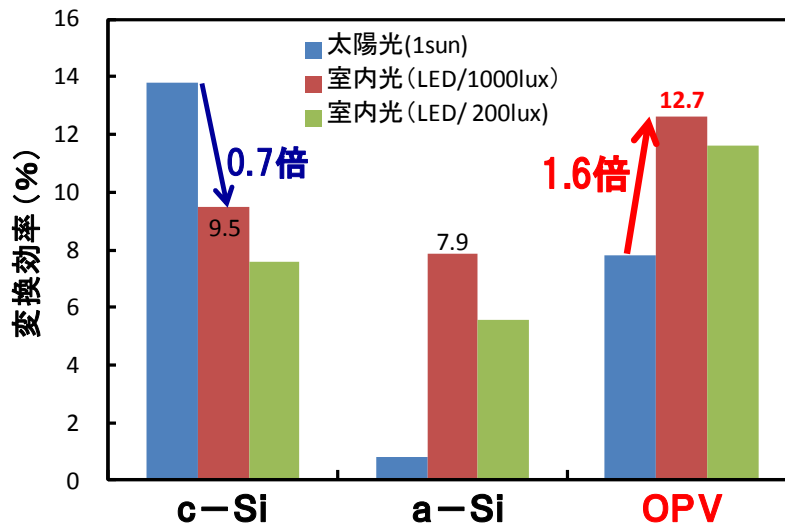


図Ⅲ-2-(ホ)-A-2(1) 各種有機薄膜太陽電池作品

第二に、室内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。今回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（1000lux、200lux）の下で測定した結果を図Ⅲ-2-(ホ)-A-2(2)示す。結晶シリコン太陽電池の場合、室内光下（1000lux）では太陽光下の 0.69 倍に低下するが、有機薄膜太陽電池の場合には 1.62 倍に上昇し、a-Si 太陽電池をも凌駕する高効率（12.7%）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。また、同図から有機薄膜太陽電池では低照度（200lux）においても効率の低下が小さいことがわかる。

今後、本コンソーシアムの最終目標であるセル効率 12% が実現されれば室内照明下では 18% 以上の高効率が得られると予想され、屋内設置型への応用が有力な候補であることが実証された。



図Ⅲ-2-(ホ)-A-2(2) 室内照明下における変換効率

最後に、塗布プロセスでの製造が可能であり、真空プロセスを使わないため製造設備への投資額が少なくて済む。また、ロール to ロールプロセスが開発されれば、更に低コスト化が進むと期待されている。今回、コスト低減がどこまで可能かを試算した。

有機薄膜太陽電池（OPV）のモジュールの製造コストを、フィルム基板およびガラス基板それぞれについて計算した。結晶シリコン太陽電池のモジュールの製造コストについては「太陽電池・発電業界の変革シナリオ2009」（日系BP社）を参照した。

前提条件としていずれの場合も2015年および2020年に工場を新設するとして製造コストを計算した。生産規模約300MWで、モジュールの変換効率は、結晶シリコン太陽電池で約20%、OPVで2015年と2020年にそれぞれ10%、12%とし、減価償却は5年定率とした。

モジュールの製造コストの比較を表Ⅲ-2-(ホ)-A-2(1)および表Ⅲ-2-(ホ)-A-2(2)に示す。2015年の時点で有機薄膜太陽電池（ガラス基板）の製造コストは、すでに結晶シリコン太陽電池の6割程度までの低コストが可能である。2020年になると有機薄膜太陽電池（フィルム基板）は、量産効果による主要材料の価格低下および生産性の向上によりモジュールの製造コストは結晶シリコン系の半分以上まで下げることが可能である。

したがって有機薄膜太陽電池のモジュールの製造コストは、将来量産化が進めば結晶シリコン太陽電池と比較して大幅に低減することが可能である。

表Ⅲ-2-(ホ)-A-2(1)モジュールのコスト計算（単位は円/W、2015年新設での比較）

	結晶Si	OPV(フィルム)	OPV(ガラス)
モジュール効率(%)	20	10	10
生産規模(MW/y)	286	300	200
モジュール	134	133	74

表Ⅲ-2-(ホ)-A-2(2)モジュールのコスト計算（単位は円/W、2020年新設での比較）

	結晶Si	OPV(フィルム)	OPV(ガラス)
効率	20	12	12
生産規模(MW/y)	308	300	300
モジュール	99	47	54

なお、産総研は「太陽光発電工学研究センター成果報告会 2012」において、有機薄膜太陽電池のコスト予測を発表し、将来（2017年）にはモジュールコスト29円/Wも可能であるとした（表Ⅲ-2-(ホ)-A-2(3)）。一対のフレキシブルフィルム上に形成したセルを貼り合わせるという手法で低コスト化を実現しようとするもので、上記の試算を凌ぐ低コスト化も可能であることを示唆している。

表Ⅲ-2-(ホ)-A-2(3) 産総研によるモジュールコスト試算

材料費	セル	1m ² /100W	6円/W
	モジュール	1.3m ² /100W	10.5円/W
人件費		3シフト	3円/W
償却費		7年均等	5.5円/W
その他	光熱費・治工具・補材・工場経費・他		4円/W
コスト合計			29円/W

有機薄膜太陽電池の用途として、透明で薄膜・軽量であることの特徴をいかして窓ガラスと一体化した太陽電池を想定して推定市場を見積もった。

前提条件として、板ガラスの世界市場は2010年で5500万トン、過去20年の平均成長率は4.8%であることから（日本板硝子のHPより）、今後も同様の伸び率を維持すると仮定して2020年までの市場を計算した。板ガラスのうち建材用途は、全体の83%とし（日本板硝子のHPより）、比重2.5、厚みを10mmと仮定して窓ガラスの面積を計算した。太陽電池の設置は南面（1/4）のみとし、2014年頃から普及が始まり2020年までに一定割合で成長し普及率が10%になると仮定した。

上記の前提条件で計算した推定市場を、太陽電池の発電量で示したのが表Ⅲ-2-(ホ)-A-2(4)である。2015年の時点ですでに市場規模は1GWと大きく、2020年までに普及が進めば10GWに迫る規模にまで成長する。

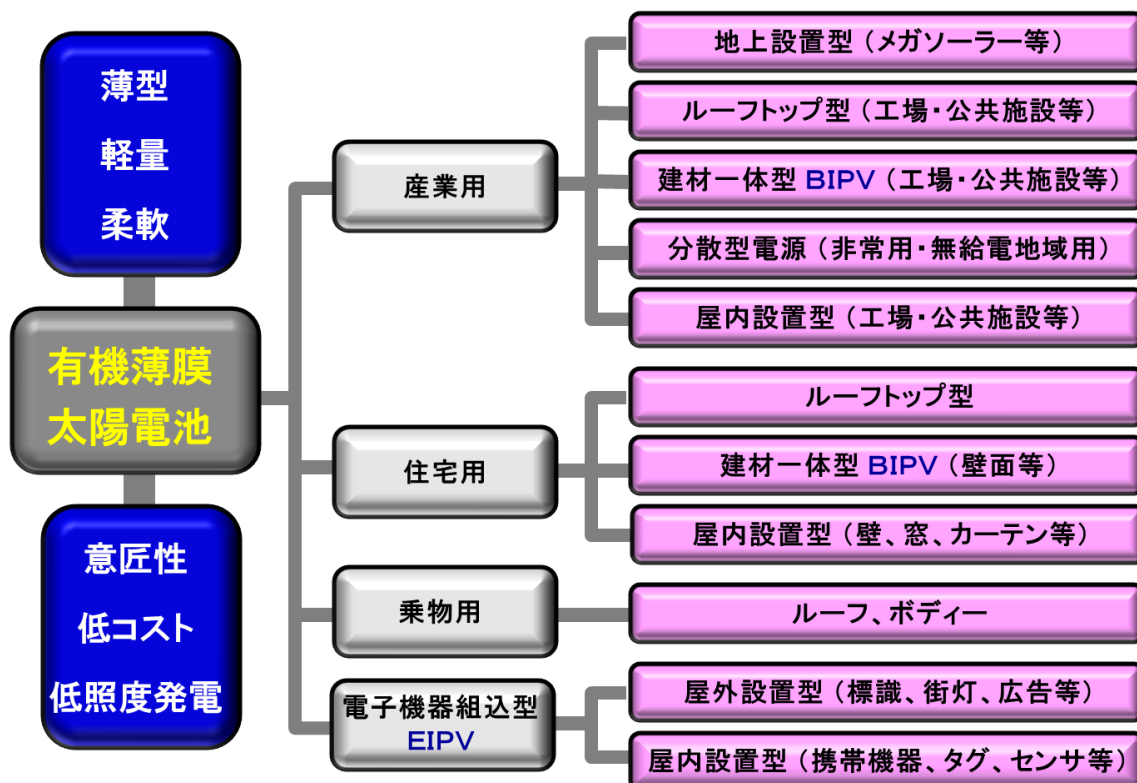
したがって有機薄膜太陽電池の推定市場規模は、結晶シリコン太陽電池にはない特徴をいかして普及が進めば、非常に大きなものになることが期待できる。

表Ⅲ-2-(ホ)-A-2(4) 窓ガラスと一体化した有機薄膜太陽電池の推定市場

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
板ガラス市場(百万トン)	66	70	73	76	80	84	88
建材用(百万トン)	55	58	60	63	66	70	73
ガラス面積(百万㎡)	2654	2781	2915	3055	3201	3355	3516
南面ガラス面積(百万㎡)	663	695	729	764	800	839	879
設置率	0.9%	1.3%	2%	3%	4%	7%	10%
BIPVのOPV発電規模(MW)	582	916	1439	2263	3557	5591	8790

有機薄膜太陽電池の特徴である低コスト、軽量、フレキシブル、無害、低光量発電性といった特徴を活かしたアプリケーションについて検討した。

事業部や関連会社との協議、並びにNEDO殿主催による有機太陽電池ワークショップへの参加などにより、住宅用屋内設置型（内壁、半透明窓、カーテン、ブラインド、遮光シートなど）、屋外・屋内用電子機器組込型（広告、標識、街灯、携帯電子機器、電子タグ、センサなど）、住宅用建材一体型太陽電池（外壁等）などが有望であるとの知見を得た（図Ⅲ-2-(ホ)-A-2(3)）。これらのうち、屋内用電子機器組込型について当社の関連会社より具体的な提案があり、スペック等を調査し有機薄膜太陽電池の基本的な適性を確認して、基礎実験の準備を開始した。



図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

一方で、これらの用途への実用化には、表Ⅲ-2-(ホ)-A-2(5)のように、まだ多くの

課題が残されている。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が、目標レベルが必ずしも明確になっていない。今後、情報収集を継続し、目標レベルを明確化し、目標をクリアするための検討を進めたい。

表Ⅲ-2-(ホ)-A-2(5) 実用化への課題と解決方針

課題	解決方針		
	屋外設置型	屋内設置型	電子機器組込型
高効率化	材料、 タンデム 、光マネジメント開発で、セル効率12%へ。	室内 光向け材料 開発でセル効率18%を達成し窓・壁等に設置。	室内 光向け材料 開発で屋内セル効率18%実現。多様な製品化。
低コスト化	効率10%の低コストモジュール開発。 R2R 製造技術開発。	室内セル効率18%と低コストモジュール開発。 R2R 技術開発。	低コストの 組込用小面積セル 開発。室内セル効率18%達成。
耐久性向上	劣化要因 解明。封止改良。交換前提のビジネスモデル。	屋内用 耐久性仕様 の設定。難燃性等の屋内スペッククリア。	用途別 耐久性仕様 の設定。温度特性等のスペッククリア。
フレキシビリティ	フレキと効率・コスト・耐久性の 優先順位 を用途別に判断。	フレキシビリティ必須 。効率・耐久性との両立。交換前提の設計。	用途毎にフレキの必要性判断。セル構造と製造技術を最適化。
デザイン性	効率を優先し、形状・色・透明性・交換容易性との両立を判断。	デザイン性重要 。デザイナーとの議論で形状・色・透明性を設定。	機器への 組込位置と形状 が重要。デザイナーと議論し仕様設定。

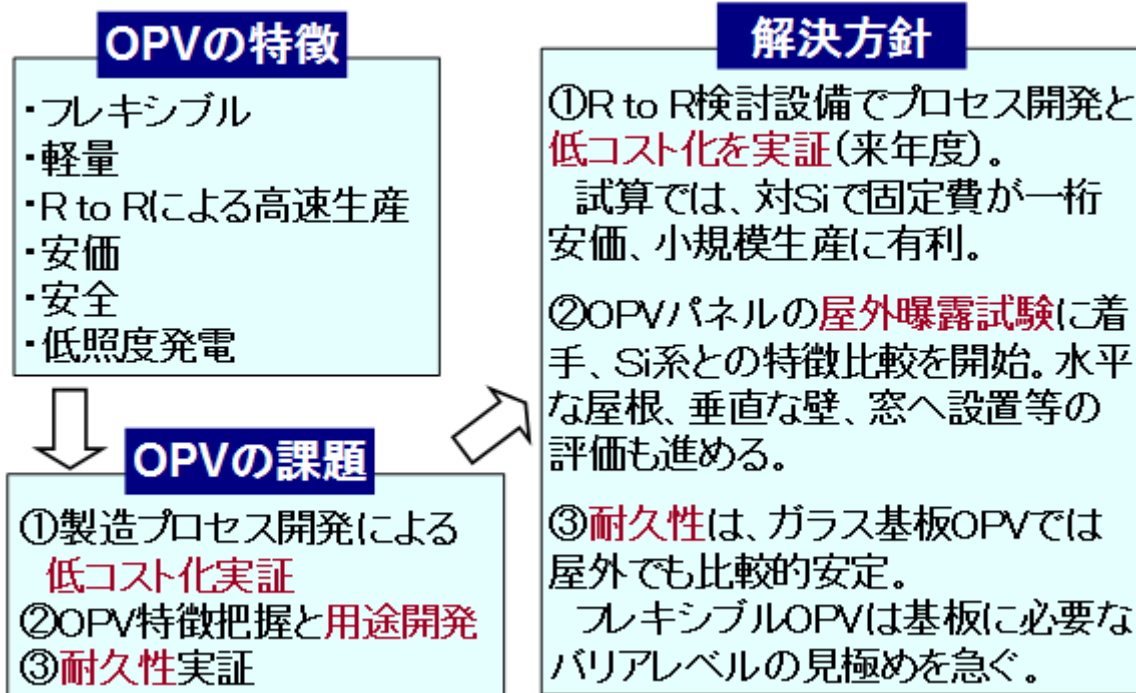
多くの課題の中でも有機薄膜系太陽電池の特徴を生かすためにはフレキシブル化が極めて重要であり、フレキシブル有機薄膜系太陽電池の実用化を見極める必要がある。

フレキシブル有機薄膜太陽電池特徴は、軽量、ロール to ロールプロセスによる高速生産で安価な点があげられる。一方、実用化に向けた課題は、a. 製造プロセス開発による低コスト化実証、b. 有機薄膜系太陽電池の特徴把握と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 to ロール検討設備を使い、今年度よりプロセス開発と低コスト化ポテンシャルの実証を進める。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始めており、シリコン系太陽電池に対する特徴把握を開始した。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い。

耐久性については、ガラス基板での有機薄膜太陽電池では、屋外でも比較的安定な結果が得られつつあるが、フレキシブル基板については、基板に必要なバリアレ

ベルの見極めを至急進める必要がある。



図Ⅲ-2-(ホ)-A-2(4) フレキシブルとロール to ロールに関する課題と解決方針

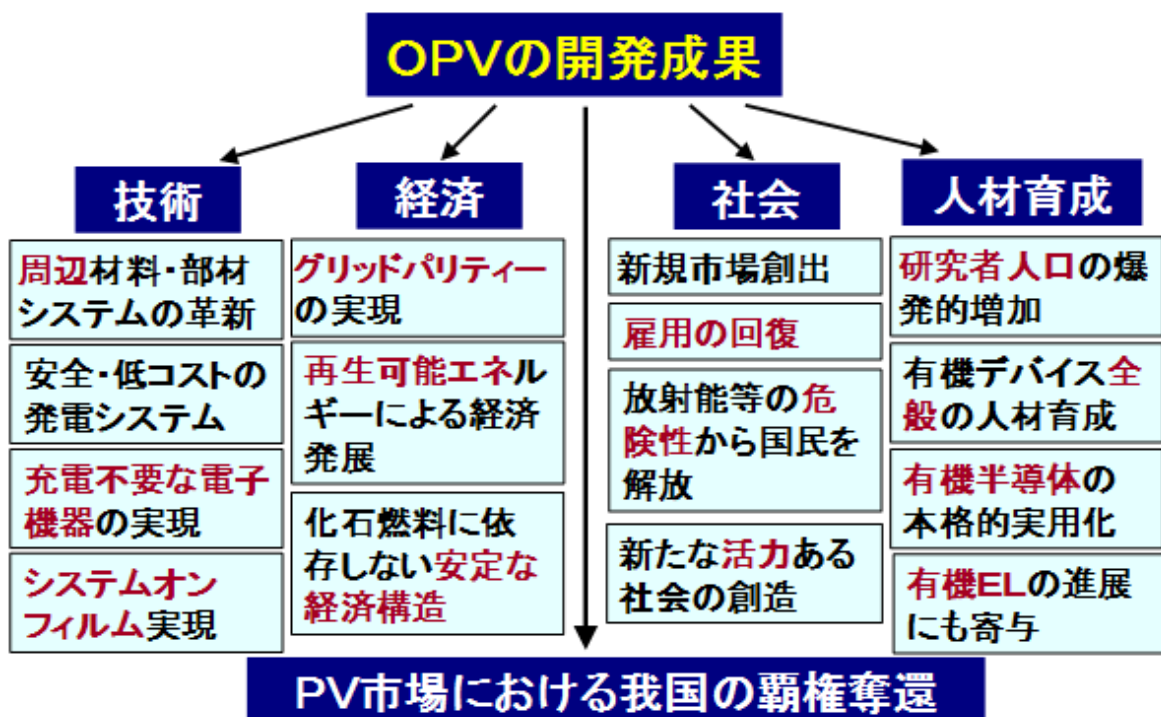
3. 波及効果

(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、システムオンフィルムといった究極の高機能・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。

(2) 当該分野の研究開発や人材育成の促進

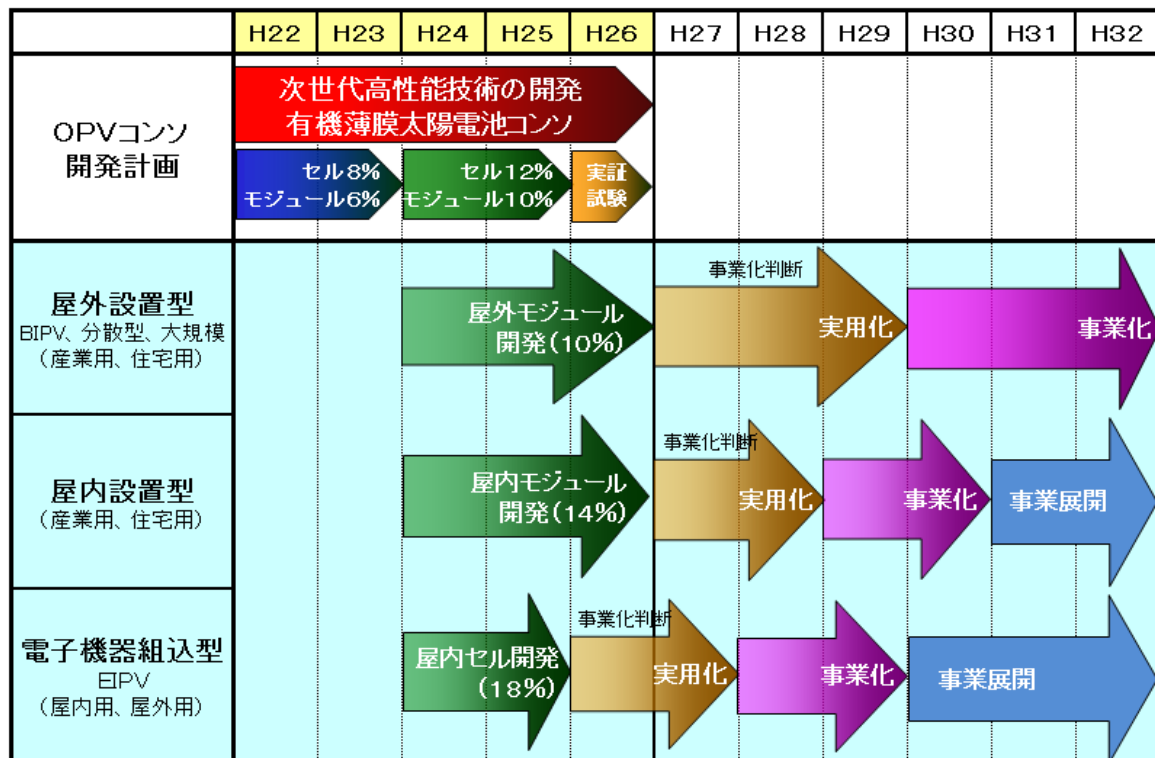
近年の有機薄膜太陽電池開発の進展は、当該分野における研究者人口の爆発的増加を招来し、広く有機デバイス全般の研究開発や人材育成にも多大の効果をもたらしつつある。有機薄膜太陽電池開発の成功は、有機半導体技術の本格的な実用化を促すのみならず、技術的には有機薄膜太陽電池に先行してきた有機ELディスプレイや有機EL照明などの進展にも寄与することは疑いない。



図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（図Ⅲ-2-(ホ)-A-4(1)）。

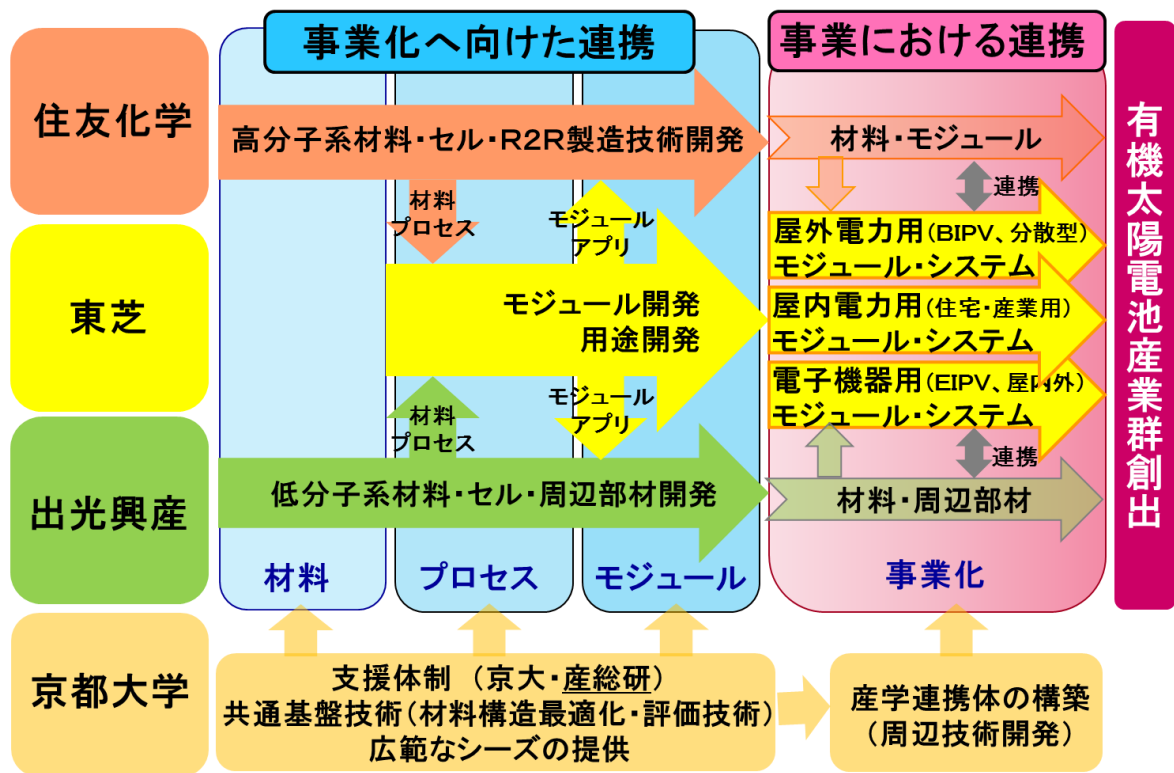


図Ⅲ-2-(ホ)-A-4(1) 事業化時期を盛り込んだコンソーシアムとしての開発計画

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ことを目指す。

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（図Ⅲ-2-(ホ)-A-4(2)）。



図Ⅲ-2-(ホ)-A-4(2) コンソーシアム内での事業における連携

5. 特許論文リスト

(1) 特許

表Ⅲ-2-(ホ)-A-5(1) 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	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

						素子	
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

表Ⅲ-2-(ホ)-A-5(2) 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 2011-197703	国内	平成 23 年 9 月 9 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
2	出光興産	特願 2012-001311	国内	平成 24 年 1 月 6 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
3	出光興産	特願 2012-029340	国内	平成 24 年 2 月 14 日	出願	光電変換素子、及びその製造方法	町田佳美 東海林弘

4	出光興産	特願 2012-029522	国内	平成 24 年 2 月 14 日	出願	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
5	出光興産	特願 2012-030357	国内	平成 24 年 2 月 15 日	出願	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
6	出光興産	特願 2012-046511	国内	平成 24 年 3 月 2 日	出願	有機薄膜太陽電池	前田竜志 東海林弘
7	出光興産	PCT/JP2012/ 002175	PCT	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
8	出光興産	101111574 台湾	外国	平成 24 年 3 月 30 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
9	出光興産	特願 2012-121141	国内	平成 24 年 5 月 25 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 安川圭一 池田秀嗣

表Ⅲ-2-(ホ)-A-5(3)東芝

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	東芝	特願 2011-057039	国内	平成 23 年 3 月 15 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
2	東芝	特願 2011-059905	国内	平成 23 年 3 月 17 日	出願	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	東芝	特願 2011-073426	国内	平成 23 年 3 月 29 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
4	東芝	特願 P2011-206437	国内	平成 23 年 9 月 2 日	出願	薄膜太陽電池モジ ュール	高山暁 大岡青日

							中尾英之 新井由紀 稲葉道彦
5	東芝	特願 P2011-206541	国内	平成 23 年 9 月 2 日	出願	有機薄膜太陽電池	石橋妙子 小野昭彦 斉藤三長 細矢雅弘 稲葉道彦
6	東芝	201210066992.9 中国	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
7	東芝	13/419, 473 アメリカ合衆国	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	東芝	201210071371.X 中国	外国	平成 24 年 3 月 16 日	出願	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	東芝	13/422, 127 アメリカ合衆国	外国	平成 24 年 3 月 16 日	出願	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	東芝	13/429, 653 アメリカ合衆国	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 小野昭彦 相賀史彦
11	東芝	特願 2012-074491	国内	平成 24 年 3 月 28 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

表Ⅲ-2-(ホ)-A-5(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 Conversio n 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 Conversio n 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》

(2) 論文・受賞

表Ⅲ-2-(ホ)-A-5(5)住友化学

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	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 ,Vol.68 , in press. (査読付原著論文) DOI: 10.1016/j.tet.2012.02.080	○	H24 年

表Ⅲ-2-(ホ)-A-5(6)東芝

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	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、 P30-P33		H24 年

○受賞

・平成 22 年 7 月 2 日 国際学会 Renewable Energy 2010 Best Paper Award 受賞

表Ⅲ-2-(ホ)-A-5(7)京都大学（総数 60 報、主要な論文のみ掲載）

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	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 Applications of A Naphthobisthiadiazole-Based Semiconducting Polymer	J. Am .Chem. Soc., 134, 3498–3507 (2012)	○	H24 年
2	T. Umeyama, K. Hirose,	京都大学	Thermal Conversion of Precursor	J. Phys. Chem. C, 116, 1256-1264	○	H24 年

	K. Noda, K. Matsushige, T. Shishido, Y. Matano, N. Ono, H. Imahori		Polymer to Low Bandgap Conjugated Polymer Containing Isothianaphthene Dimer Subunits	(2012).		
3	T. Umeyama, M. Oodoi, N.V.Tkachenko, H. Lemmetyinen, H. Imahori, <i>et.al.</i>	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
4	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
5	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
6	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 organic solar cells	APPLIED PHYSICS LETTERS 99, 223301/1-3 (2011)	○	H23 年
7	Y.T. Tsai, K. Goto, T. Sagawa, S. Yoshikawa <i>et.al.</i>	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

○受賞

- ・ 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
 - 平成 23 年度 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

B 蓄電機能付有機薄膜太陽電池の研究開発

1. 成果詳細

表III-2-(ホ)-B-1(1) 研究開発項目ごとの成果・達成度

中間目標	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
A. 変換効率向上 可視光下での変換効率 20% (出力: $12 \mu\text{W}/\text{cm}^2$) の実現 (パナソニック・早稲田大学)	・変換効率 10.5% ($6.1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$) 実現 ・20%達成要件を平滑電極にて実証 ($V_{oc}=950\text{mV}$, $J_{sc}=0.2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$)	△ H24年12月達成予定	・色素光学損失排除 ・電解液組成、高分子メタエータ構造制御
B. 耐久性向上 JIS C8938 試験での相対 効率低下 10%以内の実 現 (パナソニック)	・高 V_{oc} 相対効率低下 10%以内 実現 ・電解液保持率*3 95%の実現	△ H24年12月達成予定	・電解液組成、色素固定官能基改良
C. 低コスト化 ・塗布工法での 80%T, 10 Ω/\square 基板の作製技術開 発 (パナソニック) ・空隙率 80%以上の多孔 質集電電極の作製技術 開発 (パナソニック)	・40%T, 10 Ω/\square を実現 ・89%空隙率実現。孔径分布と素 子特性との相関把握。	△ H24年12月達成予定 ◎	・ SiO_2 配列技術確立 (変換効率実証に活用)
D. 蓄電機能付与 ・1.26mWh の蓄電機能実 現のための材料技術開 発 (早稲田大学)	・ラジカルポリマーにて 1.32m Wh 実現 ・急速放電 (100mA) に優れた特 性実証	◎	(デモ品駆動による 有効性実証)

*1 達成度

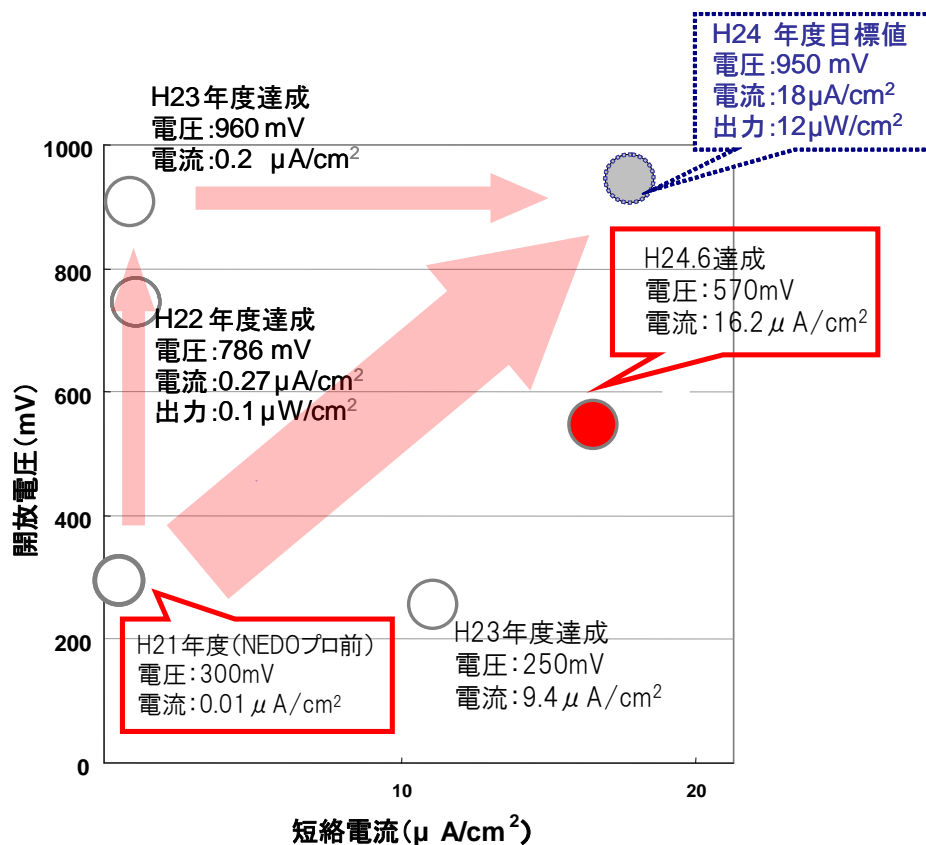
◎: 数値目標クリアに加えて想定以上の付加価値を実証、○: 数値目標クリア、△: 数値目標未達

A. 変換効率向上

変換効率向上方策として、1) 平滑電極における電荷分離界面の構築（分子構造検討）、2) 多孔質電極による J_{sc} 増大（素子構造検討）、に切り分け、活動を推進してきた。個別目標を下記に示す。

- 1) 平滑電極における電荷分離界面の構築（目標 $V_{oc}950:mV$ 、 $J_{sc}:0.2 \mu A/cm^2$ ）
 - ・電荷分離分子設計による J_{sc} 向上（目標 $J_{sc} 0.2 \mu A/cm^2$ ）
 - ・漏れ反応抑制による V_{oc} 向上（目標 $V_{oc} 950mV$ ）
- 2) 多孔質電極による J_{sc} の増大（目標 $J_{sc}:18 \mu A/cm^2$ ）
 - ・メディエータを内部まで浸透
 - ・光学損失要因となる色素の排除

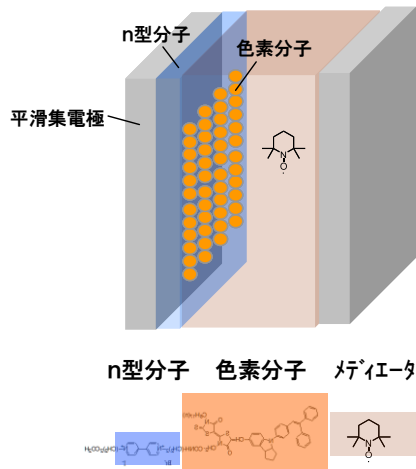
H24年6月時点で、可視光下 $V_{oc}570mV$ 、 $J_{sc}16.2 \mu A/cm^2$ 、変換効率10.5%(出力 $6.1 \mu W/cm^2$) を達成した。それぞれの検討内容について以下に詳細を述べる。なお残課題として、「光学損失要因となる色素の排除」があり、H24年度末に変換効率20% ($12 \mu W/cm^2$) を達成する見通しである。



図Ⅲ-2-(ホ)-B-1(2) 素子特性の俯瞰図

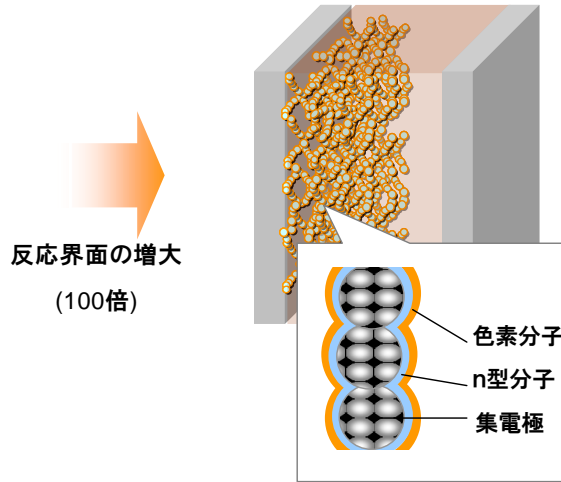
1) 平滑電極における電荷分離界面の構築

($V_{oc}950\text{mV}$ 、 $J_{sc}0.2\mu\text{A}/\text{cm}^2$)



2) 多孔質電極による J_{sc} の増大

($18\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

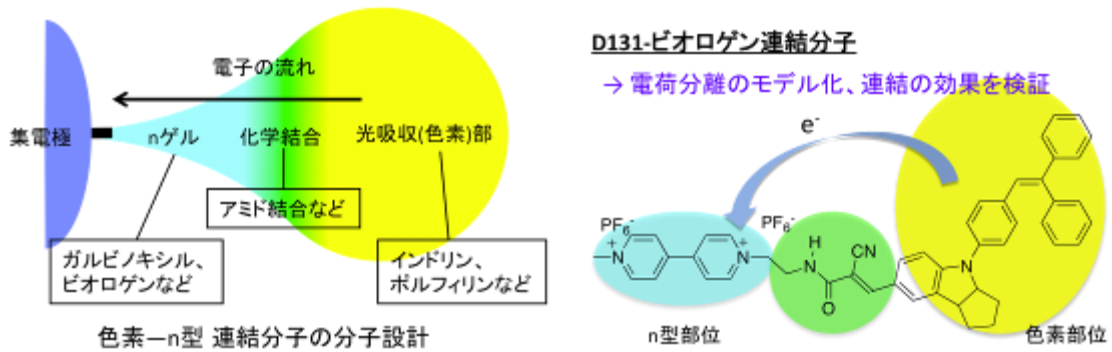


図III-2-(ホ)-B-1(3) 変換効率向上方策の概念図

1) 平滑電極による電荷分離界面の構築 ($V_{oc} 950\text{mV}$ 、 $J_{sc} 0.2\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

・電荷分離分子設計による J_{sc} 向上 ($J_{sc} 0.2\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

電解分離における化学構造として、インドリン系色素と有機ラジカル分子であるピオロゲンに着目し、2分子を化学結合で連結させることにより、平滑電極における J_{sc} 向上に関する検討を行った。(図III-2-(ホ)-B-1(4)参照)



図III-2-(ホ)-B-1(4) 色素-n型分子-透明導電膜分子設計概念図

色素として広く可視光を吸収することができる D131、有機ラジカル分子としてピオロゲンを用いた連結分子を新規に合成した。合成した分子の過渡吸収測定を行ったところ、色素が励起する 400nm のパルス光照射に対し、n型分子が電子を受け取った状態 (ピオロゲンカチオンラジカル 600nm 付近) のピークが観測され、色素-n型分子間での光による電荷分離を確認した。またこの連結分子を用いた素子においては、正方向に $0.03\mu\text{A}/\text{cm}^2$ の電流値が観測され、連結分子の光電荷分離機能の発現を実証した。また、色素として D131 に代わり、長波長側に吸収端を持つ D205 を導入することにより、 $0.07\mu\text{A}/\text{cm}^2$ の電流値が

観測され、光吸収量の増大による電流向上を確認した。

加えて、さらなる電荷分離効率の向上方策として連結分子内の n 型分子/色素分子の個数比に関する種々の検討を行ったところ、 $0.30 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ のフラット集電極における高い電流値が得られた。これは、従来の TiO_2 を用いた同様の実験結果である $0.20 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ と比較して高い数値であり、色素-n 型分子連結構造の有効性を実証した(図 III-2-(ホ)-B-1(5) 参照)。

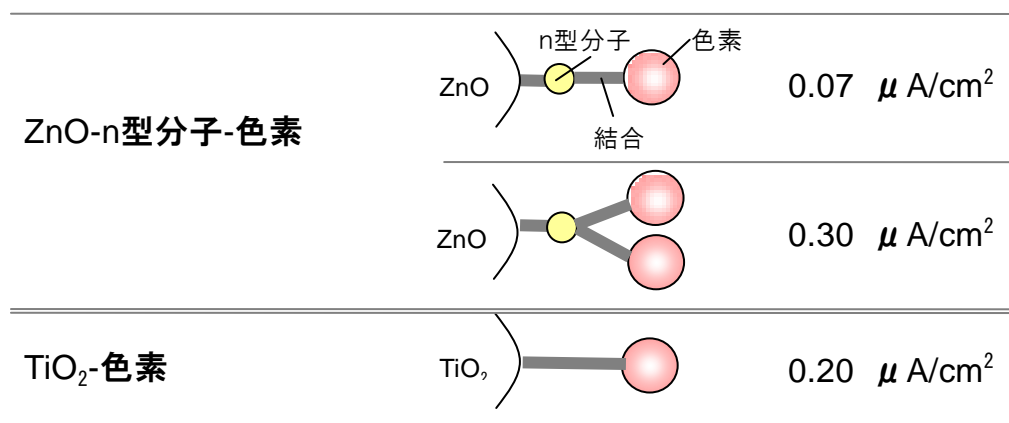


図 III-2-(ホ)-B-1(5) 電荷分離界面状態と平滑電極での電流値のまとめ

・漏れ反応抑制による V_{oc} 向上 (V_{oc} 950mV)

光電変換素子の V_{oc} は、n 型/p 型の酸化還元電位差から、電極とメディエータとの漏れ反応による電圧損失を差し引いた値に起因する。そのため、漏れ反応量の抑制は V_{oc} 向上に大きく寄与することが期待できる。漏れ反応抑制の方策として、メディエータを高分子化することによって電極との反応量を低減できることを新たに見出し、平滑界面における電圧向上の検討を行った。(概念図：図 III-2-(ホ)-B-1(6) 参照)

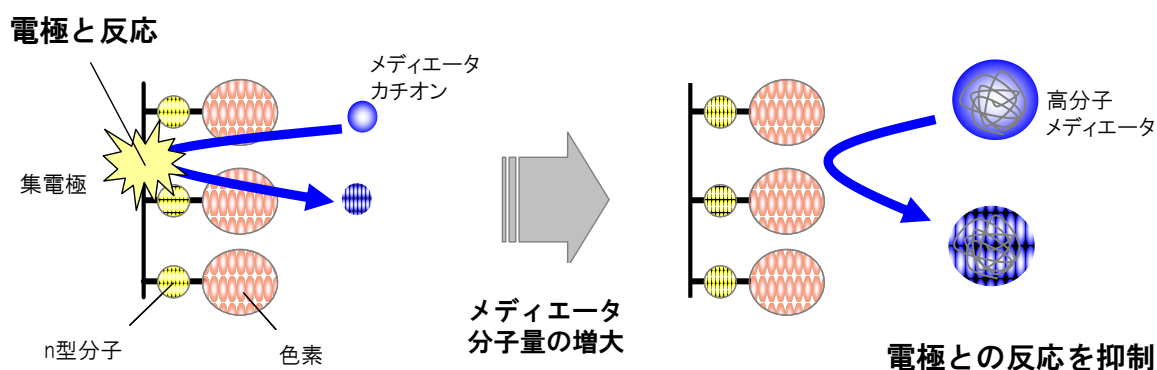
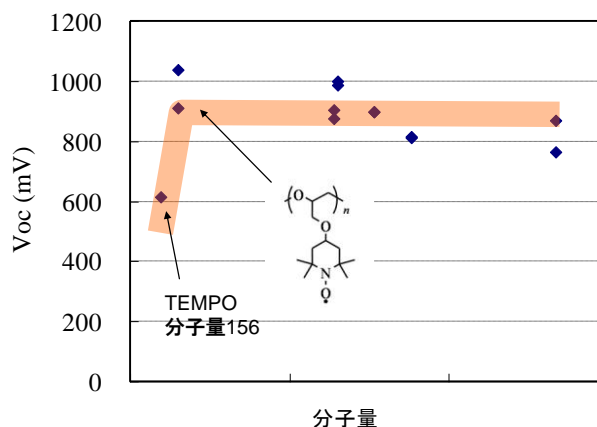


図 III-2-(ホ)-B-1(6) メディエータ高分子化による電極との反応抑制

メディエータ (2,2,6,6-tetramethylpiperidine 1-oxyl) を高分子化し、図 III-2-(ホ)-B-1(7) に示す化合物群を新規に合成した。それら高分子メディエータの電極との反

応量を電気化学測定により評価したところ、低分子体と比較して反応量は1/3以下となり、分子サイズが大きくなることによる電極との反応量抑制を確認した。また、これら高分子メディエータを用いた素子の Voc を測定したところ、図III-2-(ホ)-B-1(7)のような結果となった。低分子量体では Voc が 650 mV 程度に留まるのに対し、分子量 Mn が大きくなると Voc が目標値の 950mV を超える値を得た。

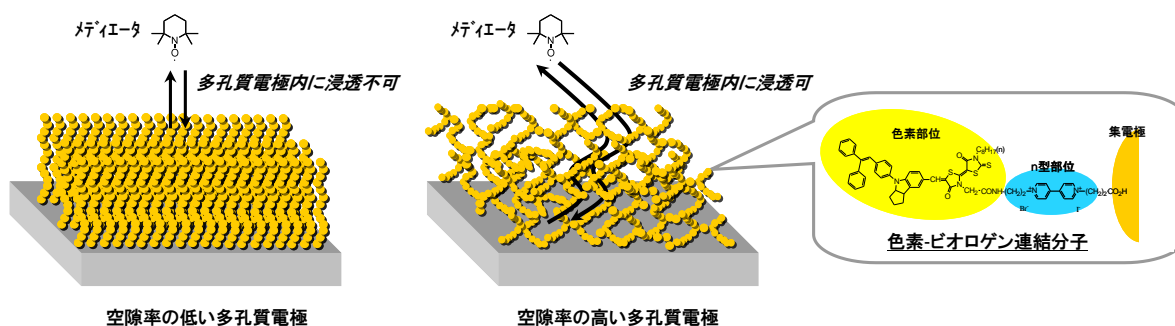


図III-2-(ホ)-B-1(7)

2) 多孔質電極による Jsc の増大

フラットな界面における電荷分離構造を多孔質な電極に展開することにより、光電変換の場が増大することで、電流の向上が期待できる。多孔質集電極においては、その高い光電変換場を有効に活用するために電

解液中に存在する・メディエータを内部まで浸透する必要があるとともに、メディエータにより再生されない・光学損失要因となる色素の排除を行う必要がある。(図III-2-(ホ)-B-1(8) 参照) このうち、メディエータを内部まで浸透する電極における検証を行った。



図III-2-(ホ)-B-1(8) 多孔質集電極内の電荷分離界面の概念図

・メディエータを内部まで浸透

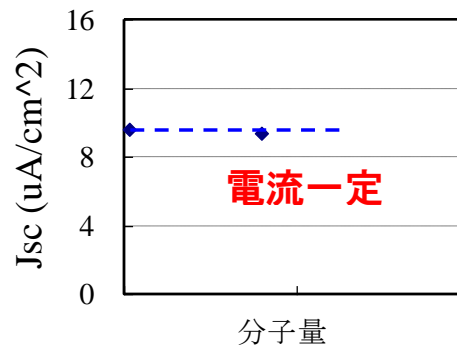
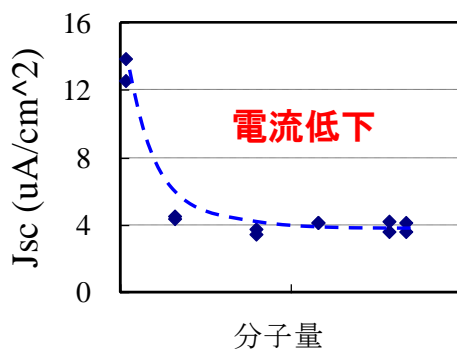
1) の結果より、Voc=950mV 達成には、高分子メディエータ活用が重要な鍵である。一方、多孔質電極の有効活用にはメディエータを多孔質内部へ浸透させる必要があり、分子サイズの大きな高分子メディエータ活用には、大きな細孔をもつ電極の導入が求められることが推測される。実験においても、図III-2-(ホ)-B-1(9)に示すように、小さな細孔をもつ多孔質電極ではメディエータ分子量が大きくなるに従い電流が低下するのに対し、大きな細孔をもつ多孔質電極では、メディエータ分子量が大きくなっても電流値は一定であり、高分子メディエータが浸透する電極構造であることが示唆された(電極構造の詳細についてはC. 多孔質集電極において記述する)。

