

「太陽エネルギー技術開発／
太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」
中間評価報告書

平成24年11月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

平成24年11月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
理事長 古川 一夫 殿

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会 委員長 西村 吉雄

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

目次

はじめに	1
分科会委員名簿	2
審議経過	3
評価概要	5
研究評価委員会におけるコメント	9
研究評価委員会委員名簿	10
第1章 評価	
1. プロジェクト全体に関する評価結果	1-1
1. 1 総論	
1. 2 各論	
2. 個別テーマに関する評価結果	1-25
2. 1 シリコン太陽電池	
2. 2 薄膜シリコン太陽電池	
2. 3 CIS・化合物系太陽電池	
2. 4 色素増感太陽電池	
2. 5 有機薄膜太陽電池	
2. 6 共通基盤技術	
3. 評点結果	1-48
第2章 評価対象プロジェクト	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会における説明資料	2-2
参考資料1 評価の実施方法	参考資料 1-1
参考資料2 分科会議事録	参考資料 2-1
参考資料3 評価結果の反映について	参考資料 3-1

はじめに

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

本書は、「太陽エネルギー技術開発／太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」の中間評価報告書であり、第31回研究評価委員会において設置された「太陽エネルギー技術開発／太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」（中間評価）研究評価分科会において評価報告書案を策定し、第33回研究評価委員会（平成24年11月13日）に諮り、確定されたものである。

平成24年11月
独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

「太陽エネルギー技術開発／

太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」

中間評価分科会委員名簿

(平成24年8月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	にわの 庭野 みちお 道夫 *	東北大学 電気通信研究所 教授
分科会長代理	くどう 工藤 かずひろ 一浩	千葉大学 大学院工学研究科 教授
委員	かきうち 垣内 ひろあき 弘章	大阪大学 大学院工学研究科 精密科学・応用物理学専攻 准教授
	しらい 白井 はじめ 肇	埼玉大学 大学院理工学研究科 物質科学部門 教授
	せがわ 瀬川 ひろし 浩司 *	東京大学 先端科学技術研究センター 産学連携新エネルギー研究施設長 / 教授
	たかぎ 高木 しんや 晋也	株式会社 NTTファシリティーズ ソーラープロジェクト本部 実証研究担当 課長
	たかはし 高橋 こうしん 光信	金沢大学 理工研究域物質化学系 応用化学コース 教授 理工研究域サステナブルエネルギー研究センター センター長
	とみた 富田 たかし 孝司 *	東京大学 先端科学技術研究センター 超高効率太陽電池分野 特任教授
	ひろせ 廣瀬 ふみひこ 文彦	山形大学 大学院理工学研究科 教授

敬称略、五十音順

注*：実施者の一部と同一組織であるが、所属部署が異なるため（実施者：東北大学〔金属属材料研究所、未来化学技術共同研究センター〕、東京大学 生産技術研究所） 「NEDO 技術委員・技術評価委員規程(平成23年7月7日改正)」第34条（評価における利害関係者の排除）により、利害関係はないとする。

審議経過

- 第1回 分科会（平成24年8月23日，24日）

- 公開セッション

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

- 非公開セッション

- 6. プロジェクトの詳細説明
 - 7. 全体を通しての質疑

- 公開セッション

- 8. まとめ・講評
 - 9. 今後の予定、その他、閉会

- 現地調査会（平成24年8月7日）

- 富士フイルム株式会社 先進研究所（神奈川県足柄郡開成町）

- 第33回研究評価委員会（平成24年11月13日）

評価概要

1. 総論

1) 総合評価

再生可能エネルギーに対する期待が大きく高まっている中、太陽光発電について、基盤的技術から実用化技術まで、産学官連携の下に系統的に研究開発を進めている点は、日本の産業競争力を高める点で、また、今後のエネルギー問題を解決する点で高く評価できる。中間時期として概ね中間目標を達成し、優れた技術的進展も多く見られる。

一方、本事業は、実用化研究が大きな目標の一つである。ロードマップではコスト目標が明示されているにも関わらず、コストに関する説明が少なく、本来の意味で目標が達成されているかどうか判断できない。太陽光発電を実用化するためには、変換効率の向上もさることながら、コスト面での評価もより積極的に行う必要がある。太陽電池に対する国民の期待が大きい中、モジュールの生産量、価格では、新興国に負けている現状を反省し、新たな目標設定と戦略を講じる必要がある。従来通りの技術開発さえしていれば勝てるとした考え方から、あるべき姿を想定して、世界に通用する「実用化」技術の開発をどのように行うか、今後の計画の見直しが必要であろう。

2) 今後に対する提言

太陽光発電は、現在非常に重要な開発課題であり、日本が世界をリードして技術を開発するためには、今後もこの研究開発を加速する必要がある。世界情勢を把握し、技術の将来性を正確に評価して、メリハリの利いた経費配分や研究テーマの選択が必要であり、類似の研究テーマ、基盤的な研究開発テーマの統合など実施体制や目標値の設定を見直すなど自助努力もあってしかるべきである。得られている成果がどれくらいの技術レベルにあるのか、世界の研究動向や技術レベルを調査し常に意識して、将来挽回するための戦略、道筋を明確にして、開発目標を高く引き上げておくことが必要である。

本件は、コンソーシアムを形成して、民間企業間や産学の研究連携を推進しているが、このような連携においては、知的財産権の管理が重要となるであろう。連携の幅を広げ、また連携の成果を出していくためには、知財管理の運用体制を強化する必要がある。また、このプロジェクト成果を基盤に国際標準化やリサイクルに関する法規制の推進に繋がる提案となることを期待する。

2. 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

再生可能エネルギーに対する国民の期待が高まっている中、太陽光発電の開発研究は重要であり、我が国の直面する国際競争力を高める上でも重要な課題である。低コスト化を求められる太陽光発電の開発は、本質的に大きな利益が取れず、設備投資や研究開発投資に国の関与が必要である。太陽光発電の研究開発は公共性が高く、低コストで太陽電池が実現すれば広く国民の大きな利益になりうる。以上のことから、NEDOの関与は必要不可欠であり、今後も必要とされる。

一方、太陽光発電の研究動向は世界的に見て大きく変動し、また、産業も大きく変化している。この分野で日本の国際競争力を高めるためには、技術レベルが世界的に見てどの辺にあるかの自己評価をするとともに、今後の方向性をより明確にしていく必要がある。特に、変換効率の向上もさることながら、生産コストの評価も、より積極的に行う必要がある。

2) 研究開発マネジメントについて

前プロジェクトの事後評価の提言を受け止め、オールジャパンを念頭においていたコンソーシアムの構築は、日本を代表するプロジェクト推進体制となっている。それぞれの実施グループには事業化能力を有する企業を入れており、基礎から実用につなげていく産学連携の体制が出来ている。一部のテーマを除き、数年後の事業化に向けた達成度評価やシナリオが研究テーマごとに明確に示されており、決められたスケジュールの中で適切なマネジメントが行われている。

しかしながら、太陽光発電技術の研究動向は世界的にも大きく変化している。また、日本の社会的状況もこれまでに経験したことのない変化があった。このような状況の中では、開発目標の設定や研究の進め方は柔軟に変えていくことが必要である。本プロジェクトでは、急速な内外の技術動向、市場動向に対する成果の事業化戦略や知財マネジメントの方針には明確さがやや欠けている。太陽電池の研究開発では低コスト化が非常に重要であり、生産コストの評価も、より積極的に行う必要がある。変換効率は目標値の設定としては分かりやすいが、実際の技術は、コスト、プロセスの簡便性、また既存の製造技術との互換性など、実用化や産業化において検討すべき事項が多々ある。変換効率ばかりでなく、開発すべき技術、開発している技術を多面的に捉えていくことが必要である。細かい数字をクリアしたかしないかだけで過度に評価しすぎると、本質的な研究開発の進捗を妨げることになる。数値化できないものに対する正当な評価も必要。単に数値目標のクリアばかりを考えるのではなく、研究開発の本質的進展を見据えたマネジメントが必要である。

3) 研究開発成果について

各研究テーマや技術課題ごとに達成度の違いが多少あるが、概ね当初設定した目標は達成されている。特に結晶 Si 系ではオールジャパンの体制が整いつつあり、原材料・結晶・スライス技術における目標課題・解決法が明確にされており、太陽電池における波及効果は広い。また、CIS 系薄膜太陽電池は、高効率薄膜太陽電池として市場の創造が期待される。成果の中には世界最高水準のもの、また、この事業が始まってから急速に研究が進展したものもあり、それらは高く評価できる。目標未達成の部分も目標達成までの課題を把握しており、課題解決の方針もほぼ明確となっている。また、知的財産権の取得および論文等の発表も、一部のテーマを除き概ね適切に行われている。

しかしながら、世界的水準に達している成果についても、成果が世界の研究開発動向からみてどの位の位置に位置づけられるか、また、どのようなインパクトがあるかについて、自己評価や説明が不足している。目標を達成にとどまらず、その成果を今後どのように活用し、それをどのように発展させるかについての展望を今後明確にする必要がある。更に、目標未達成、あるいは、その手前にある課題については、具体的な解決の道筋を明らかにする必要がある。なんとかなるという楽観論も研究には必要であるが、本事業は実用化が大きな目標であり、多くの国民が注目している事業であるため、このままではなんともならないかもしれないという危機感を持って今後の解決策を真剣に検討して頂きたい。コストに関する試算結果がほとんど明示されておらず、その意味でロードマップ通りのコストが達成される見込みがあるか不明である。

4) 実用化、事業化の見通しについて

それぞれの研究テーマについては、実用化に向けての目標設定や研究計画が立案され、それが達成・遂行されている。いくつかの研究テーマについては本事業によって実用化に向けて研究が促進され、研究成果の実用化・事業化への意識は、全体を通じて高いと判断される。結晶シリコン・薄膜シリコン・CIS については、産業技術としても優れた成果が得られており、十分に実用化の見通しが得られている。また、有機系太陽電池については、技術的に大幅な進歩が見られ、実用化に向けた取り組みが精力的に進められていると判断できる。

しかしながら、コストダウンや事業化また経済効果等の見通しについては、全体的に状況の把握が不足している。これまで、ナンバー1の地位を保っていた日本の技術も、既にその地位から陥落し、危機的な状況にある。このような状況の中で、当初の目標も含めて、研究計画の変更や修正も必要である。大量普及を使命としている太陽電池にとって、低価格化が事業化の根本である。そ

ういった観点から、部材の生産コスト低減のための技術開発はもとより、高性能化による発電単位量当たりでのコストダウンをはかるための革新的製造プロセスの技術開発も、検討する必要がある。

研究評価委員会におけるコメント

第33回研究評価委員会（平成24年11月13日開催）に諮り、以下のコメントを評価報告書へ附記することで確定した。

- 全体コストを見るというのは、どうしてもマーケットで競争するとなれば避けられない話である。NEDOプロジェクトについても、NEDOは妥当なモデルを設定し、そういうモデルの中で少なくとも標準的な計算をすると資本コストはこうなる等のセンシティブティアナリシスぐらいのことをして、マネジメントに生かすべきである。

研究評価委員会

委員名簿（敬称略、五十音順）

職 位	氏 名	所属、役職
委員長	西村 吉雄	技術ジャーナリスト
委員長 代理	吉原 一紘	オミクロンナノテクノロジージャパン株式会社 最高顧問
委員	安宅 龍明	元一般社団法人ナノテクノロジービジネス推進協議会 企画運営推進会議 副議長
	伊東 弘一	学校法人早稲田大学 理工学術院 総合研究所 客員教授（専任）
	稲葉 陽二	学校法人日本大学 法学部 教授
	尾形 仁士	三菱電機株式会社 社友
	小林 直人	学校法人早稲田大学 研究戦略センター 教授
	佐久間一郎	国立大学法人東京大学 大学院工学系研究科 附属医療福祉工学開発評価研究センター センター長／教授
	佐藤 了平	国立大学法人大阪大学 大学院工学研究科 マテリアル生産科学専攻（システムデザイン領域担当） 教授
	菅野 純夫	国立大学法人東京大学 大学院新領域創成科学研究科 メディカルゲノム専攻 教授
	宮島 篤	国立大学法人東京大学 分子細胞生物学研究所 教授
	吉川 典彦	国立大学法人名古屋大学 大学院工学研究科 マイクロ・ナノシステム工学専攻 教授

第1章 評価

この章では、分科会の総意である評価結果を枠内に掲載している。なお、枠の下の「○」「●」「・」が付された箇条書きは、評価委員のコメントを原文のまま、参考として掲載したものである。

1. プロジェクト全体に関する評価結果

1. 1 総論

1) 総合評価

再生可能エネルギーに対する期待が大きく高まっている中、太陽光発電について、基盤的技術から実用化技術まで、産学官連携の下に系統的に研究開発を進めている点は、日本の産業競争力を高める点で、また、今後のエネルギー問題を解決する点で高く評価できる。中間時期として概ね中間目標を達成し、優れた技術的進展も多く見られる。

一方、本事業は、実用化研究が大きな目標の一つである。ロードマップではコスト目標が明示されているにも関わらず、コストに関する説明が少なく、本来の意味で目標が達成されているかどうか判断できない。太陽光発電を実用化するためには、変換効率の向上もさることながら、コスト面での評価もより積極的に行う必要がある。太陽電池に対する国民の期待が大きい中、モジュールの生産量、価格では、新興国に負けている現状を反省し、新たな目標設定と戦略を講じる必要がある。従来通りの技術開発さえしていれば勝てるとした考え方から、あるべき姿を想定して、世界に通用する「実用化」技術の開発をどのように行うか、今後の計画の見直しが必要であろう。

〈肯定的意見〉

- 再生可能エネルギーに対する期待が大きく高まっている中で、再生可能エネルギーの最右翼に位置する太陽光発電について、基盤的技術から実用化技術まで、産学官連携の下に系統的に研究開発を進めている点は、日本の産業力を高める点で、また、今後のエネルギー問題を解決する点で高く評価できる。また、これまでの研究成果・実績をみると、本プロジェクトで急激に進展してきた技術、またこれから大いに発展すると期待できる技術も着実に育成されている。
- 本プロジェクトは我が国が抱える重要な再生可能エネルギー技術の一つであり、幅広い材料、素子構造、基盤技術を網羅した研究開発課題を含んだ内容となっている。中間時期としての成果は総合的に見て概ね中間目標を達成もしくは達成見込みがたっており、優れた技術的進展も多く見られる。特に、素子、モジュールの性能のみならず、周辺技術や観測・測定の標準化、リサイクルといった観点も含む総合的課題解決を目的とした取り組みは評価に値する。
- 結晶 Si 太陽電池において顕著に見られるように、コンソーシアムの形成と共通プラットフォームの構築による能率的な研究開発の結果、前回のプロジェクトと比較すれば、技術的に実用化や事業化の道筋が明確になり、

研究開発費が概ね有効に使用されていると判断できる。

- どのテーマにおいても、研究開発の成果や技術レベルは世界最高水準であることは認められる。
- それぞれのプロジェクトにおいて、オールジャパン体制によるプロジェクト遂行を目指したコンソーシアムがスタートし、それなりの成果の芽が出ていることは、国際競争力や現状の打破という面で、大変評価の出来る取組である。大きな5本の太陽電池プロジェクトに対して、これまでの系統電力に繋ぐという開発出口一辺倒ではなく、省エネルギー対応技術を出口とした研究開発が遂行されていることは、世界に後れを取ることなく、高付加価値の製品を生み出す新産業創出を後押しするという観点からは、非常に有効であると感じた。6本目の柱として共通基盤技術に係るプロジェクトが遂行されており、太陽電池開発プロジェクトを支える基盤が整いつつあることが実感できた。
- 日本の太陽電池産業の強化に向けて不可欠な研究プロジェクトである。それぞれの課題で目標とするところは異なるが、いずれも順調に成果が得られている。世界市場の獲得に向けて、より一層努力してほしい。有機系太陽電池(色素増感太陽電池、有機薄膜太陽電池)はこれからの技術なので、着実に研究を進めてほしい。
- 本事業は短期的なテーマから長期的なテーマまで、世界最高レベルの成果を上げ、早期に実用化できる技術開発が数多く達成されており、本事業の意義は大きい。
- 太陽光発電システムのより一層の普及拡大, 国際競争力に勝ち残れるためには、オールジャパン体制で多様な企業、大学、研究機関の参画を得てNEDO事業として行う意義は大きい。
- 結晶シリコンから有機太陽電池に至るまで、網羅的に推進されており、この点は評価出来る。
- これまで各個で分散していた研究者が共通目的に向かって連携するモデルを創生した点は高く評価できる。

〈問題点・改善すべき点〉

- 本事業は、先行の「太陽光発電システム未来技術研究開発」事業と同様に実用化研究が大きな目標の一つである。太陽光発電を実用化するためには、変換効率の向上もさることながら、コスト面での評価も必要不可欠である。現時点でのコストは算定しにくい、また、変換効率の進展によっては現在想定されるコストが大きく変動するなどの点があるにしても、コスト面の評価を厳しく行っていく必要がある。また、この分野で世界の技術開発情

勢が大きく変化している現在、状況の変化に対応した、機動的な計画の見直し等も図られてしかるべきであろう。特に、現在、日本の太陽電池産業が苦境に立たされている中で、世界に通用する「実用化」技術の開発をどのように行うか、今後の事業計画の見直しも必要であろう。

- 前回のプロジェクト（太陽光発電システム未来技術研究開発／事後評価）でも指摘されていたように、ロードマップではコスト目標が明示されているにも関わらず、コストに関する試算結果の説明がほとんどない。高い変換効率が達成され、技術的には事業化可能となっても、ロードマップ通りのコストが実現できている（実現見込みである）かどうかが分からなければ、本来の意味での目標が達成されているかどうか判断できない。まずはエネルギーペイバックタイムの試算を全てのテーマで行うべきであり、それを基に発電コストの算出を今後行っていく必要があると考える。
 - ・薄膜 Si 太陽電池に関しては、プロジェクトの遂行により技術的に非常に高度なレベルに達していることはもちろん認められるが、結晶 Si 系や CIGS 系と比較してどの程度のコスト競争力が見込めるのか、これまでの延長線上での開発によって十分高い変換効率が達成できるか、等について再考する必要がある。これまでの成果を最大限活かした上で、斬新なアイデアに基づく高効率薄膜太陽電池実現に向けた取り組みが必要ではないかと考えられる。
- コンソーシアムがスタートしたが、有機的協力体制の具体的事例がまだ散見されるのみである。的確な戦略の徹底と綿密な打ち合わせの基に、成果の花を咲かせて頂きたい。
 - ・省エネルギー対応技術や新産業創出と言う観点から、それぞれの型の太陽電池の特徴を十二分に活かした目標設定を新たに設ける必要がある。
 - ・共通基盤技術を太陽電池開発プロジェクト側にフィードバックする体制を、実施者側の自助努力のみに頼るのではなく、PL や NEDO 推進部の指導力も適度に加味すべきである。
- NEDO プロジェクトで技術開発したにもかかわらず、モジュールの生産量、価格、では新興国に負けている現状を反省し、新たな目標設定と戦略を講じる必要がある。従来通りの技術開発さえしていれば勝てるとした考え方から、あるべき姿を想定して、効果的に資金と新規技術の開発に振り向ける必要がある。
- 太陽光発電に対する導入普及政策の見直しまたは加速が必要。太陽光発電システム、電力事業に対する日本の実情、NEDO の取り組みを広く開示することで国民の関心を高め、普及促進を加速する一層の取り組みが必要である。

- コンソーシアム体制や融合したオールジャパン体制を形の上では形成されているように見えるが、個々の課題間での連携とその相乗効果としての具体的成果が見えづらい。
- シリコン系太陽電池の国際市場での競争力をどのように高めていくのか、方向性が見えてこない。
- 世界の技術開発動向も大きく進展しており、本事業で開発した技術がコストと効率の点でバランス良く実用化技術に活かされていなければ競争には勝てないので、実用化時期も考慮して臨機応変に対応する必要がある。

〈その他の意見〉

- ・ 本事業はシリコン系薄膜太陽電池から化合物系、有機薄膜系まで含め、研究開発テーマが多岐にわたっている。将来どの技術が実用化に近いのか、変換効率ばかりでなく、コスト面も含めて総合的に評価を行った上で、どの研究テーマを伸ばしていくかを柔軟に決めていく必要がある。先行の事業で、開発が遅れていた有機系太陽電池の開発が大きく進展したのに比べ、シリコン系の太陽電池開発においてはさほど大きな進展が見られない。太陽電池に対する国民の期待が大きい程、本事業のような大事業の研究成果に対しては厳しい評価が下される可能性もあるため、今後の研究開発には気を引き締めて取り組んで頂きたい。
- ・ テーマ毎にオールジャパン体制がうたわれているが、製造まで含めてさらに強化する必要があるのではないかと。研究開発の点では、系統連系や蓄電システムまで見据えた幅の広い研究が必要。
- ・ 太陽光発電技術としてシステム面の開発が貧弱で疎かになっていると思慮される。システムとしての効率を高めることや、発電量を予測する為の新しい研究も必要である。
- ・ オールジャパン体制と企業間の競争は、一見、二律背反するが、何れも競争力増強には必要である。NEDO 推進部のマネジメントが一層重要になってくるのではないかと。
- ・ 効率向上・低コスト化に関して高い成果を上げている開発テーマに関しては、手厚く開発費用を手当てし、早期の実用化に繋げて欲しい。

2) 今後に対する提言

太陽光発電は、現在非常に重要な開発課題であり、日本が世界をリードして技術を開発するためには、今後もこの研究開発を加速する必要がある。世界情勢を把握し、技術の将来性を正確に評価して、メリハリの利いた経費配分や研究テーマの選択が必要であり、類似の研究テーマ、基盤的な研究開発テーマの統合など実施体制や目標値の設定を見直すなど自助努力もあってしかるべきである。得られている成果がどれくらいの技術レベルにあるのか、世界の研究動向や技術レベルを調査し常に意識して、将来挽回するための戦略、道筋を明確にして、開発目標を高く引き上げておくことが必要である。

本件は、コンソーシアムを形成して、民間企業間や産学の研究連携を推進しているが、このような連携においては、知的財産権の管理が重要となるであろう。連携の幅を広げ、また連携の成果を出していくためには、知財管理の運用体制を強化する必要がある。また、このプロジェクト成果を基盤に国際標準化やリサイクルに関する法規制の推進に繋がる提案となることを期待する。

〈今後に対する提言〉

- ・ 太陽光発電は、現在非常に重要な開発課題であり、世界をリードして技術を開発するためには、技術の将来性を正確に評価して、メリハリの利いた経費配分や研究テーマの選択が必要である。有機系太陽電池の開発はこの数年間で目覚ましい進展があったと認められる。今後もこの研究開発を加速する必要がある、世界の情勢を把握した上で、目標値の設定を引き上げるなどの自助努力もあってしかるべきと思われる。
- ・ 研究連携については、研究課題ごとにコンソーシアムを形成して、民間会社間の連携も強めている努力は高く評価されるが、その一方で、連携がどのように功を奏したかを明確に示し、また、新しい連携も模索しながら世界に負けない産業技術を育成する必要がある。また、類似の研究テーマが複数行われているようであるが、研究開発経費の効率的運用を考えると、ある程度の実施体制の見直しも必要であろう。例えば、各実施グループに分散している基盤的な研究開発テーマについては、できるだけ共通基盤技術にまとめ、開発した技術をできるだけ多くの実施グループが活用できる体制づくりも必要である。
- ・ 世界の研究動向や技術レベルを調査し、本プロジェクトで得られている成果がどれくらいの技術レベルにあるのかを常に意識しながら研究開発を推進すべきである。

前回のプロジェクトでは希薄だったオールジャパン的な取り組みが今回のプロジェクトでは確実に機能し始めていると感じられる。今後、コン

ソーシアムの充実による効率的な研究開発をより一層推し進めて欲しい。一方で、基礎研究のフェーズを脱し切れていない研究テーマについては、実用化・事業化を目標とする本プロジェクトから切り離して、別プロジェクトで研究を行った方がよい。実際、有機系太陽電池や革新的な新しいコンセプトの太陽電池については、別の枠組みで開発が行われている。開発予算の効率的な使用のため、重複は避けるべきである。

- ・ 今回のプロジェクトの実施者の多くが、これまでも NEDO から資金を受けてきたグループでもある。過去のプロジェクトを含め、投資された資金に対する研究成果を、過去にさかのぼって評価に加える仕組みが必要である。これは資金漬けによる研究者のマンネリを回避し、常に緊張感をもって、プロジェクトに取り組んでもらうためでもある。
- ・ 有機系太陽電池など、近い将来は省エネルギー対応などのニッチマーケットに供給されると予想されるが、今回の成果報告を拝聴して、将来の電力供給の主要技術に繋がる可能性を大いに感じた。したがって、新型太陽電池に関しても、裾野を広くしたプロジェクトテーマ公募を期待する。
- ・ シリコン系は国際的な市場の獲得が課題で、有機系は小規模の市場から実用化を進めるということでフェーズはかなり異なるが、双方ともに大事である。単なる性能の優劣で判断してはならない。
- ・ 多岐に渡る開発テーマの中から、どの種類の太陽電池が将来有望で国際競争に勝てるかよく精査し、有望な電池には更なる体制強化、開発費用を投入し、世界をリードする製品を実用化できるよう NEDO で支援する必要がある。
- ・ 特に大学における技術開発成果をモジュール化につなげる基盤技術利用施設（機関）の設置。特定の企業と大学との連携だけでなく、要素技術を短時間でセル化、モジュール化まで試験できる共通施設の設置。
- ・ このプロジェクト成果を基盤に国際標準化の推進やリサイクルに関する法規制の推進（←整備？）に繋がる提案となることを期待する。
- ・ 将来挽回するための戦略、道筋を明確にすること。開発目標を高く引き上げること。

〈その他の意見〉

- ・ 本事業は、コンソーシアムを形成して、民間企業間や産学の研究連携を推進しているが、このような連携においては、知的財産権の管理が重要となるであろう。現在のところ、特に知財管理のルールを定めずに連携研究を行っているようであるが、連携の幅を広げ、また連携の成果を出していくためには、知財管理の運用体制を検討する必要がある。共通基盤技術は本

事業で統合された研究開発テーマであるが、その役割、また本事業の中での位置づけがまだ明確になっていないように見受けられる。材料開発などの基盤技術か、国際標準化なども含めたシステムの整備か、どこに注力していくか、また、並行して進めていくのであれば、研究グループの整理（グルーピングなどの組織編制）をどのように行うかも検討する必要があるように思う。プロジェクトリーダーの今後のリーダーシップに期待したい。

- 東日本大震災を契機に再生可能エネルギーに対する国民の期待・関心が高まっていることは間違いない。その一方で、太陽電池は電力供給源としては時期尚早という声も聞かれる。このような情勢においては、本事業を国民の理解を得ながら進めていくことが非常に重要であろう。また、この太陽電池開発はこの先何十年と続けていくことになるが、現在、開発に関わっている研究者・技術者の何割かは一線を退くことになる。そのとき、次の研究開発を担ってくれる若い世代をどのように育成していくかは重要で、本事業の役割の一つにもなっているところである。そこで、国民の理解、次世代を担う若者の育成を考えると、一般市民向けの広報活動もさらに必要と思われる。現在、大学でキャンパス公開を行うと太陽電池に関する関心が高いことが分かる。この事業の成果の一部を小学生、中高生も含めた一般に公開する催しを企画することも必要であろう。
- NEDO からの委託研究という建付が、企業の主体性を損なってはいる可能性がある。事業を強くすることやコスト力アップの為の開発費の部分があってよい。過剰なスペック等の見直し、国際規格の制定のための研究も必要である。
- 国際標準化機関の複数化、簡素化、及び、新しい材料系の開発と従来の部材とのハイブリッド系太陽電池の研究開発。
- 様々な評価はつけられるが、今後の研究で挽回も可能なので、どのテーマも頑張ってもらいたい。
- 個別のテーマについて長短期の国際展開を踏まえた計画の見直し、ならびに選択と集中の検討を期待する。

1. 2 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

再生可能エネルギーに対する国民の期待が高まっている中、太陽光発電の開発研究は重要であり、我が国の直面する国際競争力を高める上でも重要な課題である。低コスト化を求められる太陽光発電の開発は、本質的に大きな利益が取れず、設備投資や研究開発投資に国の関与が必要である。太陽光発電の研究開発は公共性が高く、低コストで太陽電池が実現すれば広く国民の大きな利益になりうる。以上のことから、NEDOの関与は必要不可欠であり、今後も必要とされる。

一方、太陽光発電の研究動向は世界的に見て大きく変動し、また、産業も大きく変化している。この分野で日本の国際競争力を高めるためには、技術レベルが世界的に見てどの辺にあるかの自己評価をするとともに、今後の方向性をより明確にしていく必要がある。特に、変換効率の向上もさることながら、生産コストの評価も、より積極的に行う必要がある。

〈肯定的意見〉

- いくつかのテーマで実現されているように、太陽電池は総合力が必要なので、複数の研究機関や企業がコンソーシアムを結成して能率的に研究開発を遂行する必要がある。そのようなコンソーシアムの結成は、民間活動のみに任せておいても困難と考えられるため、国・NEDOが関与してトップダウンのプロジェクトとして事業を実施するべきであると認められる。
一部のテーマを除いて、本プロジェクトで投じられた予算を活用した研究開発により、要素技術開発や事業化に向けた検討において十分な成果が得られており、実現されている製造技術は（おそらく）国際的に見てもトップレベルにあると考えられる。技術的・資源的な観点から現実的なタイプの太陽電池に集中投資し、速やかな事業化を支援しようとしており、事業の目的は妥当である。
- 本プロジェクトは、NEDOの中核事業として極めて重要。国民の期待も大きい。それだけに緊張感を持って優れた成果を出してほしい。エネルギーイノベーションプログラムの目標達成のために十分寄与しているし、単一の企業では取り組めない課題にも連携して取り組んでいることは評価できる。低コスト化を求められる太陽光発電の開発は、本質的に大きな利益が取れず、設備投資や研究開発投資に国の関与が必要である。太陽光発電の研究開発は公共性が高く、低コスト太陽電池が実現すれば広く国民の大きな利益になる。NEDOの関与は当然必要で、投じた予算との比較において十分な成果が得られている。

- 再生可能エネルギーに対する国民の期待が高まっている中で、太陽光発電の開発研究は重要であり、産官学連携を強めて、研究を加速する必要がある。そのための国の支援は重要であり、この種の事業は、日本の産業の国際競争力を高めるためにも今後も必要と思われる。
- 本プロジェクト事業の課題設定、目標はエネルギーイノベーションプログラムの目標達成のために十分寄与するものと考えられる。国際標準化やリサイクルに関する課題は民間活動のみでは難しく、公共性が高い課題であり、エネルギー問題に直面する我が国の国際競争力を高める上でも重要な課題である。
- 昨今の内外の技術開発動向、国際競争力の状況からオールジャパン体制で多様な企業、大学、研究機関の参画を得て NEDO 事業として行うことは妥当である。
- 機能性が高く、生産性の革新が見込める有機太陽電池や色素増感型の開発も推進されていることは評価に値する。従来技術にこだわらず、新技術を実用化する積極姿勢が伺える。
- 国際競争力を保つためには、産学連携して、企業だけでは捻出できない開発費用を手当てする意味で NEDO の関与は必要不可欠である。
- 事業環境の変化に応じたロードマップや目的設定の見直しなど、NEDO 推進部から柔軟な対応についての表明があったことは、世界的な競争に立ち向かって行く上で大変評価できる。
- 民間では達成できない研究を支援しているということでは、重要性は高い。

〈問題点・改善すべき点〉

- 太陽光発電の研究動向は世界的に見て大きく変動している。また、産業も大きく変化している。この分野で日本の国際競争力を高めるためには、技術レベルが世界的に見てどの辺にあるかについての自己評価とともに、今後の方向性をより明確にしていく必要がある。特に、変換効率の向上もさることながら、生産コストの客観的な評価も必要であろう。変換効率が上がればコストも下がるという論理も成り立つが、変換効率とコストとの関係は必ずしも単純なものではないということも留意すべきであろう。
- エネルギー需要、市場、政策動向から見て対応は必ずしも十分とは言えず、より国策としての方向づけの明確化が必要ではないか。国内における需要を一層拡大するため、太陽光発電システムの普及活動の取り組みによって各家庭、公共機関における導入促進が望まれる。
- 投じた予算に対する成果と国際競争力、国際的市場（低価格化等）の観点からは、やや危惧する面（中国、アジア圏に対する競争力等）があるため、

超高効率化、新しい材料・素子適用、国際標準化やリサイクルに関する面などでの高付加価値で対抗できる成果創出に期待する。

- 今回、テーマの幅が従来よりも広がっているのは評価できるが、さらに分野横断的な取り組みも必要である。また、「国際競争力強化」の観点では、強いところをさらに強くする取り組みも必要になる。敗戦処理のような研究にならないように注意が必要である。
- 5種類の太陽電池それぞれの開発の歴史や特徴を考慮すれば、それぞれに応じた出口の設定や評価基準を明示した方がよい。そうでなければ、後発の有機系や新型太陽電池の研究開発の芽を摘み、この分野での国際競争に後れを取ってしまう可能性がある。
- 反面、既存技術や従来技術の延長線上にある惰性的な研究からも脱却できていない。グローバルな生産体制が進行する中、国内企業は国際的な流れから大きく逸脱している。強い事業分野を特定し、経営資源を集中するか、開発態勢を見直すべきである。
- まさに今、日本市場は海外メーカーに押されており、すぐにでも開発成果を実用化に結び付けなければならない状況にあるが、数年先の実用化の開発内容が多く、早期の事業化支援の筋道が立てられていない。

〈その他の意見〉

- ・ 東日本大震災により大きな原発事故が起こり、日本のエネルギー問題は新しい局面に入ったと言える。これまで地球温暖化、CO2削減問題など大きな課題があったが、今回の大震災により今後のエネルギー問題が根本的から問われていると言える。本事業は、もちろん太陽光発電技術をどのように進展させるかについて注力すれば良いが、このような社会情勢の中で、どのように進めるかを常に念頭に置き、場合によっては、計画の見直しも必要であろう。また、日本のエネルギー供給システムの中での太陽光発電技術の立ち位置を定めていくことも必要であり、本事業の中でもその点を是非検討していただきたい。また、現在の日本の産業は危機的な状況にあることも念頭に入れて、今後の研究開発を進めることを切望する。
- ・ 今回のプロジェクトは多くのGrが集まったので、ジョイントベンチャーによるものであり、このような巨大グループでのNEDOへの申請は、他の少数グループによる申請も同時に競争的に評価されることを考慮すると公平性に疑問を感じる。このような巨大Grのプロジェクトでは、本来ならNEDOステージにはふさわしくない、技術が未完成的なグループも競争がなく安易に包含されてしまうことが懸念される。技術分野ごとにおいて、申請すべきものをよく評価して、場合によってはNEDOプロからの分離

を促す評価プロセスも必要と思われる。

- デバイスや材料開発に止まらず、システムの研究開発が大幅に不足している。技術開発の基礎となる科学技術のデータベースも十分ではない。開発の見方を考え直す時期に来ている。

2) 研究開発マネジメントについて

前プロジェクトの事後評価の提言を受け止め、オールジャパンを念頭においたコンソーシアムの構築は、日本を代表するプロジェクト推進体制となっている。それぞれの実施グループには事業化能力を有する企業を入れており、基礎から実用につなげていく産学連携の体制が出来ている。一部のテーマを除き、数年後の事業化に向けた達成度評価やシナリオが研究テーマごとに明確に示されており、決められたスケジュールの中で適切なマネジメントが行われている。

しかしながら、太陽光発電技術の研究動向は世界的にも大きく変化している。また、日本の社会的状況もこれまでに経験したことのない変化があった。このような状況の中では、開発目標の設定や研究の進め方は柔軟に変えていくことが必要である。本プロジェクトでは、急速な内外の技術動向、市場動向に対する成果の事業化戦略や知財マネジメントの方針には明確さがやや欠けている。太陽電池の研究開発では低コスト化が非常に重要であり、生産コストの評価も、より積極的に行う必要がある。変換効率は目標値の設定としては分かりやすいが、実際の技術は、コスト、プロセスの簡便性、また既存の製造技術との互換性など、実用化や産業化において検討すべき事項が多々ある。変換効率ばかりでなく、開発すべき技術、開発している技術を多面的に捉えていくことが必要である。細かい数字をクリアしたかしないかだけで過度に評価しすぎると、本質的な研究開発の進捗を妨げることになる。数値化できないものに対する正当な評価も必要。単に数値目標のクリアばかりを考えるのではなく、研究開発の本質的進展を見据えたマネジメントが必要である。

〈肯定的意見〉

- 開発目標や計画は、どの研究テーマについても、概ね妥当と思われる。目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携については、課題毎にコンソーシアムを設けて連携を密にしている点は高く評価できる。それぞれの実施グループには事業化能力を有する企業を入れており、基礎から実用につなげていくという産学連携の体制も出来ていると認められる。
- 技術的・資源的な観点から現実的なタイプの太陽電池を取り上げ、過去の成果を踏まえた上で、概ね達成可能な開発目標を設定していると評価できる。
- オールジャパンを念頭においたコンソーシアムの構築により、各要素技術の開発担当機関間の連携に基づく能率的な研究開発が実施されている。
一部のテーマを除き、数年後の事業化に向けた達成度評価やシナリオが研究テーマごとに明確に示されており、十分にマネジメントされていると感じる。

- 市場動向等を踏まえて、各プロジェクトにおいては戦略的な目標が設定され、具体的かつ明確な開発目標を定量的に設定している。また成果の実用化、事業化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものである。
- コンソーシアム体制や融合したオールジャパン体制作りに努力が見られる。また、内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、ほぼ適切な要素技術、実用化に向けた目標が設定されている。
- 前プロジェクトの事後評価を真摯に受け止め、国際競争力強化のためのオールジャパン体制を整えたことは大いに評価できる。今後、この体制が有機的に作用し、あるいは化学反応を起こして本プロジェクトが大いに加速することを予感させる。
- 産学ともに日本を代表するプロジェクト推進体制となっており、目標に向かって決められたスケジュールの中で、着実な成果を上げており適切なマネジメントが行われている。
- 研究の進捗については、「国際競争力強化」の観点で十分すぎるほど細かく管理されており、無駄な研究は無いと認識できる。また、各課題で高い目標を設定し、それに向けて努力している姿勢は評価できる。
- 個別のテーマごと企業ごとには、目標に到達出来そうであることは評価出来る。しかし、単なる研究発表ではなく、生産力の増強や実用化レベルへと目標を修正すべきである
- 定量的な目標が常に提示されているのは評価できる。

〈問題点・改善すべき点〉

- 太陽光発電技術の研究動向は世界的に大きく変化している。また、日本の社会的状況も東日本大震災を契機にこれまでに経験したことのないような変化が見られる。このような状況の中で、開発目標の設定や研究の進め方も柔軟に変えていく必要があるだろう。変換効率は、目標値の設定としてはわかり易く、研究推進の際のメルクマールとなることは理解できるが、実際の技術はコスト、プロセスの簡便性、また既存の製造技術との互換性など、実用化や産業化において検討すべき事項は多々ある。変換効率ばかりでなく、開発すべき技術、開発している技術を多面的に捉えていくことが必要である。そのような検討を経て生き残るのが、役に立つ、使える技術であろう。
- 目標値の設定について、かなり無理をしている研究課題もあるが、5年で行うべき事業であることを念頭に置くべきである。
- 薄膜 Si 太陽電池の研究開発は世界的にも活発に行われており、日本の技

術レベルはその中でも非常に高水準にあることは確かである。ただし、タンデム化と光閉じ込めの最適化といった、従来からの研究開発の延長線上でプロジェクトを進めていっても、結晶 Si 系や CIGS 系と比較して、果たしてどこまでコスト競争力のある薄膜 Si 太陽電池製造プロセスを確立できるのか判断できない（←疑問である）。大面積化に向けた装置・技術開発は必要であるが、その一方で、変換効率の大きな飛躍あるいは製造コストの劇的な減少を可能とする新しいブレークスルー技術の発掘が不可欠であると感じられる。それに加え、これまでに得られた技術やノウハウを活かして、大幅な効率向上や低コスト化が期待できる全く新しい概念の太陽電池構造の開発に予算を振り向けてはどうかと考える。

薄膜 Si のフィルム太陽電池に関しては、研究開発自体が中止されるというであるが、委託先の選定に問題はなかったのか。大きな予算を使って開発を行う以上、中途半端な形で研究開発が中断することは好ましくない。低コスト化が非常に重要な太陽電池の研究開発であるにも関わらず、コスト試算が不十分である。人件費の見積りは困難であるが、エネルギーペイバックタイムの算出は十分可能と考えられるため、明示してほしい。

- 再委託先との連携体制の意義、夫々の機関における成果については個別に分かりやすくすべきである。またそれらがどう有機的に成果に結びついているのか予算も含めて表または図で関係者に開示が必要。
- 細かい数字をクリアしたかしないかだけで過度に評価しすぎると、本質的な研究開発の進捗を妨げることになる。数値化できないものに対する正当な評価も必要。単に数値目標のクリアばかりを考えるのではなく、研究開発の本質的進展を見据えたマネジメントが必要。
- 6本柱で動いているそれぞれの主要テーマに対する特徴を捉えた開発指針やロードマップが簡潔に明示されていない。そのため、予算配分の意図が不明瞭である。国民の理解を得るためにも、効果的資金投入という意味でも、改善が必要と感じた。
- 急速な内外の技術動向、市場動向に対する成果の事業化戦略や知財マネジメントの方針はやや明確さに欠ける。実施者間の強力な連携による具体的な効果が見えづらく、さらなる相乗効果に期待する。
- 変換効率向上と低コスト化が最大の課題であるが、効率向上については日本を代表するチームの成果が示されているが、低コスト化については本当に達成できるのか、不安を感じる開発テーマが見受けられた。
- 非常に高い目標をあげている割には、それに対するアプローチが明確に提示されていないところがある。目標へのこだわりが薄い。目標を必達するために、故障の木解析 (FTA) などを利用したリスク分析の提示が必要。

- 開発目標が市場動向と大きくズレている。
- 開発に従事しているメンバーが固定化されており、新規性や革新性に乏しい。

〈その他の意見〉

- ・ 目標達成度を測定・判断するための指標として、変換効率が第一に挙げられているが、この変換効率の妥当性については十分吟味する必要がある。先ず、多くの研究テーマにおいて、変換効率の値が示されているが、その数値の誤差について検討が必要であろう。もちろん、実用化デバイスにおいては、細かい誤差より動けば良いということもあるが、変換効率を目標値として設定する場合には、ばらつきの問題は回避すべきではない。例えば、誤差が10%の場合に、1%の変換効率の向上が認められたといった場合、その数値の信頼性としっかりと示すべきであろう。もう一点は、歩留まりである。最高の変換効率を得られた時、その値を示すセルあるいはモジュールはどの程度の歩留まりであることを示さないと実用化を正しく評価できない。シリコンの技術開発の歴史は歩留まりとの戦いであったと言っても過言ではない。
- ・ 国際競争力を高めていくためには、世界の中で技術レベルがどの程度であるかを常に意識することが重要である。これは、実際に研究開発を行っている機関だけでなく、マネジメントする側(国・NEDO)にも求められる。今後、コンソーシアムの形成による効率的な研究開発をより一層推し進めて欲しい。

共通基盤技術として開発されている封止技術や評価技術の研究は、各種タイプの太陽電池の研究テーマの中においても見受けられるが、重複ではないのか。同じような取り組みを全く別の研究テーマの中で同時に進めることは、予算の観点から好ましくない。これらの基盤技術を個々の太陽電池の枠組みの中に含めたとすると、最終的にトータルのコストの中でどれぐらいの割合を占めることになるのか。オールジャパン的な観点からマネジメントしていただきたい。
- ・ 状況変化に対する要素技術項目、目標に関しては、適切な時期に計画変更、見直しを勇断することも必要と思われる。また、関連する他のNEDOプロジェクト(革新的太陽光発電技術、有機系太陽電池実用化等)との間で、人的、予算的な重複投資は限りなく少なくした上での事業加速に結びつく体制作りに努力してほしい。
- ・ もう一度、国内メーカーが世界シェアを席卷するにはどうしたら良いか、プロジェクト体制、費用配分を検討し、計画を見直しながら臨機応変に対

応する必要がある。

- もう少し「海外との競争」に視点を置いたほうがいい。研究者や技術者を不要な評価作業で締め付けている間に海外企業に先を越されてしまう愚にならないように注意が必要。研究課題はできるだけ幅広く採用し、大化けする研究を拾うことも必要。
- 企業の事業計画に直結した開発に支援する方法が取れないか考える必要がある。開発自体が事業計画に直結しておらず、研究の域を脱していないのではないか。

3) 研究開発成果について

各研究テーマや技術課題ごとに達成度の違いが多少あるが、概ね当初設定した目標は達成されている。特に結晶 Si 系ではオールジャパンの体制が整いつつあり、原材料・結晶・スライス技術における目標課題・解決法が明確にされており、太陽電池における波及効果は広い。また、CIS 系薄膜太陽電池は、高効率薄膜太陽電池として市場の創造が期待される。成果の中には世界最高水準のもの、また、この事業が始まってから急速に研究が進展したものもあり、それらは高く評価できる。目標未達成の部分も目標達成までの課題を把握しており、課題解決の方針もほぼ明確となっている。また、知的財産権の取得および論文等の発表も、一部のテーマを除き概ね適切に行われている。

しかしながら、世界的水準に達している成果についても、成果が世界の研究開発動向からみてどの位の位置に位置づけられるか、また、どのようなインパクトがあるかについて、自己評価や説明が不足している。目標を達成にとどまらず、その成果を今後どのように活用し、それをどのように発展させるかについての展望を今後明確にする必要がある。更に、目標未達成、あるいは、その手前にある課題については、具体的な解決の道筋を明らかにする必要がある。なんとかなるという楽観論も研究には必要であるが、本事業は実用化が大きな目標であり、多くの国民が注目している事業であるため、このままではなんとかならないかもしれないという危機感を持って今後の解決策を真剣に検討して頂きたい。コストに関する試算結果がほとんど明示されておらず、その意味でロードマップ通りのコストが達成される見込みがあるか不明である。

〈肯定的意見〉

- 各研究テーマや技術課題ごとに達成度の違いが多少あるが、概ね目標は達成されていると認められる。成果の内容に関しても世界最高水準といえるものが多いし、知財や成果の普及に関しても、フェーズの違いによるばらつきはあるものの大いに努力が払われており、プロジェクト全体としては十分な研究開発成果が得られているものと認められる。前回のプロジェクト（太陽光発電システム未来技術研究開発）と比較すれば、コンソーシアムの形成による効率的な研究開発が進められた結果として、実用化や事業化が現実的になってきている研究テーマが増加している点は大いに評価できる。
- 全体を見ても、個々のテーマを見ても、概ね当初設定した目標は達成されていると認められ、これまでの取り組みに大きな問題がないと認められる。成果の中には世界最高水準のもの、また、この事業が始まってから急速に研究が進展したものもあり、それらは高く評価できる。

- 知財に関して、産学で共同出願した特許もあり、コンソーシアムの機能が発揮されていると思われる。
- 一部の項目を除き、各個別テーマにおいて、得られた成果は目標値をクリアしている。また、目標未達成の部分も目標達成までの課題を把握されており、課題解決の方針もほぼ明確となっている。知的財産権の取得および論文等の発表は、一部を除き概ね適切に行われている。
- 個々の研究テーマの進捗を全体的に眺めると、数値目標に向かって良く努力されていることが見て取れる。共通基盤に関する技術開発が本プロジェクトの6本目の柱として組み込まれたことは、太陽光発電の国際競争力を増強する上で、非常に歓迎すべきことである。
- 中間目標の設定値は概ね達成している。特に結晶 Si 系ではオールジャパンの体制が整いつつあり、原材料・結晶・スライス技術における目標課題・解決法が明確にされている。成果の他、太陽電池における波及効果は広い。CIS 系薄膜太陽電池は、高効率薄膜太陽電池として市場の創造が期待される。
- 概ね設定した目標は達成されており、達成した成果は世界最高レベルのものが多く、本プロジェクトは大きな成果を上げている。また、積極的な知財、論文投稿などの成果を上げており、高く評価できる。
- 目標と成果については、上記のような観点で十分すぎるほど細かく管理されており、無駄な研究は無いと認識できる。知財の管理についても特に問題は無い。
- 研究開発目標は概ね達成出来そうなレベルにある。この点は評価出来る。いくつかの開発の中で、世界的に通用する優れた成果が認められる。
- 中間目標に対する達成度と最終目標への見込みをわかりやすく提示しているのは評価できる。

〈問題点・改善すべき点〉

- 世界初や世界的水準に達している成果もあるが、それらの成果が世界の研究開発動向からみてどの位の位置に位置づけられるか、また、どのようなインパクトがあるかについて、自己評価や説明がやや不足している感がある。目標を達成したからよしという点にとどまらず、その成果を今後どのように活用し、さらにそれを元に研究開発をどのように発展させるかについての展望を今後明確にする必要がある。一方、目標未達成、あるいは、その手前にある課題については、具体的な解決の道筋を明らかにする必要がある。なんとかなるという楽観論も研究には必要であるが、本事業は実用化が大きな目標であり、多くの国民が注目している事業であるため、こ

のままではなんともならないかもしれないという危機感を持って今後の解決策を真剣に検討して頂きたい。

- 各テーマの成果は、概ね世界最高水準であるとは考えられるが、それを客観的に示す説明が少ないと感じられる。日本が一步進んでいる点だけでなく、他国の方が優れている点についても調査のうえ説明してほしい。これは、今後の研究の方向性を判断する上で重要である。

コストに関する試算結果がほとんど明示されておらず、その意味でロードマップ通りのコストが達成されている（達成見込みである）かどうか不明である。

- 今後どの型の太陽電池がどの程度のシェアを占めて行くかは、技術開発の進捗状況や市場動向によって大きく推移して行くと考えられる。太陽光発電の開発プロジェクト開始段階から国プロとして進められてきたシリコン系と、国プロとして研究開発が始まって漸く10年程度が経過した有機系では、当面、それぞれの型の太陽電池に求められるミッションが異なるのは至極当然である。このような状況と、社会が太陽電池に求めるニーズの変遷を勘案して、目標設定をさらに柔軟に、そして、よりきめ細かく策定した方が良いのではないか。
- 薄膜 Si 系、有機系太陽電池における研究開発課題は明確であるが、現状では市場の開拓・予算にあった成果は残念ながら見えていない。特に有機系では薄膜 Si 系の後追いをしている感がある。他の競合技術と比較して材料の選択肢が広い、簡単なプロセスで製造可能等優位性はあるが、他材料系太陽電池と比較して優位性は明確でない。
- 細かい数字をクリアしたかしないかだけで過度に評価しすぎると、初めから低い目標を設定することにつながってしまい本質的な研究開発の進捗を妨げることになる。目標数値をクリアできなくても、研究の内容によって正当に評価する視点が必要。成果の普及については、むしろ NEDO のサポートがあってもいいのではないか。
- 特に挑戦的な目標設定に対しては、速やかな目標達成に向けた対策あるいは前向きな計画変更は積極的に行う必要がある。また、特別な事情がない限り、実施者間での成果の共有、および公表に努力すべきである。
- しかし NEDO 目標の達成に注力する傾向があるが、最も重要な目標は、国際競争に勝つことであることを認識すべきである。要するに細かい数値目標ではなく、市場をリードしたか、牽引したかに客観的な判断基準を置くべきである。
- 太陽電池の目標、特にコスト目標は常に市場動向とリンクして見直しを書けるべきである。

- 一つ一つの世界最高レベルの成果を串刺しにして、相乗効果を実用化に結びつける働きがけが弱いと感じた。総合的に成果を生かす仕組み、道筋を明確にする必要がある。

〈その他の意見〉

- ・ 知的財産権等の取扱や成果の普及については、各プロジェクトともに国際会議、論文誌での発表を通して精力的に成果を発信している。成果の最終目標については、結晶 Si 系、CIS 系、基盤技術については概ね達成可能であると判断される。しかし薄膜 Si、有機系では現時点では、課題とその解決の道筋が当初の予定通りに進んでいない部分も見受けられる。課題が部材の性能、安定性に依存している項目が大きく、これらの課題については継続・中断するかはより厳密な判断が求められる。
- ・ 論文発表やプレスリリースは適切に行われていると認められるが、この種の大型事業に関しては、発表内容の質にも十分留意すべきと思われる。世界最高、世界初という発表も大事であるが、その発表が自己満足的なものではなく、実際に重要な成果であるということについては、十分留意すべきであろう。
- ・ 知財の関係や企業の持ち出し費用の関係で成果を共有するのは難しいのかもしれないが、国費を使つての成果であることからプロジェクトに参加した企業だけでなく、国内の太陽電池関連企業が受けられる成果移転が実現できると望ましい。
- ・ 研究発表や特許出願等、細かい数値目標に捕らわれすぎである。予算管理も不必要に細かすぎる。もう少し受託企業に主体性を持たせたマネジメントであつてよいのではないか。結果的には各企業が事業の守備範囲で、世界市場を席卷出来ればよい。
- ・ 「海外との競争」に視点を置くと、必ずしも性能の高いものが市場を獲得しているわけではないことに気づくだろう。海外との競争に本当に必要な技術は何か、十分に議論する必要がある。
- ・ 研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等について、関連他機関への協力などを含めて、積極的な対処も必要と思われる。

4) 実用化、事業化の見通しについて

それぞれの研究テーマについては、実用化に向けての目標設定や研究計画が立案され、それが達成・遂行されている。いくつかの研究テーマについては本事業によって実用化に向けて研究が促進され、研究成果の実用化・事業化への意識は、全体を通じて高いと判断される。結晶シリコン・薄膜シリコン・CISについては、産業技術としても優れた成果が得られており、十分に実用化の見通しが得られている。また、有機系太陽電池については、技術的に大幅な進歩が見られ、実用化に向けた取り組みが精力的に進められていると判断できる。

しかしながら、コストダウンや事業化また経済効果等の見通しについては、全体的に状況の把握が不足している。これまで、ナンバー1の地位を保っていた日本の技術も、既にその地位から陥落し、危機的な状況にある。このような状況の中で、当初の目標も含めて、研究計画の変更や修正も必要である。大量普及を使命としている太陽電池にとって、低価格化が事業化の根本である。そういった観点から、部材の生産コスト低減のための技術開発はもとより、高性能化による発電単位量当たりでのコストダウンをはかるための革新的製造プロセスの技術開発も、検討する必要がある。

〈肯定的意見〉

- コンソーシアムの形成による効率的な研究開発が進められた結果として、今後の実用化や事業化の道筋が明確に示されている研究テーマが多く見受けられ、概ね十分な見通しが得られていると判断できる。
- 有機系太陽電池については、前回のプロジェクト（太陽光発電システム未来技術研究開発）の段階に比べると技術的に大幅な進歩が見られている。無機系とは区別し、有機系の特色を活かした市場における早期の事業化を推し進めるべきである。
- それぞれの研究テーマについては、実用化に向けての目標設定や研究計画が立案され、それを達成・遂行されていることは認められる。いくつかの研究テーマについては本事業によって実用化に向けて研究が促進されたと認められる。特に、有機系太陽電池は実用化に向けた取り組みが精力的に進められていると判断できる。
- 総合的に見て、本プロジェクトで得られている成果は概ね実用化に向けた課題が明確になっており、事業化に伴う経済効果等の検討がなされている。また、プロジェクトの実施による経済的・社会的波及効果が十分期待される。
- 成果の実用化、事業化までのシナリオは明確であり、中間目標もほぼ各プロジェクトで達成されている。

- これまでの日本の技術開発は、まじめに高性能化に取り組んできた点は評価されるし、このプロジェクトでもその姿勢は見える。
- 結晶シリコン・薄膜シリコン・CISについては、産業技術として優れた成果が得られており、十分に実用化の見通しが得られている。
- それぞれの型の太陽電池の実用化研究が着実に前進しており、事業化の可能性を大いに感じた。
- 実用化事業化への意識は、受託企業の全体を通じて高いと判断される。
- 太陽電池研究の波及効果は非常に大きく、おおいに推進してもらいたい。

