

「革新的太陽光発電技術研究開発」

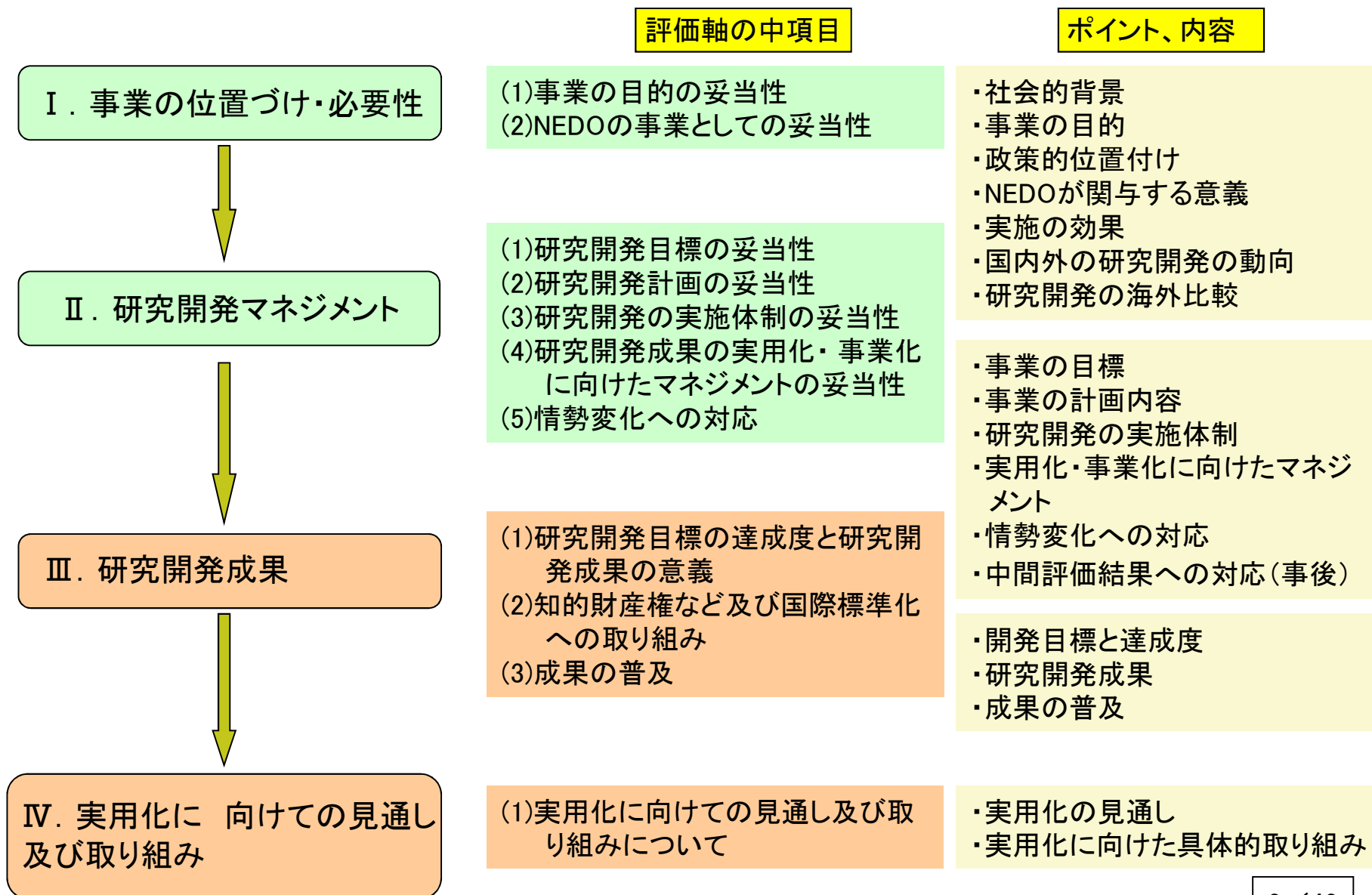
(2008年度～2014年度 7年間)

事後評価説明資料 (公開)

NEDO

新エネルギー一部

2015年 11月 13日



1. 事業の位置付け・必要性について (1)事業の目的の妥当性

－上位施策の概要－

新エネルギー技術開発プログラム（経済産業省 2005年3月制定）〈抜粋〉

目的：新エネルギーは各種メリットが期待できる貴重なエネルギーであるが、現時点では出力の不安定や高コスト等の課題を抱えている。このため当面は補完的エネルギーと位置づけつつ、コスト低減や性能向上等の技術開発等について、産学官関係者が協力して戦略的に取り組むことにより、長期的にはエネルギー源の一翼を担うことを目指した研究開発を実施する。

エネルギーイノベーションプログラム（経済産業省 2008年4月制定）〈抜粋〉

目的：資源に乏しい我が国が将来に渡り持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発・導入・普及によって、各国に先んじて次世代のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。エネルギー安全保障の確立や世界全体の温室ガスを2050年までに半減するという長期目標を達成するため以下に政策の柱毎に目的を示す。

1-Ⅲ 新エネルギー等の開発・導入促進：太陽光、風力、バイオマスなどの新エネルギーはエネルギー源の多様化や地球温暖化対策の観点から重要である。しかし、現時点では経済性や出力安定性といった普及へ向けての課題が存在する。そのため、これらの課題解決に向けた技術開発の推進及び新エネルギーの導入促進のための関連施策の実施により、更なるエネルギーの普及を推進する。

Cool Earth－エネルギー革新技术計画（経済産業省 2008年3月制定）〈抜粋〉

エネルギー分野において、世界トップ水準の技術を有する我が国は、世界をリードできる技術分野に研究開発資源を重点化し、技術開発を加速・推進することにより、我が国の競争力を強化・維持しつつ、技術は我が国の貴重な資源であるとの認識に立った上で、国際的な連携を強力に推進し、世界全体での2050年までの大幅削減に積極的に貢献していくことが必要である。2050年の大幅削減に向け我が国として重点的に取り組むべき技術を特定した上で、長期にわたる技術開発を着実に進めるためのマイルストーンとして、各技術の開発に向けたロードマップを作成した。

1. 事業の位置付け・必要性について (1) 事業の目的の妥当性

— 上位施策の概要 —

Cool Earth—エネルギー革新技術計画 (2008年3月)

— 計画の狙い —

- 「世界全体の温室効果ガス排出量を2050年までに半減」という長期目標達成に向け、
 - ・ 従来の延長線上にない革新的なエネルギー技術開発が不可欠。
 - ・ 我が国が誇る世界トップ水準のエネルギー技術によって、世界をリード。
- このため、重点的に取り組むべき技術を特定、ロードマップを作成するとともに、国際連携のあり方を検討。

— 重点的に取り組むべき「21」のエネルギー革新技術 —



1. 事業の位置付け・必要性について (1)事業の目的の妥当性

－「太陽エネルギー技術研究開発」基本計画の概要－

目的

環境と調和した健全な経済産業活動と安全・安心な国民生活の実現を図るため、クリーンエネルギーである太陽光発電の更なる普及が要望されている。太陽光発電の更なる普及を実現するためには、これまでに蓄積した技術の更なる高効率化、共通基盤技術の発展及び低コスト化を可能とする革新的技術の開発が不可欠である。本プロジェクトは、経済性・出力安定性といった課題を克服し、新エネルギー等の自律的な普及を図ることを目標とするエネルギーイノベーションプログラムの一環として実施する。

太陽光発電の急速な普及を背景に、海外においても、太陽光発電技術の開発が精力的に取り組まれており、太陽光発電ロードマップ（PV2030+）で示された技術課題の解決に向け、まさに、グローバルな開発競争となっている。我が国は太陽光発電の技術開発及びその導入量・生産量において長らく世界一を誇っていたが、欧州を中心に行われている導入普及政策により、市場の中心は欧州へと移り始めており、我が国の地位確立のためには、これまで以上の技術開発が必要となっている。このため、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」という。）は、産学の科学的知見を結集して太陽光発電の技術開発を行い、これを産業技術へ繋げていくとともに、社会の共通基盤として情報の整備、提供を通じて、行政、産業界、地域住民等の間で科学的知見に基づいた正確かつ適切な認識の醸成を図ることを目的に、本プロジェクトを実施する。

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未達成に資する技術の開発を目標とする。**

内容：

- 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）]
- 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）]

— 公的関与の意義 —

・・・エネルギー技術開発は長期間を要するとともに大規模投資を伴う一方で将来の不確実性が大きいことから、民間企業が持続的な取組を行うことは必ずしも容易ではない。このため政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となる。・・・

(エネルギーイノベーションプログラムから抜粋)

—NEDO関与の意義—

マネジメント
プロセス

企画・立案

体制構築

事業推進

NEDOの
強み

- 産学官を取り纏めてロードマップを策定（事業環境の変化に即して改訂）
- 国策を盛り込んだ企画が可能

- 産学官を組み合わせた柔軟な体制を構築可能
- 30年以上に亘るコーディネートの経験

- 公的機関としての中立性
- 独立行政法人（国立研究開発法人）制度を最大限に活かして柔軟に推進

マネジメントの
ポイント

- 業界全体のニーズを把握するために産学官のヒアリングを実施

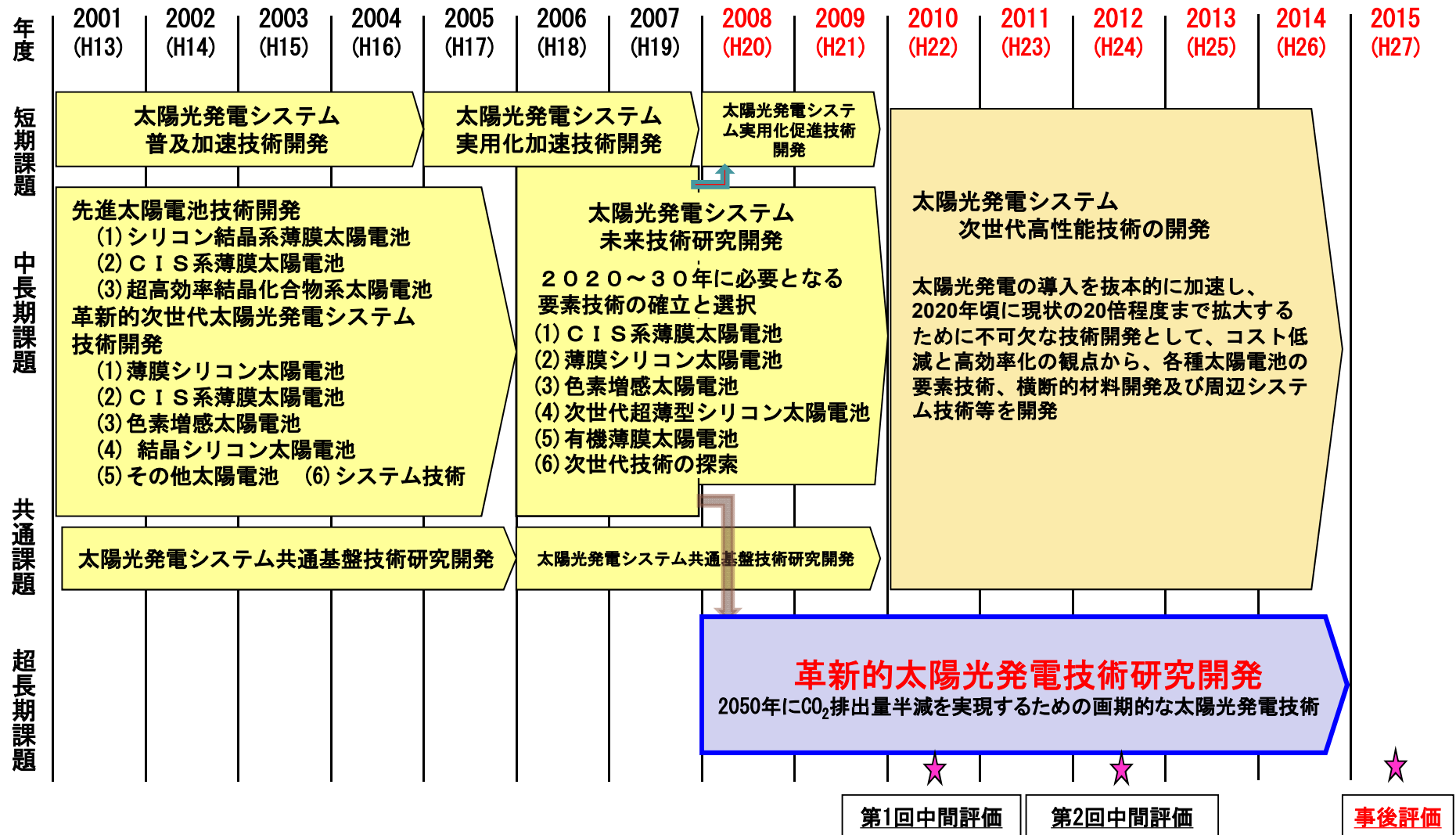
- 複数の競合企業を、コンソーシアムに纏め上げ共通の技術目標に向けて研究開発を推進
- 国研、大学、企業等でコンソーシアムを形成