これらのメディエータの浸透する電極を用い、電解液の最適化等を検討することにより、

$J_{sc}=16.2 \mu A/cm^2$ 、変換効率 10.5%を達成した。

細孔小の多孔質電極

細孔大の多孔質電極



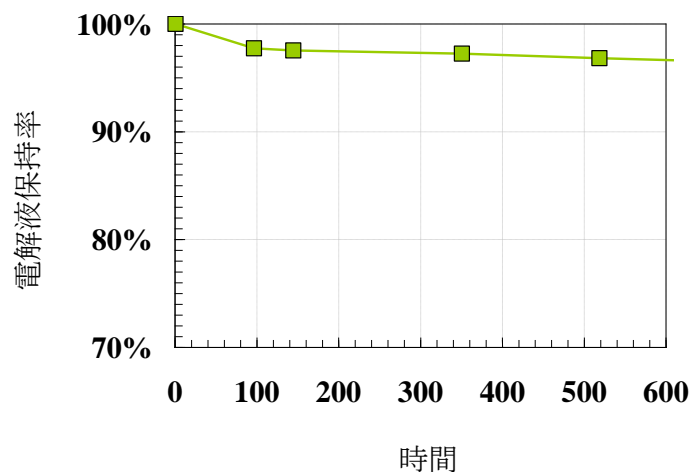
図Ⅲ-2-(ホ)-B-1(9) 多孔質集電極構造と、分子量- J_{sc} の関係

B. 耐久性

本素子の耐久性においては、構成材料に電解液を含むことから、電解液漏れによる素子劣化が危惧される。そこで、高い電解液保持率を有する封止構造の実現と、前記封止構造を用いた素子での V_{oc} 維持率の検討を行った。

高い電解液保持率実現のため、封着樹脂に着目した。新たにアクリレート系UV硬化樹脂を導入し、基材同士の接着性を向上させることにより、電解液保持率では 85°C 500hr にて 95%を実現した (図Ⅲ-2-(ホ)-B-1(10)参照)。

また、前記封止構造を用い、さらに電解液構成成分に着目し種々の検討を行うことにより、 V_{oc} 維持率は 85°C100 h 経過後も相対効率低下 10%以内を維持した (8月 500 h 相対効率低下 10%以内を達成予定)。



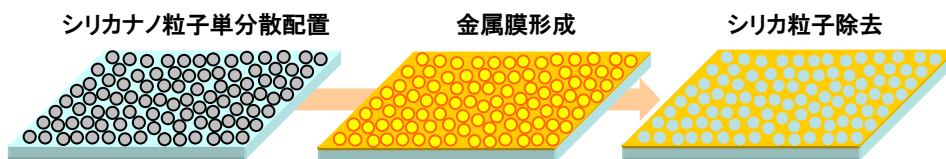
図Ⅲ-2-(ホ)-B-1(10) 電解液保持率

C. 低コスト

- ・透明導電膜基板の開発

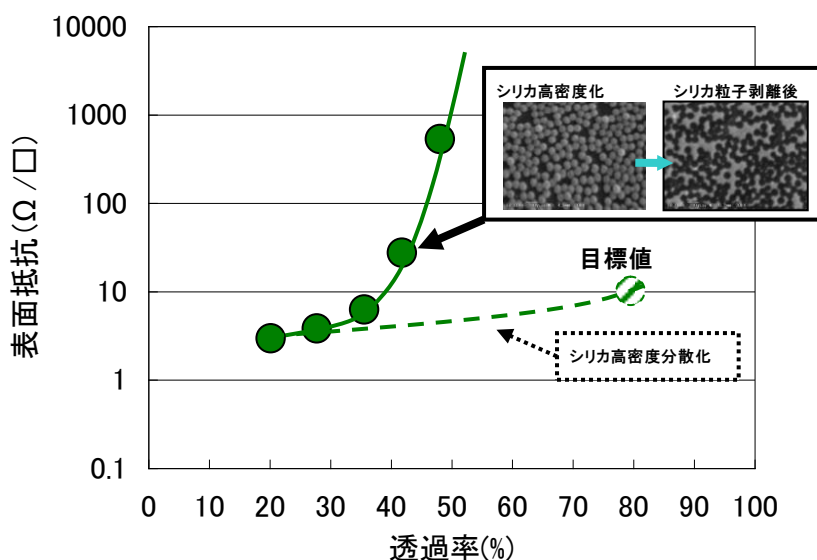
ナノ粒子の自己配列技術を応用し、シリカナノ粒子を塗布により基板上に分散配置する。金属薄膜を製膜後、最終的にシリカナノ粒子を除去することで「パンチングナノメタル」

を形成し、導電と光透過の両立を図った（図Ⅲ-2-(ホ)-B-1(11)）。



図Ⅲ-2-(ホ)-B-1(11) パンチングメタルの模式図

製膜条件検討によりガラス基板にシリカナノ粒子を単層で高密度に配置できた。密度向上により低抵抗状態を保ちつつ40%まで透過率が向上したが、それ以上で変曲し抵抗が大幅上昇し透過率も向上しない状況が確認された(図Ⅲ-2-(ホ)-B-1(12))。これはシリカ除去時にシリカナノ粒子間の金属が剥離し、導電に寄与しない孤立金属部の形成による導電と透過性の損失が原因であった。現在、孤立金属部をなくすための粒子間静電反発を制御しシリカナノ粒子高密度配置時の間隔制御を検討しており、単分散状態で密度を向上している。



図Ⅲ-2-(ホ)-B-1(12) パンチングメタル構造の特性と表面状態

・多孔質集電極の開発

電解液中のメディエータを多孔質電極内に浸透しやすくするため多孔質体の空隙率の向上を検討し以下の結果を得た。

電極を構成するナノ粒子と鋳型となるサブミクロンの粒径のポリマー粒子を複合化しつつ、高空隙でありながら厚膜形成時のクラックを抑制した製膜技術を開発することでミクロンサイズの厚みの多孔質電極を作製できた。以上の検討により目標値を上回る89%の空隙率を到達できた(図Ⅲ-2-(ホ)-B-1(13))。

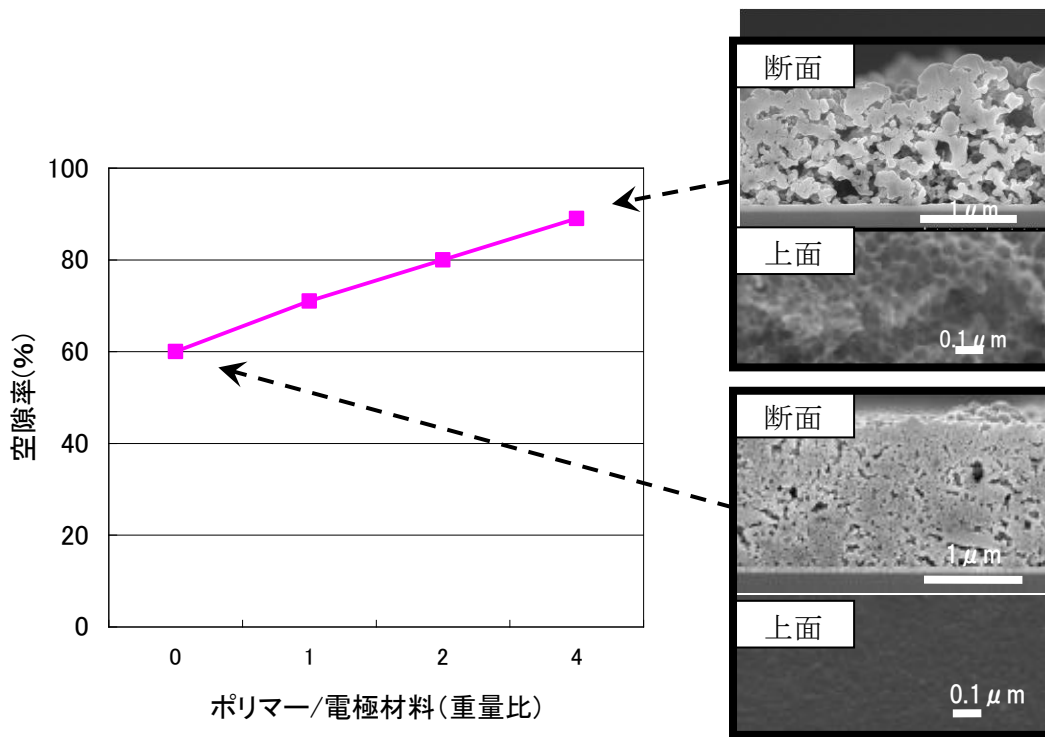


図 III-2-(ホ)-B-1(13) 多孔質電極の高空隙化と膜の SEM 像

今後はメディエータが浸透しにくく色素のみが入り込む細孔が素子の光学損失を生んでいる課題を解決するため、主に電極を構成するナノ粒子の形状や分散粒径を調整することで小さな細孔を低減した多孔質電極を早期に作製し、 J_{sc} ($18 \mu A/cm^2$) 向上を実現する。

D. 蓄電機能付与

蓄電機能を発現する材料として発電材料と同材料である n 型 / p 型材料を選択した蓄電発電一体型素子を作製し、蓄電かつ発電の機能を実証した。また蓄電性能においては、目標値を超える $1.32 mWh$ を達成した。

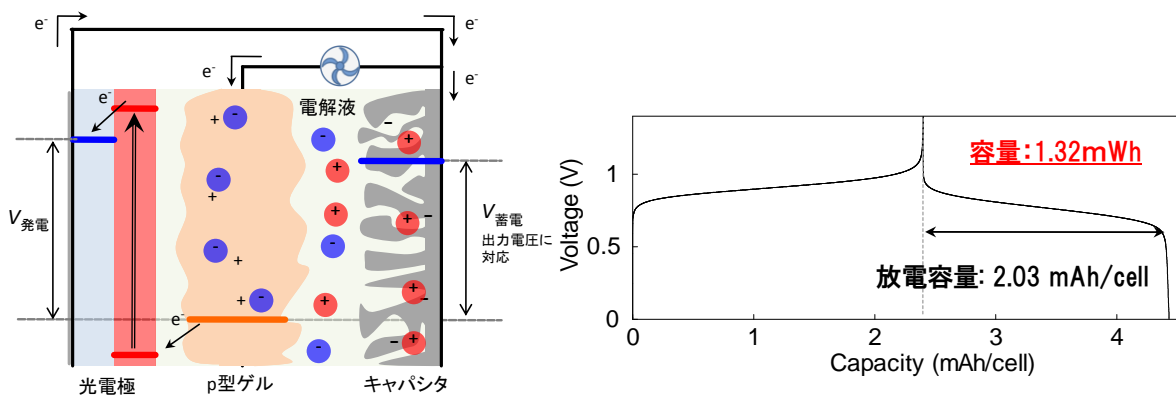


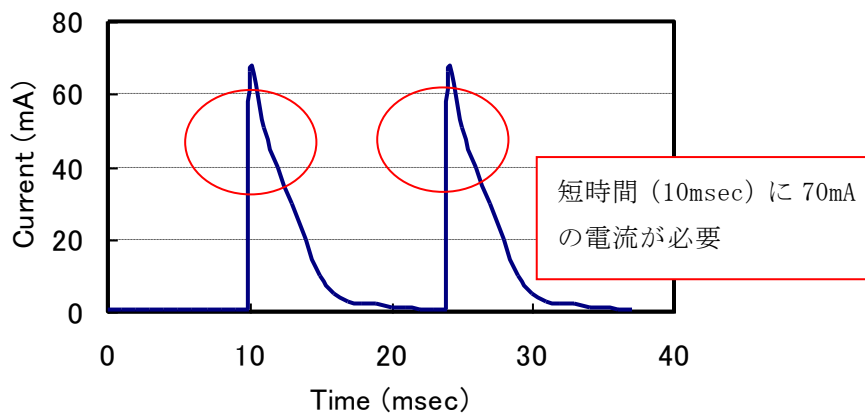
図 III-2-(ホ)-B-1(14) 蓄電一体型素子の概念図 (左) と光充電挙動 (右)

図 III-2-(ホ)-B-1(14) (左) に示すような構成で、p 型材料として TEMPO ポリマー

(2,2,6,6-tetramethylpiperidine 1-oxyl polymer)を用い、蓄電発電一体型素子の試作を行った。p型材料／n型材料を導入することにより、光発電極により発電した電荷を蓄電することが可能であり、図Ⅲ-2-(ホ)-B-1(14) (右)に示すように光照射によって蓄電されることを確認し、蓄電発電一体型素子の駆動を実証した。

また上記材料を用いた蓄電素子性能については、n型材料／p型材料の酸化還元電位差に相当する電圧を発現し、その容量は膜厚 $50\mu\text{m} \cdot 10\text{cm}^2$ において、 1.32mWh であった。

さらに充放電特性評価では、高速放電 (100C、126mA) においても放電容量／充電容量は70%以上を保持し高いレート特性を発現した。この高いレート特性は、図Ⅲ-2-(ホ)-B-1(15)に示すような、大電流を短時間放電することを求められるセンサ駆動用電源として適合性が高く、本素子がセンサ用の電源として有用であることが示された。



図Ⅲ-2-(ホ)-B-1(15) センサ駆動に必要な電流—時間特性の一例

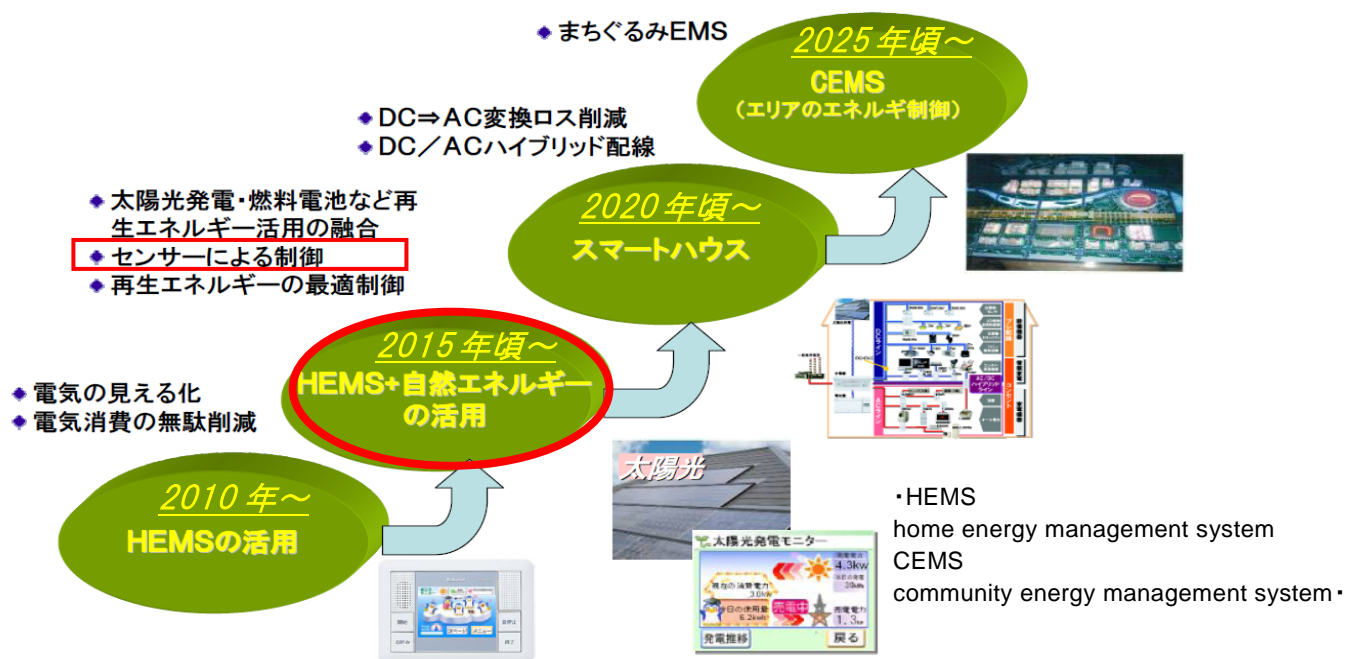
2. 実用化・事業化見通し

本節では、実用化の見通しを「A. 事業化までのシナリオ」、「B. 成果の実用化可能性」の二つの観点から説明する。「A. 事業化シナリオ」では当プロジェクトの目指す方向性をパナソニック事業戦略に則り説明し、「B. 実用化可能性」では当該プロジェクト成果の意義および検証法を述べる。

A. 事業化までのシナリオ

A-1. パナソニックにおけるエネルギーマネジメント事業戦略（市場ニーズとの合致）

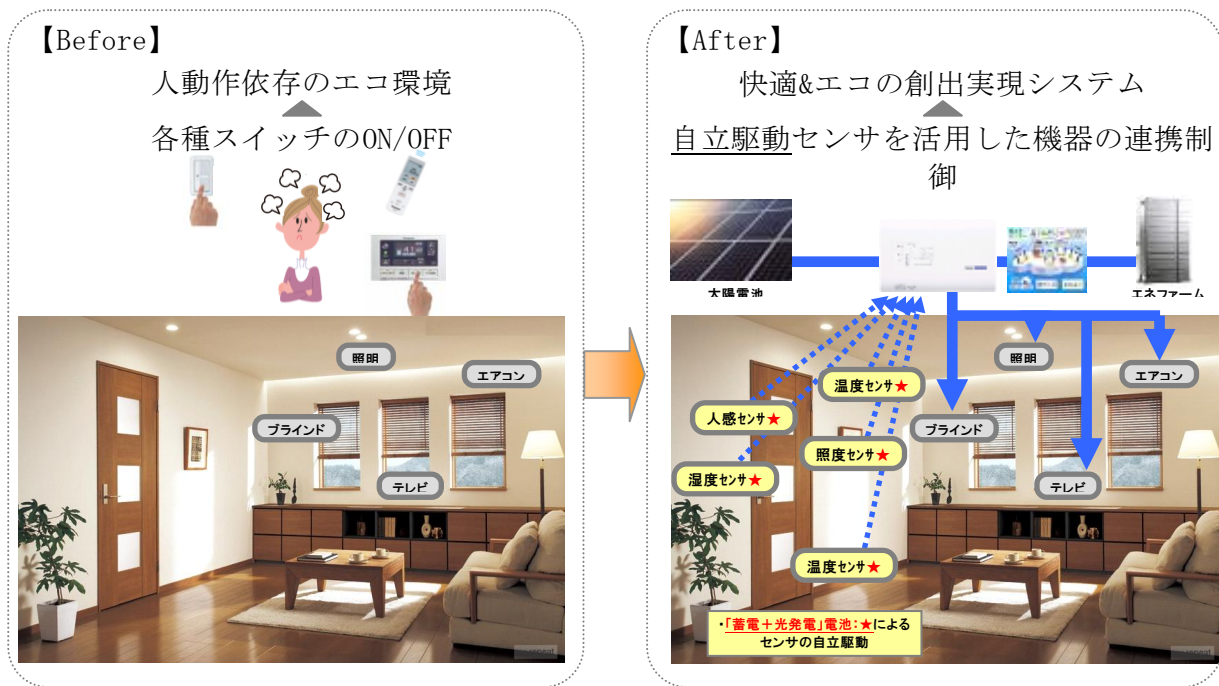
パナソニックでは図Ⅲ-2-(ホ)-B-2(1)に示す構想を掲げ、家電製品の連携駆動、電力消費に見合う発電システム運用など家庭・地域で、効率的にエネルギーを活用するためのエネルギーマネジメントシステムの普及拡大を推し進めている。現在、図Ⅲ-2-(ホ)-B-2(1)の赤線で示した「HEMS+自然エネルギーの活用」実現に向けた価値創造を推進するステージにある。



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）

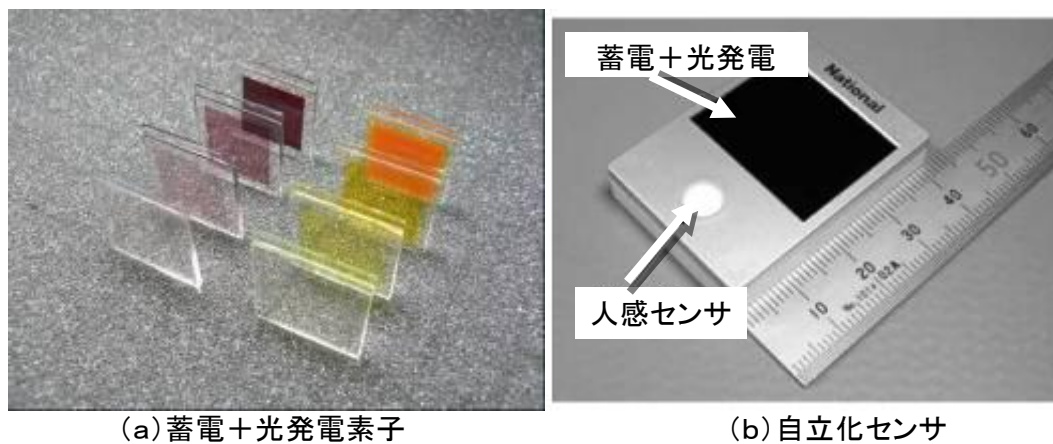
（出展）「創・蓄・省エネ技術を活用したスマートエコハウス開発の取り組み（パナソニック電工）」次世代電力ネットワーク研究会講演資料（2011. 10. 13）。時期については加筆。

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。



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管理システム

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(3) 提案素子外観自立センサ外観

A-2. 競合技術との比較

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Ⅲ-2-(ホ)-B-2(4)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 (2012年6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 ノンドープ層 正孔受容体	電子受容 正孔受容体
変換効率 @ 1 Sun	(15%)	8% konarka	10% sharp	10% Oerlikon solar	25% UNSW
変換効率 @200 lx	10% (20%) パナソニック	<2%	13% パナソニック	11% sanyo	<1%
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	1.26mWh	付与不可	付与可能	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	—	—


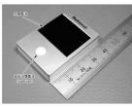




括弧内：目論見値

Prog. Photovolt: Res. Appl. 2011; 19:84-92

B. 成果の実用化可能性

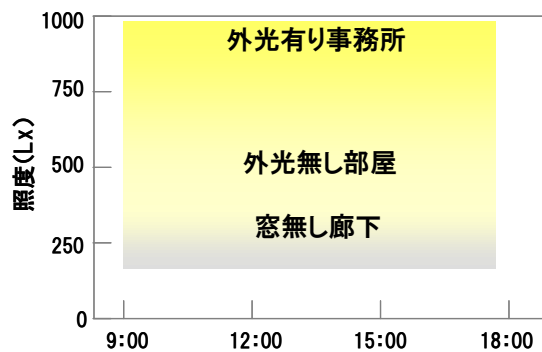
B-1. 産業技術としての見極め (実用化要件、目標の妥当性) : 41A

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(5)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。

メーカー	パナソニック	パナソニック	富士通 フロンテック	キュービック アイディシステム	パナソニック	東京特殊電線
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、老人ホーム・園児管理					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					

表Ⅲ-2-(ホ)-B-2(4) 無線機器の消費電力

図Ⅲ-2-(ホ)-B-2(6)に示すように、室内環境における平均的光照射量を 500 lx、1日当たり 8hr の受光が可能だとすると、表Ⅲ-2-(ホ)-B-2(5)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。提案素子では 2012 年度内に変換効率 20%を達成することでセンサ自立化要件を満たす目論見である。



平均光照射量：500lx × 8hr
 素子設置可能面積：12cm²
 自立駆動のために必要な変換効率は
 $\text{「変換効率」} \times 500\text{Lx} \times 8\text{hr} \times 12\text{cm}^2 \times 0.7$
 (回路損失) > 1.8mWh/d
 変換効率 > 18%

図Ⅲ-2-(ホ)-B-2(5) 室内環境における光発電電力の見積もり

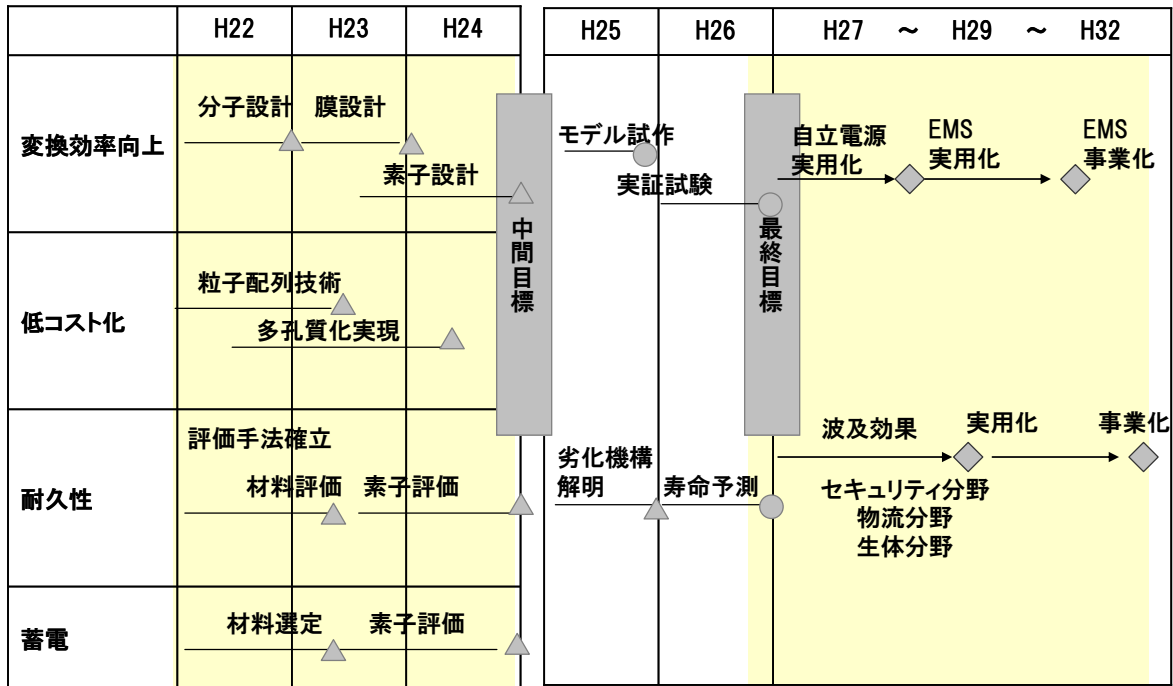
B-2. 実用化に向けた課題

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ネルギーハーベスタの思想において電源を実現した商品例は少ない。実用化に向けた課題の一つが有用性の実証にある。そこで、2012 年度までに達成した原理検証をもとに、2013～2014 年度にモデル住宅におけるフィールド試験を実施し、センサのワイヤレス・メンテナンスフリー化に有用性を示すデータ取得を行う。

開発計画としては、図Ⅲ-2-(ホ)-B-2(1)に示す通り 2015 年頃より「HEMS+自然エネルギーの活用」事業立ち上げを睨み、素子の基本設計を 2012 年度までに行い、2014 年度に実

証試験にて有用性を判断する予定である。

表Ⅲ-2-(ホ)-B-2(2) 開発計画

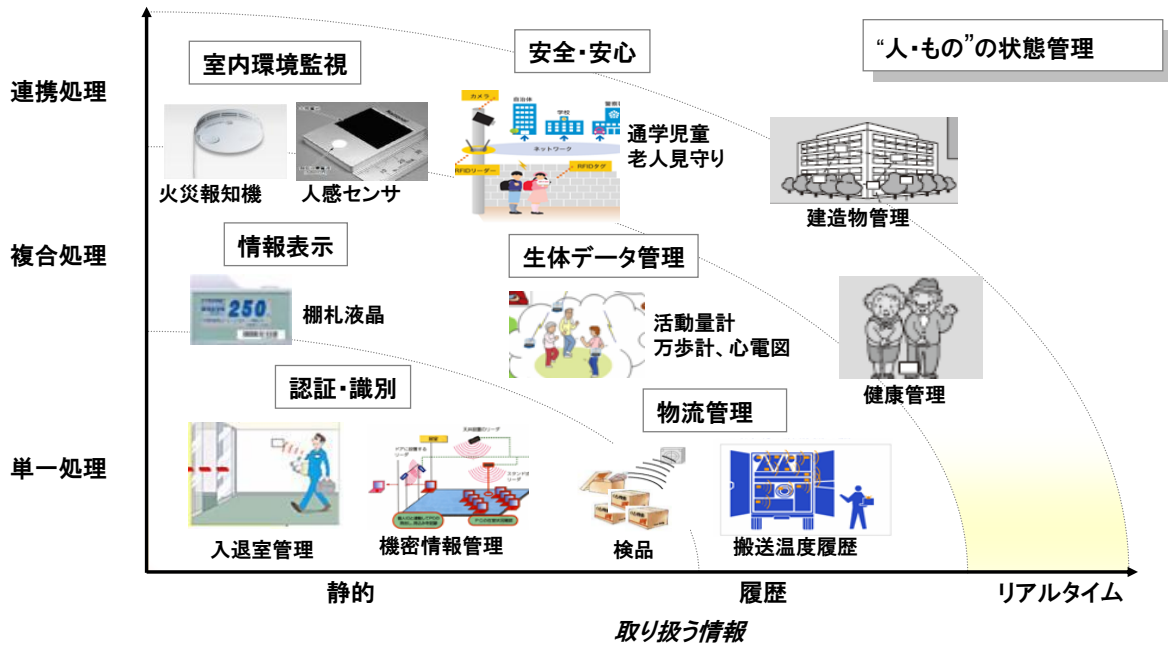


▲ : 原理検証 ● : 機能実証

3. 波及効果

A. 関連分野への波及効果

本提案素子は、環境モニタリングセンサの自立化のみならず ID 情報の無線機器であるアクティブタグ、無線で表示内容の書き換えを行う液晶ディスプレイの自立駆動を実現する。すなわち、図Ⅲ-2-(ホ)-B-3(1)に示すようにセキュリティ分野、物流分野、生体データ管理分野など“人・もの”の状態管理の分野で広く展開が可能である。



図Ⅲ-2-(ホ)-B-3(1) 「光発電+蓄電」電源の活用領域

自立化電源搭載したタグの市場規模を見積もると、表Ⅲ-2-(ホ)-B-3(3)に示す通り、平成28年度に340億円程度が見積もれる。

表. Ⅲ-2-(ホ)-B-3(1) タグ・自立センサ用電源市場導入量 (単位: 個数)

	平成28年	平成32年	平成36年
防犯セキュリティ	10,631,110	59,457,084	131,514,274
事務・業務	9,480,009	4,740,046	9,480,091
施設制御	1,709,387	15,085,744	51,273,675
物流・マーケティング	500,142	5,000,709	10,001,418
自立移動支援	495,000	4,950,000	9,900,000
医療・福祉	375,977	2,819,143	15,034,841
食・農業	12,145	164,353	230,898
構造物管理	1,056	10,597	45,440
市場全体	22,709,726	129,937,675	312,800,637

表. III-2-(ホ)-B-3(2) タグ・自立センサ用電源市場規模

	平成28年	平成32年	平成36年
市場規模 (億円)	340*2	1,299*2	2,502*2

*1 想定デバイス単価：平成28年1500円、平成32年1000円、平成36年800円

B. 当該分野の研究開発への波及効果

提案素子は、材料および素子構成ともに独自性のある構成となっている。現状、知財については、NEDO 成果も含め国内 14 件、外国出願 22 件と国内外で特許性を認められている。センサネットワーク、エネルギーマネジメントシステム、エナジーハーベストといった新規市場の立ち上がりの中で、本技術は新しく日本の強みを発現できる有機エレクトロニクス分野への起爆剤になると考える。

4. 今後の展開

A. 応用範囲の拡大

「光発電+蓄電」の電源として活用にあたっては、受光し機能を発現することが使用上の制約条件として存在する。2013～2014年度のフィールド試験にて広く価値を訴求するためのデータ収集を実施するとともに、サンプルワークを通じたユーザーへの提供価値見極めも実施する。

5. 特許論文リスト

表. III-2-(ホ)-B-5(1) 特許、論文、外部発表等の件数（内訳）：平成 24 年 7 月 25 日時点

	H22	H23	H24	計
特許出願（うち外国出願）	0(0)	5(0)	0(0)	5 件
論文（査読付き）	0	0	3	3 件
研究発表・講演（うち国際会議）	3(0)	6(5)	2(0)	16 件
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0	0 件
受賞実績	0	0	0	0 件
展示会への出展	0	0	0	0 件

【自社成果】

特許（内訳）： 国内：9 件、外国：2 2 件

自社成果特許は、本プロジェクトスタート前に早稲田大学とパナソニックとの共同で出願したものである。本知財の存在は、早稲田大学およびパナソニックのコンセプトを明文化したものであり、活動方向性を指し示し、明確な役割分担と連携のとれた活動の礎となっている。

表. III-2-(ホ)-B-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	パナソニック 東京大学	2011-287212	国内	H23. 12. 28	審査中	無機酸化物構造体 の製造方法	大久保、下嶋、王 矢部
2	パナソニック 早稲田	2011-287220	国内	H23. 12. 28	審査中	電極複合体及びこ れを備える光電気 素子	西出、小柳津、加藤 山木、関口、鈴鹿
3	パナソニック 早稲田	2011-287221	国内	H23. 12. 28	審査中	光電気素子及びそ の製造方法	西出、小柳津、加藤 山木、関口、鈴鹿
4	パナソニック 早稲田	2011-287222	国内	H23. 12. 28	審査中	光電気素子	西出、小柳津、加藤 山木、関口、鈴鹿
5	パナソニック 早稲田	2011-287223	国内	H23. 12. 28	審査中	光電気素子	西出、小柳津、加藤 山木、関口、鈴鹿

表. III-2-(ホ)-B-5(3) 【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名	査読	発表年
1	Naoki Sano, Miu Suzuki, Wataru Tomita, Kenichi Oyaizu, Hiroyuki Nishide	早稲田大学	Indoline Dye-Coupled Polyviologen: its Electrochemical Property and Electropolymerization	Japanese Journal of Applied Physics	有	2012年
2	Satoshi Nakajima, Takefumi Furuta, Yutarou Horie, Kenichi Oyaizu, Hiroyuki Nishide	早稲田大学	Syntheses of Coupling Molecules of Indoline Dyes with Viologen and Their Self-Assembling Monolayer	Journal of Organic Chemistry	有	2012年
3	Naoki Sano, Miu Suzuki, Kenichi Oyaizu, Hiroyuki Nishide	早稲田大学	Photoelectrochemical Properties of Electropolymerizable Indoline Dye-Viologen coupled Molecules on Current Collectors	Organic Letters	有	2012年
4	Michio Suzuka, Shu Hara, Naoki Sano, Takashi Sekiguchi, Kenichi Oyaizu, Hiroyuki Nishide	早稲田大学、パナソニック	Heterogeneous electrode redox reaction selectivity of organic radical moleculars on the metal oxide electrodes	Journal of Materials Chemistry	有	投稿中
5	Fumiaki Kato, Akira Takahashi, Michio Suzuka, Takashi Sekiguchi, Kenichi Oyaizu, Hiroyuki Nishide	早稲田大学、パナソニック	TiO ₂ -Free Dye-Sensitized Solar Cell Based on n- and p-Type Redox-Active Organic Radical Molecules	Advanced Materials	有	投稿中
6	Junzheng Wang, Hiroki Yabe, Takashi Sekiguchi, Atsushi Shimojima, Tatsuya Okubo	東京大学、パナソニック	Basic Amino Acid-Mediated 1D Self-Assembly of Tin Oxide Nanoparticles	Chemistry of Materials	有	投稿中

(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

中間目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために 解決すべき課題
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基本構成確立 ・水蒸気透過度 $10^{-6}g/(m^2 \cdot d)$ 以下 ・ $85^{\circ}C \times 85\%RH$ 3000hr での水蒸気透過度 $10^{-5}g/(m^2 \cdot d)$ 以下 ・耐候性試験機 3000hr での水蒸気透過度 $10^{-5}g/(m^2 \cdot d)$ 以下	現時点で $10^{-5}g/(m^2 \cdot day)$ 台以下であることまで確認済み。 現有装置測定下限以下のため、さらにバリア性能を高めた試料を外注評価機関にて評価中。 2012年8月中に水蒸気透過度 $10^{-6}g/(m^2 \cdot d)$ 以下達成を確認出来る見込み。	△	$10^{-6}g/(m^2 \cdot d)$ 以下の超ハイバリアフィルムに、開発項目②で開発の高耐候化技術を応用し、今後、耐候性耐久性を確認する。 また $10^{-6}g/(m^2 \cdot d)$ 台の超ハイガスバリアフィルムを量産時の数量にも対応して評価可能なバリア性能評価法を確立する。
②耐候性バックシート、フロントシートの基本構成確立 ・ $85^{\circ}C \times 85\%RH$ 3000hr での機械物性変化 30%以下 ・耐候性試験機 3000hr での機械物性変化 30%以下	中間目標性能達成済み。 また、封止材との十分な密着強度を維持可能な構成も確立。	○	開発した構成を①で開発の超ハイガスバリアフィルムに応用しバリア性能を確認する。
③耐熱性耐候性基材の基本構成確立 ・プラスチック基材の線膨張係数が 20ppm 以下、 $200^{\circ}C$ の熱収縮率が 0.1%以下	2011 年度中に目標性能を達成済み。	○	なし。到達済み。

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	計
特許出願 (うち外国出願)	0 (0)	1 8 (2)	1 1 (0)	2 9 件
論文 (査読付き)	0	0	0	0 件
研究発表・講演 (うち国際会議)	0 (0)	3 (0)	2 (1)	5 件
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0	0 件
受賞実績	0	0	0	0 件
展示会への出展	0	0	2	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基本構成確立

本開発では水蒸気透過度 (以下 WVTR) $10^{-6} \text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$ 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 ユニットの新たに導入し、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。

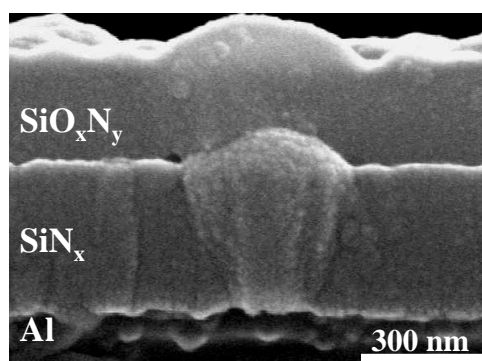
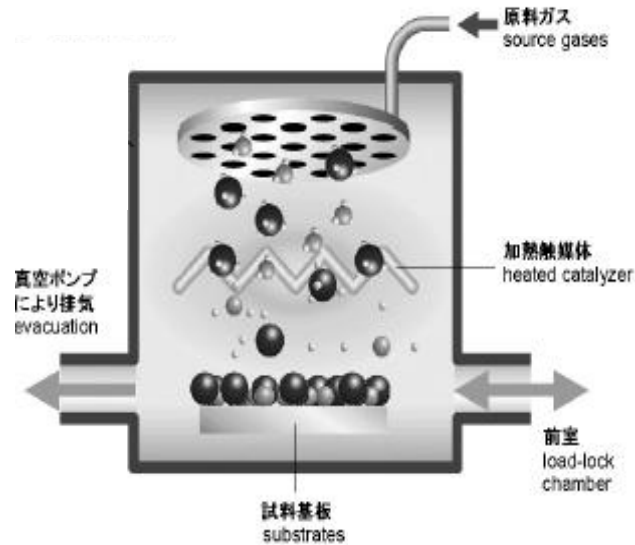


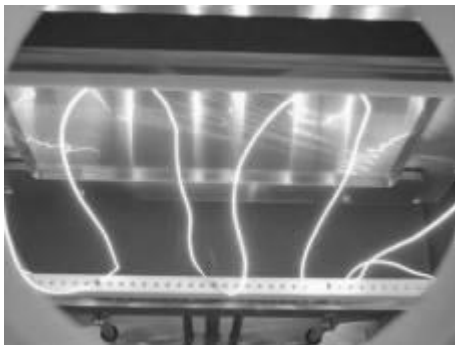
図 III-2-(へ)-A-1(1)

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 $10^{-6} \text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$ 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。

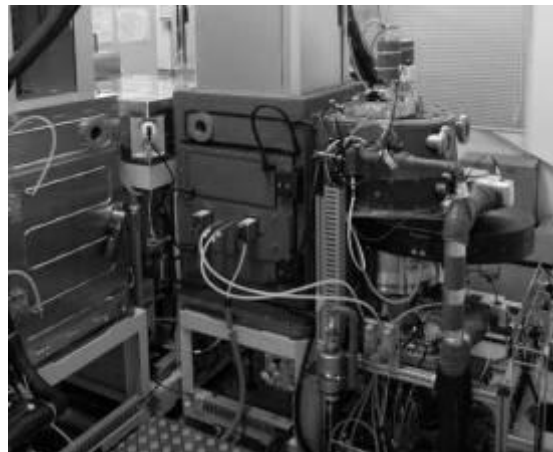
ロードロック式真空マルチチャンバー成膜機は、既設のシリカ蒸着室と、本事業で導入した Cat-CVD 成膜ユニットを持つ Cat-CVD 室を有し、これら二室の間の積層を大気開放することなく真空中に維持したまま実施可能としている。Cat-CVD 法の装置模式図を下図に示す。



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の上に、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。

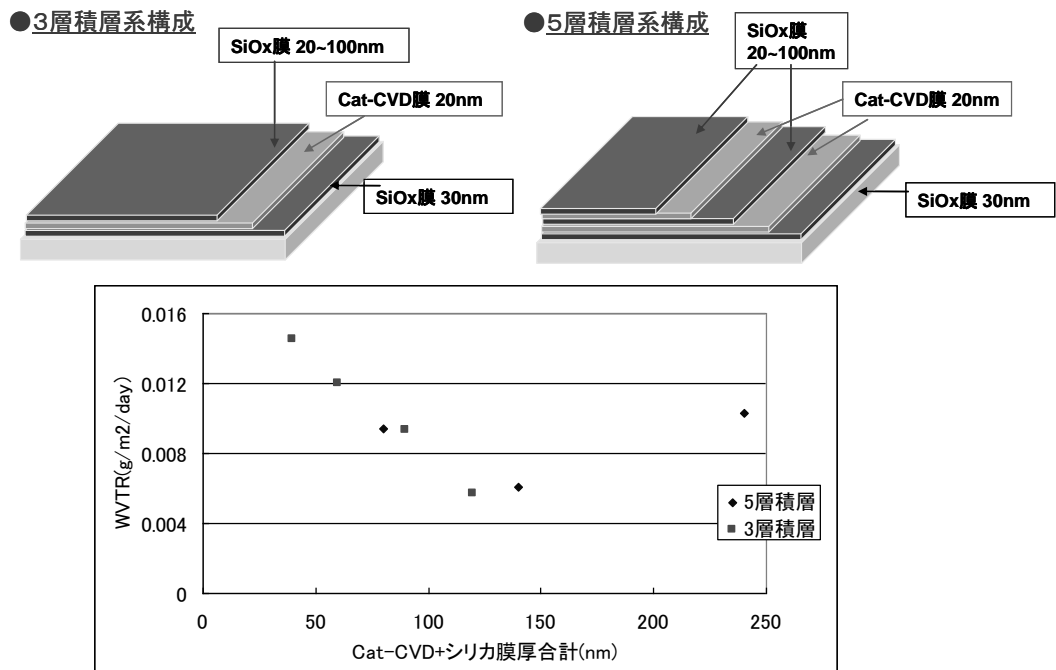


図 III-2-(^)-A-1 (5)

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だけでは $10^{-6} \text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$ 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、引っ張り応力を有する SiON 膜を成膜できる条件を見出した。下図に Cat-CVD 法による SiON 膜の、O₂ 流量に対する応力依存性を示す。

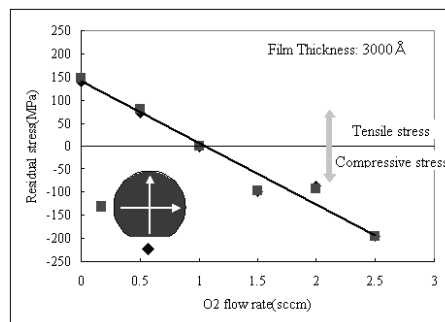
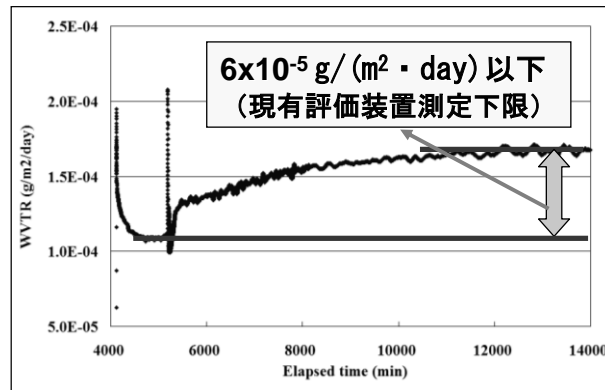


図 III-2-(^)-A-1 (6)

III-2-(^)-A-1[4]

上記にて検討した Cat-CVD 法による引張り応力を有する SiON 膜とシリカ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、結果として合計 6 層の積層複合膜バリアフィルムにおいて、 $10^{-5} \text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$ 台以下を達成していることを確認した。



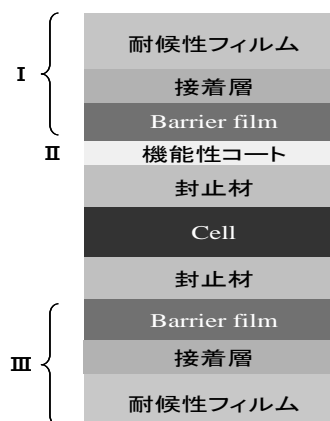
図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (7)

上記構造はシリカ蒸着膜以外の他の高いバリア性能を示す無機バリア膜との積層においても有効であるため、さらに優れたバリア性能を示す成膜材料、成膜方法と組み合わせで複合化したバリアフィルムを検討中。現有的水蒸気透過度評価装置では、 $10^{-5} \text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$ 以下の測定は測定下限以下のため、試作した複合膜バリアフィルムを外部評価期間に依頼しており、2012年8月中に $10^{-6} \text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$ 台以下達成を確認出来る見込みである。

②耐侯性バックシート、フロントシートの開発

本開発では、高耐侯性バックシート、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、高耐侯性バックシート、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モジュールにおけるフロントシートとバックシートの構成を示す。