〈問題点・改善すべき点〉

- コストダウンや事業化また経済効果等の見通しについては、全体的に状況の把握が若干不足している感がある。太陽光発電は現在世界的に大きな研究課題になっており、研究開発動向はここ数年大きく変化している。これまで、ナンバー1の地位を保っていた日本の技術も、既にその地位から陥落し、危機的な状況にある。このような状況の中で、当初の目標も含めて、研究計画の変更や修正も必要であったと思われる。一度スタートした事業の目標設定を変えることは、困難ではあるとは思いますが、実用化を目標とする本事業については、世界情勢を睨みながらの柔軟な対応ができる仕組みの構築が必要であろう。このことは、事業の実施者だけでなく、NEDO推進部も真剣に検討する必要がある。
- 研究開発競争が激化しているこの分野で世界をリードできる技術を発展するためには、各実施者間の連携と情報の共有化と共に、実用化のレベルに応じた研究テーマの選択と集中が必要であり、プロジェクトリーダーの指導性が重要である。ただし、中間評価時期に数値達成度で単純に将来性のあるテーマの芽を摘むような取捨選択には十分注意を払う必要がある。
- 性能向上のための精緻な技術的要求に伴って、部材の高度化、製造設備の複雑化、製造環境の厳選など、より不可欠になってきている状況にある。大量普及を使命としている太陽電池にとって、低価格化が事業化の根本である。そういった観点から、部材の低価格供給はもとより、高性能化における製造プロセスの革新的見直しの必要性を感じた。
- 実際に国際市場の獲得につながるのは技術だけでなく「戦略」である。この点は全く弱く、NEDOも全くサポートできていないとあって良いだろう。この点を、どうするかが課題である。NEDOの次期中期目標には「世界最先端の技術開発マネジメント機関へ」と記載されるようだが、世界に勝てる技術開発を進めるための「具体的戦略」は本当にあるのか。
- 研究テーマ毎にコスト(エネルギーペイバックタイム)試算を早急に行い、

それに基づいて発電コストを算出することが必要である。技術的には事業化できるレベルであっても、発電コストが割に合わなければ意味がない。

- 市場の規模や成長性は未知数であるが、コストダウンについては従来の部材による電池の高効率化だけでなく、一般論としては新規な部材系また従来の素子との接合系太陽電池、スプレー、塗布等研究開発との連携が必要ではないか。
- 有機・色素はまだ基礎研究の段階にあり、実用化までのシナリオを検討する段階に来ていない。実用化に向け、プロジェクト間の連携により複数の成果を纏め上げ、競争力のある製品開発に繋げる必要がある。
- 反面、各々の企業において、NEDO 研究で開発した成果が外部から見えにくい。特定の企業が事業化を見合わせた場合、その技術は他の企業に共有化されにくい現実をどう改善するのか未だ解決策が見えない。
- 市場ニーズについては十分認められるが、コスト目標については市場動向をよく勘案して検討すべきで、必要とあれば躊躇なく目標変更もされるべきである。

事業化のシナリオについて、企業 Gr と国研・大学 Gr ではとらえ方が違っている。国研・大学は楽観すぎて市場動向に対する反応は鈍いように思えた。一方、企業では大きくトーンダウンしているところが見られる。オールジャパンでのプロジェクトであり、大学と国研・企業ももっと実用化へのシナリオを、執念をもって練り直してほしい。

〈その他の意見〉

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

陽電池の素晴らしさを示す機会を今後数多くつくって頂きたい。

- 有機系太陽電池の実用化、本質的な（セル寿命、変換効率を加味した）低価格化は現在の世界的な競争において厳しい面もあるが、NEDO プロジェクトを推進することで今後世界の技術力として優位に立ち、市場開拓においても優位性を示す戦略を示すことが望まれる。
- 共通基盤技術の中で、封止技術のように、各太陽電池の高度化に貢献できる技術については、なるべく早い時期に個々の太陽電池開発と連携させて開発を効率的に進めるべきである。
- 実用化、事業化を諦めた企業で且つ長年多額の資金を投入してきた場合、どう資金を回収するのか対策が必要となる。NEDO に依頼すれば、特定の技術が他社に使用可能にするなどの思い切った改革も必要ではないか。
- 人材育成に関しては、インターンシップ等の制度を含め最低ラインの素子の製造、評価について教育体制の機関の設置が望まれる。
- プレゼン資料や報告からプロジェクトの実施を通じて、人材育成等の促進に波及効果があるかどうか見ることが出来なかった。

2. 個別テーマに関する評価結果

2. 1 結晶シリコン太陽電池

1) 成果ならびに実用化、事業化の見通しに関する評価と今後の提言

シリコン原料の国産化から、低コスト化技術、セル性能やモジュール性能の向上を含めた一貫したコンソーシアムが結成されて有効に機能し、オールジャパン的な体制のもとで効率的に研究が行われている。現状のシリコン技術を材料、プロセス、デバイスに渡って幅広くカバーし、原材料、結晶技術、スライス技術、パッシベーション技術等各項目に対する目標も明確で目標達成、実用化・事業化が期待されることは評価出来る。実用化に近い技術であることから、目標設定を前倒しでさらに高め、研究を加速すべきであり、今後の発展に期待したい。

しかし、市場の動向や価格下落による国内メーカーの競争力低下を考えた場合、挽回する為のシナリオや斬新性、革新性が見えにくい。材料などの削減により、多くの低コスト化技術が開発されているが、変換効率を向上させる技術はコストアップにつながる可能性が高い。現時点の技術的問題点と実用化への課題解決法を速やかに抽出し、今後の開発計画の見直しに反映して、本事業の成果を一年でも早く実用化に結びつける必要がある。

〈肯定的意見〉

- 極薄型結晶 Si 太陽電池に関しては、コンソーシアムが結成されて有効に機能し、オールジャパン的な体制のもとで効率的に研究が行われていると感じられる。また、セル製造のためのプラットフォームが整備され、それがコンソーシアムにおいて有効活用されており、目標に向かって着実に開発が進んでいる。特許出願や論文・研究発表の件数も十分である。
樹脂コーティングしたソーワイヤによるシリコンウエハ切断技術や原料シリコンの製造技術の開発に関しても、技術的には優れており、概ね良好な成果が得られていると感じられる。
- 当初設定した目標値をほぼ達成していると認められ、本プロジェクトは順調に遂行されていると判断できる。コンソーシアムによる研究連携も順調に進んでいると判断でき、今後の発展に期待したい。実用化に近い技術であることから、目標設定を前倒しでさらに高め、研究を加速すべきである。今後の発展に期待したい。素晴らしい太陽電池用結晶シリコン育成技術が開発されつつあることも高く評価できる。
- 中間目標はほぼクリアしており、現時点で未達成の部分も目標達成までの課題を把握し、最終目標に対する技術課題の解決方針が明確となっている。また、世界初あるいは世界最高水準の成果もみられ、得られた成果は経済

的・社会的にも波及効果は大きいと判断される。

- オールジャパン体制が構築されつつあり、原材料、結晶技術、スライス技術、パッシベーション技術等各項目に対する目標が明確で目標達成、実用化・事業化が期待される。
- シリコン原料の国産化という意味は非常に大きい。是非ともに低コスト化の道筋を示す技術を確立して頂きたい。シリコン原料の国産化から、低コスト化技術、セル性能やモジュール性能の向上を含めた一貫したコンソーシアムによる協力体制ができたことは、評価できる。
- 現状のシリコン技術を材料、プロセス、デバイスに渡って幅広くカバーしていることは評価出来る。結晶シリコンのプロジェクトとして、総合的に何が出来たのか、見えるようにできれば非常に好ましい。
- オールジャパン体制による取組みで、各要素技術において世界最高レベルの成果が得られており、開発された技術の実用化に期待が持て、大いに評価できる。
- 国際市場の奪還に向けて各テーマで努力されている。
- 着実に研究展開がなされており、目標達成できる見込みは高い。

〈問題点・改善すべき点〉

- コンソーシアムによる研究連携により目標達成が早まったことは、高く評価できるが、どのような点が研究を促進させたか、どのようなシナジー効果があったかをより明確にして、今後の研究開発に役立てると良いと思われる。すなわち、このようにすればこのようなシナジー効果が期待できるといった、新しい試みを今後も推進すべきと思う。

素晴らしい太陽電池用の結晶シリコン育成技術が開発されつつあるが、コスト面の評価が必要である。但し、現在コストがこれくらいに留まっているから開発の意味がないと判断することなく、このようにすればコストはこれくらい下げられるであろうといった今後の技術戦略を明確にしていくことが必要である。
- 個別テーマの欠陥評価に関しては、どのように性能向上にフィードバックがかかっているかがやや不明確である。Si 製造技術、単結晶成長技術では、競合技術に対する優位性が明確になることが期待される。
- 材料などの削減により、多くの低コスト化技術が開発されていることが理解できたが、変換効率を向上させる技術はコストアップにつながる可能性が高く、せつかくの低コスト化施策が最終的な製品コストに反映されないことが懸念される。
- 一部の個別テーマにおいて、ノウハウ技術が多いとはいえ知的財産権、論

文、発表等の公表が少ないのがやや気になる。国際標準、海外展開も視野に入れるなど積極的な努力も必要と考える。

- 市場の動向や価格下落による国内メーカーの競争力低下を考えた場合、挽回する為のシナリオや斬新性、革新性が見えにくい。これまでの成果や最終成果が、挽回に繋がるのか、あまり期待が持てない。
- 残念ながら、国際市場奪還への具体的な道筋が見えない。
- 知財管理を的確に行いながら、オールジャパン体制を有効に進めて行くノウハウの蓄積。

〈今後に対する提言・その他の意見〉

- ・ プラットフォームの構築はユニークな試みであり、今後の発展が期待される。企業間の連携をどのように行うかは、例えば、知財管理を含め様々な課題があると思われるが、今後、数多くの連携を作り出し、国際的な競争力を高めて頂きたい。
- ・ シリコンウエハ切断技術はユニークであり、今後の発展を期待したい。今後、耐久性の評価やコストの評価などを詳細に検討すべきである。
- ・ ポリシリコンの原料転換技術はコストの評価が必要である。
- ・ 現在主力の結晶シリコンの市場シェアにおいて、日本メーカーはコスト競争に負け市場シェアが低下の一途を辿っている。本事業の成果を前倒しして一年でも早く実用化に結びつける必要がある。
- ・ 結晶や界面など基本的な研究や科学的知見の拡大も不足している。これは現状技術の問題や課題がクリアにされていないためであると思慮される。生産技術においてもまだ断片的で、革新的生産装置や手法の開発も十分な取組みがされているとは言い難い。各々の要素技術の分野でも世界を席巻できる事業を創出できるのか、見方を変える必要がある。
- ・ 結晶シリコン太陽電池は太陽光発電システムの中核となるがゆえに、投入された予算に見合った成果が一層期待される。現時点の技術的問題点と実用化への課題解決法を速やかに抽出し、今後の開発計画の見直しに反映する必要がある。
- ・ III-2-(イ)-B：中間目標を達成しており、競合技術に対して優位性が示されていることから実用化への期待が高い。
- ・ III-2-(イ)-C：中間目標を達成しており、今後の成果が期待される。
- ・ III-2-(イ)-D：シリカの直接還元による太陽電池用 Si の製造技術としての重要性は評価できるが研究協力機関における相互間の連携内容を明確にすることが望まれる。
- ・ より一層の低コスト化に対して塗布系によるパッシベーション技術に関

する研究開発も進めて欲しい。

2. 2 薄膜シリコン太陽電池

1) 成果ならびに実用化、事業化の見通しに関する評価と今後の提言

薄膜シリコン太陽電池の最大の課題である変換効率向上に関して、多接合化により大面積での効率向上が達成されており、光劣化抑制技術の開発など評価すべき成果もあり、概ね中間目標は達成している。

しかしながら、薄膜 Si 太陽電池の場合は、特に結晶 Si 系と比較してコストダウンが不可欠であるが、タンデム化と光閉じ込めの最適化等のこれまでの延長線上の開発を継続してもコスト競争力のある薄膜 Si 太陽電池製造プロセスを確立できるのかは不明である。また、変換効率が向上しても光劣化によるパフォーマンス低下の問題は今後も大きな研究課題である。いずれのテーマもこれまで長年研究してきたものであり、これらの課題に対し、具体的にどのような対策を立てるかを明確にする必要がある。市場競争力を高める戦略を考えてほしい。当該分野を推進し、グローバルに通用する商品、技術となりうるのか、世界や日本の太陽電池市場を変革できる力強さが見えない。

〈肯定的意見〉

- 大面積基板上への薄膜形成技術の研究開発は概ね順調に進んでいるように感じられる。結晶 Si 太陽電池に比べて十分なコスト競争力があれば、近い将来の事業化が期待できる。各グループとも、タンデム構造における各層の膜厚・構造・電気特性と中間層のモフォロジーや特性を総合的に最適化することによって変換効率向上を図っており、個々の技術は非常に高いと感じられる。その結果、変換効率は徐々にではあるが向上している。
- 光劣化、光閉じ込め効果の設計、大面積化プラズマ CVD 技術に対して克服すべき課題が山積しているが、薄膜 Si 系の成果は、他薄膜系太陽電池性能の向上への波及効果としての位置づけも有していることから今後とも着実な検討が望まれる。ダブルテクスチャー、インプリント等高性能透明電極材料の開発については成果が見られる。各社独自体制によるビジネス展開からオールジャパン体制に移行しつつある。
- 光劣化抑制技術の開発など評価できる成果もあり、概ね目標を達成している。
- 薄膜シリコン太陽電池の最大の課題である変換効率向上に関して、多接合化により大面積での効率向上が達成されており、大きな成果が上げられている。
- 素子構造、成膜技術の改良の進展と世界初あるいは世界最高水準の成果も多くみられ、中間目標はほぼクリアしている。また、薄膜太陽電池の目標が達成された時の経済的・社会的な波及効果は大きいと判断される。

- コンソーシアムによるオールジャパン体制での研究開発がスタートしたことは評価できる。
- デバイスの設計が良く考えられており、目標は概ね達成できる。個別には高い水準に到達できる見通しがある。
- 技術力は高まっている。
- Gr 間の連携が闊達であり、目標達成に向けての意気込みが感じられる。

〈問題点・改善すべき点〉

- プロジェクト全体に関わる事でもあるが、薄膜 Si 太陽電池の場合は特に、結晶 Si 系と比較してコストダウンが不可欠である。その意味では、製造コスト（製造に必要なエネルギー量）の試算や説明が必須である。
- 変換効率の向上に向けた取り組みとしては、タンデム化と光閉じ込めの最適化が柱となっている。これは以前のプロジェクトと基本的に何ら変わっておらず、膜質や構造の最適化だけでは、目標を達成することは困難であると感じられる。大面積化に向けた開発の一方で、変換効率の大きな飛躍あるいは製造コストの劇的な減少を可能とする新しいブレークスルー技術を提案してほしい。
- 基板の材質（ガラス基板とフレキシブルフィルム基板）の違いに伴う太陽電池構造の設計上の違いが明確でない。フィルムからの脱ガスや基板自体のうねり対策は装置構造・仕様上の問題であり、それらを除けば、単に違う材料の基板を使って別々に開発が行われてきただけと感じられる。また、フィルム太陽電池に関しては、一部目標が未達であるし、研究開発自体が中止されるということなので、得られた成果を今後どのように活かすのか不明である。
- 薄膜 Si 系の最重要課題である光劣化の抑制と高速形成については大きな進展が見られていない。光劣化の改善については、すでにトライオードで劣化率が低減する結果が過去に報告され、解決のためのガイドラインは示されているが、高速形成条件における抑制にはまだ課題が多い。SiH₂ 結合種の低減の他にも、SiH₄ 以外の反応性ガスや後処理等による劣化抑制のアプローチも検討に入れる必要があるのではないか。
- コンソーシアムによるシナジー効果を期待して研究を進めている点は評価できるが、具体的にこのような形で効果が現れたという点を示すと、今後の研究開発に役立つと思われる。
- 目標が達成されていない課題については、今後具体的にどのような対策を立てるかを明確にして研究を進める必要がある。
- 現時点で未達成の部分で、大型化への装置の適用性など目標達成までの課

題解決策がやや不明確な部分もみられるため、最終目標、実機検証に向けた技術課題の精査と解決策の明確化が必要と思われる。また、一部の実施者グループでの成果の公表が少なく、この点の努力も重要と考える。

- 変換効率が向上しても光劣化によるパフォーマンス低下の課題を克服できなければ寒い地域への導入が難しく、適用領域が限定されることになるため、光劣化に対する技術開発の取組みが重要となる。
- 薄膜タンデム太陽電池のアモルファストップ層の効率における目標と現実との乖離が大きい。

アモルファストップセルの劣化抑制のアイデアが、実用性のある製膜速度とのトレードオフの問題に耐えうるものなのか示されていなかった。劣化抑制は永年取り組まれてきた問題であり、実用堆積速度を満たした技術として完成させるには相当な努力が必要。

目標達成のために故障の木解析に基づくリスク分析を十分に行って、今後の工程を緻密に論理的に提示してほしい。

- コンソーシアム内での協力体制が不明確であり、目標達成に向けた道筋が必ずしも明確でない。
- 当該開発成果を世界市場で普及させる戦略策定が必要である。これが見えない。もし生産拡大や大幅なコストダウンが見込めないなら、現在の水準が高くても NEDO での研究は止めても良いのではないか。
- 市場競争力を高める方法を考えてほしい。

〈今後に対する提言・その他の意見〉

- ・ いずれのテーマも、これまで長年研究してきたもので、実用化している太陽電池に関する研究である。したがって、実用化のためにどこを解決しなければならないかを明確にして、その課題に対しての具体的な方策を立てる必要がある。特に光劣化の問題は大きな研究課題であり、今後具体的にどのようにすべきかを明確にする必要がある。
- ・ 薄膜 Si 太陽電池は結晶 Si 系よりも大幅に低コストに製造できなければ意味がない。この観点から考えれば、今後、タンデム化と光閉じ込めの最適化等、これまでの延長線上の開発を継続しても、果たしてどこまでコスト競争力のある薄膜 Si 太陽電池製造プロセスを確立できるのか判断できない。これまでに得られた技術やノウハウを活かして、大幅な効率向上や低コスト化が期待できる全く新しい概念の太陽電池構造の開発に予算を振り向けてはどうか。
- ・ フィルム太陽電池に関しては、研究開発自体が中止されるということであるが、そのような事態になることがプロジェクト開始前に分かっていたいなか

ったのか？大きな予算を使って開発を行う必要があったのか？

- 海外における薄膜 Si 太陽電池の研究開発状況やロードマップはどうか。また、個々の技術は絶対値としては非常に高いと考えられるが、海外と比べて技術的な優位性があるのか同等なのかを明確にして欲しい。
- 薄膜シリコン太陽電池の課題には過去を含め、長い研究期間と多くの資金を投入しており、本プロジェクトではそれに見合った速やかな目標実現、実用化への課題解決法の抽出が重要で、今後の開発計画の見直しに反映する必要がある。
- 薄膜 Si 電池は、性能とコストが同時に保証されない限り実用化にはつながらない。つまり、高速製膜、大面積均一製膜、高効率化の同時達成を目指すべきである。現実には、この3項目について複数のグループに分かれてバラバラで取り組んでおり、各個で目標を達成しても、それを同一装置で同時に達成できる見込みは感じられなかった。このトレードオフを打破するためにも、研究力のある部門に集中して、3項目を同時に達成するチャレンジをしていただきたい。
- 結晶シリコンに比べ薄膜は使用するシリコン材料が少ないにも関わらず、現状の市場においてコスト優位性がない。変換効率は最大の課題であるが、結晶系に比べ、圧倒的なコスト優位となる技術開発、生産技術を開発する必要がある。
- 当該分野を推進し、グローバルに通用する商品、技術となりうるのか、世界や日本の太陽電池市場を変革できる力強さが見えないので、このまま推進することには疑問が残る。
- プラズマの大面積化については、共振電極付アレイ方式の優位性を早急に実証することが望まれる。
- 薄膜シリコンの用途展開を幅広く考えたほうがよいのではないかと。

2. 3 CIS等化合物系太陽電池

1) 成果ならびに実用化、事業化の見通しに関する評価と今後の提言

集光装置と製造装置面における基礎技術やデバイス設計面、成膜技術において着実な技術開発が進んでいる。また、サブモジュールで中間目標を大きく超える変換効率を得られるなど顕著な成果が得られている。当初設定した目標値をほぼ達成し世界水準の技術であると認められ、本テーマは順調に遂行されたと評価できる。

小面積ガラスセルの高効率化は中間目標を達成していないが、未達成の部分については速やかな実現、達成への課題解決、あるいは今後の開発計画の見直しに反映する必要がある。変換効率の目標値を高く設定することは研究を進めていく上で重要であり、必要なことであるが、本事業は実用化研究であり、5年間でどこまで達成できるかを冷静に判断し、目標値の見直しも検討すべきであろう。フレキシブル太陽電池については、実用化の観点から考えると、どの程度低コスト化が図られるか、また、フレキシブルであることの利点がどこにあり、どのような用途が考えられ、その市場はどのようなものか等についても、今後検討を加えるべきであろう。また集光式は、日本の気象環境下では発電特性に期待される効果が得られず、サンベルト地域を中心として海外がターゲットになるだろうが、集光方式は部品点数が多く、想定している将来コストを実現するのは相当困難であろう。

今後、CIS で世界市場に打って出るためには、電極や保護膜等の周辺技術にも全体にレベルアップが必要であり、革新的な発想が求められる。問題点を洗い出し、コストダウンへのシナリオを描いてほしい。

〈肯定的意見〉

- モジュールの変換効率向上に関しては、ほぼ当初設定した目標値を達成していると認められ、この点についてはプロジェクトが順調に遂行されたと感じられる。
- 30cm 角サイズのモジュールで変換効率 18%程度のものであれば、事業化できるレベルに達していると認められる。
- ガラス基板上の太陽電池に対して、フレキシブル太陽電池の特長が明確に示されており、用途や市場についても十分な調査・検討が行われていると評価できる。
- 集光型太陽電池は、結晶 Si 系や薄膜系に続く第3の太陽電池として期待されており、将来の広範な太陽光発電システムの導入・普及を目指す上でその開発は重要である。着実に成果が得られていると感じられ、引き続き事業化に向けた開発を推進してもらいたい。

- 当初設定した目標値をほぼ達成していると認められ、本プロジェクトは順調に遂行されたと評価できる。変換効率の高い太陽電池の一つであり、実用化に近い技術であることから、今後の発展に期待したい。
- 集光装置と製造装置面における基礎技術やデバイス設計面、成膜技術において着実な技術開発が進んでいる。また、サブモジュールで中間目標を大きく超える変換効率を得られるなど顕著な成果が得られている。
- 高効率化に向け、順調に目標を達成しつつあり、また成果を実用化する筋道が見えており、コスト削減がすぐにでも実現できる展望があることから、国内で生産するモジュールとしては、安価な海外製モジュールに対抗することができる大きな成果を上げている。
- 目標に向かって着実に努力されていることが伺われる。
- 効率向上も含め、目標は達成できる見込みであり、世界水準の技術であると評価出来る。
- 中間目標はほぼ達成されており継続的な研究開発の進展による実用化・事業化が望まれる。
- 価格競争力があり、さらに強化を進めて世界シェア獲得を目指してほしい。
- 大面積セルでの性能目標を達成しており、実用化の可能性が大きい。

〈問題点・改善すべき点〉

- 目標に向かって着実に近づいていると思われるが、変換効率の目標値がかなり高めに設定されている点が懸念される点である。目標値を高く設定することは研究を進めていく上で重要であり、必要なことであるが、本事業は実用化研究であり、5年間でどこまで達成できるかを冷静に判断することも必要である。目標値の見直しも検討すべきである。
- フレキシブル太陽電池については、軽量化や低コスト化に有利と思われるが、実用化の観点から考えると、どの程度低コストが図られるか、また、フレキシブルであることの利点がどこにあり、どのような用途が考えられ、その市場はどのようなものか等についても、今後検討を加えるべきであろう。
- 小面積セルにおいては、目標とする変換効率の値が未達である。目標達成のための課題の抽出はされており、個々の課題毎に実験検討がなされているが、それらの成果をどのように事業化に結びつけていくのか、道筋が見えない。
- CIGS をエピ化すればさらなる変換効率向上は可能とのことであるが、製造コストの観点からは事業化に向かない。
- 同じ薄膜系でも、CIGS 系はシリコンよりも高い変換効率を得られやすい

とされており、実際その通りになっているが、コスト競争力はどうか。結晶 Si 系と比べるとどうか。また、海外の Cd-Te 系との比較はどうか、明確にしてほしい。

- 小面積セルとサブモジュールの目標変換効率の値の差が、他タイプの太陽電池に比べて大きい。これらの目標値はどのような根拠で設定されたのか、明確にして欲しい。
- 現時点で未達成の部分で、大型化へのライン立ち上げ装置の適用性や目標達成までの課題解決策がやや不明確な部分もみられるため、最終目標に向けた技術課題の精査と解決策の明確化が必要と思われる。
- CIS で世界市場に打って出るためには、何が不足しているのであろうか、問題点を洗い出すべきである。電極や保護膜等、周辺技術においても、全体にレベルアップが必要であり、革新的な発想が出ていても良い。しかし、過去から基本的な技術に大きな変化が認めがたい。コストダウンへのシナリオが描けているのだろうか。
- 日本の気象環境下では集光式は発電特性に期待される効果が得られず、サンベルト地域を中心として海外がターゲットになると思うが、集光方式は部品点数が多く、想定している将来コストを実現するのは相当困難だと思われる。
- フレキシブルセルの開発においては、装置準備が完了した段階であり、今後デバイス作製で多くの課題が発見されると思われる。フレキシブル電池の試作を急ぎ、できるだけ早い段階で問題を抽出する、フロントサーベイ活動が必要である。
- 薄膜系では高効率化が期待される部材であるため、競合技術との差別化、フレキシブル等各社の特徴を加味して実用化・事業化へ展開して欲しい。また原材料の確保、資源の回収、安全性まで含めた研究開発に展開して欲しい。
- 枯渇資源を使用している技術開発には、多少疑問が残る。化合物の可能性をもっと探求する元素戦略など、基本に立ち返った目標設定が必要ではないか。
- フィルム型については、どこに優位性があるのか見えない。

〈今後に対する提言・その他の意見〉

- ・ 高効率技術については、目標値の見直しが必要である。
- ・ フレキシブル太陽電池については、今後検討すべき課題が多々あると思われる。ロール・トゥ・ロール製膜装置開発も重要であるが、膜の一様性の検討、膜組成の制御などの基礎的問題を着実に検討する必要がある。

- 集光型発電システム開発については、太陽光を集光した場合の発熱の問題をどのように解決するか明確にすべきである。また、このテーマは、共通基盤技術として進める方が適当と思われる。
- 小面積セルでの変換効率は目標値もかなり高く、中間目標を達成していない部分については速やかな実現、達成への課題解決、あるいは今後の開発計画の見直しに反映する必要がある。
- 結晶 Si や Cd-Te 系太陽電池の低コスト化が世界的に進んでいることから、CIGS 系についても低コスト化に向けた変換効率のさらなる向上が最重要課題であると考えられる。現状では、モジュールと小面積セルの変換効率にそれほど大きな開きはなく、セル作製条件の最適化のみでは今後の飛躍的な変換効率向上は望み薄である。したがって、変換効率向上に向けた革新的な基礎研究に、より一層注力すべきと考える。
- 小面積ガラスセルの高効率化は、CIS 系太陽電池の将来展開を約束する上で、是非とも必要と考える。高効率化へのしっかりした戦略が存在することを踏まえれば、本プロジェクト期間内の目標値設定は抑制し、例えば「10年後には新技術の確実な付与により、変換効率28%の達成は十分可能である。」などのコメントを目標設定に加えても良いと思う。
- フレキシブルに関して、高効率、低コスト技術の目処が立っていることから、軽量、曲げられるという特徴を生かし、ガラタイプでは設置できなかった適用先への展開を早期に実現する必要がある。
- CIS の特長はようやく認識されるに至ったが、従来から大きな技術の変革がない。また、生産性を高める為のテーマを追加すべきである。
- R-R 製造において、均一性をその場モニタリングする技術の開発を検討すべきである。

2. 4 色素増感太陽電池

1) 成果ならびに実用化、事業化の見通しに関する評価と今後の提言

色素増感太陽電池は、低コストで作製できると期待される太陽電池であり、基礎レベルから系統的に開発研究を展開し、その成果は着実に進歩し事業化レベルに近づいている点は高く評価できる。2006年度から2009年度まで変換効率の進展はほとんどなかったが、本プロジェクトを着手後、着実に効率が向上している。このため世界での比較においても日本企業がリーダーシップを発揮できる可能性はある。

解決策として挙げられている高性能色素の開発、材料・組成の最適化などはやや不明瞭な部分があり、その有効性については未知の部分が多い。また、耐久性・安定性、また電解液の固体化などの課題を今後着実に解決していく必要がある。

今後、実用化に向けては、劣化メカニズムの解明など基礎的な領域にも力をいれるとともに、入射光角度依存性が小さい、低照度での変換効率が高い等の無機系太陽電池には無い特色を活かした用途や市場、コストの面での更なる創意・工夫を強く意識した取り組みを進める必要がある。

〈肯定的意見〉

- 各グループとも、高効率化やモジュール化技術に関して詳細に検討を重ね、変換効率の値そのものは着実に向上していると考えられる。
- 製造コストが安いことや発電性能の入射光角度依存性が小さいといった、色素増感太陽電池ならではの特色を活かした用途や市場についても十分に検討されていると感じられる。
- モジュールの耐久性の向上、高い変換効率など優れた結果が得られ、現時点での成果は、一部を除いて概ね中間目標を達成している。新素子構造、新材料の適用の有効性が確立できれば、将来的な戦略としても新たな技術領域を開拓することが期待できる。
- 色素増感太陽電池の研究は着実に進歩しており事業化レベルに近づいている。本プロジェクトでは「高電圧型」、「大電流型」、「フィルム型」の3つに分かれて研究を進めているが、それぞれ用途をきちんと決めれば実用化につながる。
- 色素増感太陽電池は、低コストで作製できると期待される太陽電池であり、基礎レベルから系統的に開発研究を展開している点は高く評価できる。今後も着実に開発研究が進展することに期待したい。
- 目標に向かって着実に努力されていることが伺われる。省エネルギーや消費電力の少ない電気製品の自立化電源という観点から、特にフィルム型に

対する期待は大きく、さらに研究開発を加速されることを期待する。

- 中間目標は達成されており継続的な進展が望まれる。
- 効率・耐久性に関して着実な成果が上げられており、実用化への筋道が見えつつあり評価できる。
- 性能の改善が進んでおり、今後は楽しみなテーマである。世界での比較において、日本企業がリーダーシップを発揮できる可能性はある。
- セル高効率化のための要素技術開発において、大きな進展がみられる。

〈問題点・改善すべき点〉

- 色素増感型太陽電池の特徴を十分に引き出すための目標設定の再検討が必要と感じた。耐久性試験の要求が系統電力への供給をターゲットにしたシリコン系太陽電池に対応している。本プロジェクトにおける出口製品も、実施者の本意ではないにしろ、シリコン系と対等なものを狙っているようにしか見えない。散乱光を有効に使える、光強度の減少と共に変換効率が上昇する、といった無機系にはない特徴を活かした出口製品の提示もあるが、高付加価値の製品を産み出す新産業創出を目指す上では、当面、シリコン系と同じターゲットでの事業展開は非常に苦しいと言わざるを得ない。新規マーケット探索と確保が事業化と直結することを念頭に、出口製品の目標設定の見直しをするべきではないか。
- 色素増感太陽電池は、現在、変換効率が 11%前後と報告されているが、数年前からほとんど進展していない。変換効率の最終目標が 15%であるが、この目標を達成するために、この後どのような課題があるか明確にすべきである。また、耐久性・安定性、また電解液の固体化などの課題を今後着実に解決していく必要がある。
- 色素増感太陽電池の出口が若干不透明である。この電池の利点を生かした応用先を明確にしていく必要がある。屋内用太陽電池は屋外用の場合と比べるとかなり要求される仕様が異なると思われる。また、屋内用の場合の特徴は何かを明確にし、応用例とその場合のコスト評価など検討する必要がある。
- 3 グループの研究開発の内容に類似点が多く見受けられる。例えば、変換効率を左右する色素の開発とそれ以外の部分の開発を分けるなど、効率的な研究開発推進のための工夫はできないものか。
- 太陽電池性能の劣化メカニズムの解明が不十分である。信頼性確保は非常に重要な課題であり、今の時点でまだメカニズムの解明が十分進んでいないのは問題である。基礎研究に関する部分の検討が不十分と感じられる。
- 高効率化に関する最終目標達成への解決策として挙げられている高性能

色素の開発、材料・組成の最適化などはやや不明瞭な部分があり、その有効性については未知の部分が多い。また、将来期待できる新技術開発項目と実用化を進める商品形態を速やかに抽出し、経済的波及効果を示す具体的対策が必要と思われる。

- 他部材系太陽電池との差別化が必要。
- 燃料電池との一体化等による発電・充電一体化等への展開が望まれる。
- わずかでも商品（サンプル提供品）を出して、ユーザーからの意見を取るべきではないか。
- 大きな課題であった耐久性については大きな成果が得られているが、コストの面で実用化するには更なる創意・工夫が必要である。
- 要素技術や材料が多くの企業に分散しており、実用化、事業化において、中心的な役割を果たす企業がない。特定の企業の技術を、他の企業がアクセス出来かが課題である。
- モジュールの耐久性目標に対して、劣化メカニズムの解明をこれからしていくのではなく、できるだけ前倒しにして課題の抽出を行い、今後の計画に反映すべきである。

〈今後に対する提言・その他の意見〉

- ・ いずれのテーマも、色素の耐久性を検討や電解液の固体化の検討が必要である。また、色素増感太陽電池の特徴を活かした応用例（出口イメージ）の検討も必要である。
- ・ 色素の開発は共通基盤技術の中で進めるのが適当と思われる。
- ・ 有機薄膜太陽電池を含め、エネルギー供給としての実用化までもう少し時間が必要な課題であるが、将来発展すると期待できる研究開発項目については、NEDO 以外の事業も含めて、これまでの成果を新しい応用展開として活用する手立ても考えるべきである。
- ・ 太陽電池の安定性・耐久性が無機系に比べて劣る点を早急に改善していく必要がある。無機系太陽電池には無い特色（入射光角度依存性が小さい、低照度での変換効率が高等）を活かした用途や市場を強く意識した事業化研究を加速するべきである。
- ・ まだ業界とし科学的な知見やマイクロな解析、デバイスシミュレーション等の技術の成熟していない段階であり、基礎的な領域にも力をいれ、知的財産の蓄積を図ることをしなければ、将来禍根を残す事態に陥る可能性がある。
- ・ 実用化に向けて、用途開拓を進めてほしい。
- ・ 複数のチームが開発を進めており、それぞれのチームの技術を融合するこ

とで、実用化へのスケジュールを前倒しする必要がある。

2. 5 有機薄膜太陽電池

1) 成果ならびに実用化、事業化の見通しに関する評価と今後の提言

有機薄膜太陽電池は、低コストで簡便なプロセスで製造できる太陽電池であり、将来、早い段階で実用化に至る電池として期待できる。着実に最重要課題である材料開発、熱的安定性、封止技術開発など性能向上が計られ、モジュールの変換効率が劇的に向上した点など概ね中間目標を達成している。製品イメージは多様で、初期のニッチ展開からシリコン系の代替へと展開して行くイメージが描けており、プロジェクトの成果としては十分に期待感を持たせるものである。

一方、有機薄膜太陽電池の特徴を捉え出口製品に対応した耐久性や価格設定など、目標設定や評価基準の見直しが必要である。有機系太陽電池の特徴は圧倒的低コスト化の可能性であり、実用化、事業化を真剣に見据えた素子構造や部材の見直しなど、もう一段ハイレベルな低コスト化のための技術戦略が欲しい。また、大幅な性能向上を目指し、効率の向上やブレークスルーとなる技術の探索にも挑戦すべきであろう。実用化に向けて、寿命や耐久性の評価も重要である。

〈肯定的意見〉

- 有機薄膜太陽電池は、低コストで簡便なプロセスで製造できる太陽電池であり、将来、早い段階で実用化に至る電池として期待できるため、今後も継続的に研究開発を進めるべきである。
- コンソーシアムの形成でモジュールの変換効率が劇的に向上した点は高く評価できる。さらなる研究開発の進展に期待したい。
- 研究開発の加速が著しく、ノビシロの大きさを予感させる。有機薄膜太陽電池の特徴を捉えた適切な出口製品の設定がなされている。製品イメージが多様であり、初期のニッチ展開からシリコン系の代替へと展開して行くイメージが描け、十分な期待感を持たせるものである。
- これまでに報告されている Si、化合物系に比較すれば性能、安定性はまだまだですが、着実に材料開発、性能向上が計られている。特にドナー/アクセプター材料開発、熱的安定性、封止技術開発が最重要課題であるが、中間目標は概ね達成されている。
- 蓄電機能、屋内用として新しい適用可能性を示す優れた結果が得られており、一部を除き概ね中間目標を達成している。また、最終目標に向けた問題解決も明確となっており、新たな技術領域を開拓することが期待される。
- 市場がまだ形成されていない屋内環境下の適用分野において、十分普及可能な効率かつ圧倒的な低コストを実現できる太陽電池であり、今後も積極

的に研究開発を進める必要がある。

- 変換効率の向上が目覚ましく、プロジェクトの成果が十分に得られていると評価できる。室内用に限れば、シリコン系よりも性能が優れており、しかも低コストで製造できる。近い将来の事業化を期待したい。
- もう一步性能を向上させることができれば、事業化は可能である。
- 紫外線対策等の結果、有機の弱点とされてきた長期の信頼性の問題が当初の予想より少なくできることは成果である。
- 中間目標はほぼ達成しており評価できる。

〈問題点・改善すべき点〉

- 海外での高効率新型素子開発も進んでおり、太陽電池としての世界的開発力と実用化についてはやや懸念される部分であり、成果を新しい応用分野で有効に活用する手立ても平行して検討する必要がある。
- 実用化に向けて、寿命や耐久性の評価が重要と思われる。コンソーシアムによる研究連携で研究を加速すべきである。また、世界の研究動向を見据えた上での目標の再検討と今後の研究課題の明確化も必要であろう。
- 無機系に比べて大幅な製造コストの低減が見込まれているが、実際にどの程度の低コスト化が可能なのか。室内用として割り切った上で、エネルギーペイバックタイムを明確にしながら研究開発を進めて欲しい。
- 有機薄膜太陽電池の特徴を捉えた出口製品に対応した耐久性や価格の設定など、きめ細かな目標設定や評価基準の見直しが必要ではないか。研究開発の著しい加速をより一層サポートする、基礎研究の充実に心がけて頂きたい。
- プロセス雰囲気制御や封止技術の高度化による高効率化や耐久性向上、さらにタンデム化など素子構造の複雑化による高効率化など、有機系太陽電池の特徴である圧倒的低コスト化の可能性と逆行する技術的方向性が打ち出されている。”大量生産の段階になれば、必ずや低コスト化が達成される”という安易なシナリオではなく、実用化、事業化を真剣に見据えて、素子構造や部材の見直しなど、もう一段ハイレベルな低コスト化のための簡素な技術戦略が欲しい。
- 一部コンソーシアムの体制と役割分担が不明確な点がある。
- 屋外、屋内設置用太陽電池としての説明があるが、有機系では薄膜 Si 系太陽電池との差別化が課題である。有機系太陽電池の優位性については、特に薄膜 Si 系との比較・優位性に関して今後とも継続的に判断すべき。
- 継続的には、有機系のみで閉じた研究開発になっている感があるが、他材料系とのハイブリッドも視野にいたった研究が必要。

- 耐久性の向上が課題。
- 製造プロセスが簡単なことから、低コスト化が期待されるが、耐久性に関して課題があることから、更なる開発・評価に注力する必要がある。
- 大幅な性能向上を目指して、効率の向上やブレークスルーとなる技術の探索に挑戦すべきである。こうしたテーマが見られない。
- 要素技術や材料ごとに分かれており、全体を纏め、事業化を推進していく中心的な企業やグループがない。
- 最終目標を達成するための課題とその対策を整理すべきである。

〈今後に対する提言・その他の意見〉

- ・ 色素増感を含め、有機薄膜太陽電池は実用化までもう少し時間が必要であるが、将来発展すると期待できる研究開発テーマについては、NEDO 以外の事業やプロジェクトとしての検討も含め、これまでの成果を有効に活用する対策を講じる必要もある。
- ・ 屋内用有機太陽電池は屋内用と比べるとかなり要求される仕様が異なると思われる。本事業の中でどのように位置づけるか再検討が必要である。
- ・ 変換効率の向上が目覚ましいことから、実用化・事業化が大いに期待できるが、そのために、材料や構造の最適化、封止技術や印刷技術、モジュール技術、装置技術等、多岐にわたるさらなる製造技術開発が求められる。そのためには、結晶 Si 太陽電池と同じようなコンソーシアムの形成が必要ではないか。
- ・ 無機系太陽電池には無い特色（入射光角度依存性が小さい、低照度での変換効率が高い等）を活かした用途や市場を強く意識した事業化研究を加速すべきである。
- ・ 部材開発に関しては長期的な研究継続が必要であると思われる。特に薄膜 Si 系に変わる優位性を見出す研究開発が必要と思われる。有機系太陽電池系としての展開よりは、ドナー、アクセプター分子のみを結晶 Si 系、化合物系とのハイブリッドで高効率化させるほうが現実的ではないか（個人的意見ですが）。
- ・ 家庭や屋内などの省エネ分野等への応用も重要な商品開発ではあるが、当該分野は個別の企業が自己の資金で行うことが好ましい。最低でも家庭やモビリティなど用途に使用可能な電力量の創出できる技術を育成すべきである。電子デバイスの分野まで、NEDO の研究費を使用することは問題である。
- ・ 効率のみならず、実用化のためには有機ならでは圧倒的な優位性を主張できるターゲットを設定する必要がある。

- 着実に成果を上げており、屋内用途への適用可能性が高い太陽電池であることから、早期に実用化に向けた取り組みを期待する。
- 実用化に向けて用途開拓を進めてほしい。

2. 6 共通基盤技術

1) 成果ならびに実用化、事業化の見通しに関する評価と今後の提言

封止技術の開発研究、太陽光発電システムの据付工程に関する研究、評価技術の開発など、太陽電池開発において共通する重要な個別テーマが選択され、各個別テーマは概ね中間目標を達成している。ハイガスバリアフィルムや封止技術の開発は、特に低コストな有機系太陽電池の普及拡大にとってキーテクノロジーであり、さらなる研究の高度化と早期の事業化の推進が期待される。また、高性能な封止技術や高度で新しい評価技術は、太陽電池開発に関して世界の中で日本がリーダーシップを発揮していく上でも重要である。

それぞれの技術開発の成果を、どのように個々の太陽電池開発にフィードバックしていくかが今後の課題であり、プロジェクトリーダーの今後のリーダーシップに期待したい。

〈肯定的意見〉

- 太陽電池そのものの開発と並行して開発が進められているこれらの共通基盤技術の開発は、将来の太陽光発電システムの利用拡大と技術発展のために非常に重要である。個々のテーマにおいても、既に十分な成果が得られていると感じられ、近い将来の事業化が期待できる。
- ハイガスバリアフィルムや封止技術の開発は、特に低コストな有機系太陽電池の普及拡大にとってキーテクノロジーである。現時点においてもハイレベルな成果が得られていると感じられるが、さらなる研究の高度化と早期の事業化を推進してもらいたい。
- 封止技術の開発研究、太陽光発電システムの据付工程に関する研究、評価技術の開発など、まさに共通基盤技術として適切な研究課題が設定されており、また、研究成果も着実に得られている点は高く評価できる。今後の研究のさらなる進展に期待したい。
- 太陽電池開発において共通する重要な個別テーマが選択され、各個別テーマは概ね中間目標を達成している。また、ハイガスバリアフィルム、耐熱フィルム、システム据付、リサイクル技術の実用化の見通しは明確となっており、他の応用分野にも適用できる面からも期待できる。
- 中間目標は達成されており、最終目標の達成とともに早急な実用化が望まれる。信頼性・寿命評価技術、PVシステム汎用リサイクル処理法に関する研究開発では、今後よりその位置づけは重要視されるため継続的な研究開発が望まれる。
- 開発した成果に関して実用化に向けた具体的な取組みが実施されており、本事業が有効にビジネス展開されるフェーズに至っており、大きな成果が

上げられている。

- 太陽光発電の普及を図るための、共通の基礎技術が着実に進展していることを確認した。
- テーマごとに進捗はある。
- 順調に目標を達成している。

〈問題点・改善すべき点〉

- 共通基盤技術は本事業で統合された研究開発テーマであるが、その役割、また本事業の中での位置づけがまだ明確になっていないように見受けられる。材料開発などの基盤技術か、国際標準化なども含めたシステムの整備か、どこに注力していくか、また、並行して進めていくのであれば、研究グループの整理（グルーピングなどの組織編制）をどのように行うかも検討する必要があるように思う。
- それぞれの技術開発の成果をどのように個々の太陽電池開発にフィードバックしていくかが今後の課題である。プロジェクトリーダーの今後のリーダーシップに期待したい。
- 信頼性・寿命評価技術に関しては、AISTだけでなく認証機関の新たな設置や、よりスピーディな認証が望まれる。
- PV システム汎用リサイクル処理法に関する研究開発では、希少金属だけでなくシリコンの回収まで含めた展開を期待したい。
- 発電データ、リサイクル技術項目においては日本の特定地域からの展開から、国際標準化と海外事業展開に向けた具体案は必ずしも明確になっていない印象である。また、基礎技術とノウハウを含む開発項目ではあるが、知的財産権の取得、新聞・雑誌発表等の公表が少ないのがやや気になる点である。
- 企業間の連携が必要。
- 太陽電池以外の BOS の開発テーマが少なく、このままだとシステム価格の低減が進まず、PV 大量導入のシナリオがくずれることが懸念される。
- 低価格化をサポートするハイガスバリアフィルムやラミネート技術を、プロジェクト内の他のチームにフィードバックする“適切な制度設計”が必要と感じた。

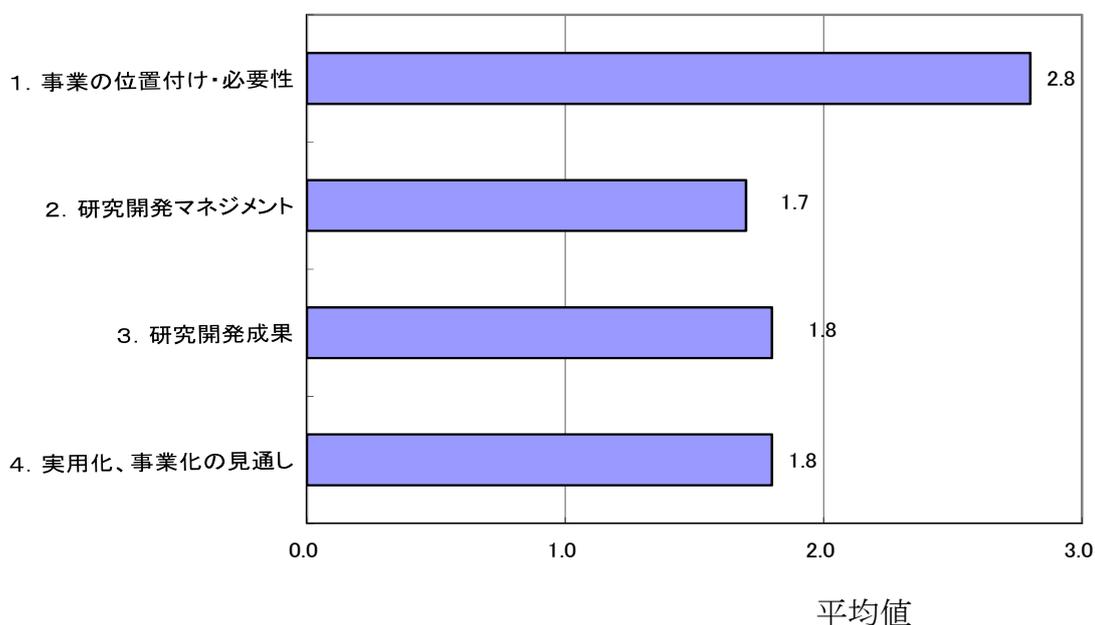
〈今後に対する提言・その他の意見〉

- ・ Cat-CVD による封止技術は蒸気透過度の評価などの基礎的性能評価をさらに入念に行うべきであろう。この技術は例えば有機 EL などの他のデバイスにも応用できる技術であるため、今後の研究の進展に期待したい。

- ロールツーロールプロセスによる封止技術は太陽電池セルに与えるダメージの評価とその解決策の提示が必要である。
- ボルトレスのパネル据付工程の開発はユニークであるが、この技術の優位性を明確にして欲しい。
- 評価技術開発はその役割は重要と考える。目標達成度を測定・判断するための指標として、変換効率が第一に挙げられているが、この変換効率の妥当性については判断基準設定などを検討していただきたい。多くの研究テーマにおいて、変換効率の値が示されているが、その数値の誤差は示されない。もちろん、実用化デバイスにおいては、細かい誤差より動けば良いということもあるが、変換効率を目標値として設定する場合には、ばらつきの問題を回避すべきではない。例えば、誤差が10%の場合に、1%の変換効率の向上が認められたといった場合、その数値の信頼性としっかりと示すべきであろう。その意味で、評価法の標準化が重要である。
- 太陽電池、エネルギーに限定されない重要な共通基礎技術であり、他の事業やプロジェクトでの展開にこれまでの成果を有効に活用できる手立ても早くから検討を進めるべきであると考え。国際標準化と海外事業展開に向けては、関連他機関への協力などを含めて積極的な対処も必要と思われる。
- 高性能な封止技術や高度で新しい評価技術は、太陽電池開発に関して世界の中で日本がリーダーシップを発揮していく上で重要と考えられ、今後も研究開発を継続してもらいたい。
- PV システム汎用リサイクル処理法に関する研究開発は、今後各社でも取り組んで欲しい。
- シート、封止材、フレームレス技術などを共通基盤技術のテーマで開発し、得られた成果を5つの太陽電池のテーマにフィードバックすることで、複合的な高い技術を有する製品化に結びつける取組みが必要ではないか。
- 小規模リサイクルはこれから随時開始する必要があるが、大量の太陽電池リサイクルが始まるまでには、まだ時間的猶予がある。それを踏まえて、コストと言う観点のみではなく、資源の有効利用という立場を鮮明にして研究開発して頂きたい。例えば、シリコンの回収と資源化など。

3. 評点結果

3. 1 プロジェクト全体



評価項目	平均値	素点 (注)								
1. 事業の位置付け・必要性について	2.8	A	A	A	A	A	A	A	B	B
2. 研究開発マネジメントについて	1.7	A	B	B	B	C	B	C	C	C
3. 研究開発成果について	1.8	A	B	B	B	B	C	C	B	C
4. 実用化、事業化の見通しについて	1.8	A	B	B	B	B	B	C	C	C

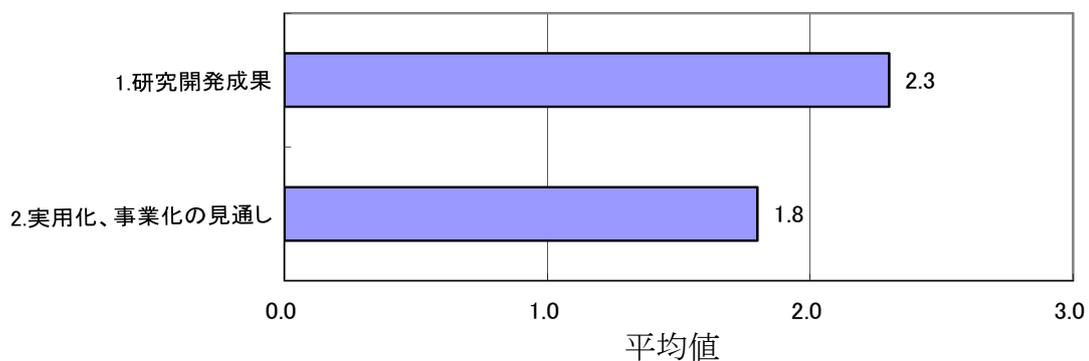
(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

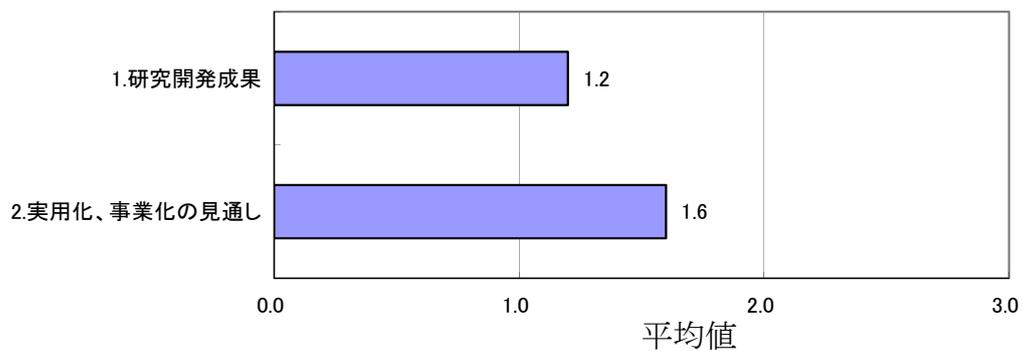
1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない、又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 実用化、事業化の見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当であるが、課題あり →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