- 国研及び大学の基礎研究成果を、企業の事業化に活かせるように調整
- 必要に応じて加速資金を投入
- 事業環境の変化に即して追加公募を実施

長期的視野に立った技術開発戦略「太陽光発電ロードマップ（PV2030+）」に沿った技術開発

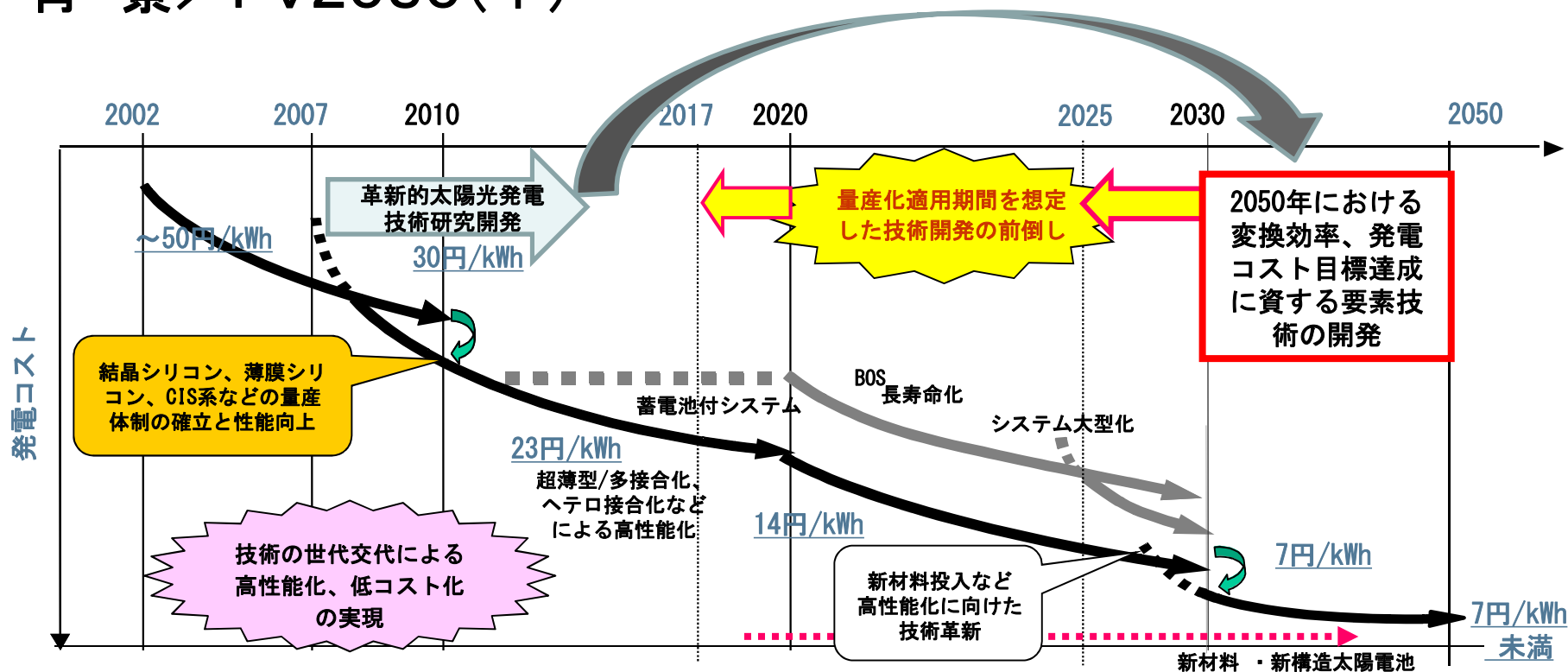
1. 事業の位置付け・必要性について (2)NEDOの事業としての妥当性

－位置づけ－



2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

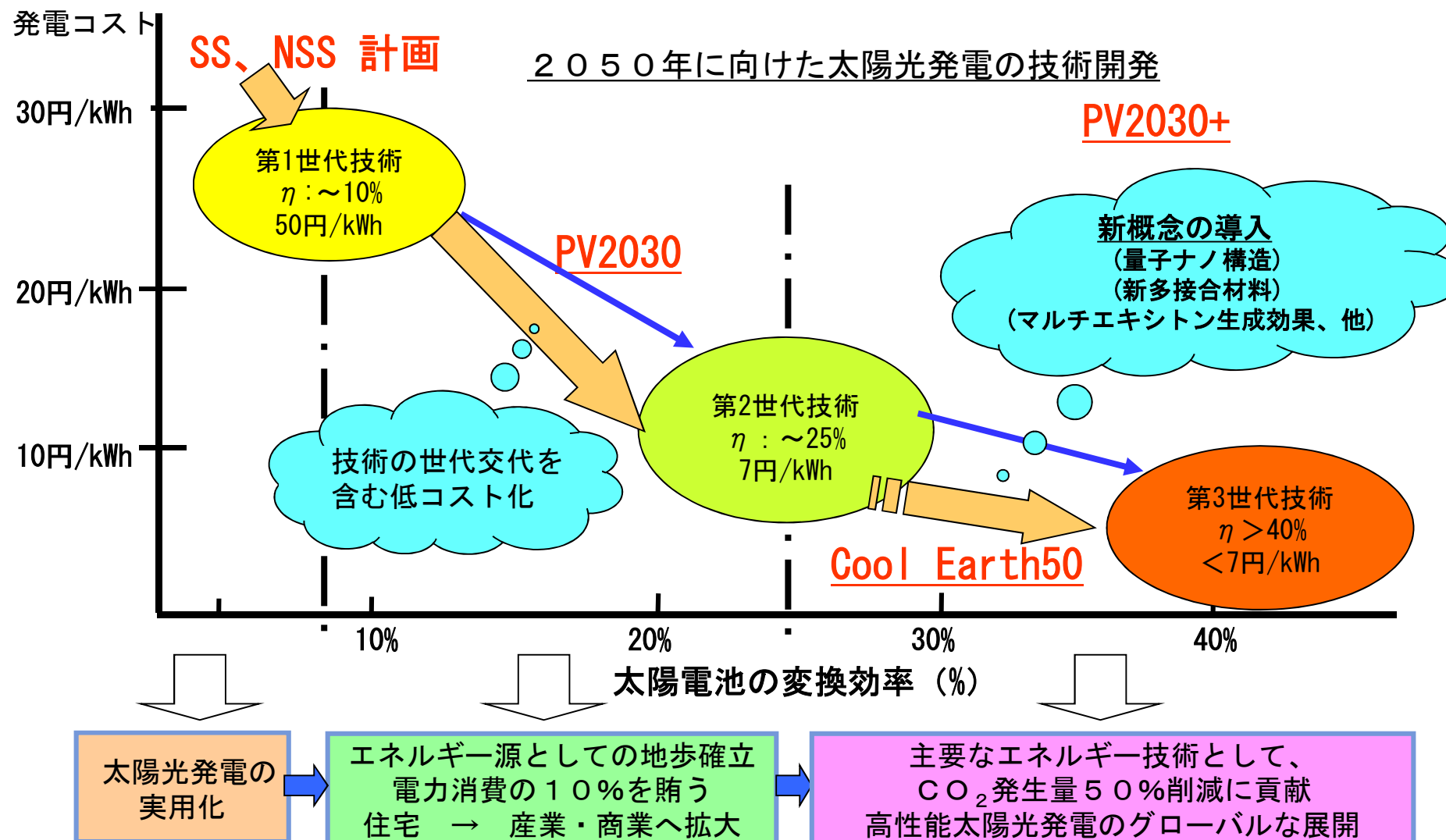
—背景/PV2030(+)—



実現時期(開発完了)	2010~2020年	2020年(2017年)	2030年(2025年)	2050年
発電コスト	家庭用電力並 23円/kWh程度	業務用電力並 14円/kWh程度	汎用電源並み 7円/kWh程度	汎用電源未滿 7円/kWh未滿
モジュール変換効率 (研究レベル)	実用モジュール16% (研究セル20%)	実用モジュール20% (研究セル25%)	実用モジュール25% (研究セル30%)	超高効率モジュール 40%
国内向生産量(GW/年)	0.5~1	2~3	6~12	25~35
国外向生産量(GW/年)	~1	~3	30~35	~300

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

— 背景 / PV2030(+) —



2. 研究開発マネジメント (1)研究開発目標の妥当性

－背景／PV2030(+)－

2050年に向けた太陽電池セル・モジュール変換効率目標 (%)

	太陽電池 ¹⁾	現状※		2017年		2025年		2050年
		モジュール (%)	セル ⁵⁾ (%)	モジュール (%)	セル ⁵⁾ (%)	モジュール (%)	セル ⁵⁾ (%)	モジュール (%)
個別技術の開発目標	結晶Si ²⁾	～16	25	20	25	25	(30)	40%の 超高効率 太陽電池 (追加開発)
	薄膜Si	～11	15	14	18	18	20	
	CIS系	～11	20	18	25	25	30	
	化合物系 ³⁾	～25	41	35	45	40	50	
	色素増感	—	11	10	15	15	18	
	有機系 ⁴⁾		5	10	12	15	15	

1)セルは技術の到達水準を示す指標で、研究室での小面積セル。モジュールは実用化技術段階。

2)結晶シリコンは単結晶、多結晶などを区別せず、シリコン基板を用いた太陽電池として設定。

3)集光時の変換効率。

4)新しい太陽電池として有機系太陽電池にも開発目標を設定した。

5)モジュール目標を達成するために最低限必要なセルの変換効率。

※PV2030+策定時(2009年6月時点)