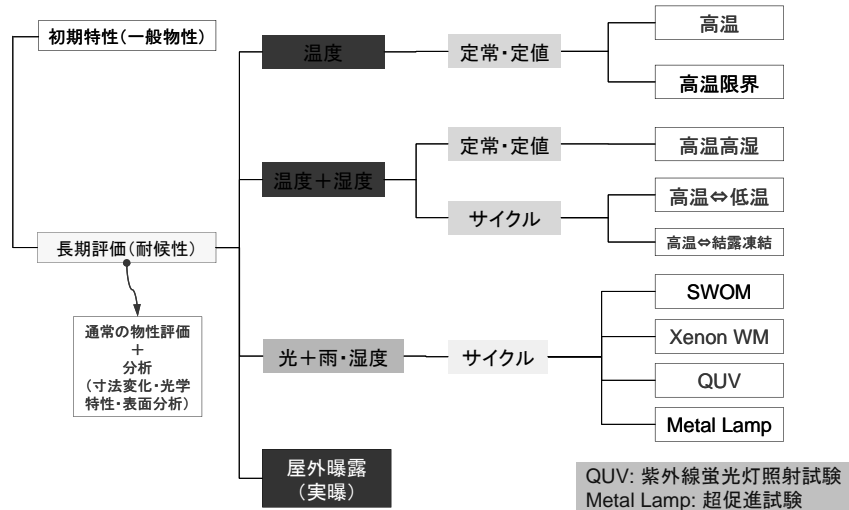
図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (8)

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侯性ととも、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。

下図に一般的な耐候性試験法を示す。



図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (9)

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SWON試験としていたが、現在はXenon WMが主流のため、Xenon WM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た。

DH (85°C/85%RH)	光線透過率	層間強度	引張強度	Initialを1とした 変化率
	Initial	1.000	1.00	
1000hrs	0.999	0.80	1.05	
2000hrs	1.001	-	0.96	
3000hrs	1.003	0.80	0.91	
Xe				
Initial	1.000	1.00	1.00	Initialを1とした 変化率
1000hrs	1.003	0.93	0.96	
2000hrs	1.007	0.87	0.95	
3000hrs	1.000	0.80	1.01	

図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (10)

この結果、DH 試験 3 0 0 0 時間後、及び Xe WM 3 0 0 0 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、本研究開発項目の目標である 3 0 % 以下を達成したことを確認した。

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 3 0 0 0 時間後、及び XeWM 試験 3 0 0 0 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、新規の易接着加工技術を開発することにより、DH 試験 3 0 0 0 時間後、及び XeWM 試験 3 0 0 0 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。

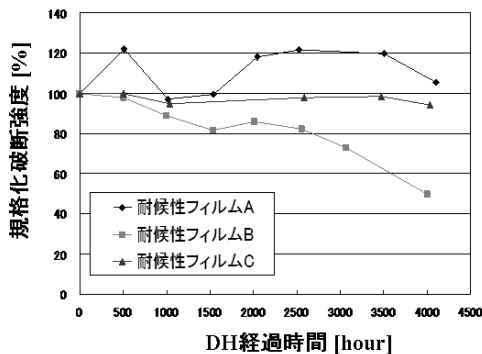
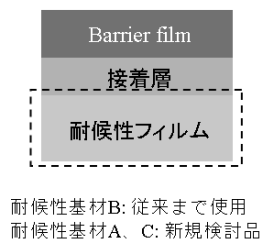
上述のように、封止材との密着性は、PV モジュールの寿命においては、バリア性能とともに重要である。本技術により製造するフロントシートは、各モジュールメーカーにて特段の処理を必要とせず封止材との密着性を維持可能な汎用シートとして供給可能であり、多くの PV モジュールメーカーのモジュール寿命改善に寄与できると思われる。

高い耐候性能、及び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。



図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (11)

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、2010 年度の実績では DH 試験 2 0 0 0 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）、これを別の耐候性フィルムとすることで、DH 試験 3 0 0 0 時間後においても、目標である機械物性（破断強度）変化率 3 0 % 以下を達成した。



図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (12)

③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。

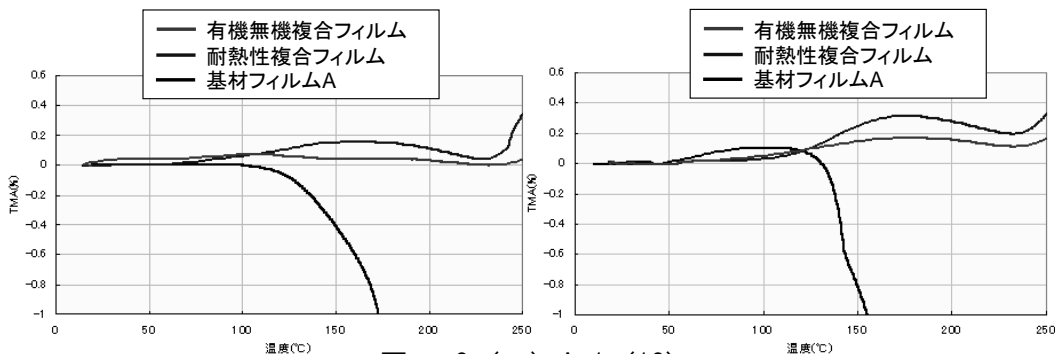
さらなる耐熱性を向上させるためには、この基本構成に無機材料を導入することが有効と考えられるが、高分子材料に無機材料を導入するためには、材料同士の相溶性、分散性、を最適化させることが必要であったためこの検討を実施した。

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、耐熱化が可能なが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H24年度まで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(図中 有機無機複合フィルム)、200℃の熱収縮率が0.1%以下(図中、有機無機複合2)をH23年度内に達成することが出来た。

●MD方向 TMA曲線

●TD方向 TMA曲線



図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (13)

測定温度 (°C)	収縮率(%)			
	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 (14)

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。

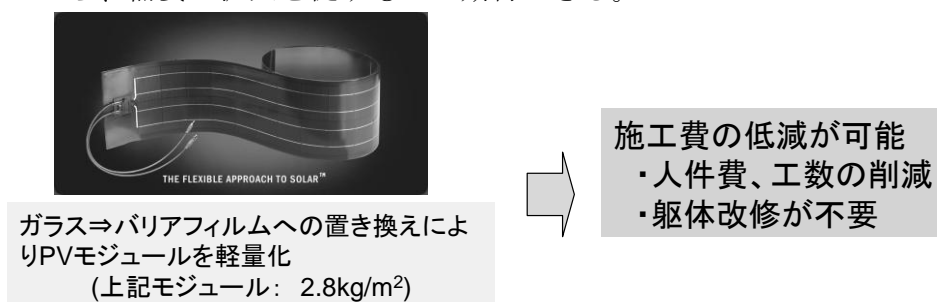
以上、本研究開発項目にて開発の技術を組み合わせることにより、高耐候性超ハイガスバリアシート、及び高耐熱透明超ハイガスバリアフィルムの製造が可能となる。

今後の開発が期待される有機PVモジュールの軽量、フレキシブル化に貢献し、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、 $10^{-5}g/(m^2 \cdot day)$ 台の高いバリア性能が必要と言われており、ITO電極を使用したモジュールでは20年保障のために $4 \times 10^{-5}g/(m^2 \cdot day)$ 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、 $1 \times 10^{-5}g/(m^2 \cdot day)$ のバリア性能が必要とも予測されている。

GIGS系等の化合物PVモジュールは2013年から急激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。

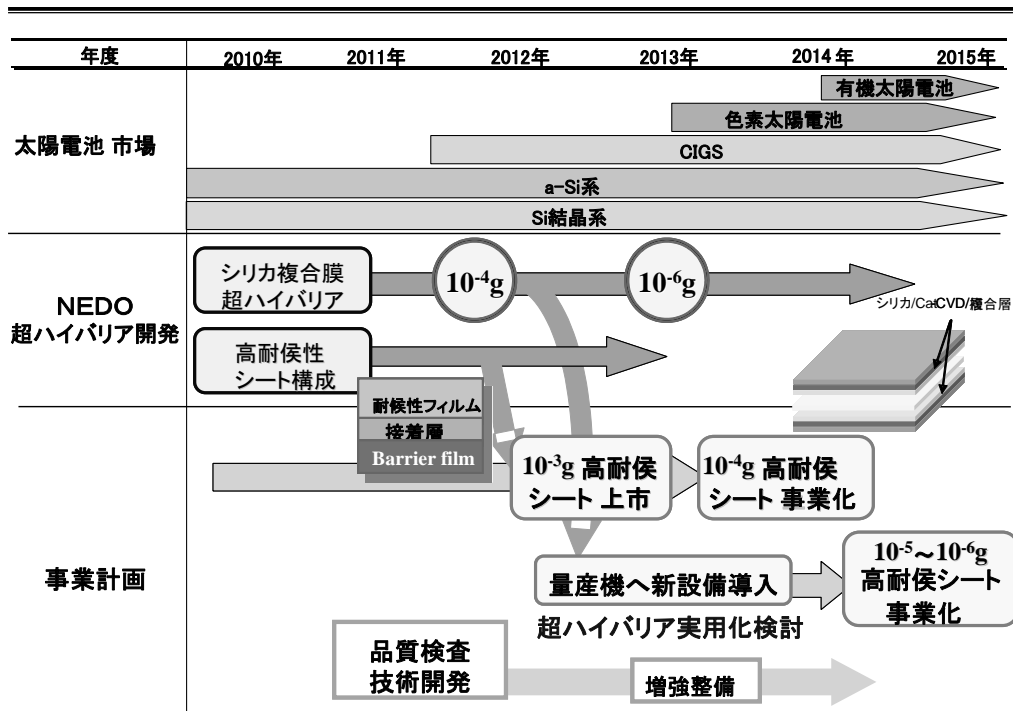
PVシステムの導入費用は、PVモジュールの価格低下により年々減少して行くと予想されている一方、その施工費については大きな低下は見込めないため、最終的には施工費が大きな割合を占めることになる予想されている。PVモジュールを軽量化できることにより、PVモジュールを設置するための施工費を低減できると考えられるため、PVシステムを導入するためのトータルコストを抑え、PVシステムの導入を促す効果が期待できる。三菱樹脂社ですでに販売を行っている $10^{-4}g/(m^2 \cdot day)$ のハイガスバリアシートを用いたGIGS系PVモジュールでは、その重量は $2.8kg/m^2$ 程度であり、 $3m^2$ 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こと、あるいは軽量であることから壁面等への設置可能もことなどから、需要の拡大を促すものと期待できる。



図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (15)

2. 実用化・事業化見通し

研究開発項目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基本構成確立と、②耐候性バックシート、フロントシートの開発について、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)

三菱樹脂社ではすでに $10^{-4}g/(m^2 \cdot day)$ の高耐候性ハイガスバリアシートの量産販売を開始している。この量産を行っているロール to ロールのバリアフィルム量産機に、本研究開発で開発した技術を応用するため、量産機実証用の Cat-CVD 成膜ユニット等の新規成膜ユニットを 2012 年度中に大型量産機に導入し、2013 年度より実用化検討を開始する。この実用化検討の結果を基に、2013 年度から 2014 年度を目処に事業化のための本格改造を行い、2015 年度を目処に $10^{-6}g/(m^2 \cdot day)$ 以下の超ハイバリアフィルムの量産を開始し事業化する。

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 $10^{-4}g/(m^2 \cdot day)$ と組み合わせで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、広く成果の普及と拡販に向けた取り組みを行っている。同技術を、2015 年度を目処に事業化する超ハイガスバリアフィルムと組み合わせることで、同じく 2015 年に $10^{-6}g/(m^2 \cdot day)$ の高耐候性超ハイガスバリアシートを上市し、事業化する予定である。




フレキシブル太陽電池用フロントシート (Frontsheet for Flexible PV)

VIEW-BARRIER™ FDK

● ハイガスバリア性 (High Gas Barrier)
 10⁻⁶g/(m²・d)レベルの水蒸気バリア性
 85℃×85%RH環境化においても安定したガスバリア性を発揮します。
 WVTR achieves 10⁻⁶g/(m²・d) level.
 Keeping this barrier property in DH test condition (85℃×85%RH)

● 高耐久性 (High Durability)
● 加工時の寸法安定性 (Low shrinkage)
● 紫外線吸収性能 (UV-filtering and UV-resistance)

Example Structure



Figure ; Cross-section of Flexible PV

独立行政法人新エネルギー産業技術総合開発機構 (NEDO) の共同研究業務の結果得られた成果を一部活用しています。


三菱樹脂株式会社
MITSUBISHI PLASTICS, INC.
 新設事業本部 膜電部
 東京都中央区日本橋本町1-2-2 三菱樹脂ビル 4F 03-3279-3406
 三菱樹脂HP URL: http://www.mpi.co.jp
 X-BARRIER 専用HP URL: http://www.x-barrier.com

● キーワード「高耐久」については実用化が実現する場合は異なります。
 ● 性能値は試験条件に準じて算出されています。
 ● 封止材については別途の特許上、商標登録がなされています。
 ● 封止材の構造は特許で保護されています。
 ● The information and data contained in this brochure are as of March 2012.
 ● The content of this brochure may be changed without prior notice.
 ● ©2012 Mitsubishi Plastics, Inc. All rights reserved.
 ● Our printing instructions, which may vary from the actual ones.
 ● The reproduction of any data/information contained in this brochure without prior written consent is strictly prohibited.

Printed in Japan 2012.3(MPI)

図 III-2-(へ)-A-2 (2)

③高耐熱高耐候性基材の開発については、2011 年中に設定した中間目標を達成のため、先行して実用化を念頭においたロール to ロールプロセスでの量産化条件の試作検討に移行している。

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、耐熱性においてやや不十分な結果となった。生産機のライン速度が速いため、十分に耐熱処理ができなかったためと思われる。現在は十分な耐熱処理が可能な条件とすることで、生産機でも実験機の性能をほぼ再現出来ている。今後は生産性の向上とコスト低減検討を行うことにより実用化を進める予定であり、展示会にも出品し、広く成果の普及と拡販に向けた取り組みを行っている。

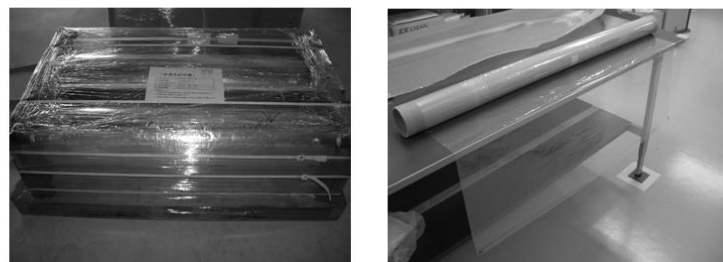
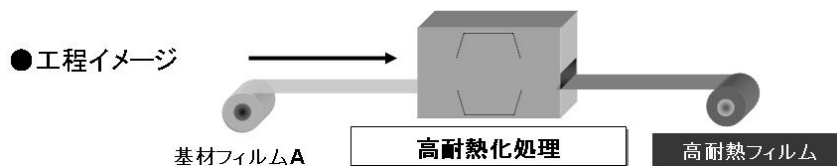


図 III-2-(へ)-A-2 (3)

MITSUBISHI PLASTICS Printable Electronics FILM

Reference
Exhibition

– High Performance Film –

- Touch Panels
- PV modules
- OLED devices
- E-papers
and next generation flexible devices.

– Characteristic –

- Heat resistance: 220 °C or more
- CTE (Coefficient of thermal expansion): < 20 ppm
- Thermal Shrinkage: < 0.1 % (220 °C, 10 min.)
- Transparency: over 90%
- Refractive Index: 1.48
- Thickness: 30-50 μm

A part of this work was supported by the New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) of Japan.

▲ MITSUBISHI PLASTICS

図 III-2-(〜)-A-2 (4)

3. 波及効果

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、及び高耐熱透明超ハイガスバリアフィルムの製造が可能となる。これら超ハイガスバリア製品は有機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り、特に高耐熱透明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した。

4. 今後の展開

今後は本研究開発項目で開発した技術を実用化するための、量産機への設備導入と、量産化条件検討を推進する。最終的には1 m超幅の高耐候性超ハイガスバリアフロントシート、高耐候性超ハイガスバリアフィルム、及び高耐熱透明超ハイガスバリアシートを三菱樹脂社の製品ラインアップに入れ事業化し、超ハイガスバリア製品群を必要とするアプリケーション広く応用できるよう展開する予定である。

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2011-173773	国内	2011/8/9	出願	透明耐熱積層フィルム	山本頼安他
三菱樹脂(株)	特願2011-180645	国内	2011/8/22	出願	積層フィルム	木下昇平他
三菱樹脂(株)	特願2011-180863	国内	2011/8/24	出願	耐熱積層フィルム	山本頼安他
三菱樹脂(株)	特願2011-182873	国内	2011/8/24	出願	透明耐熱積層フィルム	山本頼安他
三菱樹脂(株)	特願2011-203160	国内	2011/9/16	出願	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	出願	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	出願	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	出願	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	出願	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	出願	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	出願	保護シート	二宮直哉他
三菱樹脂(株)	特願2012-77147	国内	2012/3/29	出願	ガスバリア性フィルム	金井慎一郎他
三菱樹脂(株)	PCT/JP2012/0584 77	PCT	2012/3/29	出願	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/JP2012/0584 78	PCT	2012/3/29	出願	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	出願	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	出願	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	出願	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	出願	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	出願	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2012-105308	国内	2012/5/3	出願	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	出願	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	出願	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	出願	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	出願	ガスバリア性フィルム及び ガスバリア性フィルムの製	杉田健太郎他

					造方法	
三菱樹脂（株）	特願2012-108048	国内	2012/5/9	出願	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2012-108049	国内	2012/5/9	出願	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	出願	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	出願	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	出願	ガスバリア性フィルム	金井慎一郎他

【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	2012SVC	Study of the relationship between a gas-barrier property and the residual stress of films made by a Cat-CVD method	T. Tsutsumi, H. Yanagihara, H. Amanai, 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

以上

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

太陽電池普及拡大のためには大幅なコスト削減が求められている。大幅コスト削減のためには、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、セル作成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、セル作成工程、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、セル作成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。本研究開発内容は、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開発、および平成24年から追加した⑤リジッド太陽電池用封止材の開発の5項目からなる。

1-1. 中間目標に対する達成状況

以下の表Ⅲ-2-(へ)-B-1(1)に中間目標に対する達成状況を1.薄膜シリコン太陽電池用一体型シートの品質達成状況と、最近の結晶系リジット型へのニーズの高まりを鑑みて平成24年度に追加した2.リジット太陽電池用封止材の品質達成状況に分けて示す。

表Ⅲ-2-(へ)-B-1(1) 中間目標に対する達成状況

1. 薄膜シリコン太陽電池用一体型シート品質の達成状況

項目	中間目標	成果	達成度
1. 厚味精度	±5%	±4%	○
2. 接着速度	3 m/分	3 m/分	○
3. 接着強度	5 N/10mm	20N/10mm	◎
4. 透明性	90%	93%	○
5. バリア性	3 g/m ² /day	1.8g/m ² /day	○

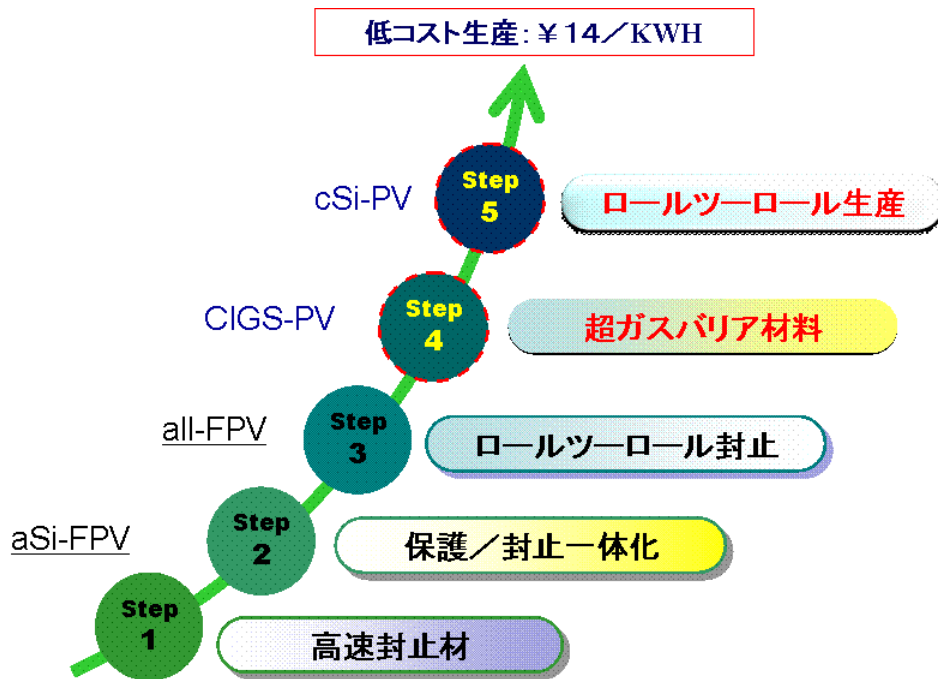
2. リジット太陽電池用封止材品質の達成状況（平成24年度追加目標）

項目	中間目標	成果	達成度
1. ラミネート適性	架橋工程不要	架橋不要	○
2. 長期信頼性	高温高湿1000H合格	高温高湿 1000Hまで	○
3. 耐熱性	EVA同等	熱挙動EVA同等以上	○

平成24年度に上市を目指している1. 薄膜シリコン太陽電池用一体型シートについては、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できる世界で唯一の材料開発に成功しており、ラミネート速度としては、目標とする3 m/分を達成し、キーマテリアルである封止材及び保護シート一体品の品質においては、接着強度の信頼性にて大幅に目標値を上回っており、他の要求品質と合わせても表Ⅲ-2-(へ)-B-1(1)の1で示したように全品質項目について達成している。

さらに、平成24年度から検討を開始した2. リジット太陽電池用封止材品質については、薄膜シリコン太陽電池用封止材の技術を水平展開し、現行品であるEVA同等以上の熱挙動を維持し、架橋工程を必要としないことを確認している。現在85℃、85%RHにおけるダンプヒート促進試験環境下での長期信頼性確認試験を実施中であり、現時点において中間目標である1000Hまでの品質安定性が確認された。

本プロジェクトの最終目標は、太陽電池モジュールの低コスト生産が可能となる技術を開発することにより、2020年における発電コスト14円/kWhに貢献することにある。そのための開発ステップとして、以下の図III-2-(へ)-B-1(1)に示す5つのステップを目標としており、



図III-2-(へ)-B-1(1) 開発ステップと目標

これまで、高速封止材を開発し、保護層との一体化、ロールツーロール封止を可能とすることにより、ステップ3段階のフレキシブル太陽電池のロールツーロール封止を達成した。現在はステップ4の段階にあり、超ガスバリア性を有する保護層を開発することにより、化合物系、有機系太陽電池にも対応できる技術の完成を目指している。同時にロールツーロール封止技術の結晶系太陽電池への展開にも注力している。

1-2. 開発項目毎の達成度

① 封止材の開発に関しては、

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、瞬間的な封止が可能であり、長時間においても十分な接着強度を保持する高速封止材の設計に取り組んだ。検討の結果、開発した高速封止材においてタクトタイムの75%を削減できることが実証された。

② 保護シートの開発に関しては、

薄膜シリコン太陽電池用一体型シートとしては、現行品質であるバリア性 $3 \text{ g/m}^2 \text{ day}$ に対し、 $1.8 \text{ g/m}^2 \text{ day}$ と約2倍の優れたバリア性を有する保護シートの開発に成功している。

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 $10^{-5} \text{ g/m}^2 \cdot \text{day}$ 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。一方で当社は有機無機ハイブリット膜と緻密無機膜からなる多層膜での検討を実施し、高い透明性と優れたバリア性を有することを確認している。

③ 封止材／保護層の一体化検討に関しては、

検討①②で得られた封止材と保護層を一体多層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、促進試験にて2000時間を超える非常に安定的な接着強度を有する封止材／保護層一体化シートの製造に成功している。

④ ラミネート封止技術の開発に関しては、

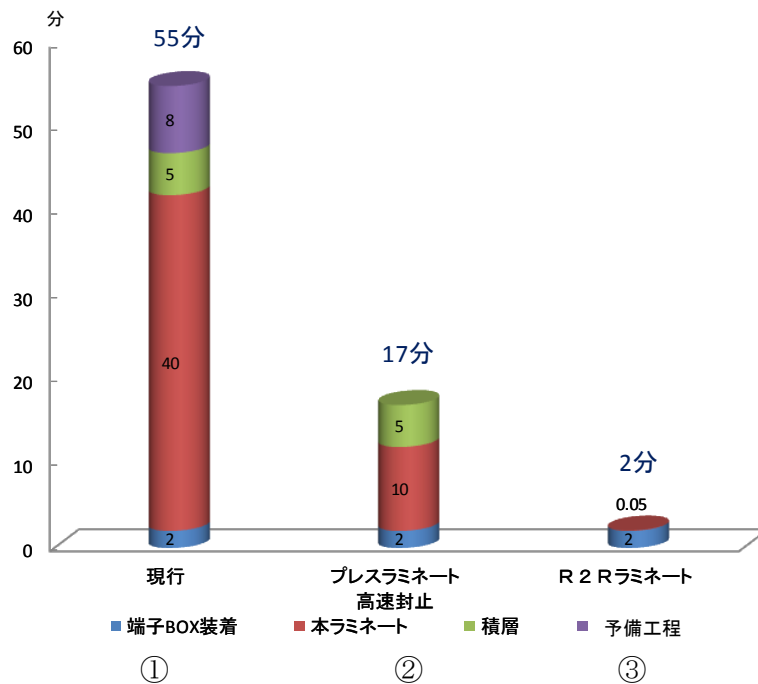
当社が独自に開発したロールツーロールラミネート設備と①で開発した瞬間接着性ポリマーにより、世界初となるロールツーロールプロセスによるモジュールの封止を実現することに成功した。さらに中間目標とする3m/分のロール封止速度を達成しており、生産性を飛躍的に高めることに成功した。

⑤ リジット太陽電池用封止材の開発に関しては、

封止材組成に関する最適化検討を、原料である接着性ポリマーの製造技術も含めて検討を進めており、ラボ検証により封止速度を20倍まで高めることができることが分かった。さらに、ロール封止技術で培ったロールツーロールラミネート技術を応用してリジット太陽電池へ適用可能なラミネート設備の設計に着手し始めている。長期信頼性についても、中間目標である1000時間に合格が確認されている。

1-3. 研究開発成果の意義

図Ⅲ-2-(へ)-B-1(2)に、本研究開発を通じての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で示す。



図Ⅲ-2-(へ)-B-1(2) モジュール製造時間の推移

図Ⅲ-2-(へ)-B-1(2)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。

1-4. 最終目標の達成可能性

表Ⅲ-2-(へ)-B-1(2)に残る研究課題と最終目標およびその達成の見通しについて示す。

表Ⅲ-2-(へ)-B-1(2) 研究課題と最終目標

研究課題	最終目標	達成見通し
①超ガスバリア量産	$10^{-5}\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$	ラボ多層化にて $10^{-5}\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$ に目処
②接着信頼性確認	Damp Heat 試験 3000H合格	同種材料で効果確認済み
③ロール封止高速化	6m/分の実現	問題点抽出済/解決手法着手
④封止材の低コスト化	14円/KWh	材料コスト削減着手

1-5. 知的財産権

表Ⅲ-2-(へ)-B-1(3)に平成24年7月25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(3) 年度毎の特許、論文、外部発表等の件数

	H20	H21	H22	H23	H24	計
論文投稿	1	1	0	0	0	2件
研究発表	1	1	0	0	0	2件
特許出願	0	2	12	10	3	27件
海外特許	1	1	2	7	1	12件
特許登録	0	0	0	1	0	1件
新聞発表	0	0	0	1	0	1件

表Ⅲ-2-(へ)-B-1(3)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ている。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、さらに平成24年1月19日に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の新聞発表を行っている。

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。

年度		H24上	H24下	H25	H26	H27	H28
製品 ロードマップ	事業化計画	aSi系 → 事業化		ロール封止 → 事業化			
		化合物系フレキシブル → 事業化					
		cSi系リジット(ロール封止) → 事業化					
	技術ロードマップ	● 保護/封止一体化					
		● 高速封止					
		● ロール封止 6m/分					
		▲ リジット系ロール封止					

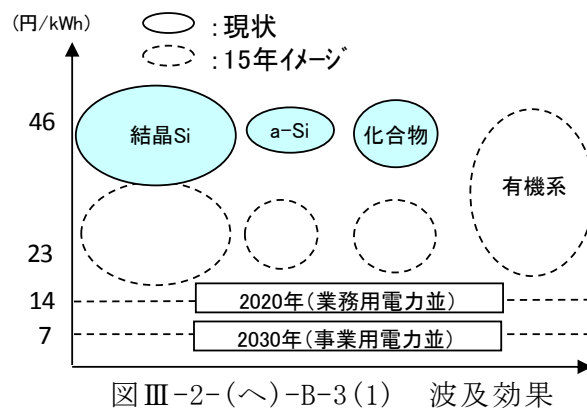
● : 基本技術確立 ▲ : 基本原理確認

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、部材の一体化と高速封止、さらに世界で初めてとなるロールツーロール封止による大幅なコスト低減策が大きな優位化ポイントになると考えており、平成25年以降の事業化を予定している。

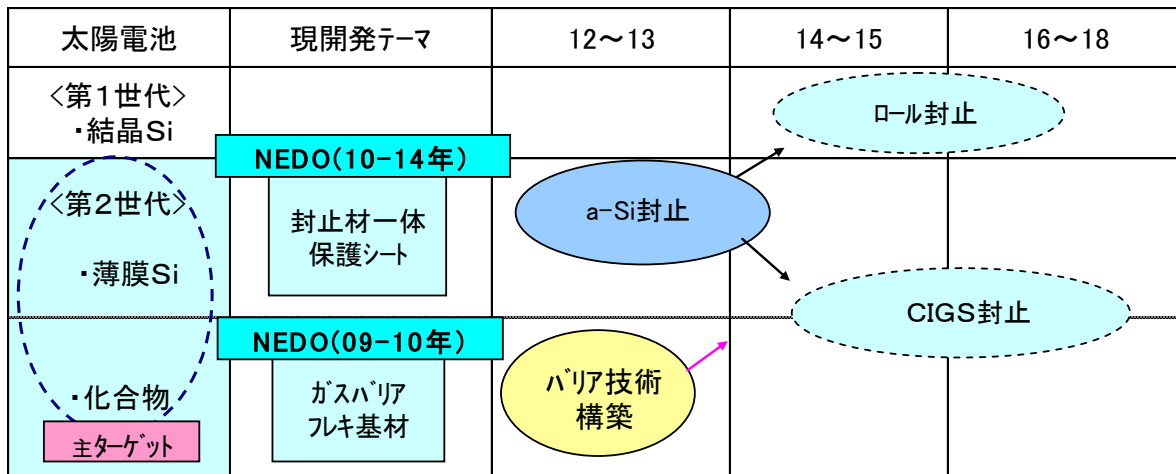
3. 波及効果

開発した高速封止技術およびロール封止技術を生かし、薄膜系のアモルファス薄膜太陽電池用から第2世代の化合物系、有機系へと展開する。さらに平成24年度から検討をはじめた結晶シリコン系リジット太陽電池へもこの技術を応用し、図III-2-(へ)-B-3(1)に示した様に、最終的に全てのタイプの太陽電池にこの技術を展開することで、2020年における発電コスト14円/KWhの大幅コストダウン実現に貢献することを目指している。



4. 今後の展開

図Ⅲ-2-(へ)-B-4(1)に本技術の今後の展開を示す。



図Ⅲ-2-(へ)-B-4(1) 本技術の展開

図Ⅲ-2-(へ)-B-4(1)に示したように、第一ターゲットとして薄膜系太陽電池を狙う。アモルファスシリコン系から化合物系まで幅広い分野への応用展開を期待しており、開発した一体化製品とロール封止技術の実現によるプロセスコストの低減を狙っている。さらに、結晶シリコン系へのロール封止技術の展開を模索しており、ロール封止による大幅コストダウンによる太陽電池業界全般への大幅コストダウンの波及を狙っている。

5. 特許論文リスト

表Ⅲ-2-(へ)-B-5(1)に、平成24年7月25日時点での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	計
特許出願(うち外国出願)	14(2)	17(7)	4(1)	35件※1
論文(査読付き)	0	0	0	0件
研究発表・講演(うち国際会議)	0	0	0	0件
新聞・雑誌等への掲載	0	1※2	0	1件
受賞実績	0	0	0	0件
展示会への出展	0	0	0	0件

表Ⅲ-2-(へ)-B-5(1)※1に示した様に戦略的に特許出願を行っている。

※2は、日本経済新聞 平成24年1月19日付の発表を示す。

さらに、表Ⅲ-2-(へ)-B-5(2)に共同研究期間中の平成24年6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	公開	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	公開	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	出願	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 2011-061594	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

1 5	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
1 6	積水化学工業	特願 2011-086381	国内	2011/4/8	出願	フレキシブル太陽電池モジュール	飛鳥政宏他
1 7	積水化学工業	特願 2011-086382	国内	2011/4/8	出願	フレキシブル太陽電池モジュール	飛鳥政宏他
1 8	積水化学工業	特願 2011-092377	国内	2011/4/18	出願	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
1 9	積水化学工業	特願 2011-196414	国内	2011/9/8	出願	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
2 0	積水化学工業	特願 2011-539835	国内	2011/9/16	出願	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
2 1	積水化学工業	特願 2011-539826	国内	2011/9/16	公開	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
2 2	積水化学工業	PCT/2011/071274	PCT	2011/9/16	公開	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
2 3	積水化学工業	PCT/2011/071267	PCT	2011/9/16	公開	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
2 4	積水化学工業	特願 2011-540243	国内	2011/9/20	出願	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
2 5	積水化学工業	特願 2011-540257	国内	2011/9/20	出願	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
2 6	積水化学工業	特願 2011-540256	国内	2011/9/20	出願	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
2 7	積水化学工業	PCT/2011/071378	PCT	2011/9/20	公開	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
2 8	積水化学工業	PCT/2011/071361	PCT	2011/9/20	公開	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
2 9	積水化学工業	PCT/2011/071366	PCT	2011/9/20	出願	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
3 0	積水化学工業	台湾 100133853	外国	2011/9/21	出願	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
3 1	積水化学工業	台湾 100133854	外国	2011/9/21	出願	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

3 2	積水化学工業	特願 2011-222089	国内	2011/10/6	出願	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
3 3	積水化学工業	特願 2011-272088	国内	2011/12/13	出願	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
3 4	積水化学工業	特願 2012-068088	国内	2012/3/23	出願	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
3 5	積水化学工業	特願 2012-070249	国内	2012/3/26	出願	太陽電池モジュール用充填材シート	平池宏至他
3 6	積水化学工業	特願 2012-093305	国内	2012/4/16	審査請求	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
3 7	積水化学工業	米国(予定)	外国	2012/7/26	審査請求	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
3 8	積水化学工業	EP(予定)	外国	2012/7/26	審査請求	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
3 9	積水化学工業	中国(予定)	外国	2012/7/26	公開	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

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) 中間目標の達成状況と本成果の意義

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 部品点数削減率（50%以上）および据付作業に必要な人員・時間の低減率（20%以上）の目標値の妥当性を検証し、最終目標値を確定

<中間目標の達成状況>

ガラス繊維強化ポリエステル押出グレード（硬質樹脂）と建材用途で実績のあるエラストマー材料を選定し、押出成形技術の開発を株式会社タケチ（再委託先）と開始。要素技術として、1) 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asket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) 樹脂の特性を生かしたボルト・ナットレスの据付部品のプロトタイプを開発し、従来据付技術に対して最大62%の部品点数削減を達成。23年度に特許申請が完了した。

続いて、部品点数最大62%削減の人員・時間低減率への影響を調査するため、試作品にて4枚の模擬モジュールを金属折板屋根に取り付ける据付実験を行った。同時にこの開発システムを基にモジュールメーカーおよびシステムインテグレーターとの対話を通し、対象市場により時間低減率は異なるが、モジュール取り付け工程20%の低減目標は妥当であることを確認した。

<本成果の意義>

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、ボルトレス・ナットレスの樹脂製据付システムは世界初で競争力のある技術といえる。据付工程の簡便化は太陽電池システムのトータルコストダウンに寄与し、太陽光発電の市場拡大を加速させる。

② 新規開発した機能複合化部品について10～20年相当以上の耐久性の実証

<中間目標の達成状況>

据付部品の耐火炎試験を実施した。現在の樹脂製据付部品の試作品にバックシート系モジュールを模したダミーモジュールを設置し、IEC61730-2に規定される火炎伝播試験を行い、クラスCに合格することを確認した。

加えて、候補材料の耐加水分解性検証試験を行った。IEC61215準拠の高温高湿試験（85℃, 85%）を行い、3000h後でも91%の引張強度を維持することを確認。また、据付部品材料選定を効率的に行うため、PCT試験を導入し高温高湿試験との相関をとるなど、樹脂耐候性の試験手法の研究も着手した。

<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ため、国内モジュールメーカーやシステムインテグレーターが開発・採用に慎重に

なりがちである。樹脂の信頼性実証は、太陽電池据付分野への樹脂部材の普及を加速させる。

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 新規モジュール構造について、従来型ガラス/ガラス構造のモジュールと比較し50%以上の軽量化、かつ10～20年相当以上の耐久性の実証

<中間目標の達成状況>

据付工法の自由度を向上するための第1段階として、モジュールの耐荷重性の向上による軽量化を行った。材料選定の結果、アイオノマー樹脂と1.1mm薄板ガラスで構成されたモジュールにて、現行のガラス/ガラスモジュールに対して50%の軽量化しつつ特定のサイズ・構成で荷重試験に合格することを確認した。現在、この技術を元に、様々なサイズ・据付け方法・フレームの有無などの条件に対して、強度上必要なガラス・樹脂厚みを簡易的な実験と計算から予測する手法を開発している。

また同モジュールでIEC61215準拠の高温高湿試験1000時間、温度サイクル試験200サイクルにフレーム有り・無しのどちらにおいても合格（出力低下5%以下を達成）することを確認した。

<成果の意義>

本開発では弊社アイオノマー樹脂と薄板ガラスの組み合わせで世界最軽量レベルガラス/ガラスモジュールを実現。この耐荷重性向上技術はあらゆる据付システムに適したモジュールを設計手法に発展させることができる点で汎用性を有する。また、フレームなし（フレームレス）での信頼性実証は据付部材デザインの設計自由度を高める。



図Ⅲ-2-(へ)-C-1(1) 本プロジェクトで開発した3つの要素技術

表Ⅲ-2-(へ)-C-1(1) 研究開発項目ごとの成果・達成度

テーマ	中間目標	成果	達成度
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	部品点数削減率（50%以上）および据付作業に必要な人員・時間の低減率（20%以上）の目標値の妥当性を検証し、最終目標値を確定	<ul style="list-style-type: none"> ・ボルトナットレスで部品点数が最大 62%削減された据付部品プロトタイプを開発 ・20%の取り付け工程削減を最終目標とすることで確定 	◎
	新規開発した機能複合化部品について 10～20 年相当以上の耐久性を実証する	<ul style="list-style-type: none"> ・IEC61730 準拠の火炎伝播試験クラス C に合格することを確認 ・高温高湿試験 3000h で 91%の引張強度を維持することを確認 	○
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	新規モジュール構造について、従来ガラス/ガラス構造のモジュールと比較して 50%以上の軽量化、かつ 10 年～20 年相当以上の耐久性（高温高湿試験 1000 時間後に出力低下 5%以下を達成）を実証する	<ul style="list-style-type: none"> ・従来型ガラス/ガラス構造のモジュールと比較し特定サイズで約 50%の軽量化を達成 ・フレームあり・なしの両方で、高温高湿試験 1000 時間・温度サイクル試験 200 サイクルに合格（出力低下 5%以下） 	○

達成度→ 大幅達成：◎、 達成：○、 達成見込み：△、 達成不可：×

表Ⅲ-2-(へ)-C-1(2) 各成果の意義と評価項目との対応

テーマ	成果	成果の意義	評価項目
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	樹脂を用いたボルトナットレスの据付システムにより部品点数を最大 62%削減	樹脂によるボルトレス・ナットレスの据付部材は世界でも類を見ない	世界初 技術領域の開拓 競合優位性
		太陽光発電のトータルコストダウンに寄与し、市場の拡大を加速させる	市場拡大・創造
	樹脂信頼性を火炎伝播試験と高温高湿試験で確認	樹脂の信頼性実証は、太陽電池据付分野への樹脂部材の普及を加速させる	市場拡大・創造 競合優位性

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	アイオノマー樹脂による耐荷重性向上技術とガラス薄肉化による軽量化と、フレームあり・なしで高温高湿試験 1000 時間、温度サイクル試験 200 サイクルへの合格	あらゆる据付システムに適したモジュールの設計手法に発展可能	成果の汎用性 技術領域の開拓
		最軽量レベルガラス/ガラスモジュールを実現	競合優位性 世界最高水準
		据付部材デザインの設計自由度向上	成果の汎用性 技術領域の開拓

(2) 成果の普及

表Ⅲ-2-(へ)-C-1(3) 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	1	0*	1 件
論文 (査読付き)	0	0	0	0 件
研究発表・講演 (うち国際会議)	0	0	0	0 件
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0	0 件
受賞実績	0	0	0	0 件
展示会への出展	0	1	0	1 件

平成 24 年度 6 月 20 日現在

*現在 2 件準備中

PV EXPO 2012 出展

名称：PV EXPO 2012

会期：平成 24 年 2 月 29 日～平成 24 年 3 月 2 日

会場：東京ビッグサイト東西ホール

内容：弊社ブースにて鉄板屋根設置の樹脂据付部材とフレームレスモジュールを展示

意義：数々のモジュールメーカー、システムインテグレーターの注目を集め、この展示会をきっかけにこれら顧客との対話が始まった



図Ⅲ-2-(へ)-C-1(2) PV EXPO 2012 での展示の様子

(3) 平成 26 年度最終目標達成見通し

表Ⅲ-2-(へ)-C-1(4) 平成 26 年度最終目標達成見通し

最終目標（平成 26 年度末）	達成見通し
機能複合化による部品点数の削減率（50%以上）、および据付作業に必要な人員、時間の低減率（20%以上）を達成する	すでに要素技術は開発しており、後はそれらをモジュールメーカーおよびシステムインテグレーターとの協業を通して最適化することで目標が達成できると考える
前期研究開発で開発した機能複合化部品、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 10～20 年相当以上の耐久性を達成する	すでに 10 年以上の屋外使用実績のある弊社の樹脂を使用した部品を入手・分析し、加速劣化試験との相関を取り、必要な加速試験の条件を決定し、その条件で、据付システムとモジュールを組み合わせて試験することで目標が達成ができると考える

2. 実用化・事業化見通し

(1) ユーザーニーズへの合致

太陽光発電のシステムコストは年々低下しているが、依然として他のエネルギー源と比較すると発電コストは割高であるため、太陽光発電を更に普及させていくためには、システムコストの低減が喫緊の課題であることに変わりない。現在、住宅用システムは約 480 円/W、公共産業用システムは約 325 円/Wと言われている。一方、太陽電池モジュールの価格低下は急激に進み、現在の国内メーカーのモジュール価格は平均 172 円/Wである。太陽光発電システム価格におけるモジュール以外のコストの割合は、住宅用では 64%、公共産業用で 47%と高い割合を占めている。

その一方、太陽電池市場の爆発的拡大に伴い、据付の人手が不足が見込まれるており品質の低下が懸念されているにつながっている。工期短縮が実現されれば、太陽光発電の導入スピードをより早めることが可能となる。

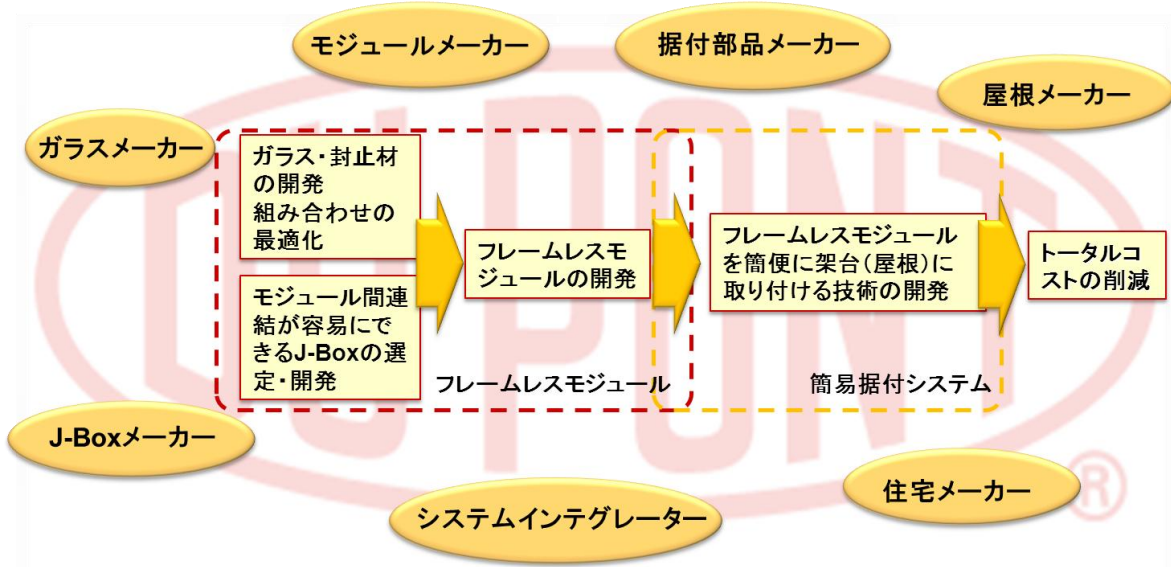
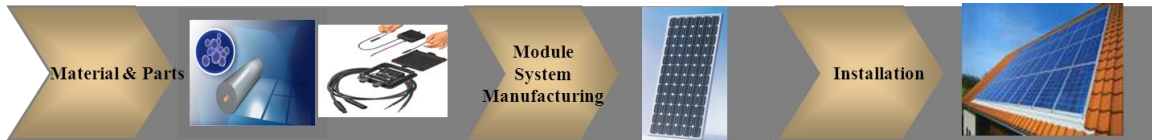
太陽電池取り付け工程の最も手間のかかる部分として、ボルト締め・ナット締めが挙げられる。屋根の上など作業しにくい場所において、細かいボルト・ナット・ワッシャー類を取り扱うのは煩雑であり、締め忘れが発生したりする。