3. 2 個別テーマ

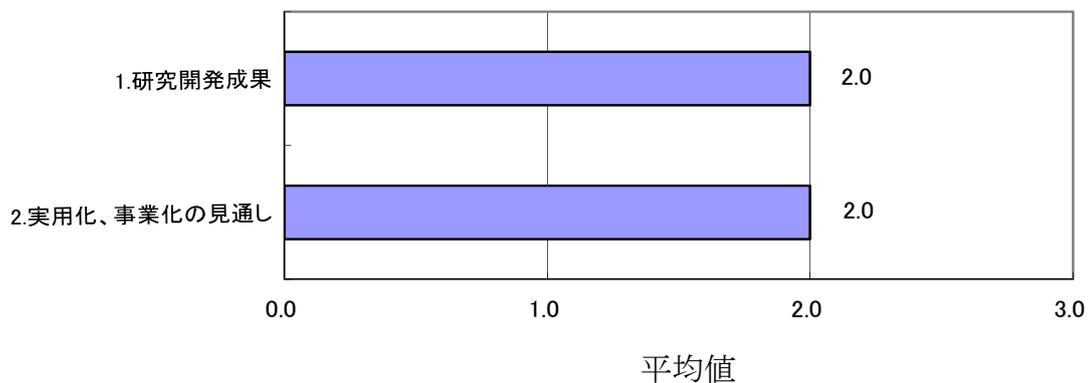
3. 2. 1 結晶シリコン太陽電池



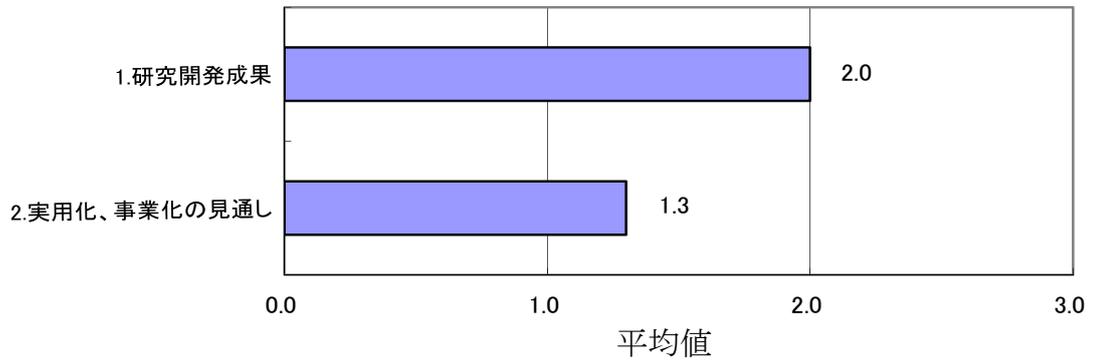
3. 2. 2 薄膜シリコン太陽電池



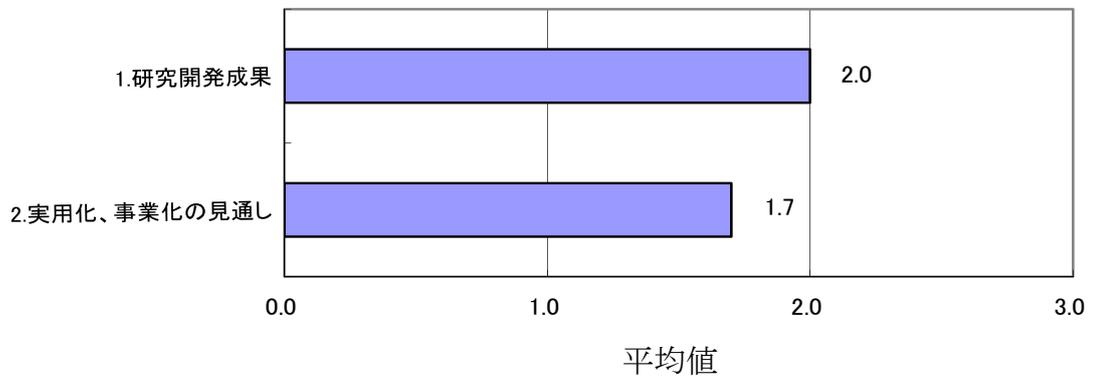
3. 2. 3 C I S等化合物系太陽電池



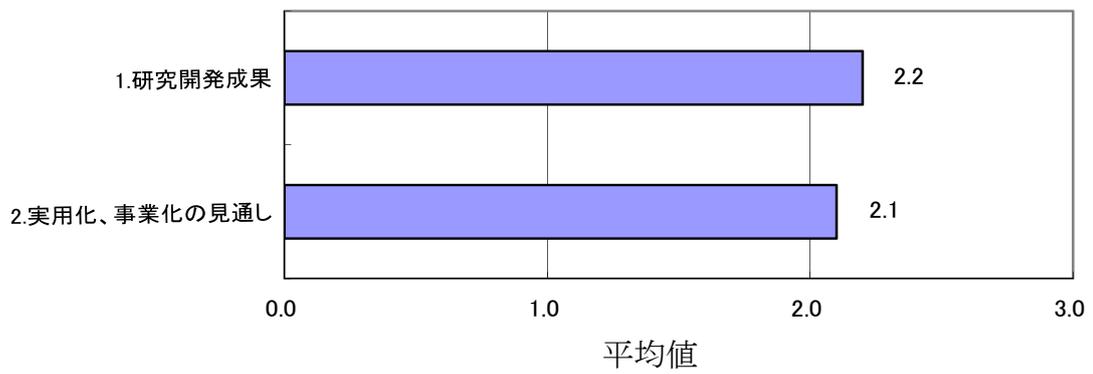
3. 2. 4 色素増感太陽電池



3. 2. 5 有機薄膜太陽電池



3. 2. 6 共通基盤技術



個別テーマ名と評価項目	平均値	素点 (注)									
3. 2. 1 結晶シリコン太陽電池											
1. 研究開発成果について	2.3	A	A	A	B	B	B	B	A	C	
2. 実用化、事業化の見通しについて	1.8	B	B	B	B	B	B	B	C	C	
3. 2. 2 薄膜シリコン太陽電池											
1. 研究開発成果について	1.2	B	B	C	C	C	C	C	C	C	
2. 実用化、事業化の見通しについて	1.6	B	B	B	B	B	B	C	C	D	
3. 2. 3 CIS等化合物系太陽電池											
1. 研究開発成果について	2.0	A	A	B	B	B	B	C	B	C	
2. 実用化、事業化の見通しについて	2.0	A	A	B	B	B	B	B	C	C	
3. 2. 4 色素増感太陽電池											
1. 研究開発成果について	2.0	A	B	B	A	B	B	B	B	D	
2. 実用化、事業化の見通しについて	1.3	A	B	B	C	C	C	C	C	D	
3. 2. 5 有機薄膜太陽電池											
1. 研究開発成果について	2.0	A	A	A	B	B	B	B	C	D	
2. 実用化、事業化の見通しについて	1.7	A	B	B	B	B	B	C	C	D	
3. 2. 6 共通基盤技術											
1. 研究開発成果について	2.2	A	A	A	B	B	B	B	B	C	
2. 実用化、事業化の見通しについて	2.1	A	A	A	B	B	B	B	C	C	

(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

1. 研究開発成果について	2. 実用化、事業化の見通しについて
・非常によい	→A ・明確 →A
・よい	→B ・妥当 →B
・概ね適切	→C ・概ね妥当であるが、課題あり →C
・適切とはいえない	→D ・見通しが不明 →D

第2章 評価対象プロジェクト

1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

太陽エネルギー技術開発／
太陽光発電システム次世代高性能技術の開発
(中間評価)分科会
資料 5-1

「太陽エネルギー技術開発／
太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」

事業原簿
【公開】

担当部	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー部
-----	------------------------------------

—目次—

概要 プロジェクト用語集

I. 事業の位置付け・必要性について	
1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性	I-1 [1]
1.1 NEDOが関与することの意義	
1.2 実施の効果(費用対効果)	
2. 事業の背景・目的・位置づけ	I-2 [1]
II. 研究開発マネジメントについて	
1. 事業の目標	II-1 [1]
2. 事業の計画内容	II-2 [1]
2.1 研究開発の内容	
2.2 研究開発の実施体制	
2.3 研究の運営管理	
3. 情勢変化への対応	II-3 [1]
III. 委託テーマの成果詳細と実用化・事業化見通し	
1. 事業全体の成果	
(イ) 結晶シリコン太陽電池	III-1-(イ) [1]
(ロ) 薄膜シリコン太陽電池	III-1-(ロ) [1]
(ハ) CIS・化合物系太陽電池	III-1-(ハ) [1]
(ニ) 色素増感太陽電池	III-1-(ニ) [1]
(ホ) 有機薄膜太陽電池	III-1-(ホ) [1]
(ヘ) 共通基盤技術	III-1-(ヘ) [1]
2. 研究開発項目毎の成果と実用化・事業化見通し	
(イ) 結晶シリコン太陽電池	
A 極限シリコン結晶太陽電池の研究開発	
1. 成果詳細	III-2-(イ)-A-1 [1]
2. 実用化・事業化見通し	III-2-(イ)-A-2 [1]
3. 波及効果	III-2-(イ)-A-3 [1]
4. 今後の展開	III-2-(イ)-A-4 [1]
5. 特許論文リスト	III-2-(イ)-A-5 [1]
B マルチワイヤーソーによるシリコンウェハ切断技術の研究開発	
1. 成果詳細	III-2-(イ)-B-1 [1]
2. 実用化・事業化見通し	III-2-(イ)-B-2 [1]
3. 波及効果	III-2-(イ)-B-3 [1]
4. 今後の展開	III-2-(イ)-B-4 [1]
5. 特許論文リスト	III-2-(イ)-B-5 [1]

C 太陽電池用ポリシリコンのシリコン原料転換の研究開発	
1. 成果詳細	Ⅲ-2-(イ)-C-1 [1]
2. 実用化・事業化見通し	Ⅲ-2-(イ)-C-2 [1]
3. 波及効果	Ⅲ-2-(イ)-C-3 [1]
4. 今後の展開	Ⅲ-2-(イ)-C-4 [1]
5. 特許論文リスト	Ⅲ-2-(イ)-C-5 [1]
D 太陽電池用シリコンの革新的プロセスの研究開発	
1. 成果詳細	Ⅲ-2-(イ)-D-1 [1]
2. 実用化・事業化見通し	Ⅲ-2-(イ)-D-2 [1]
3. 波及効果	Ⅲ-2-(イ)-D-3 [1]
4. 今後の展開	Ⅲ-2-(イ)-D-4 [1]
5. 特許論文リスト	Ⅲ-2-(イ)-D-5 [1]
(ロ) 薄膜シリコン太陽電池	
A 次世代多接合薄膜シリコン太陽電池の産学官協力体制による開発(高効率化)	
1. 成果詳細	Ⅲ-2-(ロ)-A-1 [1]
2. 実用化・事業化見通し	Ⅲ-2-(ロ)-A-2 [1]
3. 波及効果	Ⅲ-2-(ロ)-A-3 [1]
4. 今後の展開	Ⅲ-2-(ロ)-A-4 [1]
5. 特許論文リスト	Ⅲ-2-(ロ)-A-5 [1]
B 次世代多接合薄膜シリコン太陽電池の産学官協力体制による開発(大面積化)	
1. 成果詳細	Ⅲ-2-(ロ)-B-1 [1]
2. 実用化・事業化見通し	Ⅲ-2-(ロ)-B-2 [1]
3. 波及効果	Ⅲ-2-(ロ)-B-3 [1]
4. 今後の展開	Ⅲ-2-(ロ)-B-4 [1]
5. 特許論文リスト	Ⅲ-2-(ロ)-B-5 [1]
C 高度構造制御薄膜シリコン太陽電池の研究開発	
1. 成果詳細	Ⅲ-2-(ロ)-C-1 [1]
2. 実用化・事業化見通し	Ⅲ-2-(ロ)-C-2 [1]
3. 波及効果	Ⅲ-2-(ロ)-C-3 [1]
4. 今後の展開	Ⅲ-2-(ロ)-C-4 [1]
5. 特許論文リスト	Ⅲ-2-(ロ)-C-5 [1]
D 薄膜シリコンフィルム太陽電池の高速製膜技術の研究開発	
1. 成果詳細	Ⅲ-2-(ロ)-D-1 [1]
2. 実用化・事業化見通し	Ⅲ-2-(ロ)-D-2 [1]
3. 波及効果	Ⅲ-2-(ロ)-D-3 [1]
4. 今後の展開	Ⅲ-2-(ロ)-D-3 [1]
5. 特許論文リスト	Ⅲ-2-(ロ)-D-4 [1]
(ハ) CIS・化合物系太陽電池	
A CIS系薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発	
1. 成果詳細	Ⅲ-2-(ハ)-A-1 [1]

2. 実用化・事業化見通し	Ⅲ-2-(ハ)-A-2	[1]
3. 波及効果	Ⅲ-2-(ハ)-A-3	[1]
4. 今後の展開	Ⅲ-2-(ハ)-A-4	[1]
5. 特許論文リスト	Ⅲ-2-(ハ)-A-5	[1]
B フレキシブル CIGS 太陽電池モジュール高効率化研究		
1. 成果詳細	Ⅲ-2-(ハ)-B-1	[1]
2. 実用化・事業化見通し	Ⅲ-2-(ハ)-B-2	[1]
3. 波及効果	Ⅲ-2-(ハ)-B-3	[1]
4. 今後の展開	Ⅲ-2-(ハ)-B-4	[1]
5. 特許論文リスト	Ⅲ-2-(ハ)-B-5	[1]
C 反射式集光型太陽光発電システムの研究開発		
1. 成果詳細	Ⅲ-2-(ハ)-C-1	[1]
2. 実用化・事業化見通し	Ⅲ-2-(ハ)-C-2	[1]
3. 波及効果	Ⅲ-2-(ハ)-C-3	[1]
4. 今後の展開	Ⅲ-2-(ハ)-C-4	[1]
5. 特許論文リスト	Ⅲ-2-(ハ)-C-5	[1]
(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. 成果詳細	Ⅲ-2-(ニ)-A-1	[1]
2. 実用化・事業化見通し	Ⅲ-2-(ニ)-A-2	[1]
3. 波及効果	Ⅲ-2-(ニ)-A-3	[1]
4. 今後の展開	Ⅲ-2-(ニ)-A-4	[1]
5. 特許論文リスト	Ⅲ-2-(ニ)-A-5	[1]
B ガラス基板型色素増感太陽電池(電流型)の研究開発		
1. 成果詳細	Ⅲ-2-(ニ)-B-1	[1]
2. 実用化・事業化見通し	Ⅲ-2-(ニ)-B-2	[1]
3. 波及効果	Ⅲ-2-(ニ)-B-3	[1]
4. 今後の展開	Ⅲ-2-(ニ)-B-4	[1]
5. 特許論文リスト	Ⅲ-2-(ニ)-B-5	[1]
C プラスチック基板型色素増感太陽電池の研究開発		
1. 成果詳細	Ⅲ-2-(ニ)-C-1	[1]
2. 実用化・事業化見通し	Ⅲ-2-(ニ)-C-2	[1]
3. 波及効果	Ⅲ-2-(ニ)-C-3	[1]
4. 今後の展開	Ⅲ-2-(ニ)-C-4	[1]
5. 特許論文リスト	Ⅲ-2-(ニ)-C-5	[1]
(ホ) 有機薄膜太陽電池		
A 汎用型有機薄膜太陽電池の研究開発		
1. 成果詳細	Ⅲ-2-(ホ)-A-1	[1]
2. 実用化・事業化見通し	Ⅲ-2-(ホ)-A-2	[1]

3. 波及効果	Ⅲ-2-(ホ)-A-3	[1]
4. 今後の展開	Ⅲ-2-(ホ)-A-4	[1]
5. 特許論文リスト	Ⅲ-2-(ホ)-A-5	[1]
B 蓄電機能付有機薄膜太陽電池の研究開発		
1. 成果詳細	Ⅲ-2-(ホ)-B-1	[1]
2. 実用化・事業化見通し	Ⅲ-2-(ホ)-B-2	[1]
3. 波及効果	Ⅲ-2-(ホ)-B-3	[1]
4. 今後の展開	Ⅲ-2-(ホ)-B-4	[1]
5. 特許論文リスト	Ⅲ-2-(ホ)-B-5	[1]
(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	Ⅲ-2-(へ)-A-1	[1]
2. 実用化・事業化見通し	Ⅲ-2-(へ)-A-2	[1]
3. 波及効果	Ⅲ-2-(へ)-A-3	[1]
4. 今後の展開	Ⅲ-2-(へ)-A-4	[1]
5. 特許論文リスト	Ⅲ-2-(へ)-A-5	[1]
B ロールツーロールプロセスを可能とする封止材一体型保護シートの研究開発		
1. 成果詳細	Ⅲ-2-(へ)-B-1	[1]
2. 実用化・事業化見通し	Ⅲ-2-(へ)-B-2	[1]
3. 波及効果	Ⅲ-2-(へ)-B-3	[1]
4. 今後の展開	Ⅲ-2-(へ)-B-4	[1]
5. 特許論文リスト	Ⅲ-2-(へ)-B-5	[1]
C 太陽光発電システムの据付工程簡便化に関する研究開発		
1. 成果詳細	Ⅲ-2-(へ)-C-1	[1]
2. 実用化・事業化見通し	Ⅲ-2-(へ)-C-2	[1]
3. 波及効果	Ⅲ-2-(へ)-C-3	[1]
4. 今後の展開	Ⅲ-2-(へ)-C-4	[1]
5. 特許論文リスト	Ⅲ-2-(へ)-C-5	[1]
D 発電量評価技術等の開発及び信頼性及び寿命評価技術の開発		
1. 成果詳細	Ⅲ-2-(へ)-D-1	[1]
2. 実用化・事業化見通し	Ⅲ-2-(へ)-D-2	[1]
3. 波及効果	Ⅲ-2-(へ)-D-3	[1]
4. 今後の展開	Ⅲ-2-(へ)-D-4	[1]
5. 特許論文リスト	Ⅲ-2-(へ)-D-5	[1]
E PV システム汎用リサイクル処理手法に関する研究開発		
1. 成果詳細	Ⅲ-2-(ハ)-E-1	[1]
2. 実用化・事業化見通し	Ⅲ-2-(ハ)-E-2	[1]
3. 波及効果	Ⅲ-2-(ハ)-E-3	[1]
4. 今後の展開	Ⅲ-2-(ハ)-E-4	[1]

5. 特許論文リスト	Ⅲ-2-(ハ)-E-5 [1]
F 太陽光発電技術開発動向等の調査	
1. 成果詳細	Ⅲ-2-(ハ)F-1 [1]
2. 実用化・事業化見通し	Ⅲ-2-(ハ)F-2 [1]
3. 波及効果	Ⅲ-2-(ハ)F-3 [1]
4. 今後の展開	Ⅲ-2-(ハ)F-4 [1]
5. 特許論文リスト	Ⅲ-2-(ハ)F-5 [1]

(添付資料)

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

概要

作成日 平成24年7月31日

プログラム名	エネルギーイノベーションプログラム						
プロジェクト名	太陽エネルギー技術開発 太陽光発電システム次世代高性能技術の開発	プロジェクト番号	P07015				
担当推進部	新エネルギー部						
0. 事業の概要	<p>本事業では、低炭素社会の実現のため我が国政府が打ち出した目標(2009年4月9日内閣総理大臣講演)(太陽光発電の導入規模を2020年に現状の20倍(26GW)、2030年に40倍(53GW)にする)の達成に資する研究開発として、モジュール高効率化及びコスト低減の観点から、各種太陽電池の変換効率の向上、原材料・各種部材の高機能化、モジュール長寿命化、評価技術等の共通基盤技術等の開発を行う。具体的には以下のテーマを実施する。</p> <p>(イ)結晶シリコン太陽電池のコスト低減技術、高効率化技術 (ロ)薄膜シリコン太陽電池の高効率化技術、製造コスト低減技術 (ハ)CIS・化合物系太陽電池の高効率化技術、製造プロセスの開発、集光型太陽電池の低コスト化開発 (ニ)色素増感太陽電池の高効率化技術、モジュール化技術・耐久性向上技術開発 (ホ)有機薄膜太陽電池の高効率化技術、モジュール化技術・耐久性向上技術開発 (ヘ)共通基盤技術の発電量評価技術、信頼性及び寿命評価技術、リサイクル・リユース技術、共通材料・部材・機器及びシステム関連技術、標準化支援事業及びIEA国際協力事業等</p>						
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>環境と調和した健全な経済産業活動と安全・安心な国民生活の実現を図るため、クリーンエネルギーである太陽光発電の更なる普及が待望されている。太陽光発電の更なる普及を実現するためには、これまでに蓄積した技術の更なる高効率化、共通基盤技術の発展及び低コスト化を可能とする革新的技術の開発が不可欠である。本プロジェクトは、経済性・出力安定性といった課題を克服し、新エネルギー等の自律的普及を目標とするエネルギーイノベーションプログラムの一環として実施する。</p> <p>太陽光発電の急速な普及を背景に、海外においては、太陽光発電技術の開発が精力的に取り組まれている。一方、我が国では太陽光発電ロードマップ(PV2030+)で示された技術課題の解決を通じた太陽光発電の普及拡大に邁進しており、まさに、グローバルな開発競争となっている。我が国は太陽光発電の技術開発及びその導入量・生産量において長らく世界を誇っていたが、欧州を中心に行われている導入普及政策により、市場の中心は欧州へと移っており、当該分野における我が国の競争力再建のためには、これまで以上の技術開発が必要となっている。このため、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)は、産学の科学的知見を結集して太陽光発電の技術開発を行い、これを産業技術へ繋げていく。また、社会の共通基盤として太陽光発電に係る情報の整備・提供を通じて、行政・産業界・地域社会等の関係各界で科学的知見に基づく認識の醸成を図ることを目的に、本プロジェクトを実施する。</p>						
II. 研究開発マネジメントについて							
事業の目標	太陽光発電ロードマップ(PV2030+)に記載の発電コスト目標:14円/kWh(2020年)、モジュール製造コスト目標:75円/W、モジュール変換効率目標:20%(2015~2020年時点)の実現に資する各種太陽電池の高効率化、低コスト化に係る技術を確立することを目標とする(太陽電池種類毎の具体的な達成目標は後述)。						
事業の計画内容	主な実施事項	H22fy	H23fy	H24fy	H25fy	H26fy	
	結晶シリコン太陽電池	←					→
	薄膜シリコン太陽電池	←					→
	CIS・化合物系太陽電池	←					→
	色素増感太陽電池	←					→
	有機薄膜太陽電池	←					→
	共通基盤技術	←					→
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載)(単位:百万円)	会計・勘定	H22fy	H23fy	H24fy	H25fy	H26fy	総額
	一般会計	—	—	—			
	特別会計(需給勘定)	2,932	3,979	4,421			
	契約種類: 委託(100%)、共同	増額予算	1,389	2,287	—		

研究(2/3)	総予算額	4,321	6,266	4,421		
	(委託)	3,595	5,030	3,520		
	(共同研究) :負担率2/3	726	1,236	901		
開発体制	経産省担当原課	資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギー対策課				
	プロジェクトリーダー	山口真史(豊田工業大学大学院工学研究科特任教授)(担当:下記以外)および黒川浩助(東京工業大学統合研究院特任教授)(担当:共通基盤技術の発電量評価技術、信頼性及び寿命評価技術、リサイクル・リユース技術、標準化支援事業及びIEA国際協力事業)				
	委託先	豊田工業大学、新日本ソーラーシリコン(株)、京都大学、東北大学、(株)SUMCO、九州大学、(独)物質・材料研究機構、コマツ NTC(株)、兵庫県立大学、(独)産業技術総合研究所、奈良先端科学技術大学院大学、東京工業大学、岐阜大学、シャープ(株)、三菱電機(株)、京セラ(株)、明治大学、(株)コベルコ科研、太平洋セメント(株)、弘前大学、東京大学、太陽光発電技術研究組合、(株)カネカ、富士電機(株)、昭和シェル石油(株)、富士フイルム(株)、(株)アルバック、鹿児島大学、筑波大学、豊橋技術科学大学、三井造船(株)、九州工業大学、信州大学、新日鐵化学(株)、住友大阪セメント(株)、メルク(株)、山形大学、桐蔭横浜大学、グンゼ(株)、(株)フジクラ、東京理科大学、住友化学(株)、出光興産(株)、(株)東芝、パナソニック電工(株)、早稲田大学、三菱樹脂(株)、積水化学工業(株)、デュポン(株)、(財)日本気象協会、(財)北九州産業学術推進機構、(株)資源総合システム、みずほ情報総研(株)				
情勢変化への対応	<p>日本は太陽光発電システムの導入量・生産量において長らく世界一を誇っていたが、欧州を中心に行われている導入普及政策により、市場の中心は欧州へ移り、生産量においても中国・台湾等の新興メーカーの台頭が顕著で日本の地位は相対的に低下している。</p> <p>このような近年の競争力低下と、政策面における太陽光発電の普及拡大の要請とが相まって、太陽光発電の性能の飛躍的な向上と大幅な低コスト化を狙った研究開発が求められている。それにより、住宅や商用施設等での導入促進や、未利用地等での大規模発電等、太陽光発電の適用可能域を抜本的に拡大し、さらに海外の広大な非耕作地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。</p> <p>しかしながら、太陽光発電技術を飛躍的に向上させるためには、従来技術の延長線上にない研究開発における新たな取り組みが必要不可欠である。世界的に熾烈な開発競争を展開している中で、より広い知見を結集し、それぞれが得意とする専門技術を総合することで研究開発の高度化とスピードアップを狙ったコンソーシアム形式も採用した。</p>					
評価に関する事項	事前評価	事前評価 平成 21 年度 担当部 新エネルギー技術開発部				
	中間評価	中間評価 平成 24 年度 担当部 新エネルギー部				
	事後評価	事後評価 平成 27 年度予定 担当部 新エネルギー部				
Ⅲ. 研究開発成果について	<p>豊田工業大学 大学院工学研究科特任教授 山口 真史氏を基本計画の研究項目ごとに設定した下記のテーマ(イ)～(ホ)のプロジェクトリーダー、東京工業大学 ソリューション研究機構 特任教授 黒川 浩助氏をテーマ(へ)のプロジェクトリーダーとし、その下で各研究開発の効率化を図りながら、太陽電池の種類ごとに研究分科会(後に進捗報告会に名称変更)を設け、プロジェクトリーダー及び実施者間での情報交換等により進捗状況の把握、研究方針のチェックと指導を行った。分野別に、成果概要を以下に示す。</p> <p>(イ) 結晶シリコン太陽電池</p> <p>結晶シリコン太陽電池の高効率化技術及び低コスト化に資する技術の開発を目的として22件のテーマについて継続して研究開発を行った。「極限シリコン結晶太陽電池の研究開発(次世代超薄型結晶シリコン太陽電池の低コスト・高効率化プロセス開発)(委託先シャープ株式会社)」においては、バックコンタクト太陽電池セルを試作し、90mm 角、220μ m厚で 22.1%(自社測定)の変換効率を達成した。また、「極限シリコン結晶太陽電池の研究開発(太陽電池向け 100μ mウェーハの高効率加工技術の構築)(委託先コマツNTC株式会社)」では、細線ワイヤーによる切断条件を改良し、ウェーハ厚さ 130μ m、カーフロス 115μ mを達成した。「太陽電池用シリコンの革新的プロセス研究開発(高純度原料の開発)(委託先:太平洋セメント株式会社)」では、シリカの洗浄に遠心分離</p>					

機を適用することで、洗浄コストの 50%削減の目途を得た。

(ロ) 薄膜シリコン太陽電池

薄膜シリコン太陽電池について、高効率化と製造コスト低減の開発を目的として、3件のテーマについて継続して研究開発を行った。「次世多接合薄膜シリコン太陽電池の産学官協力体制による研究開発」(委託先:太陽光発電技術研究組合)においては、小面積のタンデムセルにおいて、 SiO_x 中間層の採用、n 層の SiO_x 合金化、トップセル膜厚調整(t_{top} ~ 0.35 μm)により、安定化効率 11.7%(ガラス面反射防止層あり)を得た。また製造コスト低減の開発として、三菱重工業が開発した大面積(G5 サイズ:1.4m×1.1m)プラズマCVD装置をベースにした高生産製造装置の開発を実施中であり、 $\mu\text{c-Si}$ 製膜において $\pm 15\%$ 以下の膜厚均一性を得た。「高度構造制御薄膜シリコン太陽電池の研究開発」(共同研究先:株式会社カネカ)においては、実機サイズモジュール(980mm×950mm)から切り出した 10mm 角のセルで、初期変換効率 13.1%が得られた。「薄膜シリコンフィルム太陽電池の高速製膜技術の研究開発」(共同研究先:富士電機株式会社)においては、 $\mu\text{c-Si}$ 単接合セルで製膜速度 2.2nm/s において、変換効率 9.5%を達成した。

(ハ) CIS等化合物系太陽電池

CIS 系薄膜太陽電池の高効率化技術及び軽量基板上への太陽電池の形成技術の開発を目的として2件のテーマについて継続して研究開発を行った。「フレキシブル CIGS 太陽電池モジュールの高効率化研究」(委託先:富士フィルム株式会社、株式会社アルバック、国立大学法人鹿児島大学、国立大学法人筑波大学、国立大学法人豊橋技術科学大学)において、フレキシブル基板上の集積型サブモジュールのプロセス技術を開発し、10cm 角サブモジュールで変換効率 15.9%を達成した。またフレキシブル基板上に連続で CIGS 太陽電池を製造するためのロール・トゥ・ロール製造装置の開発も実施中である。「CIS 系薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発」(委託先:昭和シェル石油株式会社)においては 30cm 角サブモジュールで中間目標(変換効率 17%)を大幅に超える変換効率 17.8%を達成した。

(ニ) 色素増感太陽電池

色素増感太陽電池の高効率化・高耐久化およびモジュール開発を目的として、12件のテーマについて継続して研究開発を行った。「三層協調界面構築による高効率・低コスト・量産型色素増感太陽電池の研究開発」(委託先:シャープ株式会社、住友大阪セメント株式会社、富士フィルム株式会社、メルク株式会社、新日鐵化学株式会社、国立大学法人九州工業大学、国立大学法人信州大学)においては、半導体層、色素、電解質の三層構造を最適化した 20cm 角のモノリシック型サブモジュールを開発し、集積型モジュールでは世界最高となる変換効率 9.1%(自社測定)を達成した。「高効率・高耐久性色素増感太陽電池モジュールの研究開発」(委託先:株式会社フジクラ、学校法人東京理科大学)においては、単一ガラス基板サブモジュールとしては世界最大となる 50cm 角サブモジュールを開発し、変換効率 6.5%(自社測定)を達成した。

(ホ) 有機薄膜太陽電池

有機薄膜太陽電池の高効率化・高耐久化およびモジュール開発を目的として、6件のテーマについて継続して研究開発を行った。「有機薄膜太陽電池モジュール創製に関する研究開発」(委託先:株式会社東芝、住友化学株式会社、出光興産株式会社、国立大学法人京都大学)においては、高精度塗布・パターニング技術および発電層材料の改良により、20cm 角のサブモジュールで世界最高となる変換効率 6.6%(自社測定)を、1cm 角セルにおいて変換効率 9.1%(自社測定)を達成した。

(ヘ) 共通基盤技術

発電量評価技術、信頼性および寿命評価技術、PV システム汎用リサイクル処理手法、共通材料・部材の開発、技術動向の調査を目的として、6 件のテーマについて継続して研究開発を行った。「発電量評価技術等の開発・信頼性および寿命評価技術の開発」(委託先:独立行政法人産業技術総合研究所他)においては、気象データから結晶 Si 太陽電池の発電量を 5%未満の精度で推定する測定法及び算出法や、当日の気象データから特定地域の翌日の発電量を予測する技術を開発した。また、新規加速試験技術としてサイクリック試験、逆バイアス定電流試験を検討すると共にモジュール内水蒸気進入経路調査方法等を開発した。「広域対象の PV システム汎用リサイクル処理手法に関する研究開発」(委託先:公益財団法人北九州産業学術推進機構)においては、EVA 加熱・燃焼処理装置など汎用リサイクル手法における共通処理部の技術開発見通しを得た。また、年間処理量 200MW のパイロットプラントの基本設計・コスト評価を実施し、目標コスト 5 円/W@年間 200MW の達成見通しを得た。「超ハイガスバリア太陽電池部材の研究開発」(委託先:三菱樹脂株式会社)においては、水蒸気透過度 $10^{-6}\text{g}/\text{m}^2\text{day}$ 以下、 $85^\circ\text{C} \times 85\% \text{RH}$ 3000hr での水蒸気透過度 $10^{-5}\text{g}/\text{m}^2\text{day}$ 以下、耐候性試験機 3000hr での水蒸気透過度 $10^{-5}\text{g}/\text{m}^2\text{day}$ 以下である、Cat-CVD とシリカ蒸着の複合膜による超ハイガスバリアフィルムの基本構成確立の目処を得た。「ロールツールロールプロセスを可能とする封止材一体型保護シートの研究開発」(委託先:積水化学工業

	<p>株式会社)においては、厚み精度±4%以下、接着速度 3m/分で一体成形、接着強度 20N/10mm以上、全光線透過率 93%の透明性、バリア性 1.8g/m²day の薄膜シリコン太陽電池向け一体型保護シートを実現した。「太陽光発電システムの据付工程簡便化に関する研究開発」(委託先:デュポン株式会社)においては、ボトルナット不要で部品点数を 62%削減した据付部品プロトタイプを開発。開発システムによる 20%の時間低減率の低減目標の妥当性を確認。また、アイオノマー樹脂と薄板ガラスの組み合わせで、従来型構造と比較し 50%以上の軽量化と、IEC61215 準拠の各種試験に合格する耐久性を持つ新規モジュール構造を実現した。</p>	
(特許・論文等について件数を記載)	<p>H22-H24 年度(7 月末まで)において 特許出願230件、論文(査読付)245件、学会発表913件</p>	
IV. 実用化の見通しについて	<p>本事業で確立した要素技術は、漸次担当企業で実用化されていく。また要素技術として確立しても、実用化までにもう一段の研究が必要とされるものは、2017 年以降に実用化を行い、2020 年における発電コスト 14 円/kWh、2030 年における発電コスト 7 円/kWh の目標達成を目指す。</p>	
V. 基本計画に関する事項	作成時期	平成 22 年 3 月制定
	変更履歴	なし

プロジェクト用語集

用語（日本語）	用語（英語）	説明
1sun	1sun	AM1.5の太陽光スペクトルにて入射光強度が1000 W/m ² の条件を指す
3段階法	Three-stage process	第1段階でIn、Ga、Se、第2段階でCu、Se、第3段階でIn、Ga、Seを蒸着するCu(In,Ga)Se ₂ 製膜法で、2重傾斜禁制帯の形成が可能
ASTL法	ASTL method	CIGSに対するNa供給技術の一種。Mo薄膜を成膜する前にSLGの薄膜を成膜する。NaはMoを通してCIGSへ供給される。
BDTAR	Beam Down TAR	上記集光装置の2次集光部で下方へ再度反射集光させて集光倍率をあげた集光装置。
BIPV(建材一体型太陽光発電)	Building-integrated photovoltaics	太陽電池モジュールが建物の一部分を構成して、従来の建築材料の機能を担っていること。
CCA	Concentrator cell assembly	太陽電池を基板に実装したもの。構成部品は、太陽電池、基板、ショットキーダイオード、コネクタなど
CIGS	CIGS	CuIn _{1-x} Ga _x Se ₂ という化合物半導体
CIS系太陽電池	Copper Indium Selenium Cell	銅、インジウム、セレン他による化合物を光吸収層とした太陽電池
D-π-A色素	D-π-A dye	電子密度が高く電子供与性の性質を有するドナー部位(D)と電子密度が低く電子吸引力の性質を有するアクセプター部位(A)がπ共役部位を介して結合した構造をもつ色素
EBIC	EBIC	電子線照射によって試料に誘起される電流
EMC	EMC	Electro Magnetic Casting(電磁铸造)の略称
EVA樹脂	Ethylene-vinyl acetate Copolymer	太陽電池モジュールの封止に使用される樹脂材料の一つ
G5 G8.5	G5 G8.5	ガラス基板サイズの呼称。Gは世代(Generation)を表す。通常G5は1.1×1.3m ² 、G8.5は2.2×2.5m ² を指すが、本開発では1.1×1.4m ² もG5と呼んでいる。
HOMO	Highest Occupied Molecular Orbital	基底状態において電子をみたされている軌道(占有軌道)の内、エネルギーの最も高い電子軌道。
Hα	Hα	水素原子の線スペクトルの中で、波長：656.28nmのもの。
IPCE	Incident photons to current conversion efficiency	ある波長において、入射したうちの電子へ変換された光子数の割合を百分率(%)で表したもの。
JIS規格C8938の環境試験、耐久性試験	Environmental and endurance test methods for amorphous solar cell modules	アモルファス太陽電池モジュールの環境、耐久性試験に関するJIS規格。 本研究開発では下記3項目の試験を適用し、変換効率の低下を評価する。 温湿度サイクル(A2)：温度範囲：-40℃～85℃85%RH、サイクル数10cycle 光照射(A5)：照度255W/m ² 波長：300-700nm 500時間 耐湿性(B2)：85℃85%RH 1000時間
LPI社	Light Prescriptions Innovators, LLC	LPI社は1999年に設立され、自動車のランプ、LEDライト、集光型太陽光等の製品に、非結像及び結像光学の技術を使って、革新的なソリューションを提供している先進的な技術者集団の会社である。特に、LPIヨーロッパは、マドリッド工科大学と良好な関係を構築して、共同して先進的な技術開発を進めている。
LUMO	Lowest Unoccupied Molecular Orbital	基底状態において電子を満たしていない(否占有軌道)の内、エネルギーの最も低い未占有の軌道。
MOCVD法	Metal Organic Chemical Vapor Deposition	有機金属を原料とした化学的気相製膜法である。主に窓層製膜に用いるが、プラズマを用いないためpn接合界面にダメージを与えることなく製膜できるものである。
n型分子	n-type molecule	電子受容性の高い分子
OES	OES	被測定物を高温のプラズマにより蒸発・気化させ、発生する発光スペクトルを分光して、その波長から元素を特定し、発光強度から定量する分析方法のこと。英語を略して「OES」とも呼ぶ。

用語 (日本語)	用語 (英語)	説明
Off-axisXR	Off-axisXR	軸外し反射屈折集光器 (長岡技術大学設計)
Off-axisXR-Köhler	Off-axisXR-Köhler	軸外しケーラー光学反射屈折集光器 (LPI社+マドリード工科大学設計)
PCBM	PCBM	フラーレン誘導体の1種類で、フェニル酪酸メチルエステル体のことである。フラーレンの炭素数により、PC60BM、PC70BMと表記する。
PEDOT:PPS	PEDOT:PPS	導電性ポリマーの1種類であり、導電性をコントロールすることが可能であることから、正孔輸送層や透明導電層に用いられる。PEDOTは、含硫黄複素環化合物の一種であるチオフェン誘導体のポリマーである。また、PPSはポリスチレンスルホン酸塩の略称である。
Pmax	Pmax	太陽電池の動作曲線上において、電力が最も大きくなる点での電力。
POE	Primary Optical Element	一次集光装置
PTB7	PTB7	導電性高分子の1種であり、P型材料の代表的材料。PTBシリーズは、thieno[3,4-b]thiopheneがキノリド構造を安定化することで低バンドギャップを実現した一連のポリマー群を指す。PTB7は、エステル部位とベンゾジチオフェン部位両方に枝分かれの側鎖を導入することで溶剤に対する溶解性を高めている。
RP	Recycle Point	回収したPVシステムをリサイクルする場所
RPD法	RPD method	薄膜堆積技術の一種。反応性プラズマ堆積法 (reactive plasma deposition) と呼ばれる。TCO薄膜の成膜に利用される。
Ru色素 (Ru錯体色素)	Ruthenium complex dye	ルテニウム元素を構成元素として含む色素
Rワイヤ	R-wire	鋼線に樹脂をコーティングしたソーワイヤの総称
Rワイヤウエハ	R-wired wafer	Rワイヤでスライスした低ダメージウエハ
SiON	SiON	シリコン酸窒化物
SLG	SLG	青板ガラス、ソーダ石灰ガラス
SOE	Secondary Optical Element	二次集光装置
SY	Stock Yard	回収したPVシステムを一時的に保管する場所
TAR	Trans Axial Reflector CPV	1軸で上方に直線状に集光し、2次集光装置で直交方向にさらに集光して集光倍率を高めた直交型の反射式集光装置
TCO	Transparent Conductive Oxide	透明導電膜と呼ばれる。フッ素添加された酸化錫や酸化インジウム錫、酸化亜鉛などが良く用いられる。太陽電池の光入射側に用いて光を透過させながら電流を外部に取り出すのに必要な材料である。
VHF	optical emission spectroscopy	Very High Frequency (超短波) の略。一般的に30MHz~300MHzの周波数の電磁波を指す。
ΔG (自由エネルギー差)	free energy difference	異なる材料における電子のエネルギーの差。 異なる材料を移動する時にこのエネルギー差を熱として失うために ΔG が小さい方が望ましい。一方経験的法則として ΔG が0.6eVよりも小さい場合、短絡電流値が下がる。
π 共役部位	π conjugated moiety	π 共役系を持つ部位。 π 共役系 (きょうやくけい) は、化合物中に交互に位置する単結合および多重結合に非局在化電子を持つ結合p軌道系である。共役系は一般的に、分子全体のエネルギーを低下させ、安定性を高める。
π 電子	π -electron	分子内の隣り合った原子同士の電子軌道の重なりによってできる結合を π 結合といい、構成している電子の名称。
アイオノマー樹脂	Ionomer Resin	イオンによる擬似架橋構造を有する樹脂。高い水分バリア性を有し、架橋樹脂の強靭さを保持しつつ、熔融成型が可能な点で太陽電池封止材へ展開されている。
アパーチャーエリア	Aperture Area	太陽電池モジュールにおいて発電部外周を囲った領域を示す。
アモルファスシリコン	Amorphous silicon	シリコンを主成分とし、原子配列に結晶性を持たない固体半導体。真空蒸着法などにより非常に薄い半導体膜を形成可能。半導体膜形成時の条件を変えることでpn接合を作製することができる。

用語 (日本語)	用語 (英語)	説明
アモルファスシリコンゲルマニウム	Amorphous silicon-germanium	シリコンとゲルマニウムの合金を主成分とし、原子配列に結晶性を持たない固体半導体。アモルファスシリコンと比較するとバンドギャップが狭い特徴がある。
アレイ	array	ストリングを並列接続したもの。
イオン液体	Ionic liquid	室温付近で液体を呈すイオンのみからなる熔融塩のことであり、極低蒸気圧、不揮発性、不燃性、低熱膨張係数の特徴があることから液体を含むデバイスである色素増感太陽電池の信頼性向上の切り札として期待されている。
エアマス	Air mass (AM)	地球大気に入射した太陽光直達光が通過した路程の長さ。標準状態の大気圧(標準気圧:1013hPa)に垂直に入射した太陽直達光が通過した路程の長さを AM1.0 として、それに対する倍率で表す。
エネルギーハーベスティング(環境発電)	Energy harvesting	光・電波・温度など周りの環境から微小なエネルギーを「収穫(ハーベスティング)」して、発電する技術
エリプソメトリ	ellipsometry	物質の表面で光が反射するときの偏光状態の変化(入射と反射)を観測し、そこから物質の膜厚や屈折率、消衰係数を計測する方法
エンジニアリングプラスチック	Engineering Plastic	耐熱性・強度に優れるプラスチックの総称。
オートクレーブ	autoclave	内部を高圧力にすることが可能な耐圧性の装置や容器、あるいはその装置を用いて行う処理のこと。医療分野では滅菌処理に、工学分野ではコンクリート製品の促進養生に使用されている。
カーフ	kerf	一般的には切り口、あるいは切り口の幅、として使われているが、ここでは、シリコンのインゴットを板状(ウエハー状)にスライスする際に発生する切削屑(シリコンの微粉末)を指す。
カクテル吸着セル	Cocktail cell	吸収波長の異なる複数の色素を混合(カクテル)し、複数の色素の吸収領域を合わせ持つようにチタニアに色素が吸着されたセル
カソードルミネッセンス	cathodoluminescence	電子線照射によって生じる発光
カットオフ状態	Cutoff frequency	物理学や電気工学に於けるシステム応答の限界であり、それを超えると入力されたエネルギーは減衰したり反射したりする。導波管で伝送可能な最低周波数(或いは最大波長)。
カバーガラス	cover glass	太陽電池モジュールの受光面側に用いる厚さ数 mm 程度のガラス。一般的には白板強化ガラスを用いる。
ガラス/ガラス モジュール	Glass/Glass module	ガラス/封止材/セル/封止材/ガラス という構成からなる太陽電池モジュール。
ガラス/バックシート モジュール	Glass/Backsheet module	ガラス/封止材/セル/封止材/バックシート という構成からなる太陽電池モジュール。
カルーセルタイプ	Carousel Type	メリーゴーランド状の回転系にアレイを搭載し、太陽方位に対しては回転系が追尾し、太陽高度に対しては各モジュールを傾斜させる(傾転)太陽光追尾装置。
カルバゾール系有機色素	organic dye having carbazole group	カルバゾール基を有する有機色素
キセノンウェザーメーター	XeWM	耐候性試験機の一つ。光照射を Xe ランプ発光で行う。
ギブズエネルギー	Gibbs free energy	熱力学や電気化学などで用いられ、エネルギーの次元をもつ示量性状態量である。通常 G と表記され、等温等圧条件下で仕事として取り出し可能なエネルギー量である
キャスト	cast	融液を容器に注入し凝固する方法
クーラント	coolant	冷却液。インゴットスライス中、摩擦によりインゴットおよびワイヤー温度が上昇するのを抑制するために用いられる。
グリッド・パリティ	Grid Parity	太陽光発電システムの発電コストが、既存の電力系統の電気料金と同等になること。
コプレーナー	Coplanar Waveguide	信号パターン及びグラウンド導体が同一平面上にある伝送線路の構造。信号を伝送する回路パターンとグラウンドプレーンとの間隔が一定となる様に広いグラウンド導体にスリットを入れた形状である。

用語（日本語）	用語（英語）	説明
コンビナトリアル手法	Combinatorial method	反応プロセスを最適化するとき、反応条件（温度、圧力、組成など）を変化させたライブラリを作製して評価することによって、系統的なデータを迅速に得ることが出来る手法。
サイクル数	wire running cycle	ソーワイヤを往復させるサイクル、単位は回/分
サブストレート型太陽電池	substrate type solar cell	太陽光を基板を通さずに入射させるタイプの太陽電池
サブモジュール	Submodule	集積構造を備えているがカバーガラス等による封止がされていない太陽電池、サーキット（Circuit）とも言う
サンシャインウェザーオメーター	SWOM	耐候性試験機の一つ。
シーメンス法	Siemens process	高純度ポリシリコンを生産する製法の一つで、現在主流の生産方法である。半導体に用いるポリシリコンの生産も可能な製法。
ジェットミル	Jet mill	物体を粉末状に粉砕する装置の中でも、ノズルから噴射される高圧の空気・あるいは蒸気を超高速ジェットとして粒子に衝突させ、粒子どうしの衝撃によって数ミクロンのレベルの微粒子にまで粉砕する装置のことである。噴射される空気・蒸気は音速前後に達する。
システムオンフィルム	System on film	成型、印刷、接合によってフィルム基板に機能素子を集積、個片化して電子デバイスを作製する製造方式。薄いフィルム基板を使用しているため、薄く、軽く、曲げられるといった特長を有する。また、従来のリソグラフィに比べ工程数が少ないことから、生産性が高く、製造コストを大幅に下げられる。
シリカ	Silica	二酸化珪素または主として二酸化珪素によって構成される天然鉱石、珪石、珪砂の総称。
シリカ塩化(反応)	Silica-Chlorination	直接塩化反応のこと
スーパーストレート型太陽電池	superstrate type solar cell	ガラス基板などの透光性基板上に、透明導電膜、シリコン層、裏面電極の順に製膜され、光は透光性基板と透明導電膜層を通して、光活性であるシリコン層に入射させるタイプの太陽電池。
スクリーン印刷	screen printing	スクリーン版（印刷製版）にコーティングされた乳剤の必要な部分に孔をあけて、その孔を通過してインクを被印刷物に転写する印刷方式のこと。
ストリング	string	モジュールを複数直列接続したもの。
スピコート	Spin coating	塗布プロセスの1種類であり、平滑な基材を高速回転させる事により遠心力で薄膜を製膜する方式を言う。用いる装置は、スピコーターと呼ぶ。
セムス（CEMS）	Community energy management system	太陽光発電所や風力発電所を含む発電所での電力供給量と地域内の電力需要の管理を行うエネルギー管理システム
セル評価	test production of PV cell for wafer evaluation	太陽電池セルを試作してウエハの評価を行うこと
セレン化法	Selenization method	プリカーサーをセレン（Se）含有雰囲気中で熱処理することにより CIS 系光吸収層を作製する方法
セレン化硫化法	Selenization / Sulfrization	セレン化法の後に硫黄（S）含有雰囲気中で熱処理することにより表面を硫化して CIS 系光吸収層を作製する方法、本研究では SAS 法（Sulfrization after Selenization）と呼んでいる
ゾーン加熱	Zone heating	炉を加熱するとき、複数の熱源を用いることによって、場所によって反応温度を変える。副反応に応じて最適な反応温度を設定することができる。
ターピリジン系 Ru 色素	Ruthenium complex dye with terpyridine ligands	ターピリジン基を配位子のひとつとして有する Ru 色素
ターンキー・ソリューション	Turnkey solution	スイッチを入れれば調整など不要で、すぐに利用可能なシステムのこと。新興国が日欧米の製造装置メーカーから、ターンキー・ソリューションを調達し、最先端の製造ラインを構築している事例が増えている。

用語 (日本語)	用語 (英語)	説明
ダブルガラスモジュール	double-glass module	受光面側のみならず、裏面材にもバックシートではなくガラスを用いた太陽電池モジュール。
ダブルテクスチャー ZnO	W-textured ZnO	数ミクロンサイズの凹凸の上に、数 100nm のサイズの凹凸が形成された透明導電膜 ZnO。大きさの異なる凹凸構造を複合化することにより、非常に広い波長範囲でヘイズ率が高くなることを特徴とする。
ダブルリッジ型導波管	Double ridge waveguide	方形導波管の一部 H 型の断面を持った導波管。
タンデム型セル	Tandem cell	短波長を吸収するセルを光の入射側、その後ろに長波長側を吸収するセルを直列になるように構成されたセル
テクスチャ/テクスチャー	texture	凹凸のこと。光を凹凸によって散乱させることで光の吸収長を長くとり、光をより効果的に半導体で吸収させるのに用いられる。薄膜シリコン太陽電池では必須技術である。
デンドライト結晶	Dendrite crystal	樹枝状の形態を示す結晶で、過冷却度などの成長条件が適度に制御された状態で発現する。シリコンのデンドライト結晶は特定の優先成長面を持つため結晶組織の制御に活用できる。
トライオード型プラズマ CVD	Triode-PECVD	通常の平行平板型プラズマ CVD (ダイオード型) において、2 つの電極間にメッシュ電極を挿入し、SiH ₄ -H ₂ プラズマを基板から空間的に離す製膜法。これにより、光劣化の要因として考えられる高次シラン系ラジカルの膜への取り込みを抑制することができる。
ナノインプリント	Nano-imprint	被転写体に金型を押し付けナノメートルサイズの表面凹凸形状を転写、その後加熱または UV 照射により被転写体を硬化させる表面形状転写方法。転写の際に光を使わないので、フォトリソグラフィで問題となる光の回折限界の制限を受けず、微細構造を転写することができる。
ナノ粒子	nanoparticle	ここでは a-Si 成膜に用いるシラン CVD プラズマ中で発生する直径が 10nm 程度以下のナノ粒子。膜に取り込まれ光安定性を悪くする。100nm 以上のいわゆるダストと区別するためにクラスターと呼ばれることもある。
バソキュプロイン (略号 BCP)	Bathocuproine	2, 9-ジメチル-4, 7-ジフェニル-1, 10-フェナンスロリン。電子輸送材料として利用されている。
バックシート	back sheet	太陽電池モジュールの裏面側に用いる高分子系シート。ポリエチレンテレフタレート (PET) をベースフィルムとするものが多く、PET フィルムをフッ素系の樹脂ではさんだものや、アルミニウム箔を PET フィルムではさんだものなどが用いられる。
バッファ層	Buffer layer	CIGS 層と TCO 層の境界面に挿入する薄膜層。通常は CdS を用いる。光生成電子の流れをスムーズにし、表面 n 型層形成に関わる。
バリア性	barrier property	物質の透過を阻止する能力。ここでは、水蒸気の透過を阻止する能力を指しており、水蒸気透過率が低いほど、バリア性が高い。
バルクヘテロ接合	Bulk hetero junction	互いに溶け合わない p 型材料と n 型材料を混合し製膜することにより、積層による接合ではなく膜面の横方向に接合ができるようにした製膜方法。厚膜化が可能で、光吸収には有利である。また、接合は横方向の近いところにあるため、励起状態から電荷分離されやすくなる。塗布および蒸着両プロセスで製膜が可能である。但し蒸着の場合には、「バルクヘテロ接合」ではなく「i 層」という表現が使われる。
バンドギャップ	Band gap	固体中の電子が定常状態でもとり得るエネルギー値の差。電子がエネルギーを受けて低エネルギー状態から高エネルギー状態へ遷移する際、バンドギャップ以下のエネルギーでは遷移できない。
ヒート・ライト・ソーキング	Heat light-soaking	加熱しながら光照射すること
ピピリジン系 Ru 色素	Ruthenium complex dye with bipyridine ligands	ピピリジン基を配位子のひとつとして有する Ru 色素
フィード同期	synchronous Si feed mode	ソーワイヤの線速の早い時のみにシリコンを動かす切断方法

用語（日本語）	用語（英語）	説明
フタロシアニン系色素	Phthalocyanine dye	フタロシアニン骨格を有する色素。フタロシアニン環の中心が水素である有機物と金属が配位した錯体型色素がある。
フラーレン	Fullerene	最小の構造が多数の炭素原子で構成されるクラスターの総称である。フラーレン（あるいはその誘導体）がn型材料に用いられるようになり、有機薄膜太陽電池の変換効率が向上した。専ら、炭素数60、70のフラーレンあるいはその誘導体利用されている。
プラズマCVD	plasma-enhanced chemical vapor deposition	高周波などを印加することで原料ガスをプラズマ化させることを特徴とする化学気相成長
プラズマパラメーター	Plasma parameter	電子密度や電子温度、プラズマ電位等プラズマの特性を表す指標の総称。
フラックス処理	flux treatment	酸化物やハロゲン化物の混合物を金属（粗シリコンなどを含む）相と接触溶解させて金属相から不純物をする。
プリカーサー	Precursor	Cu、In等のCIS系光吸収層を構成する元素が積層されたもの
ペDESTAL	Pedestal	1本の支柱に2軸駆動系を持たせて、アレイ全体を太陽に正対するように追尾させる太陽光追尾装置。アレイを平板状に保持する場合が多く、横方向の大骨と支柱でT字の骨組みを構成する構造を総称する。
ヘテロ接合結晶系太陽電池	heterojunction crystalline silicon solar cell	結晶シリコンとアモルファスシリコンでpn接合を形成した結晶シリコン系太陽電池。高い電圧が得られて高性能が実現する。実用化されたものとしては、三洋電機が開発したHIT太陽電池が代表例である。一般的な結晶系に比べれば、水蒸気浸入に弱いとされている。
ヘムス（HEMS）	Home energy management system	センサーやITの技術を活用して家庭内のエネルギー管理を行うためのシステム
ポリシリコン	Polysilicon	半導体用、太陽電池用に用いられる高純度シリコン。主としてシーメンス法で生産される。
ポルフィリン系色素	Porphyrin dye	ポルフィリン骨格を有する色素。ポルフィリン環の中心が水素である有機物と金属が配位した錯体型色素がある。
マルチロッド電極	multi-rods electrode	金属製の棒で構成され電力の伝搬方向を棒状電極に沿った一次元方向にすることで、電極両端からの供給する電力の位相差を制御可能とする構造とした電極
メディエータ	Mediator	対極表面で電子を受け取り、色素に電子を渡す役割を担う物質
モールド	Mold	ナノインプリントで表面形状を転写するために被転写体に押し当てる金型。
モジュール	Module	光入射側はカバーガラス等を用いて封止された太陽電池
モジュール変換効率	module efficiency, η_{module}	モジュールの受光面に入った太陽光と発電された電力の割合
モノリシックモジュール	Monolithic module	1枚の基板上に太陽電池構成材料を層状に積層して作製したモジュール
モルフォロジー	Morphology	互いに溶け合わない材料を混合したときに、それぞれの成分の混ざり方を意味する。バルクヘテロ接合ではモルフォロジーが変換効率に大きな影響を与える。高分子材料に対して用いられる表現で、本事業原簿では、低分子材料の場合に「ナノ構造」という表現を使っている。
モル吸光係数	molar extinction coefficient	光がある媒質に入射したとき、その媒質がどれくらいの光を吸収するのかわかる定数であり、溶液の単位モル濃度で規格化した値をモル吸光係数と呼び記号 ϵ が用いられる。
ラジカルポリマー	Radical polymer	ラジカル部位を持つ高分子
レーザードーピング	Laser Doping	レーザー光を用いてシリコンを局所的に瞬時に溶解し不純物を添加する技術。基板は室温に保たれている。
ロールツーロールプロセス	Roll to Roll Process	材料フィルムをロールからロールへと連続的に供給し、印刷やラミネートを行うプロセス

用語（日本語）	用語（英語）	説明
亜鉛還元法	Zinc Reduction Method	四塩化珪素と亜鉛を原料として用いて、気相状態で反応させ、結晶シリコンを得るポリシリコン製造方法で、塩化(反応)、還元(反応)、電解(反応)の組合せのプロセスとなる
安定化効率	stabilizing efficiency	アモルファス Si 太陽電池は光にあたると出力が低下するが、光を照射して出力が安定になったときの変換効率
位相変調法	phase modulation method	電極両端から供給される高周波の位相差を変調することにより電極上に時間平均的に均一なプラズマを生成する方法
塩化(反応)	Chlorination (reaction)	亜鉛還元反応法において、四塩化珪素を製造・精製する工程(反応)。
塩化コバルト	cobalt chloride	コバルトと塩素の化合物。青色であるが、吸湿性を有し水蒸気との反応で薄紅色となる。
塩化生産性	Chlorination Productivity	塩化炉の内断面積あたりの四塩化珪素生産速度 単位：トン SiCl ₄ /m ² /h
塩化反応炉	Chlorination reactor	直接塩化反応を行う反応炉のこと
温度サイクル試験	Thermal Cycle Test	本稿では IEC61215 に定められた、85℃と-45℃の温度変化を一定周期で一定回数与える試験。試験後の出力低下 5%以下であれば合格。
化学熱力学	Thermochemistry	化学反応を熱力学的に扱う学問であり、溶液反応の pH と平衡定数は反応に関わる物質の化学ポテンシャルから求まる。
可視光下	Under visible light	照度 200Lx (光波長範囲 400~700nm での光エネルギー 57.7 μW/cm ²) 環境下
過渡吸収分光	Transient absorption spectroscopy	パルスレーザーで試料を瞬間的に光照射することで、種々の短寿命活性種を瞬間的に生成させ、それらによる光吸収を別のレーザーやランプで測定する分光手法である。
開放電圧	Open circuit voltage	太陽電池セル・モジュールの出力端子を開放した時の両端子間の電圧。
拡散反射率	diffuse reflectance	光の反射成分の内、直線的に反射する成分を除いた反射の割合
還元(反応)	Reduction (reaction)	亜鉛還元反応法において、ポリシリコンを製造する工程。
還元脱 P (リン)	reductive dephosphorization	目的物質(ここではシリコン)の方がリンより酸化しやすい場合に、フラックス中にリンを酸化除去することは原理的に困難であるが、還元条件にしてリン化物イオンとして除去することで、目的物質を酸化させずに脱 P すること。高合金の精錬プロセスとして開発された手法。
基準状態	Standard test condition	太陽電池セル・モジュールの特性を測定する際の基準。(セル温度：25℃、分光分布：基準太陽光、放射照度 1000W/m ²)
基準太陽光	Standard sunlight	太陽電池セル・モジュールの出力特性を共通の条件で表現するために放射照度および分光放射照度を規定した仮想的太陽光。
基準太陽電池セル	Reference solar cell	太陽電池セル・モジュールの測定にあたって、測定用光源の放射照度を基準太陽光換算で決定するために使用される、基準セル・モジュールと相対的に同じ分光感度を持った太陽電池セル。
幾何学的集光倍率	geometrical concentration, C_g	集光装置の受光面積と太陽電池面積の比
許容角度	acceptance angle, α ,	設計された太陽入射角での出力を 1 として、入射角がずれていった時に 0.9 まで出力が落ちる角度。
強色増感	Supersensitization	増感色素に別の化合物(強色増感剤)を加えることで感度が向上する現象のこと。
凝固精製	solidification refining	液相から固相を析出する際に、偏析係数の小さい元素は固相中にとりこまれにくく液相に排出され、純度の高い物質が析出する。この特徴を活かして金属やシリコンを精製する手法。シリコンの場合、Fe や Ti などはこの方法で容易に除去できるが、偏析係数の大きい P や B の除去効果は小さい。
禁制帯プロファイル	Bandgap profile	膜厚に対する禁制帯幅の変化
原子層堆積法	Atomic layer deposition	原料ガスとパージ用ガスを交互に加熱基板面に照射し、薄膜を形成する方法