— 事業の目標 —

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。

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

一全体スケジュール・予算一

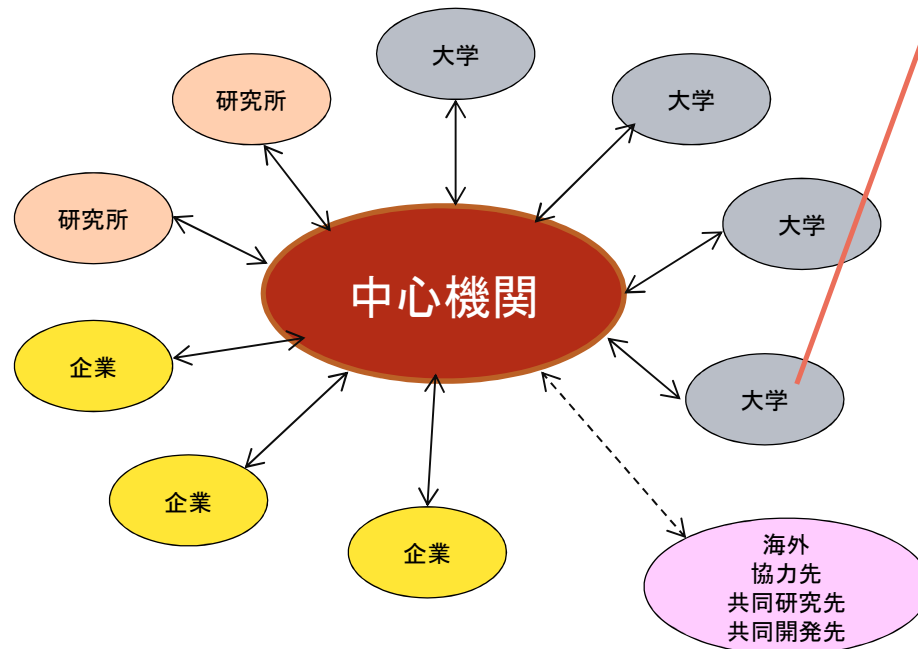
研究開発テーマ名	中間評価			中間評価			事後評価	
	H20年度	H21年度	H22年度	H23年度	H24年度	H25年度	H26年度	H27年度
①ポストシリコン 超高効率太陽電池の研究開発	8件			7件			6件	
②高度秩序構造を有する 薄膜多接合太陽電池の研究開発	14件			13件			9件	
③低倍率集光型 薄膜フルスペクトル太陽電池の研究開発	12件			11件			9件	
④革新的太陽電池評価技術の研究開発 (日米共同開発)		1件						
⑤高効率集光型太陽電池セル、モジュール 及びシステムの開発(日EU共同開発)				5件		5件		
委託先数合計	34	35	35	36	36	29	29	

研究開発予算(実績)の推移 [単位: 億円]

研究開発テーマ名	H20年度	H21年度	H22年度	H23年度	H24年度	H25年度	H26年度	総額
①ポストシリコン 超高効率太陽電池の研究開発	14.2	7.3	6.8	6.4	7.9	6.3	5.8	54.7
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	6.6	4.8	6.3	6.0	5.5	4.5	3.0	36.7
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	6.4	5.5	5.4	6.2	5.8	4.4	2.8	36.5
④革新的太陽電池評価技術の研究開発 (日米共同開発)	—	0.3	8.7	—	—	—	—	9.0
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)	—	—	—	1.6	2.0	1.6	1.1	6.3
合計 特別会計(需給勘定)	27.2	17.9	27.2	20.2	21.2	16.8	12.7	143.2

—実施体制—

東大、産総研、東工大が中心機関となり3グループで研究開発を実施
更に、米国・EUとの共同開発も追加実施



国際協力・共同開発

世界の最先端技術を持つ研究機関等と協力し研究開発を進める

(意見交換、サンプル評価等の協力を実施)

(東大G)

マドリッド工科大学 (スペイン)
フラウンホーファー研究所 (独) 等

(産総研G)

ユーリッヒ研究所 (独)
ヘルムホルツベルリン研究所 (独) 等

(東工大G)

ペンシルベニア州立大学 (米)
ステュットガルト大学 (独) 等

(日米共同開発)

NREL (米)

(日EU共同開発)

マドリッド工科大学 (スペイン)
フラウンホーファー研究所 (独) 等

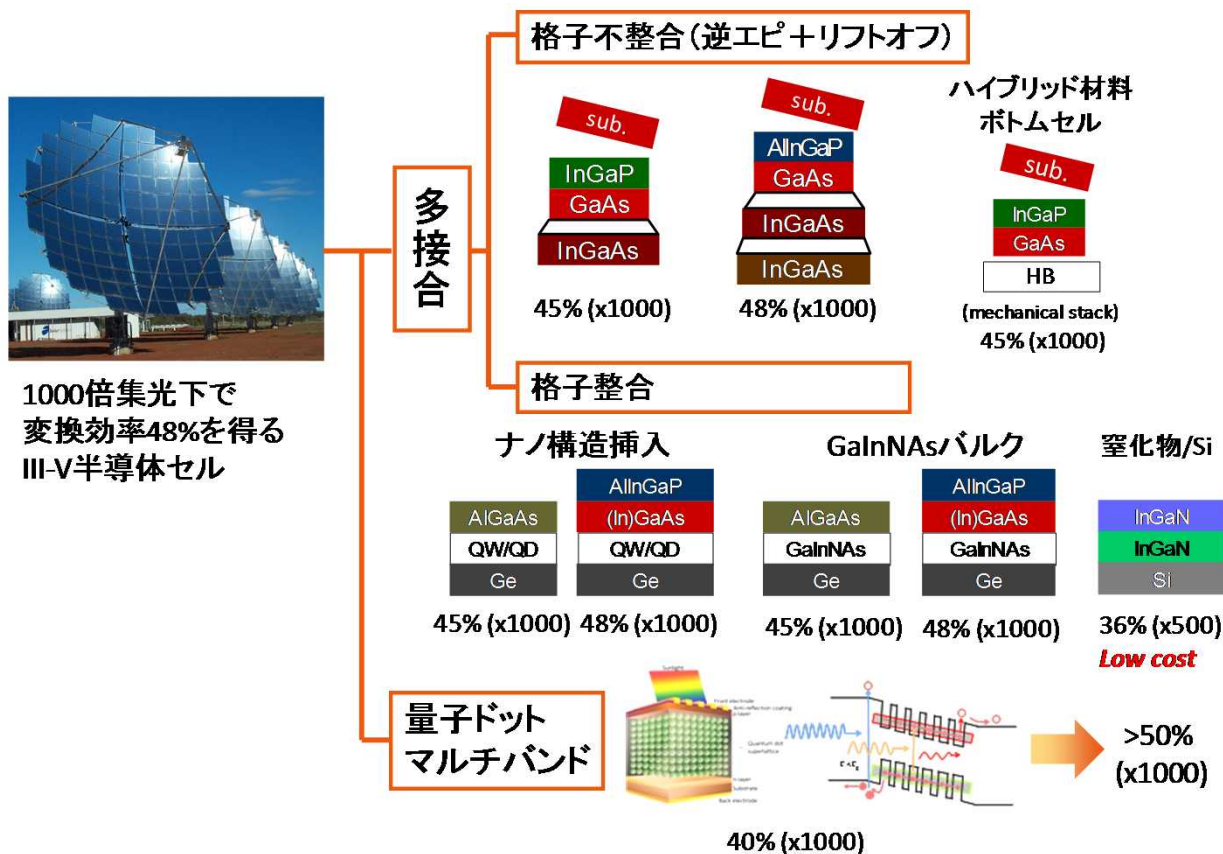
これらの機関は協力先かつコンペティター
該当機関他の動向について国際学会等で情報
収集し本研究開発へ反映

2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

—ポストシリコン超高効率太陽電池の研究開発—

<最終目標>

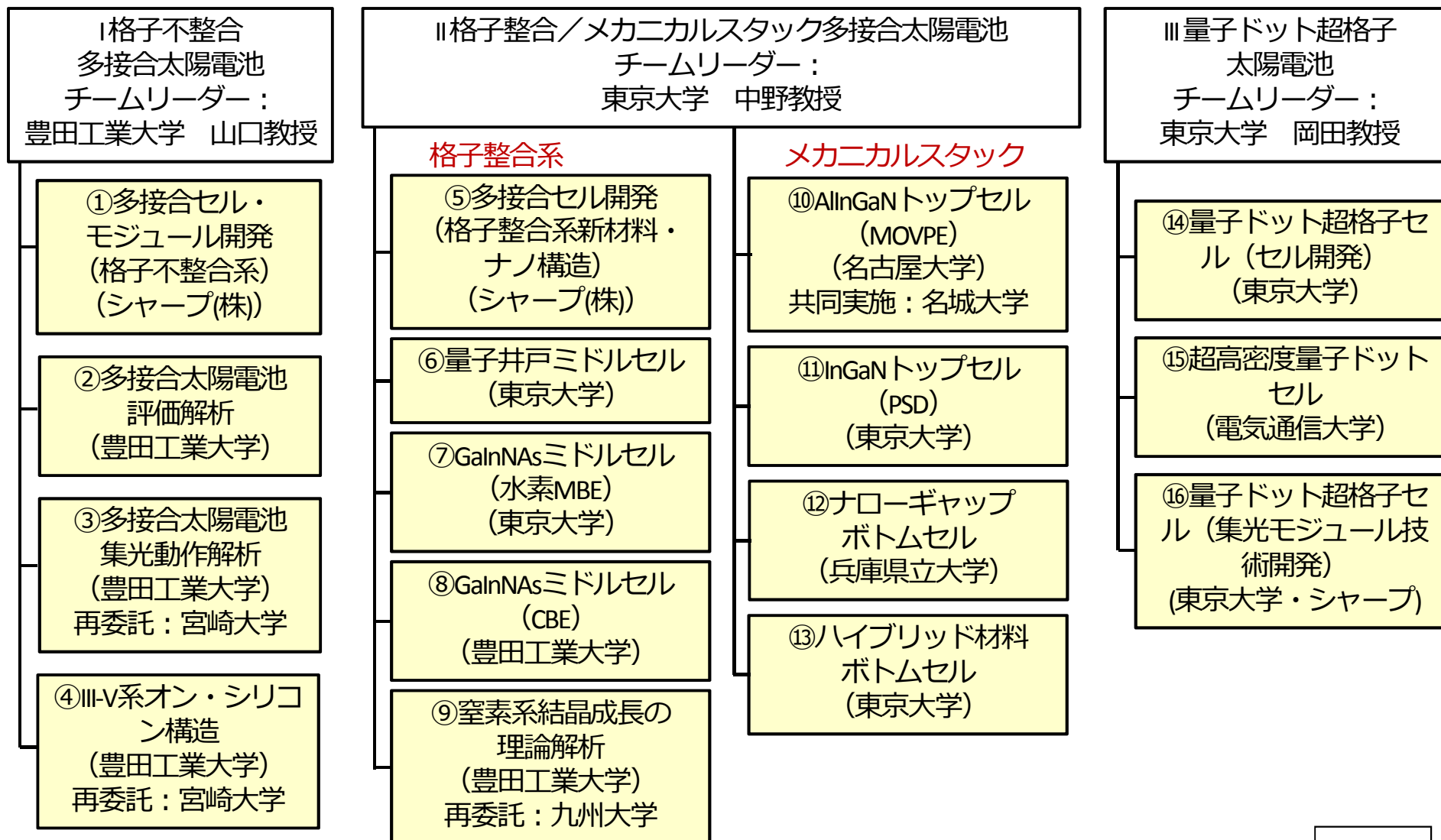
- III-V族系材料による高集光多接合太陽電池で変換効率45%以上（3接合・1,000倍集光時）、変換効率48%（4接合・1,000倍集光時）を達成する。
- 新概念太陽電池については、窒化物セルにおいて非集光時変換効率20%（単接合）および30%（多接合）、量子ドットマルチバンドセルにおいて27%（非集光時）、40%（集光時）を達成する。
- 高度光利用技術についてはデバイスプロセスと組み合わせて量子ナノ構造層の光吸収を10倍に高め、上記目標の達成に資する。