本プロジェクトで目指すボルト・ナットレスの据付システムは据付工程を信頼を維持したまま簡便化し、太陽光発電のコストダウンおよび拡大普及に大きく貢献する。

(2) 本プロジェクトにおける実用化の定義と実用化のシナリオ

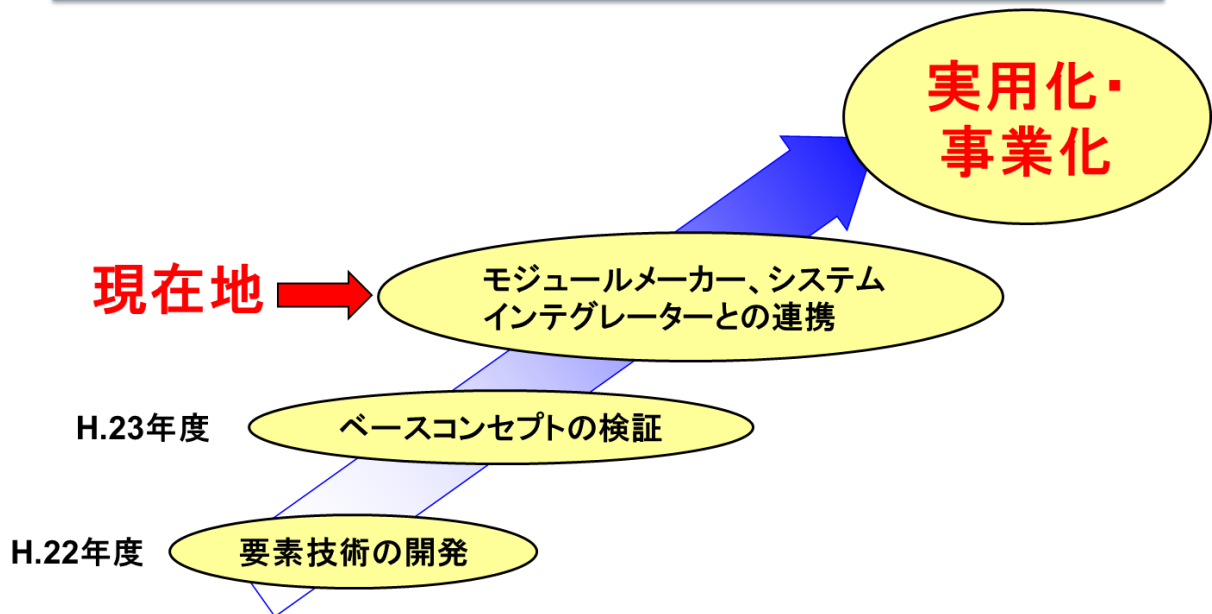
本プロジェクトにおける実用化・事業化の定義は、本プロジェクトで開発した 3つの要素技術をモジュールメーカー、システムインテグレーターにて製品化することとする。

本コンセプトの実用化・事業化は材料メーカーである弊社だけでは困難であり、太陽光発電の川上から川下まであらゆる企業とのパートナーシップが重要となる。一方、これまでなかった樹脂による据付部材のコンセプトは具体的な形や価値が明確にならない限り、モジュールメーカーやシステムインテグレーターとの協業は難しい。よって本プロジェクトでプロトタイプを開発し、タケチ株式会社をはじめとする協業の輪をひとつずつ川下側に広げていく戦略をとった。



図Ⅲ-2-(へ)-C-2(1) 本開発のパートナーシップのスキーム

開発した3つの要素技術をもとにモジュールメーカー、システムインテグレーターにて簡便据付システムを製品化する。



図Ⅲ-2-(へ)-C-2(2) 実用化・事業化の定義とシナリオ

(3) 競合技術に対する優位性

本プロジェクトで開発した要素技術の競合優位性は下記のとおり。

- a. 金属では困難なボルト・ナットレスの工法により、従来の据付工法と比べ工期の短縮が見込まれる
- b. 簡便な工法により、取付けの人為ミスを減らし、システムの取付け不良率削減効果が見込まれる
- c. モジュールの軽量化により施工時の取り扱いが容易になる
- d. 屋根置き用途の場合、取り付け部品の軽量化、モジュール軽量化により建屋への負担が少ない

(4) 実用化・事業化までの課題

a. 最終的仕様の決定と製品化

今年度までに開発した要素技術を基に、設置箇所・用途別に最終的仕様を決定し製品化する。

b. 樹脂据付部材の信頼性データの取得

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ために、国内モジュールメーカーやシステムインテグレーターが開発・採用に慎重になりがちである。説得力を持たせるために、樹脂耐候性の検証データがひとつの大きな材料となる。

表Ⅲ-2-(へ)-C-2(1) 実用化に向けた課題と解決手段

	課題	解決手段
(1)	最終的仕様の決定と製品化	モジュールメーカー、システムインテグレーターとの協業による製品開発
(2)	樹脂部材の長期耐久性への懸念の払拭	樹脂据付部材の信頼性データの取得

3. 波及効果

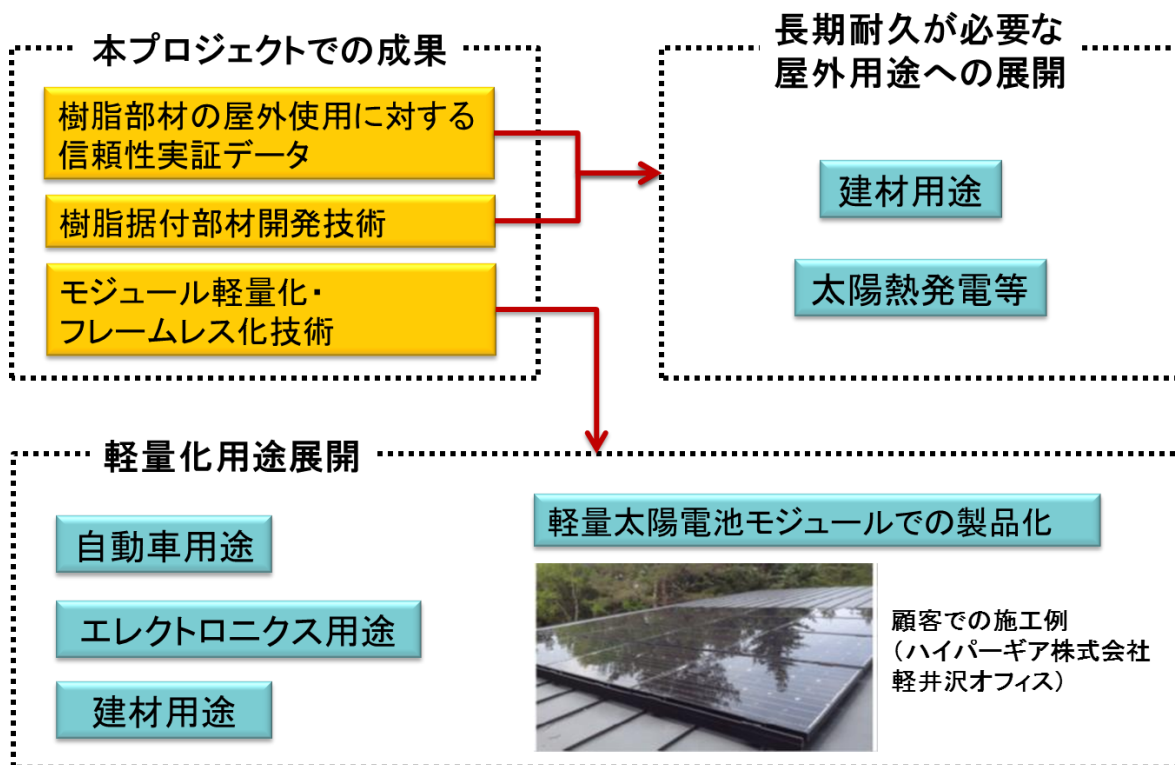
(1) 関連分野での波及効果

a. 長期耐久が必要な屋外用途

モジュール軽量化による太陽電池設置箇所の拡大。特に屋根置き用途において建屋の耐荷重が不十分なために太陽電池が設置できない事例があり、モジュール軽量化はそのような箇所への設置を可能にする。すでに軽量化モジュールとしてモジュールメーカーからの引き合いが来ており、モジュールメーカーの簡便据付システムとの組み合わせですでに実用化が決まった。最初の実績としてハイパーギア株式会社の軽井沢オフィスに施工された。太陽電池の据付のみならず、太陽熱発電など屋外に長年置いておく機器、建材用途等、他分野での応用展開が期待される。

b. その他軽量化用途

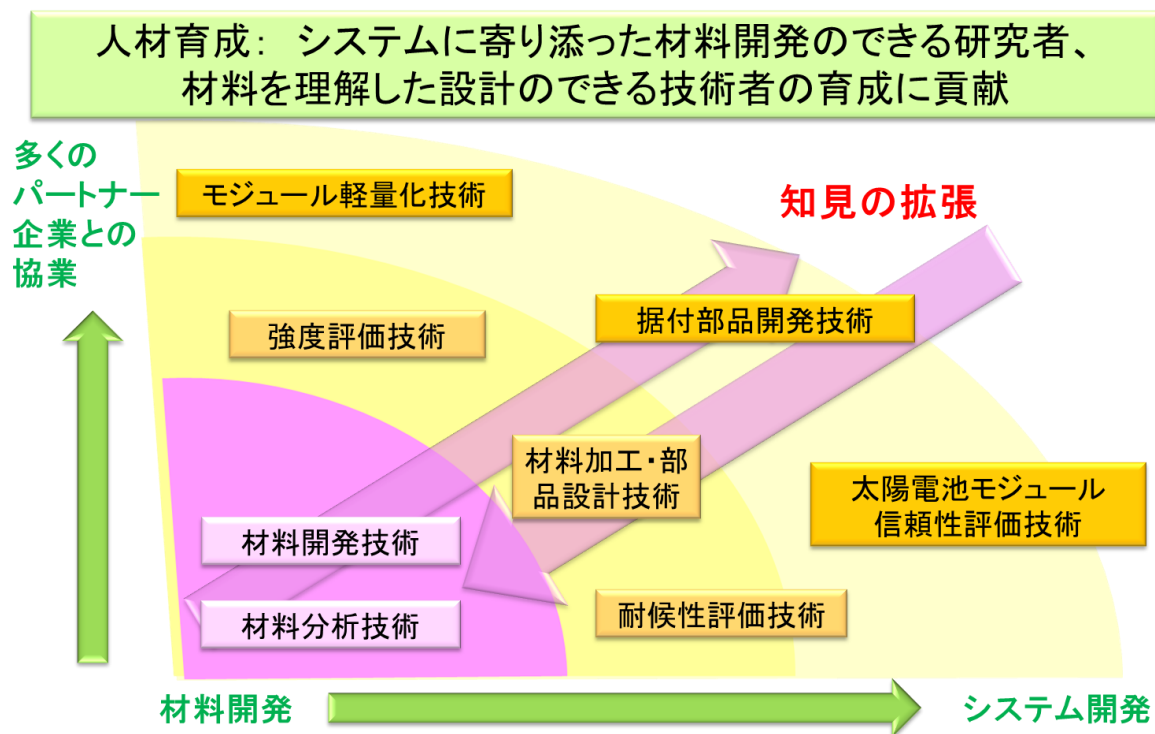
自動車用ガラス軽量化および高信頼性化、ディスプレイ用前面保護ガラス軽量化および高信頼性化への展開が期待されている



図Ⅲ-2-(へ)-C-3(1) 本プロジェクトの波及効果

(2) 人材育成

本プロジェクトでは、材料技術に強みを持つ弊社が太陽電池のシステム側への提案と開発を行い、その際パートナー企業との協業が生じた。その結果、弊社材料技術者はシステムに寄り添った材料開発のできるようになり、またパートナー企業もより材料を理解した設計ができるようになった。



図Ⅲ-2-(へ)-C-3(2) 人材育成

4. 今後の展開

(1) モジュールメーカー、システムインテグレーターを通して製品化

今年度までに開発した要素技術を基に、今後はモジュールメーカーおよびシステムインテグレーターにおいて、設置箇所・用途別に製品開発を行う。すでにモジュールメーカーやシステムインテグレーターとの対話を開始しており、多くが関心を示している。

(2) 樹脂据付部材の信頼性データの取得

樹脂の長期耐久性を検証する。高温高湿試験、UV照射試験などの加速劣化試験と実際の屋外暴露試験との相関をとる。またその根拠となる化学的メカニズムを解明することで、樹脂据付部材の信頼性を裏づける。

(3) あらゆる据付システムに対応するモジュール設計技術の確立

本年度までに開発した太陽電池モジュールの耐荷重性向上技術を基に、あらゆる据付システムに対応するモジュールの耐荷重評価・予測・設計技術を確立する。また、最も高い耐候性が求められるフレームレスでの耐候性を様々なモジュール構成において評価し高温高湿試験1000時間以上、温度サイクル試験200サイクル以上の耐久性を検証する。

5. 特許論文リスト

表Ⅲ-2-(へ)-C-5 (1) 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	デュポン株式会社 株式会社タケチ	特願 2011 -276423	国内	平成 23 年 11 月 30 日	出願	MOUNTING BRACKET FOR PHOTOVOLTAIC MODULES	勘田 真史 藤田 進 武智 義加 池端 早苗

*他 2 件を準備中

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

表Ⅲ-2-(へ)-D-1(1) 研究開発項目ごとの成果・達成度

中間目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
<p>I) 発電量評価技術の開発 イ) 発電量評価 I - イ) -a. 発電量定格技術 (AIST, JWA) (i) 発電量定格方式の研究開発 (AIST) : モード発電量を5%未満の精度で算出する測定法を開発する。 (ii) 日射スペクトルデータの全国整備に関する研究 (JWA) : 発電量定格のための各地域の日射スペクトルデータを整備する。</p>	<p>(i) 発電量定格方式の研究開発 : 結晶シリコン系太陽電池のモード発電量を±5%未満の精度で算出する測定法及び算出法を開発・検証した。 (ii) 日射スペクトルデータの全国整備に関する研究 : 今年度前半にモデルの開発見込み。日射量を観測している気象官署(約50地点)について、1年分の日射スペクトルデータを2013年2月に完成見込み。</p>	○	なし
<p>I - イ) -b. 発電量予測技術 (AIST, GU, JWA, UT, MRI) 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。 (i) 分散・広域発電量予測技術の研究開発 (AIST) : 現状の気象パラメータを利用した、分散発電量予測モデル、広域発電量予測技術モデルを開発する。 (ii) 気象パラメータ予測技術の研究開発 (MRI) : 気象パラメータ予測モデルを試作、改良する。 (iii) 分散日射量予測技術の研究開発 (GU) : 分解能10kmの気象パラメータから、分解能2kmの気象パラメータを推定可能とする。24時間以上先の直達・散乱日射スペクトル強度を予測可能とする技術を開発する。 (iv) 広域日射量予測技術の研究開発 (JWA) : 気象モデルの改良による広域日射量予測精度の向上。気象衛星観測データから算出した広域日射量メッシュの整備。 (v) 分散・広域発電量応用評価技術 (UT) : 電力システム解析・評価モデルを開発し、発電量予測技術仕様の設定。発電量予測のための発電量のモニタリング手法の策定。</p>	<p>(i) 分散・広域発電量予測技術の研究開発 : 試作モデルを開発し、分散予測誤差が0.15kWh/kW、広域予測誤差が約0.07kWh/kWであることを示した。 (ii) 気象パラメータ予測技術の研究開発 : 予測誤差の大きな日について詳細なシミュレーションを実施し、各気象パラメータの影響度を評価した。 (iii) 分散日射量予測技術の研究開発 : 空間分解能1kmで気象パラメータの推定を可能とした。33時間先での直達・散乱日射スペクトル強度を予測することを可能とした。 (iv) 広域日射量予測技術の研究開発 : 気象モデルの改良を行った。日射量予測データを産総研、東大へ提供する。衛星日射量メッシュを作成し、さらなる精度向上を検討中。 (v) 分散・広域発電量応用評価技術 : 電力システム解析・評価モデル開発を完了し、国内の一部地域のデータに基づく分析を可能とする。上記データにより、システムの安定性、経済性などの面から発電予測の要求仕様を設定し、発電量予測を実施するための発電量モニタリング手法を提案する。</p>	○	なし
<p>ロ) 太陽電池の性能評価 (AIST) I - ロ) -a. 太陽電池性能評価技術 (AIST) (i) 太陽電池実効性能評価技術の研究開発 : IEC規格等に定められた光照射条件・範囲が性能におよぼす影響を定量化する。太陽電池モジュール分光感度の温度依存性測定技術を明らかにする。 (ii) 屋外高精度性能評価技術の研究開発 : 屋外測定における各種測定条件が屋外測定結果におよぼす影響を定量化し、補正技術を明らかにする。 (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。</p>	<p>(i) 太陽電池実効性能評価技術の研究開発 : IEC規格等に定められた光照射条件の影響を定量化。条件範囲内で5%以上差が出る場合があることを見出した。各種太陽電池モジュールの分光感度温度依存性を精度良く測定できる技術を開発した。 (ii) 屋外高精度性能評価技術の研究開発 : 現状の屋外性能評価技術を検証し、Isc測定誤差(1~3%)、次いでVoc(~1%)が影響を与えることを明らかにした。 (iii) 各種新型太陽電池性能評価技術の研究開発 : NEDO開発品等各種新型太陽電池等の測定約190件を施し、高精度化のための要素技術を開発すると共に、IEC規格60904-8(分光感度測定法)等の開発成果を日本から標準化にむけ提案。欧米、アジアとのモジュール国際比較測定等により、国際整合性を検証。今後の課題を明らかにした。</p>	○	なし

平成24年度中間目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
<p>I - ロ) -b. 基準太陽電池校正技術 (AIST)</p> <p>(i) 精密構造型 WRR 絶対放射計測技術 : 精密構造型 WRR 絶対放射計を実現し、性能を実証する。超高温定点黒体炉の併用による一次基準太陽電池セル校正技術の不確かさ改善を実証する。</p> <p>(ii) 絶対分光感度法による一次校正技術 : 絶対分光感度測定可能波長 3 波長以上を達成する。</p> <p>(iii) 二次基準モジュールの校正精度 : 相対分光感度測定可能面積 6cm 角以上で相対測定精度 1%を達成する。</p>	<p>(i) 精密構造型 WRR 絶対放射計を実現し、性能を実証できた。超高温定点黒体炉の導入を完了見込。導入後の一次校正の不確かさのシミュレーションに基づくモンテカルロ法での推定で、0.72%から 0.65%への改善見込。</p> <p>(ii) 絶対分光感度法による一次校正技術 : トラップディテクタと基準波長レーザの組み合わせで 5 波長を達成見込み</p> <p>(iii) 二次基準モジュールの校正精度 : 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不確かさ 0.90%。</p>	○	なし
<p>II) 信頼性評価技術と長寿命化技術の開発</p> <p>I) モジュール・機器耐久性評価技術</p> <p>II-イ) -a 高信頼性モジュールの認証試験技術 (PVTEC)</p> <p>・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。</p> <p>II-イ) -b. 新規信頼性試験方法の開発 (AIST) :</p> <p>(i) 新加速試験技術の研究開発 : ミニモジュールでサイクリック試験の結果をとりまとめ、フルサイズモジュールへの適用可能性を判断し、装置要件抽出を行う。新規加速試験方法のフィージビリティ・スタディを行い、そのうち 1 種以上について、実験・評価を行う。</p> <p>(ii) モジュール内水蒸気浸入経路調査方法の研究開発 : 透過率に換算して 10-2 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する。結晶系、薄膜系の双方において、バックシートタイプ、ダブルガラスタイプいずれものテストモジュールの作製方法を確立し、当該調査に適用する。</p>	<p>・高信頼性モジュールの認証試験技術 (PVTEC) 国内外の PV システム、文献調査を継続実施し、26 サイトを目標に事例収集する。試験・調査結果から得られたモジュール出力と、ストレス（紫外線、モジュール温度、温度差、湿度）との関係を取り纏め、劣化事象の発生要因を推定する。</p> <p>(i) 新加速試験技術の研究開発 : サイクリック試験および逆バイアス定電流試験により、屋外での実使用条件下で起こる外観劣化（焦げ、膨らみ）および IV 特性の劣化（直列抵抗、シャント抵抗）加速試験として有効であることを確認。フルサイズモジュールへの適用性を確認、要件抽出した。加重抜重方式の実験評価を行った。</p> <p>(ii) モジュール内水蒸気浸入経路調査方法 : 透過率 10-2g/m2day までの水蒸気の浸入経路の調査方法、テストモジュールの作製方法を確立し、調査を実施した。信頼性改善に有用な新知見を得た。</p>	○	高信頼性モジュールの認証試験技術は予定通り進捗しており、24年度中に達成見込。 (i)(ii)は達成済
<p>II-ロ) システム点検技術 (AIST、PVTEC) : 10 年程度経過した PV システム約 300 件の発電データ収集および分析を行う。また、オンサイト点検において気象センサを利用して発電性能 10%低下を検出可能な手法の開発を行う。</p> <p>II-ハ) 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、周辺システムを含めた高信頼性 PV システムを実現するための技術課題を明示し、必要な基盤技術の確立を目指した調査を実施する</p>	<p>II-ロ) システム点検技術 (AIST、PVTEC) : IV カーブ測定によるシステムの点検に関して、線形内挿法を基本とした技術開発を行い、発電性能 10%低下を検出可能な手法を開発した。約 300 件の長期的な実運転性能データベースを構築する。</p> <p>II-ハ) 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) : 3 つにブレイクダウンし、個別に分科会で調査検討を実施し、本年度中の完了を見込んでいる</p>	△	発電運転データ収集、調査共に予定通り進捗しており、24年度中に達成見込
<p>III リユースモジュール健全性試験技術 (PVTEC)</p> <p>・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</p>	<p>III リユースモジュール健全性試験技術 (PVTEC) : リユースモジュールが具備すべき最も基本的な要求である絶縁性能の要求値の決定を目標とし、必要なデータを収集した。</p>	△	データ収集が予定通り進捗しており、24年度中に達成見込

イ) 発電量評価

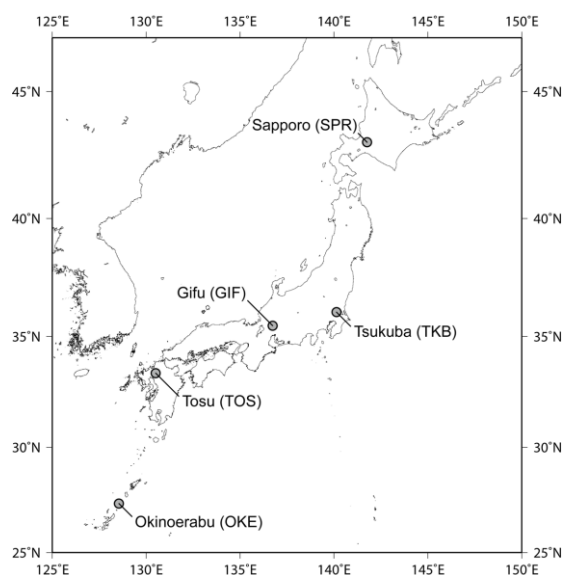
I -イ)-a. 発電量定格技術 (AIST、JWA)

(i) 発電量定格方式の研究開発 (AIST)

太陽光電池モジュールの性能は、通常は標準試験条件における定格出力[W]で評価されているがより実用的な発電量[Wh]による性能評価技術の開発の必要性が高まっており、国際規格(IEC61853)において規格化が議論されている。太陽電池モジュールの性能を発電量で評価するには、出力を算出するための気象条件(日射強度、モジュール温度、日射スペクトル等)を時系列で定義し、定義された気象条件における出力[W]を時系列に沿って積分して発電量[Wh]として算出する必要がある。その際に、算出された発電量が実際に計測される発電量と整合するか、様々な地域において検証を行う必要がある。

現在、日本における5日射気候区の気象データの計測を、一般財団法人日本気象協会(JWA)が行っている(図Ⅲ-2-(へ)-D-1(1))。産業技術総合研究所(AIST)は気象計測システムと併設してつくばサイト(図Ⅲ-2-(へ)-D-1(2))と九州サイト(図Ⅲ-2-(へ)-D-1(4))に、表Ⅲ-2-(へ)-D-1(2)で示される6種類10型式の太陽電池モジュールを2012年初頭に設置し、その発電量の計測を行っている。発電量はモジュールケーブル末端から4端子で、モジュール裏面温度はT型熱電対で測定している。

1つの型番につき7枚ずつ購入し、最初に標準試験条件における初期定格出力の測定を行った。1番から6番の結晶シリコン系太陽電池はプレコンディショニングを行わずパルスソーラーシミュレータ(パルス幅約100ms)を用いて測定した。近年、薄膜太陽電池の光照射効果・熱アニール効果による性能変動が注目されているが、CIGS太陽電池のそれらの効果の時定数は小さいと考えられている。よって7番8番のCIGS太陽電池は快晴日1日の屋外暴露の後に室内測定を行った。9番10番の薄膜シリコン太陽電池は、光照射効果・熱アニール効果による出力変動の時定数が大きいため、プレコンディショニングは行わず初期定格出力の測定を行った。



図Ⅲ-2-(へ)-D-1(1) 気象データ計測を行っている5日射気候区

表Ⅲ-2-(へ)-D-1(2) 発電量計測をおこなっている太陽電池モジュール

	Kind	Manufacturer	Pmax	Efficiency
1	a-Si:H/sc-Si	A	215	16.76
2	sc-Si	B	210	16.88
3	sc-Si	C	209	14.99
4	pc-Si	D	208.4	14.03
5	pc-Si	E	190	14.36
6	pc-Si	F	190	14.61
7	CIGS	G	130	10.59
8	CIGS	H	130	11.60
9	a-Si:H/ μ c-Si:H	I	130	8.25
10	a-Si:H	J	75	6.15

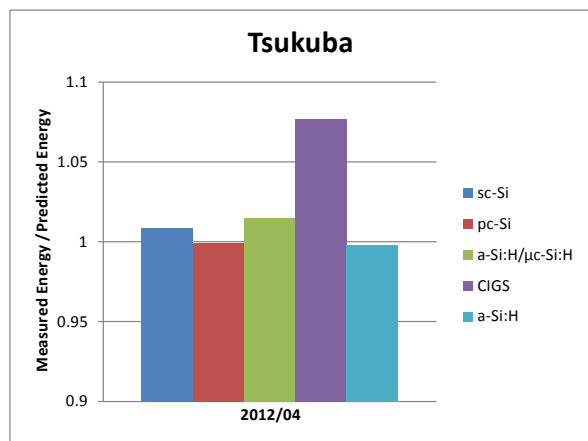
測定した定格出力と気象計測システムで計測されている気象データを用いて、各モジュールの2012年4月の月間発電量を算出した。算出式は

$$E = \int_{t=20120401}^{t=20120430} P(u(t), v(t), w(t),) dt$$

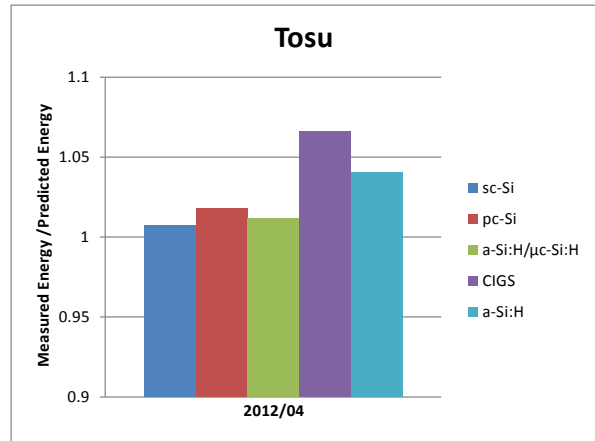
ここで、E は算出發電量[Wh]、P は算出出力[W]であり u (日射強度[W/m²])、v (モジュール温度[°C])、w (日射スペクトル[mW/m²/nm]) の換算式から構成される関数である。本研究では出力を算出する関数 P は以下の式で与えた。

$$P = P_{\max(\text{STC})} \times \frac{G}{1000} \times \{1 - \gamma \times (T_{\text{mod}} - 25)\} / SF$$

算出發電量と実測発電量はともに5分インターバルであり、つくばサイトと九州サイトにおける実測発電量/算出發電量の比を図Ⅲ-2-(へ)-D-1(3)と図Ⅲ-2-(へ)-D-1(5)にそれぞれ示した。通常のp型基板結晶シリコン太陽電池は、単結晶・多結晶ともに±3%以内で発電量が算出された。特に、多接合太陽電池で課題を残す日射スペクトルの影響は定量化していないが、薄膜シリコン太陽電池の発電量は±5%以内で算出された。CIGS太陽電池の実測発電量は算出發電量よりも5%以上高かった。これは快晴日1日のプレコンディショニングでは不十分であることを示し、光照射効果・熱アニール効果の定量化が今後の課題とされる。



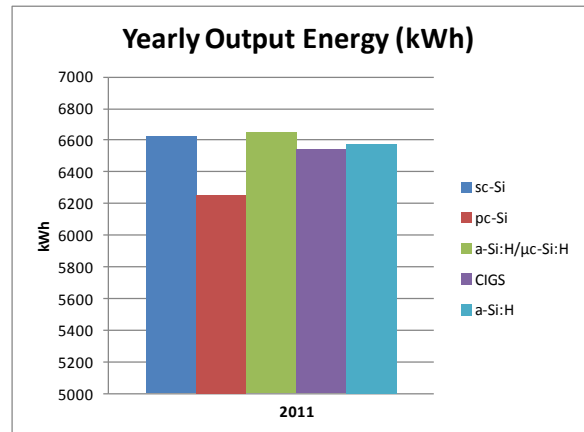
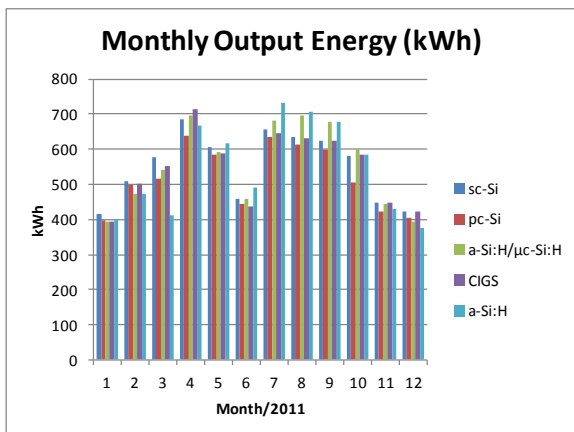
図Ⅲ-2-(へ)-D-1(2) つくばサイトの写真 図Ⅲ-2-(へ)-D-1(3)つくばサイトにおける発電量比較



図Ⅲ-2-(へ)-D-1(4) 九州サイトの写真 図Ⅲ-2-(へ)-D-1(5) 九州サイトにおける発電量比較

九州サイト（産総研九州センター）では、太陽電池モジュール単位の発電量計測に加えて、アレイ単位（単結晶、多結晶、薄膜シリコン多接合、CIGS、薄膜シリコン：各 5kW）での発電量計測を 2010 年 10 月から行っている。前述のモジュール単位での発電量計測は、5 分間隔の I-V 特性測定の間は解放状態であり実運用状態と少し異なっている。また、太陽光発電システムではモジュールでアレイを組んで運用するために、モジュールの性能にばらつきが大きい場合にアレイを組むことによる発電量の損失が発生する。九州サイトの太陽電池アレイ発電量計測システムでは、10 分間隔のアレイ単位での I-V 特性測定を行い、その間はパワーコンディショナに接続し系統連系を行い、実際の発電システムとして運用している。この実運用状態に近い発電量計測システムは、アレイを構成することによる損失の定量化や各種太陽電池の長期信頼性の評価を行うのに最適な環境である。

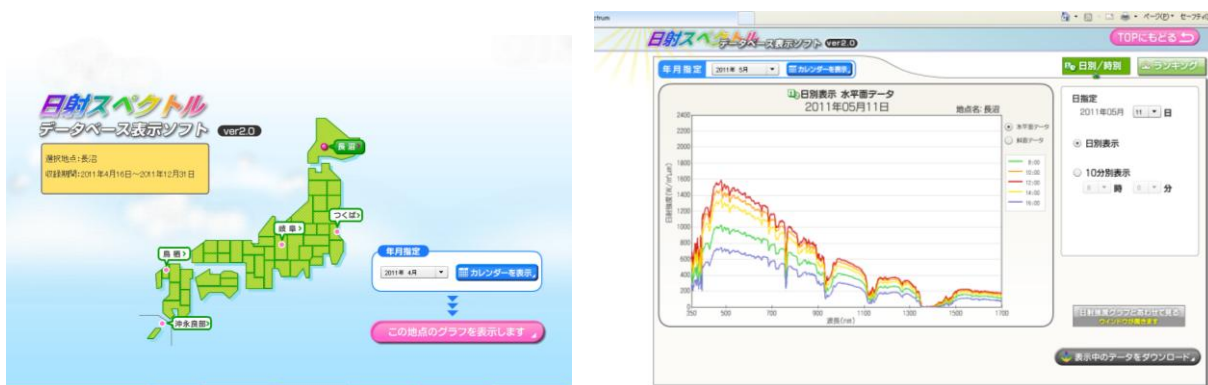
本研究では、2011 年の各種類の太陽電池アレイ単位の年間発電量を行った。図Ⅲ-2-(へ)-D-1(6) に月発電量が示されている。一般的に知られているように、薄膜シリコン太陽電池の発電量は、日射スペクトルや熱アニール効果の影響のために、夏季に結晶シリコン系太陽電池より大きくなり冬季に小さくなる傾向を示す。図Ⅲ-2-(へ)-D-1(7) に年発電量が示されている。多結晶シリコン太陽電池がやや小さい傾向を示したが、各種太陽電池アレイの年発電量はほぼ等しくおよそ定格出力 1[W]あたり 1300[Wh]の発電量が得られることが示された。



(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)

- ・精密観測の実施とデータベースの構築

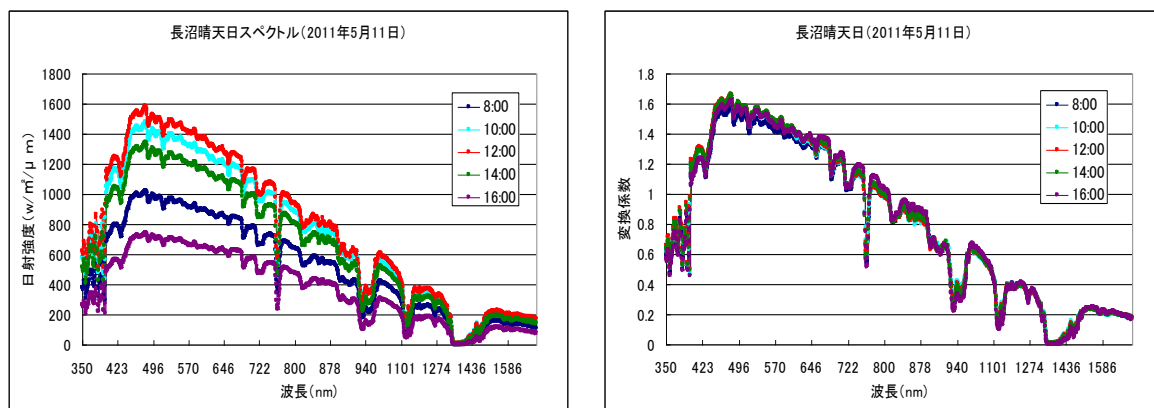
分光日射計等を用いた精密観測地点として、図Ⅲ-2-(へ)-D-1(1)に示した5地点で水平面における日射スペクトルの計測を開始した。日常的なデータの監視、定期的な清掃作業を実施した。計測データについては表示ソフトを含めた「日射スペクトルデータベース」として整備中である。表示ソフトのサンプル画面を図Ⅲ-2-(へ)-D-1(8)に示す。



図Ⅲ-2-(へ)-D-1(8)「日射スペクトルデータベース」の表示例
左:地点選択画面 右:時刻別の日射スペクトルの表示例

- ・日射スペクトル推定モデルの開発

計測データを基に、水平面全天日射から日射スペクトルを推定するモデルの検討を行っている。現在、(仮称)変換係数を用いた解析を行っている。解析例の一部を図Ⅲ-2-(へ)-D-1(9)に示す。当日は、時刻毎に異なる日射スペクトルであったが、変換係数を用いると類似した形状として表現できることが示唆される。



図Ⅲ-2-(へ)-D-1(9) 変換係数を用いた解析例
左:時刻別の日射スペクトル 右:時刻別の変換係数

変換係数: $P(\lambda)$ の定義

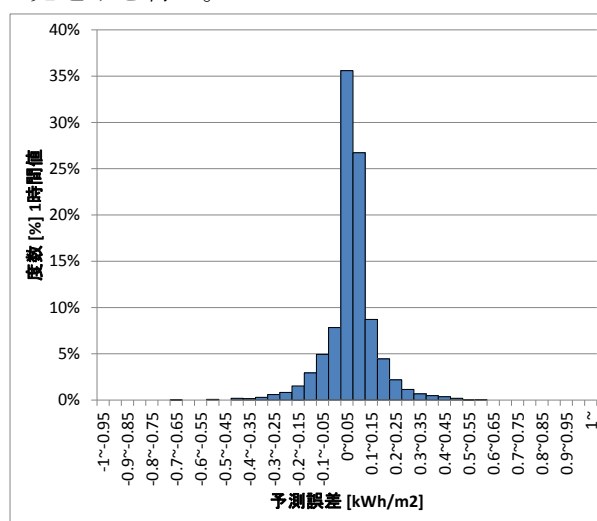
$$I(\lambda) = I \cdot P(\lambda)$$

I (λ) : 波長 (λ) の日射強度 (W/m²/μm) ; I: 全天日射強度 (W/m²)

I -イ)-b. 発電量予測技術(AIST、GU、JWA、UT、MRI)

(i)分散・広域発電量推定技術の研究開発(AIST)

PV システムの発電量予測における、予測された気象パラメータおよび日射量データを日射量/発電量に変換する技術開発の検討を行った、今年度は、サポートベクターマシンの学習方法、入力データ拡充について検討を行った。回帰、ニューラルネット等の検討結果、サポートベクターマシン (SVM) を用いた手法を最適変換技術とした。また、MSM の日射量ガイダンスについて検討を実施し、年間 RMES 0.10kWh/m² の結果を得た(図Ⅲ-2-(へ)-D-1 (10))。また、発電電力量のデータセットとして約 900 サイト分のデータ整理を行った。広域予測については、重心からの距離合計を指標に予測誤差限界の基礎検討を行った。東日本において日射量予測誤差は標準偏差にて 0.06kWh/m² の見込みを得た。



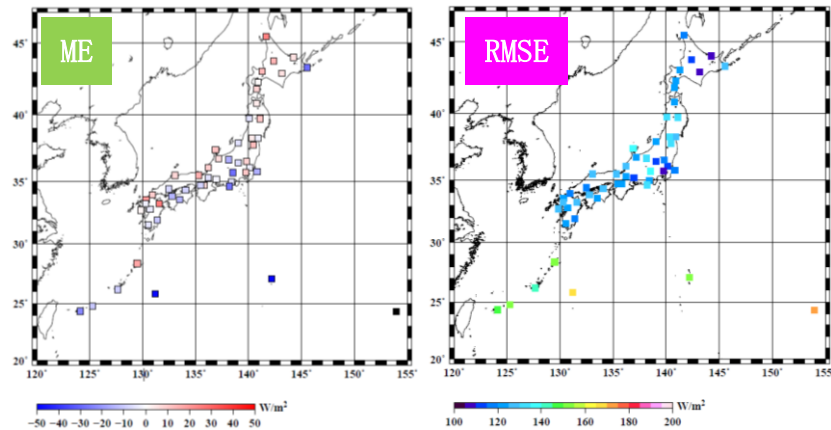
図Ⅲ-2-(へ)-D-1(10) 開発した発電予測による誤差分布(つくば、2010年)

(ii)気象パラメータ予測技術の研究開発(AIST、気象研)

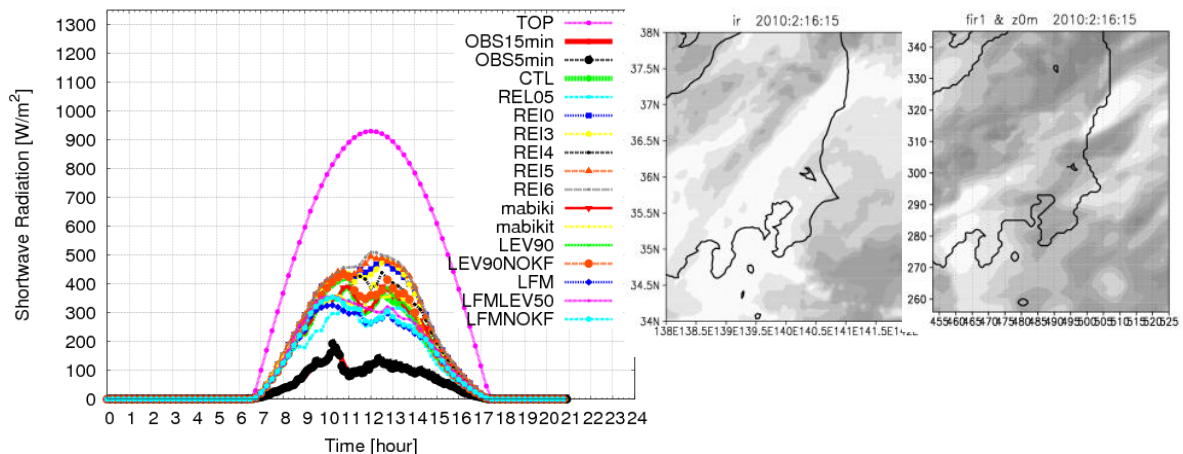
気象庁が現業運用しているメソ数値予報モデル(水平解像度 5km)で予測される日射量に関する検証ツール及びデータベースを構築し、予測日射量について日本全国を対象として主として2008年から2010年までの3年間について通年評価を実施し、地域特性や季節依存性などの特徴を明らかにした。

- 快晴時及び降水があるような厚い雲が存在する時には、1時間平均値と日積算値の予測日射量は、それぞれ観測と非常によく合致する。直達光と散乱光についても、同様の結果である。
- 関東地方で予測誤差が比較的大きくなるのは、降水をもたらさないような雲(巻雲、高層雲、高積雲、層積雲など)が、ほぼ全天を覆っている場合が多いことがわかった。冬季(夏季)には予測値は過大(過小)傾向を示す。
- 関東地方で、1時間平均日射量の予測誤差は、どの季節でも平均的には大気上端での値の0.2 - 0.3倍、最大で大気上端での値の約0.5倍であった。

- 関東地方で、日積算全日日射量の誤差の絶対値を大気上端の値で規格化した値が 0.2 以上となることを「大はずれ」と定義した場合、大外れの出現頻度は各月ごとにたかだか 10%であった。
- MSM による日射量の予測誤差は、特に南西諸島で大きいことがわかった。
- 日射量の予測誤差の大きい日について、放射過程に関与するさまざまなモデルパラメータを変更して感度実験を行い、パラメータごとの影響度を調査した。



図Ⅲ-2-(へ)-D-1(11) MSM による予測日射量の ME (左)と RMSE(右)通年の検証結果
(2010年 03 UTC 初期値)



図Ⅲ-2-(へ)-D-1(12) モデルの予測精度が悪かった事例について、モデル内の放射過程に関与するさまざまなパラメータを変えて行った実験結果(黒い線が観測値、検証地点;つくば)
左図の事例について、衛星赤外画像(左)と MSM 結果から再現した衛星赤外画像(右)

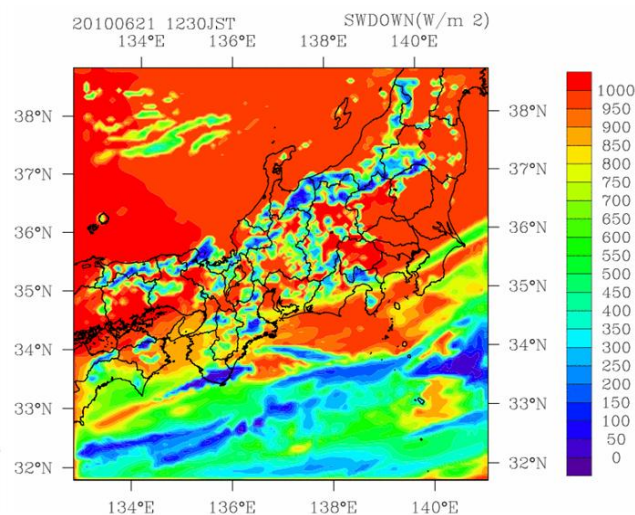
(iii)分散日射量予測技術の研究開発(GU)

本研究開発では気象計算モデルとして、現在代表的なメソ気象モデル WRF (Weather for Research and Forecasting Model) を用いている。そして日射強度・気象因子の翌日予測をターゲットとして、水平解像度 2km、出力時間間隔 30 分で 33 時間先までの予測を行った。対象

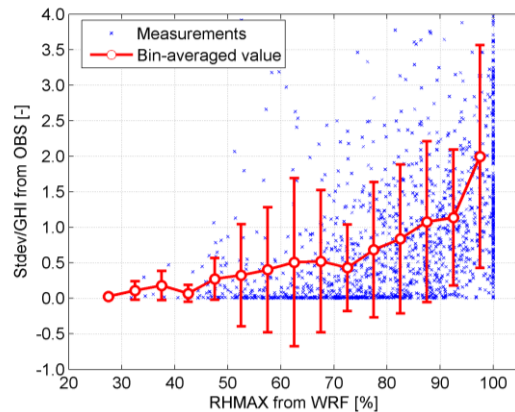
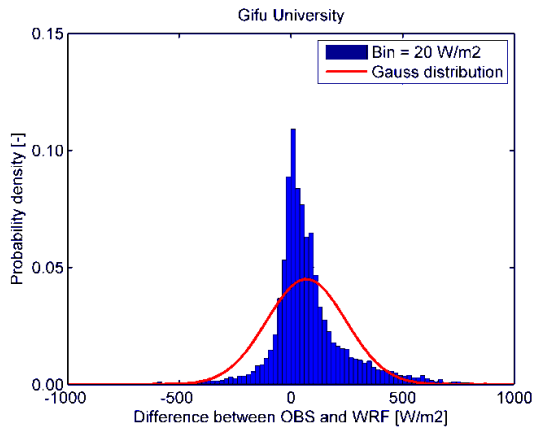
領域は中部地域とした。その日射計算結果の一例を図Ⅲ-2-(へ)-D-1(13)に示す。この計算では、気象庁から提供される水平解像度 5km のデータを元に気象予報を行っており、気象庁のデータには含まれない日射強度を始めとする気象データを、水平解像度 2km で解析しており、ほぼピンポイントでの気象予報・日射強度予報が提供できる。本年度は水平解像度 1km での気象予測も実施しその可能性も示している。ただし、研究の効率性・便宜上、継続的な研究では水平解像度 2km にて行っている。

メソ気象モデル WRF による日射強度予測の誤差は発電量予測の誤差に直結する。そこでこの予測誤差の特性の一つとして、その誤差分布について検討した。その結果を図Ⅲ-2-(へ)-D-1(14)に示す。この図に示すように、WRF による予測誤差の分布は Gauss 分布から外れており、時に大きく予測をはずすことがあることがわかる。このような特性の解析は、研究開発グループ内の東京大学に、系統電力安定化の発電機起動停止モデルのためのデータとして利用されている。