用語（日本語）	用語（英語）	説明
固定砥粒方式	fixed diamond abrasive method	Ni メッキにより鋼線に固定されたダイヤモンド砥粒によるスライス方式
光閉じ込め	optical confinement	太陽電池において透明電極や裏面電極で光を乱反射させ、発電層に光を閉じ込めること
高圧枯渇法	High Pressure Depletion SiH4 method	(独) 産業技術総合と三菱重工で開発された微結晶 Si の製膜方法。従来よりも製膜圧力を高く (数百 Pa) して、かつ電極と基板間隔を狭くして高パワーを投入する。
高温高湿試験	damp heat (DH) test	太陽電池モジュールの信頼性試験の一つ。一般的な条件は温度 85 °C、湿度 85% である。認証試験では、1000 時間の試験後の性能低下が初期値の 5% 以内であることを要件としている。
高周波誘導加熱	high-frequency induction heating	電気伝導性のある銅やカーボンに高周波を印加すると渦電流が発生してそのジュール熱で加熱できる。対象物を短時間で効率良く加熱できる
高分子メディエータ	Polymer mediator	高分子体からなるメディエータ
最大電力	Maximum power	太陽電池セル。モジュールの電流電圧特性曲線上で電流と電圧の積が最大になる点での電力
三塩化珪素	Trichlorosilane	SiHCl ₃ 、粗金属シリコンから生産される。現状、主としてポリシリコン用の原料として用いられる。トリクロロシラン、TCS も同意。
散乱角	Scattering angle	入射光と散乱光との進行方向の差を表す角度。
酸リーチング	acid leaching	酸を用いて、不純物が濃化した目的物質の結晶粒界（結晶間にある別の相）を溶解して不純物を除去する手法。
四塩化珪素	Silicon Tetrachloride	SiCl ₄ 粗金属シリコンから生産される。現状、主として光ファイバー用の原料として用いられる。4CS も同意。
四重極型質量分析計	quadrupol mass spectrometer	4 本の円柱状電極からなり、これに正弦波をかけることよって、特定の質量数/電荷のイオンのみを通過できるようにできる。これをスキャンすることによって、採取ガス中のガス種を質量数を調べることができる。Q マス (QMS) またはマスフィルタとも呼ばれる。
集光効率	optical efficiency, η	集光装置の受光面に入った太陽光の内、太陽電池まで届いた光の割合
集光倍率	Condensing magnification	太陽光強度を 1 (SUN) とした時に集光装置で太陽電池に集められた太陽光強度 (SUN)
焼成	sintering	固体粉末の集合体が、融点よりも低い温度で加熱することにより、密度の高い結合体になる現象のこと。
色素増感太陽電池	Dye sensitized solar cell	多孔質酸化チタン (TiO ₂) 膜に増感色素が吸着した光電極、ヨウ素を含む電解液、対極から構成される太陽電池であり、増感色素の光吸収励起から開始される電気化学的反応によって発電する。
触媒分解気相成膜法	Cat-CVD	加熱触媒体にて原料ガスを分解し、気相成膜を行う手法。
真空精製	vacuum refining	金属を真空下で熔融することにより、蒸気圧の高い不純物元素を表面から蒸発除去し精製する手法。
水蒸気透過率/水蒸気透過度	water vapor transmission rate (WVTR)	単位面積・単位時間あたりフィルムから水蒸気が透過する量。一般的な単位としては、g/m ² day が用いられる。
据付システム	Installation System	モジュールを屋根等に取り付けるシステムを指す。
正孔輸送層	Hole transport layer	有機エレクトロルミネッセンス 参照
精製/精錬	refining	鉱石や鉱物から熱や化学的エネルギーを利用して目的の粗金属を取り出すこと。太陽電池においては、シリカから本テーマの対象不純物であるホウ素及びリンを除去すること。
赤外分光	infrared spectroscopy	分子構造を赤外域の吸収スペクトルから観測する方法。
接合界面	Interface of junction	同種あるいは異種材料の境界面
粗 SiCl ₄	Crude SiCl ₄	塩化反応で生成した、四塩化珪素

用語（日本語）	用語（英語）	説明
粗金属シリコン	Metallic silicon	珪石をアーク炉を用いて還元して生成した珪素。純度として 95-98%程度のものを用いる。
造粒	Pelletization	直接塩化反応において、反応性お呼び歩留まりを高めるために、原料となるシリカと炭材を混練して適当な粒径に成形すること。
種結晶	seed crystal	結晶の情報を成長結晶に伝えるもとなる結晶
多孔質集電極	Porous electrode	nm～サブ μ m オーダーの導電性粒子から構成した多数の空隙を持つ電極
多接合太陽電池	multi-junction solar cell	光の利用波長領域が異なる太陽電池を複数積層した太陽電池
太陽光発電	Photovoltaic (PV)	太陽光のエネルギーを直接電気エネルギーに変換する発電方式。光電効果を利用した太陽電池を用いるのが一般的である。
太陽電池セル	Photovoltaic cell (Solar cell)	太陽光発電に用いる太陽電池の構成要素最小単位。
太陽電池モジュール	photovoltaic module	配線材を用いて複数の太陽電池セルを直列に接続し、ガラスや高分子部材を用いて封止したもの。太陽電池パネルともいう。
脱 B (ボロン)	boron removal	目的物質から不純物であるボロンを除去すること。ボロンの除去を必要とするシリコンの精製で用いられる用語。
脱 P (リン)	dephosphorization	目的物質から不純物であるリンを除去すること。鉄鋼精錬では重要なプロセスの一つで、フラックス中にリン酸塩として酸化除去される。
炭化珪素	silicon carbide	珪素と炭素の 1:1 の化合物で、化学式：SiC で表される無機化合物。耐熱性、耐摩耗性、硬度、強度に優れることから研磨材や構造部材、耐熱材料として広く普及してきた。また、最近では、電気特性がシリコンよりも優れることから、次世代のパワー半導体の材料として注目されている。
炭材	Carbon Material	シリカの塩化反応に使用する還元剤としての炭素成分を主成分とする材料。本試験では石油系コークスを用いた。
短絡電流	Short circuit current	太陽電池セル・モジュールの出力端子を短絡した時の両端子間に流れる電流。
窒化珪素	silicon nitride	ケイ素の窒化物で、化学式：Si ₃ N ₄ で表される無機化合物。非酸化物セラミックスの代表的な物質。Si-N の結合は共有結合であるため、高温高強度、耐摩耗性、耐薬品性及び耐熱衝撃性等の機械的特性に優れることから、エンジニアリングセラミックスに幅広く利用されている。
直接塩化反応	Chlorination	シリカを原料として塩素を直接反応させ、直接四塩化珪素を生成させる反応。還元剤として炭材を使用する。
直列接続	series-connection	複数の太陽電池を電氣的に直列につなぐこと
定在波	standing wave	進行方向が互いに逆向きの 2 つの波が重なりあうことによってできるその場に止まって振動しているように見える波動のこと。
転位	dislocation	線状欠陥／結晶の塑性変形を担う
伝導帯オフセット	Conduction band offset	異種半導体を接合した時の伝導帯底のエネルギー差
電解（反応）	Electrolysis (reaction)	亜鉛還元反応法において、副生する塩化亜鉛を電気分解する工程
電解液	electrolyte	電気化学的活物質を含む液体であり、不揮発性・不燃性などを極力抑え、他の部材との相性の良い材料を開発する必要がある。本プロジェクトの主題、三層界面のうちの一つを構成するものである。
電子輸送層	Electron transport layer	有機エレクトロルミネッセンス 参照
透明導電膜	Transparent conductive layer	透光性（透過率：%T）と導電性（シート抵抗： Ω/\square ）とを兼ね備えた膜
同軸-導波管変換器	Coaxial-to-waveguide mode converter (Coaxial-to-waveguide transducer)	電磁波の伝播モードをケーブル等を伝播する同軸モードから方形導波管を伝播する導波管モードに変換する変換器。

用語（日本語）	用語（英語）	説明
導波管	Waveguide	電磁波の伝送に用いられる方形や円形の断面を持った金属製の管。電磁波は、導波管の断面形状や寸法、電磁波の波長（周波数）に応じた電磁界分布（伝播モード）を形成しながら管の中を伝播する。
熱力学計算	thermodynamic calculation	ギブスエネルギーを計算することによって、反応式において左右どちらの向きに進行するかを知ることができる。
薄膜系太陽電池	thin-film solar cell	数 μm の光吸収層を用いた太陽電池であり、省資源・低コスト化が期待される。シリコンを用いたものと銅-インジウム-ガリウム-セレン化合物を用いたものが実用化されている。結晶系に比べて水蒸気浸入に弱いとされている。
反応性スパッタ	reactive sputtering	スパッタで薄膜を形成する際に、酸素や窒素などの反応性のガスを導入してターゲット材料の成分とガスの反応物質を製膜する技術
微結晶シリコン	microcrystalline silicon	シリコンを主成分とし、非常に狭い領域内でのみ原子配列が結晶性を示す固体半導体。アモルファスシリコンより狭いバンドギャップを持つ。
不純物	impurity	結晶中に混入している微量元素
浮遊キャスト法	Floating cast method	太陽電池用高品質シリコンインゴットの製造技術として研究開発を進めている手法。ルツボ内の融液を表面から凝固させ、ルツボと強く接触しないように（理想的には融液に浮遊させて）インゴットを成長させる。結晶組織、欠陥、不純物、歪みが制御された高品質な結晶の成長が期待される。
封止材	Encapsulant	太陽電池モジュールにおいてセルを封止し保護する役割をもつ樹脂材料。
分光感度	Spectral response	太陽電池出力の入射光波長依存性を表した特性で、短絡電流の入射単色光入力に対する比。 なお、単位はA/Wまたは相対値（相対分光感度）で表す。
分光放射照度	Spectral irradiance	放射照度農地の特定の波長成分だけを分離して示す波長幅当たりの放射照度
分子量分布	Molecular weight distribution	合成高分子は同一組成だが、分子量は異なる分子の混合物である。分子量の広がりをも分子量分布と呼ぶ。
平滑電極	Flat electrode	スパッタ製膜した $R_a < 3\text{nm}$ の平滑性をもった膜からなる電極
偏析係数	segregation coefficient	物質の固相と液相が平衡している状態で、微量に含まれる元素の固相中での濃度に対する液相中での濃度の比。シリコン中での多くの不純物についてはこの値が非常に小さいため、凝固時に不純物が除去されやすい。
変換効率	Efficiency	最大電力を太陽電池セル・モジュール面積と放射照度との積で除した値。
放射照度・日射強度	Irradiance	表面の単位面積あたりに太陽光または人工光源から単位時間に入射する放射エネルギー。
放電プラズマ焼結	spark plasma sintering	ホットプレス焼結（HP）などと同じ、固体圧縮焼結法の一種であり、特殊なON-OFF直流パルス電圧・電流を焼結型+材料に直接印加して焼結させる。加圧ならびに急速昇温により、粒成長を抑制した緻密な焼結体の作製が可能である。
有機エレクトロルミネッセンス（有機EL）	Organic electroluminescence	有機化合物から成る発光ダイオードで、有機化合物中に注入された電子と正孔の再結合によって生じた励起子によって発光する。発光現象およびその現象を利用した一連の製品を指す。素子の構成は、陽極／正孔輸送層／発光層／電子輸送層／陰極となっており、有機薄膜太陽電池と類似である。違いは、有機ELが通電し光を取り出すのに対し、有機薄膜太陽電池は光を当て電気を取り出しており、逆の機能となっている。
有機系太陽電池	organic solar cell	有機半導体でpn接合を形成する太陽電池。最近では効率も10%を超え、早期の実用化が期待されているが、水蒸気浸入に弱いとの欠点もある。

用語（日本語）	用語（英語）	説明
有機色素	organic dye	色素分子を構成する元素が主に炭素からなり、かつ金属元素を含まない色素
遊離砥粒方式	SiC loose abrasive method	SiC 遊離砥粒によるスライス方式
裏面材	back material	太陽電池モジュールの裏面に用いる部材。一般的にはバックシートを用いる。
硫化度	Sulfurization degree	硫化プロセスにおける温度、時間、ガス濃度からなる指標で、値が大きくなるほど「強い」硫化となる
粒界	Grain boundary	面欠陥／多結晶における結晶粒同士の境界面

I. 事業の位置づけ・必要性について

1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性

1.1 NEDOが関与することの意義

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

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

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

しかしながら、太陽光発電技術を飛躍的に向上させるためには、従来技術の延長線上にない研究開発における新たな取り組みが必要不可欠である。世界的に熾烈な開発競争を展開している中で、より広い知見を結集しかつ、それぞれが得意とする専門技術を総合することで研究開発の高度化とスピードアップを狙ったコンソーシアム形式も採用する。

世界レベルの厳しい競争に勝ち残れる太陽電池の開発は、従来技術の延長線上にない研究開発における新たな取り組みや世界最先端の材料技術等の統合が必須であり、企業などが自主的に実施することは困難で、高度な専門技術を有する多様な企業、大学、研究機関の参画を得てNEDO事業として行う意義は大きい。

1.2 実施の効果(費用対効果)

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

2. 事業の背景・目的・位置づけ

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

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

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

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

- ・エネルギーの安定供給確保（energy security）、環境への適合（environment）、市場機能（economic efficiency）の3Eの実現を図ることである。
- ・2030年に向け中長期的な視点で、エネルギー自給率を大幅向上（約18%→約4割）、エネルギー起源のCO₂の30%削減を目指す。
- ・エネルギー製品等の国際市場で、我が国企業群がトップクラスのシェアを獲得する。

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

本事業は、2020年の導入量、発電コストの目標達成に貢献できる研究開発テーマに取り組んでおり、本事業で研究開発を行う高性能で低コストな太陽電池開発は、NEDOが2009年6月に「2030年に向けた太陽光発電ロードマップ（PV2030）」を改訂した「太陽光発電ロードマップ（PV2030+）」においても中心的な研究開発課題として位置づけられている。また、共通部材、共通基盤技術の開発は高性能で低コストな太陽電池の開発及び太陽電池の普及拡大に寄与するもので、上記の各政策及び「太陽光発電ロードマップ（PV2030+）」の目標達成に資する。

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

(1) 研究開発の目的

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

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

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

(2) 研究開発の目標

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

2. 事業の計画内容

2.1 研究開発の内容

2.1.1 研究開発分野

上記目標を達成するため、下記開発分野について研究開発を実施する。

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

2.1.2 研究開発テーマ

平成22年度には、公募から選定された19テーマの研究開発を開始した。

研究開発テーマごとの平成24年度までの開発スケジュールを表1に示す。採択にあたっては、下記の考えに基づいて候補を決定し、外部専門家による採択審査委員会、NEDO内の契約・助成審査委員会を経て最終決定した。

なお、平成25年度以降のスケジュールについては中間評価の結果を踏まえ決定する。

- (1) 提案内容が仕様書の目的、目標に合致しているか（不必要な部分はないか）
- (2) 提案された方法に新規性があり、技術的に優れているか
- (3) 共同提案の場合、各者の提案が相互補完的であるか
- (4) 提案内容・研究計画は実現可能か（技術的可能性、計画、中間目標の妥当性等）
- (5) 応募者は本研究開発を遂行するための高い能力を有するか（関連分野の開発等の実績、再委託予定先・共同研究相手先等を含めた実施体制、優秀な研究者等の参加等）。
- (6) 応募者が当該研究開発を行うことにより国民生活や経済社会への波及効果は期待できるか（企業の場合、成果の実用化が見込まれるか）
- (7) 総合評価

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

2.1.3 研究開発予算の推移

年度ごとの研究開発予算（実績）の推移を表2に示す。

表2. 研究開発予算（実績）の推移（単位：百万円）

分野	年度	H22	H23	H24	H25	H26	総額
結晶シリコン太陽電池		10.3	15.4	11.3			
薄膜シリコン太陽電池		8.3	13.4	6.6			
C I S・化合物系太陽電池		4.1	8.9	6.6			
色素増感太陽電池		4.7	4.0	3.1			
有機薄膜太陽電池		6.6	8.6	5.0			
共通基盤技術		9.2	12.4	11.6			
計 特別会計(需給勘定)		43.2	62.7	44.2			

2.1.4 研究開発計画

(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 $200\mu\text{m}$ 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させずに、モジュール変換効率 20% の水準を目指すことが重要である。

これら課題を解決するため、低コストシリコン原料の製造技術、 $100\mu\text{m}$ 程度の超薄型シリコン基板スライス技術、 $100\mu\text{m}$ 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 $100\mu\text{m}$ 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

- i) モジュール変換効率向上に資する太陽電池形成プロセス（光及びキャリア閉じ込め、接合形成、パッシベーション等）の手法・条件の抜本的な見直しと、ヘテロ接合等新規構造・新規手法を開発する。
- ii) 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 $120\mu\text{m}$ 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

i) モジュール

<中間目標>

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

<最終目標>

- ・厚さ $100\mu\text{m}$ 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。

ii) 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 μ mのシリコン系薄膜により構成される薄膜シリコン太陽電池は、現在市場の主流である結晶シリコン太陽電池に比較して発電コストの大幅な低減が見込まれ、ロードマップの目標コストを達成し得る有望技術の一つとして期待されている。また、軽量基板上への太陽電池形成が可能であることから、多用途化にも適している。しかしながら、モジュール変換効率14%の水準を実現するためには、より一層の改善が必要であり、また、更なる低コスト化のためには、製造プロセス及び生産性改善等による製造コストの低減等が必要である。本研究開発は、以上の背景に基づき、薄膜シリコン太陽電池の変換効率向上及び製造コスト低減を目指して実施する。

2. 研究開発の具体的内容

モジュール高効率化及び生産性向上を図るため、以下の研究開発を実施する。

i) 高効率化

光マネジメントとして入射光の反射・屈折の制御等による光閉じ込め技術の高度化、高品質（低欠陥密度、低抵抗、高透明度）な透明導電膜の開発等を行う。

多接合化として光劣化抑制技術、界面へのバッファ層導入や粒界制御による開放電圧向上、欠陥密度の低減と価電子制御技術、バンドギャップ設計と材料高品質化、高効率化のためのパッシベーション技術、各薄膜と透明電極及び裏面金属電極との接合界面並びに各薄膜間の接合界面の高品質化の開発等を行う。

ii) 製造コスト低減

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

3. 達成目標

i) 高効率化

<中間目標>

- ・30×40cm程度の基板に製膜した2接合以上の多接合薄膜シリコン太陽電池においてモジュール変換効率13%以上（安定化効率）を達成する。

<最終目標>

- ・30×40cm基板に製膜した2接合以上の多接合薄膜シリコン太陽電池においてモジュール変換効率14%以上（安定化効率）を達成する。

ii) 製造コスト低減

<中間目標>

- ・装置の設計・作製と条件出しを完了し、任意サイズの基板において製膜速度1.0nm/sec以上を達成する。

<最終目標>

- ・幅1m以上の基板において製膜速度2.5nm/sec以上、膜厚分布 \pm 5%以下を達成する。

(ハ) C I S・化合物系太陽電池

1. 研究開発の必要性

C I S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系薄膜太陽電池では、実用化規模の大面積及び材料のポテンシャルを引き出すために小面積モジュールでそれぞれ高効率化を図る。また、軽量基板上での製造技術や新規な低コスト製造プロセスの実用化に向けた開発を実施する。

集光型太陽電池では、システム全体としてのコストダウンを目指し、太陽電池セル以外に光学系や追尾架台等の低コスト化開発を実施する。

i) C I S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太陽電池の低コスト製造プロセス（非真空プロセス等）等の開発を行う。

iii) 集光型太陽電池の低コスト化開発

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

3. 達成目標

i) C I S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系製造プロセスの開発

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

iii) 集光型太陽電池の低コスト化開発

開発した光学系や追尾架台等を用いたモデルシステムを実際に建設し、そのコストを基

にプラント建設コストを算出する。達成目標（中間目標を含む）は例えば単位面積当たりの建設コストで表し、その値は各研究テーマ毎に設定し実施計画書に記載する。

（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・Roll to Roll等の工程で製造が可能なので低コスト化が期待されている。機能面の点では光入射角度依存性が小さく、発電出力の温度依存性が小さいため、夏季でも発電特性が落ち込まない等の利点がある。

課題は変換効率が低いことであり、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型太陽電池のメリットを生かし実用化を実現するためには、変換効率及び信頼性の向上が必要である。

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・Roll to Roll等のプロセス技術の導入による量産化検討、半導体電極の低温形成技術の開発等を行う。
- ・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、耐熱性試験、耐湿性、温度サイクル、光照射の各試験）において相対効率低下10%以内

<最終目標>

- ・JIS規格C8938の環境試験・耐久性試験（温湿度サイクル、耐熱性、耐湿性、温度サイクル、光照射の各試験）において相対効率低下10%以内

(ホ) 有機薄膜太陽電池

1. 研究開発の必要性

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

課題は変換効率が低いことであり、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・Roll to Roll等のプロセス技術の導入による量産化検討、劣化メカニズムの解明及び耐久性向上のための技術確立等を行う。

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（温湿度サイクル試験、耐熱性試験、耐湿性試験、温度サイクル試験、光照射試験）において相対効率低下 10%以内

<最終目標>

- ・JIS規格C8938の環境試験・耐久性試験（温湿度サイクル試験、耐熱性試験、耐湿性試験、温度サイクル試験、光照射試験）において相対効率低下10%以内

(へ) 共通基盤技術

1. 研究開発の必要性

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

2. 研究開発の具体的内容

以下の研究開発項目を実施する。

- 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

1) 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。

2) 太陽電池の性能評価

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

基準太陽電池校正技術の研究開発として、高精度型絶対放射計とその校正技術の開発を行う。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及び試作モジュール等も用いた劣化メカニズムを解明し屋内での部材も含めた寿命評価試験方法を開発し、規格化を推進する。

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、C I S・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 I E A 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、I E A 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
 - 1) 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。
 - 2) 太陽電池の評価技術
 - ・実効性性能評価技術：光照射効果（1年以上）を考慮した実効性性能評価技術を確立する。
 - ・高精度屋外性能評価の開発：測定再現性 2 % 以内の評価方法を確立する。
 - ・各種新型太陽電池評価技術：N E D O 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：W R R ファクター 0. 5 % 以内の構成技術を確立する。
 - ・絶対分光感度法による一次基準セルの校正技術：校正の不確かさ 0. 5 % 以内の構成技術を確立する。
 - ・二次基準モジュールの校正精度：校正の不確かさ 1. 0 % 以内を達成する。
- ii) 信頼性及び寿命評価技術の開発
20～30年の屋外曝露に相当する屋内での寿命評価試験方法等について、モジュール及びシステムとして基本的な評価技術を開発し、規格化に向けた技術要件を整理する。
また、工程管理で信頼性確保を判定できる方法を確立し、簡易に寿命を判定できる方法を確立する。
さらに、モジュールやシステムの屋外曝露試験を行い、電気的物理的な劣化状況に関するデータを収集、分析、評価等を行うとともに、システムも含めた劣化要因について抽出する。
- iii) リサイクル・リユース技術の開発
新たな種類の太陽電池にも対応したリサイクル関連技術を確立する。
また、リユース及び補修回収技術の開発並びに安全性等の評価を行い、そのための基準を定める。
さらに、L C A 評価の見直しを行い、新型太陽電池の廃棄を含めた L C A 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 N E D O 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) I E A 国際協力事業及び標準化支援事業等
 - ・I E C ・ J I S に係る標準化活動を行う。
 - ・諸外国の技術動向や政策動向等を調査・分析し、諸外国の動向を把握した上で、技術開発の方向性や、分析・評価手法の開発方針等を明確にする。

2.1.5 研究開発内容

研究開発テーマ、開発目標、研究内容は以下のとおり。

表.3 (イ) 結晶シリコン太陽電池

No.	開発期間	テーマ名	委託先	テーマ概要	中間目標	その他
① 極限シリコン結晶太陽電池の研究開発 (コンソーシアム)						
1	H22 ～ H26	産業開発プラットフォームの構築 (太陽電池試作ライン)	豊田工業大学	結晶シリコン太陽電池について原料の製造から太陽電池セルまで一貫した研究開発テーマを遂行することで、低コストで高効率な世界最高レベルの競争力を有する結晶シリコン太陽電池の実現を目指す。	<ul style="list-style-type: none"> ・試作ラインの構築 ・ラインの維持・改善 	
2	H22 ～ H26	ソーラーグレード原料シリコンの分析評価に係る研究開発	新日本ソーラーシリコン	<p>①シリコン原料性状特定評価技術</p> <p>ポリシリコン製造プロセスおよびそこで得られる中間原料の特性評価</p> <p>②シリコン原料評価の要素技術</p> <p>ポリシリコン製造プロセスのシリコン原料とシリコン原料を塩化することにより得られるクロロシランについて必要な化学分析を行う。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・原料性状分析に必要な装置の選定と導入 ・原料分析技術の確立 ・原料性状特定に必要な試料の収集と分析 ・亜鉛還元 Si 試料提供適合原料特定 原料性状特定 	
3	H22 ～ H26	浮遊キャスト成長法による高品質 Si 多結晶インゴットの結晶成長技術	京都大学	<ul style="list-style-type: none"> ・浮遊キャスト成長法によるインゴットの高品質化のための成長技術の基礎検討 ・浮遊キャスト成長法によるインゴットの高品質化のための成長技術の基礎検討 ・太陽電池による結晶品質の評価および高効率化の検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・大型インゴット成長が可能であることを実証 ・従来のキャスト法に比較して結晶品質に優れるメカニズムを明確にする 100 mm 角の結晶で 200 μm 程度の拡散長を実現 キャスト成長法による結晶を上回る変換効率 	
4	H22 ～ H26	浮遊キャスト成長法による高品質 Si 多結晶インゴットの結晶成長技術	東北大学	<ul style="list-style-type: none"> ・浮遊キャスト成長法により作製した結晶の評価と高品質化メカニズムの解明 ・結晶組織や結晶欠陥、電気的特性の分布の評価を行う。 ・太陽電池による結晶品質の評価および高効率化の検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・残留融液の分離技術を開発し、浮遊キャスト成長法にて大型インゴット成長が可能であることを実証する。 ・融液上部での核形成による組織形成メカニズムを解明し、その制御技術を開発する。 ・浮遊キャスト成長法が従来のキャスト法に比較して結晶品質 (結晶組織、結晶欠陥、不純物など) の点で優れるメカニズムを明確にする。 ・10cm 角の結晶で 200 μm 程度の拡散長を実現する。 	

5	H22 ～ H24	高効率、低価格EMC多結晶ソーラーシリコン製造技術確立	SUMCO	<p>①既存 n タイプ多結晶の品質確認と課題抽出 既存 n タイプ多結晶の品質(金属不純物濃度、抵抗率、酸素濃度、炭素濃度)とライフタイム、変換効率との関係を調べる。品質評価、ライフタイム評価は社内評価で行い、変換効率は外注で実施する。</p> <p>②鑄造テスト・評価(抵抗率の最適化) p タイプ多結晶の変換効率を上回るレベルの結晶品質を作りこむ。(抵抗率の適正化)</p> <p>③ ボロン拡散の最適化 変換効率向上策としてボロン拡散の最適条件を開発する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 平成 24 年度中間目標 ライフタイムの値(リン拡散後)を $200 \mu \text{ sec}$ 平成 26 年度最終目標 ライフタイムの値(リン拡散後)を $400 \mu \text{ sec}$
6	H22 ～ H26	革新的太陽電池用単結晶成長法の研究開発	九州大学	<p>① 高効率単結晶育成炉の温度分布解析シミュレータ構築 結晶育成炉の設計が可能な温度分布解析シミュレータ構築の構築を行う。</p> <p>② 高効率単結晶育成炉の不純物除去解析シミュレータ構築 ガス整流装置の最適化を、不純物除去解析シミュレータにより最適化し、実験により実証する。</p> <p>③ 高効率単結晶育成炉の転位除去解析シミュレータ構築 結晶の冷却過程の最適化アルゴリズムを構築し転位密度が $1 \times 10^4 \text{ cm}^{-2}$ 以下の結晶育成を実証する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 高効率単結晶育成炉の温度分布解析シミュレータ構築 高効率単結晶成長炉の不純物除去解析シミュレータ構築 高効率単結晶育成炉の低転位化および低残留応力化が可能な解析シミュレータ構築
7	H22 ～ H26	太陽電池用低価格単結晶シリコン成長法の研究開発	物質・材料研究機構	<p>太陽電池用低価格単結晶シリコン成長法の研究開発 単種結晶を用いた鑄造単結晶シリコン製造法(seed cast法)と次世代太陽電池用矩形単結晶 Si 製造法を開発し、安価かつ高品質な単結晶育成技術を確立させる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> MonoSi 結晶中の軽元素析出物の評価 多結晶 Si 結晶中の粒界の評価
8	H22 ～ H26	太陽電池向け $100 \mu \text{ m}$ ウェーハの効率的加工技術の構築	コマツNTC	<p>太陽電池向け $100 \mu \text{ m}$ ウェーハの効率的加工技術の構築</p> <p>①薄板ウェーハの高歩留まり生産技術の確立</p> <p>②カーフロス量の最少化に向けた細線ワイヤが使用できる生産設備の確立</p>	<ul style="list-style-type: none"> $120 \mu \text{ m}$ ウェーハを歩留り 95%以上で加工可能なこと カーフロス $120 \mu \text{ m}$ で加工可能なこと(固定砥粒ワイヤを使用)

9	H22 ～ H26	スライス時のカーフの回収・再利用	兵庫県立大学	スライス時のカーフの回収・再利用 ①カーフ／不純物の分離技術の開発 ②原料再生技術の開発	・カーフ／不純物の分離技術の開発：回分式でシリコン回収率 60%以上、純度 80%以上 ・原料再生技術の開発 原料中の酸素含有量 70ppma 以下
10	H22 ～ H26	銅ペーストの研究開発	産業技術総合研究所	①実験設備の設置 結晶 Si 太陽電池に形成する銅配線の抵抗率の精密評価、および Si 基板と銅配線の接触抵抗の評価を行う。そのための、微小抵抗計測システムを構築する。 ②ペースト調整 結晶 Si 太陽電池に印刷で微細銅配線を形成するための印刷用銅ペーストの開発を行う。 ③印刷試験 結晶 Si 太陽電池に印刷により微細銅配線を形成する技術の開発を行う。印刷法としては、特にスクリーン印刷での配線・電極パターンの形成を検討する。 ④印刷細線電気特性解析 結晶 Si 太陽電池に印刷により形成した微細銅配線の電気特性を解析する。	・コンタクト抵抗 R_c : $< 1 \times 10^{-3} \Omega \text{ cm}^2$ 、ライン抵抗 R_s : $< 2 \times 10^{-4} \Omega \text{ c}$
11	H22 ～ H26	室温レーザードーピングプロセスの研究開発	奈良先端科学技術大学院大学	室温レーザードーピング技術の開発 ①ドーピング濃度ならびに深さ制御技術の開発 ③局所領域へのドーピング技術の開発	・ドーピング濃度ならびに深さ制御技術の開発 適切な波長のレーザービームを選択し、照射強度をレーザーパワーならびに形状や基板走査速度を変えて制御し高濃度ドーピングを目指す。最終的に高品位電子物性を有するドーピング層ならびに接合界面を実現する。 ・局所領域へのドーピング技術の開発 極細レーザービームの走査により、局所領域へのドーピングを実施する。ビーム走査の高精度制御技術を確立し任意形状のドーピングパターンにおける不純物導入を目指す。
12	H22 ～ H26	ナノ表面・界面制御による超薄型シリコン・ヘテロ接合太陽電池	東京工業大学	ヘテロ技術の研究開発 ①ナノ界面制御によるアモルファス酸化アルミニウムパッシベーション膜の技術開発 ②超薄型シリコンヘテロ接合太陽電池の開発	・ナノ表面・界面制御による超薄型シリコン・ヘテロ接合太陽電池の高効率化に関する研究開発) ・厚さ 150-200・nm のセルで 1 cm^2 において変換効率 20%以上を達成する。

13	H22 ～ H26	次世代ヘテロ接合シリコン結晶太陽電池の接合評価	岐阜大学	次世代ヘテロ接合シリコン結晶太陽電池の接合評価 ①結晶 Si 太陽電池用の光起電力顕微鏡の開発 a. 光起電力顕微鏡用基礎技術の開発 b. 結晶 Si 太陽電池用の光起電力顕微鏡装置の開発 開発項目②ヘテロ接合単結晶 Si 太陽電池の作製と光起電力顕微鏡によるヘテロ接合特性の評価	・結晶 Si 太陽電池用の光起電力顕微鏡の開発 ・HIT 型単結晶 Si 太陽電池ヘテロ接合特性の評価 ・HIT 型ヘテロ接合多結晶 Si 太陽電池ヘテロ接合特性の評価	
14	H22 ～ H26	次世代超薄型結晶シリコン太陽電池の低コスト・高効率化プロセス開発	シャープ	次世代超薄型高効率単結晶シリコン太陽電池の開発 微細レーザー加工技術による高効率化研究開発 ①バックコンタクト（裏面電極型）セル構造開発 ②光閉じ込め技術開発 ③表面パッシベーション技術開発 ④高品位 p n 接合形成技術開発 超薄型多結晶シリコン太陽電池の低コスト・高効率化プロセス開発 超薄型多結晶シリコン太陽電池の低コスト・高効率化プロセス開発 ⑤低コスト裏面パッシベーション構造形成技術開発 ⑥基板の評価	セル変換効率 20%（単結晶シリコン基板：厚さ 100 μm 以下、サイズ 150mm 角） モジュールでの変換効率 18%	
15	H22 ～ H26	微細レーザー加工技術による高効率化研究開発	三菱電機	微細レーザー加工技術による高効率化研究開発 ① 効率セル製造プロセス技術 ② 微細レーザー加工技術 ③ 評価	厚さ 100μm 程度 15 c m 角程度のセルにおいて変換効率 20%	
16	H22 ～ H26	次世代超薄型高効率結晶シリコン太陽電池	京セラ	次世代超薄型高効率結晶シリコン太陽電池 高効率・低コストセルの研究開発 ①高効率化技術開発 ②原料・結晶の研究開発で得られた基板のセル化評価	・セル変換効率 20% ・モジュール変換効率 18% 従来結晶シリコン基板との比較評価	
17	H22 ～ H26	産業開発プラットフォームの構築（物性評価）	明治大学	産業開発プラットフォームの構築 ①セルプロセス評価 ②原料・結晶の評価 ③低コスト単結晶の評価	変換効率の面内分布評価を可能とすることで、プロセスによる変換効率劣化要因の抽出技術を開発 変換効率 20%達成のための要素技術開発の支援 低コスト単結晶に特化した結晶評価技術の確立 目標転位密度 $1 \times 10^3 \text{ m}^{-2}$ 以下	

①太陽電池用シリコンの革新的プロセス研究開発（コンソーシアム）						
18	H22 ～ H26	高純度原料の 開発	太平洋 セメン ト	高純度原料の開発 ① シリカ原料の調合技術の 開発 ② シリカの高純度化技術の 開発 ③ カーボン原料の高純度化 検討 ④ コスト低減の検討（薬剤 費、処理条件の最適化） ⑤ カーボンの低コスト化検 討 ⑥ 粉砕・混合方法および装 置の調査・検討 ⑦ カーボンの粉砕方法の検 討	・ 700円/kg-SOG-Si の 原料費の目処付け	
19	H22 ～ H26	シリカの直 接還元プロ セスの開発	弘前大 学	シリカの直接還元プロセスの 開発 ・ 微粒炭素（カーボン）とシ リカ(SiO ₂)の粉体混合素材の 高温下での直接還元プロセス を研究開発し、新しい太陽電 池用 Si 素材の高純度化、低 コストかつ量産化プロセスの 基礎技術を開発する。 ・ 高純度 Si 製造プロセスを 開発する。	・ 700円/kg-SOG-Si の 原料費の技術の目処付け	
20	H22 ～ H26	Si 精製プ ロセスの開 発	東京大 学	Si 精製プロセスの開発 テーマで得られたシリコンを 太陽電池級に精製するプロセ スを確立する。	・ 600円/kg-SOG-Si の 精製技術の目処付け	
②単独案件						
21	H22 ～ H26	マルチワイ ヤーソーに よるシリ コンウエ ハ切断技 術の研究 開発	コベル コ科研	マルチワイヤーソーによるシ リコンウエハ切断技術の研究 開発 ①0.13 および 0.12mm素線 径 R ワイヤによる切断の切断性 の改善および評価 ②0.1mm径素線の検討 ③マルチワイヤーソーの導入 ④0.1mm素線径 R ワイヤに よる切断実験 ⑤切断メカニズムの解析と砥 粒挙動の数値シミュレーショ ン ⑥ライフタイムによるダメ ージ層の評価 ⑦周辺技術の検討	・カーブロス 120μm未満 ・ダメージ層 5μm以下 ・表面粗さ 0.5μm以下 ・ウエハ厚さ 130μm ・切断速度 0.3 mm/min 以 上 ・洗浄の簡便化 ・エッチング時間の短縮 あるいは省略に目処 ・125角 x0.2mm 単結晶ウ エハを試作してセル評価 を実施	
22	H22 ～ H26	太陽電池用 ポリシリ コンのシリ コン原料 転換の研 究開発	新日本 ソーラ ーシリ コン	太陽電池用ポリシリコンのシ リコン原料転換の研究開発 シリコン原料転換の技術開発 ①原料の調査・評価 ②高効率反応技術の開発 ③粗 SiCl ₄ の蒸溜・品質評 価 シリカ塩化反応技術の開発 ① 塩化反応基礎試験（ラボ試 験） ②原料前処理技術の開発 ③塩化反応技術の開発	・シリカ塩化の生産性 0.7トン-SiCl ₄ /m ² /h以上 ・四塩化珪素の品質 純度 6N以上 ・シリコン単結晶の品質 10Ω・cm以上	

表.4 (ロ) 薄膜シリコン太陽電池

No.	開発期間	テーマ名	委託先	テーマ概要	中間目標	その他
1	H22 ～ H26	次世代多接合薄膜シリコン太陽電池の産学官協力体制による研究開発（コンソーシアム）	太陽光発電技術研究組合	<p>①多接合薄膜シリコン太陽電池高効率化要素技術開発 a-Si と μc-Si の組み合わせを基本とする 2 接合以上の薄膜シリコン系太陽電池モジュール要素技術を開発する。</p> <p>②薄膜シリコン大面積高生産性製膜技術開発 基本計画書の仕様(1m 以上)を上回る 2m 長以上の電極長さに対して 10%以下の膜厚分布を有する均一な製膜技術を確立するとともに、G5 サイズ以上の面積での高速かつ高品質製膜を達成する。</p> <p>③薄膜シリコン系太陽電池モジュールシステム化技術開発 大面積薄膜シリコン太陽電池モジュールに特有の高電圧、低電流という特質を生かすべく、モジュールをシステム化するときの電圧配分、モジュール電圧の選択、インバータとの整合性などを検討し、システム効率とシステムコストが最も安くなるモジュールの集積化の手法を開発する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・アモルファスシリコントップセルで安定化効率 11%以上 ・微結晶シリコン或いは微結晶シリコンゲルマニウム単接合で短絡電流 32mA/cm²以上 ・新規なカソード電極を用い、VHF プラズマ周波数(60MHz 以上)に対応する波長 λ に対して長さ $1/4\lambda$ 以上、幅 $1/10\lambda$ 以上の電極を用いて μc-Si 薄膜の製膜速度 1.5nm/s 以上、$\pm 10\%$以下の膜厚均一性を達成しうる、$\pm 10\%$以内のプラズマパラメーターの均一性 ・マルチロッド電極を用いた第 5 世代(以下、G5)相当サイズ(1.1m\times1.4m)ガラス基板処理可能な装置において、μc-Si 製膜において$\pm 10\%$以下の膜厚均一性 	
2	H22 ～ H26	高度構造制御薄膜シリコン太陽電池の研究開発	カネカ	<p>薄膜シリコン太陽電池の高効率化を目指し、光閉じ込め構造のさらなる強化を目的に透明電極の凹凸形状において光散乱に指向性を有する事を特徴とする新規低空間指向性光閉じ込め構造の開発を行う。合わせてモジュールへの適用を目指した検討を実施するものとする。また、多接合型薄膜シリコン太陽電池の高性能化においてキーとなるミドル層の高性能化を目的に、サブサーフェス制御製膜法による新規バンドギャップ制御シリコン系材料の開発を行い、高効率化を実現する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・サブモジュール (サイズ 20cm\times20cm) にて安定化効率 15% ・実機サイズモジュール (サイズ 980\times950mm) にて安定化後 120W 	
3	H22 ～ H26	薄膜シリコンフィルム太陽電池の高速製膜技術の研究開発	富士電機	<p>薄膜シリコン太陽電池であるフレキシブル太陽電池について、その高効率化を図ると共に、その薄膜シリコンを高速で製膜する技術を開発する。</p> <p>1) 薄膜シリコン太陽電池の高速製膜技術</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・μc-Si:H セルで変換効率 9.5% (製膜速度 2.2nm/s) ・3 接合太陽電池で初期効率 12.6%、製膜速度は μc-Si : 2.2nm/s、a-Si : 0.83nm/s ・a) 直列接続による出力低下 : 20% 	

				2) 太陽電池モジュール作製技術	b) 高温高湿通電試験での出力低下：4%	
--	--	--	--	------------------	----------------------	--

表.5 (ハ) C I S・化合物系太陽電池

No.	開発期間	テーマ名	委託先	テーマ概要	中間目標	その他
①フレキシブルC I G S太陽電池モジュールの高効率化研究（コンソーシアム）						
1	H22～H26	フレキシブルC I G S太陽電池モジュールの高効率化研究	富士フイルム	フレキシブルC I G S太陽電池の高速製膜・高性能化プロセスを開発する。 フレキシブルC I G S太陽電池のロール・トゥ・ロール製膜装置(C I G S層、Na供給層、裏面電極)の基本仕様設計と、基本仕様によるアルバック社作製装置の評価により、高効率化可能な装置技術を開発する。	・フレキシブルC I G S太陽電池の高効率化 (10×10cmサイズにて効率17%) (30×30cmサイズにて効率16%)	
2	H22～H26	装置開発	アルバック	フレキシブルC I G S太陽電池のロール・トゥ・ロール製膜装置を開発(C I G S層、Na供給層、裏面電極層)する。	・フレキシブルC I G S太陽電池製造技術の構築 (C I G S工程までをロール・トゥ・ロールプロセス化、C I G S光吸収層の高速成膜技術の構築)	
3	H22～H26	電子構造評価によるデバイス特性向上技術の開発	鹿児島大学	ワイドギャップC I G Sに適合する新規バッファ層の電子構造およびバッファ層/C I G S界面の伝導帯・価電子帯の適正な接続条件を明らかにし、デバイス作成技術にフィードバックする。	・フレキシブルC I G S太陽電池の高効率化 (10×10cmサイズにて効率17%) (30×30cmサイズにて効率16%)	
4	H22～H26	結晶欠陥の検出・同定、欠陥低減化技術開発支援	筑波大学	C I G S光吸収層の中および界面での結晶欠陥を検出、同定して欠陥の性質を明らかにし、さらに欠陥低減化技術開発を支援してデバイス特性の向上を図る。	・フレキシブルC I G S太陽電池の高効率化 (10×10cmサイズにて効率17%) (30×30cmサイズにて効率16%)	
5	H22～H26	新規バッファ層の開発	豊橋技術科大学	ワイドギャップC I G Sに適合する新規バッファ層の材料とその成形技術、およびバンドギャップチューニング技術の開発を行い、ワイドギャップC I G S太陽電池の高効率化を図る。	・フレキシブルC I G S太陽電池の高効率化 (10×10cmサイズにて効率17%) (30×30cmサイズにて効率16%)	
③独案件						
6	H22～H26	C I S系薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発	昭和シェル石油	2020年における発電コスト目標(14円/kWh)達成に向けたC I S系薄膜太陽電池の高効率化技術研究開発である。このために30cm角程度のサブモジュールにおいて変換効率18%、1cm角程度の小面積セルにおいて変換効率25%を目標とする。	・30cm角程度のサブモジュールで変換効率17% ・1cm角程度の小面積セルで変換効率22%	
7	H22～	反射式集光型太陽光発電	三井造船	反射を使用した集光型発電(CPV)システムの開発を実	・集光技術 集光倍率>500倍、	

	H26	電システムの研究開発		施 (New TAR(Trans Axial Reflector)方式)。レンズ方式より低コストかつ同等以上の性能を狙う。また、直達光の多いサンベルト地域等を主市場として見込む。	光学効率>70%、 モジュール効率>25%、 許容角>±1° 放熱技術 機構技術 ・実証データ取得 ・コスト試算	
--	-----	------------	--	---	--	--

表.6 (二) 色素増感太陽電池

No.	開発期間	テーマ名	委託先	テーマ概要	中間目標	その他
①三層協調界面構築による高効率・低コスト・量産型色素増感太陽電池の研究開発 (コンソーシアム)						
1	H22 ～ H26	高効率・高耐久性モジュールに関する研究開発	シャープ	①集積モジュール化技術の研究開発 大面積化構造に対して、実用化に最も好適な集積モジュール構造の選定を行い、高効率化技術を開発する。 ②信頼性向上技術の研究開発 ユニットセルを集積するモジュール構造やプロセスに起因した劣化機構を解析・究明することで、集積モジュールレベルでの高信頼性技術を開発する。	①高効率化技術 変換効率 11% (1cm 角程度、シングルセル) モジュール変換効率 7% (30cm 角程度) ②モジュール化・耐久性向上 JIS C8938 試験 (A-2, A-5, B-2) 後の相対効率低下 10%以下	
2	H22 ～ H26	高効率タンデム化技術に関する研究開発	九州工業大学	効率タンデム化技術に関する研究開発 15%の効率を達成するための新タンデム型色素増感太陽電池構造の提案	一セル内二電極型色素増感太陽電池の機能確認 酸化錫ボトム電極を使い、吸収端 1100 nm、Jsc が 10 mA/cm ² の色素およびボトム電極を開発	
3	H22 ～ H26	高効率化技術及びメカニズム解析に関する研究開発	信州大学	高効率化技術及びメカニズム解析に関する研究開発 反応エネルギー制御色素、高効率小型セル、光学・電子移動速度同時測定装置の開発	吸収端 850nm、全吸収波長領域での平均 IPCE80%	
4	H22 ～ H26	高効率タンデム用色素材料の研究開発	新日鐵化学	高効率タンデム用色素材料の研究開発 (長波長色素の開発)	セル変換効率 11%に資する長波長色素として、吸収端 1100nm、最大吸収波長での IPCE50%を目標とした長波長色素の開発	
5	H22 ～ H26	高効率・高耐久性モジュール材料の研究開発	住友大阪セメント	高効率・高耐久性モジュール材料の研究開発 絶縁層、触媒材料、導電層及び高効率酸化半導体電極の開発	変換効率 11% (1cm 角程度、シングルセル)、モジュール変換効率 7% (30cm 角程度) 実現に資するモジュール材料の開発	
6	H22 ～ H26	高効率・高耐久性色素材料の研究開発	富士フイルム	高効率・高耐久性色素材料の研究開発 自由エネルギー差 (ΔG) の低減が可能な色素の開発	変換効率 11% (1cm 角程度、シングルセル)、モジュール変換効率 7% (30cm 角程度) 実現に資する色素材料の開発	
7	H22 ～ H26	高効率・高耐久性電解質材料の研究開発	メルク	高効率・高耐久性電解質材料の研究開発 高い解放電圧 (Voc) を与える高純度新規電解質材料の開	変換効率 11% (1cm 角程度、シングルセル)、モジュール変換効率 7% (30cm 角程度) 実現に資	

				発	する電解質材料の開発	
②フィルム型軽量低価格色素増感太陽電池の研究開発（コンソーシアム）						
8	H22 ～ H26	フィルム型 モジュール の研究開発	グンゼ	フィルム型モジュールの研究 開発 ①フィルム型モジュールの試 作と高効率化・耐久性向上、 ②RolltoRoll プロセスによ る高スループット太陽電池製 造技術開発	フィルム型色素増感太陽 電池においてモジュール 効率 7%、JIS 規格の環境 試験、耐久性試験におい て相対効率低下 10%以内	
9	H22 ～ H26	高性能色素 及び電極の 研究開発と セル性能総 合評価	岐阜大 学	高性能部材の研究開発 有機増感色素の開発と多孔質 酸化チタン電極の低温製膜法 の開発	フィルム型色素増感太陽 電池においてモジュール 効率 7%、JIS 規格の環境 試験、耐久性試験におい て相対効率低下 10%以内 達成に資する光電極の低 温製膜法の実現	
10	H22 ～ H26	低温製膜印 刷材料を用 いるフィル ム型色素増 感太陽電池 の開発	桐蔭横 浜大学	低温製膜印刷材料を用いる フィルム型色素増感太陽電池 の開発	室温印刷および 150℃以下 乾燥での酸化チタン半導 体フィルム光電極、印刷 法による対極によるフィル ムモジュールの実現	
③高効率・高耐久性色素増感太陽電池モジュールの研究開発（コンソーシアム）						
11	H22 ～ H26	色素増感太 陽電池モ ジュール化 技術と高耐 久性化研究 開発	フジク ラ	屋外利用可能かつ高効率な色 素増感太陽電池モジュールの 技術開発 ①大面積（30cm 角以上）・高 耐久性色素増感太陽電池モ ジュールの研究開発 ②色素増感太陽電池モジュ ールの屋外耐久性実証とシス テム化技術開発 ③高耐久性色素増感太陽電池 モジュールの高効率化要素技 術の研究開発	・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 ・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	
12	H22 ～ H26	高効率・高 耐久性色素 増感太陽電 池の基盤的 研究	東京理 科大	チタニア光電極の光閉じ込め 効果や新規調製法による最適 化、高性能色素の開発、電解 質溶液の最適化、対極の最適 化検討および太陽電池の性能 支配因子の明確化	1cm 角セルで 11%、10cm 角 サブモジュール耐久性試 験での相対効率低下 10%以 内の達成 Pt 代替対極 1cm 角セルで 10%、非 FTO セルで 8%の変 換効率実現	

表.7 (ホ) 有機薄膜太陽電池

No.	開発 期間	テーマ名	委託先	テーマ概要	中間目標	その他
①有機薄膜太陽電池モジュール創製に関する研究開発（コンソーシアム）						
1	H22 ～ H26	新構造モ ジュールの 研究開発	東芝	①高効率化技術：新構造モ ジュールの提案 ②モジュール化技術：新構造 モジュールの作製技術を確立 ③耐久性向上：JIS 規格 C8938 に基づく評価を実施	①②セル変換効率 8%以上 （1cm 角程度）、モジュ ール変換効率 6%以上（30cm 角程度） ③JIS 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	

2	H22 ～ H26	高分子系有機薄膜太陽電池モジュールの研究開発	住友化学	①高効率化技術：高分子系の高効率発電組成を開発し、周辺材料を最適化 ②モジュール化技術：フレキシブル基板上でのモジュール化技術を開発 ③耐久性向上：JIS規格C8938に基づく評価を実施	①②セル変換効率8%以上（1cm角程度）、モジュール変換効率6%以上（30cm角程度） ③JIS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
3	H22 ～ H26	低分子系有機薄膜太陽電池モジュールの研究開発	出光興産	①高効率化技術：低分子系新材料を開発し、セル構造を最適化・制御 ②モジュール化技術：蒸着法でのモジュール試作検討 ③耐久性向上：JIS規格C8938に基づく評価の実施	①②セル変換効率8%以上（1cm角程度）、モジュール変換効率6%以上（30cm角程度） ③JIS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
4	H22 ～ H26	材料・構造最適化技術の研究開発	京都大学	①新材料・新構造技術：設計指針を提案し、新材料・新構造を創製 ②機構解明：物性・素子特性などを測定し光電変換機構を解明 ③最適化技術：評価環境を整備し、セルの最適化を実現	①②セル変換効率8%以上（1cm角程度）、モジュール変換効率6%以上（30cm角程度）の実現に資する新材料・新構造を創製
②光電荷分離ゲルによる屋内用有機太陽電池の研究開発（コンソーシアム）					
5	H22 ～ H26	光電荷分離ゲル材料の有機太陽電池デバイス化技術開発	パナソニック	①変換効率向上：デバイス構造・電解液組成設計技術開発 ②耐久性向上：色素脱離抑制技術開発 ③低コスト化：塗布製膜透明導電膜基板での高変換効率および高耐久性技術開発 ④蓄電機能付与：発電デバイスへの蓄電付与技術開発	①可視光下（400-700nm、57.7μW）で変換効率20% ②JIS C8938試験での相対効率低下10%以内 ③塗布工法での透明導電膜基板（80%T、10Ω/□）、空隙率80%以上の多孔質集電電極の作製技術開発 ④1.26mWhの蓄電機能実現のための材料技術開発
6	H22 ～ H26	光電荷分離ゲル材料技術開発及びゲル劣化因子の把握・改善	早稲田大学	①変換効率向上：ゲル材料技術開発 ②耐久性向上：ゲル劣化因子の把握および改善 ④蓄電機能付与：蓄電機能実現のためのゲル材料技術開発	①可視光下（400-700nm、57.7μW）で変換効率20% ②JIS C8938試験での相対効率低下10%以内 ④1.26mWhの蓄電機能実現のための材料技術開発

表.8 (へ) 共通基盤技術

No.	開発期間	テーマ名	委託先	テーマ概要	中間目標	その他
①発電量評価技術等の研究開発及び信頼性及び寿命評価技術の開発（コンソーシアム）						
1	H22 ～ H26	発電量評価技術等の研究開発及び信頼性及び寿命評価技術の開発	産業技術総合研究所	発電量評価技術の開発 ①太陽電池性能評価・校正技術 ②発電量推定と予測技術 信頼性評価技術と長寿命化技術の開発	発電量評価技術の開発 ①・結晶Si・薄膜Si・化合物半導体・色素増感・有機薄膜等を材料とした様々な新型太陽電池やこれらを要素セルとして用	

				<p>①モジュール・機器耐久性評価技術</p> <p>②システム点検技術</p>	<p>いた多接合太陽電池、および大型サブモジュールを高精度に評価する技術を検討して実証し、測定を実施する</p> <ul style="list-style-type: none"> ・評価技術の国際整合性を確保・確認するための比較測定・標準化等を実施する ・超高温定温黒体炉を用いた相対分光放射照度の高精度な値付けと、精密構造型 WRR 絶対放射計を用いた絶対放射照度の値付けの結果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>②・新型太陽電池モジュールを含む各種太陽電池モジュールのモード発電量を1ヶ月間の測定機関で5%未満の精度で算出する測定法を開発する</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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の試作モデルを開発する <p>信頼性評価技術と長寿命化技術の開発</p> <p>①・4セル～6セル（40cm角～40×60cm程度）のミニモジュールで、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する</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水蒸気との酸化反応により光学定数が変化する金属を見出すことにより、透過率に換算して10-2g/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進入経路調査方法を確立する <p>②・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>
2	H22～H26	発電量評価技術等の開発	気象協会	<p>発電量定格技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・日射スペクトルデータの全国整備に関する研究開発 ・発電量予測技術の開発 ・広域日射量予測技術の研究開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・日射スペクトルのデータベースを構築する ・実測データを基に、水平面全天日射から日射スペクトルを推定するモデルを開発する ・日射スペクトルデータの全国整備を行う ・広域の日射量予測の予測誤差検証用に気象庁地