2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

ーポストシリコン超高効率太陽電池（東大グループ）実施体制 ー

プロジェクトリーダー：東京大学大学院工学系研究科・先端科学技術研究センター 教授 中野 義昭



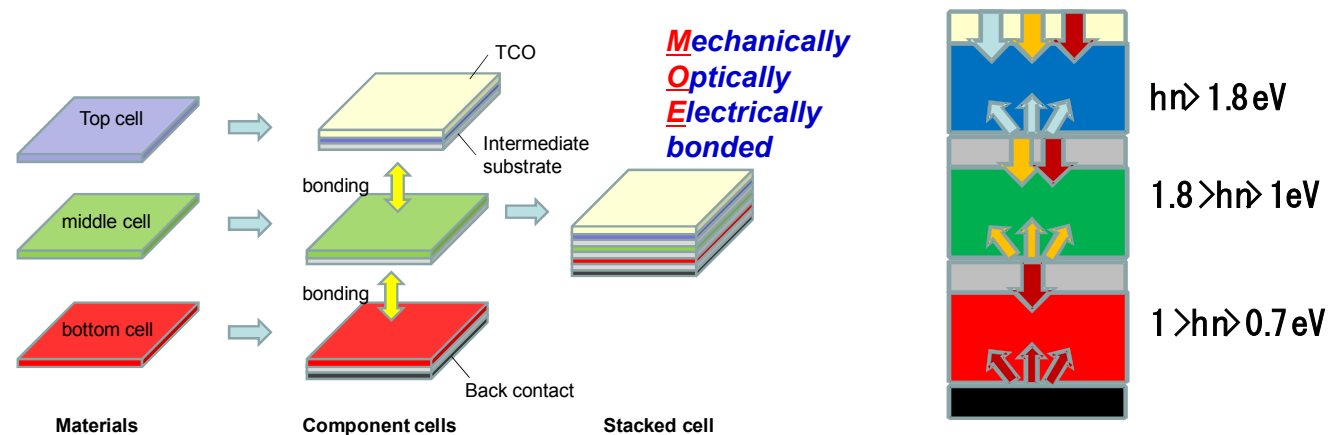
2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

—高度秩序構造を有する薄膜多接合太陽電池の研究開発—

<最終目標>

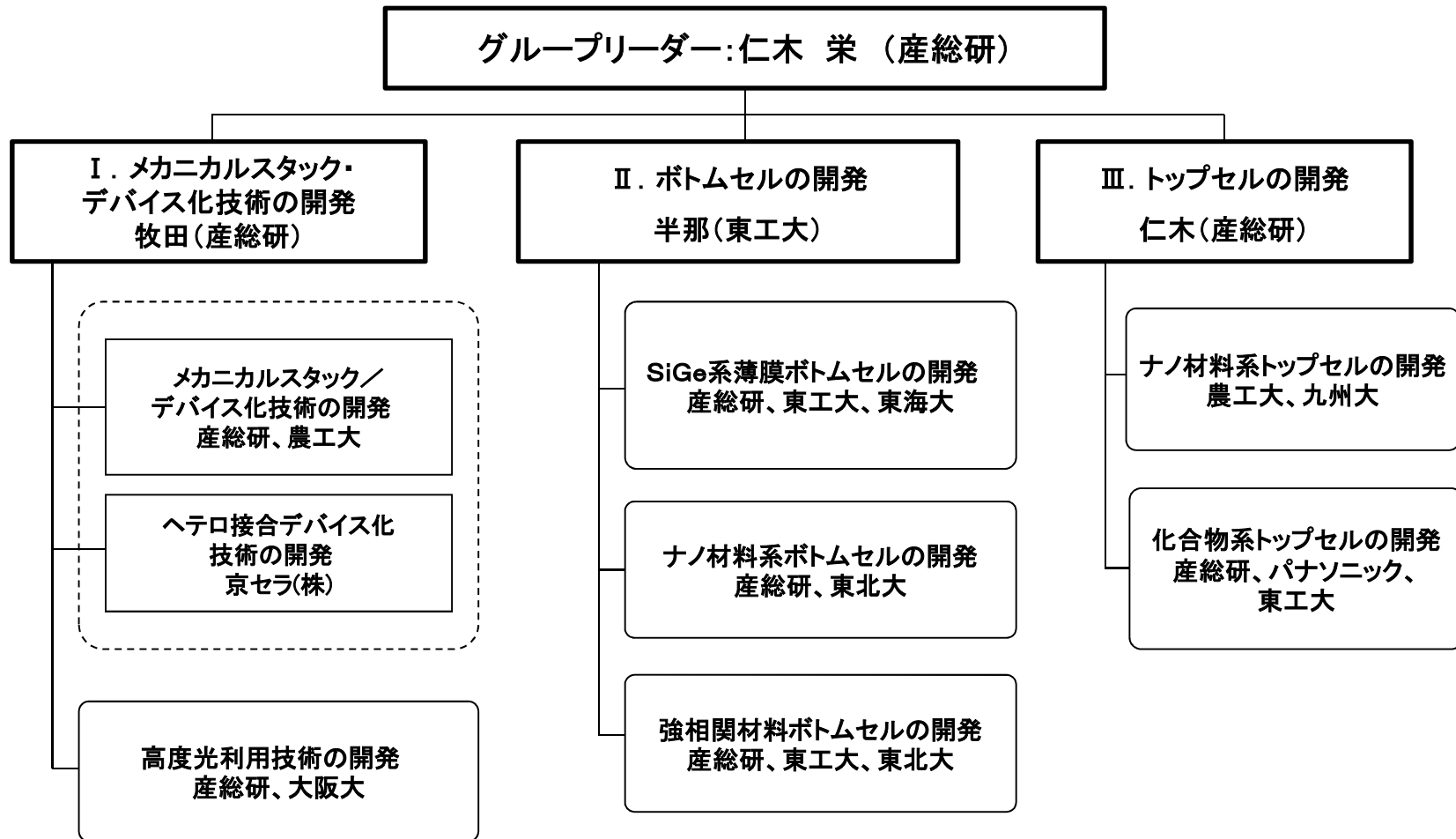
ボトムセルおよびトップセルについて要素セルの高度化ならびに高度光利用技術の組み合わせにより多接合太陽電池（非集光）で変換効率30%を達成する。またこれをコスト50円/Wで可能とする技術を開発する。

- ◆非集光、低コスト → 薄膜、シリコンやCIS技術も活用
- ◆高効率 → 多接合、秩序構造（単結晶、多結晶薄膜）
3~4接合（実用性考慮）
- ◆新概念（量子ドット、プラズモン、多重励起子）
- ◆柔軟性 → メカニカルスタック（2端子モノリシック）
- ◆高度光利用 → フォトニック構造、高性能TCO



2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

—高度秩序構造を有する薄膜多接合太陽電池（産総研グループ）実施体制—



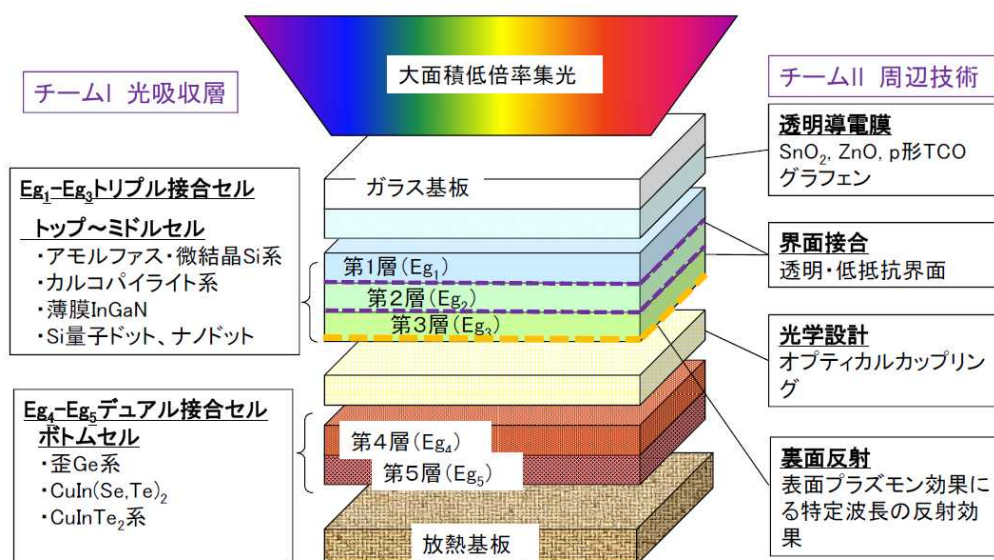
2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

一低倍率集光型薄膜フルスペクトル太陽電池の研究開発一

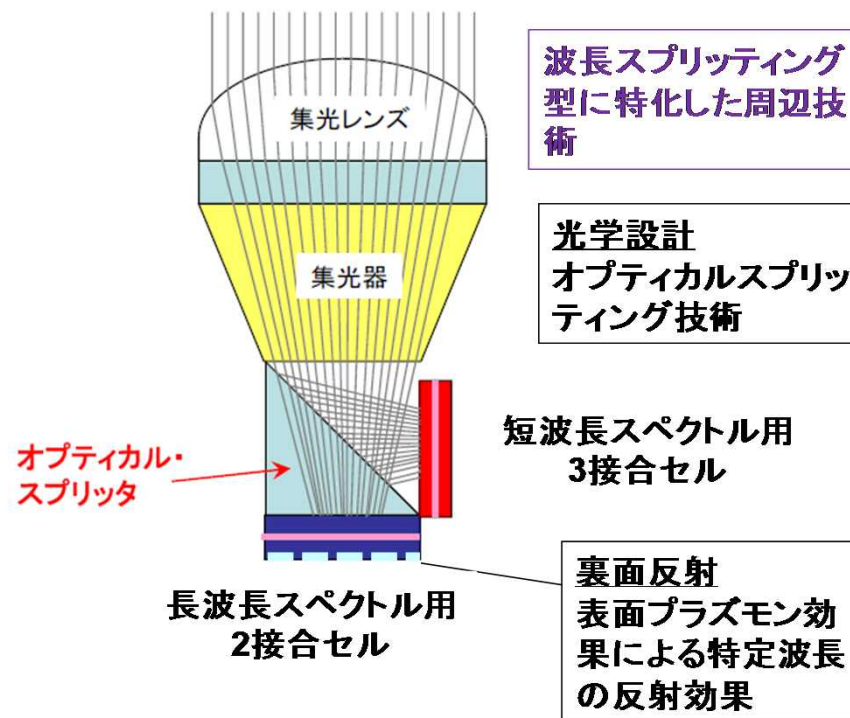
<最終目標>

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40%（低倍率集光、有効受光面積：1cm²）を達成する。