またピンポイントでの日射強度の特性として、直達・散乱日射のスペクトル強度および短期変動についても推定手法の開発を行っている。直達・散乱日射スペクトル強度の予測技術を開発し、33 時間先のスペクトル強度の推定が可能となっている。今後は任意の地点でのスペクトル強度が可能となるように技術の汎用化を進める。日射強度の短期変動については現地観測データからその特性を解析するとともに、メソ気象モデルから得られる気象パラメータとの関連について検討している。そのひとつとして、相対湿度の鉛直最大値と直達日射強度時系列変化の標準偏差を図Ⅲ-2-(へ)-D-1(15)に示す。この図のように日射強度の短期変動強度を示す日射時系列の標準偏差には相対湿度との関連が見られる。この関係から、短期変動強度の予測が可能であるか、現在検討を行っている。



図Ⅲ-2-(へ)-D-1(13) メソ気象モデル WRF による日射強度予測の一例(2010/6/21 12:30)



図Ⅲ-2-(へ)-D-1(14) (左図)WRF による分散日射量の予測誤差分布(2010年, 岐阜大学)

図Ⅲ-2-(へ)-D-1(15) (右図)WRF で予測される相対湿度の鉛直最大値と直達日射強度時系列変化の標準偏差との関係(2010年, 岐阜大学)

(iv)広域日射量予測技術の研究開発(JWA)

(1)日射量予測モデルの改良(精度検証)

現在、運用している当協会独自の気象予測システム「SYNFOS-3D」の改良を行った。今回、改良を行った主な点は、以下のとおりである。

- 気象数値モデル (WRF) の最新バージョンの導入
- 物理過程オプション検討・変更
- 鉛直層の細分化
- 放射過程の計算時間間隔を細かく

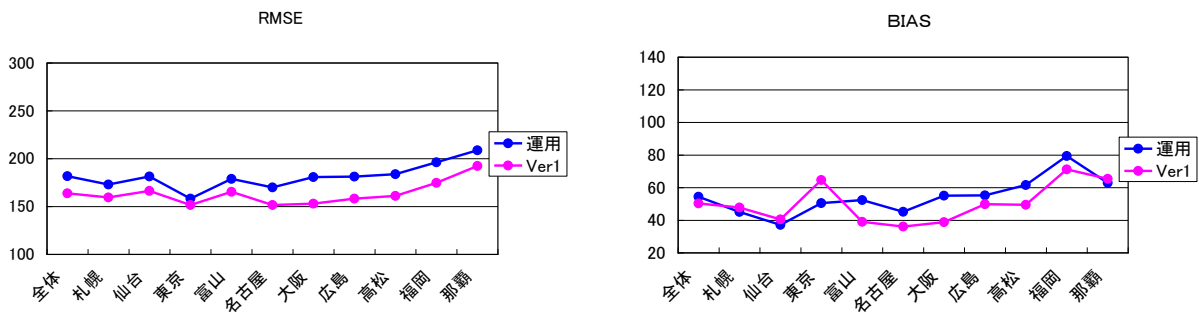
この改良結果を Ver. 1 として気象官署の日射量データから予測精度の精度検証を行った。検証地点は、各電力管内から 1 地点を選定した。検証を行った地点、期間及び方法等は以下のとおりである。

- 地点：北海道電力管内（札幌）、東北電力管内（仙台）、東京電力管内（東京）
- 北陸電力管内（富山）、中部電力管内（名古屋）、関西電力管内（大阪）
- 中国電力管内（広島）、四国電力管内（高松）、九州電力管内（福岡）
- 沖縄電力管内（那覇）
- 期間：2010年4月～2011年3月
- 予測データ：前日 12 時初期値の当日、日の出～日の入までの毎時日射強度予測値。
なお、予測値は検証対象メッシュとその周辺 8 メッシュを含む 9 メッシュ平均値を用いた。
- 検証方法：相関係数, RMSE (二乗平均平方根誤差)

$$RMSE = \sqrt{(E1^2 + E2^2 + \dots + En^2) \div (n)}$$

E1、E2・・・は「予測値－観測値」。n はデータ数 (日数)

図 X に各地点での相関係数と RMSE を示す。相関係数、RMSE とも北日本で 10%弱、西日本で 20%弱程度の改善（精度向上）ができた。



図Ⅲ-2-(へ)-D-1(16) 各気象官署での相関係数、RMSE

(v)分散・広域発電量応用評価技術の研究開発(UT)

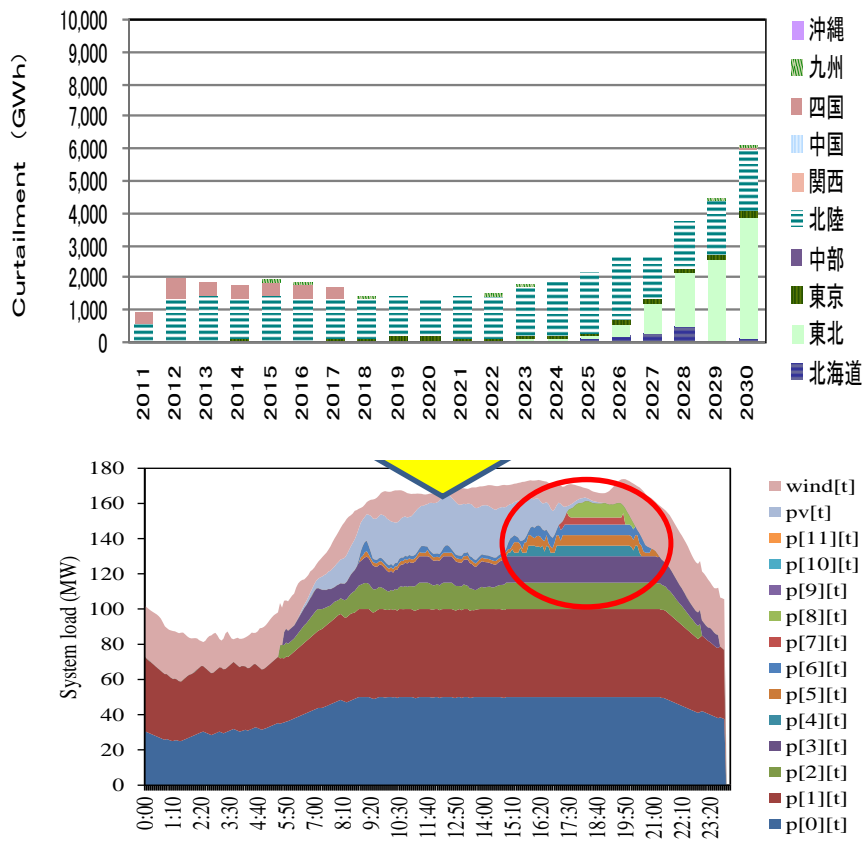
(1)データ整備と基礎評価

我が国の 10 電力システムを対象として、発電予測の評価に有効な特徴として、2030 年断面での PV 導入量、風力導入量、ベース電源比率、抑制電力量などによる比較評価をほぼ終了した。

並行して、風力発電の導入が期待される東北、ベース電源比率が低い東京、ベース電源比率の高い関西などについて、特徴のある日々の需給調整力の確保状況、それに対する PV 発電予測の影響に関する評価を行った。平成 24 年度は、電源構成の想定を決定してデータの再整備を行う。

(2) 電力システム時系列モデルの開発

(1)で整備されたデータに基づき、再生可能エネルギーの出力予測とその誤差、需要の能動化、蓄電装置を考慮して、火力機の稼働時系列を求める起動停止問題モデルを開発した。本モデルを用いて、再生可能エネルギーの出力変動が与える系統運用へのインパクトを評価した。予測精度が高ければ需給調整力を過大に見積もらない経済的な運用が可能となること、再生可能エネルギーの急激な出力低下による稼働機数の増加は需要能動化や蓄電装置を用いて抑制できること、など期待される効果を定量的に確認した。平成 24 年度は、実際の電力システムを対象にして、予測誤差の系統運用へのインパクトの評価を行い、発電予測の仕様を決定する。



図Ⅲ-2-(へ)-D-1(17) 太陽光発電の出力抑制量の推移(月次内訳)(上図)
 急激な出力低下による火力機の稼働台数の増加(下図)

ロ) 太陽電池の性能評価

I -ロ)-a. 太陽電池性能評価技術 (AIST)

(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は、アモルファスおよび CIGS 太陽電池ミニモジュールの光照射・熱アニールにおいて照度温度等の条件が及ぼす基本的効果を検討した。市販構造のアモルファス太陽電池の型式試験には通常 IEC61646「地上設置の薄膜太陽電池 (PV) モジュールの設計適格性確認および形式認証のための要求事項」が使用されており、その中で光安定化を目的とした光照射試験条件が定められている。その条件は (光照度 $600\text{W}/\text{m}^2 \sim 1,000\text{W}/\text{m}^2$ モジュール温度 $40 \sim 60^\circ\text{C}$ 、 $43\text{kWh}/\text{m}^2$ 以上の光照射と性能測定を繰り返し行い、最大出力 P_{max} が安定 (差が 2% 以内) するまで繰り返す、というものである。光照射効果の度合いは、太陽電池の材料・構造および光照射時の照度・温度等によって大きく異なることが知られている。本研究の光照射効果を含めた高精度な性能評価技術開発のために、まず現在市販されている構造とほぼ同じアモルファス Si および CIGS モジュールについて、上記の光照射条件の許容範囲が、光照射後の太陽電池出力に及ぼす影響を定量的に検証した。その結果を図 III-2-(へ)-D-1 (18) に示す。アモルファス Si (単接合) では上記条件の範囲内でも光照射後の出力に 5% 以上、場合により 1 割近い幅があるが、CIGS 太陽電池ではほぼ差がなかった。現在アニール効果を含めた定量化とタンデム太陽電池を含めた検討を実施しており、薄膜 Si、CIGS とともにモジュールサイズでの検証と定量化を平成 24 年度中に実施する予定である。CIGS 太陽電池では薄膜 Si 系に比べて数時間～数百時間での光照射効果は小さかったが、性能測定時のソーラシミュレータ光による短時間の光照射によって、 I_{sc} 、 V_{oc} 、 P_{max} 等が数% 変化する兆候が見られた。その際に光・熱の他にバイアス電圧が影響している可能性もあり、今後の研究課題である。その際に薄膜 Si、CIGS だけでなく各種太陽電池に共通して適用できる技術が重要である。

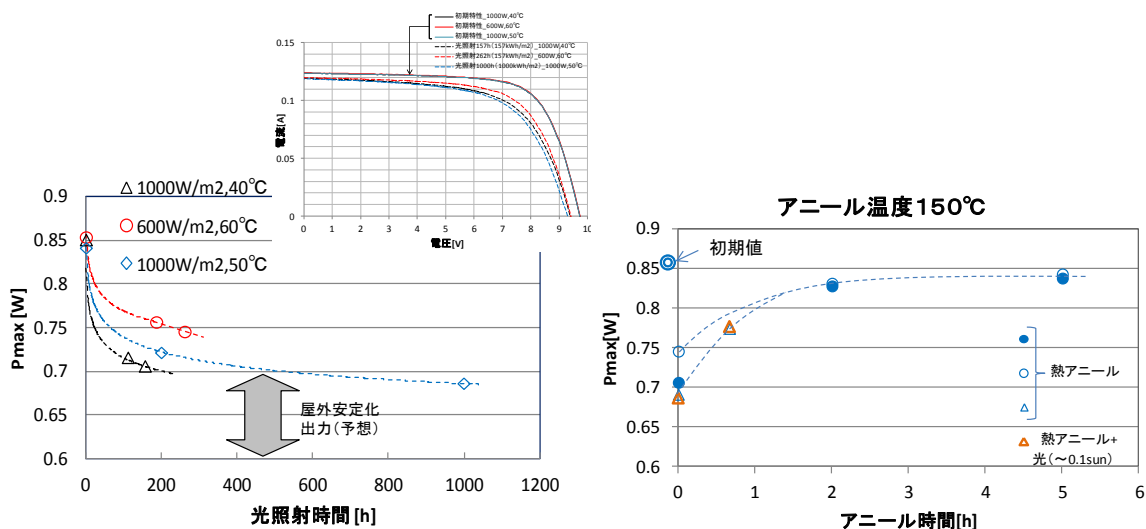
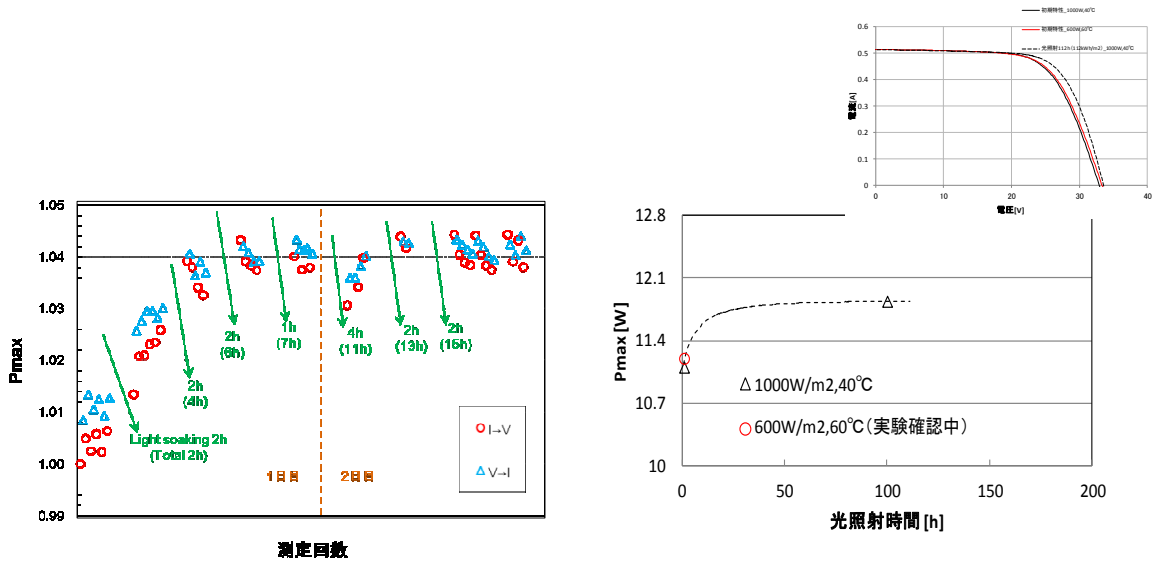
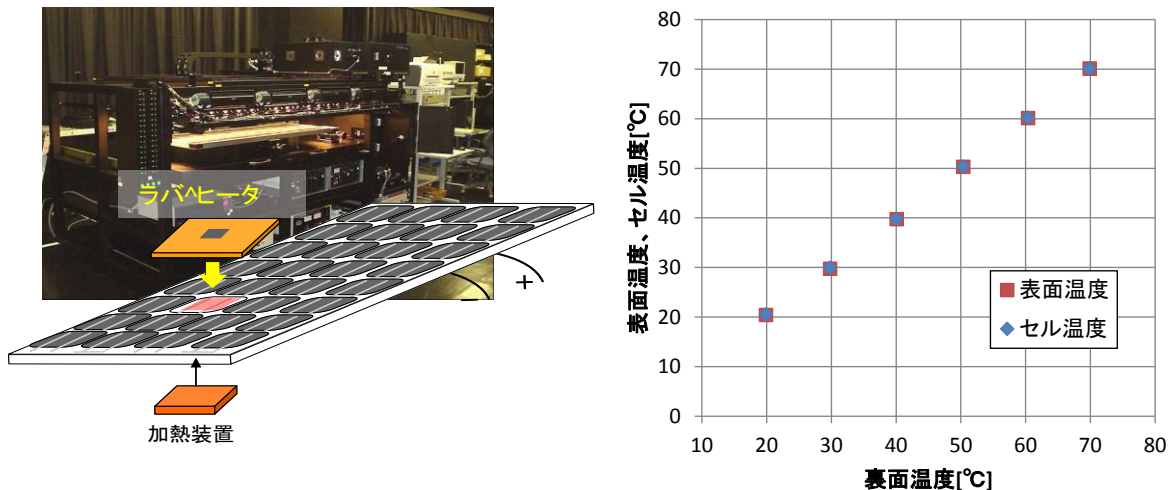


図 III-2-(へ)-D-1 (18) アモルファス Si 太陽電池における光照射効果, アニール効果

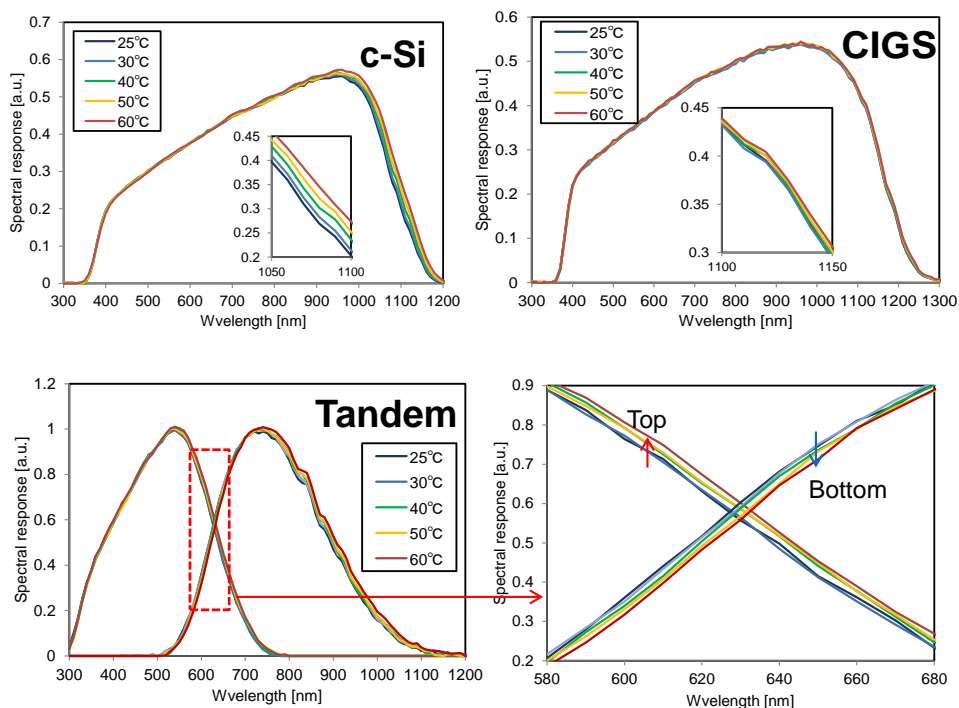


図Ⅲ-2-(へ)-D-1(19) アモルファス Si 太陽電池における光照射効果、アニール効果

太陽電池は幅広い温度で稼働するため、温度による分光感度の変化が実効性能を評価するうえで非常に重要である。また、国際規格 IEC61853-2（発電量定格）においても必要な要素技術である。従来 AIST で開発したモジュール分光感度測定技術をベースとして、モジュール分光感度の部分的な温度依存性を測定する技術の開発を行った。図Ⅲ-2-(へ)-D-1(20)の様に両面から温度を調整することによりモジュール内の一部のセルを加熱し温度を調整することで、モジュール内部のセルの温度を±1°C以内と精度よく測定できる技術を開発した。単結晶、CIGS、多接合太陽電池モジュールの分光感度の温度依存性測定結果の一例を図Ⅲ-2-(へ)-D-1(21)に示す。



図Ⅲ-2-(へ)-D-1(20) モジュール分光感度の温度依存性測定技術の原理図(左図)とモジュールの表面・裏面・セルの温度調整の精度検証の一例。モジュールの表面(ガラス)と裏面(バックシート)の両面から加熱を行うことで、内部のセルの温度を±1°C以内で調整可能である。



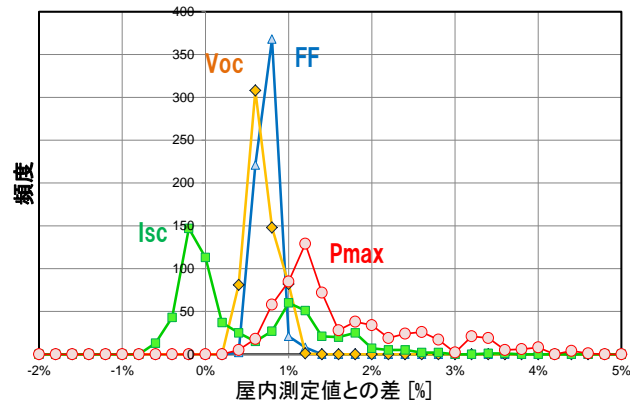
図Ⅲ-2-(へ)-D-1(21) 単結晶、CIGS、多接合太陽電池モジュールの分光感度の温度依存性測定結果の一例

(ii) 屋外高精度性能評価技術の研究開発

太陽光発電産業の発展に伴い、様々な屋外暴露システムにおいて、変換効率等の性能を屋外の設置場所において正確に測定する技術の必要性が高まっている。一方で屋外における太陽電池モジュールに入射する日射の照度・スペクトル・角度は多岐にわたるため、現在の屋外性能評価技術では屋外設置状態において光電変換効率等の重要な性能を正確に測定することが困難である。23年度までに測定項目の予備検討を行い、測定設備を導入した(図Ⅲ-2-(へ)-D-1(22)左図)。屋内測定結果と屋外測定結果の基本的な検証の結果、基本的な比較検証から、現状の屋外性能評価技術では、快晴日においても短絡電流(I_{sc})で約±3%、次いで開放電圧(V_{oc})が約±1%測定誤差を与えることが明らかとなった(図Ⅲ-2-(へ)-D-1(22)右図)。 I_{sc} については、日射強度を日射計により測定したことによるもので、スペクトルミスマッチ補正を含めた基準セル・基準モジュール等の使用や補正法の開発により高精度化が可能となる見込みである。また、 V_{oc} については系統的な差があり、これはモジュール温度の測定方法(内部温度と裏面温度)の違いの影響によるものと考えられるため、温度計測技術の高精度化を図る予定である。



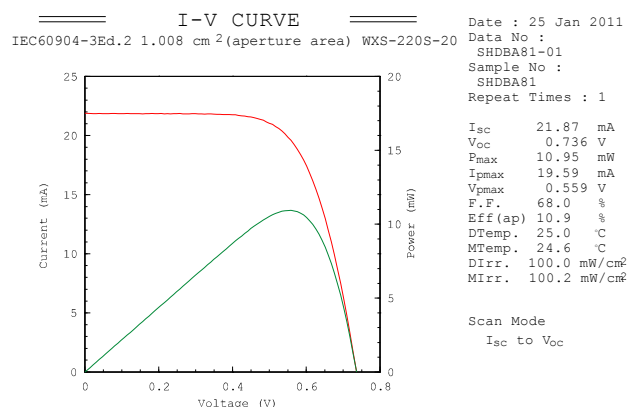
計測日:2012/02/21



図Ⅲ-2-(へ)-D-1(22) 太陽電池屋外高精度性能評価装置(左図)と、屋外測定と屋内測定の各太陽電池パラメータの比較結果(単結晶 Si モジュール)

(iii)各種新型太陽電池性能評価技術の研究開発

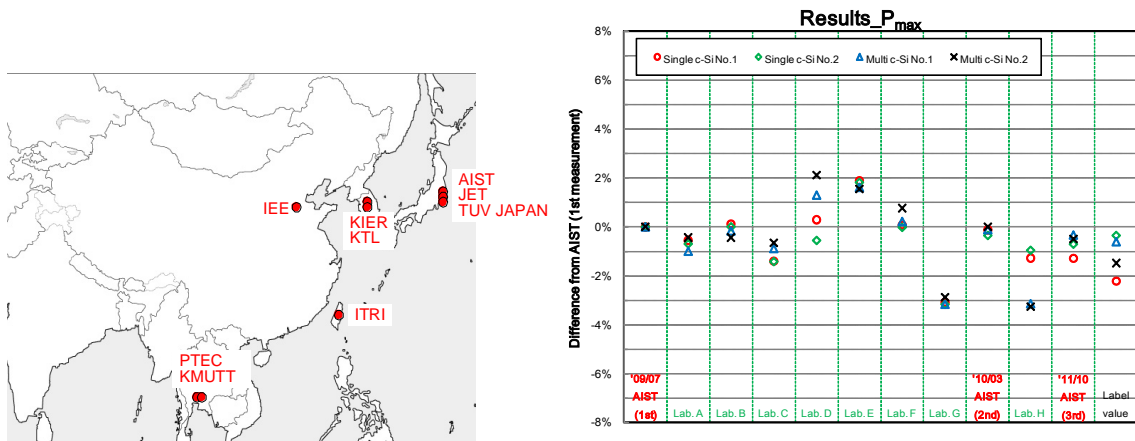
NEDO プロジェクト開発品を始めとして、様々な新型太陽電池や、多接合太陽電池、大型サブモジュールを高精度に評価する技術を検討し、実証・測定を行い、これらの最新の太陽電池の高精度な性能評価技術を検証するとともに、中立で高精度な測定結果を提供し、デバイス開発・高性能化にも貢献した。これらの測定は、今後の高精度化のためのニーズや要素技術の把握にも重要である。新型高性能結晶 Si、有機薄膜、色素増感、CIGS、Si 薄膜、III V 族等を材料とした太陽電池や、それらの積層構造(タンデム、トリプル)等について、H22 年は 45 サンプル、H23 年は 65 サンプル、平成 24 年は約 80 サンプル(見込み)の測定を実施した。測定結果の電流電圧特性の一例を図Ⅲ-2-(へ)-D-1(23)に示す。



図Ⅲ-2-(へ)-D-1(23) 電流電圧特性測定結果の一例

開発した技術の標準化・国際的整合性推進のために、標準化への技術的貢献および太陽電池の持ち回りによる国際比較測定を実施した。プロジェクトに先立って開発したモジュール分光感度測定技術の基本的手順の標準化のため、IEC/TC82/WG2 で改訂審議中の IEC60904-8 に日本案として提案し、現在 CDV として submit されている。国際比較測定としては結晶 Si 太陽電池モジュール、薄膜太陽電池モジュール、結晶 Si ベアセルについて実施中、およびホスト機関

においてデータ解析中である。国際比較測定は企画・参画機関の調整・サンプルの輸送・測定・解析に1～3年以上要することが多く、継続的な取り組みが必要とされている。一例として2009年～2011年にかけてアジア地域5カ国9機関で実施した結晶Si太陽電池モジュールの国際比較測定の結果を図Ⅲ-2-(へ)-D-1(24)に示す。測定結果はP_{max}で±2～3%のばらつきを示し、その主な原因はI_{sc}の差であった。更に国際的整合性を改善するための要素技術として、基準セルの使用方法、ソーラシミュレータの均一性、スペクトル測定、スペクトルミスマッチ補正等が主なものであることが明らかになった。



図Ⅲ-2-(へ)-D-1(24) アジア地域のPV測定機関による、結晶Siモジュール国際比較測定の結果の一例

集光型太陽電池(CPV)について、日米の屋外CPVシステムを用いて発電量定格技術等の研究を行っている。CPVサブモジュールのアライメント等がおよぼす効果を明らかにするために、日米における実証データの蓄積と解析を実施している。その結果アライメントによる損出は最大8%と大きく、現在審議中のIEC62670-1等での標準化にむけて、更に定量的に評価する必要があることが明らかになった。更にこれらの集光型・平板型多接合太陽電池の基本的な高精度化のためには、以前に開発した高精度分光感度分離技術に加え、分光放射照度を正確に測定して各要素セルに入射する光エネルギーを高精度に計算・評価し、性能を評価する技術開発が必要である。光の重ね合わせ原理を用いた線形性測定装置を用いて、分光放射照度測定装置の精度検証する技術を開発した。

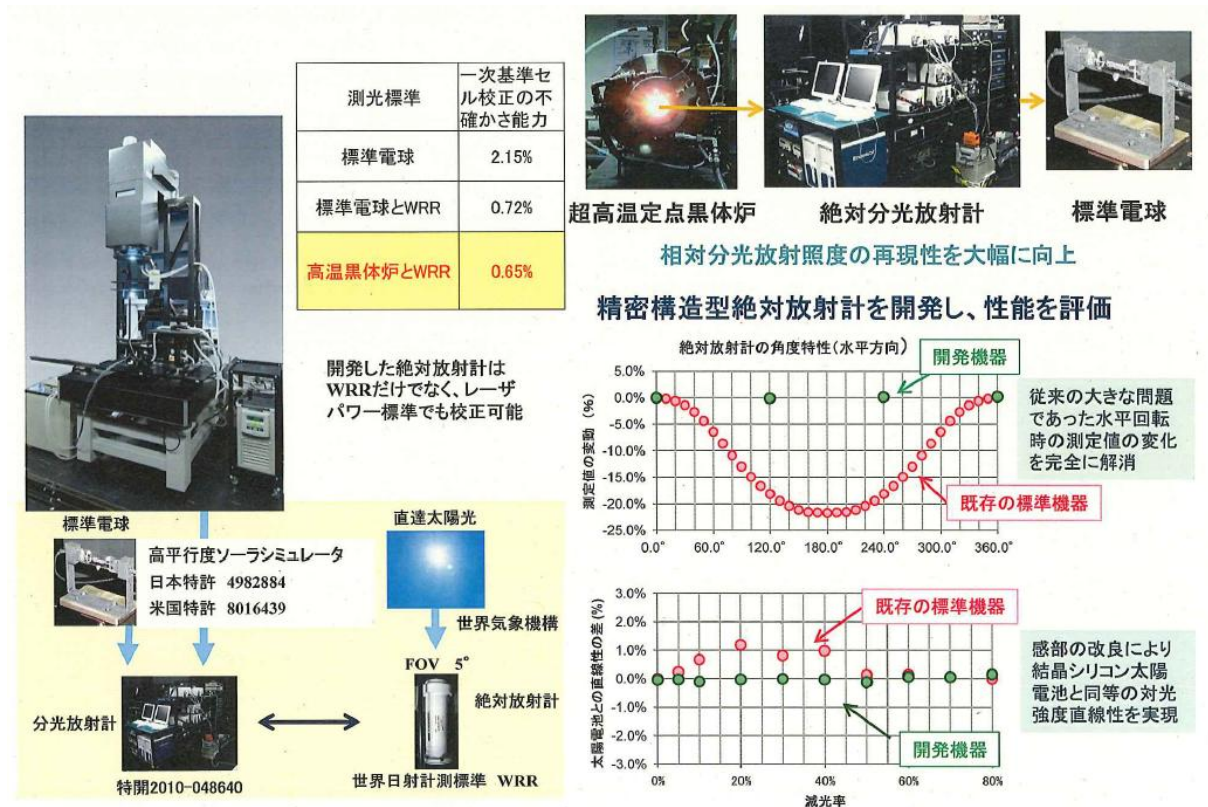
I -ロ)-b.基準太陽電池校正技術(AIST)

(i)精密構造型WRR絶対放射計測技術に関する研究開発

ソーラシミュレータ法による校正技術の高度化のため、上位の計量標準の開発状況調査を行った。その結果、産総研の計量計測標準部門が温度標準として開発した超高温定点黒体炉を放射源として活用することで、従来からの課題であった相対分光放射照度分布の再現性を改善可能であることが明らかになった。また、計量計測標準部門との連携により、波長依存性の無い熱型検知器(絶対放射計など)をレーザ標準で校正し、それを放射照度の絶対校正に活用することによって、スイスで5年に一度しか機会がなかった絶対放射計の校正頻度を年周期として、

その経年変化を正確な把握も実現できる。

開発した精密構造型絶対放射計の入射角特性や対光強度直線性を評価した。その結果、再現性の高いアライメントが可能な構造が実現されたことが確認できた。これにより、直達太陽光によるWRRスケールでの校正のみならず、レーザ標準による校正にも適用可能な構造が実現できた。これらの開発技術と超高温定点黒体炉による分光放射計測不確かさ改善の組み合わせにより、従来法であるソーラシミュレータ法の抜本的な高精度化が図れる（図Ⅲ-2-（へ）-D-1（25））。



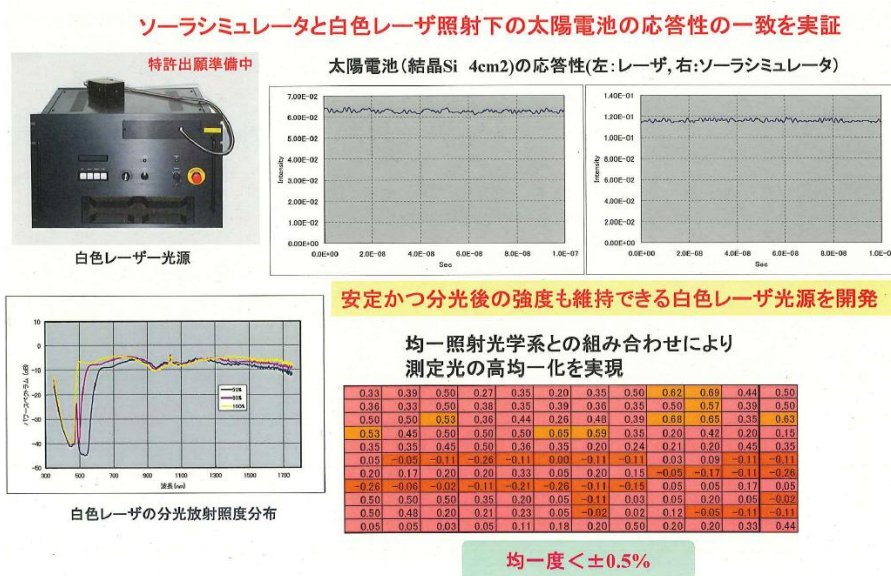
図Ⅲ-2-(へ)-D-1(25) 一次基準セル屋内校正の抜本的な高精度化

(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

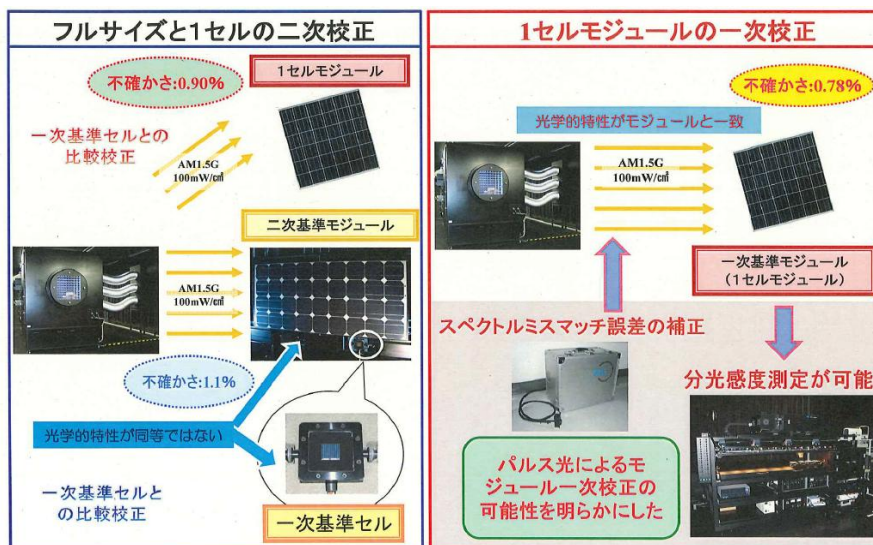
ソーラシミュレータと白色レーザ光源のそれぞれの照射下における基準太陽電池の応答特性を評価し、白色レーザ光源のからのパルス照射の光源としての適合性を実証した。これを受け、絶対分光感度法の実現のための光源として、波長範囲 460nm~2000nm、全出力パワー6.5W、繰り返し周波数 65Mhz、スペクトル平坦性 55dB の性能をもつ白光レーザ光源を開発し、所期の性能を達成した。また、この白色レーザ光源からの照射を基準太陽電池に均一に照射するため、ソーラシミュレータで実績が多いインテグレートレンズ方式の光学系を開発した。光線追跡によって最適化を行い、460nm~2,000nm の波長範囲に亘って極めて均一な照射 (±0.5%) を実現した。この光学系は、絶対分光感度測定に用いる異なる波長のレーザ光の伝達光学系としても十分な性能を実現している（図Ⅲ-2-（へ）-D-1（26））。

(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

モンテカルロ・シミュレーションによる解析を含む不確かさ要因全ての解析を完了し、ソーラシミュレータ法による基準モジュールの二次校正の最高校正能力（不確かさ）が1.1%であることを明らかにした。また、スペクトルと均一性に影響を与えることなく、その強度を広範囲で可変のバイアス光源を開発し、高強度・高均一単色光照射機構との組み合わせによって1セルモジュールの相対分光感度を高精度に測定可能とした。1セルモジュールの校正の最大の不確かさ要因はパルス光測定であることを検証し、その最高校正能力が、二次校正で0.9%、一次校正で0.78%となることを明らかにした。パルス光による1セルモジュールの一次校正の実現可能性が明確になったことで、基準太陽電池と被校正・測定太陽電池モジュールの光学的透過性を完全に確保できることになった。以上により、最終年度を待たず、目標を大幅に達成した（図III-2-(へ)-D-1(27)）。



図III-2-(へ)-D-1(26) 校正コスト減・省エネ・高精度を目指した絶対分光感度法の技術開発



図III-2-(へ)-D-1(27) 基準モジュールの最高校正能力不確かさの解析

II)信頼性評価技術と長寿命化技術の開発

イ)モジュール・機器耐久性評価技術

II-イ)-a 高信頼性モジュールの認証試験技術(PVTEC)

本研究の最終目標は、「20～30年の屋外暴露に相当する寿命評価試験方法の確立」である。この最終目標に向け、前フェーズ（平成18年～21年）では、寿命評価試験方法の確立のSTEP1として、暴露試験、太陽光発電システム調査、文献調査による「劣化事象の収集」を実施した。

本フェーズの前半（中間目標）は、この調査結果から、劣化事象の収集作業の継続とともに、STEP2としての「劣化要因の推定」作業を実施することとして、以下の目標を設定した。

- ・ 暴露試験、国内外の太陽光発電システムの調査、文献調査を継続的に実施し、26サイトを調査することを目標に事例収集を行う。
- ・ これまでに劣化要因として示唆した紫外線、モジュール温度差の影響を見るために現在モジュールの認証試験に定められている紫外線強度試験、温度サイクル試験の条件を5倍程度まで印加した試験を実施し、劣化症状と比較し、劣化因子の推定を行う。

当該、目標に対する成果は、表Ⅲ-2-(へ)-D-1(3)に示す通り、計画に従い、概ね順調に進んでいる。なお、残課題にあっても平成24年度中に達成の予定である。

さらに、本フェーズ後半（最終目標）は、STEP2として「劣化要因の特定」を目指した劣化要因の不変性を確認することを目標とした。

表Ⅲ-2-(へ)-D-1(3) 本項目の成果

目 標	研究開発成果	達成度
・国内外の26PVシステムの調査 ・認証試験5倍程度まで試験実施	・国内外の22PVシステム調査完了 ・認証試験条件の2倍まで完了	・H24/12 達成見込み。 ・H25/3 達成見込み

前フェーズの実施（暴露試験、太陽光発電システム調査、文献調査）で得られた劣化事象から、示唆する劣化要因に対し、劣化要因の推定に向けた検討を実施した。検討結果は、表Ⅲ-2-(へ)-D-1(4)に示す通り、必ずしも劣化要因の推定作業の結果が一致しない場合があった。この一致しなかった理由については、今後のSTEP3の「劣化要因の特定」で検討を実施することとする。また、劣化要因の推定作業で、劣化要因が特定できなかった3項目を除き、劣化要因を推定するに至る結論を得ることができた。一方、劣化要因が特定できなかった3項目、暴露試験で得られた「Rsh（並列抵抗）の低下」、太陽光発電システム調査で得られた「セル異常、その他異常」に対しては、本年度より、新たに「ベアセルへの耐環境試験」等を追加開始し、年度末達成を目指し試験中である。

表Ⅲ-2-(へ)-D-1(4) 研究開発項目毎の成果。注 表中の「M」は、モジュールを示す。「既知要因」とは、モジュールの認証規格にも採用されている「紫外線、高温高湿、温度サイクル」をいう。

劣化事象	示唆する劣化要因	劣化要因の推定作業		
		検討手法	結果	達成度
Iscの低下	紫外線	暴露試験	紫外線の影響を再確認	○
Rsの上昇	M温度差	暴露試験	気象環境による差なし	○
Rshの低下	相対湿度	高温高湿試験 ベアセルへの耐環境試験	要因を特定できず 試験の継続中	△
界面異常	既知要因以外	暴露試験	気象環境による差なし	○
封止材異常	既知要因以外	耐紫外線試験 暴露試験	要因を特定できず 紫外線の影響を再確認	○
導電部異常	既知要因以外	腐食現象) 塩水噴霧試験 過熱現象) 暴露試験	試験の継続中 気象環境による差なし	○
セル異常	M温度×相対湿度	ベアセルへの耐環境試験	試験の継続中	△
その他異常	既知要因以外	耐紫外線試験	試験の継続中	△
結晶Si系出力低下	冷帯の気象環境	試験サイトの気象条件比較 明暗冷試験	年間モジュール温度差 試験の継続中	○
薄膜Si系出力低下	乾燥帯の気象環境	試験サイトの気象条件比較 明暗冷試験	低モジュール温度 低モジュールを確認)	○

II-イ)-b.新規信頼性試験方法の開発(AIST)

(i)新加速試験技術の研究開発

屋外で運転中のモジュールで観察される不具合事例としては、ガラス割れ、セル割れ、電極はがれ、EVA 変色、電極周辺のこげ、気泡、フィンガー電極消失、バスバー周辺汚れなどが報告されている。電極周辺のこげについては、前フェーズ（平成 18 年～21 年）で検討した単セル・モジュールの劣化の様子から、順方向・逆方向電圧電流サイクリック試験が有効と考えられたため、本フェーズではこの試験方法を 4 セルないしは 6 セルのモジュールへ展開し、スケールアップに伴う、技術課題の抽出・解決し、最終的には、フルサイズ（1.0m×1.1m 程度）モジュールへの適用可能性を判断することを目標として研究を進めた。

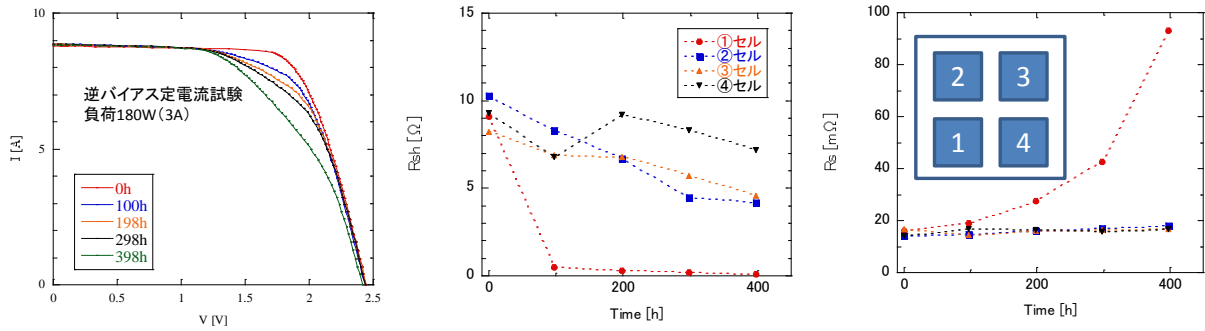
新規に導入した試験装置は単セル用試験装置の時に見られたような、逆バイアス時の発信現象も起こらず、順調に試験を行えることを確認した。今後、フルサイズへ拡張する場合は電源容量を対応するサイズに変更するだけで可能と考える。

電圧電流サイクリック試験を 4 セル・モジュールに適用した結果、外観劣化（焦げ、膨らみ）の発生を確認するとともに、I-V 特性の劣化（Rsh, Rs）を促進する試験として有効であることを確認した。図Ⅲ-2-(へ)-D-1(28)に試験時間と I-V 特性の劣化の関係を示す。

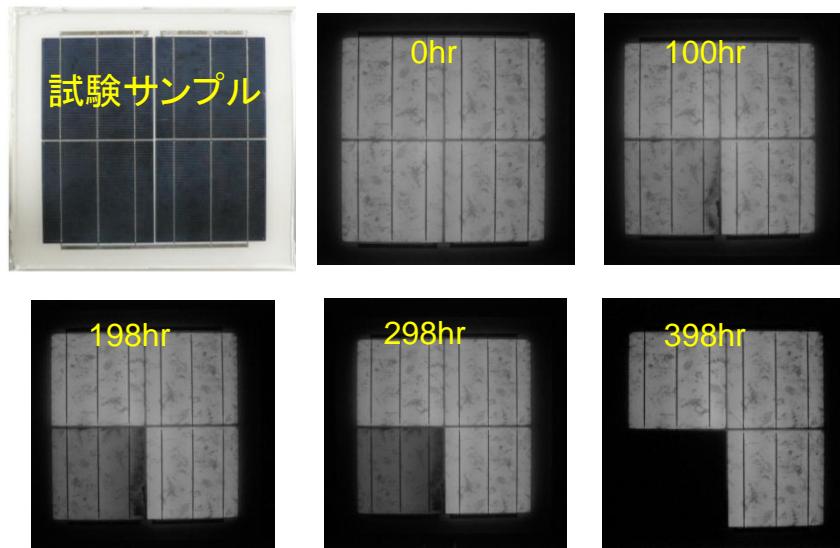
図Ⅲ-2-(へ)-D-1(29)は上記 I-V 特性の測定と同じタイミングで EL 撮影を行った結果を示す。左下（1 番）セルの右側（4 番セル側）から暗部が発生し、その後、徐々に 1 番セルが暗くなり、最後には真っ暗となり、発電特性が大きく劣化する様子を見て取れる。

本試験方法は屋外での実使用条件下で起こる外観劣化（焦げ、膨らみ）を確認するとともに、IV 特性の劣化（直列抵抗、シャント抵抗）を促進する試験として有効であることを確認した。本外観劣化症状を再現する試験法は世界で唯一の手法である。

新規加速試験法として、加重・抜重方式および加圧雰囲気利用方式について検討した。試験の結果、裏面材のブリスター（膨れ）と EVA 内の気泡発生が確認された。水蒸気浸入量と生成物滞留量などを計測し、詳細な分析を行い、高温高湿試験の短縮化の試験としての有用性確認を進めつつあり、中間評価の目標を達成可能と考える。



図Ⅲ-2-(へ)-D-1(28) 試験時間とI-V特性の劣化の関係。試験条件:逆バイアス定電流試験(負荷180W(3A))(a)I-Vカーブの経時変化, (b)シャント抵抗の経時変化, (c)直列抵抗の経時変化をプロット。I-V特性の劣化は, 左下(1番)セルのRshの急激な低下とRsの増大によることが分かる。