					<p>上気象官署の補間的な位置づけとして、気象衛星観測データから算出した日射量メッシュ（1kmメッシュ）を整備する</p> <ul style="list-style-type: none"> ・5kmメッシュで全国を対象とする全天日射量予測誤差の検証を行うとともに、予測モデルによる広域の太陽光発電量把握への適用性を評価する ・日射量予測の精度向上を図る 	
3	H22～H26	発電量評価技術等の開発	岐阜大学	<p>発電量予測技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・分散日射量予測技術の研究開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・分散日射予測において、分解能10kmの気象パラメータからさらに詳細な空間分解能2kmの気象パラメータを推定可能とする ・24時間以上先での日射強度を直達・散乱日射スペクトル強度で予測を可能とする技術を開発する 	
4	H22～H26	発電量評価技術等の開発	東京大学	<p>発電量予測技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・分散・広域発電量応用評価技術の研究開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・発電量予測技術仕様を検討するための電力システム解析・評価モデルの開発 ・発電量予測技術仕様の設定 ・発電量予測のためのPVシステム発電量のモニタリング手法の策定 	
5	H22～H26	信頼性及び寿命評価技術の開発	太陽光発電技術研究組合	<p>信頼性評価技術と長寿命化技術の開発と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</p> <ol style="list-style-type: none"> ①高信頼性モジュールの認証試験技術 ②新規信頼性試験方法の開発 ③発電データ分析技術 ④リユースモジュール健全性試験技術 ⑤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 	<ol style="list-style-type: none"> ①・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、劣化症状と照らし合わせ、劣化因子の推定を行う ②・4セル～6セル（40cm角～40×60cm程度）のミニモジュールで、サイクル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する ・水蒸気との酸化反応により光学定数が増加する金属を見出すことにより、透過率に換算して10-2g/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 ③・損失分析手法（SV法等）を利用して測定可能な計測項目と評価可能な損失項目との関係について定量的に明確にする 	

					<p>④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>⑤・PV モジュールの信頼性及び高耐久性に関するデータの系統的な調査・解析を行い、PV モジュールの主要な劣化要因の特定を行う</p> <p>・2050年のPVシステムのあるべき姿を策定するための、基本情報を収集する</p>	
②単独案件						
6	H22 ～ H26	広域対象のPVシステム汎用リサイクル処理手法に関する研究開発	北九州産業学術推進機構	PVシステムのリサイクル処理手法の確立 ①低コスト汎用リサイクル処理技術の基本技術を開発 ②LCA評価 ③広域対象のPVシステム汎用リサイクル処理に必要な社会システムの提案	<p>・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</p> <p>・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</p> <p>・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要事項を専門委員会で議論できていること</p>	
7	H22 ～ H26	超ハイガスバリア太陽電池部材の研究開発	三菱樹脂	超ハイガスバリア太陽電池部材の研究開発 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 ②耐候性バックシート、フロントシートの基本構成確立 ③耐熱性耐候性基材の基本構成確立	<p>①・水蒸気透過度 10-6g/(m²・d)以下</p> <p>・85℃×85%RH 3000hrでの水蒸気透過度 10-5g/(m²・d)以下</p> <p>・耐候性試験機 3000hrでの水蒸気透過度 10-5g/(m²・d)以下</p> <p>②・85℃×85%RH 3000hrでの機械物性変化 30%以下</p> <p>・耐候性試験機 3000hrでの水蒸気透過度 10-5g/(m²・d)以下</p> <p>③・プラスチック基材の線膨張係数が 20ppm以下、200℃の熱収縮率が 0.1%以下</p>	
8	H22 ～ H26	ロールツーロールプロセスを可能とする封止材一体型保護シートの研究開発	積水化学	ロールツーロールプロセスに対応可能な封止材一体型保護シートの開発 ①封止材の開発 ②保護シートの開発 ③封止材/保護層の一体化 ④ラミネート封止技術の検討 ⑤リジッド太陽電池用の封止材の開発	<p>薄膜シリコン太陽電池用一体型シート品質</p> <p>・厚み制度：±5%以下</p> <p>・接着速度：3m/分で一体成形できること</p> <p>・接着強度：5N/10mm以上</p> <p>・透明性：全光線透過率 >90%以上</p> <p>・バリア性：3g/m²day以下</p> <p>リジッド太陽電池用封止</p>	

					材品質 ・ラミネート適性：架橋行程が不要 ・長期信頼性：高温高湿試験 1000hr 合格（発電性能） ・耐熱性：EVA 封止材と類似の熱変形挙動	
9	H22 ～ H26	太陽光発電システムの据付工程簡便化に関する研究開発	デュポン	据付工程簡便化に関する研究開発 ①機能複合化した据付部品のデザイン、材料選択および耐久性の検証 ②太陽電池モジュールの機械的強度／環境耐久性および保持方法の検証	①・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、最終目標値を確定する ・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 ②・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 50%以上の軽量化、かつ 10～20 年相当以上の耐久性（高温高湿試験（85℃ x 85%RH x 1000 時間後に出力低下 5%以下を達成）を実証する	

2.2 研究開発の実施体制

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

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

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

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

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

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

・公募期間：平成 22 年 4 月 2 日～平成 22 年 5 月 17 日

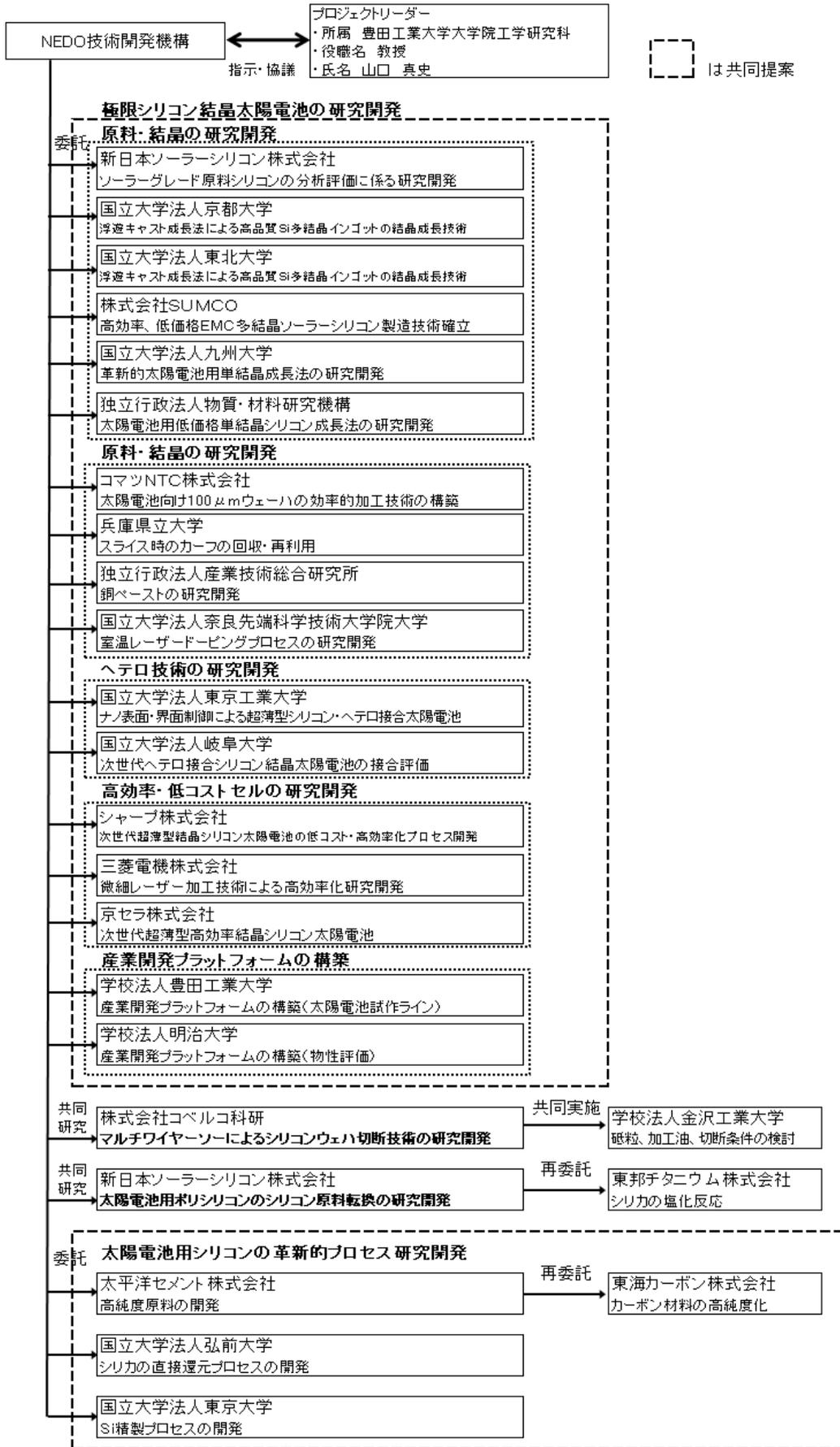
・審査項目・基準

- 1) 開発の最終目標は、本事業の目標値に対応して妥当かつ明確であるか。
- 2) 開発計画は、中間目標・最終目標まで実現可能なスケジュールであるか。また提案の要件を満たす計画となっているか。
- 3) 開発内容は、技術的に優れたものであるか。また新規性があるか。
- 4) 開発内容は、実現したときのインパクトが大きいか。
- 5) 実施体制は、効果的な開発が期待できるか。

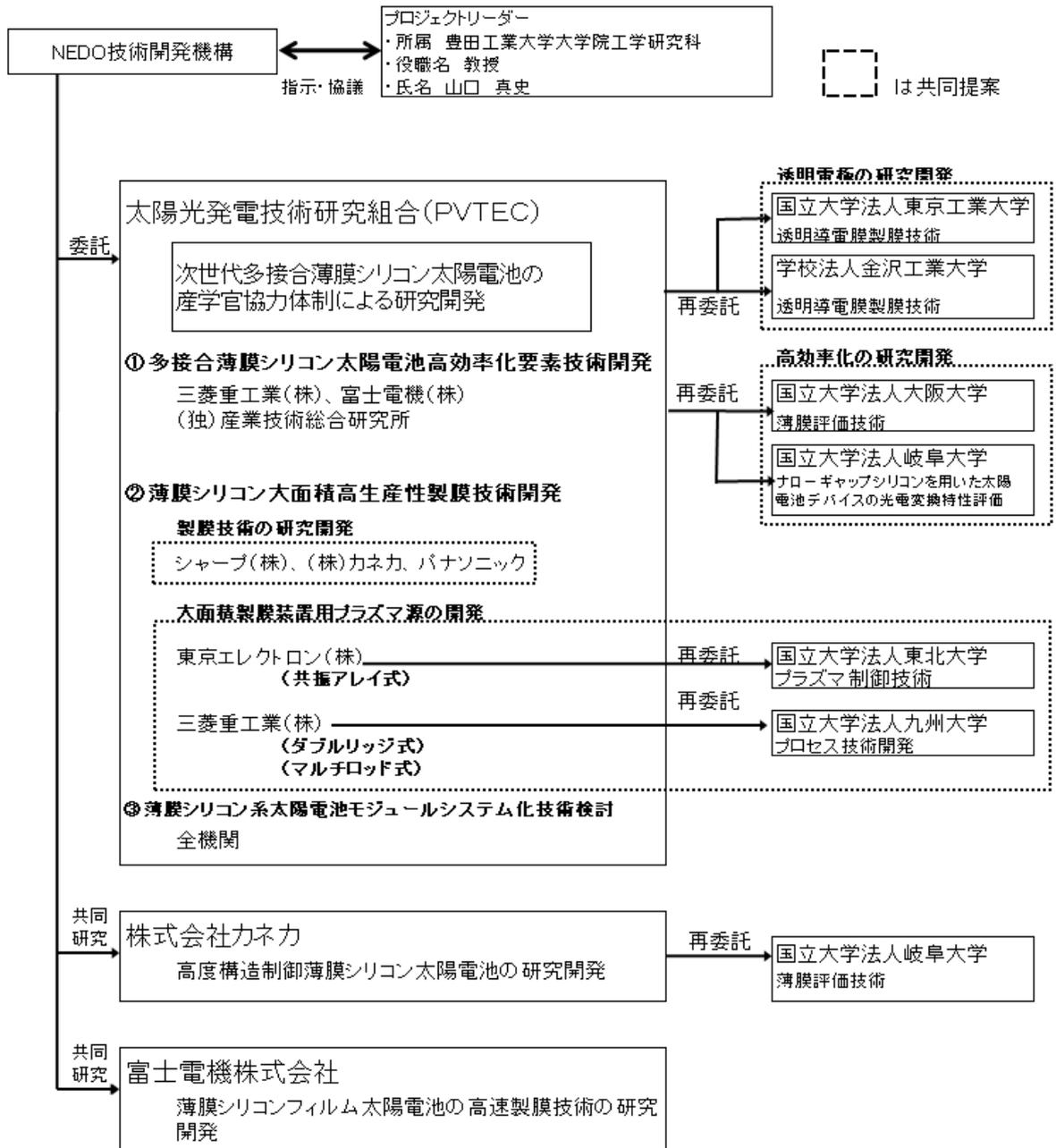
- 審査委員会委員（敬称略）：
山本 嵩勇（福井大学教授）、石原 好之（同志社大学教授）、勝本信吾（東京大学教授）、工藤 一浩（千葉大学教授）、瀬川 浩司（東京大学教授）
- 応募件数：41 件
- 採択件数：21 件

研究開発の実施体制を以下に示す。

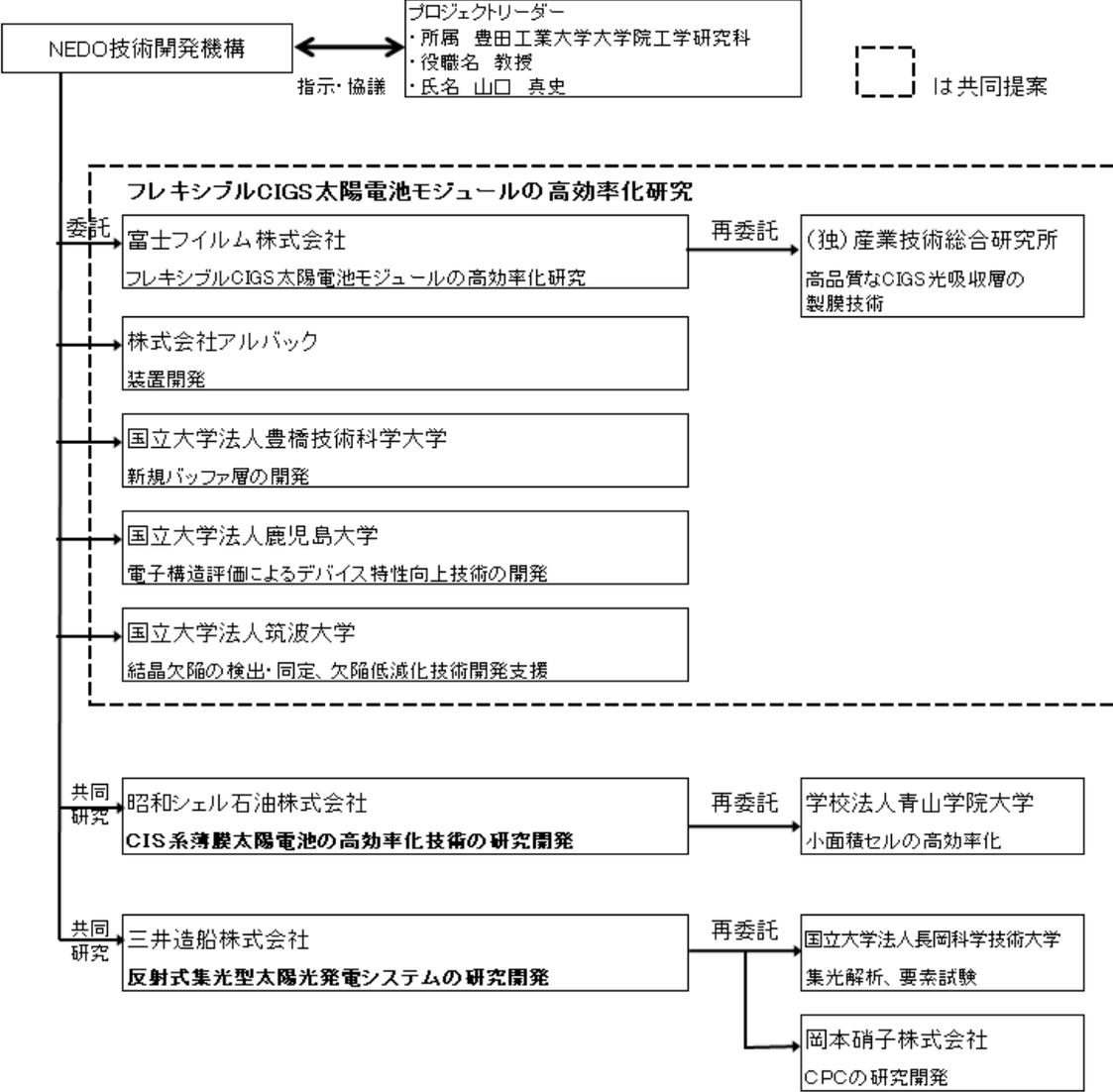
研究開発項目 (イ) 結晶シリコン太陽電池



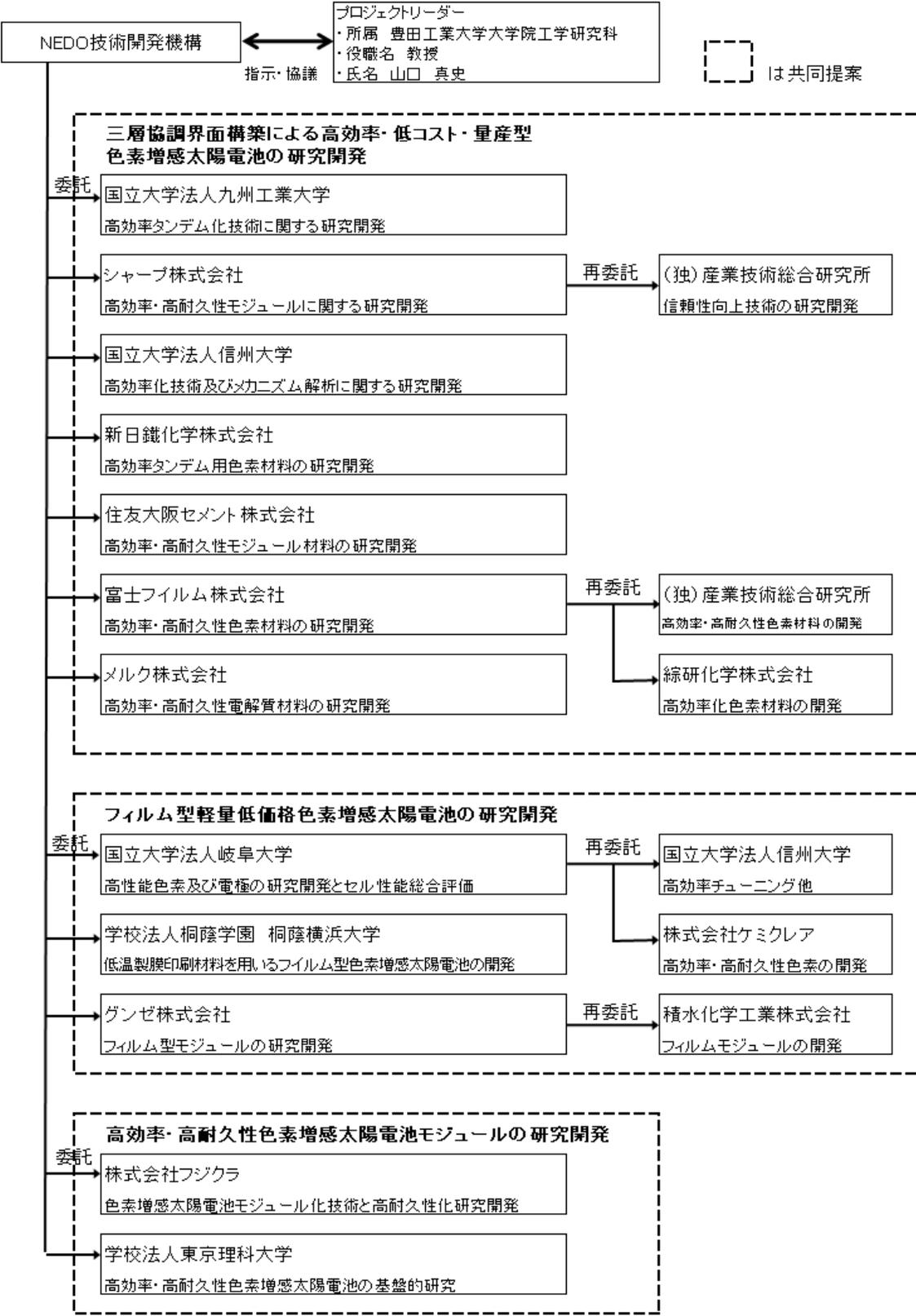
研究開発項目 (ロ) 薄膜シリコン太陽電池



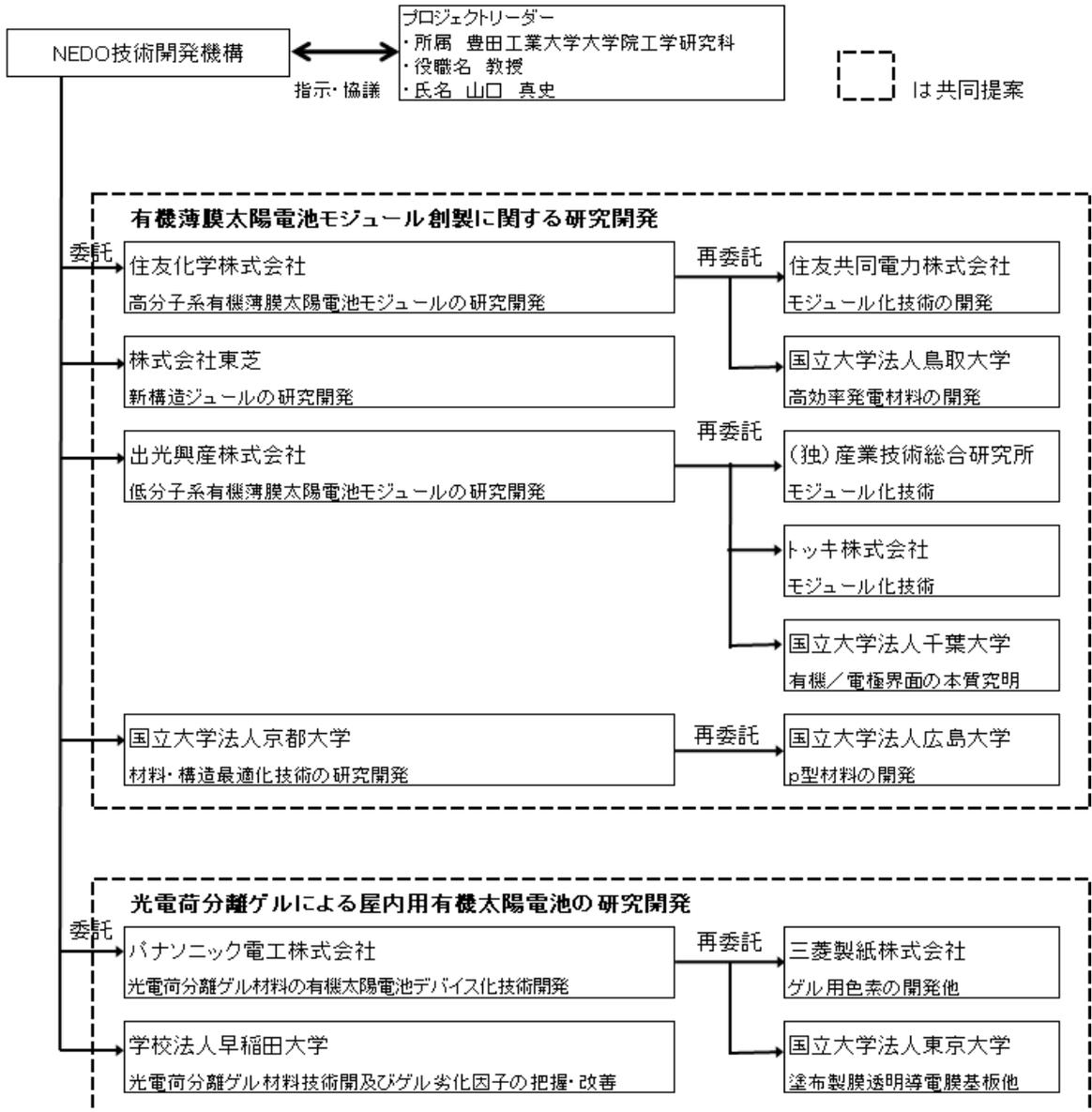
研究開発項目（ハ） CIS・化合物系太陽電池



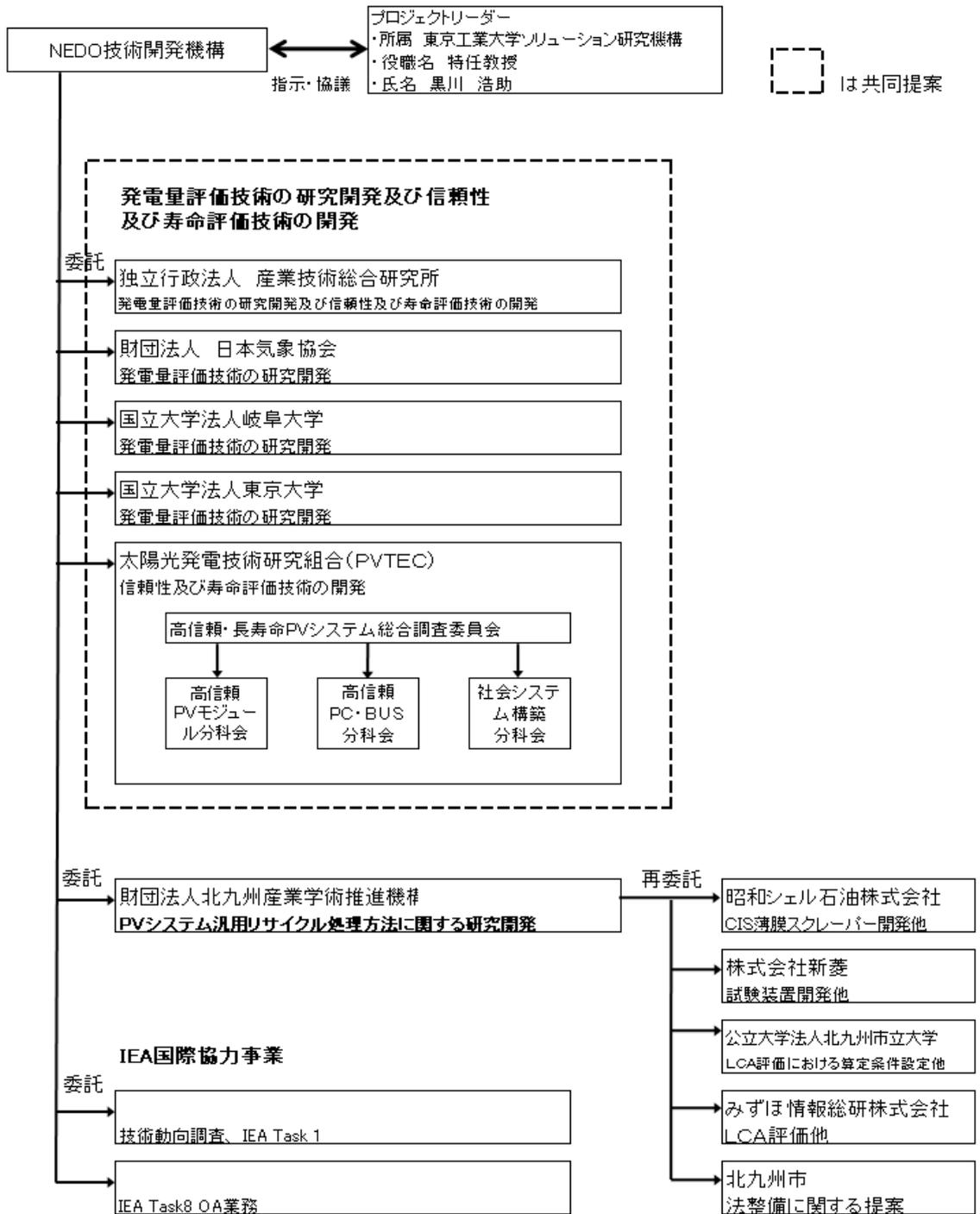
研究開発項目（二）色素増感太陽電池



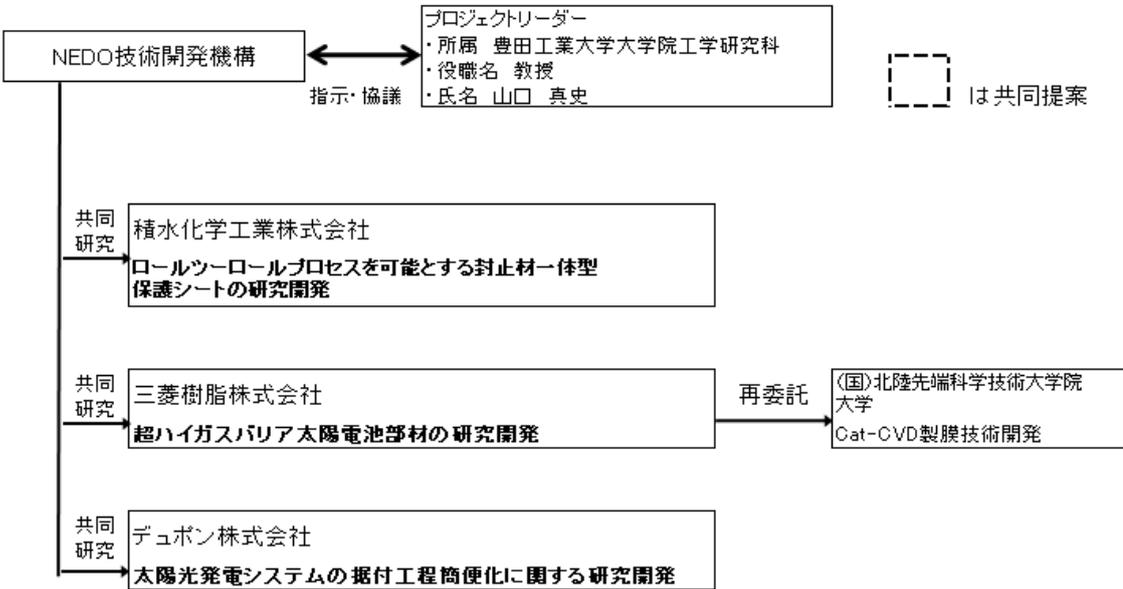
研究開発項目（ホ）有機薄膜太陽電池



研究開発項目（へ） 共通基盤技術 1



研究開発項目（へ） 共通基盤技術 2



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

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

○ 太陽光発電システムの市場競争力を高めるため、新たな着想、方式、材料等を用いた太陽電池モジュールの低コスト化、高効率化、長寿命化に資する研究開発

1

○ 太陽光発電システムの周辺機器、施工・工法、共通部材等の低コスト化・長寿命化に資する研究開発（モジュール価格の低下により、太陽光発電システムの周辺機器、施工・工法、共通部材等のコストの割合が大きくなっており、この分野での低コスト化の取り組みが十分進んでいないため）

・公募期間：平成 24 年 4 月 20 日から 5 月 29 日

・審査項目・基準

（実施中のテーマ領域の重複、開発の経済性、経営基盤なども考慮した上で）

- 1) 提案内容が基本計画の目的、目標に合致しているか。
- 2) 提案された方法に新規性・独創性があり、技術の経済的優位性や競争力があるか。
- 3) 共同提案の場合、各者の提案が相互補完的であるか。
- 4) 提案内容・研究計画は実現可能か（技術的可能性、計画の妥当性等）
- 5) 応募者は本研究開発を遂行するための高い能力を有するか。
- 6) 応募者が当該研究開発を行うことにより国民生活や経済社会への波及効果は期待できるか
- 7) プロジェクト終了後の事業性が具体的な提案となっているか。

・審査委員会委員（敬称略）：

山本 嵩勇（福井大学名誉教授）、工藤 一浩（千葉大学教授）、小野塚 恭彦（国際協力銀行 審議役）、渡辺 憲治（株式会社東芝 部長）

・応募件数：23 件

2.3 研究開発の運営管理

2.3.1 進捗報告会の開催

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

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

分野	主な指導内容
結晶シリコン 太陽電池	<p>（平成 23 年 7 月）研究開発に参画している大学、独法は企業が使いたくなる技術開発に注力し、常に産業界にフィードバックすることを念頭に開発に取り組むように指示した。</p> <p>（平成 24 年 2 月）Rワイヤーの開発についてはウェハの切断速度は生産性に直結するので、目標の切断速度の達成に向け解決法を最優先で検討するように指示した。</p>
薄膜シリコン 太陽電池	<p>（平成 23 年 7 月）コンソーシアムにおける大学の役割が不明確なので、企業が担当するプロジェクトへの貢献を可視化するように指示した。</p> <p>（平成 24 年 2 月）薄膜シリコン材料だけでなく、変換効率に影響を与える透明導電膜の開発にも注力するよう、指示した。</p>
CIS 等化合物系 太陽電池	<p>（平成 23 年 11 月）フレキシブル太陽電池の市場規模や製品ニーズについて調査を行い、フレキシブル太陽電池の必要性を明確にするように指示した。</p> <p>（平成 24 年 2 月）CIS 薄膜の構造評価等が不十分なので、大学や産総研からバックアップを受けるよう、実施者（企業）へ指示した。</p>
色素増感 太陽電池	<p>（平成 22 年 7 月）コンソーシアムの枠を超えて、相互の意見交換を活性化させ、全体として研究開発をスピードアップさせることを指示した。</p> <p>（平成 23 年 11 月）製品のターゲットと事業化時期を明確にした上で、ユーザー開拓を進めるとともに、性能を上げるための原理を早急に明確化することを指示した。</p>
有機薄膜 太陽電池	<p>（平成 23 年 11 月）光電変換材料の基本特性からセル特性を推定する評価手法を検討すること。</p> <p>（平成 24 年 2 月）アモルファスに対する優位性を明確にすると共に、コスト試算と市場性の評価を進めること。</p>
共通基盤技術	<p>（平成 23 年 3 月）ロールツーロールプロセスを可能とする封止材一体型保護シートの展開として、結晶シリコンについても検討するよう指示した。</p> <p>（平成 24 年 3 月）発電量予測技術に関して、予測技術のユーザーとして、電力事業者に加え、地域のエネルギーマネジメント業者や事業プランナー等への展開も視野に入れるよう、指示した。</p>

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

2.3.2 加速・拡充

2010年に13.9億円、2011年に22.9億円の予算増額を伴う事業の加速・拡充を実施した。2012年度も、必要に応じて事業の加速・拡充を実施している。

【予算増額】

太陽電池種類	主な予算増額
結晶シリコン太陽電池	<p>増額金額： 91百万円（平成22年11月）</p> <p>課題：結晶シリコン太陽電池の試作ラインを構築した。しかし自らの研究開発に加えて、コンソーシアム参画のセルメーカー等が、各機関の研究成果を試作・実証する上で、試作評価、検証、品質維持の面が不十分であった。</p> <p>内容：コンフォーカル顕微鏡、電極形成用スパッタ装置、及び高速加熱処理装置、シート抵抗測定装置、印刷ライン、洗浄ユニットを導入した。</p> <p>効果：より実的な太陽電池試作ラインが構築され、変換効率と低コストの実現を目指したセルの試作が可能となった。</p>
薄膜シリコン太陽電池	<p>増額金額： 250百万円（平成24年4月）</p> <p>課題：平成23年度は、ラボレベルの実験で、原料ガスのナノクラスターが製膜中に薄膜シリコンに取り込まれると光安定化効率が低下する事が明らかにされ、排気効率向上が有効であることが分かった。また製膜速度向上のためにはプラズマでの高周波化が有効であり、改善の余地があることが明らかになった。更に薄膜の高品位化のためにはpin層を連続で製膜する事が重要であることが分かった。</p> <p>内容：競合他社（シャープ、パナソニック、カネカ）が共同で活用している製膜装置（G5サイズ）の改造として、①排気効率向上等の装置改造、②製膜速度アップのための高周波化（60MHz→100MHz）、③高品位化のためのロードロックチャンバー（pin層の連続製膜）の増設</p> <p>効果：製膜装置の改造が今年度中に実現することで、研究開発の加速が期待できる。</p>
CIS 等化合物系太陽電池	<p>増額金額： 31百万円（平成23年9月）</p> <p>課題：ラボ試験装置を用いて富士フイルムが得た知見（蒸着方法の最適化）を、量産試作装置に活かす必要が生じた。</p> <p>内容：アルバックが開発中の量産試作装置の蒸着ゾーンの配置を変更した。</p> <p>効果：基板高温加熱時間を短縮でき、基板搬送が安定化した。</p> <p>増額金額： 28百万円（平成24年3月）</p> <p>課題：平成23年度末までの成果として、昭和シェル石油（ソーラーフロンティア）が、サブモジュール（30cm×30cm）サイズでは世界最高の17.8%の高効率化を達成した。更なる高効率化には、CIS光吸収層のライフタイムやバンドギャップなどの正確な評価が必要であることが判明した。</p> <p>内容：ライフタイムやバンドギャップなどの正確な評価が可能な「PLライフタイム測定装置」を導入した。</p> <p>効果：サブモジュールの変換効率の更なる向上が期待できる。</p>
色素増感太陽電池	<p>増額金額： 52百万円（平成23年9月）</p> <p>課題：従来のプロセスでは、大面積モジュールを均一に作製することが困難であった。</p> <p>内容：ラミネータ、ガラス切断機、大型遠心分離器を導入し、均一性のある大面積モジュールの作製方法を開発した。</p> <p>効果：世界で初めて50cm角モジュールを実現するとともに、変換効率6.7%を達成した。</p>

<p>有機薄膜 太陽電池</p>	<p>増額金額： 65百万円（平成23年9月）</p> <p>課題：従来のプロセスでは、大面積モジュールを均一に作製することが困難であった。</p> <p>内容：塗布装置、電極形成用大型蒸着装置、インライン膜厚測定装置を導入し、均一性のある大面積モジュールの作製方法を開発した。</p> <p>効果：20cm角モジュールで世界最高となる変換効率6.6%を達成。</p>
<p>共通基盤技術</p>	<p>増額金額： 343百万円（平成23年3月）</p> <p>課題：同一条件で長期に亘るモジュールの発電量の比較を行う必要が生じた。</p> <p>内容：各社のモジュールが設置してある大規模PVシステムでのデータ取得を実施した。</p> <p>効果：同一条件で長期に亘りメーカー別や方式別の太陽電池の発電量の比較ができ、市場展開や技術開発に役立てた。</p>

2.3.3 追加応募の実施

世界の太陽光発電市場の急拡大に伴い、世界規模で熾烈な開発競争が繰り広げられている。世界競争に打ち勝っていくための競争力を高めるため太陽電池の更なる高効率化・低コスト化に加え、太陽電池に係る新たな部材の開発等に取り組む必要が生じた。そこで、2012年6月に13.8億円（契約予定額[平成24年度分]）の追加公募を実施し、重要課題の7件を採択した。

【追加公募】

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

2.3.4 他のプロジェクトとの連携促進

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

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

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

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

3. 情勢変化への対応

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

○世界の太陽光発電市場の急拡大に伴い、世界規模で熾烈な開発競争が繰り広げられている。世界競争に打ち勝っていくための競争力を高めるため太陽電池の更なる高効率化・低コスト化に加え、太陽電池に係る新たな部材の開発等に取り組む必要が生じた。そこで、2012年6月に13.8億円（契約予定額[平成24年度分]）の追加公募を実施し、重要課題の7件を採択した。

Ⅲ. 委託テーマの成果詳細と実用化・事業化の見通し

1. 事業全体の成果

(イ) 結晶シリコン太陽電池

表 Ⅲ-1-(イ)(1) 基本計画の達成目標と委託テーマの関係

		委託テーマ				
		A. 極限シリコン結晶太陽電池の研究開発	B. マルチワイヤーソーによるシリコンウェハ切断技術の研究開発	C. 太陽電池用ポリシロンのシリコン原料転換の研究開発	D. 太陽電池用シリコンの革新的プロセスの研究開発	
基本計画の達成目標	コスト低減	i) 結晶シリコンを安価に製造する技術の開発 結晶シリコンを安価に製造する技術を開発し、シリコンの製造コスト等を試算する。	○		○	○
		ii) カーフロス120 μ m未満、または、カーフロスを生じない新たな製法開発	○	○		
	高効率化	i) 厚さ100 μ m未満、15cm角程度のセル変換効率20%以上、モジュール変換効率18%以上	○			
		ii) 高品位シリコン製造技術 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	○		○	

A. 結晶シリコン太陽電池

中間目標	研究開発成果	達成度	コメント
コスト低減			
i) 結晶シリコンを安価に製造する技術の開発 結晶シリコンを安価に製造する技術を開発し、シリコンの製造コスト等を試算する。	製造コストの試算、並び、不純物の分析の結果、低コストで原料シリコン製造の可能性を明らかにした。 具体的には、純度 99%以下の国産原料を 99.5%以上に精製できること、及び、本原料が低コスト Si 原料として使用できることを明らかにした。	◎	
ii) カーフロス 120 μm未満、または、カーフロスを生じない新たな製法開発	ダイヤモンド固定砥粒マルチワイヤ法により、ウェハ厚 120 μm、カーフロス 100 μmを実現した。	◎	
高効率化			
i) 厚さ 100 μm未満、15cm角程度のセル変換効率 20%以上、モジュール変換効率 18%以上	プラットフォームにおいて、100μm厚の太陽電池の製造プロセスを確立した。 <シャープ> バックコンタクト太陽電池セルを試作し、90mm角 (81cm ² , 220・m厚) で変換効率 22.1% (J _{sc} : 40.8mA/cm ² , V _{oc} : 671mV, F.F. : 0.809) を達成。 <三菱> レーザー加工技術を用いた逆ピラミッド型 TEX の形成について要素技術の開発を完了した。基板ライフタイムの改善など要素技術の完成度の向上を実施中。 めっき技術を用いた細線電極形成技術に関して、初期基本性能を確認した。コンタクト抵抗の改善などセル化技術の適用性向上を実施中。	<シャープ> セル変換効率: ◎ 基板厚さ: △ サイズ: △ モジュール効率: △ <三菱> △ 平成 24年 12月達成予定	

ii) 高品位シリコン製造技術 キャリア寿命 100 μsec (拡散長約 1mm) 以上 シリコン純度 6N 以上	炭素濃度低減により ($<2 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$) 結晶欠陥密度が低減し、キャリア寿命が 200 μsec を達成した。 <九州大学> 九大が新提案した不純物低減方法と seed cast 法を用いて NIMS、明治大学、豊田工大が共同で結晶育成を行なった結果、拡散長 1 mm 以上の結晶育成に成功した。	◎ ○	今後 50cm 角の大型結晶で実証
--	---	--	-------------------

達成度→ 大幅達成：◎、 達成：○、 達成見込み：△、 達成不可：×

B. マルチワイヤーソーによるシリコンウェハ切断技術の研究開発

中間目標	研究開発成果	達成度	コメント
コスト低減			
ii) カーフロス 120 μm 未満、または、カーフロスを生じない新たな製法開発	カーフロス < 120 μm	○	

達成度→ 大幅達成：◎、 達成：○、 達成見込み：△、 達成不可：×

C. 太陽電池用ポリシリコンのシリコン原料転換の研究開発

中間目標	研究開発成果	達成度	コメント
コスト低減			
i) 結晶シリコンを安価に製造する技術の開発 結晶シリコンを安価に製造する技術を開発し、シリコンの製造コスト等を試算する。	・シリカ塩化の生産性 0.7 トン-SiCl ₄ /m ² /h 以上 シリカ塩化反応において、生産性は 0.79 に達し、さらに、高効率化試験においては、0.88 の値を得た。	◎	
高効率化			
ii) 高品位シリコン製造技術 ・四塩化珪素の品質 純度 6N 以上 ・シリコン単結晶の品質 10 Ω・cm 以上	・四塩化珪素を精留し分析した結果から、純度は 99.9999% 以上 (6N 以上) になった。 ・シリコン製造装置により、精留四塩化珪素からシリコンを製造し、単結晶評価を行った結果、N 型で 30 Ω・cm の抵抗値を得た	○ ○	

達成度→ 大幅達成：◎、 達成：○、 達成見込み：△、 達成不可：×

D. 太陽電池用シリコンの革新的プロセスの研究開発

中間目標	研究開発成果	達成度	コメント
コスト低減			
i) 結晶シリコンを安価に製造する技術の開発 B・Pが1ppm以下のSOG・Siが2000円/kg以下で製造する技術を開発する	<ul style="list-style-type: none"> ・高純度原料の開発 目標純度 (B, P<1ppm) を満たす原料を開発し、その量産技術 (3.6t/年) を確立した。モデルプラントを設計し、製造コストを試算し、課題を明確にした。 ・シリカの直接還元プロセスの開発 ①シリカ、炭素の混合比の最適化を行い、②ハイブリッド加熱法の開発に成功した (1900℃以上) ③従来方法より高い収率でSiを製造できることを確認 ・Si精製プロセスの開発 フラックス中にPを還元する新手法を開発し、酸浸出処理を組み合わせることで、目標脱P率に近い96%を達成した。また、強還元雰囲気でもフラックス処理により50%の脱B率を確認 	<p style="text-align: center;">○</p> <p style="text-align: center;">△</p> <p style="text-align: center;">△</p>	<p style="text-align: center;">平成 24 年 12 月 達成予定</p> <p style="text-align: center;">平成 24 年 12 月 達成予定</p>

達成度→ 大幅達成：◎、 達成：○、 達成見込み：△、 達成不可：×

(ロ) 薄膜シリコン太陽電池

表 III-1- (ロ) (1) 基本計画の達成目標と委託テーマの関係

		委託テーマ			
		A. 次世代多接合薄膜シリコン太陽電池の産学官協力体制による開発 (高効率化)	B. 次世代多接合薄膜シリコン太陽電池の産学官協力体制による開発 (大面積化)	C. 高度構造制御薄膜シリコン太陽電池の研究開発	D. 薄膜シリコンフィルム太陽電池の高速製膜技術の開発
基本計画の達成目標	i) 高効率化 30cm×40cm 程度の基板に製膜した2接合以上の多接合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)	○		○	
	ii) 製造コスト低減 装置の設計・作製と条件出しを完了し、任意サイズの基板において製膜速度1.0nm/sec以上を達成		○		○

A. 次世代多接合薄膜シリコン太陽電池の産学官協力体制による開発（高効率化）

中間目標	研究開発成果	達成度	コメント
アモルファスシリコントップセルで安定化効率11%以上	<p>トライオード成膜法により作製した光安定化膜により、i層250nmにおいて、初期効率10.7%、安定化効率9.6%を得た。（劣化率～10%）</p> <p>また、エッチングガラス基板によるダブルテクスチャTCOにより、i層300nmにおいて、初期効率11.7%、短絡光電流17mA/cm²、安定化効率9.6%を得た。</p>	△	<p>・主にトライオード成膜光安定化膜技術とダブルテクスチャTCO技術の融合による高電流・高安定効率化</p> <p>・p/i界面バッファ層への光安定化</p> <p>を実施し、中間目標を達成する予定である。</p>
微結晶シリコン或いは微結晶シリコンゲルマニウム単接合で短絡電流32mA/cm ² 以上（従来構造に比して同一セル構成で10%以上の短絡電流の向上技術を含む）	<p>Ge濃度10-30%とした微結晶SiGeのセルで、酸素添加により短絡電流密度を5mA/cm²改善し、厚さ3.4μm、Ge濃度10%で27.5mA/cm²を得た。</p> <p>また、新規開発ハニカムテクスチャ型反射基板を用いたサブストレート型μc-Si単接合セル（膜厚2μm）において、短絡電流密度27.7mA/cm²、逆バイアス電圧下の量子効率スペクトルでは28.9mA/cm²を得、従来構造に較べて4mA/cm²程度の向上を実現した。</p>	△	<p>微結晶シリコンゲルマニウム膜のハニカムテクスチャ基板、ダブルテクスチャTCO基板への適用</p> <p>・表面TCO、裏面電極、ドーピング層の寄生吸収ロスを低減</p> <p>・ハニカムテクスチャ技術の透明樹脂やバックシート転写等によるスーパーストレート構造への展開</p> <p>を実施し、中間目標を達成する予定である。</p>

達成度→ 大幅達成：◎、 達成：○、 達成見込み：△、 達成不可：×

B. 次世代多接合薄膜シリコン太陽電池の産学官協力体制による開発（大面積化）

中間目標	研究開発成果	達成度	コメント
従来に無い新規なカソード電極を用い、VHF プラズマ周波数(60MHz 以上)に対応する波長 λ に対して長さ $1/4 \lambda$ 以上、幅 $1/10 \lambda$ 以上の電極を用いて μ c-Si 薄膜の製膜速度 1.5nm/s 以上、 $\pm 10\%$ 以下の膜厚均一性を達成しうる、 $\pm 10\%$ 以内のプラズマパラメーターの均一性	共振電極対アレイ方式を用いた可視化装置 (2.2m \times 0.56m 電極)にて、長辺方向に定在波が立たない事を目視確認し、H ₂ プラズマの OES 計測にて、H α 強度： $\pm 9.85\%$ 以下、電界強度： $\pm 8.8\%$ 以下達成。また、短辺均一性に関しては、短辺均一性に関しては、十分な均一性目視確認済	○	
マルチロッド電極を用いた第 5 世代(以下、G5)相当サイズ(1.1m \times 1.4m)のガラス基板を処理可能な規模の装置において、 μ c-Si 製膜において $\pm 10\%$ 以下の膜厚均一性	従来よりも高度な制御法を適用した位相変調法により平均製膜速度 2nm/sec 以上で膜厚分布 $\pm 9.9\%$ を達成。 (検討開始時の膜厚分布 $\pm 15\%$)	○	

達成度→ 大幅達成：◎、 達成：○、 達成見込み：△、 達成不可：×

C. 高度構造制御薄膜シリコン太陽電池の研究開発

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
サブモジュール (モジュールサイズ 20cm×20cm) にて安 定化効率 15%	<ul style="list-style-type: none"> 変換効率が 7%向上する新規低空間指向性光閉じ込め基板を開発した。(従来基板 7%up) 新規欠陥低減処理により、3 接合セルの光安定化後の保持率が 97%に向上。(処理無し 93%) 	△	<ul style="list-style-type: none"> 透明電極凹凸形状制御技術の 3 接合への適用。 ミドル層の高品質化 今後は大面積化に注力
実機サイズモジュー ル (モジュールサイ ズ 980×950mm) にて 120W	<ul style="list-style-type: none"> 世界で初めて中間層を有する大面積 3 接合モジュール (a-Si/中間層/a-SiGe/中間層/μc-Si) を作成した。 980×950mm : 115W相当 1420×1100mm : 作製 	○	<ul style="list-style-type: none"> 透明電極凹凸形状制御技術ならびに新規欠陥低減処理技術の大面積化

達成度→ 大幅達成：◎、 達成：○、 達成見込み：△、 達成不可：×

D. 薄膜シリコンフィルム太陽電池の高速製膜技術の研究開発

中間目標	研究開発成果	達成度	コメント
①フィルム基板上にシリコン系薄膜を積層した多接合太陽電池において、変換効率が 14%以上（初期）または 13%以上（安定化）とする。このときの製膜速度を結晶質シリコン系薄膜で 2.0nm/s 以上、非晶質シリコン系薄膜で 0.67nm/s 以上とする。	①フィルム基板上にアモルファスシリコン (a-Si:H) と微結晶シリコン (μ c-Si:H) のセルを積層した多接合太陽電池において、3 接合太陽電池で初期効率 12.6%、安定化効率 11.6%を得た。このときの a-Si:H の製膜速度は 0.83nm/s、 μ c-Si:H は 2.0nm/s である。	△	
②このために、結晶質シリコン系単接合太陽電池において、その発電層の製膜速度が 2.0nm/s 以上で変換効率を 9.5%以上とする。	②フィルム基板上的 μ c-Si:H 単接合太陽電池において、製膜速度を 2.2nm/s として変換効率 9.5%を得た。	○	

達成度→ 大幅達成：◎、 達成：○、 達成見込み：△、 達成不可：×

(ハ) CIS・化合物系太陽電池

表 III-1- (ハ) (1) 基本計画の達成目標と委託テーマの関係

		委託テーマ		
		A. CIS系薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発	B. フレキシブルCIGS太陽電池モジュールの高効率化研究	C. 反射式集光型太陽光発電システムの研究開発
基本計画の達成目標	i) CIS系高効率化サブモジュール(30cm角程度)で変換効率17%以上を達成する。	○		
	ii) CIS系製造プロセスの開発 軽量基板上での製造技術や、新規な低コスト製造プロセス等により製造したサンプルを供試する。達成目標は単位出力当たりの製造コスト等で表す。		○	
	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加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。達成目標は例えば単位面積当たりの建設コストで表す。			○

A. C I S系薄膜太陽電池の効率化技術の研究開発

中間目標	研究開発成果	達成度	コメント
①「C I S系薄膜太陽電池の効率化技術の研究開発（大面積モジュールの研究開発）」 （H24年度末中間目標） 30cm角程度のサブモジュールで変換効率 17%	社内測定にて中間目標を大幅に超え、最終目標まであと少しとなる 17.8% を達成した。また外部評価機関（TUV）において 17.5%（30cm角サブモジュール）を公認している。	◎	
②「C I S系薄膜太陽電池の効率化技術の研究開発（小面積セルの研究開発）」 （H24年度末中間目標） 1cm角程度の小面積セルで変換効率 22%	ZnO:Al/CdS/CIGS/Mo/glass 構造セルで 18.8%（真性変換効率 19.7%）、ZnO:B/ZnS(0,0H)/CIGS/Mo/glass 構造セルで 18.4%（真性変換効率 19.3%）を達成した。	△	禁制帯幅プロファイルの最適化、界面および粒界再結合の低減、アルカリ金属添加技術の開発により目標を達成。

達成度→ 大幅達成：◎、 達成：○、 達成見込み：△、 達成不可：×

B. フレキシブル CIGS 太陽電池モジュールの高効率化研究

中間目標	研究開発成果	達成度	コメント
<p>「CIS 等化合物系高効率化」 フレキシブルサブモジュールにて下記、変換効率を達成する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・10×10cm 基板サイズにて変換効率 17% ・30×30cm 基板サイズにて変換効率 16% 	<ul style="list-style-type: none"> ・H24 年 3 月時点で 10×10cm 基板サイズにて変換効率 15.9%を達成し、フレキシブル基板向けの成膜プロセス、集積化プロセスの技術構築を完了した。 ・30×30cm 試作ラインは各工程の立ちあげが完了した。 ・要素的に高効率化技術に取り組み、ガラス基板上の小面積ながらセル特性で 19.8%、サブモジュールにて 17.1%という高い変換効率の実現に成功した。 	△	高効率化の要素検討結果を大面積サブモジュールに展開することにより、本年度中に達成見込みである。
<p>「CIS 等化合物系製造プロセスの開発」 フレキシブルCIGS太陽電池の製造技術を構築する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・CIGS 工程までをロール to ロールプロセス化 ・CIGS 光吸収層の高速成膜技術の構築 	<p>CIGS 光吸収層の成膜工程までのロール to ロールプロセス化を完了させた。また後半工程の大面積バッチプロセスも立ちあげを完了した。高生産性課題として CIGS 層の高速成膜に取り組み、課題であった電流リークの原因を突き止め、これを解決するプロセスを開発した。</p>	○	30×30cm 基板へのプロセス均一性を向上させ高効率化を実現するとともに、高歩留まり、高スループットを実現する技術構築に取り組んでいく。