①メカニカルスタック型5接合

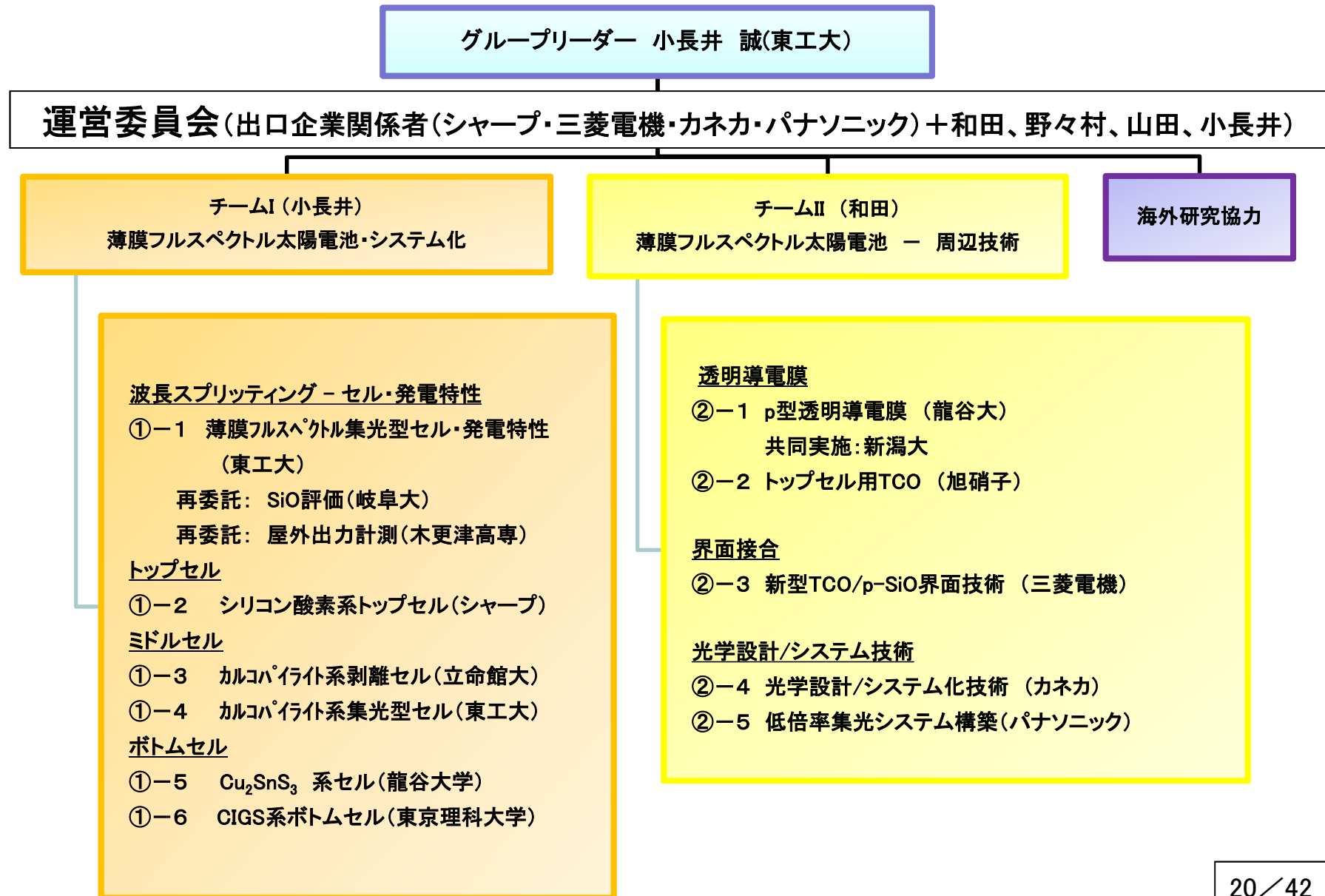


②波長スプリッティング型5接合



2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

— 低倍率集光型薄膜フルスペクトル太陽電池（東工大グループ）実施体制 —



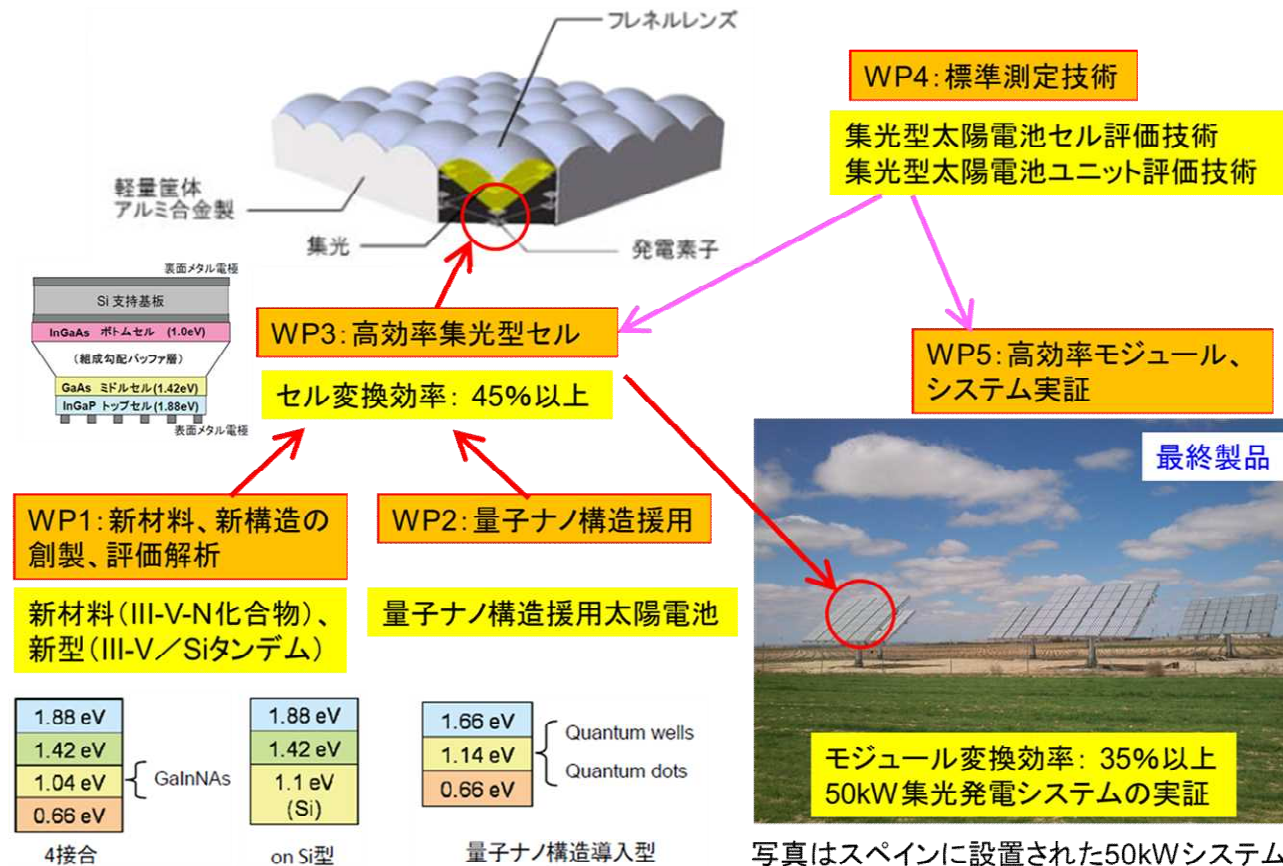
2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

— 超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) —

<最終目標>

- セル変換効率45%以上を達成する。
- モジュール変換効率35%以上を達成する。
- 集光型太陽電池の標準測定技術を確立する。(測定再現性±0.5%以内)

最終製品とサブテーマ(WP)



2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

— 超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) 実施体制 —

New Generation CPV

次代を担う超高効率集光型太陽光発電の共同研究開発
A new generation of concentrator photovoltaic cells, modules and systems (NGCPV)
リーダー: 山口真史(豊田工大)、A. Luque (UPM)
サブリーダー: 岡田至崇(東大)、A. Bett (Fraunhofer ISE)

WP1: 新材料、新構造の創製、評価解析

豊田工大、UPM、東大、宮崎大、旭化成、神戸大、タカノ、FhG-ISE、IC-STM

WP2: 量子ナノ構造援用

東大、UPM、豊田工大、宮崎大、神戸大、FhG-ISE、IC-STM

WP3: 高効率集光型セル

FhG-ISE、シャープ、豊田工大、宮崎大、UPM

WP4: 標準測定技術

産総研、FhG-ISE、大同特殊鋼、UPM、IC-STM、ENEA、BSQ、CEA-INES

WP5: 高効率モジュール、システム実証

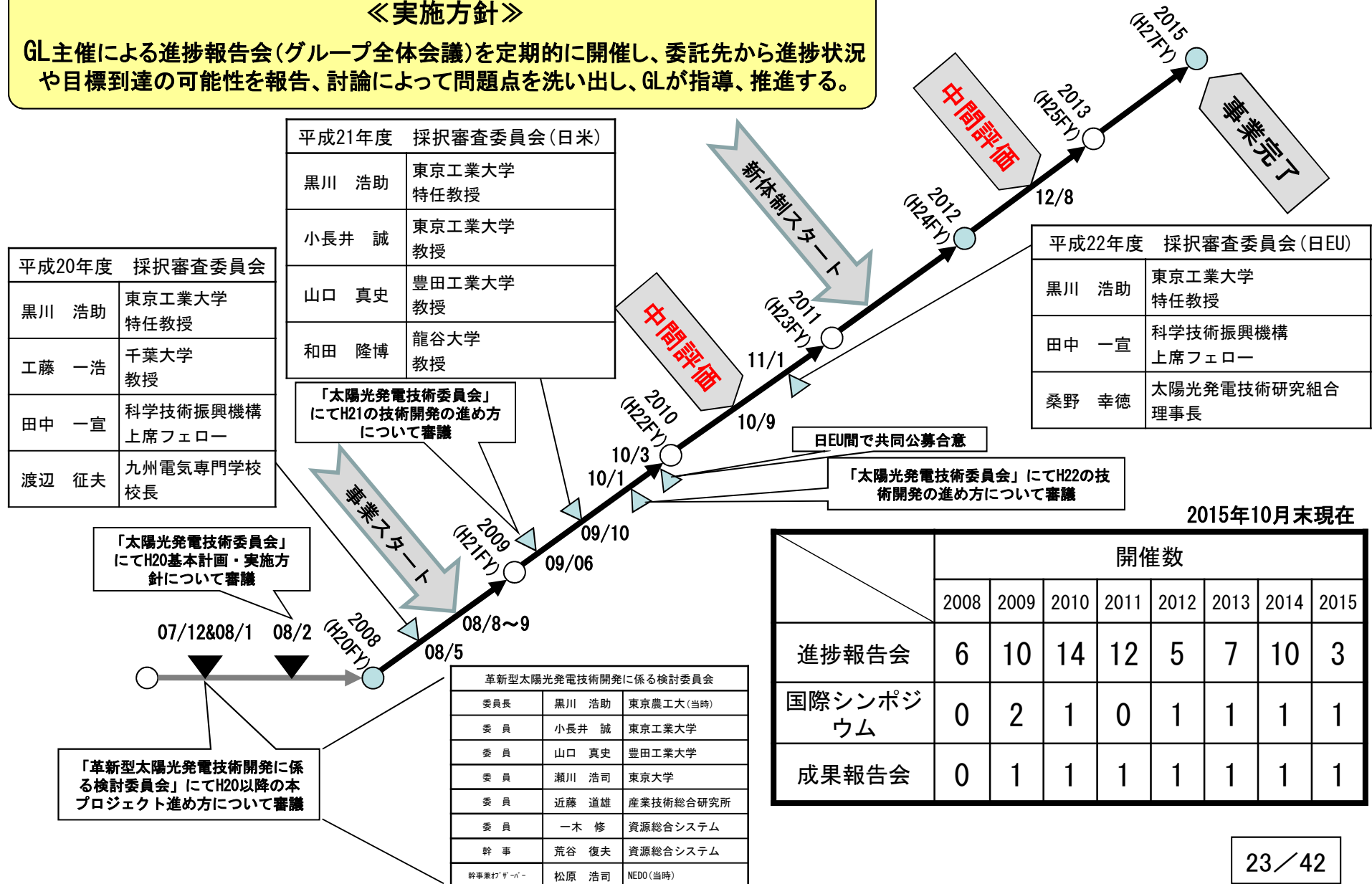
UPM、大同特殊鋼、宮崎大、BSQ、CEA-INES

UPM: マドリッド工科大<スペイン> FhG-ISE: フラウンホーファー太陽エネルギーシステム研究所<ドイツ>
IC-STM: インペリアル・カレッジ・ロンドン<イギリス> ENEA: イタリア・新技術・エネルギー・環境庁<イタリア>
BSQ: BSQソーラー<スペイン> CEA-INES: CEA国家太陽エネルギー研究所<フランス>