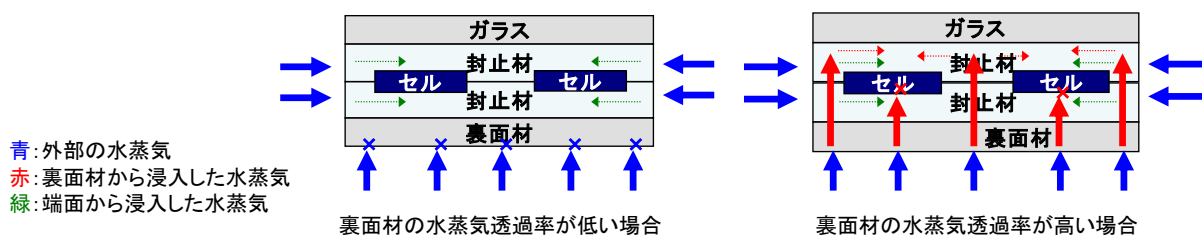
図Ⅲ-2-(へ)-D-1(29) 試験時間とEL画像の変化。左上は初期(0hr)の可視画像。そのほかは初期および100時間毎のEL画像の変化を示す。

(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の寿命・信頼性に影響を与えると考えられる水蒸気のモジュール内への浸入経路を明確化するとともに、浸入量を定量化可能な技術を開発し、太陽電池モジュール部材の設計指針を見出すことを目標に研究を進めた。

塩化コバルト試験紙をカバーガラス/封止材(EVA)/セル/封止材/裏面材の各界面に挿入したテストモジュールを試作した。裏面材にバックシートを用いたタイプのモジュールでは、結晶系、薄膜系の双方でテストモジュールの作製方法を確立した。裏面材にガラスを用いたいわゆるダブルガラスモジュールでは、結晶系においてテストモジュールの作製方法を確立した。裏面材に用いたバックシートの水蒸気透過率は0.1~14g/m²dayの範囲で変化させた。塩化コバルトは当初青色であるが、水蒸気との反応により薄紅色に変色するため、水蒸気の浸入経路は定性的には塩化コバルト試験紙の変色により判定した。水蒸気透過率が14g/m²dayと比較的大きいバックシートを用いた場合は、端面よりも裏面からの水蒸気浸入が支配的なことを明らかにした。また、水蒸気の浸入はバックシートの水蒸気透過率に依存することも見出し

た。バックシートから浸入した水蒸気はセルそのものによって遮断されるものの、セルとセルの隙間から光入射面側に拡散することも見出した。一方、裏面材からの水蒸気の浸入が無視できるアルミニウム入バックシートを用いた場合やダブルガラスモジュールにおいては、端面からの水蒸気浸入が支配的で、モジュール端面から中央部に向かって水蒸気が拡散する様子を可視化できた。また、一層高いバリア性、すなわち低い水蒸気透過率を有するバックシートを用いたモジュールにおける水蒸気浸入経路を調査するために、カルシウムを試薬に用いたテストモジュールを試作可能な装置を世界で初めて導入した。予備試験により、水蒸気との反応によりカルシウムの金属光沢が無色化することを用いて、モジュール内の水蒸気浸入がバックシートの水蒸気透過率に依存することや、モジュール端面から中央部に向かって水蒸気が拡散する状況を確認した。



図Ⅲ-2-(へ)-D-1(30) 太陽電池モジュール内への水蒸気浸入経路の模式図

水蒸気との反応による 690nm 近傍における塩化コバルトの反射率スペクトルの変化と、吸湿による塩化コバルトの重量変化の関係から検量線を作成し、モジュール内に浸入した水蒸気量の定量化を試みた。この結果は、バックシートの水蒸気透過率から予想される水蒸気浸入量と良く一致し、本定量化手法の有効性が実証された。

さらに、モジュールに 85℃、85%の高温高湿試験を施した結果、裏面材に用いたバックシートの水蒸気透過率が低くバリア性が高いほど、モジュールが早期に劣化することを見出した。ただし、アルミニウム入バックシートを用いた場合やダブルガラスモジュールにおいてはこの限りではない。このことは、モジュールの長寿命化には、水蒸気透過率が低く高いバリア性を有するバックシートが必要であるとのこれまでの常識を覆す画期的な発見である。赤外分光による EVA の加水分解状況の解析やモジュール内に残留する酸の定量化を行った結果、バリア性の高いバックシートでは、水蒸気の浸入量は少ないものの、EVA の加水分解により発生した酸がモジュール内に滞留しやすく、この酸によってモジュールが劣化することが推測される。一方、バリア性が低いバックシートを用いた場合には、水蒸気の浸入量は多いものの、発生した酸もモジュール外部に脱離しやすくモジュール内への滞留が少ないため、結果的にモジュールの劣化は小さいものと考えられる。アルミニウム入バックシートを用いた場合やダブルガラスモジュールでは、根本的に水蒸気の浸入が遮断されるので、酸も発生せず、モジュールの劣化は抑制できる。これらの結果は、水蒸気そのものではなく、水蒸気との反応により EVA が加水分解することで発生する酸によりモジュールが劣化することを示唆するとともに、バックシートのバリア性や封止材の材料そのものの設計指針の大幅な見直しを迫るものであり、関係者に与えるインパクトは極めて大きい。

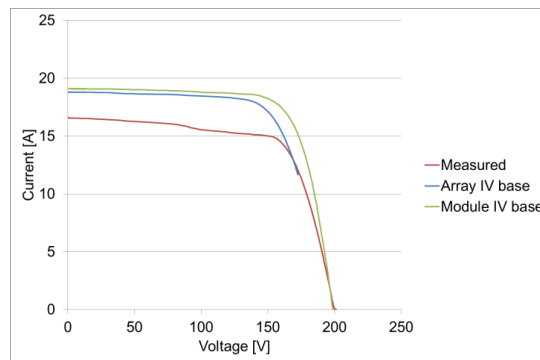
註) : 有機や薄膜太陽電池では、水分自体が問題となるため、それぞれ、 $10^{-5} \sim 10^{-6} \text{g/m}^2 \text{day}$ 台、

$10^{-3}\sim 10^{-4}\text{g/m}^2\text{day}$ 台のハイガスバリア性が必須。水分浸入により酸が発生する封止材を用いる場合も、ハイガスバリア性は水分の遮断に有効と考えられるが、ごく微量の水分により発生する酸の滞留・放出の傾向や滞留による影響については未確認であり、ハイガスバリアフィルムの開発とともに、今後の検討課題の一つである。

ロ)システム点検技術(AIST、PVTEC)

II-ロ)-a.オンサイト発電性能点検技術(AIST)

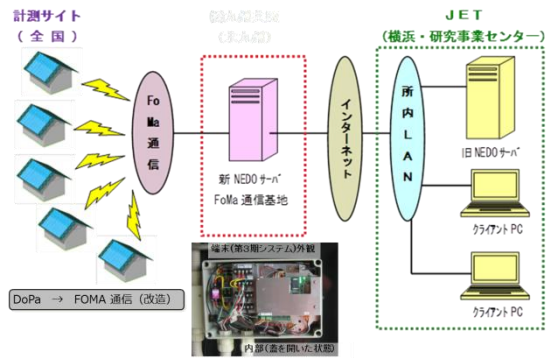
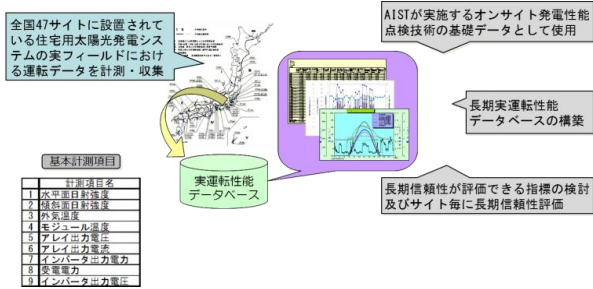
システム点検技術に関して、約10年程度経過した約200サイトの住宅用システムを対象に発電量のデータの経年特性の評価を行った。また、日射量等のデータを利用した場合のオンサイト発電性能点検技術として、線形内挿法の適用について検討を行った。屋内モジュール I V データを利用したケースおよび、実アレイ I V カーブを利用したケースについて検討を行った。実証設備を利用して、模擬的な不具合を発生して、日射計ベースにて短絡電流低下モードにおける10%出力低下について発見可能である見通しを得た(図III-2-(へ)-D-1(31))。



図III-2-(へ)-D-1(31) 模擬的な不具合(電流低下模擬)データと線形内挿法によるIVカーブ比較

II-ロ)-b.発電データ分析技術(PVTEC)

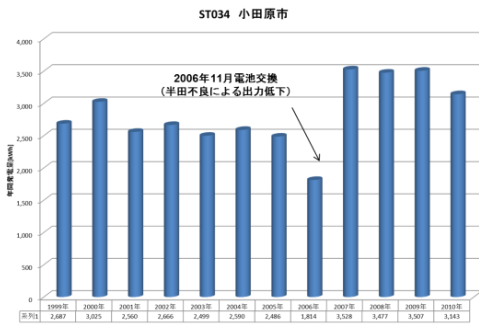
- 住宅用 PV システムの詳細計測：平成 21 年度まで NEDO が実施していた住宅用太陽光発電システム 47 サイトの実フィールドにおける運転データ計測を受継ぎ、実運転データを計測・収集し、長期的な実運転性能データベースを構築した。(図III-2-(へ)-D-1(32) 参照)
- 計測システムの改造：データ計測システムにおけるデータ収集の通信手段として利用していた NTT ドコモが提供している無線電話回線 DoPa 通信サービスが平成 24 年 3 月末に終了し、その代替えとして、同社が提供している FoMa 通信サービスへ移行するにあたり、必要最低限(ホスト及びサイト端末 29 サイト分の通信機能部分)の改造を完了した。なお、計測項目、保存ファイル形式等、通信機能変更に関連しない部分については、従前のままとした。(図III-2-(へ)-D-1(33) 参照)
- 発電データ分析：住宅用 PV システムの詳細計測で構築している実運転性能データベースのデータを利用して、サイト毎に 47 サイトの長期運転性能について発電量、システム出力係数等各種指標、推定発電量との乖離度、SV 法による解析等を実施した。(図III-2-(へ)-D-1(34) 参照)



図Ⅲ-2-(へ)-D-1(32) 住宅用 PV システムの詳細計測 (左)

図Ⅲ-2-(へ)-D-1(33) 計測システムの改造 (右)

年間発電量の推移 (一例)

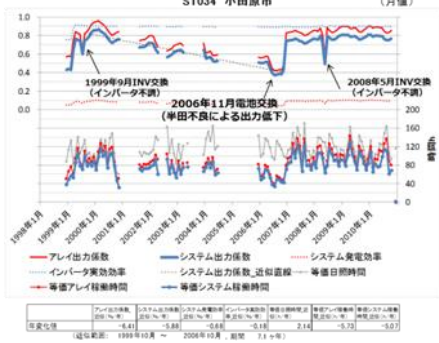


・欠測日は、年間発電量を有効計測日で割って算出した1日換算値を365日(閏年については366日)で乗じて補完した。

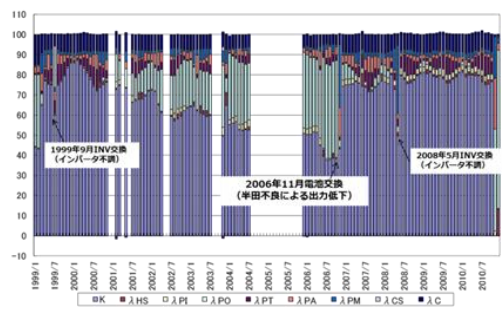
推定発電量との乖離度 (一例)



各種性能指標の推移 (一例)



各種損失の推移 (一例)

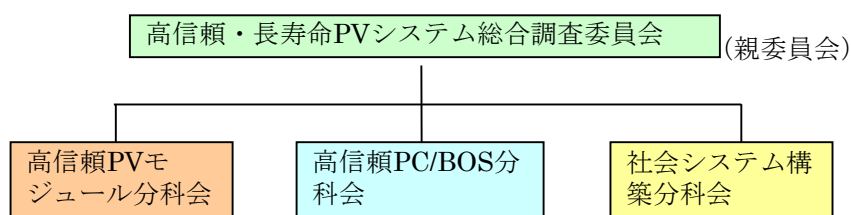


図Ⅲ-2-(へ)-D-1(34) 発電データ分析

Ⅱ-ハ) 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)

NEDO PV2030+に掲げられた2030年「7円/kWh」実現のため必要なコスト削減に有効な手段の一つは、PVシステムの長寿命化である。初期システムコストが同等で、長期運転できれば、運転時間に比例して総発電量が増加するため、相対的に発電コストが下がる。近年、モジュールメーカーの一部は出力の20年等の長期保証を謳うようになってきたが、これは製品品質・寿命に裏打ちされたものではない。またそれを保証する信頼性評価法も明確には確立されていない。そこで、長寿命化と、信頼性評価の確立を成すことで、PVの確実な低コスト化を実現・保証でき、我が国の太陽光発電産業が品質に裏打ちされた優位性を持つことができる。

PVモジュールの長寿命化技術開発は、現状では主として各モジュールメーカーがそれぞれ独自の経験・ノウハウに基づいて行っており、総合的な開発方向性の明確化はされていない。さらに、モジュール単体ではなく、トータルでのPVシステムの耐久性向上に関わる総合的な開発指針は未だ系統的に検討されていない。本項目では、これらPVモジュール、周辺システムを含めた高信頼性PVシステムを実現するための技術課題を明示し、必要な基盤技術の確立を目指して検討を行った。より具体的には、下記の3つの分科会により各々討議を行って本年11月を目処に成果を取りまとめ、親委員会によりこれを取りまとめて年度内に報告書の形を取り、広くPV関連の産官学関係者へ開発指針を示す予定である。



図Ⅲ-2-(へ)-D-1(35) 委員会・分科会組織図

分科会ごとの進捗と、その成果について、表Ⅲ-2-(へ)-D-1(5)にまとめる。

表Ⅲ-2-(へ)-D-1(5) 分科会ごとの成果まとめ

	目標 (分科会ごとに具体化)	成果	達成度、残案件
PV モジュール	○暴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るて主たる劣化要因を特定し、20年寿命を実現する課題を特定する	○調査結果より劣化要因に対する評価方法、長寿命モジュール実現のための課題を提起	H24/11 達成見込み ○評価方法や寿命の考え方を、異分野の現状等も参考にしながら討議検討。
PC /BOSS	○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)を前提とするケースと途中交換のケースでのコストシミュレーションと、各々実現のための課題抽出を行う	○関連機関・メーカー聞き取りから故障・寿命の実態を把握し、必要な技術課題を取りまとめコストを算出する	H24/11 達成見込み ○聞き取り調査を拡張しデータ確保し、検討 ○寿命を延長するのに必要な技術的課題提起の検討と、各々のコスト算出
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	○PVの優位性をさらに伸ばすための社会システム整備の方策を提起 ○その整備に障害要因となる現時点での規制等を洗い出し、どのように変えていくべきかを提言する	H24/11 達成見込み ○社会システムの現状と改善すべき点の整理と討議

Ⅲ リユースモジュール健全性試験技術(PVTEC)

近年、モジュールは、20年とも、25年とも言われる寿命を要求されるに至った。しかし、現行モジュールの認証規格は、当該寿命の検証が不可能ある。また、システム設置後、多くの場合でメンテナンスさせずに運転が継続されている。

図Ⅲ-2-(へ)-D-1(36)に示す通り、現行の認証試験規格に長期間の運転性能を検証できる要求等を追加した「(高信頼性)認証試験」、運転中の太陽光発電システムに対する「定期点検」の実施、定期点検で継続運転に不適合と判断されたモジュールに対する補修作業後の、あるいは設置者が不要となったモジュール(リユースモジュール)の設置前に、今後継続的に安全に運転できることを判定する「健全性試験」を組み入れれば、要求される寿命期間、安心して運転の継続が可能となるものと考えた。

さらに、近年、リユースモジュール(中古モジュールの再販)が新たなビジネスモデルとして認知され、今後の普及・拡大が予想される中で、当該リユースモジュールに対する統一的な評価方法が望まれている。

そこで、本研究では、前段に示した項目の内、リユースモジュールに対する健全性試験技術

として、中古モジュールの再販時に必要なモジュール性能等を示すガイドライン作成に必要なデータの提供を目指し研究を開始した。

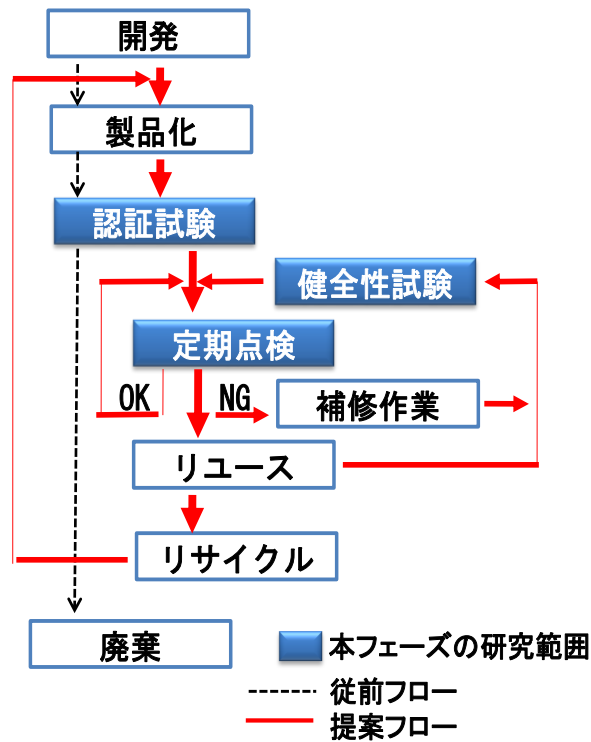
現在、新品のモジュールを販売するためには、各国認証機関での試験を受け適合する必要がある。この試験方法である IEC61215 (JISC8990) 「地上設置の結晶シリコン太陽電池モジュール—設計適格性確認及び形式認証のための要求事項」等には、多くの「機械的作用又は環境の影響で発生する感電、火災及び人的傷害を査定するための具体的な項目」がある。しかし、この項目をすべて、中古モジュールの再販業者に求めることは難しい。そこで、ガイドラインとして必要な最低限の①外観状態の判断方法、②絶縁性能の要求値、③出力測定方法の提案、③バイパスダイオードの機能の確認方法に対するデータ（情報）の提供を目指すこととした。

さらに、本フェーズ（前半）では、前段に示す項目中上記項目から、電気製品として最も基本的な要求である「③絶縁性能の要求値」の決定に必要なデータを収集し、要求値の決定を目標とした。

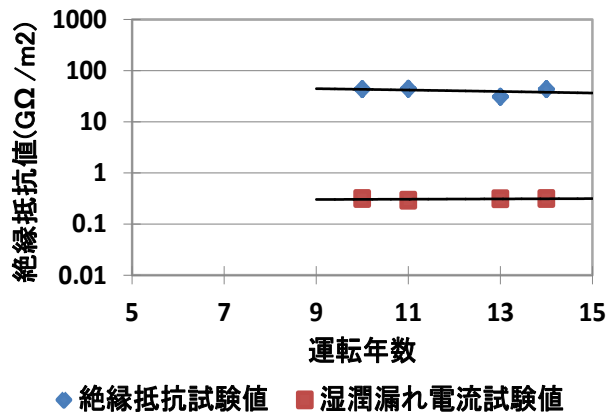
当該、目標に対する成果は、サンプル数が十分とは言えないが、目標を達成した。 運転場所の相違：絶縁抵抗値（乾燥時）は、比較を実施した北見市、鳥栖市、宮古島の内、宮古島のモジュールに低い値が集中した。一方、湿潤漏れ電流試験の値（湿潤時）は、特定サイトへの集中を認めなかった。

- 製造年の相違：図Ⅲ-2-（へ）-D-1（37）に示す通り、乾燥時は微小な低下、湿潤時はほとんど変化を認めなかった。
- 湿潤時のばらつき：図Ⅲ-2-（へ）-D-1（38）に示す通り、1標準偏差0.14で、低いばらつきに留まった。
- バックシートの色差の相違：図Ⅲ-2-（へ）-D-1（39）に示す通り、色差の上昇に対し、微小な低下に留まった。

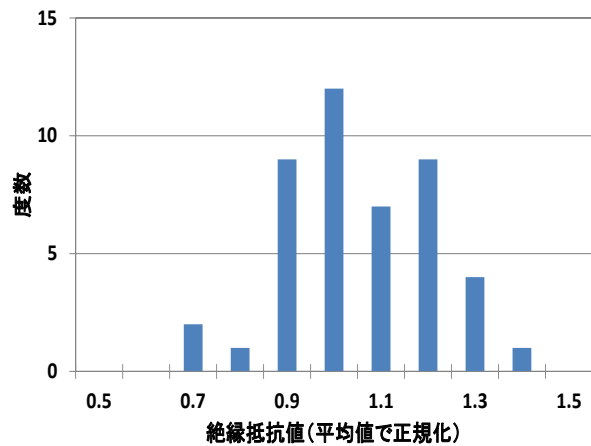
これらの結果から、運転期間10年程度のモジュールであれば、新品モジュールに対する要求値を満たすことを確認した。よって、運転期間10年程度のモジュールであれば、新品モジュールと同程度の絶縁性能を保持すべきとの結論を得ることができた。また、一方で、湿潤漏れ電流試験は、乾燥時に比べ102程度の差を示すとともに、乾燥時の絶縁抵抗試験では発見できないバックシートの傷等を発見できる優れた試験であることを確認した。



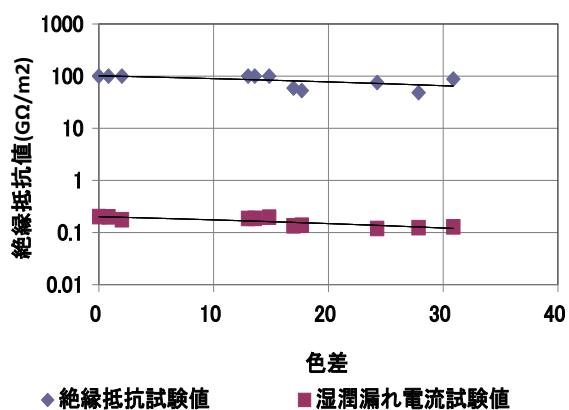
図Ⅲ-2-(へ)-D-1(36) 高信頼性性モジュール実現に向けたフロー



図Ⅲ-2-(へ)-D-1(37) 製造年度の相違による絶縁性能の差



図Ⅲ-2-(へ)-D-1(38) 絶縁性能のばらつき



図Ⅲ-2-(へ)-D-1(39) バックシートの変色と絶縁性能

表Ⅲ-2-(へ)-D-1(6) 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)	1 (0)	0 (0)	1(0)件
論文（査読付き）	11 (1)	39(10)	21(5)	71(16)件
研究発表・講演（うち国際会議）	8(1)	32(8)	15(1)	55(10)件
新聞・雑誌等への掲載	0	1	1	2件
受賞実績	0	4	1	5件
展示会への出展	0	1	0	1件

表Ⅲ-2-(へ)-D-1(7) 別表 その他成果（内訳）

	H22	H23	H24	計
NEDO 開発品新型太陽電池等測定	45	65	80	190件
J I S	5	0	0	5件
IEC	0	0	1 (CDV 審議 中)	1件
基準セル校正（波及効果）	37	72	2	111件

2. 実用化・事業化見通し

本研究の実用化は、開発した太陽電池評価技術が JIS 規格・IEC 規格等の標準に採用されて産業界に使用されること、および評価技術が普及して太陽電池開発・大量導入に貢献することを指す。

I) 発電量評価技術の開発

イ) 発電量評価

a. 発電量定格技術 (AIST、JWA)

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。

b. 発電量予測技術 (AIST, GU, JWA, UT, MRI)

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。

ロ) 太陽電池の性能評価 (AIST)

a. 太陽電池性能評価, 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。基準モジュールについては、速やかな校正事業者への技術移転などが重要である。

II) 信頼性評価技術と長寿命化技術の開発

イ) 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。この標準は、「1. 事業全体の成果」で、述べた通り、早急の制定が望まれている。しかし、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。一方、NEDO PV2030+の研究開発目標の1つに、長寿命モジュール製造開発として、モジュール寿命を30年(2020年)としている。よって、これら状況を踏まえ、次フェーズ末(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)

新加速試験技術の研究開発：4セル・モジュールへの展開において、試験装置の導入に支障は無かったため、本フェーズ後期では、フルサイズ用の適切な電源装置と制御装置を導入し、フルサイズモジュールで、試験を実施し、スケールアップに伴う技術要件の抽出・解決と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試験方法としての有効性を確認予定。本プロジェクト終了後、実使用下で、焦げなどを起こさないように、モジュールを構成する部材(EVA、セルなど)の相性を屋内試験する手法を提供する。JIS、IEC規格(61215, 61646, 61730等)への標準化による実用化を目指す。

モジュール内水蒸気浸入経路調査方法の研究開発：本研究により、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。

ロ) システム点検技術(AIST、PVTEC)

プロジェクト終了直後にガイドラインとして公開し、オンサイト点検技術として広く利用される。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。

ハ) 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える。

課題の明確化により、目標や道筋が明らかになるため、実用化の可能性は高い。

本項目で検討している内容はすべてのPVシステム関連の開発に活かすことができるため、NEDO PV2030+を実現する上で必要な普遍的な開発方針となりうるため、波及効果は大きい。

Ⅲ リユースモジュールの健全性試験技術

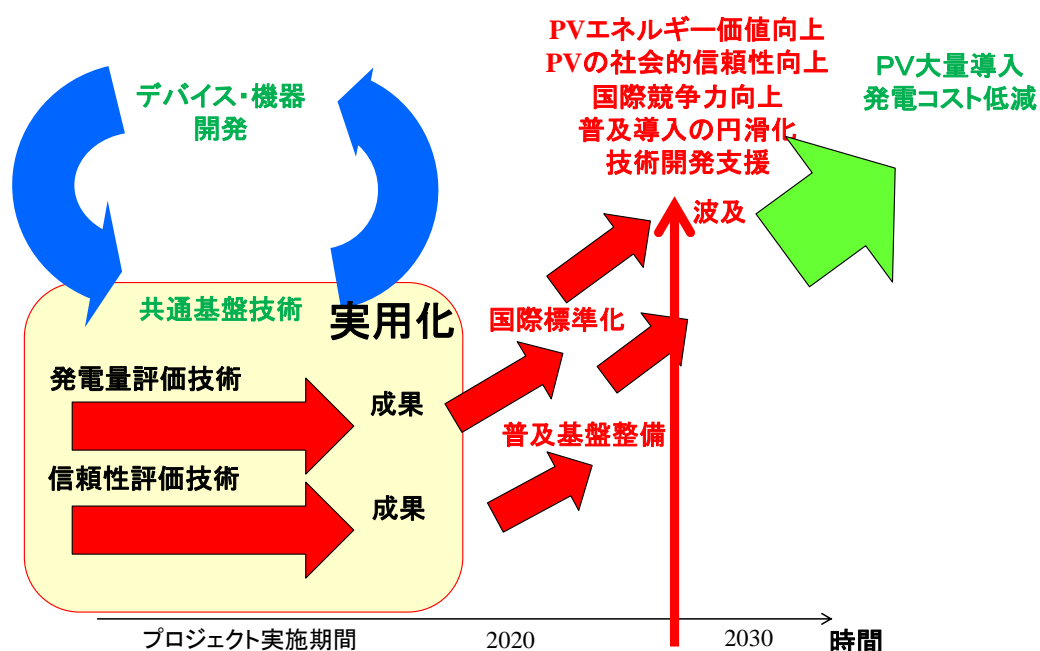
本研究の実用化・事業化は、本研究で得られたデータが、ガイドラインとして発行された時点と考えるが、このガイドライン作成には、研究以外に多くの手続きがある。そこで、本研究の実用化・事業化は、当該ガイドラインに必要なデータを業界に提出した時と定義する。

このガイドラインの目的であるリユースモジュール(中古モジュールの再販)は、新たなビジネスモデルとして認知され、今後の普及・拡大が予想されている。しかし、現在のモジュール

ル製造者の保証は、出力に関してであり、本研究で検討対象としている絶縁性能等は保証外である。さらに、現行モジュールの構造から、実フィールドで発生した故障に対する補修は、難しいのが現状である。したがって、現状を正確にとらえることが必要であり、これら作業は決して短時間で成せることではない。

一方、NEDO PV2030+のリサイクルやリユースなどの基盤技術開発は、2017年としている。よって、これら状況を踏まえ、「3. 今後の展開」に示す本フェーズ後半の目標を組み込んだデータを含め2015年度に業界への提出を目指す。プロジェクト終了直後にガイドラインとして公開し、オンサイト点検技術として広く利用される。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。

本フェーズにおける研究では、現在モジュールに期待される20年～30年寿命に向かつての1つのアイテムの提案である。しかし、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、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。

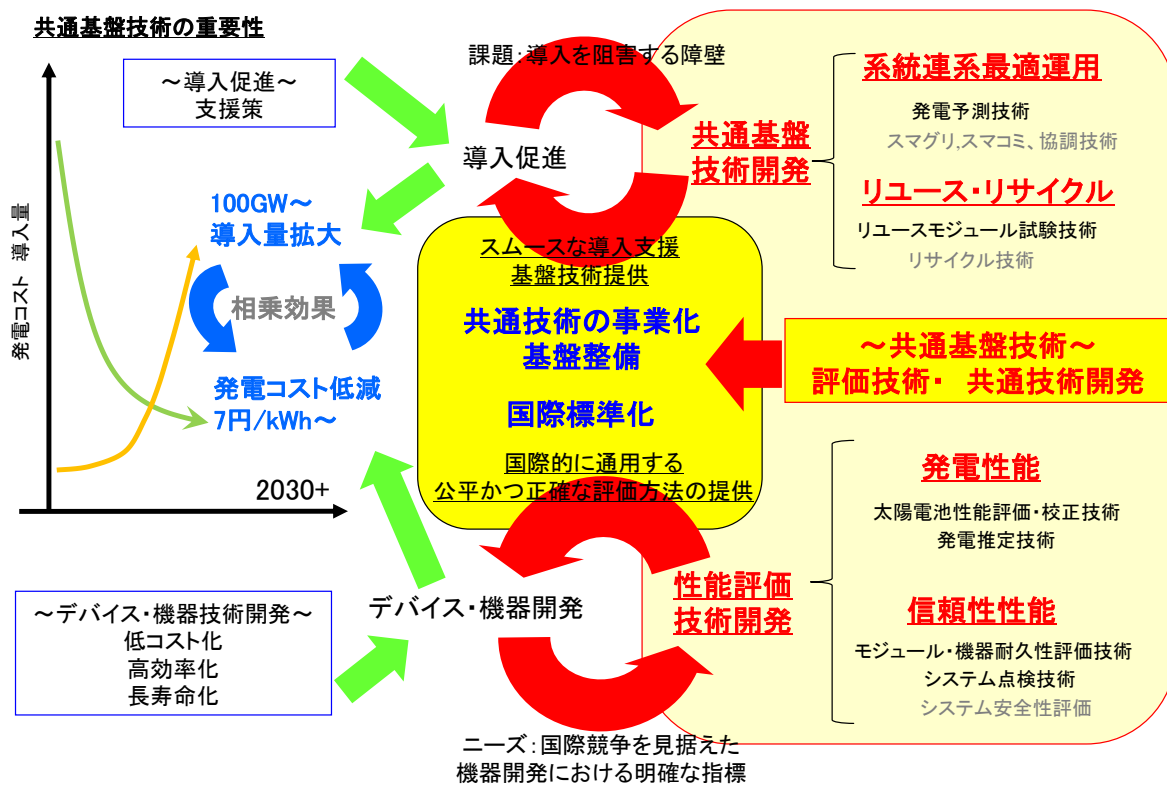


図Ⅲ-2-(へ)-D-2(1) 本事業の実用化・事業化のイメージ

3. 波及効果

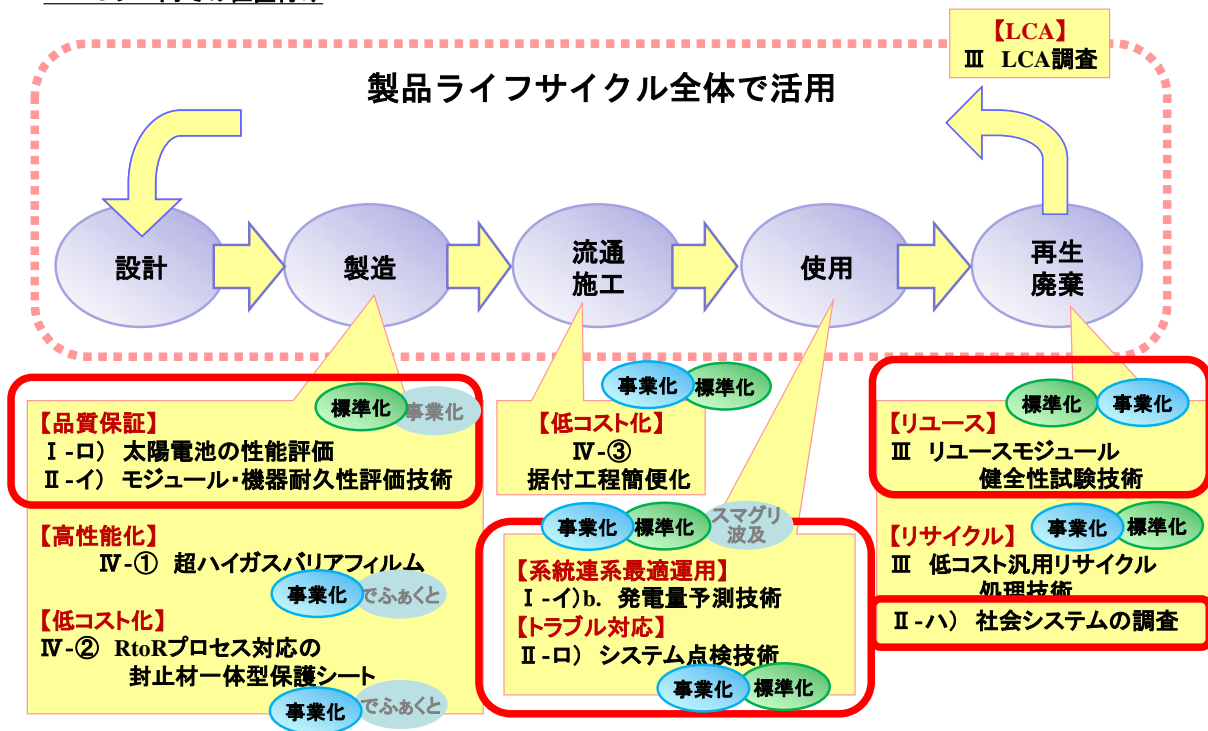
本事業では、図Ⅲ-2-(へ)-D-3(1)に示す通り、共通技術の事業化および基盤整備、また国際標準化などを目的に技術開発を行っている。100GWの導入に向けた導入促進の面では、発電予測やリサイクルリユースなど基盤的に利用可能な技術開発により、系統連系や廃棄物処理等、将来的に導入を阻害する障壁を取り除く効果があり、導入促進策と相まって導入量拡大の波及効果が期待できる。

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(図Ⅲ-2-(へ)-D-3(2))。



図Ⅲ-2-(へ)-D-3(1) 本事業の波及効果

NEDOプロ内での位置付け

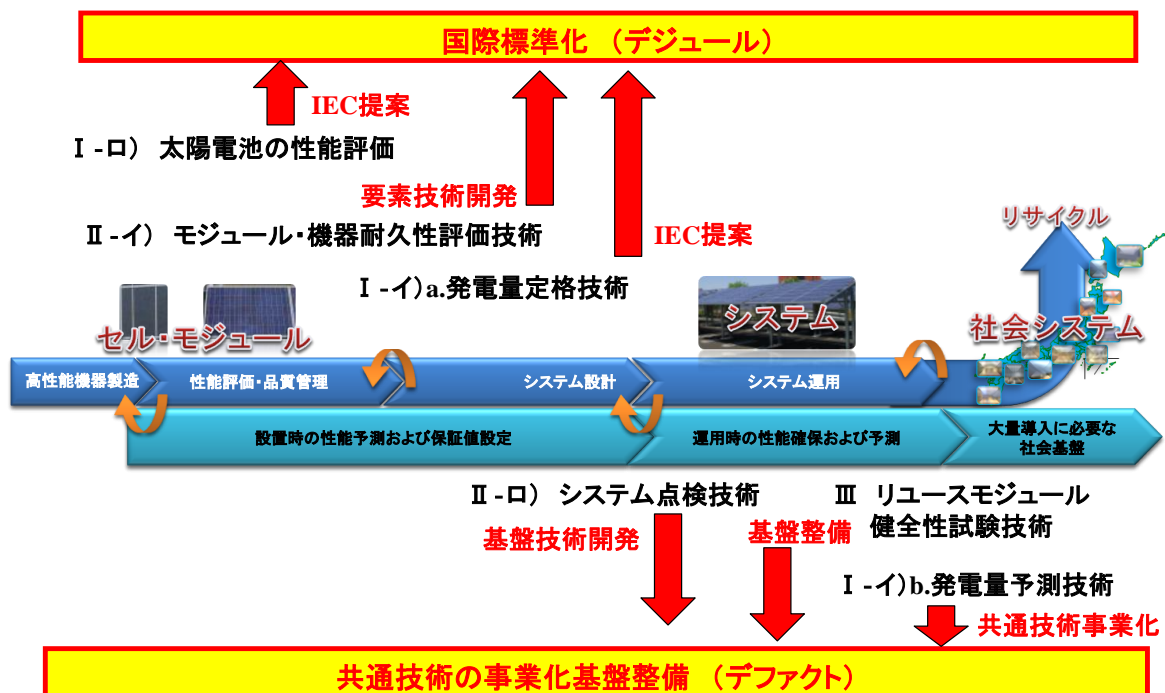


図Ⅲ-2-(へ)-D-3(2) PV 製品ライフサイクルにおける本事業の位置づけ

4. 今後の展開

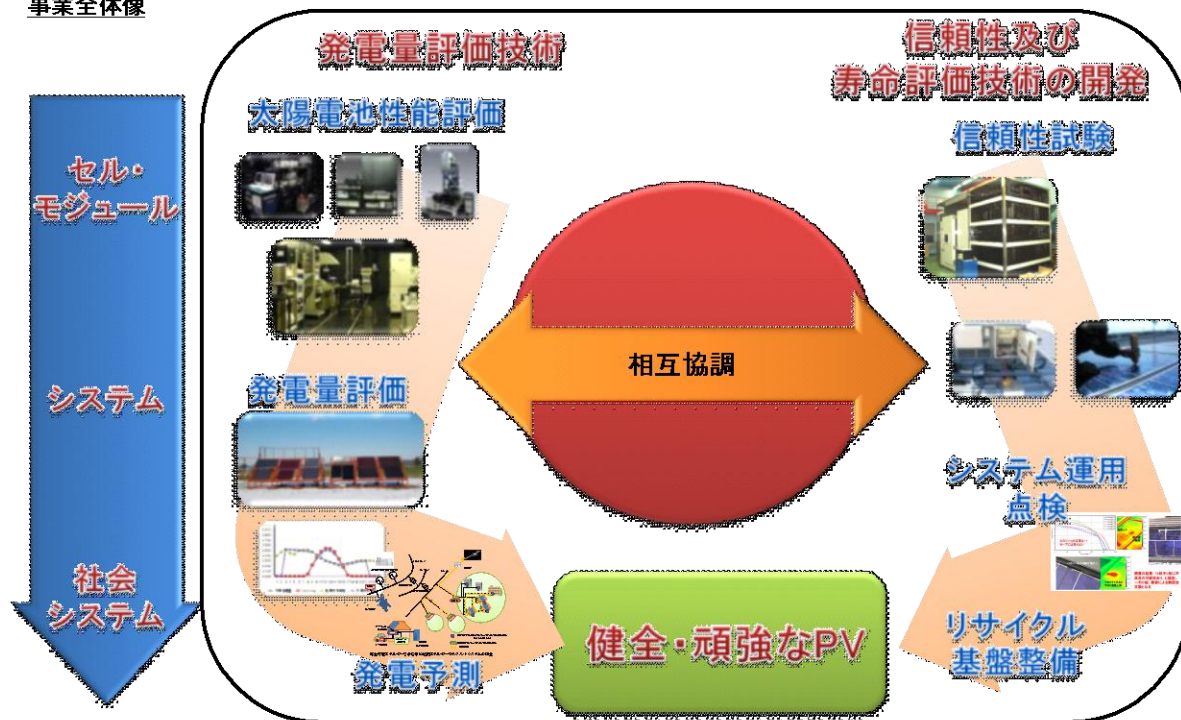
本事業の今後の展開としては、図Ⅲ-2-(へ)-D-4(1)に示す通り、IECのような国際標準化としてデジュールスタンダード化を出口とする項目および、共通技術の事業化や基盤整備によりデファクトスタンダード化を出口とする技術開発に分類できる。太陽電池の校正や性能評価手法、また発電量定格技術はIECにすでに提案している項目であり、技術開発を含めたデータ提示により国際標準化を推進する。また、モジュール機器・耐久性など信頼性評価技術は、要素技術開発の段階であるため、妥当性、有効性を確認し、順次国際標準化を見据えた活動を行っていく。

一方、システム点検技術やリユースモジュール健全性試験技術は、本事業により開発した技術をデジュールとはしないまでも、ガイドライン等、デファクト化を進め、技術の活用、基盤整備を行う。また、発電予測技術に関しては、気象庁モデルへの適用は広く活用され、また民間事業者を通して、技術が事業化されることで、社会に還元される。発電量評価技術・信頼性評価技術の2本の柱が相互協調してセル・モジュールからシステム、社会システムに亘る健全・頑強なPVを実現する。



図Ⅲ-2-(へ)-D-4(1) 本事業の今後の展開、出口イメージ

事業全体像



図Ⅲ-2-(へ)-D-4(2) 本事業展開の全体イメージ

5. 特許論文リスト

表Ⅲ-2-(へ)-D-5(1)【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	薛 雁群	2011002027	国内	平 23.11.21	受理中	分光放射計 の校正法	薛 雁群, 大谷 謙仁

表Ⅲ-2-(へ)-D-5(2)【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	津野, 菱川	AIST	アジア機関による結晶 Si 太陽電池 モジュールの国際比較測定	第 7 回 次世代の太 陽光発電システム シ ンポジウム	無	2010
2	津野, 菱川	AIST	Comparison of Curve Correction Procedures for Current- Voltage Characteristics of Photovoltaic Devices	21 st International Photovoltaic Science and Engineering Conference	有	2011
3	Ishii, Otani, Itagaki, Utsunomiya	AIST	A methodology for estimating the influence of solar spectrum on PV module performance by using average photon energy and a water absorption band	Jpn. J. Appl. Phys., accepted	有	2012
4	Ishii, Otani, Takashima	AIST	Solar spectral influence on the performance of photovoltaic (PV) modules under fine weather and cloudy weather conditions	Prog. Photovolt: Res. Appl., available online	有	2012
5	Ishii, Takashima, Otani	AIST	Long-term performance degradation of various kinds of photovoltaic modules under moderate climatic conditions	Prog. Photovolt: Res. Appl. 19, 170-179	有	2011
6	Ishii, Otani, Takashima, Xue	AIST	Effects of solar spectrum and module temperature on outdoor performance of photovoltaic modules in round-robin measurements in Japan	Prog. Photovolt: Res. Appl. 19, 141-148	有	2011
7	Ishii, Otani, Takashima, Kawai	AIST	Estimation of the maximum power temperature coefficients of PV modules at different time scales	Sol. Energy Mater. Sol. Cells 95, 386-389	有	2011
8	Fonseca, 大関, 高島, 荻本	AIST, 東大	Study on the Effect of the Training Period on the Accuracy of Insolation Forecasts with Artificial Neural Networks	平成 22 電気学会電 力エネルギー部門大 会	無	2010
9	Fonseca, 大関, 高島, 荻本	AIST, 東大	Solar irradiation forecasts with neural networks and numerically predicted Cloudiness data	5th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion	有	2010
10	Fonseca, 大関, 高島, 荻本	AIST, 東大	サポートベクターマシンを用いた日 射量予測に関する研究	メタボリズム社会・環 境システム研究会	無	2011
11	Fonseca, Oozeki,	AIST, JPOWER,	Photovoltaic power production	37th IEEE	有	2011

	Takashima, Koshimizu, Uchida, Ogimoto	東大	forecasts with support vector Regression: a study on the forecast horizon	Photovoltaic Specialist Conference		
12	Fonseca, Oozeki, Takashima, Koshimizu, Uchida, Ogimoto	AIST, JPOWER, 東大	Analysis of the Use of Support Vector Regression and Neural Networks to Forecast Insolation for 25 Locations in Japan	Solar World Congress 2011	有	2011
13	Fonseca, Oozeki, Takashima, Koshimizu, Uchida, Ogimoto	AIST, JPOWER, 東大	Forecast of Power Production of a Photovoltaic Power Plant in Japan with Multilayer Perceptron Artificial Neural Networks and Support Vector Machines	26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition	有	2011
14	Fonseca, 大関, 大竹, 高島, 加藤, 荻本	AIST, 東大	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	無	2011
15	Fonseca, Oozeki, Takashima, Koshimizu, Uchida, Ogimoto	AIST, JPOWER, 東大	Use of support vector regression and numerically predicted cloudiness to forecast power output of a photovoltaic power plant in Kitakyushu, Japan	Prog. Photovolt: Res. Appl.	有	2011
16	大関, Fonseca, 高島, 加藤, 荻本	AIST, 東大	太陽光発電システムの広域発電予測技術の研究	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	2011
17	Oozeki, Otani, Takashima, Hishikawa, Koshimizu, Uchida, Ogimoto	AIST, JPOWER, 東大	A SMOOTHING EFFECT ON FORECASTING ERROR OF REGIONAL PV SYSTEM OUTPUT IN JAPAN0	26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition	有	2011
18	大関, Fonseca, 高島, 加藤, 荻本	AIST, 東大	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/風力エネルギー講演論文集 2011	無	2011
19	大関, Fonseca, 高島, 荻本	AIST, 東大	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	2011
20	大関, 高島, Fonseca, 大竹, 荻本	AIST, 東大	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	2011
21	大関, 高島, 五十嵐, 若林	AIST, JET	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」シンポジウム予稿集	無	2012
22	大関, Fonseca, 大竹, 下瀬, 高島, 荻本	AIST, 東大	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	2012
23	Oozeki, Fonseca, Takashima, Kato, Ogimoto	AIST, 東大	An Evaluation result of regional Photovoltaic output forecasting in Japan	21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference	無	2011
24	大竹, 村上, 折笠, 斉藤, 橋本, 加藤	AIST, 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 2011年度春季大会 予稿集 99,p335	無	2011
25	Ohtake, Murakami, Orikasa, Saito, Kato, Hshimoto	AIST, 気象研	Statistical validation of a cloud resolving model against aircraft observations of orographic snow clouds	Proceedings of International Union of Geodesy and Geophysics	無	2011