達成度→ 大幅達成：◎、 達成：○、 達成見込み：△、 達成不可：×

C. 反射式集光型太陽光発電システムの研究開発

中間目標	研究開発成果	達成度	コメント
「集光技術」 集光倍率>500倍、 光学効率>70%、 モジュール効率>25%、 許容角>±1° 放熱技術 機構技術	集光倍率：640倍 光学効率：82% モジュール効率：27% 許容角>±1.33° 放熱技術、機構技術の見通し	○	
<ul style="list-style-type: none"> ・実証データ取得 ・コスト試算 	<ul style="list-style-type: none"> ・実証データ未取得 ・設備コスト試算：4億円/MW (コスト競争力が課題) 	△ △	今後の課題 <ul style="list-style-type: none"> ・実証試験継続 ・低コスト化

達成度→ 大幅達成：◎、 達成：○、 達成見込み：△、 達成不可：×

(二) 色素増感太陽電池

表. III-1-(二)(1) 基本計画の達成目標と委託テーマの関係

		委託テーマ		
		A. ガラス基板型色素増感太陽電池（電圧型）の研究開発	B. ガラス基板型色素増感太陽電池（電流型）の研究開発	C. プラスチック基板型色素増感太陽電池の研究開発
基本計画の達成目標	i) 高効率化	○	○	○ (プラスチック基板のため、自主目標を設定)
	ii) モジュール化・耐久性向上	○	○	○ (プラスチック基板のため、自主目標を設定)

A. ガラス基板型色素増感太陽電池（電圧型）の研究開発

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） 中間目標 変換効率 11%（1cm 角程度）	<ul style="list-style-type: none"> 変換効率 11.0% (1cm 角 AIST 測定)達成 変換効率 11.6%(新規色素) (1cm 角 自社測定) 達成 ΔG 低減可能材料の設計指針の 確立 	○	なし
(1)-2 高効率化（モジュール） 中間目標 モジュール変換効率 7% （30cm 角程度）	<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
(2)モジュール化・耐久性向上 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	<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。

達成度→ 大幅達成：◎、 達成：○、 達成見込み：△、 達成不可：×

B. ガラス基板型色素増感太陽電池（電流型）の研究開発

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） 中間目標 変換効率 11%（1cm 角程度）	5 mm 角セル(自己測定) : 11.8% 1 cm 角セル(AIST 測定) : 10.5%	○	今後、5 mm 角の最適化条件での AIST 測定を実施予定。
(1)-2. 高効率化（モジュール） 中間目標 モジュール変換効率 7% （30cm 角程度）	25 cm 角のモジュールにてアパーチャー変換効率 7.4%を達成。	○	より大面積のモジュールとして 50 cm 角を検討中。50 cm 角での変換効率は、 $\eta(\text{ap}) = 6.7\%$ 。
(2) モジュール化・耐久性向上 中間目標 JIS C8938 試験後の相対効率低下 10%以下 （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）	アパーチャーでの変換効率 7.2%の 25 cm 角のモジュールにて、JIS C8938 試験で最も性能維持が困難な耐湿性試験 (85°C 85%RH, 1000 時間)での性能低下 3%を達成。	◎	JIS C 8938 各試験での性能低下はほぼ抑えることに成功。今後、複合条件やより長期の試験も検討していく。

達成度→ 大幅達成：◎、 達成：○、 達成見込み：△、 達成不可：×

C. プラスチック基板型色素増感太陽電池の研究開発

中間目標	研究開発成果	達成度	コメント
フィルム型色素増感太陽電池において 中間目標(自主設定) ・モジュール効率 5% ・JIS 規格の環境試験、耐久性試験において相対効率低下 10%以内	・モジュール効率 4%達成 (100cm ²) ・耐久性は屋内日常使用レベル (60°C90%RH1000 時間) を達成し、屋外使用に向けて対策中。 ・モジュール製造技術を確立し、住宅用実証評価やユーザーヒアリングによる実市場調査を開始。	△	フィルム型としては世界最高レベルの技術を達成。

達成度→ 大幅達成：◎、 達成：○、 達成見込み：△、 達成不可：×

(ホ) 有機薄膜太陽電池

表. III-1-(ホ)(1) 基本計画の達成目標と委託テーマの関係

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

A. 汎用型有機薄膜太陽電池の研究開発

中間目標	研究開発成果	達成度	コメント
①セル変換効率 8%以上 (1cm角程度)	長波長域まで光を吸収するp型材料開発による高 J_{sc} 化、低HOMO化p型材料・高LUMO化n型材料開発による高 V_{oc} 化、ナノ相分離構造の最適化による高FF化を図り、1cm角シングルセルの変換効率で9.0%を達成した。 また、コンソーシアム内の連携により、吸収波長分割によるタンデム型素子を検討し、高分子-高分子タンデムで9.1%、高分子-低分子タンデムで8.2%を達成した。	◎	
②モジュール変換効率 6%以上 (30cm角程度)	塗布においては、シミュレーション技術活用による高開口率モジュールの設計、絶縁層挿入によるリーク電流の抑制並びに印刷精度向上により、20cm角モジュールで変換効率6.6%を達成した。シミュレーションにより30cm角モジュールでも6%以上に達すると予測している（予測値6.5%）。 蒸着でも同様なアプローチで開発を進めており、20cm角モジュールで4.6%を確認した。高効率セル構成を適用して、目標を達成する見込みである。	○	モジュール変換効率6.6%は世界最高。 (公式世界記録は4.2%)
③JIS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	コンソーシアム内の連携により、測定条件の統一、共同実験を進めている。2項目で目標を達成した。目標未達の項目については、封止技術の改良、耐熱材料の開発、プロセス雰囲気制御などで目標を達成する見込みである。 温度サイクル試験：低下9%（達成） 温湿度サイクル試験：低下5%（達成） 光照射試験、耐熱性試験、耐湿性試験は低下率が10%以上となり、目標未達。	△	H25年2月達成予定

達成度→ 大幅達成：◎、 達成：○、 達成見込み：△、 達成不可：×

B. 蓄電機能付有機薄膜太陽電池の研究開発

中間目標	研究開発成果	達成度*1	コメント
A. 変換効率向上 可視光下*2 変換効率 20% (出力: 12 μ W/cm ² の実現)	<ul style="list-style-type: none"> 変換効率 10.5% (6.1 μ W/cm²) 実現 20%達成要件を平滑電極にて実証 (Voc=950mV, Jsc=0.2 μ A/cm²) 	△	H24年12月達成 予定
B. 耐久性向上 JIS C8938 試験での相対 効率低下10%以内の実現	<ul style="list-style-type: none"> 高 Voc 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
C. 低コスト化 塗布工法での透明導電 膜基板*4 (80%T, 10 Ω / □) 質集電極*5の作製技術 開発)	<ul style="list-style-type: none"> 40%T10 Ω /□実現。シリカナノ粒子 の基板上への高密度配置と高分散性 の両立が課題 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 (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	<ul style="list-style-type: none"> ラジカルポリマーで 1.32mWh 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

大幅達成：◎、 達成：○、 達成見込み：△、 達成不可：×

*2 可視光下：照度 200Lx、光波長範囲 400~700nm での光エネルギー 57.7 μ W/cm²

*3 電解液保持率：(加速試験後の電解液量/加速試験前の電解液量) × 100

*4 透明導電膜：透光性 (透過率：%T) と導電性 (シート抵抗： Ω /□) とを兼ね備えた膜

*5 多孔質集電極：nm~サブ μ m オーダーの導電性粒子から構成した多数の空隙を持つ電極

(へ) 共通基盤技術

表 III-1-(へ)(1) 基本計画の達成目標と委託テーマの関係

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

A. 超ハイガスバリア太陽電池部材の研究開発

中間目標	研究開発成果	達成度	コメント
超ハイガスバリア太陽電池部材の基本構成確立	<ul style="list-style-type: none"> ・Cat-CVD とシリカ蒸着の複合膜による超ハイガスバリアフィルムの基本構成を確立 ・耐候性バックシート、フロントシートの基本構成を確立 ・耐熱性耐候性基材の基本構成を確立 	○	2012/8 中に外部評価機関にて水蒸気透過 10^{-6} g (m ² ・day) 以下評価判明の見込。耐候性、耐熱性とも目標達成。

達成度→ 大幅達成：◎、 達成：○、 達成見込み：△、 達成不可：×

B. ロールツーロールプロセスを可能とする封止材一体型保護シートの研究開発

中間目標	研究開発成果	達成度	コメント
ロールツーロールプロセス対応薄膜シリコン太陽電池用一体型保護シートおよび封止技術の確立	<p>①薄膜シリコン太陽電池用一体型保護シート品質の実現</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ロールツーロールプロセス対応薄膜シリコン太陽電池用一体型保護シートの基本構成を確立 ・ロールラミネート封止技術世界初となるロール封止に成功 <p>②リジッド太陽電池用封止材品質の実現（平成24年度追加）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・封止速度の高速化封止速度従来技術の20倍達成 長期信頼性（促進1000時間）に合格 	○	

達成度→ 大幅達成：◎、 達成：○、 達成見込み：△、 達成不可：×

C. 太陽光発電システムの据付簡便化に関する研究開発

中間目標	研究開発成果	達成度	コメント
<ul style="list-style-type: none"> ・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の最終目標値の確定と、使用材料の10～20年相当以上の耐久性を実証 ・据付工法の自由度を向上する新規モジュール構造の実現とその耐久性についての基礎検討を完了 	<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の開発 ・部品点数削減率：50%以上および据付作業工程低減率：20%以上を最終目標値とすることの妥当性を確認 ・機能複合化据付部品材料の耐久性をIEC61730 準拠の火炎伝搬試験、高温高湿試験により確認 ・従来ガラス/ガラス構造のモジュールと比較して最大50%の軽量化が可能な新規モジュール構造を実現 ・IEC61215 準拠の高温高湿試験・温度サイクル試験を実施し、耐久性の基礎検討を完了 	◎	

達成度→ 大幅達成：◎、 達成：○、 達成見込み：△、 達成不可：×

D. 発電量評価技術等の開発及び信頼性及び寿命評価技術の開発

中間目標	研究開発成果	達成度	コメント
I) 発電量評価技術の開発 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ためのモデルを開発、データを取得する。 ・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ための測定法、算出法および予測法の基本技術開発を行う。	・約50地点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。 ・日射量、気象データから結晶Si太陽電池の発電量を5%未満の精度で推定する測定法及び算出法を開発・検証した。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予測する技術を開発した。	○	
ロ) 太陽電池の性能評価 ・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ために、光照射条件、温度等の影響を定量化する。 ・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ために、主な誤差要因を実測により解析、検証する。 ・各種新型太陽電池評価技術：高精度評価のための基礎データを収集、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検討する。 ・基準太陽電池校正技術：WRRファクター0.5%以内の構成技術を開発するための要素技術を開発する。 ・絶対分光感度法による一次基準セル校正の要素技術を開発する。 ・二次基準モジュールの校正不確かさ1.0%以内の要素技術を開発する。	・IEC規格等に定められた光照射条件の影響を定量化した。各種太陽電池モジュールの分光感度温度依存性を測定できる技術を開発した。 ・現状の屋外性能評価技術において、Isc測定誤差（1～3%）、次いでVoc（～1%）が重要なことを明らかにした。 ・NEDO開発品等新型太陽電池の測定約190件を実施、高精度化のための要素技術を開発した。IEC規格60904-8（分光感度測定法）等を開発成果を標準化にむけ提案。モジュール国際比較測定等により、国際整合性を検証。 ・精密構造型WRR絶対放射計を実現し、性能を実証。超高温定点黒体炉併用により不確かさを低減する。 ・トラップディテクタと基準波長レーザの組み合わせで絶対分光感度測定5波長を達成見込み。 ・二次基準1セルモジュール校正の不確かさ0.90%の要素技術を開発した。	○	
II) 信頼性評価技術と長寿命化技術の開発 ・20～30年の屋外曝露に相当する屋内での寿命評価試験実現のための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。 ・工程管理での信頼性確保、簡易に寿命を判定するための要素技術を開発する。 ・モジュールやシステムの屋外曝露試験および劣化状況に関するデータを収集、分析を行い、劣化要因を抽出する。	・国内外のPVシステムの点検技術開発、文献調査、事例収集および試験結果を元に、劣化事象の発生要因を推定する。 ・新規加速試験技術としてサイクリック試験、逆バイアス定電流試験を検討すると共にモジュール内水蒸気進入経路調査方法等の実験・評価を行い、信頼性評価・長寿命化への有用性を確認した。 ・高信頼性PVシステムを実現のための技術課題を明らかにする分科会による調査を実施する。	○	
III) リユースモジュール健全性試験技術 ・リユースモジュールに要求される絶縁性能ガイドライン案の策定に必要なデータを提供する。	・リユースモジュール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。	△ 24年度中に達成見込	

達成度→ 大幅達成：◎、 達成：○、 達成見込み：△、 達成不可：×

E. PV システム汎用リサイクル処理手法に関する研究開発

中間目標	研究開発成果	達成度	コメント
広域対象の PV システム汎用リサイクル処理手法の基本技術、コスト目標、社会システム提案の見極め完了と LCA 評価見直し完了	<ul style="list-style-type: none"> ・低コスト汎用リサイクル処理技術の基本技術開発の見通しを取得 ・処理コスト目標「5 円/W@年間 200MW 処理」の実現妥当性について専門委員会で検討完了 ・広域 PV システム汎用リサイクル処理に必要な社会システム整備に関する必須事項を専門委員会で議論済み ・LCA 評価見直しほぼ完了 (H25 年 3 月完了予定) 	○	

達成度→ 大幅達成：◎、 達成：○、 達成見込み：△、 達成不可：×

F. 太陽光発電技術開発動向等の調査

中間目標	研究開発成果	達成度	コメント
「太陽光発電技術開発動向等の調査」 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。	太陽光発電に関する次期技術開発計画の検討に資するよう、最新の国内外の技術開発動向、諸外国の国家プロジェクト等について国際会議や学会、直接ヒアリング等から調査・分析し、技術開発動向を体系的に把握、纏めた。	○	

達成度→ 大幅達成：◎、 達成：○、 達成見込み：△、 達成不可：×

2. 研究開発項目毎の成果と実用化見通し

(イ)結晶シリコン太陽電池

A 極限シリコン結晶太陽電池の研究開発

1. 成果詳細

〈豊田工業大学〉

①試作ライン構築

新規のプロセスや材料の評価には、個々の要素としての評価に加えて太陽電池の性能面からの評価が必要不可欠である。そこで結晶系シリコン太陽電池を試作する工程に必要な装置を導入し結晶シリコン太陽電池の試作ラインを構築する。加えて、次世代の太陽電池の試作に必要な評価装置、プロセス装置を立ち上げ、高効率低コスト太陽電池の試作評価が可能な環境を整備する。

具体的には、豊田工業大学が有するクリーンルームの一部改造、ならびに洗浄装置、酸化炉、拡散炉、常圧 CVD、パッシベーション用プラズマ CVD 装置、スクリーンプリント装置、焼成炉、電極形成用スパッタ装置、高速熱処理装置、印刷ライン、洗浄ユニット等の装置の立ち上げを行う。加えて、コンフォーカル顕微鏡、シート抵抗測定装置、などを導入し、評価体制も整える。その結果、本コンソーシアムにおいて標準となる太陽電池の試作ラインを整備し、その特性を評価できるようにする。

ラインの構築に関しては、基板洗浄・基板エッチング・テクスチャー形成用のドラフト（図Ⅲ-2-(イ)-A-1(1)）、接合形成のための P 拡散・B 拡散・熱処理炉（図Ⅲ-2-(イ)-A-1(2)）、常圧 CVD（大気圧化学気相成長）装置（図Ⅲ-2-(イ)-A-1(3)）、SiN パッシベーション膜堆積用プラズマ CVD 装置（図Ⅲ-2-(イ)-A-1(4)）、ならびにスパッタ装置（図Ⅲ-2-(イ)-A-1(5)）をクリーンルーム内に設置した。これにより、太陽電池製造工程をクリーンルーム内で行うことができる。クリーンルーム内の装置配置を図Ⅲ-2-(イ)-A-1(9)に示す。電極形成に関しては、スクリーンプリント用の印刷機（図Ⅲ-2-(イ)-A-1(6)）、ならびに焼成炉（図Ⅲ-2-(イ)-A-1(7)）はクリーンルーム外の別の部屋に設置した。（印刷機にはクリーンブースを設けた。）その結果、印刷工程ラインが構築された。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(1) 基板洗浄用ドラフト



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(2) 熱処理炉



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(3) 常圧 CVD 装置



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(4) プラズマ CVD 装置



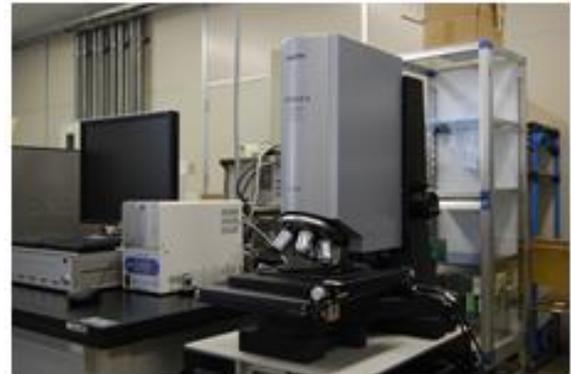
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(5) スパッタ装置



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(6) 印刷機



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(7) 焼成炉



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(8) コンフォーカル顕微鏡

評価装置としては、ドーピング量を定量的に把握するための比抵抗測定装置の導入をした。また、明治大学が購入した線状の光を照射しCTの原理を用いることにより、変換効率に加えて開放電圧や短絡電流などの面内分布を測定できる装置の立ち上げを完了し、原料が太陽電池特性に与える影響などの評価を開始した。

以上の設備に加え、原料シリコンの品質改善を図るための、高速熱処理装置、また形成した電極形状を調べるためのコンフォーカル顕微鏡（図Ⅲ-2-(イ)-A-1(8)）を導入した。



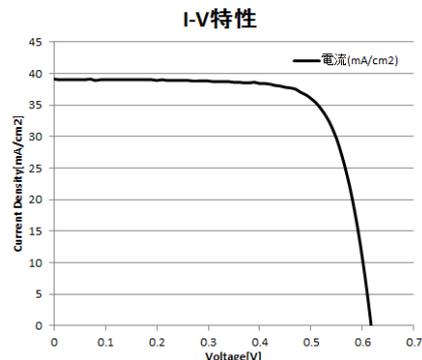
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(9) クリーンルーム内の装置配置

コンソーシアム参加組織の新規プロセスや材料を評価するための結晶シリコン太陽電池標準試作工程を整備した。標準工程は、1) 洗浄・テクスチャー形成、2) Pドーピング、3) SiNパッシベーション膜堆積、4) 表面Ag, 裏面Alスクリーンプリント、5) 焼成、6) アイソレーション、のプロセスから構成されている。サイズとしては、156mm角(図Ⅲ-2-(イ)-A-1(10))、125mm角を標準としている。現在、18%程度の変換効率を有する太陽電池の試作が可能である(図Ⅲ-2-(イ)-A-1(11))。また、裏面コンタクトや裏面接合構造など、異なる構造の太陽電池の試作や新たな材料やプロセスへも対応が可能である。本ラインを試作プラットフォームとして使用した実績を表2にまとめる。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(10)

豊田工大で試作した 156mm 角太陽電池



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(11)

豊田工大で試作した太陽電池評価結果

表Ⅲ-2-(イ)-A-1(1)2011 年度装置利用実績

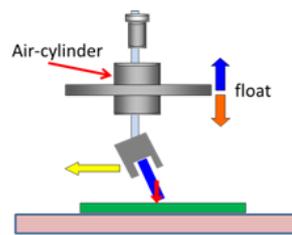
利用時間[h]	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
洗浄ドラフト	8	40	39	32	40	35	40	80	55	32	48	32
熱処理炉	8	48	20.5	32	40.5	36	40	100	64	48	48	32
常圧CVD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42
プラズマCVD	40	24	38	32	40.5	40	48	72	48	56	40	24
印刷機	0	24	20	69	81	81	48	72	40	80	52	32
焼成炉	0	8	0	6	7	9	16	52	20	24	44	30
p n分離	0	0	22	51	43	50	15	60	22	8	6	6
MP-15	64	24	0	8	32	8	20	32	16	24	24	27
ソーラーシミュレータ	-	-	-	-	-	-	10	56	32	40	48	16
コンフォーカル 顕微鏡	0	0	58	16	17	16	16	32	17	9	16	0
見学・下見	18人	40人	7人	0人	22人	0人	47人	4人	0人	9人	5人	8人

結晶シリコン太陽電池の低コスト化・高効率化において重要な技術の一つが薄型結晶を用いた太陽電池の製造である。薄型化によりシリコン使用量が低減され、かつ変換効率の向上が期待される。本プロジェクトにおいては、低コスト原料を用いて成長させた結晶を薄くスライスして得られたシリコン基板を用いた薄型結晶シリコン太陽電池製造技術の開発が目標の一つである。今年度、本プロジェクトの成果の一つとして、新規スライス技術により $100\mu\text{m}$ 程度の厚さの基板結晶が得られた。しかし、薄くした結晶基板を使用し、現状の技術で太陽電池を製造すると、洗浄、スクリーンプリントなどの工程や搬送中に基板が割れる問題が生じる。これら問題を解決するため、本プラットフォームにおいては、以下の技術開発を行った。搬送系に関してはベルヌーイチャック（図Ⅲ-2-(イ)-A-1(12)）を用い、 $100\mu\text{m}$ 以下の薄い基板の搬送を可能とした。印刷技術に関しては、印刷時の割れの原因である高い印加圧力やその不均一を解消するため、エアバランスシステム（図Ⅲ-2-(イ)-A-1(13)）を採用し均一で低い圧力下での印刷を可能とした。その他、広角メッシュの採用や、メッシュのカレンダー化（図Ⅲ-2-(イ)-A-1(14)）などを行った。その結果、固定砥粒を用いたマルチワイヤソーで切断した薄型結晶を用いて $100\mu\text{m}$ 程度の厚さの結晶シリコン太陽電池の試作が可能となった。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(15)は、今回作製した $95\mu\text{m}$ 厚太陽電池である。

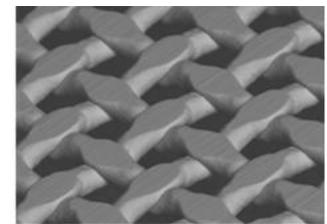
また、本コンソーシアムにおける ITRPV2020 目標に対する達成値を表Ⅲ-2-(イ)-A-1(2)に示す。



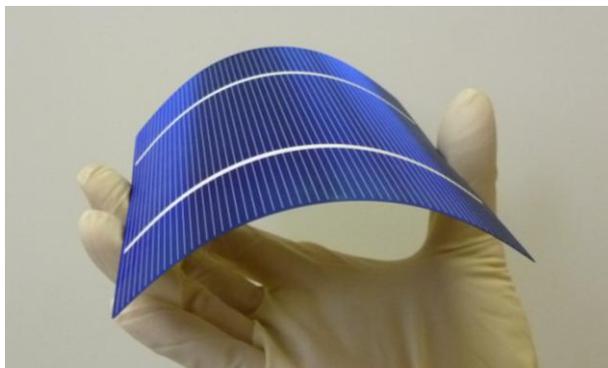
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(12)
ベルヌーイチャック



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(13)
エアバランスシステム



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(14)
メッシュのカレンダー化



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(15) $95\mu\text{m}$ 基板太陽電池

表Ⅲ-2-(イ)-A-1(2) ITRPV2020 目標値に対する達成値

	ITRPV 2020 年目標	達成値
フィンガー幅	30 μ m	50 μ m \Rightarrow 30 μ m
エミッタ抵抗	120 ohm/sq	100ohm/sq \Rightarrow 120 ohm/sq
基板厚	120 μ m	120 μ m (太陽電池厚 < 100 μ m)
銀使用量	20mg/cell	\Rightarrow 銅

<新日本ソーラーシリコン>

(1) ソーラーグレード原料シリコンの分析評価に関わる研究開発

[開発の概要]

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

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

- 1) 直接塩化原料のシリカ (SiO₂) 調査と原料適性の評価、有望原料の確認
- 2) 金属シリコンおよびカーフシリコンの分析と適性評価
- 3) 中間原料のクロロシラン分析(直接塩化生成 SiCl₄ の適性評価)

これらの分析/評価を可能とするために、

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

などの研究開発を行った。

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

表Ⅲ-2-(イ)-A-1(3) 本研究開発において用いた分析装置と H23 年度末における運用状

分析装置	区分	分析対象	導入年度	H23年度末到達状態
GC-FID	NEDOコンソ	クロロシラン中の有機クロロシラン	H22年	SiCl ₄ 分析に適用
ICP-MS	NEDOコンソ	全試料の金属不純物	H22年	シリカ、カーフSiに適用
FIA	NEDOコンソ	クロロシラン中のB	H23年	SiCl ₄ 分析に適用
IC	NEDOコンソ	クロロシラン中のP	H23年	SiCl ₄ 分析に適用
SEM/EDX	NEDO単独	固体試料の形態分析	H23年	シリカ、カーフSiに適用
示差熱	自社	固体試料の反応/相変態	--	シリカ、カーフSiに適用

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

[成果]

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

表Ⅲ-2-(イ)-A-1(4) シリカサンプルの ICP-MS 分析結果一覧表

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

また、これらの試料のうち AB08 を用いた直接塩化試験において得られた SiCl_4 (表Ⅲ-2-(イ)-A-1(5)) は弊社のポリシリコン生産プロセスに適用している SiCl_4 との有機クロロシラン含有量とほぼ同じレベルであることから適合性のあることが確認された。

表Ⅲ-2-(イ)-A-1(5) : 還流漏液のなかった主留試料の GC-MS 分析(ppm)

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

更に、シリカ鉱石のアップグレード検討では表Ⅲ-2-(イ)-A-1(6)に示す国産シリカをリーチング(酸抽出法)などで処理することにより RC12 のレベルまでアップグレードできることを確認した。表Ⅲ-2-(イ)-A-1(6)の AB01 および AB08 は豪州産シリカで AB08 は表Ⅲ-2-(イ)-A-1(5)に示した直接塩化 SiCl_4 を生成するために用いた原料である。DM01 をアップグレードした RC12 の純度は太陽電池用原料として適性がほぼ確認された AB08 に近いレベルであることから国産シリカサンプルからも太陽電池原料として適合性が期待できる鉱

石が見出されたことになる。

表Ⅲ-2-(イ)-A-1(6) 直接塩化原料として有望なシリカ試料 (ppm)

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

また、これまで産業廃棄物として処理されてきた結晶シリコン加工時に発生するカーフシリコンの分析についても行った結果、表Ⅲ-2-(イ)-A-1(7)のような分析結果を得た。この分析結果はシリカ分析結果としてNi以外の不純物が特段多いわけではなく、更に比較的軽負荷の酸洗によって金属分の溶解除去も可能なことを確認したことから直接塩化プロセスにおける熱源を兼ねた添加原料として適用の可能性が高いことを確認した。

表Ⅲ-2-(イ)-A-1(7) 水洗シリコンカーフの不純物分 (ppm)

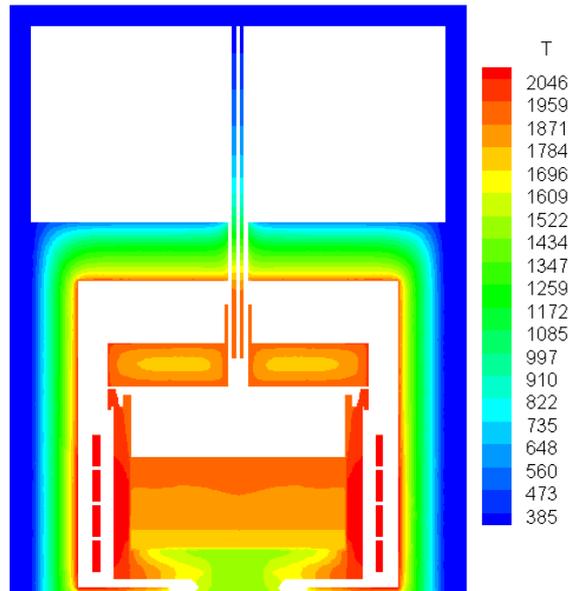
水洗カーフ	Na	Mg	Al	Ca	Fe	Ni	Cr	Cu	Zn
	9.91	3.79	4.58	<506	23.5	127	1.92	4.4	148

<九州大学>

高効率シリコン太陽電池の実現に必要な単結晶シリコンをシードキャスト法で実現するために、次の3つの開発項目に集中して研究開発を行なった。現在のシリコン多結晶系太陽電池の変換効率を向上するためには、次の5つの問題点を克服する必要がある。1) 転位密度の低減、2) 炭素や酸素の軽元素の除去、3) 坩堝壁からの多結晶成長抑止、4) 重金属汚染の防止、5) 全領域単結晶化、である。この5つの問題点を克服するために、次の3項目に関して研究開発を推進した。

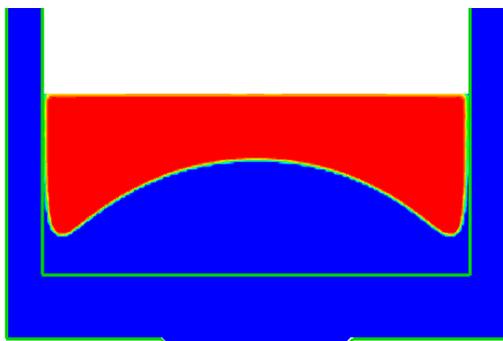
① 高効率単結晶育成炉の温度分布解析シミュレータ構築

種結晶を用いたシードキャスト単結晶育成が実現可能となるように、九州大学が独自に開発したシードキャスト用単結晶育成コードを用いて、50cm 角の単結晶育成可能な炉内構造を提案した。従来問題となっていた種結晶の融解を防止し、確実に種結晶を融解なしに、しかも結晶全領域に単結晶育成可能な温度分布を提案した。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(16)は、新規提案しているシードキャスト法による単結晶育成炉内の温度分布の一例である。本方法では、軽元素である不純物、特に炭素、酸素濃度の低減可能な炉構造となっている。

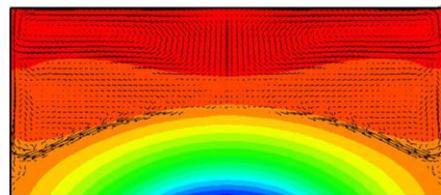


図Ⅲ-2-(イ)-A-1(16) 本提案のシードキャスト法による育成炉内の温度分布

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(17)は、新提案によるシードキャスト法の固液界面形状と温度分布の解析結果、および図Ⅲ-2-(イ)-A-1(18)に融液対流の解析結果を示す。本提案は、従来の坩堝底一面に種結晶を配置して固液界面形状を平坦なまま結晶成長させる方法ではなく、図Ⅲ-2-(イ)-A-1(17)、図Ⅲ-2-(イ)-A-1(18)に示すような凸状の固液界面形状を特徴とする成長方法であり、**世界最初の試み**である。このような固液界面形状を形成することによって、変換効率の転位密度を低減し、かつ不純物の偏析現象による界面形状の崩壊を阻止することが可能である。また、本解析方法ではエンタルピー法という方法を総合熱流解析の中に採用しており、従来用いられている方法である固液界面形状を計算格子で追跡する方法に比べて複雑な形状の固液界面形状を表現することが可能であり、このような結晶育成方法には非常に有効な手段である。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(17)
本提案の固液界面形状の解析結果



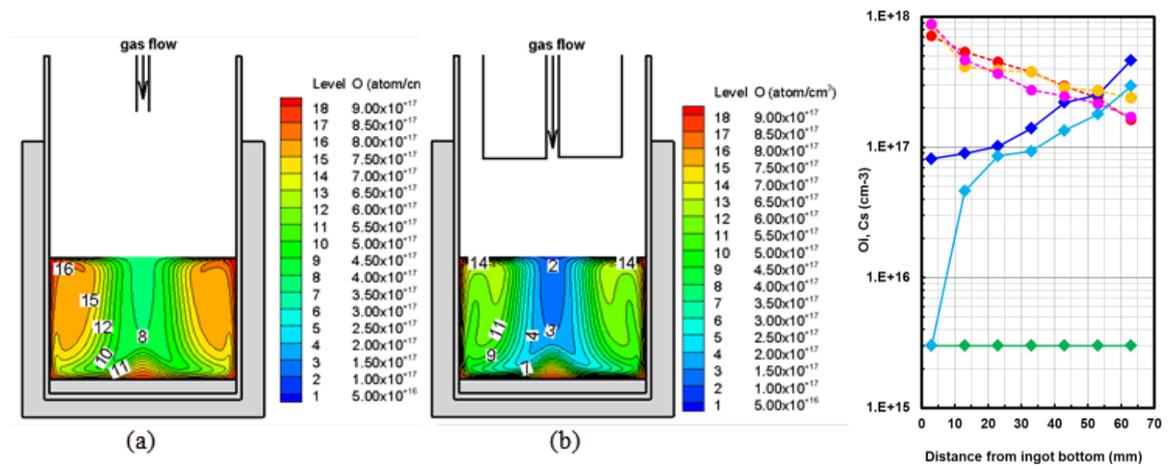
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(18)
融液対流の解析結果

② 高効率単結晶成長炉の不純物除去解析シミュレータ構築

太陽電池の効率低下の原因となる軽元素、特に炭素と酸素の効果的除去方法の提案

を行い、実験結果との比較検討を行い、実際に大型結晶においても除去可能であることを証明した。本研究成果は、**2011 SciVerse Science Direct TOP25 Hottest Research** に選定されている。

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(19)に示すようなカバー構造を新規に提案した。この方法を結晶育成中に用いて炭素除去実験を NIMS、明治大学、豊田工大が共同で結晶育成を行なったところ、図Ⅲ-2-(イ)-A-1(20)に示すように結晶中の炭素濃度を 10^{17} cm^{-3} のオーダーから約 2 桁低濃度の炭素濃度を有するシリコン結晶を得ることが可能となった。本方法を用いれば、変換効率が約 0.5% 程度向上することが確認できた。



(a) 従来方法

(b) 新規提案方法

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(20)

結晶中炭素濃度

(従来(赤)、新規(緑))

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(19)

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(21)は、NIMS、明治大学、豊田工大と共同で結晶育成を行なった結晶の写真であり、また図Ⅲ-2-(イ)-A-1(22)は約 50cm 角の結晶で本方法を採用した場合の結晶の写真である。このように、従来育成されていた一般の結晶は、表面に偏析による SiC の析出物が存在し、SiC の特有の緑色を呈し光沢が無いが、本方法を用いることにより、鏡面の結晶を育成することが可能となった。特に図Ⅲ-2-(イ)-A-1(22)に示すように、大型結晶においても炭素低減化に成功している。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(21)

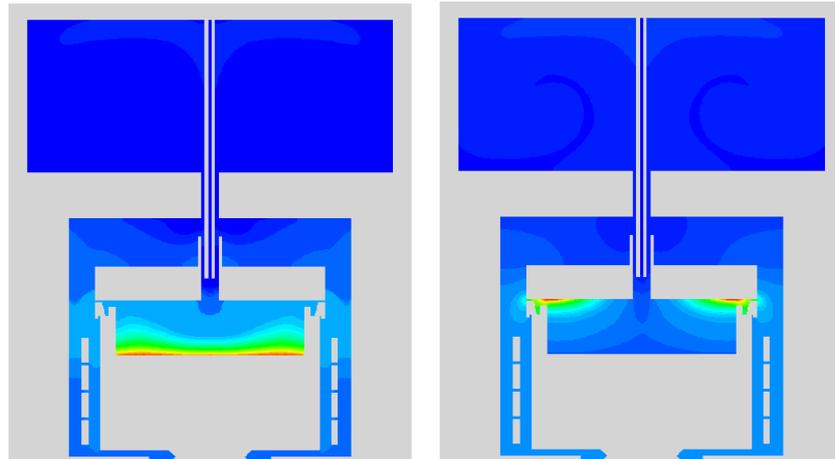
直径 100mm の結晶の写真



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(22)

50cm 角の結晶の写真

低炭素濃度である鏡面結晶を得るために、図Ⅲ-2-(イ)-A-1(23)に示したような炉内構造においてSiOとCOの濃度分布予測を行い、結晶育成を行った。この結果、図Ⅲ-2-(イ)-A-1(22)に示したような表面に光沢がある50cm角の結晶育成が可能であることを実証した。本方法を用いれば、1m角を超える超大型結晶においても低炭素である鏡面結晶を実現できることを今後証明していく。

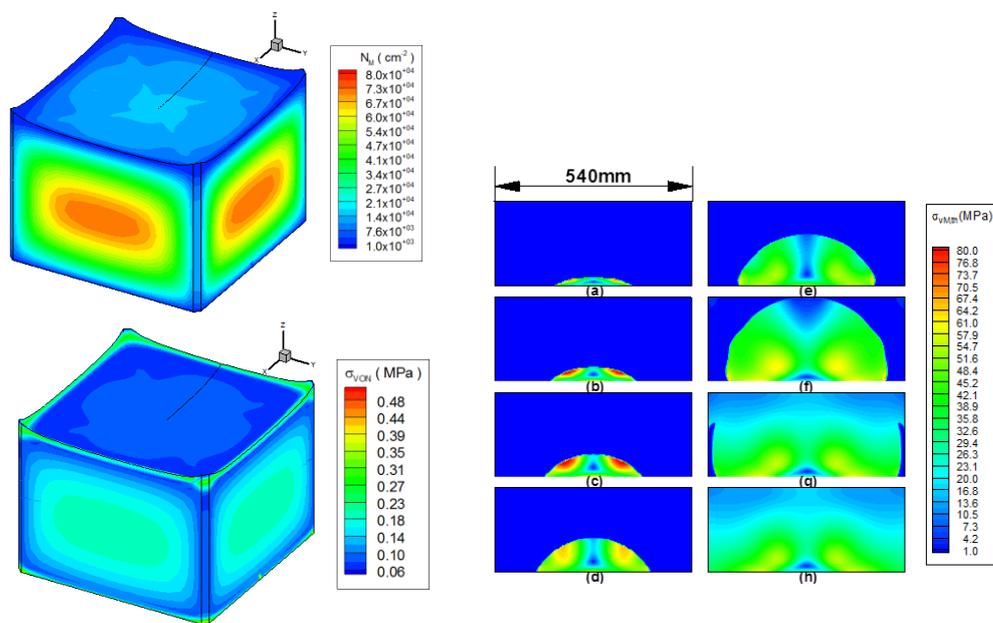


図Ⅲ-2-(イ)-A-1(23) SiOとCOの濃度分布解析結果（単位は任意とした）

③ 高効率単結晶育成炉の低転位化および低残留応力化が可能な解析シミュレータ構築

結晶中の転位は、変換効率の低下の主な原因の一つであるために、転位密度の低減が最重要課題の一つである。本提案であるシードキャストの場合種結晶として単結晶を使用する。この時、転位密度低減に効果がある結晶方位を解析する必要がある。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(24)は、矩形結晶の転位と応力分布、およびシードキャストにおける黄緑分布の成長過程依存性を示している。また、種結晶を等方性であると仮定した場合[001]、[111]の3つの場合について、結晶育成中の温度分布をもとに解析した結果、シードキャストの種結晶として最適な結晶方位は、[001]であることが分かった。[111]方位の種結晶を用いた場合、種結晶底部の応力が非常に大きくなり、結晶を室温まで冷却した時の転位密度は[001]種結晶を用いた場合よりも約3倍大きくなることが明らかとなった。これらの結果から、シードキャスト法で用いる種結晶の方位は[001]が最適であることが明らかとなった。

本解析結果に基づく結晶の最適冷却法は、**特許出願特願(2012-042427)（結晶冷却方法および半導体結晶）**を行った。



図III-2-(イ)-A-1(24)

矩形結晶の転位と応力分布、およびシードキャスト法における黄緑分布の成長過程依存性

<NIMS>

1. 研究開発の内容及び成果等

① 実験炉を用いた Seed cast 法の予備実験

Seed の必要サイズ等の検討と、Seed が溶解しない成長条件の最適化（Seeding 技術の確立）が必要である

② 実証炉の設計・製造

九州大学グループが計算機シミュレーションで予測した育成条件を具現化するための改造設計と発注製造を行う。

各項目の詳細を以下に示す。

① 実験炉を用いた Seed cast 法の予備実験

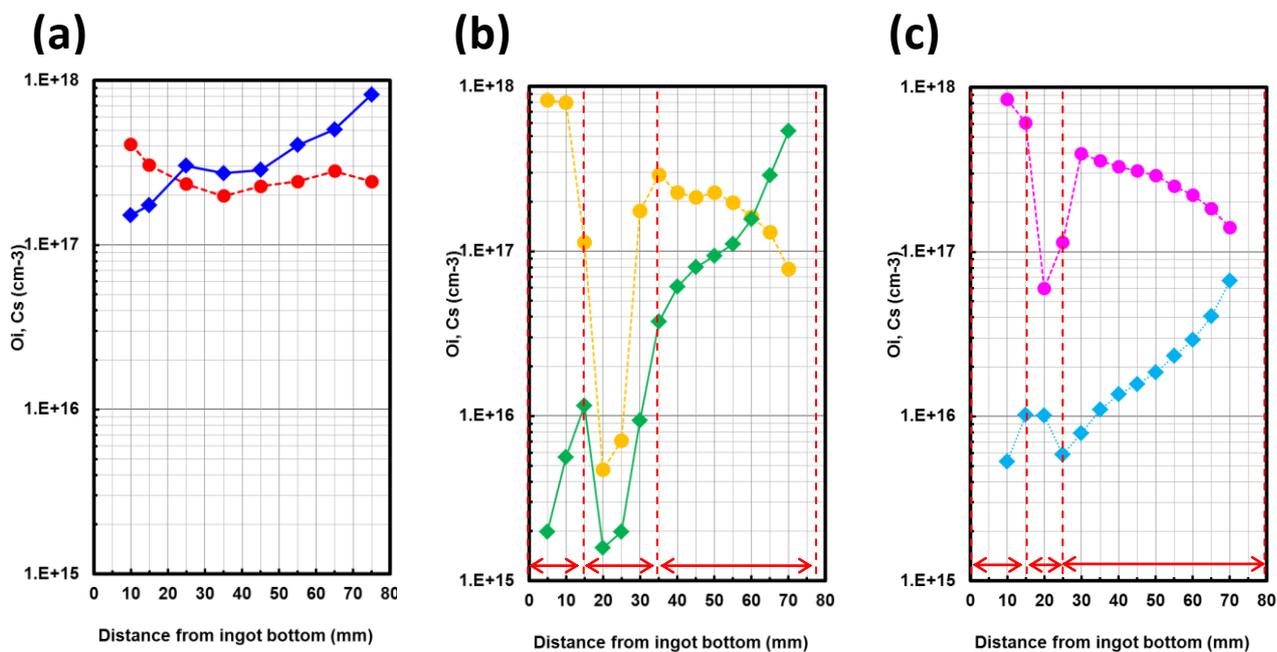
多結晶原料の融解時や単結晶成長時の種結晶の熱的安定性を予測することは重要であり、九州大学グループが開発した温度分布解析シミュレータを使って、九州大学と一緒に、種結晶サイズおよび原料融解や成長条件の事前検討を行う。

② 実証炉の設計・製造

九州大学グループが開発した温度分布解析シミュレータを使って、九州大学と一緒に、購入予定の市販の鋳造炉体の改造と炉内のヒーターおよび断熱構造の改造設計を行う。以下に、各項目の本年度の成果を示す。

① 実験炉を用いた Seed cast 法の予備実験

九州大学グループが開発した不純物除去解析シミュレータで予測した炭素濃度低減のためのガス整流装置を実験炉で具現化し、昨年度は、炭素濃度： $1\sim 8\times 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ の結晶育成に成功し、予測通りの低減効果を確認したが、今年度は、更に、ガス管および整流装置の材質を改良した。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(25)に、酸素と炭素濃度の評価結果を示す。(c)の結晶では、炭素濃度を $5\times 10^{15}\sim 8\times 10^{16}\text{ cm}^{-3}$ まで低減することができ、半導体用単結晶のレベルを達成した。



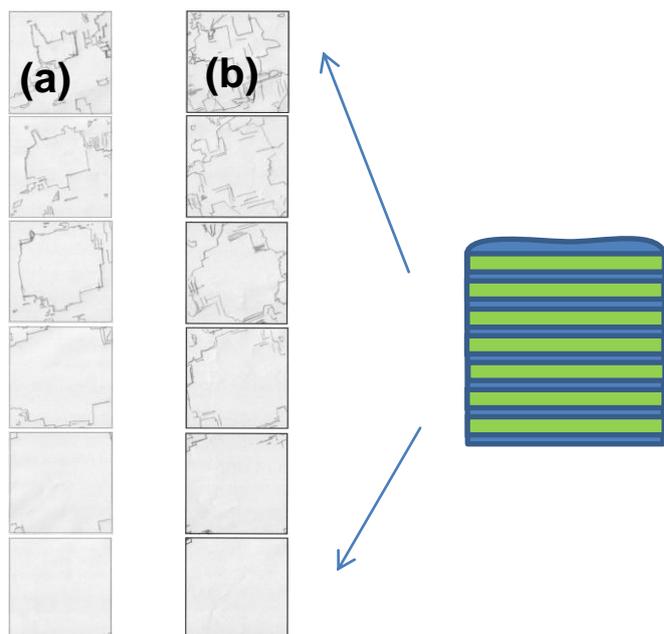
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(25) ガス管および整流装置の材質改善効果

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(26)は、太陽電池セルの変換効率を評価するために、九州大学グループが開発した温度分布解析シミュレータを使って検討した溶解条件で多結晶原料を熔融し、多結晶と単結晶および炭素濃度の作り分けをした結晶の光学写真である。(a)(b)は高炭素濃度のため黄緑色の鈍い光沢であるが、(c)は低炭素濃度のため金属光沢で凝固後の酸化膜成長の虹模様が見られる。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(26) 多結晶と単結晶および炭素濃度を作り分けした結晶の外観写真

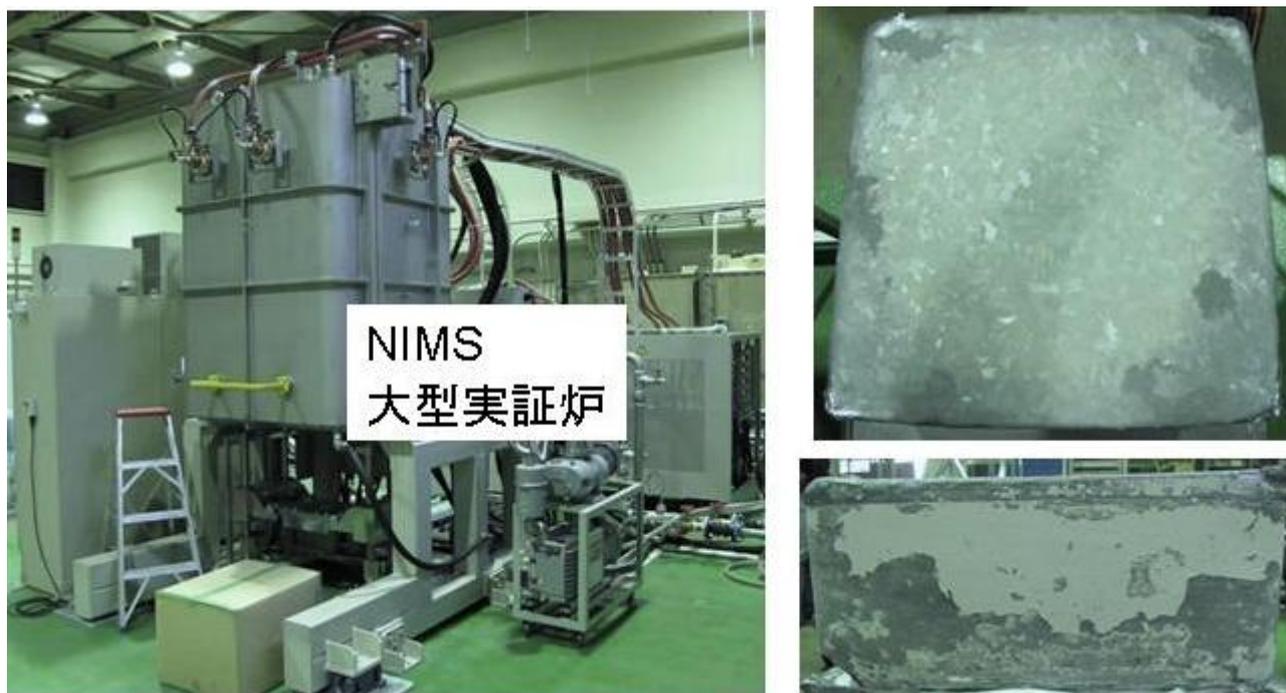
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(27)に、作り分け条件で育成した結晶の結晶粒の成長の様子を示す。(a)と(b)は、種結晶方位が上部まで継承されていることが判る。(b)の炭素濃度は、 $3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ の検出下限以下であった。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(27) 育成した結晶の評価結果

②実証炉の設計・製造

九州大学のシミュレーション結果を基に、市販の鑄造炉の改造と炉内のヒーターおよび断熱構造の改造設計、発注製造を行った。2月に、九州大学への搬入設置、立ち上げを完了した。3月に、従来の炉内構造で鑄造結晶育成を行い、Seedを用いない多結晶の育成が完了した。



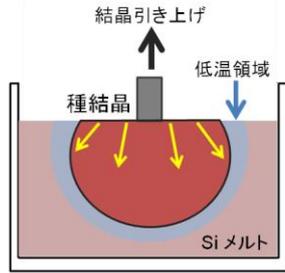
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(28) 導入した鑄造炉とこれを用いて育成した結晶

<京都大学>

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

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

浮遊キャスト成長法

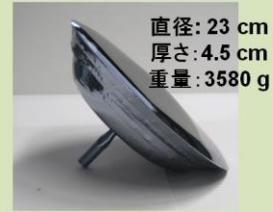


結晶をルツボと接触させずに成長することが可能な、低温領域をSi融液中に形成することに成功した。

直径30 cmの小型のルツボから、25 cm 径にインゴット多結晶が得られ、15.6 cm角のウェハーが得られた。



直径: 11 cm、厚さ: 5 cm
重量: 580 g



直径: 23 cm
厚さ: 4.5 cm
重量: 3580 g

成長方向に対して凸状の形状をしており、融液内の低温領域で成長していることがわかる。

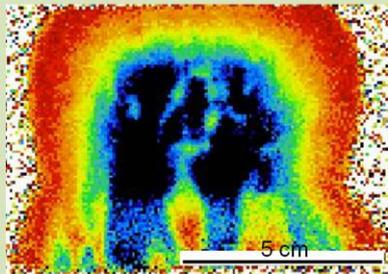


直径: 20 cm
厚さ: 10 cm
重量: 5560 g



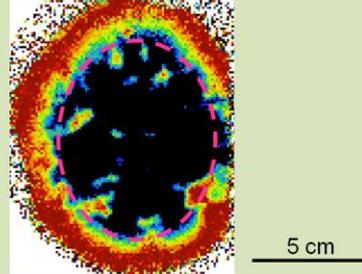
直径: 27 cm
厚さ: 8.5 cm
重量: 5980 g

結晶の縦断面の拡散長分布



面内平均: 173 μm 、最大値: 610 μm

結晶の横断面の拡散長分布



面内平均: 140 μm 、最大値: 464 μm

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

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(29) 浮遊キャスト成長法

2) 浮遊キャスト成長法により作製した結晶の評価と高品質化メカニズムの解明

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

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

〈東北大学〉

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

1-1 成長初期過程における組織制御

成長初期過程における組織制御として、デンドライト成長の利用と、種結晶とデンドライト成長を併用することについて検討した。

融液表面で成長を開始する場合、ルツボ底部での核形成と比較して、核形成頻度を大幅に低下させることができる。よって、核形成時の過冷却度が、ファセットデンドライト成長の発現に必要な臨界値（およそ 10K）よりも大きくなるため、**インゴットの上面全てを複数のデンドライト結晶で覆うことが可能**である。

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(30)は、炉内の水平方向に意図的に温度勾配を持たせることで、デンドライト結晶の成長方向を制御した試みである。核形成は、主として低温側のルツボ壁近傍で起こり、高温側に向かいデンドライト結晶が成長している様子がわかる。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(31)は、(100)単結晶を種結晶としてデンドライト結晶を成長させることにより、インゴット表面に四階対称の組織を形成した例である。

このように、融液表面から結晶成長を開始することにより、**デンドライト結晶を組織制御に有効に活用できる**ことを示した。



低温 → 高温

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(30) 面内温度分布による融液表面に発現するデンドライト成長の制御

1-2 成長後期過程における応力低減

融液表面から成長を行う場合、成長後期過程において残留融液をそのまま凝固させてしまうと、閉じた空間で凝固に伴う体積膨張により、インゴットに大きな応力が印加され、結晶粒の微細化や、転位密度の急激な増加が起きる。

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(32)は、インゴットの横断面を、インゴットの上部と下部で比較したものである。インゴットの上部では、上面に形成された組織を継承して成長が起こり、大粒径の結晶が得られている。しかし、インゴット下部においては、結晶粒が微細化している様子がわかる。またフォトルミネッセンスイメージングにより、下部近傍では多数の結晶欠陥が発生していることが明らかとなった。これは、Si 融液の凝固膨張に起因して、インゴットの下部近傍において、インゴットがルツボと強く接触し、大きな応力が印加されることによる。これは、インゴットの底部が、大きく下に凸になるほど変形していることより裏付けられる。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(31) 種結晶とデンドライト成長を併用することによる組織制御

このような凝固最終過程での結晶欠陥の発生を抑制するために、**二重ルツボにより残留融液が外側ルツボに自然排出される機構を考案**した(特願 2012-054072)。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(33)に、標準ルツボを用いて成長したインゴットと、二重ルツボを用いて成長したインゴットの外観を比較して示す。通常ルツボを用いて成長した場合は、インゴット底部に 1cm 以上の凸部が見られるのに対し、二重ルツボを用いたインゴットでは、底部の凸部は 1mm 以下に抑制することができた。インゴットの縦断面の組織観察を行った結果、インゴット下部近傍での結晶の微細化は観測されなかった。よって、二重ルツボを用いることにより、**凝固最終過程でのインゴットへの応力印加を低減し、結晶欠陥の発生を抑制することに成功**した。

少数キャリア拡散長の値としては、インゴットの横断面の測定で、最大値 340 μm を得た。

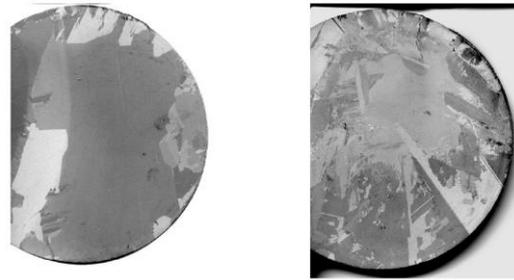
1-3 インゴットの大型化

小型インゴットでの基礎検討の成果をベースに、応力の低減機構と、デンドライト結晶による組織制御を融合したインゴット成長技術を、G2 炉に適用して成長を行った。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(34)は、成長したインゴットから切り出した 156mm 角ブロックの断面写真と、スライスしたウェハーの写真である。このように、**浮遊キャスト成長法で大型インゴット成長が可能であることを実証**し、実用サイズウェハーをコンソーシアムに提供することを開始した。

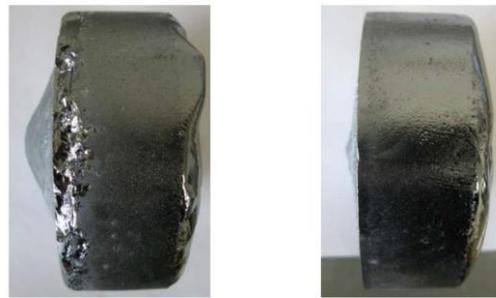
2. 浮遊キャスト成長法により作製した結晶の評価と高品質化メカニズムの解明

浮遊キャスト成長法では、表面にデンドライト結晶が稠密に形成されるため、隣り合うデンドライト結晶の接触角を、結晶粒界を特徴づけるパラメータとして系統的な研究ができる。浮遊キャスト成長法で成長した小型インゴットを縦方向に切り出した結晶を利用し、結晶粒界を含む結晶欠陥の種類と、電気的特性の関係を調べた。

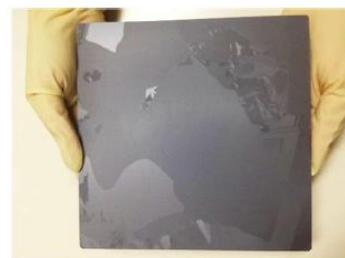
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(35)に、熱処理前後の PL イメージを比較する。熱処理前後でイメ



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(32) インゴットの横断面の写真。左がインゴット上部、右がインゴット下部に対応する。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(33) インゴットの外観写真。左が標準ルツボを用いて成長したもの。右は二重ルツボを用いて成長したもの。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(34) 浮遊キャスト成長法により作製したインゴットから切り出したブロックと、実用サイズの大粒径シリコンウェハーの写真