2. 研究開発マネジメント (4)研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性 (5)情勢変化等への対応

《実施方針》

GL主催による進捗報告会(グループ全体会議)を定期的に行い、委託先から進捗状況や目標到達の可能性を報告、討論によって問題点を洗い出し、GLが指導、推進する。



2. 研究開発マネジメント (4)研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性
(5)情勢変化等への対応

—情勢変化への対応—

研究開発の進捗に合わせ、予算増額、追加公募およびテーマの絞り込みを実施

【平成20年度】

- ・より強固な体制での研究開発実施の為、当初示達額18.7億円に対し4.7億円の予算増額
- ・補正予算5.0億円で、後年度購入予定装置の一部を前倒し購入し研究開発を加速

【平成21年度】

- ・革新的太陽電池のモジュール評価技術を確立する為に、追加公募
- ・「ポストシリコン超高効率太陽電池の研究開発」を加速する為に、2.1億円の予算増額

【平成22年度】

- ・集光型太陽電池のモジュール設計、評価技術を確立する為に、追加公募
- ・『量子ドット』太陽電池等の開発を加速する為に、4.1億円の予算増額

【平成23年度】

- ・中間評価の結果を踏まえ、サブテーマ数を71から56に絞り込み

【平成24年度】

- ・『3接合化合物』太陽電池の実用化を加速する為に、2.5億円の予算増額

【平成25年度】

- ・中間評価の結果を踏まえ、サブテーマ数を56から45に絞り込み

【平成26年度】

- ・実用化に向けた性能向上技術および低コスト化技術の開発指針策定に向け、1.7億円の予算増額

—前回の中間評価結果への対応—

1) 産業の状況が急変し、国際競争が激しさを増していることから、集中と選択を更に進め、将来に向けた必須技術、他国に差別化できる技術の研究開発に予算を重点化する必要がある。また、本プロジェクトの開始時とは状況が異なり、基礎研究についてはJSTなどの事業でも大型の支援が行われているため、実用化に対する開発進捗状況を鑑みNEDOが支援を行うべきかどうか十分な棲み分けを行う必要がある。

- 基盤技術開発(シーズ探索等)フェーズの事業であるという位置づけは維持しつつも、グループ毎に実用化に対する道筋(参画企業の戦略等)を確認。
- 研究テーマの絞り込みを実施。(56 ⇒ 45)
- 状況変化を踏まえて技術開発戦略(ロードマップ)の見直しを進め、本プロジェクトの進捗は、平成27年度開始事業の基本計画立案に反映。

2) 今後、開発した技術を守るために特許化が必要で、周辺特許を含め強い特許とすることが重要である。また、事業化に向けての知財戦略と併せて、特性評価技術、実装技術、入出力条件、安全性等の国際標準化の活動を推進するべきである。

- 知財取得はもちろん、測定方法等については、他のプロジェクトとも連携して標準化を推進。

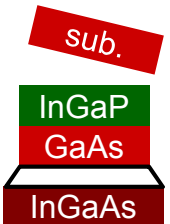
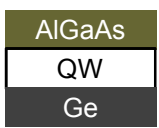
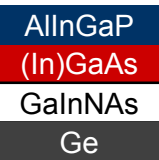
2. 研究開発マネジメント (4)研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性
 (5)情勢変化等への対応

NEDOの技術開発指針の見直しと技術開発プロジェクト

	平成 20 年度	平成 21 年度	平成 22 年度	平成 23 年度	平成 24 年度	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	平成 31 年度	平成 32 年度	...	平成 42 年度	...
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020		2030	
【NEDO戦略】	PV2030+							太陽光発電開発戦略 NEDO PV Challenges								
発電コスト低減 信頼性向上	革新的太陽光発電技術研究開発							高性能・高信頼性 太陽光発電の 発電コスト低減技術開発								
	太陽光発電システム 次世代高性能技術の開発							太陽光発電システム効率向上 ・維持管理技術開発プロジェクト								
リサイクル								太陽光発電リサイクル 技術開発プロジェクト								
立地制約の解消 高付加価値化								有機系太陽電池 実用化先導技術開発								
								太陽光発電多用途化 実証プロジェクト								

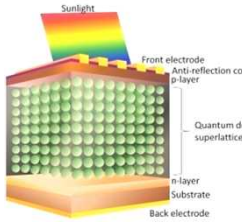
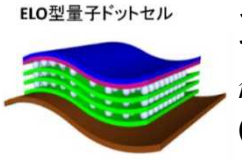
3. 研究開発成果について (1)研究開発目標の達成度と研究開発成果の意義

ーポストシリコン超高効率太陽電池研究開発の目標と達成状況ー

テーマ	最終目標	達成状況	今後の取り組み
<p>格子不整合多接合太陽電池</p>  <p>格子不整合3接合 $\eta=45\%$ (x1000)</p>	<p>格子不整合3接合 $\eta=45\%$ (x1000)</p>	<p>$\eta=37.9\%$ (x1) $\eta=44.4\%$ (x302) (ともに世界最高記録)</p>	
<p>格子整合／メカニカルスタック多接合太陽電池</p>  <p>格子整合3接合 $\eta=45\%$ (x1000)</p>	<p>量子井戸挿入3接合セルの開発において、変換効率36%(1sun)、45%(1,000suns)を達成</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● $E_g=1.2$ eVのミドルセル開発は完了 ● 3接合セルに実装し、電流整合を確認 	<p>現状のウエハシャトル(原理検証)からMOVPE一貫成長による3接合セル形成に移行 電極等の最適化により$\eta=45\%$ (x1000)を実現</p>
<p>格子整合／メカニカルスタック多接合太陽電池</p>  <p>4接合(格子整合) $\eta=48\%$ (x1000)</p>	<p>GaInNAs結晶薄膜を第3セルとした4接合セルの開発において、変換効率38%(1sun)、48%(1,000suns)を達成</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● $E_g=1.0$ eVのGaInNAsセル開発完了 ● ウエハシャトルによりInGaP/GaAs/GaInNAs/Ge 4接合セル動作実証済み 	<p>ウエハシャトルプロセスにおける再成長手法改良、および材料設計の最適化による4接合セル効率向上$\eta=48\%$ (x1000)</p>

3. 研究開発成果について (1)研究開発目標の達成度と研究開発成果の意義

ーポストシリコン超高効率太陽電池研究開発の目標と達成状況ー

テーマ	最終目標	達成状況	今後の取り組み
<p>量子ドット超格子太陽電池</p>  <p>量子ドット超格子セル $\eta=40\%$ (x1000)</p>	<p>超高密度「積層」量子ドットセル $\eta=27\%$(非集光) $\eta=40\%$(x1,000)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 単層でドット密度$10^{12} / \text{cm}^2$を達成(世界最高値) ● 変換効率26.8%(x72)を達成、>35%達成見込み ● 50層積層で$>10^{13} / \text{cm}^2$のInAs/AlGaAsドットセル開発 ● 2段階光吸収特性の実証と評価解析(世界初) 	<p>超高密度・多重積層技術、光閉じ込め技術、素子構造の更なる改良とELO技術の導入により、低コストの量子ドットセル(低倍集光で効率30%)を実現する</p>
<p>量子ドット超格子太陽電池</p>  <p>ELO型量子ドットセル 量子構造挿入極薄GaAsセル $\eta=40\%$ (x1000)</p>	<p>超高密度「積層」量子ドットセル $\eta=27\%$(非集光) $\eta=40\%$(x1,000)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● ELO法による薄膜InAs/ GaAs量子ドットセルの作製 ● モノリシック集積マイクロ直列セル構造の提案と10直列セルの製作 ● 光閉じ込め効果により量子井戸の光吸収を5倍に増大(変換効率20%) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 高効率と低コストを両立する低倍集光モジュールの設計と試作 ● 設計と実装の双方向評価に基づく、光マネジメント構造の最適化

3. 研究開発成果について (1)研究開発目標の達成度と研究開発成果の意義

－高度秩序構造を有する薄膜多接合太陽電池の目標と達成状況－

テーマ	最終目標	達成状況	今後の課題
メカニカルスタック・デバイス化技術	接合技術の高度化により、高度光利用技術と組み合わせて多接合太陽電池(非集光)で変換効率30%を達成する	Ⅲ-V族化合物セルの直接接合で31.6%	量産性、低コストに適う実用技術への展開(ELO剥離技術、実装技術等の高度化)
高度光利用技術の開発	開発した光閉じ込め構造を用いた太陽電池で相対効率向上20%以上を達成する	微結晶シリコン単接合多様電池において、従来光閉じ込め基板使用時に比べ相対効率向上25%	高度光利用技術の低コスト化
ボトムセルの開発	バンドギャップ0.9eV以上の単接合太陽電池で、1.4eV以下の光に対して電流密度15mA/cm ² 以上を達成する	SiGe系ヘテロ接合デバイスで1.4eV以下の光に対して電流密度3.4mA/cm ²	<ul style="list-style-type: none"> ● 薄膜中の不純物およびドーピング等の最適化 ● デバイス設計の最適化
トップセルの開発	バンドギャップ1.8eVの太陽電池で変換効率16%を達成する	バンドギャップ1.9eVのInGaP太陽電池で変換効率16.1%	新しい結晶成長技術の開発による作製コストの削減