				Conference (IUGG) 2011,#2379.		
26	Ohtake	AIST	Statistical validation of a cloud resolving model against aircraft observations of orographic snow clouds	Proceedings of Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 2011,AS04-A003..	無	2011
27	大竹, 山下, 山田, Fonseca, 高島, 大関	AIST, 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 2011 年度秋季大会予稿集,100,p526.	無	2011
28	大竹, 山下, 山田, Fonseca, 高島, 大関	AIST, 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 2011 年度秋季大会予稿集,100,p432.	無	2011
29	大竹, 山下, 山田, Fonseca, 高島, 大関	AIST, 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,13,52-53.	無	2011
30	Otake, Yamada, Hashimoto, Hayashi, Kato, Hara, Oozeki	AIST, 気象研	Prediction accuracy of shortwave radiation of the Japan Meteorological Agency meso-scale model in the Kanto region, Japan.	ICEM 2011 Conference Programme and Abstracts Handbook, p70.	無	2011
31	大竹, Fonseca, 高島, 大関, 山田	AIST, 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	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 講演論文集, FTE-11-34/MES-11-20 ,25-30.	有	2011
32	大竹, Fonseca, 高島, 大関, 山田	AIST, 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	平成24年電気学会全国大会 講演論文集,6-023.	有	2012
33	大竹, 下瀬, Fonseca, 高島, 大関, 山田	AIST, 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 講演予稿集 ,101,p310.	無	2012
34	大竹, 下瀬, Fonseca, 高島, 大関, 山田	AIST, 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」シンポジウム講演論文集 ,87-88	無	2012
35	大竹, 嶋田	AIST, 岐大	第1回 エネルギーと気象学の国際会議(ICEM)への参加報告	天気,59 ,351-355.	有	2012
36	下瀬, 大竹, 山田, Fonseca, 高島, 大関	AIST, 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短波放射量の検証—つくばでの誤差要因の解析—	2012 年度春季大会講演予稿集, 144	無	2012
37	下瀬, 大竹, 山田, Fonseca, 高島, 大関	AIST, 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」シンポジウム予稿集, 172-173	無	2012
38	三矢, 橋本, 小林, 板垣, 山田, 荒木	岐大, JWA, 大同特殊鋼	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 2010.	無	2010
39	高巢, 橋本, 小林, 吉野	岐大	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 2010.	無	2010
40	森田, 嶋田, 吉野, 小林	岐大	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 2011, pp.51-54.	無	2011

41	山田, 吉野, 小林	瀬戸市役所, 岐大	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成	太陽／風力エネルギー講演論文集 2011, pp.55-59.	無	2011
42	嶋田, 劉, 吉野, 小林, 板垣, 宇都宮	岐大, JWA	メソ気象モデル WRF による日射量予測の制度検証	太陽／風力エネルギー講演論文集 2011, pp.171-174.	無	2011
43	東原, 小林	岐大	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 2011, pp.175-179.	無	2011
44	水谷, 小林, 板垣, 宇都宮	稲沢市役所, 岐大, JWA	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 2011, pp.205-209.	無	2011
45	荻本, 片岡, 池上, 東, 福留	東大, JPBS	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	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, No.31-5, 519-522	無	2011
46	荻本, 片岡, 池上, 東, 福留	東大, JPBS	長期の電力需給計画における低炭素化実現の予備検討	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, No.31-6, 523-526	無	2011
47	荻本, 関, 平口, 林	東大, 東電, 電中研, JWA	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出力予測 -	電気学会 メタボリズム社会・環境システム研究会, MES-11-01, *-*	無	2011
48	荻本, 片岡, 池上	東大	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, No.6-090, 157-158	無	2011
49	荻本, 池田	東大	エネルギーシステムの発展とスマートグリッド	オペレーションズリサーチ, Vol.56, No.7, 369-378	無	2011
50	荻本, 池田, 片岡, 池上	東大	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, PE-11-135, PSE-11-152, No.3, 69-74	無	2011
51	池上, 片岡, 岩船, 荻本	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, Vol.67, II_351-II_362	有	2011
52	福留, 東, 池田	JPBS, 東大	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, FTE-11-46, MES-11-32, *-*	無	2011
53	荻本, 池田, 片岡, 池上, 赤井	東大, AIST	我が国の長期電力需給ベストミックスの検討	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, No.32-1, 499-502	無	2012
54	池田, 荻本, 片岡, 池上	東大	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	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, No.32-3, 507-508	無	2012
55	荻本, 池田, 片岡, 池上, 野中, 東	東大, Jpower, JPBS	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	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, No.32-4, 509-512	無	2012

				演論文集, No. 32-4, 509-512		
56	池田, 荻本, 片岡, 池上	東大	再生可能エネルギーの連系と蓄電装置を用いた需要の電動化を考慮した発電機起動停止モデル	平成 24 年電気学会 全国大会講演論文 集, No. 6-153, 272-273	無	2012
57	Ikeda, Ikegami, Kataoka, Ogimoto	東大	A Unit Commitment Model with Demand Response for the Integration of Renewable Energies	The 2012 IEEE PES General Meeting	有	2012 掲載予定
58	鴨居, 西川, 井関, 石原, 加藤	日大, 同志社, JET	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	2010
59	鴨居, 井関, 加藤, 西川, 石原	日大, 同志社, JET	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	2010
60	井関, 高橋, 藤原	同志社	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	2010
61	堀江, 井関, 高橋, 藤原, 石原, 高橋, 鴨井, 西川, 加藤	日大, 同志社, JET	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	2012
62	高橋, 鴨井, 西川, 堀江, 井関, 石原, 加藤	日大, 同志社, JET	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	2012
63	津野, 菱川	AIST	Comparison of Curve Correction Procedures for Current-Voltage Characteristics of Photovoltaic Devices	Jpn. J. Appl. Phys.	有	2012
64	Y. Hishikawa	AIST	Effect of non-uniformity of electric potential within crystalline Si bare cells and correction of I-V curves for measurement error	37th IEEE PVSC Seattle (2011)	無	2011
65	菱川善博 志村陽哉	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	平成 23 年度日本太陽 エネルギー学会	無	2011
66	Y. Hishikawa	AIST	Precision Measurement of PV Devices and Adjustment of Solar Simulator Spectral Irradiance	21st PVSEC, Fukuoka (2011)	無	2011
67	Y. Hishikawa	AIST	EFFECTS OF THE DISTRIBUTION OF ELECTRIC POTENTIAL ON THE I-V MEASUREMENT OF CRYSTALLINE SILICON BARE CELLS	25th EUPVSEC, Valencia (2010)	無	2010
68	Y. Hishikawa	AIST	INFLUENCE OF THE MEASUREMENT SPEED AND DIRECTION ON THE I-V CHARACTERISTICS OF VARIOUS PV MODULES	Renewable Energy 2010, Yokohama	無	2010
69	Y. Hishikawa	AIST	INFLUENCE OF NONUNIFORMITY OF IRRADIANCE WITHIN A CELL ON THE ACCU-RATE I-V CURVE MEASUREMENT UNDER 1 SUN ILLUMINATION	35th IEEE PVSC, Honolulu (2010)	無	2010

70	Y. Hishikawa et al.	AIST	Round-robin measurement intercomparison of c-Si PV modules among Asian testing laboratories	Progress in Photovoltaics: Research and Applications (2012)	有	2012
71	M. Green, Y. Hishikawa et al.	AIST	Solar cell efficiency tables (version 39)	Progress in Photovoltaics: Research and Applications 20 (2012) 12-20	有	2012

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環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。

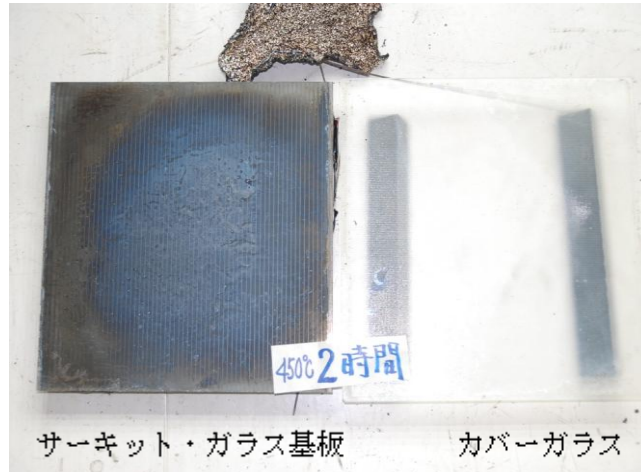
(2) CIS モジュール高速分離装置改造

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口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。図Ⅲ-2-(へ)-E-1(1)に上記の運転条件で処理したサーキット・ガラス基板とカバーガラスの状態を示す。



図Ⅲ-2-(へ)-E-1(1) 450℃で2時間保持して分離した CIS 系 PV モジュールの例

- 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 熱処理装置開発を開発した。

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。そこで図Ⅲ-2-(へ)-E-1(2)及び図Ⅲ-2-(へ)-E-1(3)に示すような、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。

1) 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、モジュールサイズは、長さ最大モジュールが 1,657mm×858mm×46mm、重量 17 kg、幅最大モジュールが 1,414mm×1,114mm×35mm、重量 21 kgとする。

2) 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。

3) 剥離機構

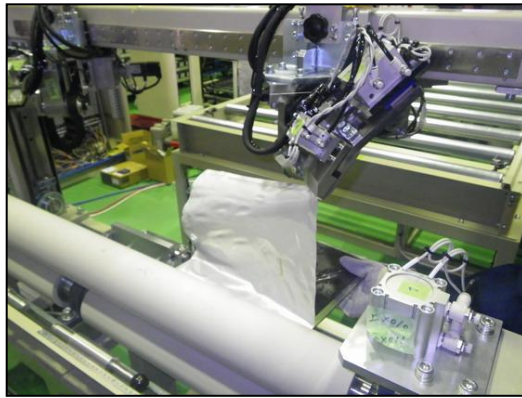
剥離開始部は、モジュール前端面にエッジのようなものをバックシートとガラスの間に差し込み、バックシートの前端部を捲り上げ、捲れたバックシート部をクリップ等で掴み、そのクリップを引き上げながらモジュールを送り出すことにより、バックシート全面を剥離させる。

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。各種パネルの加熱式バックシート剥離装置による処理結果を表Ⅲ-2-(へ)-E-1(1)に示す。

- ・ 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はないため、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。

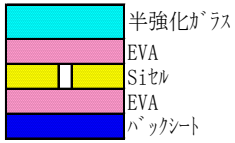





図Ⅲ-2-(へ)-E-1(2) 加熱式バックシート剥離装置（構成図）



図Ⅲ-2-(へ)-E-1(3) 加熱式バックシート剥離装置（剥離機構部）

表Ⅲ-2-(へ)-E-1(1) 各種パネルの加熱式バックシート剥離装置による処理結果

	A社・中古品	B社・新品	C社・新品	D社・新品
モジュールの種類	結晶Si	C I S	薄膜Si	結晶Si
モジュールの構造				
シート材の種類	PVF/アルミ/PVF	PET/アルミ/PET	PET/アルミ/PET	PET/PET
炉内温度 (°C)	250	250	150	250
加熱時間 (min)	7.5	7.5	7.5	15
剥離時間 (min)	2.5	2.5	2.5	5.5
剥離成功率 (%)	0	80	0	0
作業性	<p style="text-align: center;">△</p> <p>シート破れやPVF剥離残の発生あり</p>	<p style="text-align: center;">○</p> <p>加熱時間や剥離時間を短縮すると、クランプ外れの発生あり</p>	<p style="text-align: center;">△</p> <p>150°C以上でガラス割れの発生あり EVAとシートの接着力が低下せず、剥離困難</p>	<p style="text-align: center;">×</p> <p>EVAとシートの接着力が低下せず、剥離困難</p>

(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、メーカー所有の切削加工機を借りてFS試験した結果、以下の成果を得た。

- ・処理方式は非加熱の切削式で、切削方法は「フェイスミーリングカッターによる平面切削」が有効である。
- ・本装置に必要な真空吸着機構及び切削屑の連続集塵機構を標準で装備し、かつ安価な木材加工用の装置を使用することが有効である。
- ・最大サイズのモジュール1枚当りの処理時間は3分程度で、各種モジュールに適用できることを確認した。

a-3) 低コスト汎用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、図Ⅲ-2-(へ)-E-1(4)に示すような、下記仕様のEVA熱処理装置を試作した。

- 1) EVAを分解処理する炉は、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。

- 2) 処理炉の加熱方式は、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。
- 3) 処理炉の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。
- 4) EVA 分解ガスは別途設けた処理炉で燃焼させ、その熱をサーマルリサイクルする。
- 5) 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。



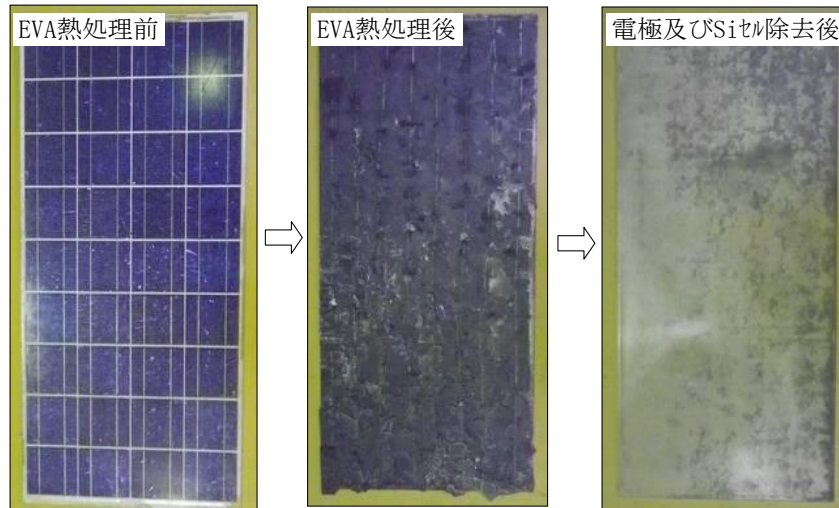
図Ⅲ-2-(へ)-E-1(4) EVA 熱処理装置 (全体図)

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。

このような汎用 EVA 熱処理装置開発は世界初であり、特許申請準備中。

EVA 熱処理前後のモジュール状況を、図Ⅲ-2-(へ)-E-1(5)に示す。

- ・各種モジュールに対し、炉内酸素濃度を 3%未満に制御できることを確認。
- ・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、処理速度が 6MW/年相当の 6 枚/hr で、ガラスの破損なしに処理可能であることを確認した。
- ・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。
- ・CIS 系モジュールについては、カバーガラスと基盤ガラスの間の EVA が分解し難く、処理速度は 2MW/年相当の 2 枚/hr 以下となる。



図Ⅲ-2-(~)-E-1(5) EVA 熱処理前後のモジュール状況

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、本研究段階では各プロセス間でPV モジュールをカセットに出し入れ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-(~)-E-1(6)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。



図Ⅲ-2-(~)-E-1(6) モジュールローダー・アンローダー及びカセット

モジュールローダー・アンローダーにてカセットより取り出されたモジュールを、次工程のバックシート剥離装置へ搬送するものとして、自動ローラーコンベアを採用・導入した。なおこのモジュール搬送装置は、その機能上の理由から前述の加熱式バックシート剥離装置と一体型とした。

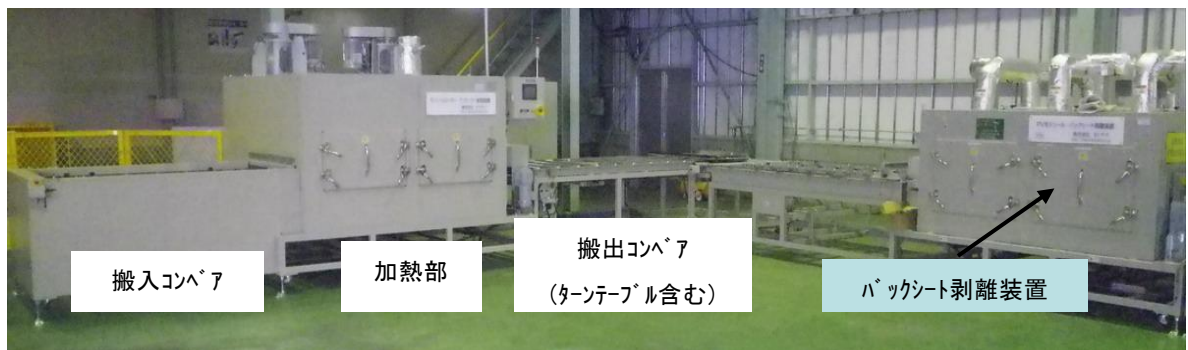
(2) モジュールローダー・アンローダー後処理装置の開発

(加熱式アルミ枠解体支援装置)

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

び端子箱を事前に解体する必要がある、図Ⅲ-2-(へ)-E-1(7)に示すような、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。

- 1) 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。
- 2) 加熱炉から排出されたモジュールを、回転テーブル上で回転させながら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。



図Ⅲ-2-(へ)-E-1(7) 加熱式アルミ枠解体支援装置 (構成図)

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。各種パネルの処理結果を、表Ⅲ-2-(へ)-E-1(2)に示す。

- ・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。

表Ⅲ-2-(へ)-E-1(2) 各種パネルの処理結果

	A社・中古品	B社・新品	C社・新品	D社・新品
モジュールの種類	結晶Si	C I S	薄膜Si	結晶Si
アルミ枠部の構造				
シール材の種類	ブチルゴム	ブチルゴム	ブチルゴム	シリコンゴム
炉内温度 (℃)	100	150	100	200
加熱時間 (min)	5	5	2.5	5
作業性				
①アルミ枠外し	△ テープの切断が必要	○	◎	× ゴムが軟化せず
②ゴム除去	○	△ ゴムの量が多く、粘性大	△ ゴムの量が多く、粘性大	× ゴムが軟化せず

(3) 非加熱式アルミ枠解体支援装置の開発

前述のとおり、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存在す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(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開発を試みた。

- 1) 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。
- 2) 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、アルミ枠の一边を押し剥がす。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(8) 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。

このように各種 PV モジュールのアルミ枠と端子箱の解体が同じ装置で出来るのは他になく、特許申請準備中。

a-5) 有価物回収装置検討・試作

PV モジュールの EVA 樹脂を熱処理した後、ガラスを有価物として回収するには、CIS 系薄膜 PV モジュールの場合、基板ガラスに成膜された CIS 膜を機械的に回収する装置が必要である。予備実験で、太陽電池デバイス部はナイフや鋭利な金属片を強く押し当てることで、ガラス基板面から除去できることを確認していた。そこで CIS 膜を除去する回収装置の仕様を検討した。

仕様作成の前提として、本研究で仕様検討するパイロットプラント（年間処理量 20MW 相当）に適用できるレベルの CIS 膜処理時間（約 40 秒）を目標とした。

(1) 薄膜スクレーパーの検討

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、レーザー等が考えられるが、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、金属ブラシ式が優れていることが分かった。金属ブラシ式にはロール式と立て式があり、それぞれ実験装置を作製し、その特性を調査した。その結果、ロール式ではブラシの針金が軸に近いかしめ部分から多数折れることが分かり、金属ブラシとしては立て式を採用した。

上記の検討結果を基に薄膜スクレーパーを試作した。ワークの最大寸法を 1250mm×950mm とし、厚さ 0.7mm～3mm までの処理を可能とした。また、作業員 1 人でサーキット・ガラス基板の当装置へのロード及びアンロードができるように設計した。主な仕様を次に掲げる。

- 1) 最大処理幅： 1250mm
- 2) 金属製ブラシ： 立て式ニッケルを含まないスチール製針金構成
- 3) ブラシ回転速度： 1000rpm (最大 1700rpm)
- 4) ワーク送り速度： 10cm/秒

本試作装置により、1250mm×950mm のガラス基板全面に製膜された CIS 系薄膜太陽電池デバイス部を約 35 秒で除去・回収できることを確認した。スループットとしては、装置へのサーキット・ガラス基板のロード・アンロード時間を含め、上記サイズ基板 1 枚当たり 60 秒であった。このことから年間処理量 20MW 相当のスループットが処理できる見込みを確認した。

このような処理速度で CIS 膜を除去できる装置は世界初であり、特許申請済み。

図Ⅲ-2-(へ)-E-1(9)に、試作した薄膜スクレーパーを示す。装置手前は、CIS 系薄膜太陽電池デバイス部を除去・回収した後の下地の裏面電極層であるモリブデン面が出ているガラス基板である。



図Ⅲ-2-(へ)-E-1(9) 試作した薄膜スクレーパーと処理済のガラス基板

(2) 粉塵回収装置の検討

CIS系薄膜太陽電池デバイス部から除去・回収された金属粉は非常に重く、「かさ密度」を実測したところ1920kg/m³であった。これは小麦粉(約500kg/m³)の4倍近い重さであり、粉塵回収装置の吸引圧力を強くすることが必要であった。

回収金属粉の吸引圧力と吸引距離の関係を検討した結果、少なくとも吸引距離は10mm以上必要で、1つの吸引口には3.5kPa以上必要であることがわかった。立て式ブラシの装着個数を考慮して、粉塵回収装置の吸引圧力として17kPa以上が必要であることがわかった。また、金属粉の吸引を促進するため、外部から圧縮空気によって金属粉に補助的に運動エネルギーを与え動きやすくした。

上記検討結果を反映した「集塵回収装置」を試作して性能を評価した。その結果、CIS系薄膜太陽電池デバイス部を除去・回収したガラス基板表面には金属粉はほとんど認められず、良好な粉塵回収機能を確認した。

今後は、集塵回収装置のフィルター詰まりと吸引力について、多量のスクレーピング試験を行って検証する必要がある。

(3) 回収金属(合金)の製錬性検討

20MWパイロットプラントで除去・回収した金属粉(合金)から、それぞれの要素金属を製錬できる量を把握するため、回収した金属粉を国内3社の製錬会社に分析させた。分析値より20MW処理時の年間回収量を推定した結果は以下の通り。

Cu : 274kg、In : 130kg、Se : 290kg、Zn : 651kg、Ga : 26kg

またCIS系薄膜金属の受入に関する製錬会社の意見を以下に示すが、Seに関しては製錬会社によって見解が分かれた。

In : 10% wt 以上あれば受入れ可能 / Ga : 5%wt 以上必要 / Zn : 現状、有価と認められない
Se : A社 ; 受入れ可能、B社 ; 処理費用が必要、C社 ; 受け入れ不可

この結果より、金属粉に付加価値を付けるためには、セレン除去が必要であることが確認できた。また、カーボンが混入した金属粉は、製錬に難があり受入不可とのことであった。これは、カバーガラス分離後のサーキット基板上に、カーボンを残留・付着させてはならないことを意味する。

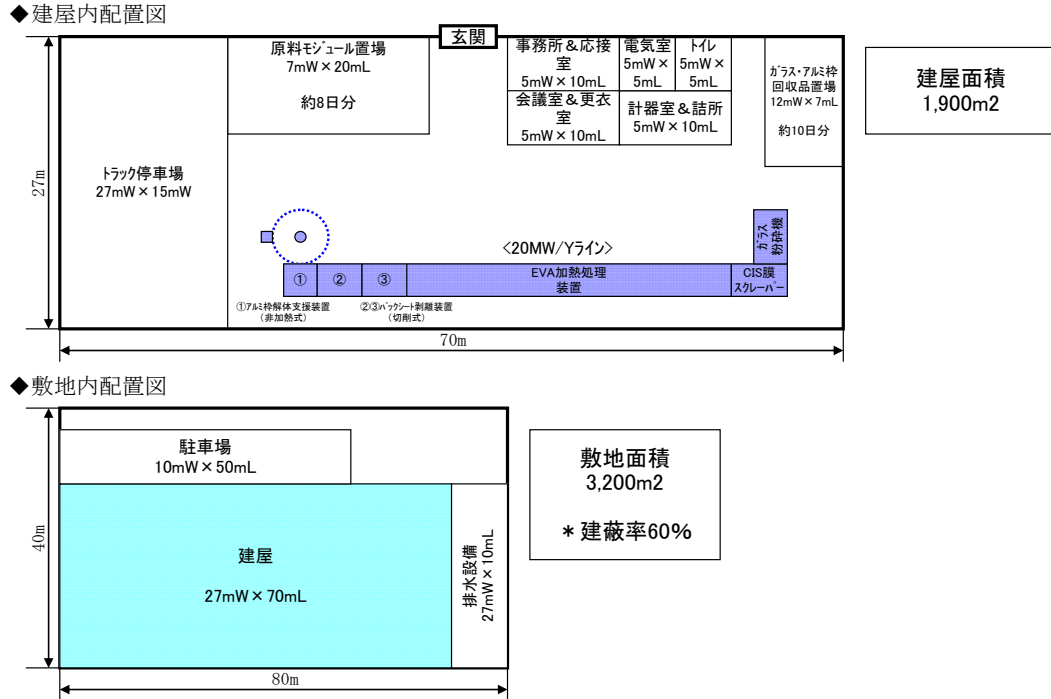
a-6) パイロットプラント仕様検討及びコスト評価

a-1)～a-5)で得られた成果を基に、年間処理量20MW規模のパイロットプラント仕様検討、及びパイロットプラント稼動時のリサイクル処理コストを試算した。

(1) パイロットプラントの配置検討

PVリサイクル処理プロセスに必要な各装置、及び付帯設備の配置を検討した結果、以下の成果を得た。

- ・ 図Ⅲ-2-(へ)-E-1(10)に示すように、パイロットプラントの建屋面積としては、1,900 m²程度が必要である。
- ・ 建屋を設置する敷地面積としては、3,200 m²程度が必要である。



図Ⅲ-2-(へ)-E-1(10) パイロットプラントの配置(案)

(2) パイロットプラントの建設費検討

PV リサイクル処理プロセスに必要な各装置、付帯設備及び建屋の建設費の一次試算を実施し、パイロットプラント建設のトータル費用は 640 百万円程度である。

(3) 有価物回収メリット検討

PV リサイクル処理プロセスで発生する有価物の回収メリットの一次試算を実施し、以下の成果を得た。

- ・ 有価物として以下のものが回収可能である。
 - アルミ : アルミ 枠単体として回収し、非鉄精錬業者へ売却
 - ガラス : ガラスカレットとして回収し、ガラスカレット業者へ売却
 - 銀 : Si セル上のペーストとして回収し、非鉄精錬業者へ売却
 - 銅 : 銅線単体として回収し、非鉄精錬業者へ売却
- ・ 銀の建値によって有価物回収メリットは変動するが、トータルで 1 円/W~4 円/W 程度が期待出来る。

(4) パイロットプラントのリサイクル処理コスト検討

PV リサイクル処理コストの一次試算を実施し、有価物回収メリットを考慮すると、処理コストは 9 円/W~12 円/W 程度と見込まれる。

(5) リサイクルセンターの処理コスト検討

パイロットプラントの処理コスト検討で得られた成果を基に、年間リサイクル処理量 200MW 規模のリサイクルセンターの処理コストの一次試算を実施した結果、有価物回収メリットを考慮しなくても 4.9 円/W となり、本プロジェクト目標 5 円/W を達成出来る見込みである。

b. LCA 調査

LCA 調査に関しては下記二つを目的に、LCA を実施するために必要となる前提条件の設定と、特に廃棄・リサイクル段階における評価を実施した。ただし、太陽光発電モジュールのリサイクル技術に関しては、本研究開発ではまだ完全な実データが得られていないことから、現時点では一部暫定的な推計値も用いている。

- ①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、使用済みの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
- ②太陽光発電システム全体の LCA(太陽光発電システムの製造も含めた評価)

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 系を対象とするが、現時点では結晶 Si のみの評価となった。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前提条件の設定

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(3)に示すとおり、5つのケースを想定して評価を行った。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、これに本研究開発で検討している追加的な対策を講じた場合の効果を算定した。なお、熱の回収・利用率に関しては、研究開発の内容を基に検討しているが、現在の計算では 50%と想定した。

表Ⅲ-2-(へ)-E-1(3) 結晶 Si 系 PV モジュールにおける評価ケース

ケース	ケースの内容
ベースケース	<ul style="list-style-type: none">・ガラスと充填材の熱分離は実施（熱の回収利用は行わない）・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＋熱の回収利用（充填材熱分離時、回収率 50%）
ケース 2	・ベースケース＋熱の回収利用＋ガラスリサイクル（カレット 100%）
ケース 3	・ベースケース＋熱の回収利用＋ガラスリサイクル ＋Si リサイクル（金属 Si、100%）
ケース 4	・ベースケース＋熱の回収利用＋ガラスリサイクル ＋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 SiPV 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。

< 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 SiPV 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。

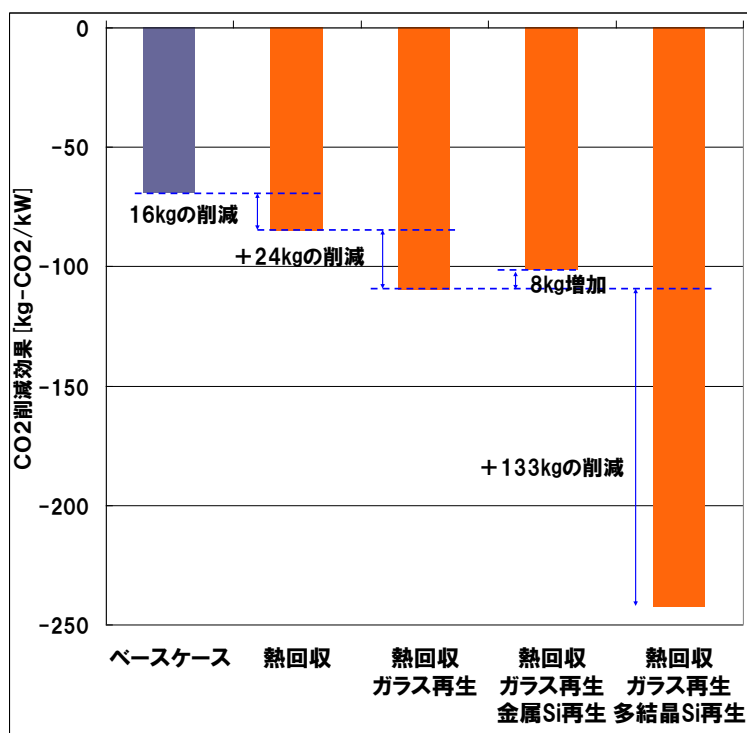
今回の算定では、再生された材料による削減効果を見ている (削減効果分はマイナスで示している) ため、ベースケースであっても、アルミ、銅、鉄、プラスチック類の一部はリサイクル可能なため、再生処理をしない場合と比べれば、削減の効果になる。

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 16kg の CO₂ 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 25kg の CO₂ 排出量削減となり、熱回収効果と合わせて 1kW あたり 40kg 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 120kg (熱回収、ガラスリサイクルと合わせて 170kg) 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、図 III-2-(へ)-E-1

(11)に示すとおり、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20～170kg程度のCO2削減効果を得ることができる。



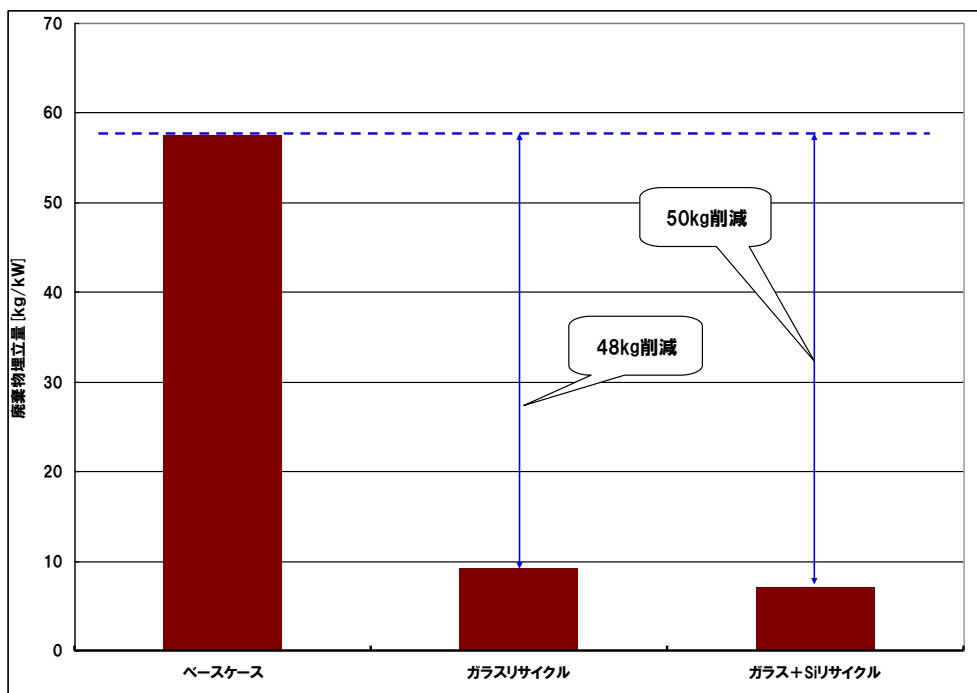
図Ⅲ-2-(へ)-E-1(11) 1kWあたり再生・廃棄処理時のCO₂排出量の合計値

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PVモジュールの廃棄物埋立量を算定した結果を示す。ただし、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。

結果としては、図Ⅲ-2-(へ)-E-1(12)に示すとおり、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の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84%にあたる48kgが削減される。Siについては約2kg程度の削減効果がある。

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、今回の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って、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こととなる。



図Ⅲ-2-(へ)-E-1(12) 1kWあたりモジュール廃棄物物理立量の算定結果

b-6) まとめ

C02 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 燃焼における熱回収の効率をいかに高めるか、ガラスをいかにリサイクルするかという点が、重要なポイントとなるため、本研究開発においても、EVA 燃焼の熱回収効率の向上、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、廃棄物物理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システムの調査・提案

c-1) PV リサイクルのための広域ロジスティ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。

【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。

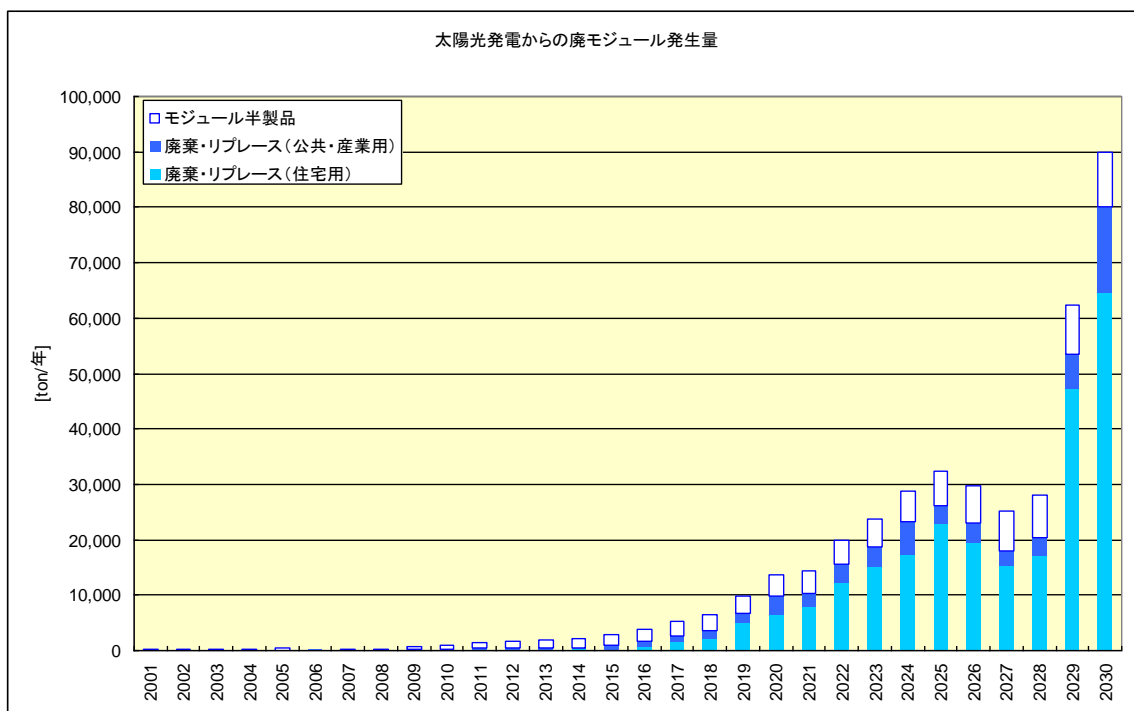
ヒアリングを通じて、費用負担のあり方、使用済み太陽光発電モジュールのリサイクルプラントまでの輸送のあり方などの情報を以下の通り整理した。

- ・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

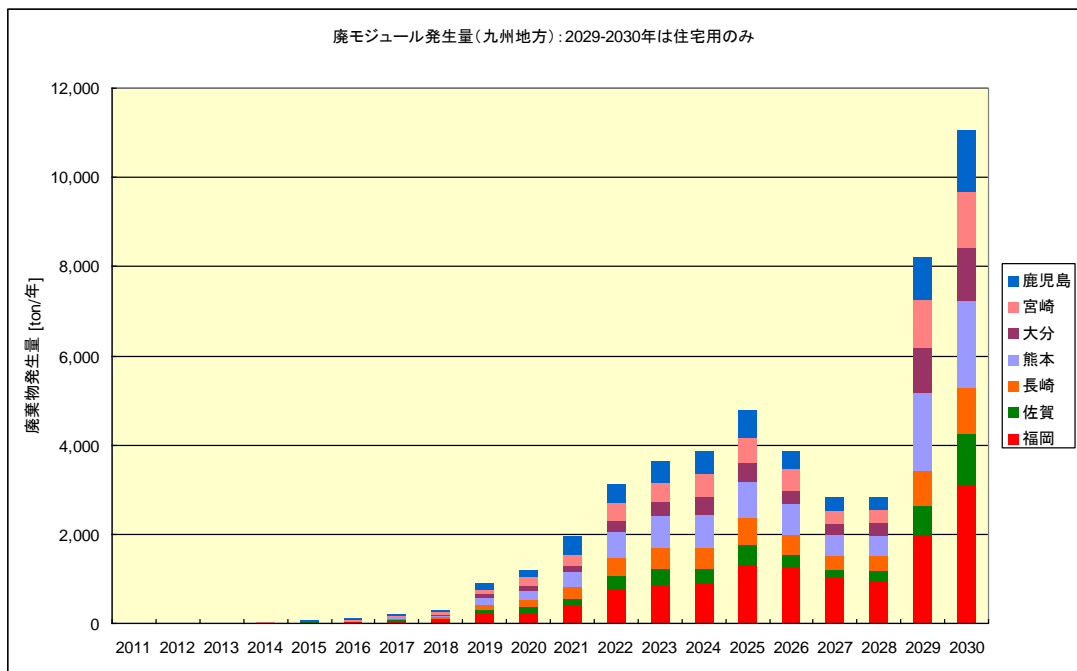
【太陽光発電廃棄物発生量の予測】

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うとともに今後の国内の生産推移をもとに工場からの半製品の排出量を推計した。これらの廃棄物発生量は日本全国版を図Ⅲ-2-(へ)-E-1(13)に、九州地域における廃棄量を、図Ⅲ-2-(へ)-E-1(14)に示す。

推計は、太陽光発電システムの耐用年数を20年とし、耐用年数到達の翌年にリプレースが行われるものとした。PVモジュールは、多結晶Siモジュールの重量をもとに算定を行った。半製品は、国内の生産量の30%が国内に導入されるものとして算定した。結果としては、日本全体では、工場からのモジュールも含めて、9万トンが排出され、そのうちのおよそ6万5千トンが住宅用となっている。これらの推計結果をもとに、LCAやコスト算定における各種パラメータ・地域全体の評価などを実施した。



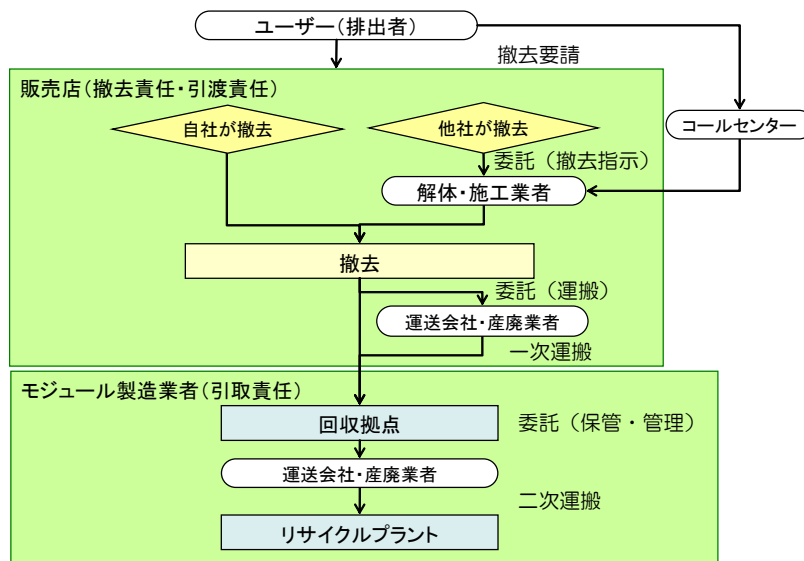
図Ⅲ-2-(へ)-E-1(13) PVモジュール廃棄物発生量（日本全体）



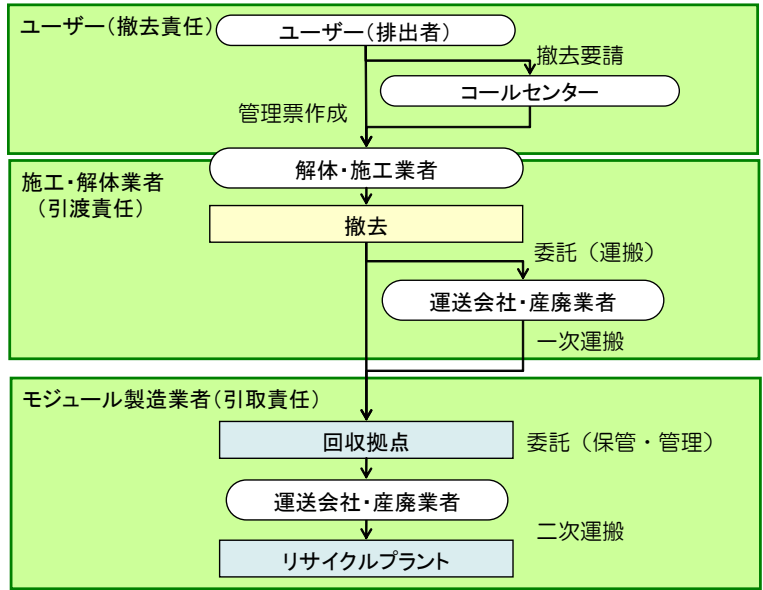
図Ⅲ-2-(へ)-E-1(14) PV モジュール廃棄物発生量 (九州地域)

【社会システムの検討】

1年目に行った調査に加え、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イ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イヤー間の関係・スキームを整理した。スキームとしては主に図Ⅲ-2-(へ)-E-1(15)に示すような撤去責任をユーザーが持つケースと、図Ⅲ-2-(へ)-E-1(16)に示すような販売店が持つケースを検討した。



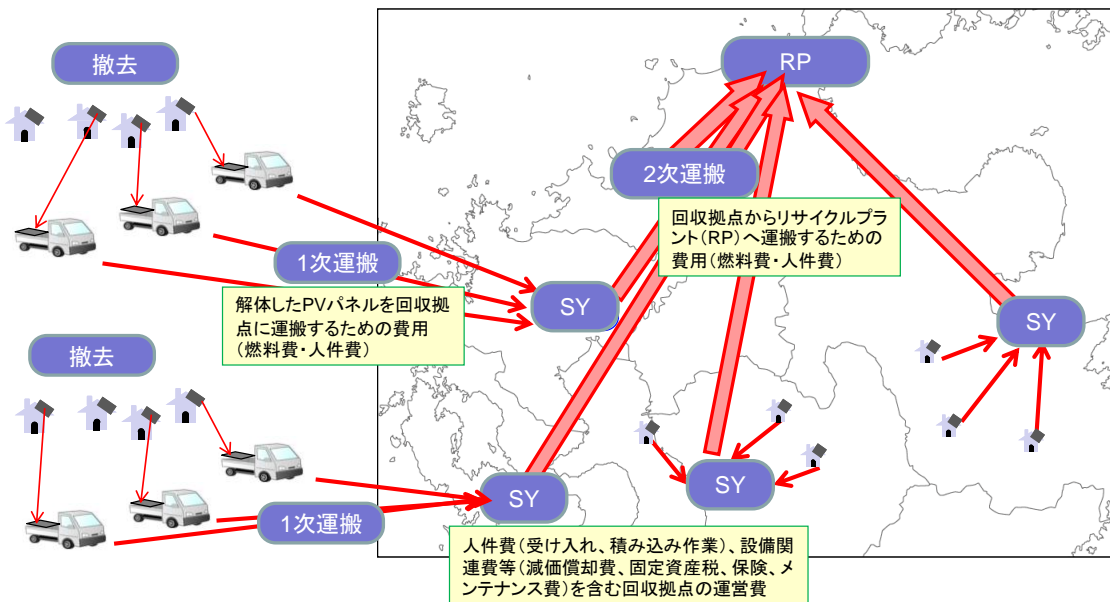
図Ⅲ-2-(へ)-E-1(15) リサイクルスキーム (販売店が撤去責任を持つケース)



図Ⅲ-2-(へ)-E-1(16) リサイクルスキーム（ユーザーが撤去責任を持つケース）

【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て、輸送距離などを設定した。また、図Ⅲ-2-(へ)-E-1(17)に示すとおり、本試算は九州地域におけるモデルを想定した。



図Ⅲ-2-(へ)-E-1(17) 九州地域における回収モデル

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。

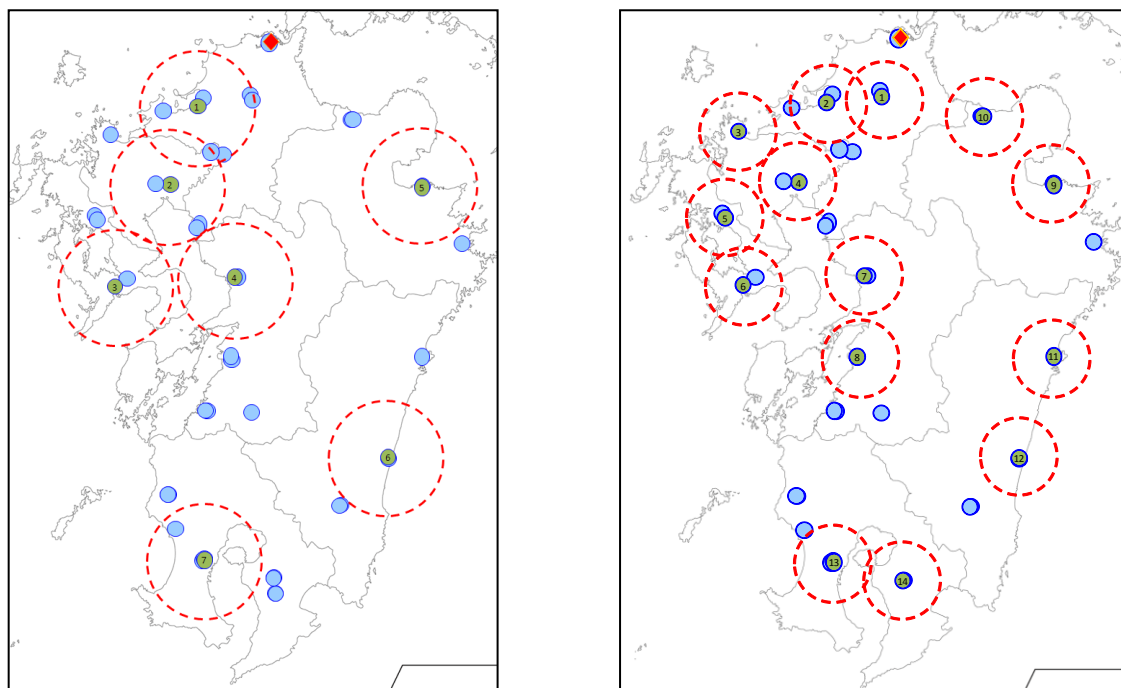
一次運搬は、2 トントラックで、1 回の運搬で1 件分(3.6kW と想定)の PV モジュールを運ぶものとして、その際の人件費、燃料費を推計した。一次運搬の距離は、回収拠点の数によって異なってくるものと考えられる。本試算では、各県に回収拠点を1 つとするケースと2 つにするケースを想定し、各県に1 つの場合は、一次運搬の距離を30km、各県に2 つの場合は、20km とした。図Ⅲ-2-(へ)-E-1(18)に回収拠点の設置モデル(点線の丸が一次運搬距離のエリア)を示す。