ージが大きく変化する様子がわかる。

より詳細な議論のため、コントラストを、欠陥近傍の明るい領域の強度から欠陥上の暗い領域の強度を引いた値を明るい領域の強度で割った値として定義し、熱処理前後での変化を調べた。その結果、転位密度の高い領域では、熱処理後にコントラストが増大し、 $\Sigma 3$ ではコントラストが低下した。この結果は、高密度の転位領域には熱処理により不純物が析出するのに対して、粒界エネルギーの低い $\Sigma 3$ 近傍では、不純物が表面にゲッターリングされたものとして理解できる。一方、ランダム粒界近傍では、コントラストが増加する粒界と減少する粒界が混在していた。

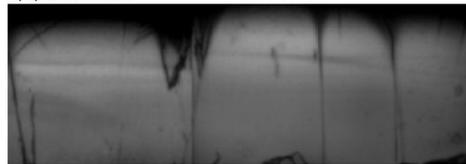
図 III-2-(イ)-A-1(36)は、デンドライト結晶の接触角を横軸にとり、熱処理前後でのコントラスト変化をプロットしたものである。この図より、接触角が 70° 近傍のランダム粒界を例外として、接触角の増加に伴い、コントラストが増加傾向にあることがわかる。

このような結果となった原因を、粒界エネルギーの観点から考察する。上面方位が揃ったデンドライト結晶の粒界エネルギーは、接触角に依存し、 10° 以内の範囲で粒界エネルギーは、角度が小さいほど小さくなる。また、 $\langle 110 \rangle$ 同士の粒界では、 $\Sigma 3$ 粒界となる 70° 付近でエネルギーが極小となる。すなわち、粒界エネルギーの接触角依存性と、熱処理前後でのコントラストの変化の傾向は一致している。つまり、粒界エネルギーの大きな粒界は不純物を多く集積させることで PL コントラストの増加を起し、エネルギーの小さな粒界では、不純物を有効に外部にゲッターリングできることがわかった。

この結果は、**浮遊キャスト成長法において、デンドライト結晶の接触角を制御して発現させることにより、セルプロセスにおける不純物ゲッターリングを有効にできる**ことを示している。

図 III-2-(イ)-A-1(37)は、本研究で考案した二重ルツボによる応力低減の効果を PL イメージにより検討した結果である。インゴットの水平断面の PL イメージをインゴット上部の成長初期の結晶と、インゴット下部の成長後期で比較している。通常ルツボを用いた場合は、成長後期において発光しない領域が顕著に広がっており、ルツボと強く接触することにより発生する応力が、非発光中心となる結晶欠陥を発生させることが明らかである。一方で、二重ルツボを用いた場合は、成長

(a) 熱処理前



(b) 熱処理後



図 III-2-(イ)-A-1(35) 浮遊キャスト成長法により作製した結晶の熱処理前後の PL イメージの比較

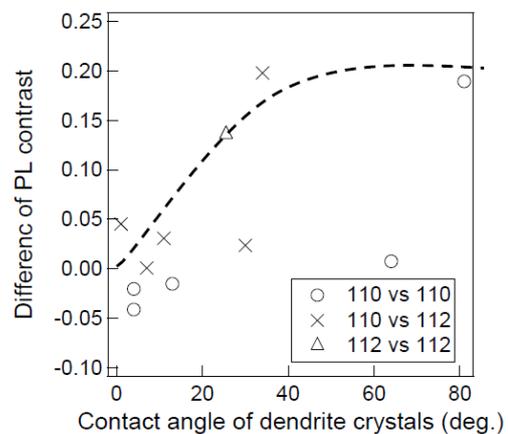


図 III-2-(イ)-A-1(36) デンドライト結晶の接触角と熱処理前後のコントラスト差の関係

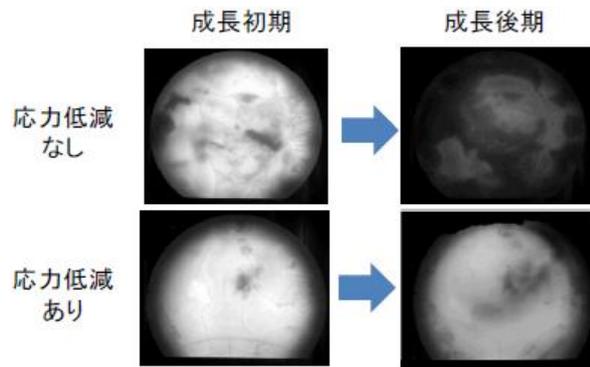
後期においても結晶欠陥の発生を抑制できている。

このように、インゴットへの**応力印加を低減することで、結晶欠陥の発生を抑制し、均質なインゴットを形成できることを実証**した。

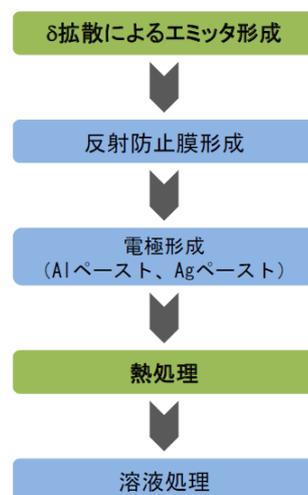
3. 太陽電池による結晶品質の評価および高効率化の検討

学内における小面積太陽電池作製プロセスを改善し、結晶品質の評価を行うことのできる体制を整備した。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(38)に、太陽電池作製プロセスの概要を示す。特徴的なのは、エミッタ形成プロセスであり、熱処理時間を極限まで低減させることにより、表面近傍に高品質なエミッタを形成する（特願 2011-179126）ことを意図している。検討を開始した当初は、CZ 単結晶(抵抗率 $2.6\Omega\text{cm}$)に対して、13.1%程度の変換効率しか得られなかったのに対し、エミッタ形成プロセスを高度化することで、CZ 単結晶(抵抗率 $1.0\Omega\text{cm}$)を用いた場合、17.5%程度(短絡電流密度 $35.7\text{mA}/\text{cm}^2$ 、開放電圧 642mV 、曲線因子 0.763)の変換効率が、再現性よく得られるようになった。

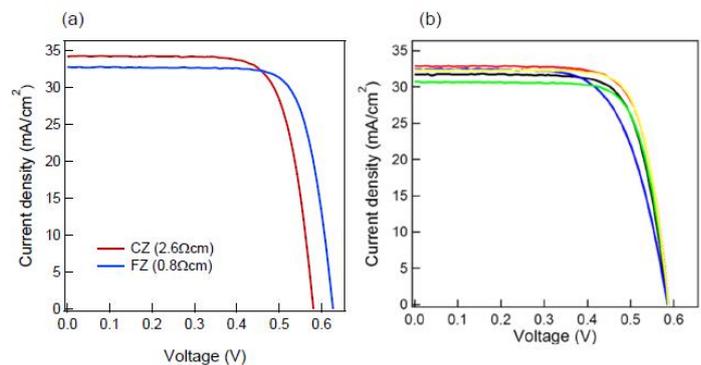
成長したインゴットの下部近傍の水平断面から、約 $15\text{mm}\times 15\text{mm}$ の試料を 5 個切り出し、学内の簡易プロセスによって太陽電池を作製した。その特性を比較した図面を図Ⅲ-2-(イ)-A-1(39)に示す。なお、このプロセスは、前述の改善を行う前のものである。CZ 単結晶と比較した、絶対効率の低下は、0.2-2.0%の範囲であった。この結果から、良質な部分に関しては、単結晶なみの品質が得られているといえる。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(37) 応力低減による成長過程における結晶欠陥の発生を抑制を実証する PL イメージ



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(38)結晶品質評価のための太陽電池作製プロセス



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(39) (a)標準単結晶と(b)浮遊キャスト成長法で成長した結晶をベースとする太陽電池の特性比較

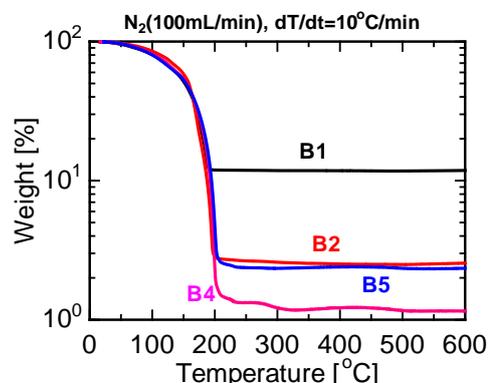
〈兵庫県立大学〉

スライス時のカーフの回収・再利用

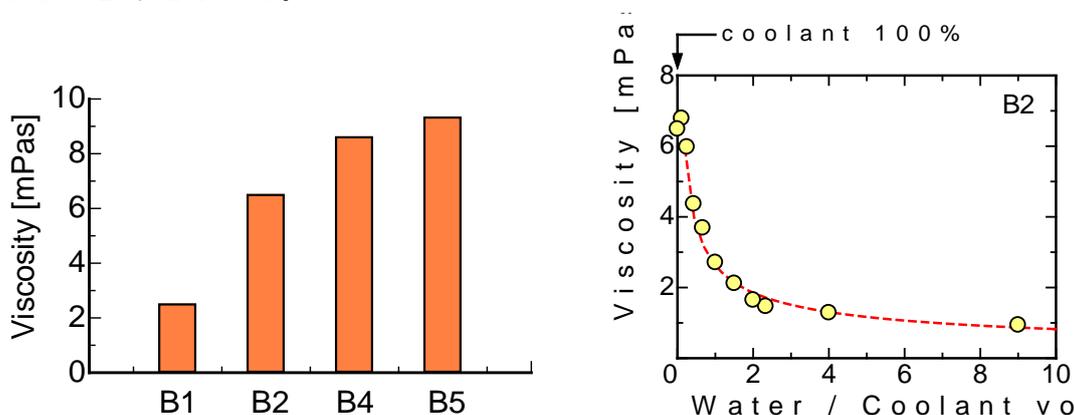
(1) カーフ／不純物の分離技術の開発

(1-1) クーラント特性の評価

スライス条件が同じとされる4種類の廃クーラントの比較を行った。熱重量分析（図Ⅲ-2-(イ)-A-1(40)）および示差熱分析を行った結果、クーラントの構成成分は同等であり、高沸点側の物質も約 200°Cで蒸発することが判った。また、カーフ（シリコン微粉末）の含有量は多いもので10wt%，少ないものでは1wt%程度と大きな幅があった。これは廃クーラントの一部を取り出しているため、サンプリングの状態に依存したものと考えられる。次にろ過特性に影響を及ぼすと予測される粘性の評価を行った。その結果、図Ⅲ-2-(イ)-A-1(41)（左）に示すように、約 3~9 mPas と大きな差が確認された。廃クーラントの構成成分は同等であることから、構成成分の成分比が粘度に影響を及ぼしていると考え、廃クーラントを水で希釈し粘度を測定した。希釈率と粘度の関係を図Ⅲ-2-(イ)-A-1(41)（右）に示す。水を少量加えただけで粘度は劇的に低下し、廃クーラントと同量加えた時点で（希釈率=1）、粘度は半分以下となった。このことから、各クーラントの粘度の相違は水の蒸発率の違い（保管期間、状態）に起因するものと考えられる。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(40) 各廃クーラントの熱重量分析の結果

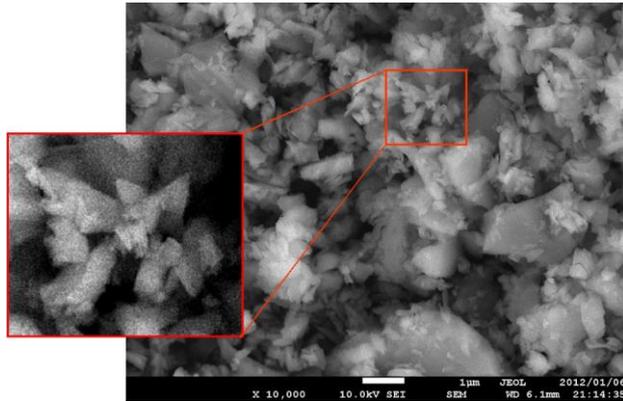


図Ⅲ-2-(イ)-A-1(41)各クーラントの粘度（左）および水希釈による粘度変化（右）

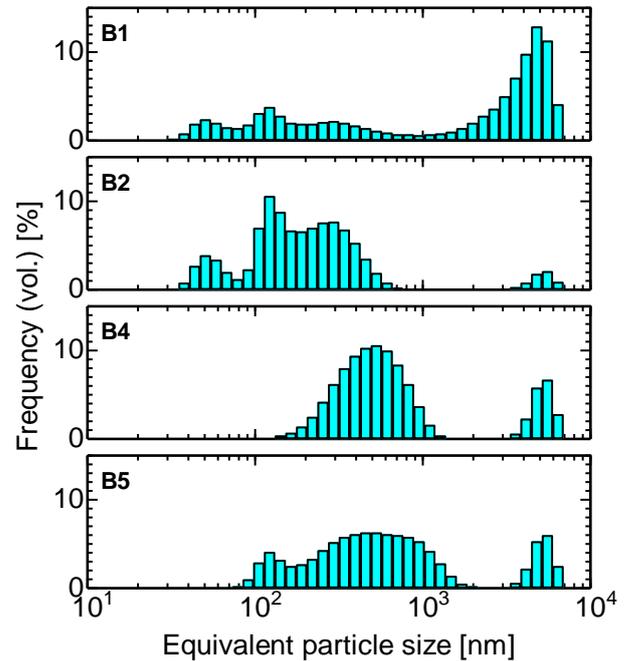
(1-2) シリコン微粉末の特性

ろ過特性に影響を及ぼすと考えられるもう一つの要素がシリコン微粉末の形状およびサイズである。そこで電子顕微鏡による観察を行った（図Ⅲ-2-(イ)-A-1(42)）。数・mの比較的大きなものから、100nmを切るような小さなものまで幅広く存在していることが判る。具体的な粒径分布を評価するために、動的光散乱法による測定を行った（図Ⅲ-2-(イ)-A-1(43)）。大まかな傾向として、数・mの粒子群と数100nmの粒子群が混在しているが、その比率などは廃クーラント毎に異なっている。これも前項で

述べたようにサンプリング状態の相違に起因していると考えられるため、ろ過プロセス時のパラメータ設定には注意が必要である。



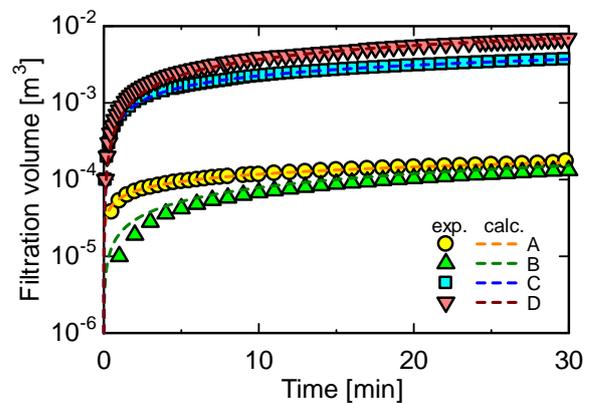
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(42) シリコン微粉末の電子顕微鏡像
(scale bar = 1・m)



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(43) 各クーラントに含まれる微粒子の粒径分布

(1-3) ろ過特性

各廃クーラントのろ過特性を加圧ろ過装置を用いて検討を行った。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(44)にろ過時間とろ液量の関係を示す。30分後のろ液量で比較すると、多い例と少ない例では50倍程度の違いが現れている。この差が前述したクーラントの粘度とシリコン微粉末によるろ過抵抗と考え、次元解析から以下に示すモデル式を得た。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(44) ろ過時間とろ液量の関係

$$\frac{dV(t)}{dt} = \frac{\Delta P}{\mu [R_0 + R_c \{\rho V(t)\}^{n+1}]} \dots \text{式 III-2-(イ)-A-1(1)}$$

このモデル式に従い計算した結果を破線で図Ⅲ-2-(イ)-A-1(44)に示す。ろ過初期で若干の相違が見られるものの、概ねモデル式でろ過プロセスを示せることが出来た。

次にろ過プロセスの最適化について検討を行った。上式から判るように、ろ過速度はクーラント粘度を下げるにより向上する。水で廃クーラントを希釈することで粘度が下がることは(1-1)で報告したが、希釈することで、処理すべき廃クーラント

体積は当然増加する。つまり、粘度低下によるろ過速度向上とクーラント体積増加に最適点があると考えモデル式から処理時間を予測したところ、ある廃クーラントの場合では希釈率1が最適であることが予測された。実際に希釈率を変えてろ過実験を行ったところ、希釈率2が最適であり、元々の廃クーラントの場合に比べてろ過時間が半減した。この結果から、モデル式はプロセス予測に有効であると言える。

(2) 原料再生技術の開発

(2-1) 固液分離後のシリコン微粉末の不純物評価

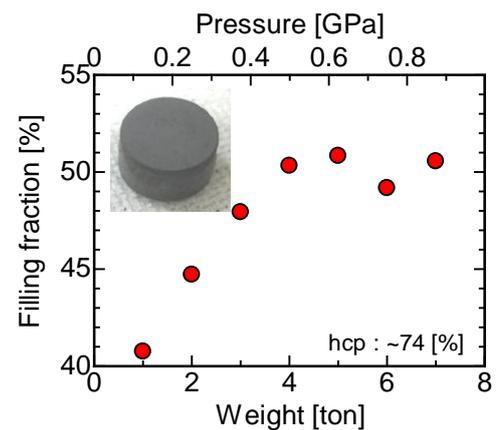
廃クーラントからろ過したシリコン微粉末を乾燥後、誘導結合プラズマ質量分析法により不純物の評価を行った。なお、本評価はシリコン結晶コンソーシアムに参加の新日本ソーラーシリコンの協力のもと実施した。表III-2-(イ)-A-1(8)に代表的な金属不純物の含有量を示す。どの金属も非常に高い値を示している。本研究開発では回収したシリコン微粉末を直接原料として使用するのではなく、一度融解・再凝固して原料化することを想定しているため、この測定結果を元に融解・再凝固後の固化率0.9での不純物濃度を推算した。その結果、原料として十分使用可能な濃度であることが確認された。

表III-2-(イ)-A-1(8)シリコン微粉末中の代表的な金属不純物濃度と溶融・再凝固後の固化率0.9における予測不純物濃度

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

(2-2) シリコン微粉末のペレット化

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



図III-2-(イ)-A-1(45) プレス荷重と充填率

(2-3) 融解・再凝固

ペレット1つを坩堝に設置し、融解・再凝固を行った結果、完全に融解したことが確認出来た。そこで複数のペレットを同時に融解・再凝固を実施した。図7 III-2-(イ)-A-1(46)に試料外観を示す。側面では金属光沢も見られたが、試料を切断して確認したところ、一部未融解の領域が確認された。加熱炉の温度プログラムをペレット1つの場合と同じにして実験を行ったため、複数のペレットを完全融解するには十分な加熱時間では無かったと予想される。今後、加熱時間や坩堝配置の再検討を行い、より熱効率の良い条件で融解・再凝固実験を実施する。



図III-2-(イ)-A-1(46) 融解・再凝固後の試料

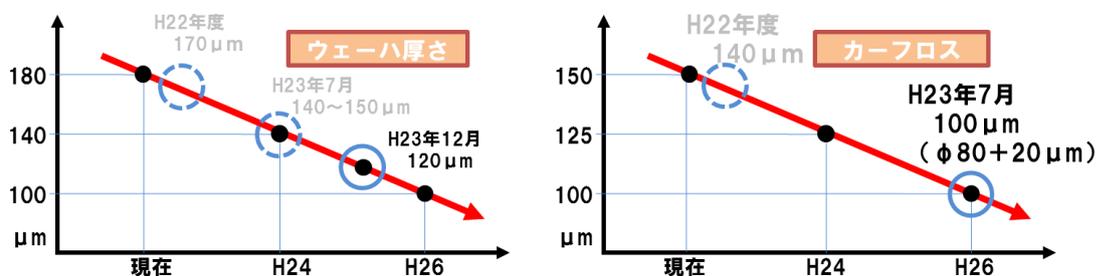
<コマツ NTC>

成果

- ① 薄板ウェハの高歩留まり生産技術の確立
 - A. □125mm相当の単結晶シリコン基板を厚さ180μm、140μm、120μmと段階を踏んで薄板加工を実現した。
 - B. 加工したウェハが精度、歩留りともに問題は無く加工可能であることを実証した。
 - C. 歩留りよく加工完了するための条件や加工後の搬送における割れ抑制方法などを確立した。
 - D. 加工には各市販メーカーの固定砥粒ワイヤを使用し、現在市販されているワイヤで十分に薄板ウェハ加工が可能であることを実証した。
- ② カーフロス量の最少化に向けた細線ワイヤが使用できる生産設備の確立
 - A. カーフロス150μm（芯線120μm）のワイヤを使用する加工を実施した
 - B. カーフロス130μm（芯線100μm）のワイヤでの加工を実施し、歩留りよく切断加工が可能であることを実証した
 - C. カーフロス100μm（芯線80μm）のワイヤでの加工を実施し、歩留りよく切断加工が可能であることを実証した
 - D. 細線ワイヤでの加工を精度、歩留りが問題なく加工できる条件を確立した

以上の成果により、2010年初頭の状況（ウェハ厚さ180μm、カーフロス150μm）と比較し、材料コストで25%削減するスライス加工を実現した。（ウェハ厚さ120μm、カーフロス125μm）

スライス評価(歩留り95%以上) ⇒ 厚さ120μmウェハ、カーフロス100μmまで実施完了



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(47) 成果状況

表Ⅲ-2-(イ)-A-1(9) 達成状況（時系列）

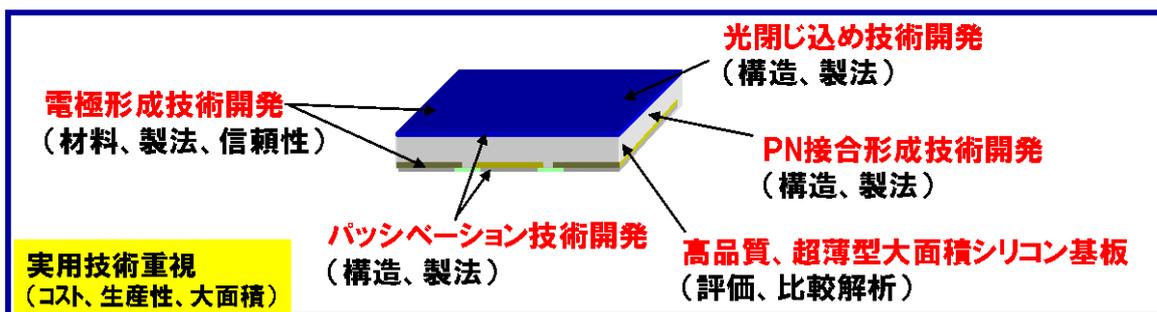
	ウェーハ厚さ	カーフロス (使用ダイヤワイヤ)
H22年度	170μm	140μm (φ120+20μm)
H23年7月	140μm	100μm (φ80+20μm)
H23年10月	130μm	115μm (φ80+35μm)
H23年12月	120μm	125μm (φ100+25μm)

まとめ

- A. 太陽電池市場に単結晶の薄板切断が可能である事を示し、コスト削減の可能性を示唆した
- B. 120 μm厚さウェハの供給 ⇒ NEDO コンソーシアム（豊田工業大学）での研究へ
- C. 各種素材（単結晶、多結晶）インゴットの加工 ⇒ 支給品テストカットなど
- D. 細線加工の対応技術を都度、ワイヤソーに反映

<京セラ>

●開発アイテム



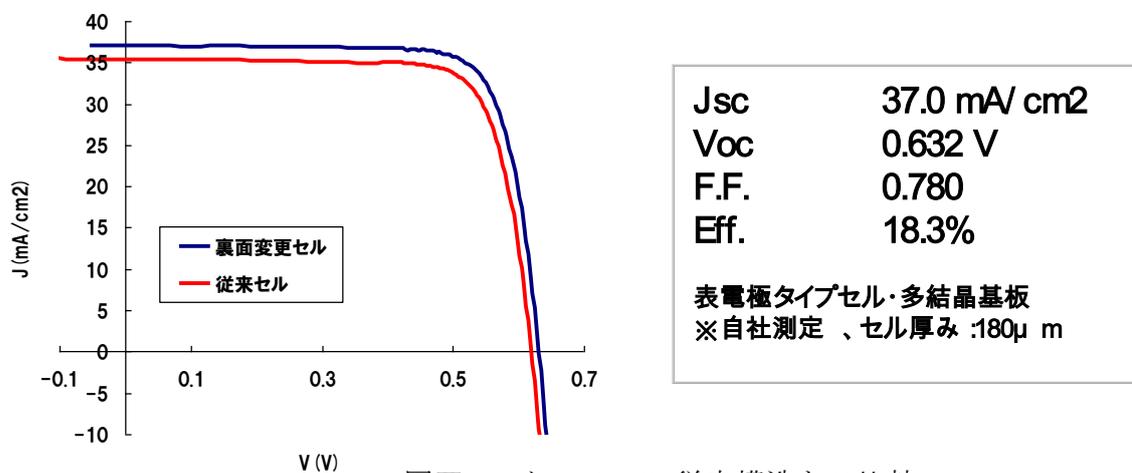
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(48) 開発アイテム

開発が完了しても実用化、事業化、低コスト化が困難な手法は採用せず、開発完了すれば実用化が容易な技術を開発アイテム選択の判断基準とした。開発アイテムとしては上記の通りとした。

高品質、超薄型大面積シリコン基板においては、最もコストパフォーマンスの高い多結晶シリコン太陽電池を選択。競争力のある多結晶基板をベースに素子構造の最適化を行うことにより、開発完了後の早期実用化、低コスト化が可能であると判断した。

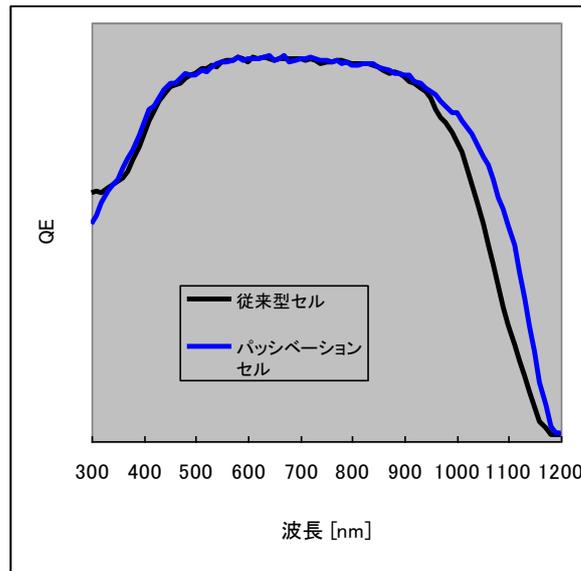
●高効率技術開発 1 裏面変更セルの開発

セル裏面構造を変更したセル変換効率において、従来構造と比較して大幅に特性が向上。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(49) 従来構造との比較

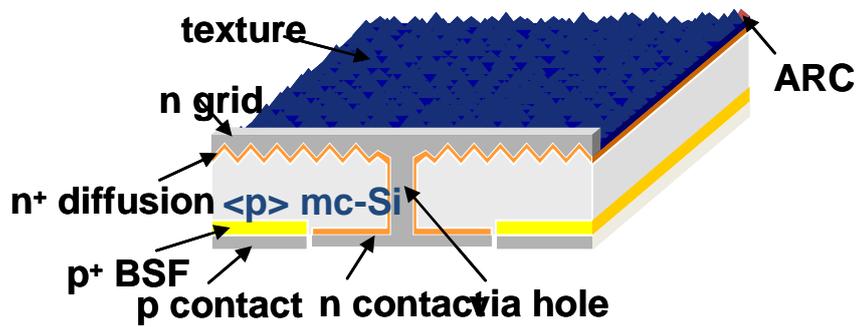
裏面変更セルの量子効率においても、長波長感度が向上しており裏面改善の効果を確認。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(50) 裏面改善の効果

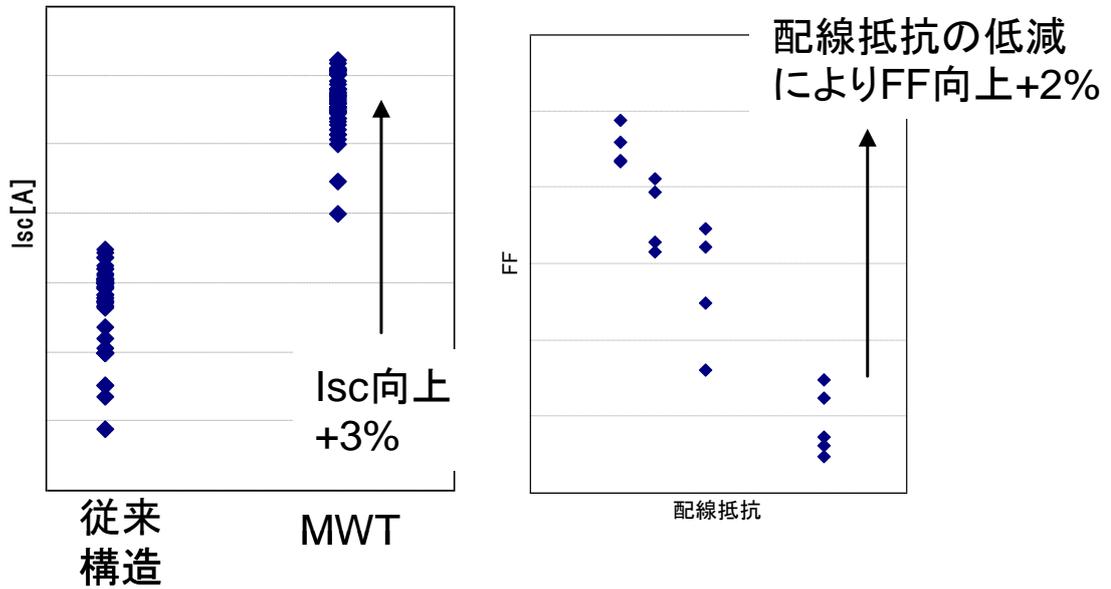
●高効率開発2 バックコンタクトセル・モジュールの開発

従来より開発を行ってきたMWT型バックコンタクトセル・モジュールの最適化を実施。セル構造は下記の通りである。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(51) バックコンタクトセル構造

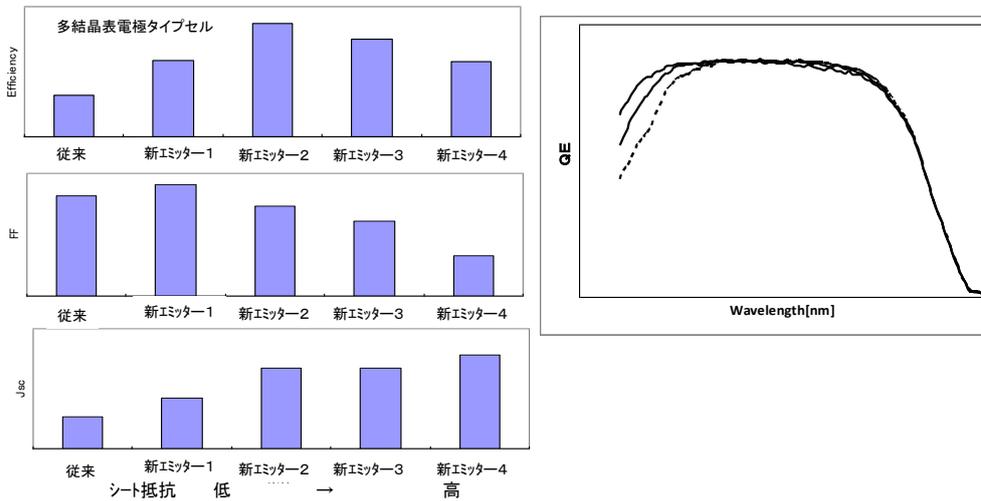
バックコンタクトセル・モジュールの特性評価



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(52) モジュール特性評価

最適化により、 I_{sc} 向上と FF 向上を合算して、5%の効率向上が見込まれる。

●高効率化開発3 : エミッターの最適化



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(53) エミッターの最適

新エミッタにより、短波長感度向上、FFとの両立が可能となり、効率向上を確認。

【成果の意義】

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、低コスト化に係る要素技術開発を行い、これを事業化する事により、現下の世界競争に打ち勝っていくための競争力を高める事に繋がり、我が国の太陽光発電システムの導入規模拡大に寄与する事が可能となる。また、本プロジェクトの実施により下記の要素技術開発についての幅広い知見が得られる。

(1) 高効率化技術開発

- ◆新規電極形成技術開発
- ◆新規光閉じ込め構造の検討とプロセス技術(ドライ、ウエットおよびレーザーとの組み合わせ等)開発
- ◆新規表面再結合低減構造の検討とプロセス開発
- ◆高品質シリコン多結晶インゴット結晶成長技術開発
- ◆N型素子技術開発

(2) サブテーマ「(a)原料・結晶の研究開発」で得られた基板のセル化評価

- ◆浮遊キャスト成長法による高品質Si多結晶基板の可能性評価
- ◆低価格EMC多結晶ソーラーシリコン利用基板の可能性評価
- ◆太陽電池用低価格単結晶シリコン基板の可能性評価

【成果の最終目標の達成可能性】

「H24年度までに裏面変更セル、バックコンタクトセル・モジュール、エミッタの最適化を確立出来る見込みの為、今後、これらの技術の組み合わせ及び高品質結晶シリコン基板との組合せを図る事で最終目標の達成は可能である」

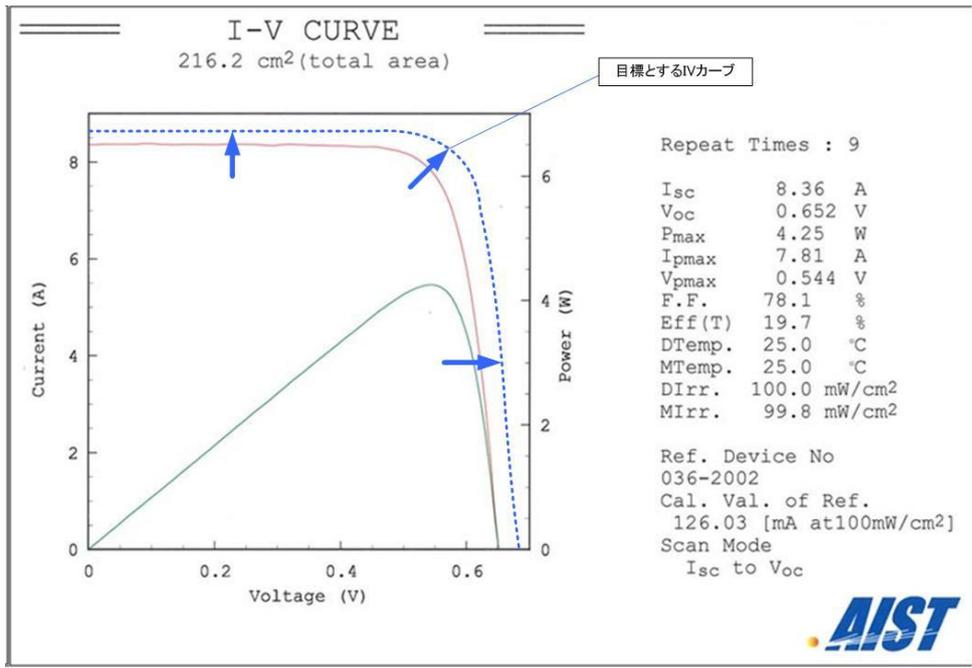
<三菱>

高効率セル製造プロセス技術

高効率セル製造プロセス技術の要素技術の確立を目的として、単結晶セル用テクスチャ形成技術の高度化を実施し、高品質接合構造として拡散接合の最適化、および電極構造等の最適化、パッシベーション構造の開発として、豊田工業大学の協力の下、低温酸化膜形成プロセス等の各種パッシベーション膜の高性能化、およびレーザー加工技術等によるポイントコンタクト開口プロセスの最適化を行いセル変換効率の向上を実施すべく、セルの試作を実施した。

これまでの所、セル製造プロセスの基本技術の確立を完了し、各要素技術を踏襲したセル製造プロセスの安定化および完成度の向上を行い、中間目標変換効率の達成を目指す。

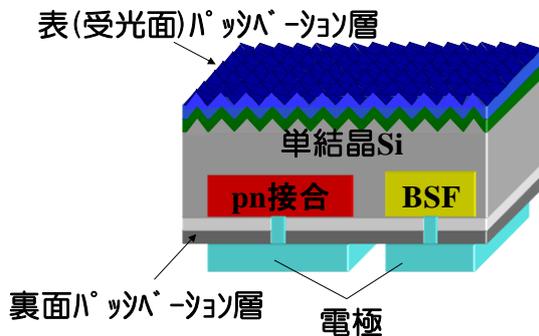
目標としているセルのIVカーブを図III-2-(イ)-A-1(54)に示す。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(54) IV カーブ

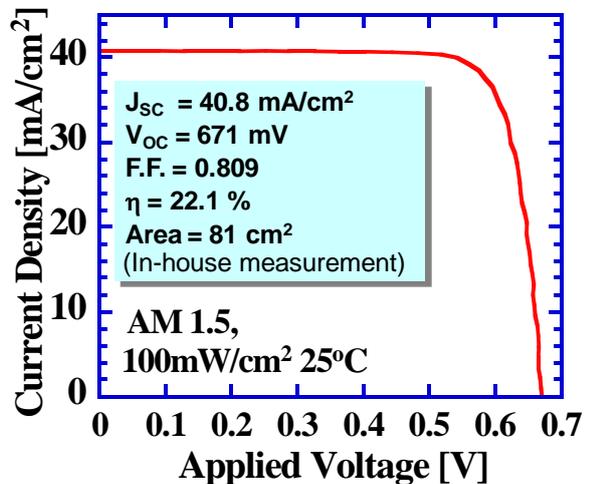
<シャープ>

バックコンタクト（裏面電極型）セルとは表面（受光面）に全く電極のない高効率単結晶シリコン太陽電池であり、p、n 両電極を太陽電池裏面に配置することによって高い変換効率と優れた外観を実現することが可能である。従来構造において表電極は電流を取り出すために必要だが、同時に太陽光の入射を阻害する必要悪とも言える。これを太陽電池裏面に配置することで太陽電池への入射光量を増やすことができ、変換効率を向上させることができる。また、表面に電極やインターコネクターがないので、すっきりした外観の太陽電池モジュールを作ることができる。これまでの検討において、図Ⅲ-2-(イ)-A-1(55)に示したような構造のバックコンタクト太陽電池セルを試作し、90mm 角サイズ（81cm²）で 22.1%（自社測定）の変換効率を得られた（図Ⅲ-2-(イ)-A-1(56)）。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(55) バックコンタクト

試作セル構造



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(56) バックコンタクト

試作セル IV 特性

〈東工大〉

極限シリコン結晶太陽電池の研究開発（ナノ表面・界面制御による超薄型シリコン・ヘテロ接合太陽電池の高効率化に関する研究開発）（国立大学法人東京工業大学 小長井研究室）

本研究では、薄型Siウェハに対する高効率ヘテロ接合型太陽電池の開発を目的として、5cm/s以下の低い再結合速度を実現するための裏面パッシベーション膜の技術開発とセル化技術の実証を行った。

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

高密度な負の固定電荷を有する a-AlO_x:H の製膜技術を開発した。まず、a-AlO_x:H/Si 基板界面において構造の制御を行い、負の固定電荷の高密度化を図った。またバッファ層導入や低温堆積による界面制御を試みた。パッシベーション膜の品質評価にはマイクロ波光導電減衰法（MW-PCD）装置および擬定常状態光導電法（QSSPC）装置を用いた。構造の解析に TEM 測定等を行った。その結果、n 型ウェハに対して実効表面再結合速度 3cm/s、p 型ウェハに対しても同様に 3cm/s を得ており、平成 24 年度目標(<5 cm/s)を達成した（図 III-2-2-1-A (57)）。

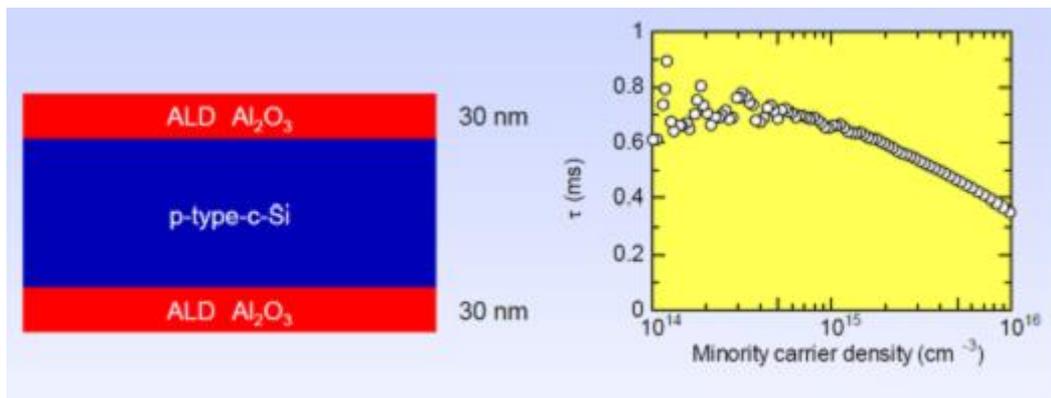


図 III-2-2-1-A (57) ALD 法により作製したアルミナ・パッシベーション膜の性能評価。キャリアライフタイムをもとに計算した表面再結合速度は 3cm/s。

b. 超薄型シリコン・ヘテロ接合太陽電池の開発

(1) n-nc-3C-SiC/p-Si/p-μc-SiO ヘテロ接合型太陽電池

ポイントコンタクトセルで高効率化を図る前段階として、n-nc-3C-SiC/p-Si/p-μc-SiO ヘテロ接合型太陽電池の光照射側ヘテロ接合の最適化を図った。特に、n-nc-3C-SiC/p-Si 界面に挿入する a-SiC バッファ層の堆積時間ならびに、製膜時のパワー依存性を詳細に検討し、最適化を図った。その結果、開放電圧 0.710V で変換効率 18.1%（厚さ 140μm、セル面積 1cm²）を得た。真性効率は 19.2%である。

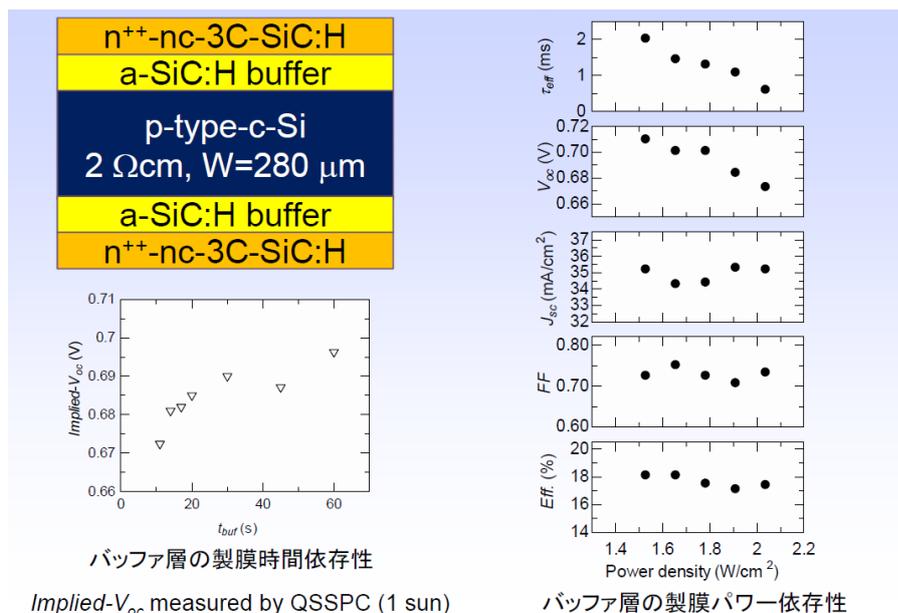


図 III-2-2-1-A (58) (a)n-nc-3C-SiC/p-Si ヘテロ接合形成時のバッファ層製膜時間と $Implied-V_{oc}$ 評価結果。(b)バッファ層の製膜パワーと Si 太陽電池特性の関係

(2) p-c-Si₀/i-a-Si₀/n-Si/i-a-Si₀/n-a-Si 太陽電池

p-c-Si₀/i-a-Si₀/n-Si/i-a-Si₀/n-a-Si ヘテロ接合太陽電池の変換効率向上に向けたプロセス開発を行った。本年度は、特に p-c-Si₀ の最適化を図った。その結果、真性変換効率 20.3% (開放電圧 0.717V) を達成した。

(3) a-Al₂O₃ を用いた裏面ポイントコンタクトセル

n 型 nc-3C-SiC を窓層に用いて、p-Si の裏面にパッシベーション膜として Al_{1-x}O_x:H 膜を用いたポイントコンタクトセルを開発した。現状での変換効率は 18.2% である。開放電圧 666mV を得ているが、いまだ十分な値ではないので、MP15 を用いて、セルの各部分における電流-電圧特性の解析・評価を行った。その結果、ポイントコンタクト部の開放電圧が低くなっていることが明らかとなり、これに基づきプロセスの改良を図った。また、ALD で形成したアルミナは、製膜後の熱過程で水疱形成によるライフタイムの劣化が起きていることが判明し、表面処理法による依存性を検討している。

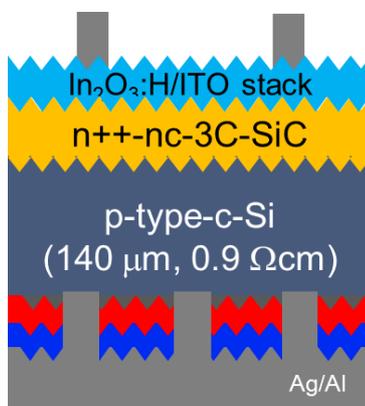


図 III-2-2-1-A (59) n-nc-3C-SiC/p-Si ポイントコンタクトヘテロ接合太陽電池の構造

<岐阜大>

① 結晶 Si 太陽電池用の光起電力顕微鏡の開発

a-Si/c-Si ヘテロ接合太陽電池における高効率化技術として c-Si 基板表面のテクスチャ形成が上げられる。しかしながら、a-Si 薄膜の膜成長は下地である c-Si の配向面によって影響を受けやすい。このため、テクスチャ構造を有する c-Si 基板上への a-Si 薄膜の堆積は均一ではないことが考えられる。また、a-Si 薄膜の膜厚は 10nm と非常に薄いために被覆が不完全であることが考えられた。これを調べるために、光起電力顕微鏡 (図 III-2-(イ)-A-1(60) 参照) を用いてテクスチャ基板における a-Si 薄膜の評価を行った。

a-Si/c-Si ヘテロ接合太陽電池用に形成されたテクスチャ付き c-Si 基板を光起電力顕微鏡によって測定する場合には、次に述べる課題があった。図 III-2-(イ)-A-1(61) に示すように c-Si 基板上に形成されたテクスチャのサイズは、幅が $\sim 5\mu\text{m}$ 、高さが $\sim 3\mu\text{m}$ 程度となっているが、これまでに使用していた光起電力顕微鏡のスキヤナ台の稼働領域は、幅が $20\mu\text{m}$ および高さが $1.5\mu\text{m}$ しかないためにテクスチャの全体像を得ることができなかった。このために、新規にスキヤナ台(走査範囲は、幅が $100\mu\text{m}$ 、高さが $15\mu\text{m}$)を導入して、テクスチャの全体を測定することが可能になった (図 III-2-(イ)-A-1(62) 参照)。

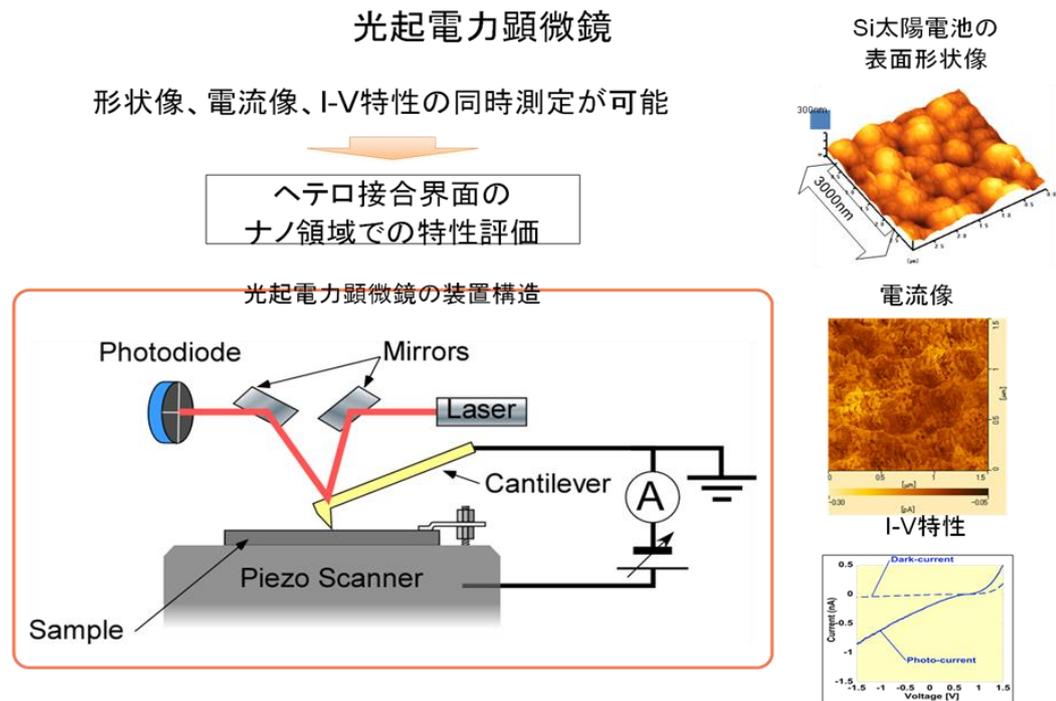
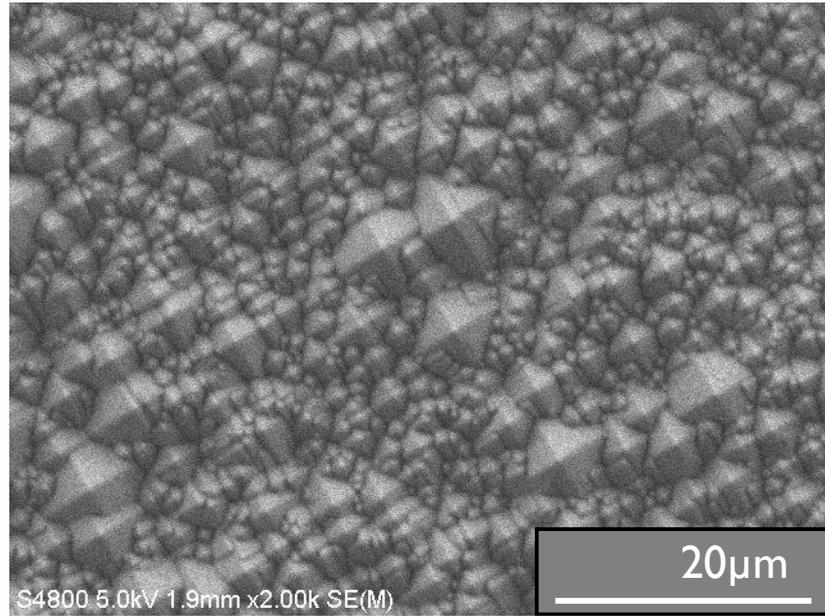
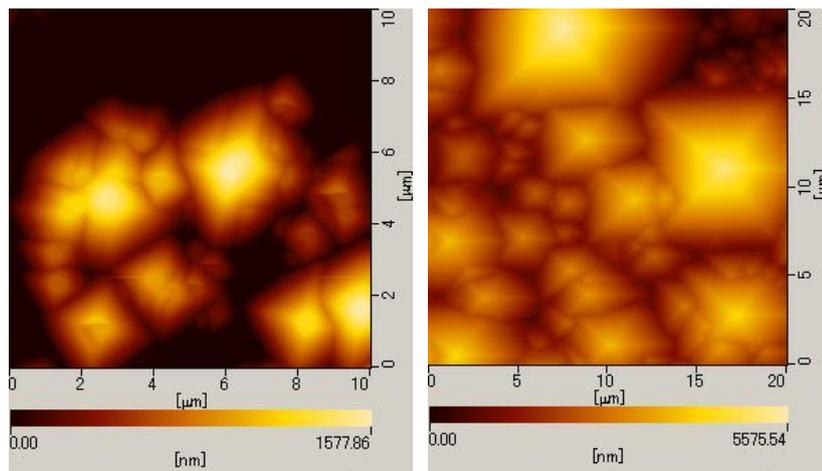


図 III-2-(イ)-A-1(60) 光起電力顕微鏡の概要



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(61) テクスチャを形成した c-Si 基板の表面 SEM 像

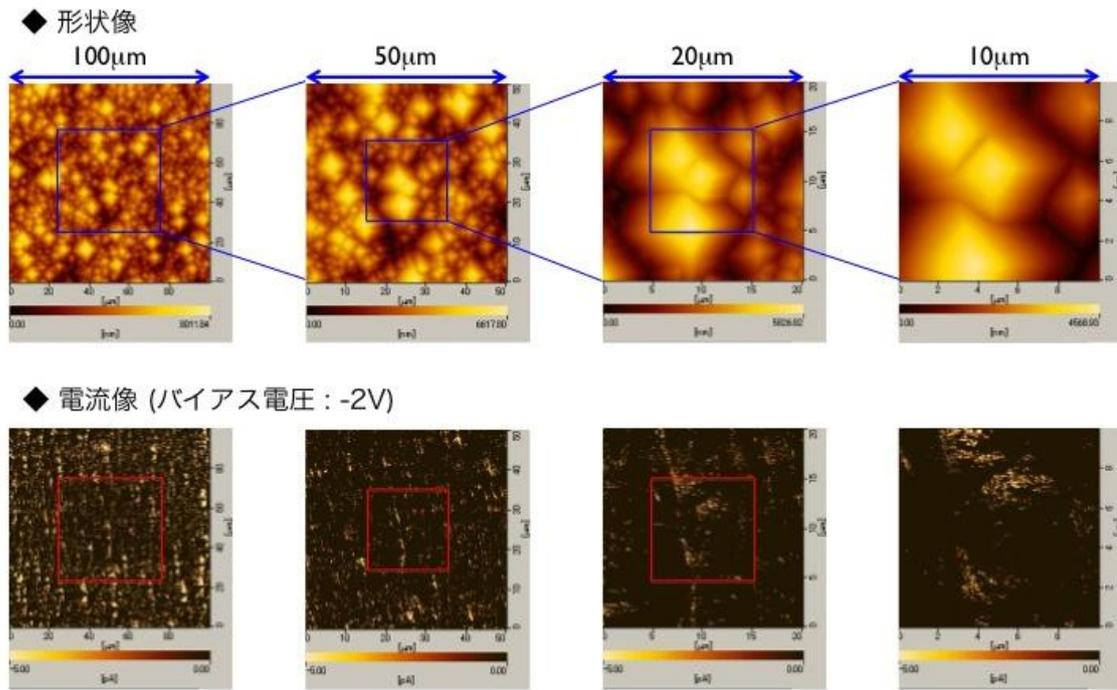


(a)改良前

(b)改良後

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(62) スキャナの改良前後におけるテクスチャ形状像

また、測定領域を 100 μm 角まで拡大することができた。なお、測定領域の拡大によって形状像および電流像の解像度が低下していないことを確認した(図Ⅲ-2-(イ)-A-1(63) 参照)。これにより、結晶 Si 太陽電池のテクスチャの電気的特性解明のための基礎的計測技術の確立に目処が得られた。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(63) テクスチャ付き a-Si/c-Si 基板の表面形状像および電流

② HIT 構造を中心にテクスチャ構造界面における膜特性評価技術の開発

テクスチャ構造を有する c-Si 基板上に厚さが 10nm の a-Si 薄膜を堆積させて、保護膜としての効果を光起電力顕微鏡によって評価を行った。その結果、低バイアス電圧時に、一部のテクスチャの稜線部分において漏れ電流が流れる部分が観察された。また、高バイアス電圧をにした場合には、テクスチャの平面部分においても漏れ電流が流れる箇所が多数存在することを明らかにした。これは、鏡面研磨された c-Si 基板上に a-Si 薄膜を堆積させた場合には見られない傾向であることから、基板表面のテクスチャ構造によって a-Si 薄膜の膜質が不均一であることを明らかにした。また、これらの結果は光照射下における光起電力顕微鏡の測定によって、より鮮明に検出できることを確認した。