3. 研究開発成果について (1)研究開発目標の達成度と研究開発成果の意義

—低倍率集光型薄膜フルスペクトル太陽電池の目標と達成状況—

テーマ	最終目標	達成状況	今後の課題
薄膜フルスペクトル集光型セル・発電特性	ワイドギャップからナローギャップの広い禁制帯幅の領域で、今までにない光吸収層材料を開発するとともに、広い波長範囲で有効にフォトンを利用するため光のマネジメント技術開発を行う。これらの要素技術をもとに、低倍率集光型薄膜太陽電池を試作し、エネルギー変換効率40%を達成する。	波長スプリットティング特性 <ul style="list-style-type: none"> ● a-Si:H//CIGS : $\eta = 22.9\%$ (1sun) ● a-Si:H//c-Si : $\eta = 25.1\%$ (1sun) ● InGaP//CIGS : $\eta = 25.9\%$ (1sun) ● InGaP//c-Si : $\eta = 29.5\%$ (1sun) ● InGaP//GaAs//CIGS : $\eta = 28.9\%$ (1sun) ● InGaP//GaAs//c-Si : $\eta = 31.2\%$ (1 sun) ● InGaP//GaAs//c-Si : $\eta = \text{約 } 38\%$ (50 sun) * (Rs=0と仮定して理論計算)	<ul style="list-style-type: none"> ● 集光度に対する最適電極設計 ● セルの測定温度制御 ● 低倍率集光薄膜フルスペクトルセルで$\eta=30\%$を得るためのトップセル、ミドルセルの高品質化 ● Proof-of-Conceptセルで$\eta=40\%$の実証 ● 波長スプリットティング低倍率集光測定技術の確立
光学設計/システム化技術	<ul style="list-style-type: none"> ● 低倍率集光で変換効率40%を達成するためのオプティカルスプリッタ開発 ● 光学的損失: 5%以下 ● 低倍率集光によるオプティカルスプリットティング構造の屋外暴露システムにおける課題を抽出し、暴露による屋外出力変動を取得 	<ul style="list-style-type: none"> ● 分離波長を自由に設定可能で、損失の少ないオプティカルフィルターを開発 ● 低倍率集光装置の屋外設置 ● a-Siセルとヘテロ接合セルを用いたスプリットティング構造にて真性変換効率25%、ペロブスカイトを用いて28%を達成 ● 屋外低倍率集光装置へのオプティカルスプリットティング構造の導入、及び、屋外出力評価を実施 	<ul style="list-style-type: none"> ● 屋外システムの出力量変動取得 ● 実用化に向けた研究開発

3. 研究開発成果について (1)研究開発目標の達成度と研究開発成果の意義

－革新的太陽電池評価技術(日米共同開発)の目標と達成状況－

テーマ	最終目標	達成状況	事業終了後の状況
①a)集光型太陽電池屋内評価技術	<ul style="list-style-type: none"> ● 従来の単接合太陽電池の高精度評価技術をベースとして、3接合以上の多接合で集光倍率500倍以上に対応できる国際的整合性を持った高精度な評価技術を開発する 	<ul style="list-style-type: none"> ● 集光倍率500倍以上で集光型多接合太陽電池セルを高精度に測定可能な技術を開発し、米国NRELと共同で測定精度について検証した ● 集光型太陽電池ユニット評価を光線平行度約0.5度以内の定常光で高精度に評価する技術を開発した 	<ul style="list-style-type: none"> ● 1,000倍以上の基本的な測定可能性を確認した。 ● 測定精度の不確かさ検証や改善検討 →スペクトル面内均一性補正等により、高精度化を実現した。上記と共に集光型太陽電池の高精度評価の実施を通してデバイス高性能化、多接合太陽電池測定規格化等に貢献。 ● 国際比較測定の継続等による、整合性の高い評価技術の確立、標準化(IEC62670-2 IEC62670-3) →IEC62670-3の屋内測定法の一部として反映されるとともに、高平行度シミュレータの規格化へ貢献
①b)集光型太陽電池屋外評価技術	<ul style="list-style-type: none"> ● 集光型太陽電池システムを日米両国に設置し、屋内評価結果と併せて屋外での性能評価技術を開発する 	<ul style="list-style-type: none"> ● 国内外の3種の多接合型太陽電池を使用した集光型太陽光発電設備(30kW)を岡山市とコロラド州に設置し、異なる気候環境下での実際の発電データを取得した ● 各種気象条件および設置精度がおおよぼ集光型太陽電池システムの発電性能を実証的に明らかにした 	<ul style="list-style-type: none"> ● CPVに特有なアラインメント等を考慮した高精度な発電量評価技術の開発と検証・標準化(IEC62670-2 IEC62670-3) →日米実証データにより、アラインメントによる損失が認知され、システム全体の発電性能指標測定法としてIEC62670-2が発行(May, 2015)された。日本を含む亜熱帯地域等のスペクトル特性がIEC62670-3に反映されるよう審議中

3. 研究開発成果について (1)研究開発目標の達成度と研究開発成果の意義

－革新的太陽電池評価技術(日米共同開発)の目標と達成状況－

テーマ	最終目標	達成状況	事業終了後の状況
②a)革新的薄膜多接合太陽電池性能評価技術	<ul style="list-style-type: none"> ● 従来より広いスペクトル領域で感度特性を有するSi系以外および3接合以上を含めた革新的材料および構造を持つ薄膜多接合太陽電池に予測される集積型モジュール構造での評価に対応できる技術を開発する 	<ul style="list-style-type: none"> ● 革新的多接合太陽電池モジュールの高精度な性能評価に対応可能な技術を開発し、基本性能を検証した ● 新概念太陽電池の照度・面積等の定義測定方法を日米で議論し整合を図った 	<ul style="list-style-type: none"> ● 新型薄膜モジュールでの評価精度・整合性の検証 →各種多接合太陽電池の評価を実施し、欧米との比較測定等により精度と整合性を確認した。有機を含めた新型モジュール評価を実施し、デバイス開発、多接合太陽電池測定規格化等に貢献。
②b)革新的薄膜多接合太陽電池信頼性評価技術	<ul style="list-style-type: none"> ● 革新的太陽電池およびそれに用いられる新材料の部材・組成・不純物等の評価および基本的な光・熱等の環境に対する信頼性を検証する 	<ul style="list-style-type: none"> ● CIGS光吸収層の中に形成されるミクロンサイズ粒子の組成分析を行い、CIGS膜の性能を阻害する要因を元素とそのサイズに関して明らかにした ● ヘテロ接合界面のバンドオフセット量評価が新規太陽電池開発に有効である事を$a\text{-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}/c\text{-Ge}$ヘテロ接合型太陽電池を用いて確認した ● 薄膜多接合太陽電池に用いられる中間層材料/透明導電材料の評価を実施し、微視的組成や特性と電気特性との相関を明らかにした 	<ul style="list-style-type: none"> ● より発展させ、デバイス構造を有する試料およびデバイスの評価へ展開する →デバイス構造を有する試料のヘテロ接合界面における元素の相互拡散の程度や添加不純物元素の濃度分布を測定し、高性能デバイスの評価に貢献。この評価技術は、後続のNEDO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)でも有効に活用された。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度と研究開発成果の意義

一 超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)の目標と達成状況一

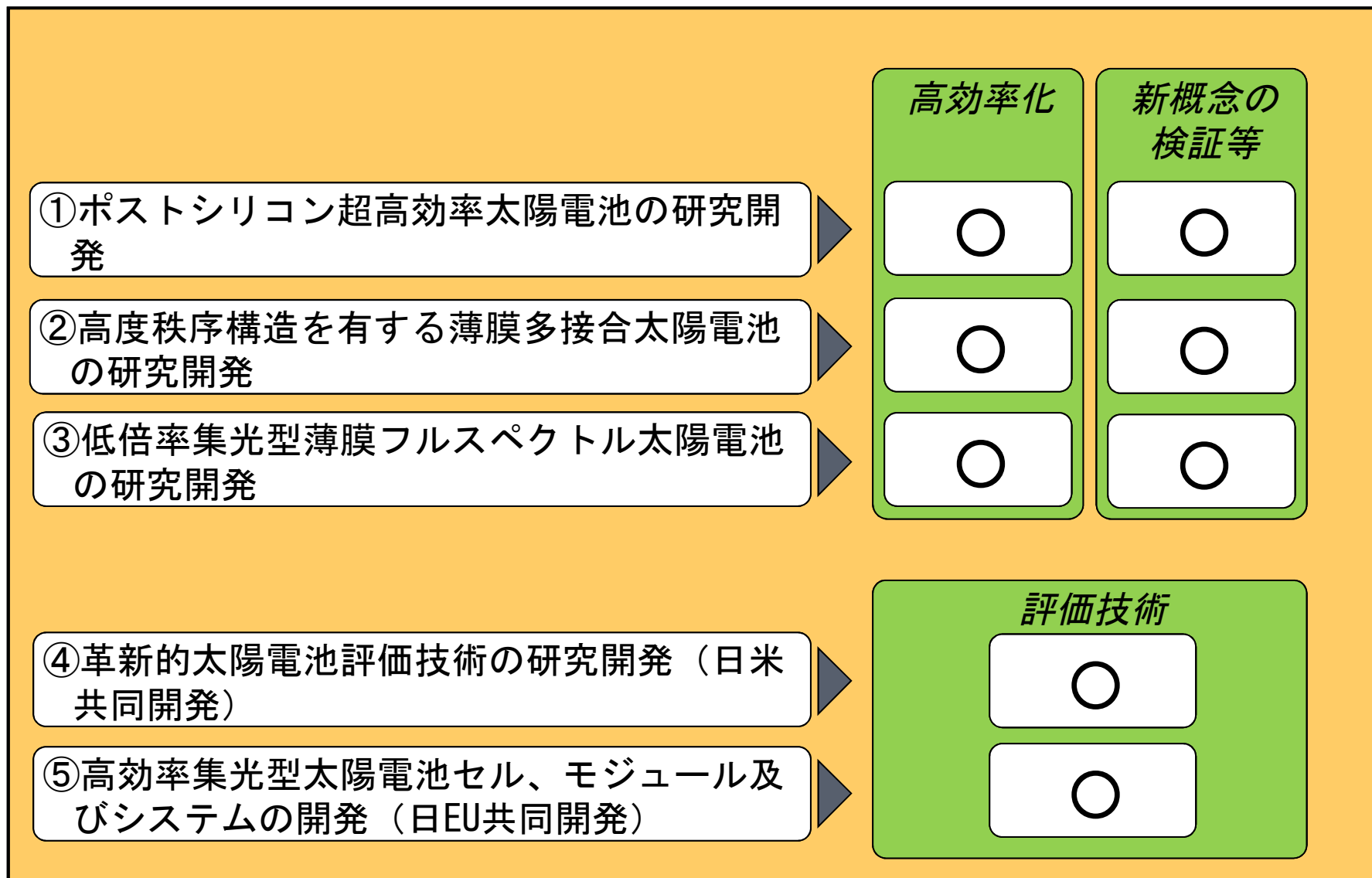
テーマ	最終目標	達成状況	今後の課題
新型量子、ナノ構造太陽電池	量子井戸・量子ドット集光型セル中キャリアダイナミクスの評価解析技術の開発 <集光効率30%>	<ul style="list-style-type: none"> ● QDセルで、1-sun、72-sunsで、各々、効率17.3%、26.8%を達成 ● インペリアル・カレッジと東大との連携により、多重量子井戸(MWQ)セルの4, 5接合太陽電池用としての有効性を確認(効率>50%) ● 新型多接合・量子構造セルの評価装置の設計・構築 	<ul style="list-style-type: none"> ● QD, 超格子の効果を明確にし、セル特性の改善に反映させる ● N:Sb 3接合太陽電池および量子ドットセルを早期に実現する
集光型(CPV)セルの標準測定技術の確立	ラウンドロビンによるCPVセル評価において、測定精度の検証、高精度化のための課題明確化<5%以内の整合達成>(測定再現性±0.5%以内)	<ul style="list-style-type: none"> ● FhG-ISEとのCPVセルラウンドロビン実施(1-sun下での性能比較・1.8%(相対値)以内で測定結果の一致を確認) ● CPVセル測定技術の改善 ● シャープ製CPV3接合セルの世界最高効率(44.4%)(FhG-ISE測定) ● FhG-ISEグループ製CPV4接合セルの世界最高効率(46.0%)(産総研測定) 	CPVセルの標準測定技術のさらなる高精度化