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。

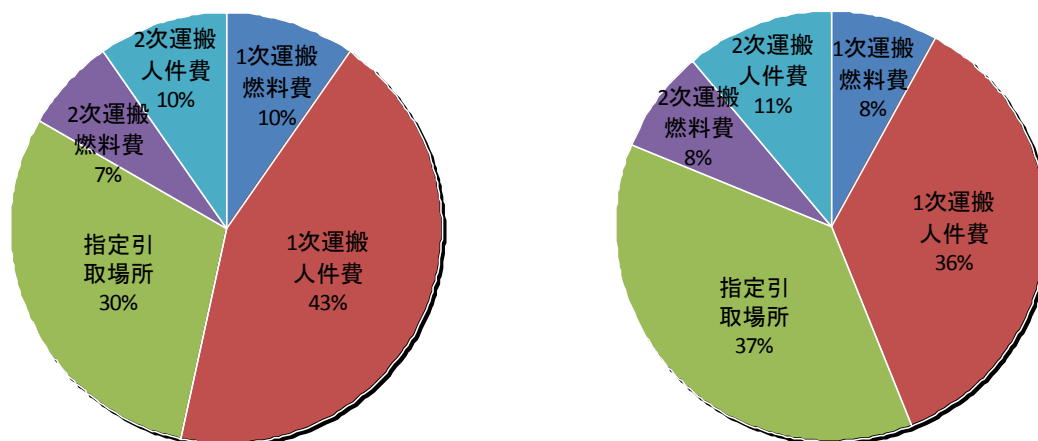
二次運搬は、10 トントラックを想定し、これに60kW 分(家電リサイクルの輸送用トラックを想定し、これに最大荷重まで搭載して運搬する)を載せて運搬することとし、その際の人件費と燃料費を推計した。二次運搬の距離は、それぞれの家電の回収拠点から北九州のプラントまでの実際の距離を用いて推計した。

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(19)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。

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。



図Ⅲ-2-(へ)-E-1(18) 一次回収拠点の設置モデル(点線の丸が一次運搬距離のエリア)
(左図は各県に1 つ、右図は各県に2 つ設置した場合)



図Ⅲ-2-(へ)-E-1(19) 回収コスト内訳(左: 各県に1つ、右: 各県に2つ)

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

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。

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。

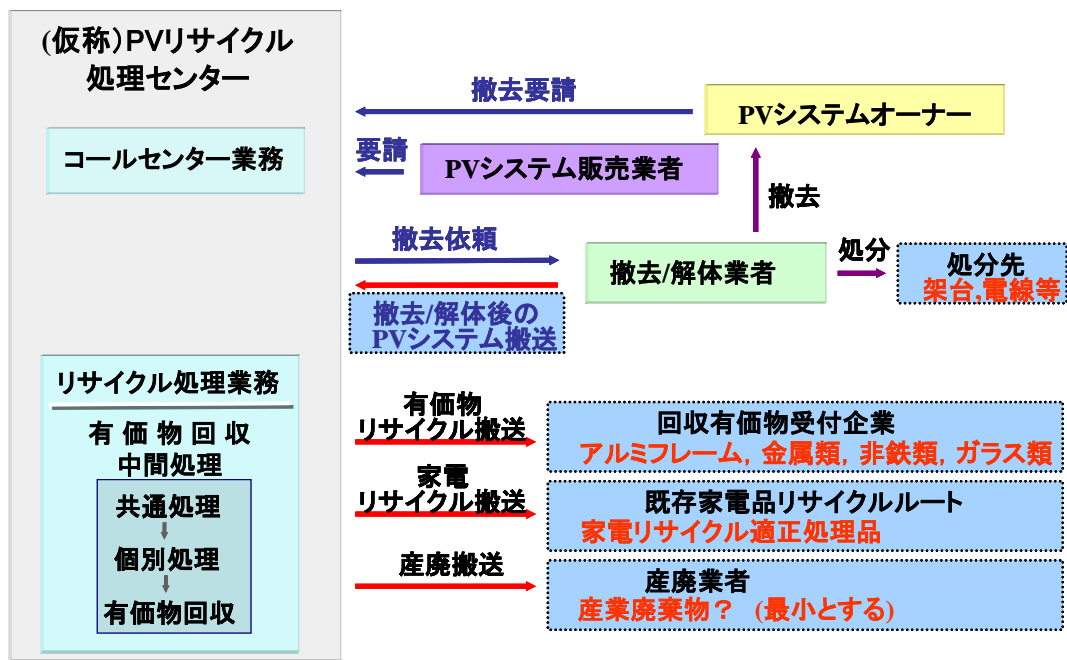
広域認定制度では、使用済PVが産業廃棄物として排出された場合、腐敗、揮発等の性状が変化することによって生活環境の保全上支障がない等の要件を満たす場合は、当該制度の活用が可能と想定される。

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、廃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、実際に本格的な社会実験を実施することにより、制度的な課題を検証し、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ことが必要であると考えられる。

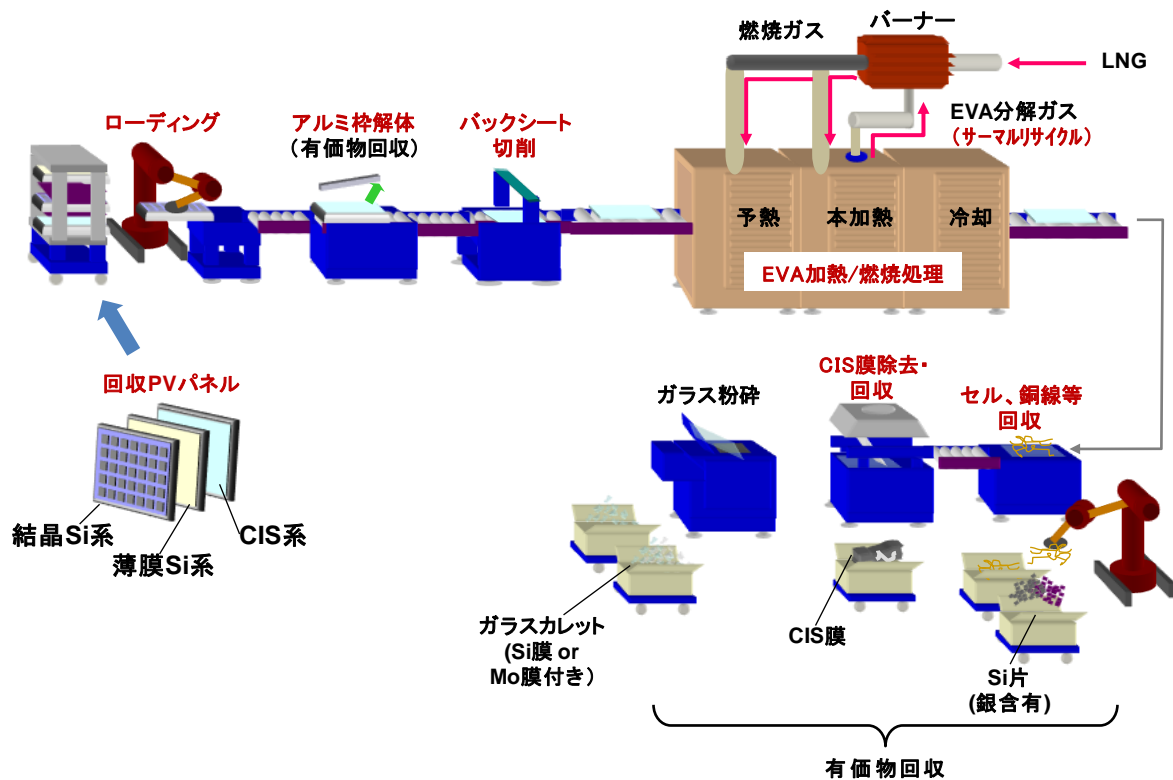
c-3) 処理センター設置構想の提案

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(20)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(20) PVリサイクル処理センター機能と有価物回収フロー

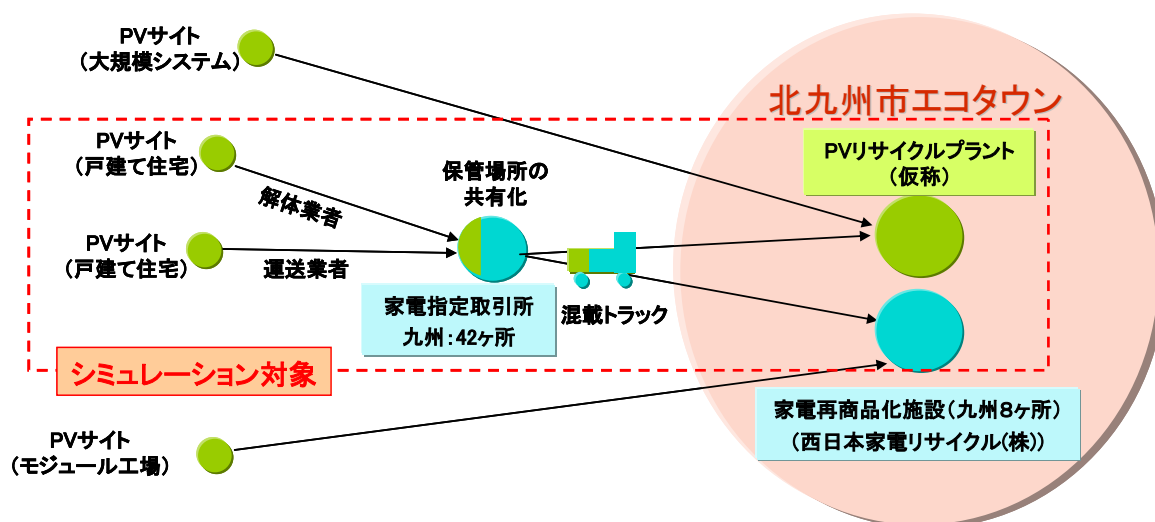
リサイクル処理業務は a-1) ~a-5)に記載の通りであるが、一貫した処理フローを図Ⅲ-2-(へ)-E-1(21)に示す。



図Ⅲ-2-(へ)-E-1(21) PVリサイクルプロセス一貫処理フロー
Ⅲ-2-(へ)-E-1[21]

処理能力としては当面 a-6)に記載したパイロットプラントレベルの 20MW 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。その際のロジスティックスモデルを、図Ⅲ-2-(へ)-E-1(22)に示す。



図Ⅲ-2-(へ)-E-1(22) PV システム回収ロジスティックス基本モデル

表Ⅲ-2-(へ)-E-1(4) 研究開発項目ごとの成果・達成度

開発項目	中間目標	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. 低コスト汎用リサイクル処理技術の基本技術開発	(1) 汎用リサイクル手法の共通処理部までの開発を概ね完了し、技術開発の見通しを得ていること。	<ul style="list-style-type: none"> 共通処理部としてアルミ枠解体装置、バックシート切削装置、EVA加熱・処理装置を、個別処理としてCIS膜スクレーパーを試作。 性能評価試験から共通処理部までの開発見通しを得た。 	○	なし
	(2) 処理コスト目標「5円/W @年間200MW処理」の実現妥当性に関する専門委員会での検討が完了していること。	<ul style="list-style-type: none"> 試作装置による試験結果をベースに、年間200MW処理ケースで試算した結果、約5円/Wとなり目標達成の見通しを得た。 回収金属売却費用を考慮すれば、4円/W以下になる見込み、専門委員会に報告済み 	○	なし
2. LCA調査	(3) 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。	<ul style="list-style-type: none"> 試作装置によるプロセスデータをベースにLCA評価の見直しを実施。 結晶系では40kg/kWのCO2削減効果が得られることを確認した。 	△ H25.3 達成見込み	薄膜Si系、CIS系に対してもリサイクルプロセスデータを反映させる。
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の調査・提案	(4) 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。	<ul style="list-style-type: none"> 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、回収ロジスティクス基本モデルを構築。 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

達成度→ 大幅達成：◎、 達成：○、 達成見込み：△、 達成不可：×

表Ⅲ-2-(へ)-E-1(5) 最終成果の見通し

開発項目	最終目標 (平成 26 年度末)	達成見通し
1. 低コスト汎用リサイクル処理技術の基本技術開発	平成 32 年(2020 年)以降と予想される 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が完了していること。	<ul style="list-style-type: none"> ・今回開発した個々のプロセス装置のデータからコストシミュレーションで目標達成できる見通しを得ている。 ・今後、一貫処理化を図り、そのデータをベースに処理コストを見直すことにより、確実な目標達成が可能。
2. 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の提案として、運用を含めた処理センター設置構想、広域ロジスティクス、新たな法規制及び現行法規制の緩和等の法整備に関する提案とそれに基づく社会システム基礎検証を終了し、専門委員会です承されていること。	<ul style="list-style-type: none"> ・これまでに処理センターの基本構想、広域ロジスティクス基本モデルを構築し、コストを試算した。 ・現行法規制の課題も洗い出し出来た ・今後、一貫処理可能な汎用リサイクル処理装置を用いた実証試験を実施し、システム全体の機能を検証することにより、目標達成が可能。

2. 実用化・事業化見通し

(1) リサイクル処理コスト

結晶系及び薄膜系 PV パネルに適用できる、汎用 PV システムリサイクル一貫処理プロセスフロー（図Ⅲ-2-(へ)-E-1(21)参照）の基本装置を試作し、リサイクル処理出来ることを確認した。

それらの処理データをベースに年間処理量 20MW の基本ラインで構成されるパイロットプラント、及び年間処理量 200MW レベルの事業化プラントの処理コストを試算した結果、5円/W@200MW の目標を達成できる見通しを得た。

(2) 回収コスト

社会システムの提案検討では、図Ⅲ-2-(へ)-E-1(22) に示すような既存家電リサイクルシステムの機能を流用した PV システム回収ロジスティックスの基本モデルを構築した。そのモデルをベースに回収ロジスティックスコストをシミュレーションした結果、戸建て住宅屋根からの解体費はリサイクルから除くとして、一次運搬距離を 20km とした場合 3.6 円/W 程度になる見通しを得た。

(3) 実用化見通し

以上の結果から、回収ロジスティックスを含めた PV リサイクルシステムの具体的な全体像とコスト概要が明らかになった。

実用化の姿として、九州/中国地方を主対象に、住宅等から廃棄される PV システムの一部をリサイクル処理する年間処理量最大 6MW（※）ラインを H28 年度までに提供することを想定している。（※ 6MW は H28 年の住宅・非住宅からの全国廃棄パネル量(推定)18MW の 1/3 に相当）

今後、下記課題を解決することにより、実用化の見通しが得られると考える。

【実用化課題】

- ・一貫処理化

実際に大量処理を可能にするため、これまでに試作した装置を適切に連結し、一貫処理化を図る。(1枚ガラス構成の太陽電池に対しては年間最大 6MW の処理が可能)

- ・汎用性の向上

2枚ガラス構成の太陽電池に対しては、1枚ガラス構成と同様のスループットが得られるよう、2枚ガラス分離と残渣炭化水素の処理を分ける改造を実施する。

- ・ミニ実証試験

試作した一貫処理ラインの長期安定性・信頼性や回収システム等の機能を検証するため、具体的に住宅等から PV システムを回収してリサイクル処理する実証試験を実施する。

- ・技術研究組合設立

事業化のための準備として実施主体となる技術研究組合や一般社団法人等の法人を設立する。

(4) 実用化による効果

年間処理量 6MW で実用化した場合の具体的効果を以下に示す。

①有効資源の回収

有価物回収量を検討した結果、下記有効資源の回収効果が期待できる。

アルミ：80 トン／ ガラス：320 トン／ 銀：190 k g／ 銅：4 トン

有価金属の建値に依存するが、売却費用としては合計で $2 \text{ 円/W} \times 6\text{MW} = 12 \text{ 百万円}$ 程度が期待できる。

②廃棄物埋立量の低減

図Ⅲ-2-(へ)-E-1(12)から下記の埋立量低減効果が期待できる。

$48\text{kg/kW} \times 6\text{MW} = 290 \text{ トン/年}$

③CO2 削減効果

図Ⅲ-2-(へ)-E-1(11)から下記の CO2 低減効果が期待できる。

$40\text{kg-CO}_2/\text{kW} \times 6\text{MW} = 240 \text{ トン-CO}_2/\text{年}$

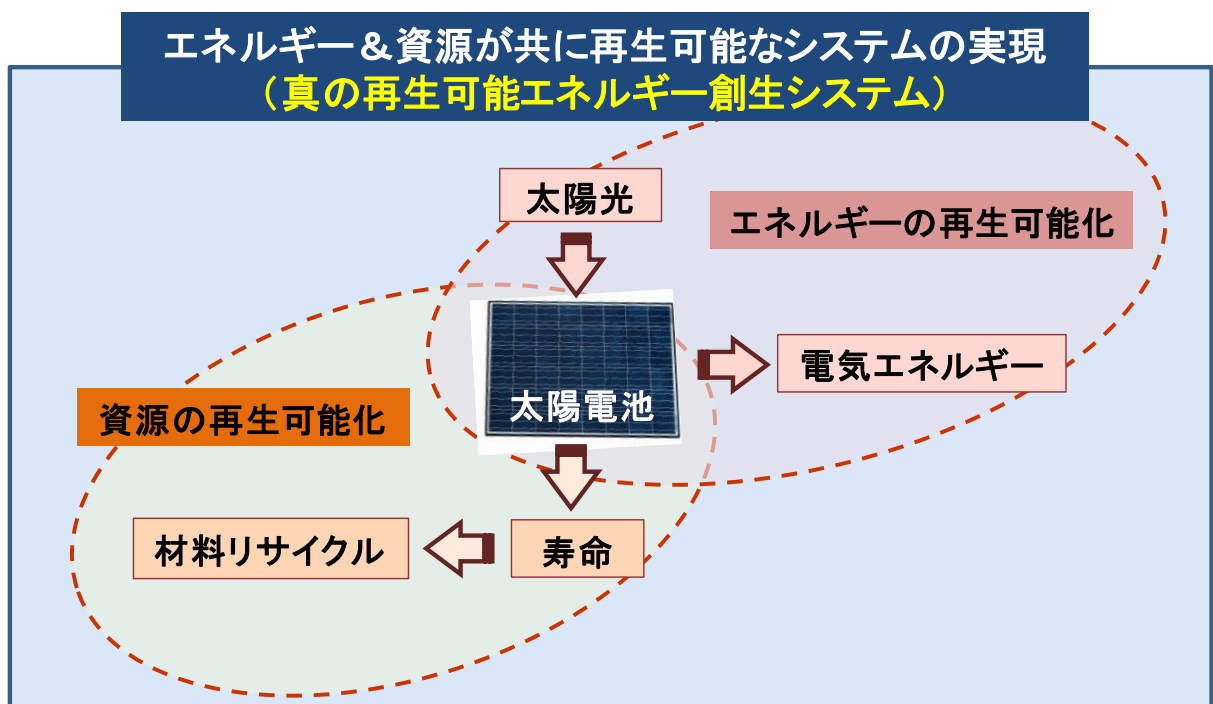
④海外不良品流入防止効果

PV リサイクル実用化の一環として、PV リサイクル及びその費用負担を義務づける法整備がなされた場合、下記効果が期待できる。

- ・海外不良品流入防止
- ・低コスト輸入品に対する競争力アップ

⑤エネルギー&資源が共に再生可能なシステムの実現

真の再生可能エネルギー創生システムを図Ⅲ-2-(へ)-E-2(1)に示す。



図Ⅲ-2-(へ)-E-2(1) 真の再生可能エネルギー創生システム

3. 波及効果

エネルギー&資源が共に再生可能な真の再生可能エネルギー創生システムを世界に波及、更に他の再生可能エネルギーにも波及させ、持続可能な社会のイニシアティブを先取する。具体的には以下の通り。

(1) 関連分野

①国内

研究試作機を初号機として製品化し、PV リサイクルの先進モデル地区として北九州市のエコタウンに設置し、PV リサイクル拠点とする。その後 2 号機以降を、全国の各地方に一ヶ所ずつリサイクル拠点を波及させていく。

②海外

〈EU〉

EU では PVCYCLE を設立し、EOL の PV パネルを回収するシステムを確立し、PV リサイクルの社会制度としては日本より進んでいる。しかし汎用型で材料回収率の高いリサイクル技術は未確立なので、本開発システムを EU に波及できる可能性が有る。

〈米国〉

米国では PV リサイクルに関して、まだあまり取組まれて居らず、本開発システムを波及できる可能性がある。

〈発展途上国〉

発展途上国でも今後は必ず PV システムの大量廃棄時代が来る。特に中国・東南アジアは PV パネルの生産基地も在るため、工場スクラップ処理の対応も含め、本システムを波及できる可能性が有る。

また発展途上国では社会システムづくりに関しても指導またはアドバイス可能である。

(2) 人材育成

①国内

- ・リサイクル技術、LCA 的意義、必要な社会システムを理解する人材の育成を促進。
- ・住宅用 PV パネルの撤去に当たっては、特にガラスが割れないよう撤去することが望まれる。従って本システムの普及には、全国の解体業者や運搬業者に PV パネルを割らずに PV パネルを撤去できる人材を育成する必要があり、普及と共に解体業者や運搬業者の人材育成を促進。

②発展途上国

- ・先進国の義務として、発展途上国に PV リサイクルの必要性・意義が分かる人材を育成・促進し、PV リサイクル制度が確立できるよう積極的に支援し、国際協力に貢献する。

4. 今後の展開

(1) 本PJ 研究期間(H25-H26)

今後は試作した各プロセスの装置を連結し一貫処理設備として整備すると共に、実際の廃棄PVシステムサイトから廃棄PVを回収してリサイクル処理し、有価回収物を売却する。

それらの実証試験により、リサイクル処理コストの検証、回収ロジスティクスモデルの妥当性、課題となる法規制の確認などを実施し、適正な社会システム提案を行う。

並行して事業化準備のため、運営母体となる技術研究組合や一般社団法人等の法人を設立し、リサイクル処理センター（仮称）の運営手法、運営資金の手当法等を検討・提案する。

(2) 本PJ 終了後(H27 年度～)

PJ 期間での技術研究組合の設立、及び運営資金手当の目処がつくことを前提に、下記の事業化準備を実施する。

①リサイクル処理センターの設立

一貫処理ができるように整備した試作ライン(結晶Si系の処理能力として6MW相当)を研究棟実験から賃貸工場に移設し、仮設のリサイクル処理センターを設立する。

②本格的な社会実験

技術研究組合等を運営母体として、本格的な社会実験(実証試験に比べ回収地域及び廃棄PV処理量も拡大)を実施(H27～H28年度)し、リサイクル処理センターの事業性、提案した社会システムの妥当性を最終的に検証する。

並行して法整備に向けた関係機関との協議を進める。

5. 特許論文リスト

表Ⅲ-2-(へ)-E-5(1) 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	1	0	1
論文（査読付き）	0	0	0	0
研究発表・講演（うち国際会議）	0	0	0	0
新聞・雑誌等への掲載	1	0	0	1
受賞実績	0	0	0	0
展示会への出展	2	0	1	3

特許出願準備中 2 件 (H24 年度) : EVA 熱処理装置／リサイクル処理システム関連

表Ⅲ-2-(へ)-E-5(2) 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	昭和シェル 石油(株)	特願 2012-070522	国内	2012/03/ 27	出願	ガラス材の 回収方法	西 博史

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

太陽光発電市場が初期導入期から大量導入期へと移行する中、市場の中心は、日欧米諸国に加え中国、アジア、中東、アフリカ等へ拡大しつつあり、太陽電池等の生産拠点は中国・台湾、ASEAN 諸国等の新興国へ移行している。一方で、太陽光発電システムの価格低下のスピードも加速しており、日本の太陽光発電に係る技術力及び市場競争力をより一層強化するためには、激変する太陽光発電に関する国内外の最新動向を把握することが重要である。本調査研究では、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 年に現状の 20 倍 (28GW)、2030 年に 40 倍 (53GW) にする」との目標達成に資する技術開発に貢献し、かつ我が国の太陽光発電産業の国際競争力を強化することを目的としている。このため、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。

加えて、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ており、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である。そこで、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。

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。

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〈その1〉
(2010年現在、日本は2011年度)

国	研究開発プログラム
日本 (2011年度)	<ul style="list-style-type: none"> ・太陽光発電技術研究開発 <ul style="list-style-type: none"> - 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～) - 太陽光と光電変換機能(文部科学省) - 太陽光を利用した独創的クリーン・エネルギー生成技術の創出(文部科学省) ・系統連系技術研究開発 <ul style="list-style-type: none"> - 国際エネルギー消費効率化等技術・システム実証事業(2010年度～) - 次世代送配電系統最適制御技術実証事業(2010～2012年度) - 新エネルギー系統対策蓄電システム技術開発(2011年度～) - 次世代エネルギー・社会システム実証事業(2010～2014年度) - フランス・リヨンにおけるスマートコミュニティ実証事業(2011～2015年度) - インドにおける大規模太陽光発電システム等を利用した技術実証事業(2010～2013年度) - 中国におけるスマートコミュニティ実証事業(2011～2013年度) - スペイン・マラガにおけるスマートグリッド関連技術に関する実証事業(2011～2015年度) ・環境省:地球温暖化対策技術開発事業
アメリカ合衆国	<ul style="list-style-type: none"> ・SunShot計画 <ul style="list-style-type: none"> - SunShot計画太陽エネルギーの高度浸透 - SunShotインキュベータ - 究極の周辺機器(BOS)ハードウェアのコスト削減 - SunShot:市場障壁の低減と非ハードウェアBOS価格の削減 - 太陽エネルギー系統インテグレーション(SGIS) - 先進的コンセプト - プラグ&プレイ技術及びシステム - 変革的太陽光発電科学及び技術:次世代太陽電池II - セル変換効率向上のための基礎プログラム - SunShot計画:市場障壁の低減のためのRooftop Solar Challenge - 太陽電池製造イニシアチブパート2PV: SUNPATH(Scaling Up Nascent PV AT Home) - SunShot集光型太陽熱発電研究開発 - SunShotインキュベータプログラム-ソフトコストの低減 - 日照予測の精度向上(Request for Information) - SunShot製造イニシアチブ(PVMI):米国太陽光発電・製造コンソーシアム(PVMC、US Photovoltaic Manufacturing Consortium)、Bay Area PV Consortium(BAPVC)、SVTC Technologies ・太陽エネルギー技術開発プログラム(SETP)

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(2010年現在)〈その2〉

国	研究開発プログラム
欧州連合(EU)	<ul style="list-style-type: none"> ・第7次枠組プログラム(2007~2013年): 研究開発総局(DG RTD)、エネルギー総局(DG ENERGY)が担当 <ul style="list-style-type: none"> - 研究開発: インフラへのインテグレーション、製造装置とプロセス、先進的な設置と系統連系、建物への一体化、新概念、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)
ドイツ	<ul style="list-style-type: none"> ・第6次エネルギー研究・エネルギー技術プログラム(2011年~) ・「Solarvalley Mitteldeutschland」クラスター開発(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~) ・“技術革新・新エネルギー技術”: 第5次エネルギー研究・エネルギー技術プログラム(2006~2010年: 2年間延長)、(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)) ・太陽光発電研究開発ロードマップ(連邦環境・自然保護・原子力安全省(BMU)戦略会議)(2005年)
イタリア	<ul style="list-style-type: none"> ・新技術・エネルギー・環境庁(ENEA)、エネルギー・システム研究会社(RSE、IDERSE)など: 結晶シリコン太陽電池セル、Cu₂O(酸化銅)太陽電池セル、微結晶シリコン・デバイス、微細構造タンデム太陽電池セル及び集光装置技術等を研究 ・ERSE: イタリア電力系統研究プログラム(RdS)の枠組み及び欧州プロジェクト(APOLLON)の下研究開発を実施 ・大学及び国立科学研究評議会(CNR)も支援
スイス	<ul style="list-style-type: none"> ・スイス連邦エネルギー局(SFOE)の調整による研究開発プロジェクト: <ul style="list-style-type: none"> - 「高効率薄膜シリコン太陽電池モジュールの製造に向けた新プロセス及びデバイス構造」(2007~2011年) - 「太陽電池セル応用向け薄膜シリコン蒸着用新イオン・エネルギー衝撃のPECVD反応炉」(2009~2012年)など ・「4ヶ年エネルギー研究・技術・開発総合基本計画」(2008~2011年)(スイス連邦エネルギー研究委員会(CORE)): 太陽電池研究、建物一体型PVシステム、システム技術開発、品質保証など
フランス	<ul style="list-style-type: none"> ・HABISOLプログラム(国家研究機関(ANR)、2008年~2010年): 建設と太陽光発電 ・RESSOURCESプログラム: BIPVの開発と性能向上(環境・エネルギー管理庁(ADEME)) ・起業支援・イノベーション振興機構(OSEO)(ADEME): Solar Nano Crystal(2008~2012年)、PV20(2010~2012年)、SOLCIS(2010~2012年)、OSCAR(2010~2013年) ・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(国家太陽エネルギー研究所(INES)): 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) ・国立科学研究センター(CNRS)・薄膜物理研究所、太陽エネルギー研究開発機関(IRDEP): 薄膜太陽電池

日米欧における太陽光発電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(2) 日米欧における太陽光発電技術開発目標の比較 (2011年現在)

	日本	アメリカ	ヨーロッパ
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、新概念、 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	<u>(2025年)</u> ・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)	<u>(参考)</u> ・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 ・モジュール 変換効率: >25% 耐用年数:30年以上 ・パワーエレクトロニクス 変換効率: >95% 耐用年数:30年	<u>(2025~2035+年)</u> ・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	<u>(2020年)</u> 14円/kWh、75円/W <u>(2030年)</u> 7円/kWh、50円/W <u>(2050年)</u> <7円/kWh、<50円/W	<u>(2020年)</u> 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. 「2030年に向けた太陽光発電ロードマップ (PV2030) に関する見直し検討委員会報告書」、新エネルギー・産業技術総合開発機構、2009年6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)

表III-2-(へ)-F-1(3)に各国の太陽光発電に関する予算の比較を示す。

表III-2-(へ)-F-1(3) 2010年の太陽光発電研究開発に関する予算

国	ユーロ	米ドル	円
オーストラリア	4380万	5760万	50.5億
オーストリア	520万 (2009年)	680万 (2009年)	6.0億
カナダ	1090万	1440万	12.6億
ドイツ	>6400万	>8400万	73.7億
デンマーク	340万	440万	3.9億
スペイン	1300万	1710万	15.0億
フランス	4350万	5720万	50.2億
イスラエル	40万	53万	0.5億
イタリア	580万	760万	6.7億
日本 ^{*1}	5180万	6810万	59.8億
韓国	5520万	7260万	63.7億
メキシコ	50万	60万	0.5億
ノルウェー	1810万	2380万	20.9億
スウェーデン	630万	830万	7.3億
米国	1億3100万	1億7240万	151.3億

*1：経済産業省による予算のみ

- ・換算レート：1米ドル=1.09豪ドル=1.03加ドル=5.62デンマーク・クローネ=0.65ポンド=87.76円=3.73新シュケル=1,155.43ウォン=12.63ペソ=6.05ノルウェー・クローネ=7.20スウェーデン・クローナ=0.76ユーロ=1.04スイスフラン（2010年平均）

出典：IEA/PVPS Photovoltaic Power Systems Programme Report, "Trends in Photovoltaic Applications - Survey Report of Selected IEA Countries between 1992 and 2010"（2011年11月）

表III-2-(へ)-F-1(4)～表III-2-(へ)-F-1(7)にアメリカ及び欧州における太陽光発電技術に関する開発ロードマップを示す。

表III-2-(へ)-F-1(4) Sunshot計画における技術開発目標

市場	2010年 ベンチマーク	2020年 参照価格	Sunshot 計画目標
電力事業用	3.40 ドル/W	2.51 ドル/W	1.00 ドル/W
商用分散型	5.15 ドル/W	3.36 ドル/W	1.25 ドル/W
住宅用分散型	6.50 ドル/W	3.78 ドル/W	1.50 ドル/W

出典：米国エネルギー省（DOE）資料（2011年6月）

表III-2-(へ)-F-1(5) 1ドル/Wを目標とする電力事業用太陽光発電システム価格の内訳

(単位：ドル/W)

	2010年	2016年	1ドル/W目標
太陽電池モジュール	1.70	1.05	0.50
周辺機器（BOS)/設置	1.48	0.97	0.40
電子機器	0.22	0.18	0.10
合計	3.40	2.20	1.00

出典：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）

表III-2-(へ)-F-1(6) 欧州太陽エネルギー産業イニシアチブ（EII）実行計画における目標

項目		2007年	2010年	2015年	2020年
大規模システムのターンキー価格（ユーロ/W）*		≥5	2.5～3.5	2	1.5
南ヨーロッパにおける太陽光発電による発電コスト（ユーロ/kWh）**		0.30～0.60	0.13～0.25	0.10～0.20	0.07～0.14
代表的な太陽電池モジュールの変換効率	結晶シリコン	13～18%	15～20%	16～21%	18～23%
	薄膜	5～11%	6～12%	8～14%	10～16%
	集光型	20%	20～25%	25～30%	30～35%
インバータ・ライフタイム（年）		10	15	20	>25
モジュール・タリフタイム（年）		20～25	20～25	25～30	35～40
エネルギー・ペイバックタイム（年）***		2～3	1～2	1	0.5
南ヨーロッパにおける太陽光発電システム+小規模蓄電のコスト（ユーロ/kWh）（系統連系形）****		-	0.35	0.22	<0.15

* システム価格は技術及び市場の成熟度によって異なる

** LCoEは資金調達コストと場所によって異なる。日照量は1500～2000 kWh/m²/年

*** 最良値

**** EUROBATロードマップに基づく推定値

出典：SEI II Implementation Plan, EPIA/EUPV技術プラットフォーム（2010年5月）

表III-2-(へ)-F-1(7) 欧州太陽光発電技術プラットフォームによる戦略的研究計画の目標

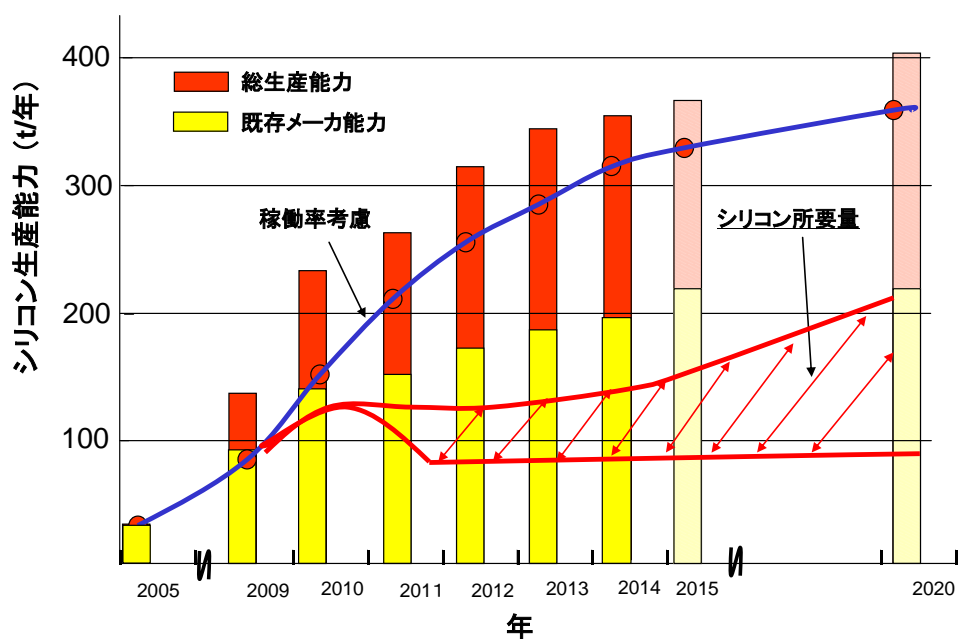
	1980年	現在	2020年	2030年	長期可能性
標準ターンキー太陽光発電100kWシステム価格（€/Wp（2011年）、VAT除く）	>30€/Wp	2.5€/Wp	1.5€/Wp	1€/Wp	0.5€/Wp
標準太陽光発電コスト（€/kWh（2011年）、南欧）	>2€/kWh	0.19€/kWh	0.10€/kWh	0.06€/kWh	0.03€/kWh
標準システム・エネルギー回収期間（南欧）	>10年	0.5-1.5年	<0.5年	<0.5年	0.25年

出典：European Photovoltaic Technology Platform, “A Strategic Research Agenda for Photovoltaic Solar Energy Technology, Edition 2”（2011年9月）

(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って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。

最近の既存半導体用シリコン企業による大幅な設備投資と増産、韓国、中国などの新規参入企業の生産開始などで、太陽電池に対する原料シリコンの供給は図III-2-(へ)F-1(1)に示すように見通され、当面十分な供給体制が確保される状況となっている。ここで用いられている高純度シリコンの製造技術は、ほぼ全てがシーメンス法である。既存企業は技術の確立されたシーメンス法で、また中国・韓国の新規参入企業は欧米の装置産業によるシーメンス法のターンキー装置と欧米からの技術導入によって、太陽電池用に特化した生産を行っている。



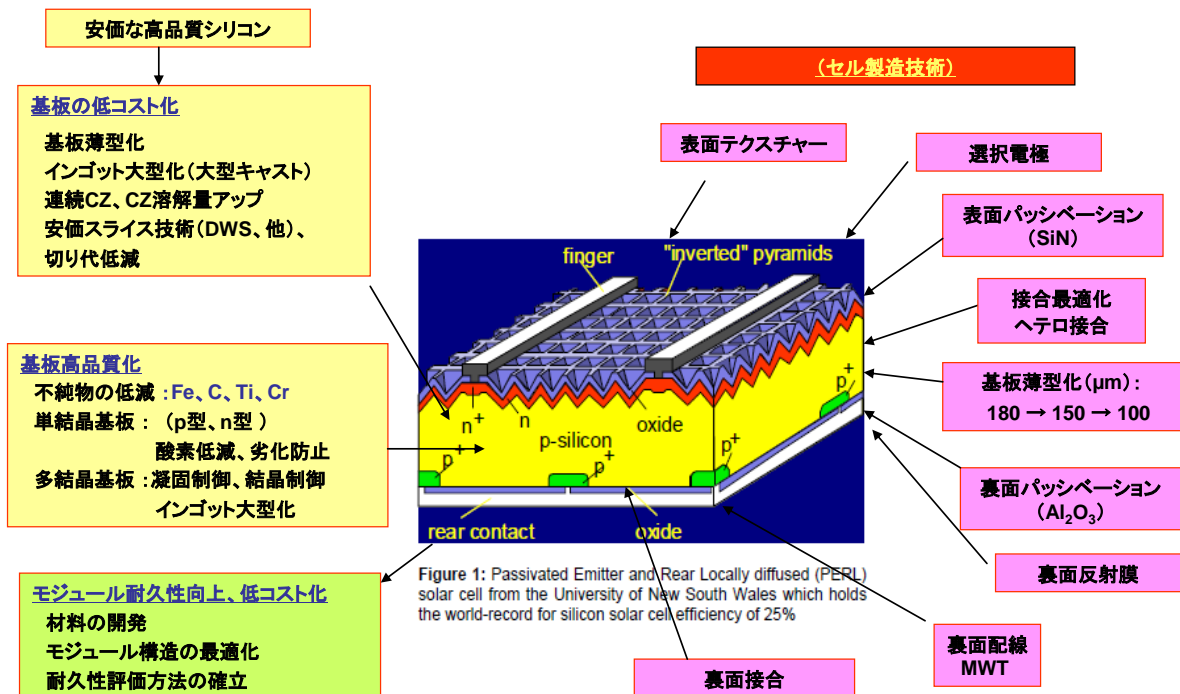
図III-2-(へ)F-1(1) シリコンの需給見通し

出典：(株) 資源総合システム発表資料

シーメンス法は最も高品質のシリコンを供給出来るプロセスだが、太陽電池向けではシリコン純度や製品形状・形態などに関する品質要求が半導体向けより緩いことから、ベルジャー炉での高速析出による生産性向上（20%程度と言われる）や製品工程での粉碎・洗浄工程の省略ができるなど、操業コストの大幅低減が可能になっている。また、太陽電池向けの生産では半導体産業向けの数倍の需要に対応することが必要で、プラントも年産 1 万 t 以上の規模へ大型化されており、プラント規模拡大によるコストダウンが可能である。

結晶シリコン太陽電池の技術開発は、日米欧の各国で進められている。日本ではロードマップPV2030+の実現による太陽光発電の普及拡大を目指して、当面は、グリッド・パリ

ティの実現に向けたモジュール製造コスト75~100円/Wを目標に、高効率化(=モジュール効率20%)、基板薄型化(=100 μ m)、信頼性確立(=モジュール長寿命化(30年))など、図III-2-(へ)-F-1(2)のように各工程での取り組みが行われている。



図III-2-(へ)-F-1(2) 結晶シリコン太陽電池に関する技術開発への取り組み

(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。

- ① アジア諸国太陽電池製造企業の動向調査
- ② 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
- ③ 普及のために解決すべき課題の実態調査・分析
- ④ 信頼性向上に関する調査
- ⑤ 太陽光発電の利用拡大への取り組みと課題の分析
- ⑥ 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。

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(8) 日本の太陽光発電の SWOT 分析

強み	弱み
<ul style="list-style-type: none"> ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・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じ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
<ul style="list-style-type: none"> ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・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

表 III-2-(へ)-F-1(9) 研究開発項目ごとの成果・達成度

中間目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
<p>F. 「太陽光発電技術開発動向等の調査」 (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。</p>	<p>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。</p>	◎	なし
<p>(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。</p>	<p>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。</p>	◎	なし
<p>(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。</p>	<p>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界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。</p>	◎	なし
<p>(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、</p>	<p>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</p>	◎	なし

<p>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。</p>	<p>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である。</p>		
<p>(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。</p>	<p>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。</p>	◎	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。本調査研究結果を基に行う 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に関する基礎資料を提示することができた。さらに NEDO 技術開発機構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

太陽光発電産業は、国内市場向けで2030年に年間6～12GW、2050年には25～35GWとなり約4兆円産業に成長すると推定されている。また、海外市場向けには2050年に300GW／年規模の太陽光発電システムを供給すると試算されており、今後も太陽光発電産業は急拡大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拡充などにより、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

現在、諸外国においては、極めて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、日本を凌ぐ研究開発予算を投入することで、先端技術の獲得競争が熾烈を極めてい
る。また、各国の研究機関と協力関係にある製造装置メーカーがターンキー・ソリューションを開発しそれらを用いることで、技術的背景が殆ど無い企業でも太陽電池製造に参入
することが容易になっている。生産の中心地は、東アジアを中心とした新興国へと移行し
つつあり、これらの新興国でも、太陽光発電技術の向上や製造設備の独自開発が始まって
いる。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後の技術開発段階へと速やか、かつ円滑に移行し推進す
る必要がある。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) 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	0	0件
論文(査読付き)	0	0	0	0件
研究発表・講演(うち国際会議)	0	0	0	0件
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0	0件
受賞実績	0	0	0	0件
展示会への出展	0	0	0	0件

(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」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、地域住民等の中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て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26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。

(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CO₂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し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27%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10倍に高めることに資する。

(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

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25%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: 1 cm^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: 1 cm^2) を達成する。

最終目標 (平成26年度末)

小面積の5~6接合薄膜フルスペクトルセルにより、真性変換効率30% (低倍率集光、有効受光面積: 1 cm^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 特任主担当教授 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—エネルギー革新技术計画」の中でCO₂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なとされる取り組み

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CO₂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CO₂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200 μ m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、低コストシリコン原料の製造技術、100 μ m程度の超薄型シリコン基板スライス技術、100 μ m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100 μ m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120 μ m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100 μ m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100 μ m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：100 μ sec（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：400 μ sec（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>

- ・ $30 \times 40\text{cm}$ 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>

- ・ $30 \times 40\text{cm}$ 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 $1.0\text{nm}/\text{sec}$ 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 $2.5\text{nm}/\text{sec}$ 以上、膜厚分布 $\pm 5\%$ 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) C I S 等化合物系太陽電池

1. 研究開発の必要性

C I S 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C d T e 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。

C I S 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步のところにある。

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場所である。

2. 研究開発の具体的内容

C I S 等化合物系薄膜太陽電池では、実用化規模の大面积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) C I S 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) C I S 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C I S 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) C I S 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) C I S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。

(二) 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、電氣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 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（(へ)）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	<p>(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。</p> <p>(2) 事業規模：総事業費約 282.5 億円（予定）</p> <p>(3) 事業期間：平成 22 年度～26 年度（5 年間）</p>		
4. 評価の検討状況			
<p>(1) 事業の位置付け・必要性</p> <p>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-エネルギー革新技术計画」（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。</p> <p>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。</p>			
<p>(2) 研究開発目標の妥当性</p> <p>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。</p> <p>結晶シリコン系</p> <p>厚さ 100 μm 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 . 5 c m²程度)。高品位シリコンのキャリア寿命 400 μsec 以上、純度 7N 以上</p> <p>薄膜シリコン系</p> <p>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）</p> <p>C I S・化合物系</p> <p>変換効率 サブモジュール(30cm 角程度)で 18%以上、小面積セル(1 c m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。</p>			

色素増感系

セル変換効率 15%以上（1cm 角程度、安定化効率）、モジュール変換効率 10%以上（30cm 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（1cm 角程度、安定化効率）、モジュール変換効率 10%以上（30cm 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。

・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。

<p>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。</p>
<p>(5) 実用化・事業化の見通し</p> <p>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。</p>
<p>(6) その他特記事項</p> <p>なし</p>
<p>5 . 総合評価</p> <p>「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。</p> <p>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、N E D Oが実施する意義は極めて高い。</p>

「ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト～革新的 CO2 回収型石炭ガス化技術開発～ 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 22 年 3 月 31 日
NEDO
クリーンコール開発推進部

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 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 0 件

以 上