3. 研究開発成果について (1)研究開発目標の達成度と研究開発成果の意義

—超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)の目標と達成状況—

テーマ	最終目標	達成状況	今後の課題
世界最高効率35% 集光型モジュール (ロードマップ上では、2025年までに、40%)	モジュール効率35%	<ul style="list-style-type: none"> ● 集光型モジュール要素技術の改善(光学系、熱管理、信頼性) ● ミニモジュール: 効率34.6%(302.8cm²) ● 大面積モジュール(1m²): 効率32.0%(平均31.4%) ● UPM、宮崎大へのCPVモジュールの提供 	CPVモジュールの高効率化、低コスト化
50kW CPV システムの実証試験、発生電力予測	50kW CPV システムの実証試験、発生電力予測	<ul style="list-style-type: none"> ● 50kWおよび15kW CPVシステム用CPVモジュール製造 ● 50kW および15kW CPVシステム設置 ● 15kW CPVシステム: DC効率28%(平均27.8%) 	<ul style="list-style-type: none"> ● CPVシステムの発生電力予測の継続 ● CPVシステムの最適化 ● 追尾系の低コスト化 ● 新たなCPVシステムの実証試験を期待

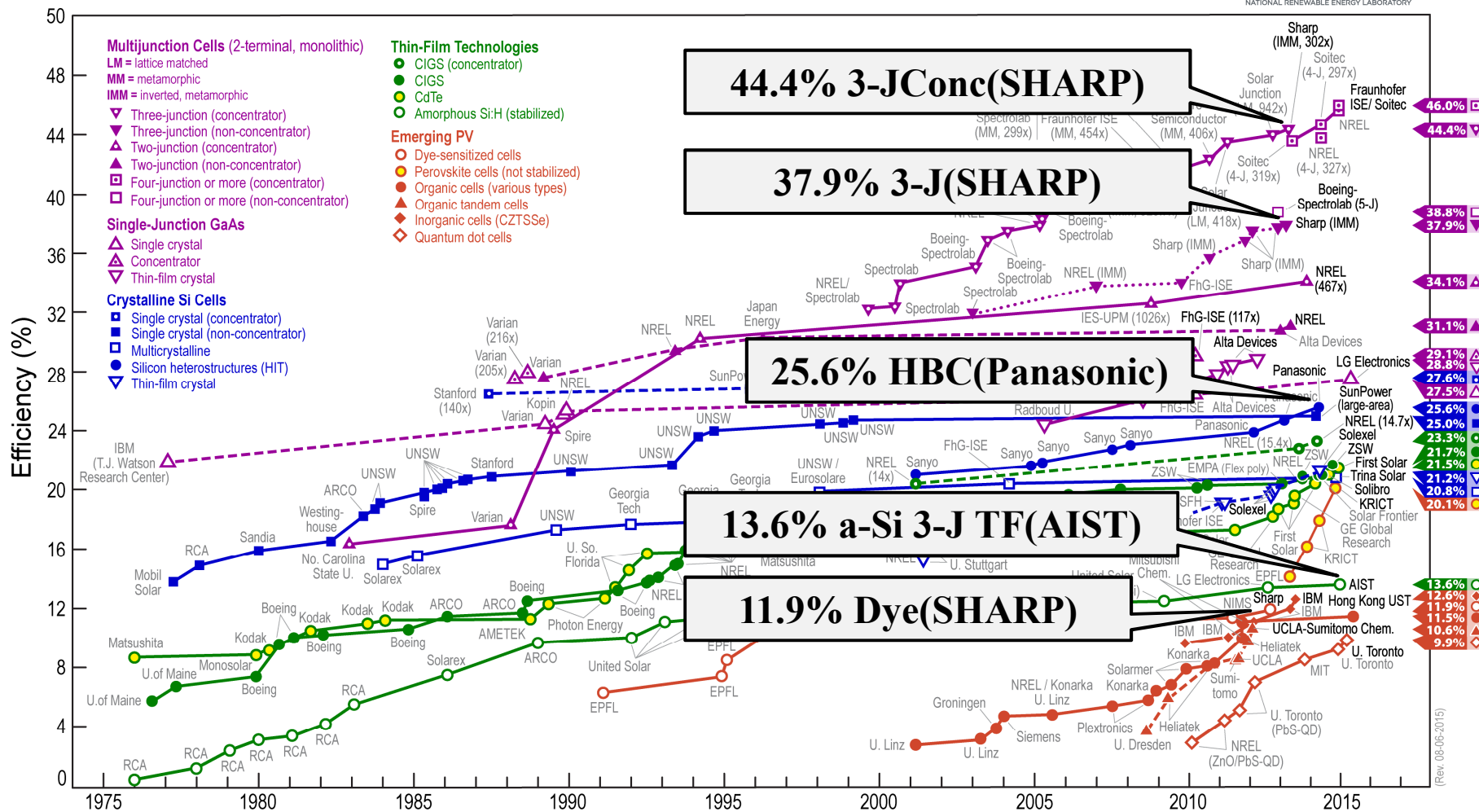
－開発成果のまとめ－



3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度と研究開発成果の意義

—セル変換効率の現状—

Best Research-Cell Efficiencies



(http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg)

3. 研究開発成果について (2)知的財産権など及び国際標準化への取り組み

— 特許出願 —

(2015年2月末時点)

項 目	特許出願	
	国内	外国
①ポストシリコン超高効率太陽電池の研究開発	24	3
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	51	14
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	66	18
④革新的太陽電池評価技術の研究開発 (日米共同開発)	0	0
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)	9	2
計	150	37

— 国際標準化 —

集光型太陽電池の高精度な発電量評価技術の標準化

- IEC62670-2

日米実証データにより、アライメントによる損失が認知され、システム全体の発電性能指標測定法として発行。

- IEC62670-3

屋内測定法の一部に反映。高平行度シミュレータの規格化へ貢献。
日本を含む亜熱帯地域等のスペクトル特性が反映されるよう審議中。

3. 研究開発成果について (3) 成果の普及

－ 成果発表 －

◆ 積極的な学会発表等の実施 (実施者)

(2015年2月末時点)

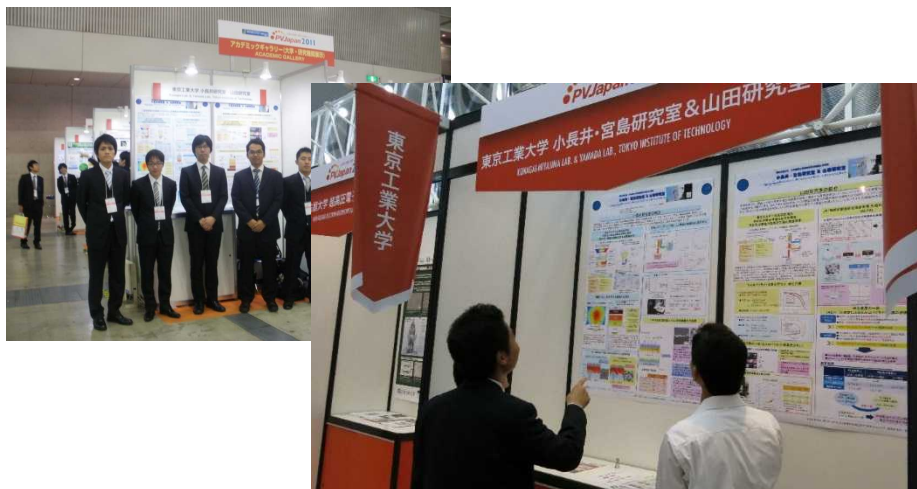
項 目	論文 (査読付)	研究発表・ 講演	新聞・雑誌 等への 掲載	受賞 実績	展示会 への出展
①ポストシリコン超高効率太陽電池の研究開発	304 (297)	1, 316	107	44	11
②高度秩序構造を有する薄膜多接合太陽電池の研究開発	376 (315)	1, 127	32	32	16
③低倍率集光型薄膜フルスペクトル太陽電池の研究開発	121 (119)	566	22	25	16
④革新的太陽電池評価技術の研究開発 (日米共同開発)	0 (0)	0	3	0	0
⑤高効率集光型太陽電池セル、モジュール及びシステムの開発 (日EU共同開発)	104 (101)	328	55	10	2
計	905 (832)	3, 337	219	111	45

◆ 公表チャンネルを利用した事業の広報 (NEDO)

- ・ NEDOホームページ
- ・ 事業紹介パフレット
- ・ 学会、展示会、シンポジウム等での発表
- ・ NEDO成果報告会
- ・ 雑誌等への寄稿

3. 研究開発成果について (3) 成果の普及

— 成果の普及 — 展示会への出展



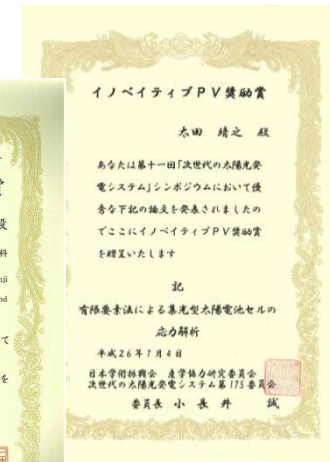
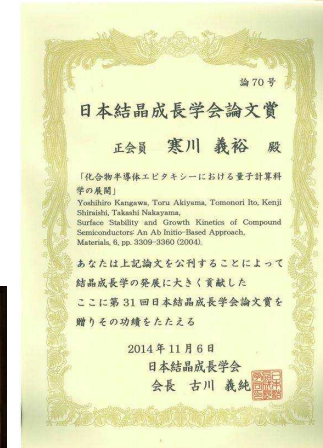
PV Japan

RE2014

3. 研究開発成果について (3) 成果の普及

一 成果の普及 一

学会賞等の受賞



The WCPEC AWARD
FOR OUTSTANDING CONTRIBUTIONS
TO ADVANCEMENT OF PHOTOVOLTAIC
SCIENCE AND TECHNOLOGY



MASAFUMI YAMAGUCHI
at the
6TH WORLD CONFERENCE ON
PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY
CONVERSION
Kyoto, Japan
November, 2014



The PVSEC AWARD
FOR OUTSTANDING CONTRIBUTIONS
TO PHOTOVOLTAIC SCIENCE
AND TECHNOLOGY

Presented to



TATSUYA TAKAMOTO
at the
6TH WORLD CONFERENCE ON
PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY
CONVERSION
Kyoto, Japan
November, 2014



一波及効果一

太陽電池としての波及効果

- 集光型太陽電池技術の宇宙用・自動車用への適用
- メカニカルスタックによる多様な多接合太陽電池の出現
- 光マネジメントの既存太陽電池への適用

材料やデバイスとしての波及効果

○新規な3次元実装デバイスの出現



オプトエレクトロニクスにも展開可能

○透明導電膜のディスプレイへの適用開発



民生応用も

○単結晶薄膜による低コスト高性能デバイスの発展



太陽電池以外にも

○量子ドットを用いた高速通信デバイスの高度化

4. 実用化に向けての見通し及び取り組み

—事業終了後の展開—

高効率III-V化合物半導体セル

メカニカルスタック・デバイス
化技術

NEDO

高性能・高信頼性太陽光発電の発電
コスト低減技術開発 /
超高効率・低コストIII-V化合物太陽電池
モジュールの研究開発

低倍率・波長スプリットイング
技術

東北復興次世代エネルギー
研究開発PJ/
革新的エネルギー研究開発拠点の形成

低倍率集光技術開発

NEDO

太陽光発電多用途化実証PJ/
熱電ハイブリッド集光システム技術の開発

CIGS太陽電池の高効率化

NEDO

高性能・高信頼性太陽光発電の発電
コスト低減技術開発 /
C I S太陽電池高性能化技術の研究開発