(2) 成果の意義

- 本成果は、HIT 構造単結晶 Si 太陽電池のテクスチャ上の保護膜の（主として）稜線部の問題点を定量的に明らかにしたものであり、課題が明確になったため今後の α -Si 保護膜性能改善の方針を絞ることができて発電効率の向上が期待できる。ひいては市場拡大につながるものと考えられる。
- 本成果は、HIT 構造のテクスチャ部分の（主として）稜線部の問題点を定量的に明らかにした点で世界初のものと考えられる。
- テクスチャ稜線部分の改善には①新しいテクスチャ形成技術や②新製膜技術が必要になると考えられる。
- 本成果は α -Si 保護膜で得られたものであるが、ヘテロ接合の評価法としてその他の保護膜への波及が可能と考えられる。

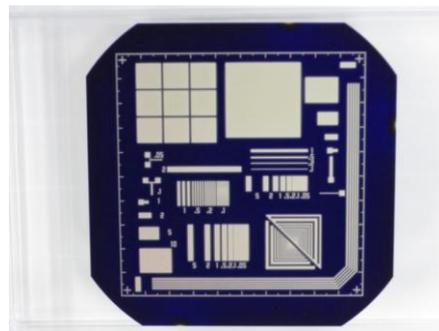
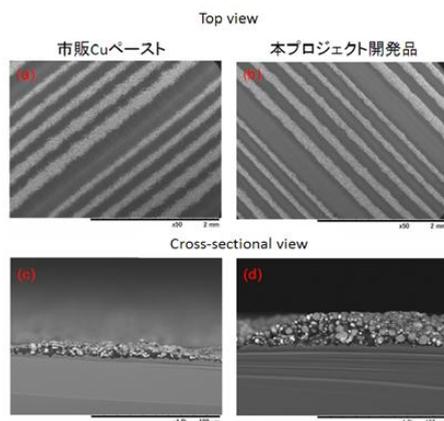
- 予算に見合う成果と考えられる。

本成果は光起電力顕微鏡の本来の機能に加えて着目すべき評価点を絞りだすノウハウにより得られたものであり、競合する他の検査方法と比べて優位性を有している。

<AIST>

銅ペーストの研究開発

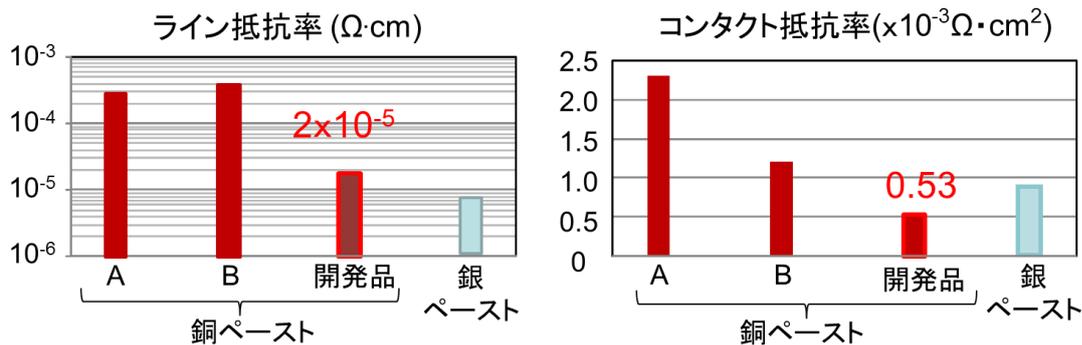
酸化されやすく、基板に拡散しやすい銅を太陽電池電極材料として適用できるよう新しい概念の銅ペーストを提案した。偏析しない均一組成のナノコンポジット粒子とした低融点合金を混合させ、200℃以下で焼成可能な銅ペーストの開発に成功した。143℃に融点を有する低融点合金を用いる事により、150℃、10分間で焼成できる事が分かった。四探針抵抗率評価システムを整備し、ライン抵抗率について他の市販銅ペーストと比較検討した。その結果、他の銅ペーストが 10^{-4} オーダーであるにもかかわらず、開発した銅ペーストはライン抵抗率は、 $7.0 \times 10^{-5} \Omega \text{ cm}$ と低いことが分かった。印刷性についても、スクリーン印刷法により、滲みの少ない細線の形成が可能であることが分かった。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(64) 銅ペーストの印刷 Ⅲ-2-(イ)-A-1(65) シリコン基板に印刷、焼成した銅ペースト

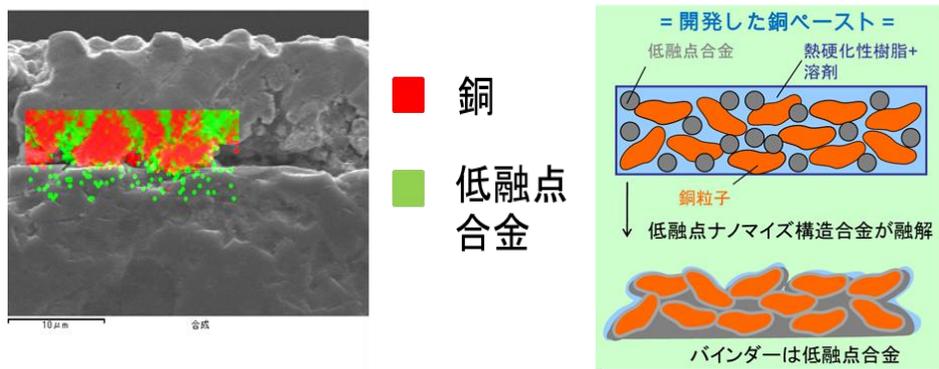
平成 23 年度では、さらなる抵抗率の低下をねらうとともに、銅電極としての耐久性、接着性について検討した。

ペーストの抵抗率をさらに下げる目的で、成分比を変え、焼成条件を検討した結果、ライン抵抗率 $2.2 \times 10^{-5} \Omega \text{ cm}$ まで低下させることに成功した。さらに、透明電極上のコンタクト抵抗率は、 $0.53 \text{ m}\Omega \text{ cm}^2$ の値を得て、いずれも平成 24 年度中間目標を前倒して達成することに成功した。



図III-2-(イ)-A-1(66) 開発した銅ペーストのライン抵抗率、コンタクト抵抗率

開発した銅ペーストをガラス基板上に電極化後、その形状分析を SEM 観察により行った。その結果、低融点合金は、銅粒子間また基板表面に拡散し、ひとつの凝集体を形成していることが分かった。このことから、開発した銅ペーストの低いライン及びコンタクト抵抗率は、低融点合金が融解、拡散することにより、効果的に粒子間抵抗を低下させ、また基板との接触面積の増加による接触抵抗率の低下することに基づくと考えられ、設計概念の妥当性が示された。



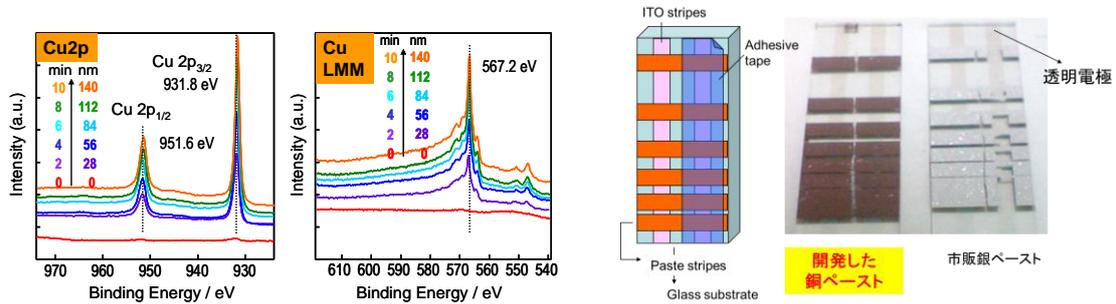
図III-2-(イ)-A-1(67) 銅電極の SEM 断面図 (左) と銅ペーストの設計概念 (右)

耐久性について、結晶シリコン基板上に、開発した銅ペーストを塗布し、銅酸化状態と銅のシリコン基板へのマイグレーションをそれぞれ XPS, SIMS により観測した。その結果、2 日室温、空気中にさらしても酸化銅のシグナルはほとんど認められなかった。2 週間後においても同様の結果を得ている。また、マイグレーションについても SIMS の深さ分析予備実験において、顕著な銅の拡散は認められなかった。これらの結果は、開発された銅ペースト中の低融点合金の存在が耐酸化性や耐マイグレーション性に大きく寄与している事を示している。

さらに作製された銅電極性能において、温度 85℃、湿度 85% 下で、ライン抵抗率の変化を追跡する環境試験を行なった。その結果、抵抗値は、2000 時間経過しても、ほとんど変化しないことが分かった。開発した銅ペーストは、耐酸化性があり安定した抵抗率を提供できるものとする。

接着性について、透明電極上に銅電極を作製し、テープ剥離試験により検討した。その

結果、市販銀ペーストでは、銀電極の剥離が認められたが、開発された銅ペーストでは、10回テスト中透明電極からの剥離は全く確認されず、透明電極との接着性が良好であることが分かった。



図III-2-(イ)-A-1(68) 銅ペーストのXPS測定結果 図III-2-(イ)-A-1(69)テープ剥離試験結果

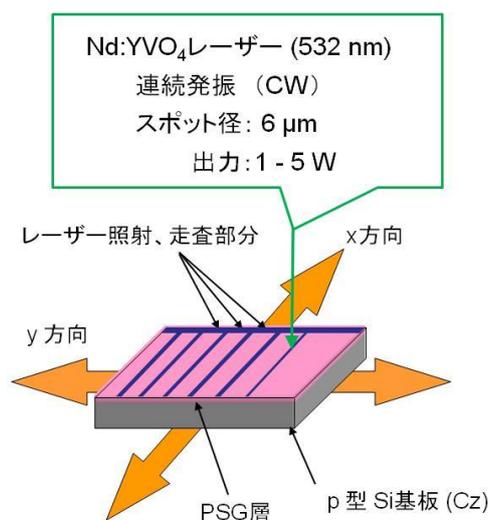
今後は、更なる信頼性試験を行うとともに、太陽電池セル上での性能評価、信頼性評価を検討する予定である。

<奈良先端>

(1) ドーピング濃度ならびに深さ制御技術の開発

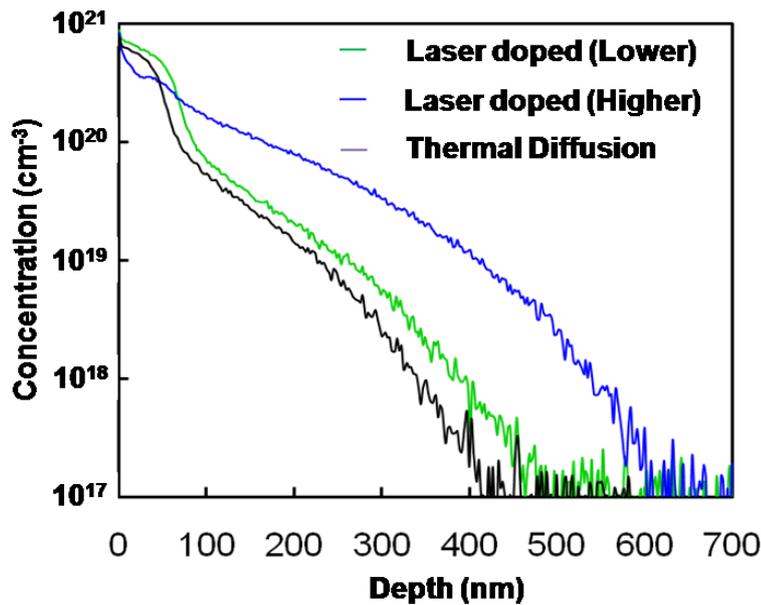
室温レーザードーピングの要素技術として、ドーピング濃度ならびに深さの制御技術を開発する。適切な波長のレーザービームを選択し、照射強度をレーザーパワーならびにビーム形状や基板走査速度を変えて制御し高濃度ドーピングを目指す。高品位電子物性を有するドーピング層ならびに接合界面を実現することを目標とする。

図III-2-(イ)-A-1(70)に基本的な装置の概略を示す。光学レンズにより集光したレーザービームを不純物拡散剤が塗布してある基板に照射する。基板温度は室温で大気中に設置してある。基板位置をX-Yステージにより走査し、任意の場所にドーピングを行う。



図III-2-(イ)-A-1(70) 実験装置の概略図

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(71)に波長 532nm の CW レーザーを用いた場合の不純物濃度の照射強度依存性を示す。参考として熱拡散による不純物導入の場合も示す(Thermal Diffusion)。レーザードーピングによりより深くまで導入されていることが分かる。レーザー照射により基板 Si が一旦熔融し、液相中での拡散となるため短時間でも深い位置まで不純物が導入されたと考えられる。高エネルギーの場合、より深くまで導入されたが、最表面においての濃度は低エネルギーの場合に比べ少し低下した。これは、拡散源の濃度が不十分なためである。いずれの場合も $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以上の高濃度ドーピングを達成しているが、プロファイルの制御には照射条件の最適化が必要である。



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(71) 不純物濃度分布

表Ⅲ-2-(イ)-A-1(10)に表面抵抗の条件依存性を示す。熱拡散に比べ約 $1/3$ の低抵抗が実現されている。

今後、高効率構造作成のために、広い範囲(極浅(200nm)～深い(1000～2000nm))で濃度プロファイルを制御した接合の実現を目指す。

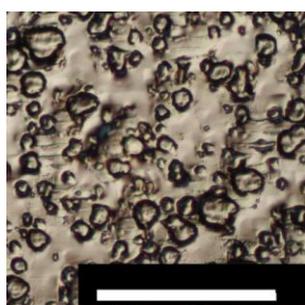
表Ⅲ-2-(イ)-A-1(10) 表面抵抗依存性

Step	R_{sheet}
Diffused	44.6 Ω/\square
Laser (Lower)	29.6 Ω/\square
Laser (Higher)	14.9 Ω/\square

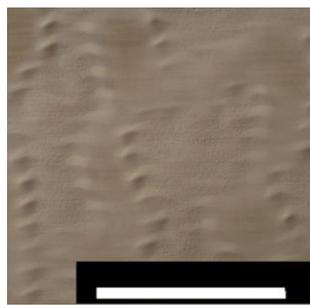
(2) 局所領域へのドーピング技術の開発

極細レーザービームの走査により、局所領域へのドーピングを実施する。ビーム走査の高精度制御技術を確立し任意形状のドーピングパターンにおける不純物導入を目指す。

集光した極細レーザービームの走査により、局所領域へのドーピングを実施した。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(72)に照射後の基板表面の形状を示す。照射前表面が粗い場合、表面にはクレーター状の凹凸が観察され（左図）、これが少数キャリアの再結合中心として悪影響を与えることが分かった。化学的研磨により基板を平坦化したところ、右図に示すようにレーザードーピング後も平滑な表面が形成されており、極細ビーム径と同程度の空間制御性を有する不純物導入が実現されたと考えられる。実際、200 ミクロン幅程度のフィンガー電極直下のみ高濃度不純物層を有するセレクトィブエミッター構造を持つ素子を試作し評価した結果、その有用性が確かめられた。今後、ビームブランキングとビーム走査の同期制御により任意形状のドーピングパターンにおける不純物導入を目指すと同時に、電子物性と表面形状との関連を精査していく。



100 μm
無処理表面

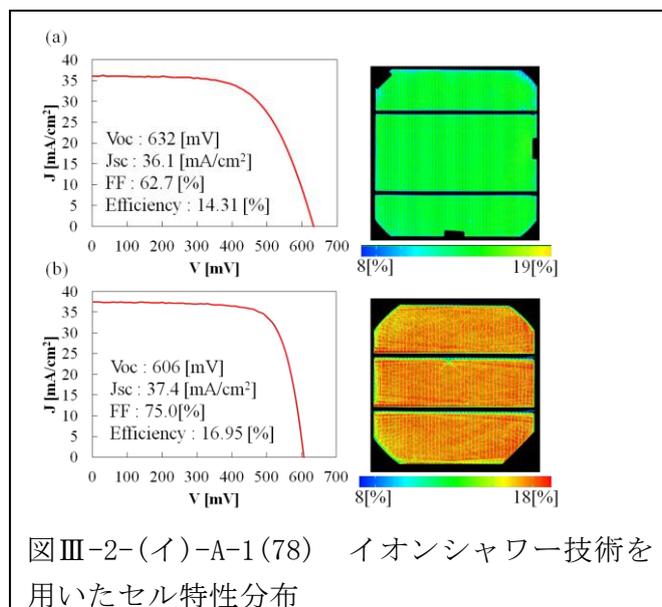
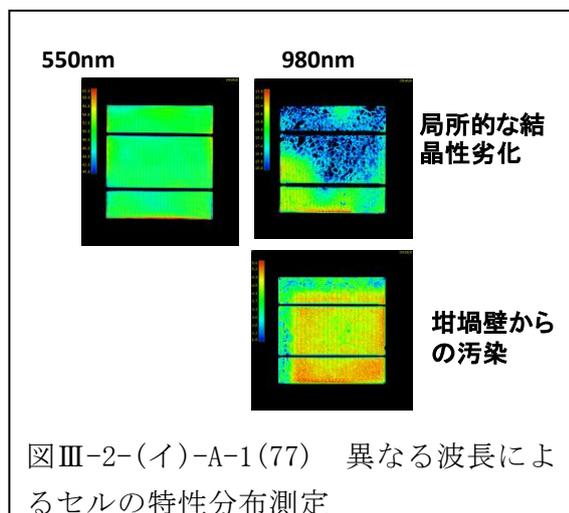


100 μm
化学研磨表面

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(72) レーザー照射後の表面状態

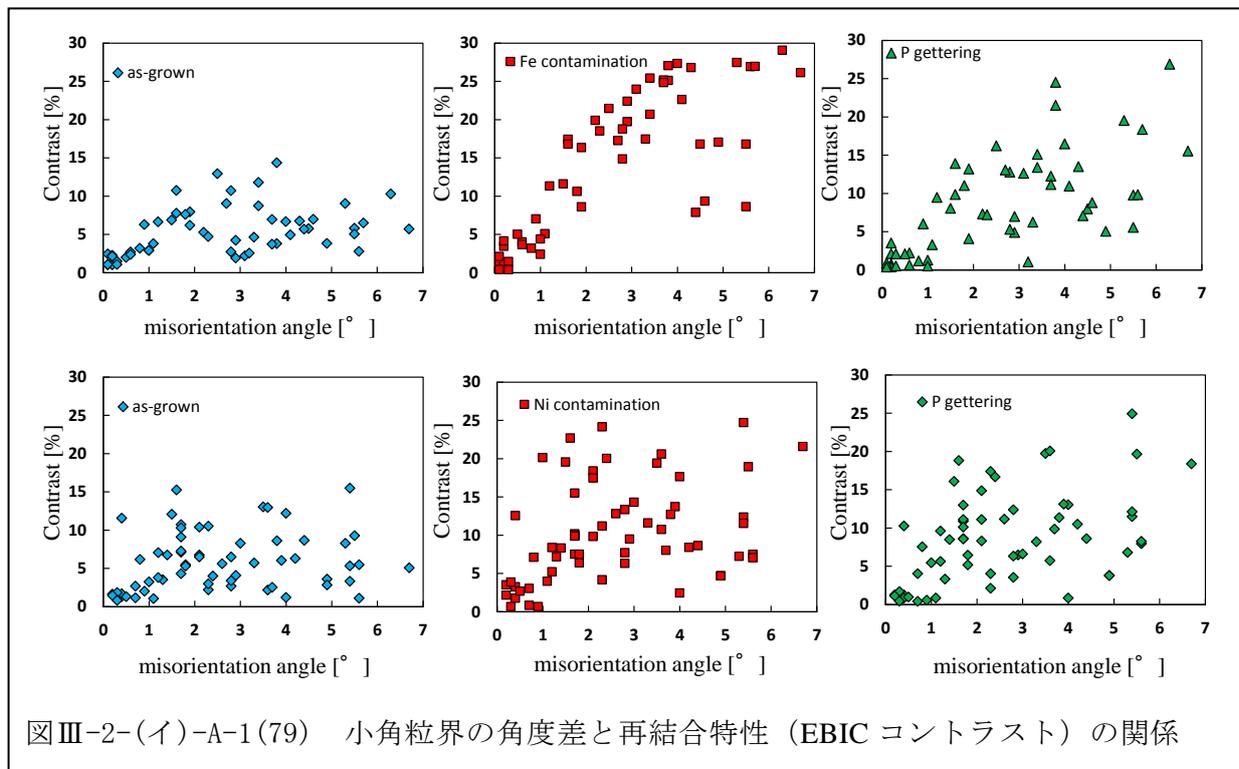
〈明治〉

低コスト原料を用いて成長させた結晶では、局所的に少数拡散長の劣化が予想される。またプロセスの不均一はそのまま特性の不均一に直結する。そのため、単に太陽電池の特性を基板間で比較するだけでは不十分であり、基板面内における各特性を定量的に評価することが必要不可欠である。我々は共通評価装置として面内効率評価装置を立ち上げ、セル評価を進めた。本装置は、2次元状の光を照射しCT解析することにより面内での効率分布情報を得ることができる。また、照射光の波長を変化させることにより、基板深さ方向の分布を同時に得ることができる。図III-2-(イ)-A-1(77)に異なる波長を用いた多結晶シリコン太陽電池の評価結果を示す。結晶成長条件と拡散長の短い領域との間に相関があることが示された。また、図III-2-(イ)-A-1(78)には低コストでイオン注入と同等の効果が期待されるイオンシャワー技術(質量分離を伴わない低コスト注入技術)を用いて、(a)通常セル及び(b)選択エミッタセルを作製した結果を示す。通常セルではセル全体に均一な値を示していることが分かる。このことからイオンシャワー技術は金属汚染、ダメージなどの特性劣化は見られない。今後、他の要素技術との組み合わせ、注入及び熱処理条件等の最適化を行うことで高効率セルの要素技術となる。



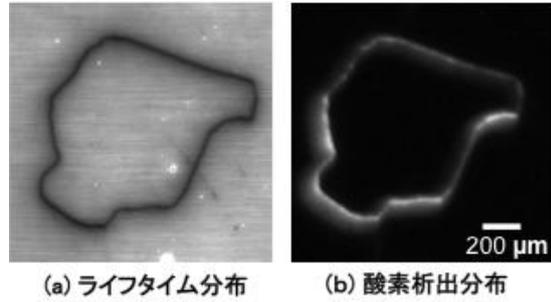
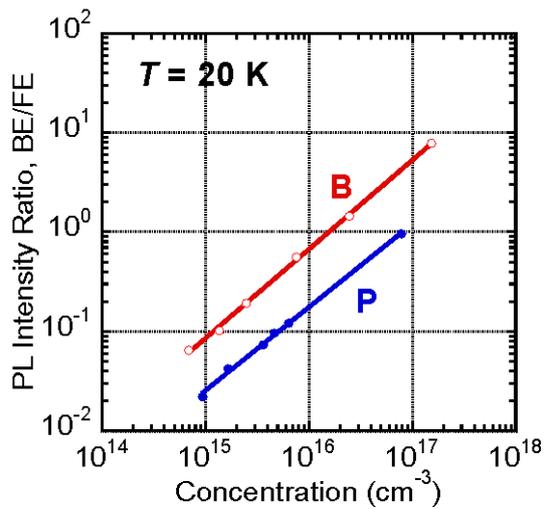
低コスト原料を使用する際、金属不純物の混入が懸念される。結晶欠陥の中で特に再結合特性が高いと言われている小角粒界と金属不純物の関係について理解することが、低コスト原料を使用する際に重要となる。我々は主な金属不純物として知られている鉄およびニッケルに関して小角粒界の角度差に対する再結合特性を確認した。図III-2-(イ)-A-1(79)に未処理の状態、強制汚染処理を行った状態、ゲッタリング処理を行った状態における小角粒界の角度差と再結合特性の関係を示す。金属種、各処理条件及び角度差によって再結合特性が異なることが分かる。また、同じ角度差でも再結合特性の異なる小角粒界の存在

を確認した。再結合特性の差は小角粒界の微細構造に寄ることを明らかにした。上記のことから、小角粒界の再結合特性は金属種、小角粒界の角度差及び微細構造により大きく変化することを明らかにした。



高効率低コスト結晶シリコン太陽電池を実現するためには、低価格低純度 Si 原料を使いこなすことが不可欠であり、そのための第一歩が原料中のドナー・アクセプタ不純物の定量分析である。我々は電子デバイス用 Si 原料の不純物定量において JIS ならびに SEMI で標準化されているフォトルミネッセンス(PL)法を低純度原料評価に拡張した。すなわち励起光強度を上昇させることにより、ホウ素およびリンに対する定量上限を $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ まで伸展させたことに続き、試料温度を高温化することで、図III-2-(イ)-A-1(80)に示すような検量線を作成し、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の濃度域への拡張に成功した。同法により得られた結果は質量分析等の他の手法による値と良い一致を示し、十分実用化できる見通しが立った。

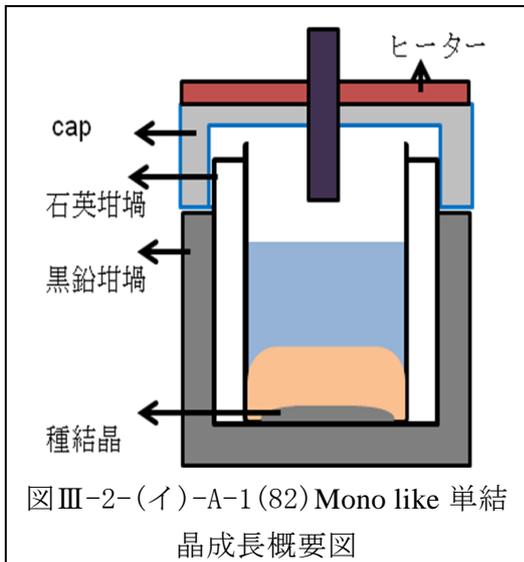
また太陽電池用多結晶ウエハの深い準位の PL マッピングの精密解析より、転位起因の発光成分と酸素析出起因の成分を分離して検出することに成功し、ウエハ内のライフタイム低下部位で酸素析出物が発生していることが捉えられ、酸素析出が高効率化の障害要因であることを明確に示した (図III-2-(イ)-A-1(81))。



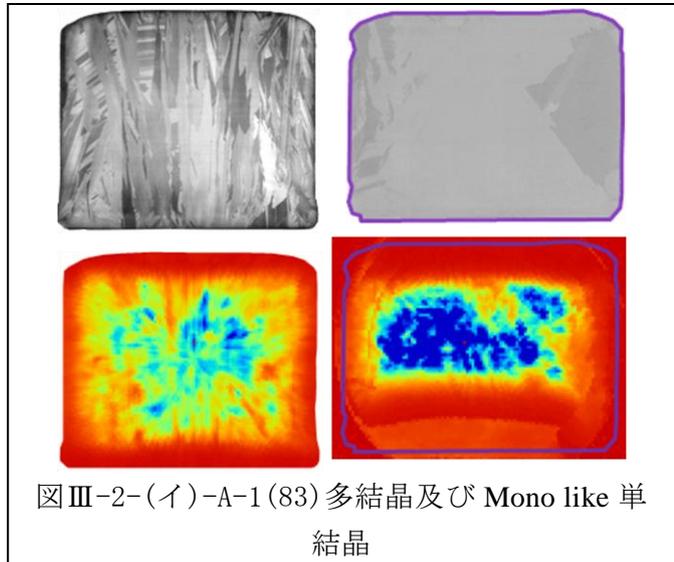
図Ⅲ-2-(イ)-A-1(81) 多結晶 Si ウエハーの PL マッピング

図Ⅲ-2-(イ)-A-1(80) PL法の不純物濃

低コスト単結晶成長法である Mono like 結晶を実用化するためには発生する結晶欠陥の特性を理解することが重要である。我々は小型の結晶成長炉で Mono like 結晶を作製し(図Ⅲ-2-(イ)-A-1(82))、結晶欠陥の発生と伝播について評価を行った。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(83)に多結晶及び Mono like 単結晶の断面図及びライフタイム分布を示す。単結晶化することで粒界起因であった縦縞状の不均一分布が消滅し、また、ライフタイムが約4倍に向上した。図Ⅲ-2-(イ)-A-1(84)に成長させたインゴット内に分布する結晶欠陥の例を示す。成長初期よりC, N関連の析出が存在し、種結晶直上では対応粒界が主な結晶欠陥であったのが、成長の進捗に従って小角粒界が支配的なることを確認した。また、雰囲気制御により軽元素の取り込みを減少することで結晶欠陥の減少を達成した(図Ⅲ-2-(イ)-A-1(85))。詳細な評価により、雰囲気から取り込まれた軽元素が析出物を発生し、析出物が原因となって小角粒界が生じ、小角粒界のもたらした結晶歪が高密度の転位の原因となることを見出された。混入軽元素の低減はこれらの結晶欠陥の抑制に有効であると考えられる。また、共通装置として導入・立ち上げた欠陥分布評価装置を用いて欠陥密度が $10^5 \sim 10^7 / \text{cm}^3$ から

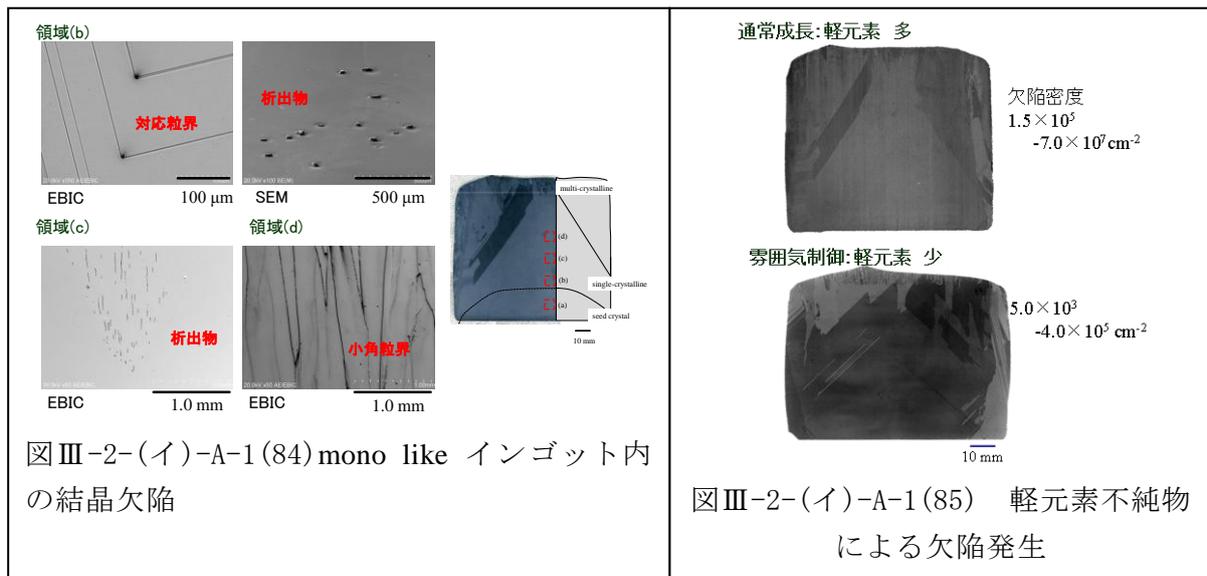


図Ⅲ-2-(イ)-A-1(82) Mono like 単結晶成長概要図



図Ⅲ-2-(イ)-A-1(83)多結晶及び Mono like 単結晶

$10^3 \sim 10^5 / \text{cm}^3$ に低減されていることを確認した。



本プロジェクトで開発された PL 法による定量分析法では、 $1 \times 10^{14} - 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の範囲でドナー・アクセプタ不純物の種類を同定し、濃度を決定できる。従来用いられていた SIMS、GD-MS 等の質量分析法と比べ、電気的に活性な不純物のみを検出すること（質量分析法は総量検出）、特に低濃度域での精度が高いことの大きな利点を持つことから、有力な新しい不純物定量手段として大きな注目を集め、数々の国際会議で招待講演を依頼されている。

当研究室では Si ウエハの PL マッピング技術を世界で初めて実用化させた実績がある。現在一般に広く利用されている PL イメージング法はバンド端発光強度測定からライフタイム分布を高速に得るものであるが、本プロジェクトでは深い準位の PL マッピングという未開拓の分野に挑戦し、高効率化の阻害要因である酸素析出状況の把握に成功した。

本プロジェクトで開発された変換効率分布測定装置 (MP-15) は、太陽電池セルの局所的特性劣化箇所を詳細に特定できる。また、セル全体だけでなく、局所的な電気特性の評価が可能なることから、特性劣化要因の各プロセスへのフィードバックがより詳細に行える利点を持つ。また、照射光波長の変更が可能であり、深さ方向に対する評価も可能であることから、従来行われてきたセル特性の評価よりも詳細に特性劣化要因の特定が可能となる。

本装置を用いて評価を開始したイオンシャワー技術によるエミッタ層の形成の結果は、IEEE PVSC での発表では多くの研究者から興味持って頂き、更なる実験、評価を進めることで変換効率 20% を達成する要素技術となると考えられる。

Mono like イングットの結晶欠陥の評価、小角粒界と金属不純物の再結合特性の関係に関する評価は、低コスト単結晶、高効率多結晶作製において重要な基礎物性を示している。更なる詳細な評価を進めることで太陽電池用結晶シリコンの物性を明らかにすることが出来ると考えられる。

表Ⅲ-2-(イ)-A-1(11) 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
新日本ソーラーシリコン			
<p>結晶系シリコン太陽電池に適用可能なポリシリコンを製造するための原料(シリカ、金属シリコンなど)、および中間原料(クロロシラン)に求められる必要最低限の純度を明らかにする。そのために以下の課題を達成する。</p> <p>(1) 不純物を多く含む原料を精度良く分析するための分析装置の選定/導入と分析技術の開発</p> <p>(2) 限界組成を確認するためのサンプル収集と分析</p> <p>(3) 直接塩化に適合する原料の特定と原料性状の把握した</p> <p>豪州産シリカの直接塩化原料適性を確認、国産シリカのアップグレードによる適合可能性を見出した</p>	<p>(1)分析装置の選定と導入</p> <p>出発原料分析 ICP-MS</p> <p>中間原料分析 GC-FID</p> <p>FIA, IC</p> <p>シリカ直接分析技術の開発</p> <p>ICP-MS : 高 Si 含有試料の分析</p> <p>中間原料分析技術</p> <p>(2) サンプル収集と分析</p> <p>シリカ 39 試料収集/分析</p> <p>カーフ Si 7 試料収集/分析</p> <p>SiCl4 直接塩化試料等の分析</p> <p>JSS 亜鉛還元シリコン単結晶をコンソーシアムへ提供</p> <p>国産シリカのアップグレード試験 (計画外の成果)</p> <p>国産最純シリカ 98.5%→99.5%</p> <p>(3) シリカ : 国産鋳石の適合性確認</p> <p>カーフ Si : 塩化戻し材適性確認</p> <p>クロロシラン : 直接塩化 SiCl4 の亜鉛還元原料適合性確認</p>	<p>◎</p> <p>◎</p> <p>○</p> <p>◎</p> <p>○</p> <p>◎</p> <p>◎</p> <p>◎</p> <p>◎</p> <p>◎</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p>	<p>豪州産シリカの評価は完了、国産鋳石およびカーフ Si について直接塩化試験を実施、SiCl4 を生成し、中間原料による適合性分析を実施予定 (~H24 年度末)</p>

九州大学			
高効率単結晶育成炉の温度分布解析シミュレータ構築	結晶成長炉内の全プロセスによる温度分布の定量予測を可能とするシミュレータを構築し、実験結果を定量的に予測可能となった。	◎	500Kg チャージ大型単結晶育成装置内の温度分布の定量予測
高効率単結晶成長炉の不純物除去解析シミュレータ構築	不純物の定量予測を可能とするシミュレータを構築し、実験結果を定量的に予測可能となった。	◎	
高効率単結晶育成炉の低転位化および低残留応力化が可能な解析シミュレータ構築	結晶成長、冷却過程における転位密度、残留応力の定量予測を可能とするシミュレータを構築し、実験結果を定量的に予測することを可能にする。	○	
NIMS			
少数キャリアライフタイム 100 μ sec 以上	MONO like 化によって、縦縞状の不均一分布が消滅 200 μ sec 以上を達成	○	
SUMCO			
(1)平成 24 年度中間目標： ライフタイムの値 (リン拡散後)を 200 μ sec (2)平成 26 年度最終目標： ライフタイムの値 (リン拡散後)を 400 μ sec	(1)中間目標に対する成果 一部のサンプルで 205 μ sec のリン拡散後ライフタイムを達成した。 その他の成果 ・ n タイプでありながら、偏析に依存しない抵抗プロファイルを実現した。 ・ 水素パッシベーションにより 400 μ sec を超える値が出た。最終目標達成の可能性が示唆された。	○	左記の通り、中間目標を達成した。しかし、変換効率は 16.2%程度に留まり p タイプ量産品に及ばない。これはセルプロセス中のボロン拡散が高温(900℃以上)であり、それによる結晶性の悪化が原因である。水素パッシベーションを利用して改善できる可能性が示唆されたが、弊社のソーラー事業撤退により開発を中止した。

京都大学			
<ul style="list-style-type: none"> ・ 残留融液の分離技術を開発し、浮遊キャスト成長法にて大型インゴット成長が可能であることを実証 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 融液内に低温領域を形成し、ルツボに触れることなくインゴットを融液内で成長する手法を開発し、残留融液の影響を除外した。 ・ 26 cm 径のインゴット結晶を実現した。 ・ 15.6 cm 角のウェハ（実用セルサイズ）を実現した。 	◎	<ul style="list-style-type: none"> ・ 大きなルツボ径を使用できる大型炉を製造し、実用的な高品質大型インゴットを作製する。
<ul style="list-style-type: none"> ・ 融液上部での核形成による組織形成メカニズムを解明し、その制御技術を開発する 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 種結晶を用いて融液表面から核形成を行った成長のメカニズムを精査し、過冷却とインゴット径の相関、ネッキング技術による低転位効果、離型剤による多結晶化の効果、結晶粒界の双晶化に関する有効な知見を得た。 ・ これにより、低転位結晶、双晶を主たる粒界とする多結晶をルツボ径いっぱいの大きさ（φ26cm インゴット/φ33cm ルツボ使用）に成長できる技術を実現できる見通しを得た。 	◎	<ul style="list-style-type: none"> ・ 離型剤の影響を低減し、離型剤に由来しない結晶組織を形成する。 ・ ネッキング技術を精査し、無転位シリコン結晶を実現する
<ul style="list-style-type: none"> ・ 従来のキャスト法に比較して結晶品質に優れるメカニズムを明確にする 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 太陽電池特性に影響しないΣ3 双晶粒界を主たる結晶粒界とするシリコン多結晶を実現した。 ・ ネッキング技術が使用できることを確認し、低転位密度（$10^3/\text{cm}^2$ 以下）結晶の実現可能性を確認した。 ・ 酸素濃度は、チョコラルスキー成長法の単結晶よりも 1桁程度低く、キャスト成長法が多結晶と同様に低濃度化できた。 	◎	<ul style="list-style-type: none"> ・ 全てが双晶粒界からなる完全な双晶結晶を実現する。 ・ インゴット結晶表面の気相汚染を防ぐ高純度装置を開発する。

<p>キャスト成長法による結晶を上回る変換効率</p>	<p>180 μm 厚、10 cm 角ウェハーで、簡易プロセスにより 17.1% を達成し、現在の間時点でも通常のキャスト成長法と同等の品質ができていることを確認した。</p>	<p>○</p>	<p>・高純度化、低転位化、離型剤の影響の排除により、より高品質なシリコン多結晶を実現する。</p>
<p>10 cm 角の結晶で 200 μm 程度の拡散長を実現</p>	<p>・中心部平均拡散長：200 μm、 ・最大拡散長：610 μm、 ・ウェハー平均ライフタイム：31 μ を実現した</p>	<p>◎</p>	<p>同上</p>
<p>東北大学</p>			
<p>・残留融液の分離技術を開発し、浮遊キャスト成長法にて大型インゴット成長が可能であることを実証する。 ・融液上部での核形成による組織形成メカニズムを解明し、その制御技術を開発する。</p>	<p>融液表面でデンドライト結晶を発現させることによる組織制御と、二重ルツボによる融液分離技術を融合することにより、浮遊キャスト成長法を具現化するとともに、大型インゴット成長が可能であることを実証した。作製したインゴットから、15.6cm 角の大粒径 Si ウェハを実現した。</p>	<p>◎</p>	<p>中間目標は達成したが、最終目標達成に向けては、大型インゴットの高品質化成長技術の開発が必要である。</p>
<p>・浮遊キャスト成長法が従来のキャスト法に比較して結晶品質（結晶組織、結晶欠陥、不純物など）の点で優れるメカニズムを明確にする。 ・10cm 角の結晶で 200μm 程度の拡散長を実現する。</p>	<p>結晶の組織制御と外部応力の低減により結晶成長過程における転位の発生を抑制できることを明確に示した。結晶の少数キャリア拡散長として、最大値で 340μm、中心部の平均値は 200μm 程度を得た。</p>	<p>○</p>	<p>成長後期の応力低減、成長初期の組織制御の高精度化と不純物の低減により、高均質かつ高品質な結晶の成長を行う。</p>

兵庫県立大学			
カーフ／不純物の分離技術の開発：回分式でシリコン回収率60%以上、純度80%以上	加圧ろ過方式でシリコン回収率70%以上、純度95%以上の結果が得られた。	◎	なし
原料再生技術の開発：原料中の酸素含有量70ppma以下	再生原料中の酸素含有量60ppma以下を達成した。	◎	なし
コマツ NTC 株式会社			
120μm ウェハを歩留り95%以上で加工可能なこと	単結晶□125mm インゴットから120μm ウェハを歩留り95%以上で加工実証した	◎	なし
カーフロス120μm で加工可能なこと（固定砥粒ワイヤーを使用）	カーフロス100μmでの加工を実証した（固定砥粒ワイヤーを使用）	◎	なし
シャープ			
セル変換効率20%（単結晶シリコン基板：厚さ100μm以下、サイズ150mm角）、モジュールでの変換効率18%を達成する。	バックコンタクト太陽電池セルを試作し、90mm角（81cm ² , 220μm厚）で変換効率22.1%（J _{sc} : 40.8mA/cm ² , V _{oc} : 671mV, F.F.: 0.809）を達成。	セル変換効率：◎ 基板厚さ：△ サイズ：△ モジュール効率：△	セル変換効率については大幅達成。基板厚さ、セルサイズ、モジュール効率については年度末までに達成見込み
京セラ			
結晶シリコン太陽電池セル変換効率20%、モジュールでの変換効率18%を達成する。	セル変換効率18.3%（裏面変更構造、自社測定） モジュール変換効率17.3%	△ △	①バックコンタクトと裏面変更セルの組合せ最適化 ②基板結晶品質向上との組合せ最適化 ①バックコンタクトと裏面変更セルの組合せ最適化 ②基板結晶品質向上との組合せ最適化 ③モジュール作製

三菱			
厚さ100 μ m程度、15cm角程度のセルにおいて変換効率20%	<ul style="list-style-type: none"> ●厚さ180μm、15cm角セルにおいて変換効率19.7%を実証。 ●レーザ加工技術を用いた逆ピラミッド型TEXの形成について要素技術の開発を完了した。基板ライフタイムの改善など要素技術の完成度の向上を実施中。 ●めっき技術を用いた細線電極形成技術に関して、初期基本性能を確認した。コンタクト抵抗の改善などセル化技術の適用性向上を実施中。 	△ 平成24年12月達成予定	セル特性向上のために確立した要素技術の完成度を高め、高効率薄型セル製造プロセスの確立を目指す。
東京工業大学			
ナノ表面・界面制御による超薄型シリコン・ヘテロ接合太陽電池の高効率化に関する研究開発 厚さ150-200 μ mのセルで1cm ² において変換効率20%以上を達成する。	p-c-SiO/n-Si/i-a-SiO/n-a-Siヘテロ接合セルで変換効率20.3% (Voc=0.717V)を達成(active area、1cm ²)。Al1-xOx:H膜を用いたポイントコンタクトセルで18.2% (total area、1cm ²)。	◎	
岐阜大学			
全体の中間目標 ヘテロ接合結晶Si太陽電池に於いて、東京工業大学と共同で変換効率20%以上を達成するための要素技術確立する。	全体成果の概要 光起電力顕微鏡を改良し、HIT結晶Si太陽電池のテクスチャ稜線部等の不具合箇所の検出に成功し、効率向上につながる要素技術を開発できた。	△	全般はH25年2月達成見込み 課題と対策は下記各項に記載。

<p>(1) 結晶Si太陽電池用の光起電力顕微鏡の開発</p>	<p>(1) 光起電力顕微鏡の改良で、計測範囲を $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ に拡大でき、結晶Si太陽電池のテクスチャの電気的特性解明のための基礎的計測技術の確立に目処が得られた。</p>	<p>△</p>	<p>課題である「迷光対策」は既存技術の応用で目途が立っている。現在は施工待ち。 (H24年12月達成見込み)</p>
<p>(2) HIT型単結晶Si太陽電池へテロ接合特性の評価</p>	<p>(2) テクスチャ構造界面の膜特性評価技術の開発の目途を得た・テクスチャ付きc-Si基板において、10nm α-Siを堆積しても漏れ電流がある部位(稜線部)を検出。またテクスチャ構造平面部分でも検出。これらの分布は、光照射により鮮明に検出できることを確認。</p>	<p>○</p>	<p>(今後はテクスチャ上への均質α-Si保護膜製膜条件の把握に注力)</p>
<p>(3) HIT型ヘテロ接合多結晶Si太陽電池へテロ接合特性の評価</p>	<p>(3) 単結晶を優先したため多結晶はH24年度から評価を実施。</p>	<p>△</p>	<p>H24年度から多結晶の評価を実施(H25年2月達成見込み)</p>
<p>AIST</p>			
<p>「銅ペーストの研究開発」 コンタクト抵抗 R_c: $< 1 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}^2$、ライン抵抗 R_s: $< 2 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$</p>	<p>(H22) ライン抵抗率 $7 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}$ 達成 (H23) コンタクト抵抗率 $0.53 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}^2$ ライン抵抗率 $2.2 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}$ 達成 (H24見込み)太陽電池性能評価、信頼性評価を行い、現行の銀電極に匹敵する性能を得る見込み</p>	<p>◎</p>	

奈良先端科学技術大学院大学			
ドーピング濃度ならびに深さ制御技術の開発 適切な波長のレーザービームを選択し、照射強度をレーザーパワーならびに形状や基板走査速度を変えて制御し、 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上の高濃度ドーピングと、深さ 100-500nm 領域での制御を目指す。最終的に高品位電子物性を有するドーピング層ならびに接合界面を実現する。	波長(紫外域(355nm)ならびに可視域(532nm))のレーザービームを選択し、照射強度をレーザーパワーや走査速度を変えて制御し、最表面において $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上の高濃度ドーピングを達成した。高効率構造作成のために、極浅(100nm)~深い(1~2 μm)接合を実現した。	○	
局所領域へのドーピング技術の開発 極細レーザービームの走査により、50 μm 以下の局所領域へのドーピングを実施する。ビームを高精度で走査し任意形状のドーピングパターンに不純物を導入する。	直径 6~20 μm の極細レーザービームの走査により、50 μm 以下の局所領域へのドーピングを実現した。ビームブランキングとビーム走査の同期制御により 200 ミクロン幅程度の細線フィンガー電極パターンに不純物を導入し選択エミッタ構造を作成した。	○	
明治			
変換効率の面内分布評価を可能とすることで、プロセスによる変換効率劣化要因の抽出技術を開発	2次元上の光照射から CT 解析を行う面内評価装置の立ち上げ、照射光波長の変化から深さ方向に対する特性劣化箇所の測定を達成。	◎	
変換効率 20%達成のための要素技術開発の支援	選択エミッタ層作製技術として期待するイオンシャワー技術の注入特性評価を達成	○	注入深さおよびイオン活性化エネルギーの詳細な解析
ホウ素およびリンに対し、 $1 \times 10^{15} - 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の濃度領域での定量	$1 \times 10^{15} - 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の濃度領域での検量線作成。質量分析結果と良く一致。	◎	なし
低コスト単結晶に特化した結晶評価技術の確立し、目標転位密度 $1 \times 10^3 \text{ m}^{-2}$ 以下	Mono like 転位単結晶における不純物混入と欠陥形成のメカニズムを解明し、欠陥密度 10^3 m^{-2} 、少数キャリアライフタイム 100 μsec 以上達成に貢献	○	大型化

豊田工大			
<p>試作した太陽電池の変換効率並びにその面内分布を調べ、個々のプロセスや材料おける課題を明らかにする。そこで得られた知見を各研究機関に対して横断的にフィードバックすることで、それぞれの開発目標を明確にするとともに、コンソーシアム全体が協力して最終目標を達成できる体制を構築する。</p> <p>低品位原料に関しては金属不純物の種類やその濃度が変換効率に与える影響を定量的に明らかにする。</p> <p>低コスト結晶基板に関しては成長した結晶中あるいはスライス時に導入される欠陥密度と変換効率との関係を明らかにする。</p> <p>加えて銅ペーストや新規パッシベーションなど新たな技術を用いた太陽電池を試作し、それら技術から明らかにする。</p>	<p>125mm角、及び、156mm角の太陽電池が試作可能な試作ラインを構築し、標準工程を確立した。</p> <p>全体会議・サブグループ会議の他に、個別要素技術について、技術討論会を実施した。</p> <p>コンソーシアム内で新規開発された各研究機関の成果を元にセルの試作を行い、各機関の研究開発に貢献した。</p> <p>新日本ソーラーシリコンが新規開発中の原料を用いた結晶でセル試作評価を行い、現状の太陽電池の効率には悪影響を与えない事を示した。</p> <p>コマツ NTC が新規開発を行った固定砥粒による低コスト結晶基板で表面状態が TEX 形成に与える影響を明らかにした。</p> <p>SiN 膜、及び、アルミナ膜の基礎評価・セル試作を行い、その有効性を示し、今後の課題を明らかにした。銅ペーストに関しては基礎評価を行ってきた。</p>	<p>○</p> <p>◎</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>△</p>	<p>銅ペーストを用いた太陽電池の試作評価を行う。</p>

<p>以上の結果を各研究機関にフィードバックし、結晶においてはキャリア寿命100μsec、太陽電池に関しては厚さ100μm、面積15cm角程度のセルにおいて変換効率20%以上、モジュール変換効率18%以上の実現に貢献する。</p>	<p>太陽電池厚さ100μm程度の試作ラインを世界で初めて構築した。</p> <p>結晶（キャリア寿命100μsec以上）・新規材料・プロセス評価を行い、各機関の研究開発に貢献し、変換効率20%以上に寄与した。</p> <p>モジュール変換効率18%は未達</p>	<p>◎</p> <p>○</p> <p>△</p>	<p>これまでに個別要素技術を達成できたので、それらを統合し、目標値を達成する。</p>
---	--	----------------------------	--

達成度→ 大幅達成：◎、 達成：○、 達成見込み：△、 達成不可：×

特許、論文、外部発表等の件数（内訳）

（※Patent Cooperation Treaty：特許協力条項）

	H22	H23	H24	計
特許出願（うち外国出願）	1(0)	24(0)	3(0)	28件
論文（査読付き）	13	25	14	52件
研究発表・講演（うち国際会議）	65(29)	124(65)	35(15)	224(109)件
新聞・雑誌等への掲載	1	1(9) ^{*1}	0	2件
受賞実績	1	5	1	7件
展示会への出展	3	5	1	9件

※平成 24 年度 7 月 23 日現在

ノウハウ流出を防止するため、戦略的に特許出願を控えている

*1 カッコ内の数値 新聞掲載 2件、テレビ 2件、Web 5件

2. 実用化・事業化見通し

(1) 低コスト原料技術

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

(2) 低コスト単結晶・高品質多結晶技術

低コスト多結晶に関しては 1) 転位密度の低減、2) 炭素や酸素の軽元素の除去、3) 坩堝壁からの多結晶成長抑止、4) 重金属汚染の防止、5) 全領域単結晶化、の研究開発成果は、各要素技術として今後複数のシリコン結晶メーカー等への技術移転を計画している。転位密度の低減技術は現在多結晶を大量に製造しているメーカーへの技術移転を検討しており、現在その詳細について企業との打ち合わせを行っている。また、3) 坩堝壁からの多結晶成長抑止、4) 重金属汚染の防止、5) 全領域単結晶化技術も、現在多結晶メーカーへの技術移転を検討しており、平成25、26年度に具体的な作業に入る。

高品質多結晶技術においては、浮遊キャストなどの方法により界面特性の良好な多結晶シリコン結晶が得られた。本技術に関しては、セルメーカーへの技術移転を検討しており、今後のさらなる研究開発を通じて実用化が期待される。

(3) 薄型スライス技術

スライス時に発生するシリコンの回収技術の実用化についてはスライスメーカーおよび原料メーカーとの連携が重要となる。具体的には、発生したシリコン微粉末を連続的にクーラントから分離することにより、スライス能力の安定およびクーラント・ワイヤの長寿命化が期待出来る。加えて、UMG-Si と競合しうる再生原料の作製が期待出来る。また、亜鉛直接還元法の原料としても期待される。

(4) 高効率・低コスト太陽電池技術

個別技術に関しては、100 μ m厚の結晶シリコン太陽電池の製造を可能とするプロセス、100ohm/sq 程度の高抵抗エミッタに対してFFが低下しないプロセス、ファインラインプロセス等を開発した。また、レーザーやイオンシャワーを用いた局所ドーピング技術により、従来よりも簡便で安価に選択エミッタ構造など高効率太陽電池に必要な構造を形成することが可能となった。薄型結晶シリコン太陽電池や高効率太陽電池に必要な高品質なパッシベーション膜に関しては、 Al_2O_3 や3c-SiCなどを使用することにより、低い再結合速度が実現された。一方、表面の銀電極に代わる銅電極に関しては、密着性が高く、抵抗の低い配線が形成できる低温ペーストが開発された。また、光起電力を利用したヘテロ接合解析技術により、異種接合の特性評価が可能となった。これらの技術は、今後の高効率・低コスト太陽電池を生産する上で必要な技術として実用化が期待される。

以上述べた本プロジェクトで開発を進めている、1) 低コスト原料技術、2) 低コスト単結晶シリコン成長技術・高品質多結晶シリコン成長技術、3) 薄型スライス技術、4) 太陽電池技術：個別要素、薄型基板太陽電池、次世代技術、を統合することにより、以下のようにセルメーカー各社の製造に大きく寄与することが期待される。

<シャープ>

本P Jの実用化は、2020年までに、モジュール製造コスト：75円/W、モジュール変換効率：20%の太陽電池モジュールを製品として市場投入するところまでを指す。

これまでの開発検討において、バックコンタクト太陽電池セルを試作し、90mm角サイズ(81cm²)で変換効率22.1%(自社測定)が得られている。また、ヘテロ接合バックコンタクトセルを試作し、Jsc35.0mA/cm²、Voc665mV、F.F.0.621、変換効率14.5%を得た。さらに導入予定のヘテロ接合開発用PECVD装置を使って1msecを超える非常に高い実効ライフタイムを得るとともに表裏電極型ヘテロ接合セルを作製し、718mVという高いVocを得た。

上記のセル技術開発と並行して、薄型バックコンタクトセルに適したモジュール構造として、配線基板上に表面実装し、セル電極を配線に直接接続する表面実装方式を検討した。上記の開発成果にヘテロ接合形成技術や、薄型バックコンタクトセルに適したモジュール構造を組み合わせ、平成26年度末までに最終目標(セル変換効率25%(単結晶シリコン基板：厚さ100μm以下、サイズ150mm角)、モジュールでの変換効率20%)を達成する。さらに、シリコン原料の低コスト製造技術、シリコン基板の薄型スライス技術など、原料の製造から太陽電池セルまで一貫した研究開発の成果を適用して、低コストで高効率な世界最高レベルの競争力を有する結晶シリコン太陽電池モジュールを実現し、製品として市場投入する。

<京セラ>

本P Jの実用化は、新構造超薄型多結晶シリコン太陽電池を事業化(量産)するところまでを指し、下記課題の克服により実現可能と考えられる。

(1) 高効率セルの事業化

⇒2013年事業化(量産)開始予定

(2) 高効率モジュールの事業化

⇒課題：低コストプロセス技術、長期信頼性

(3) 超薄型高効率セルの事業化

⇒課題：高い生産性の超薄型セル用プロセス技術
(ハンドリング、枚葉プロセス)

<三菱>

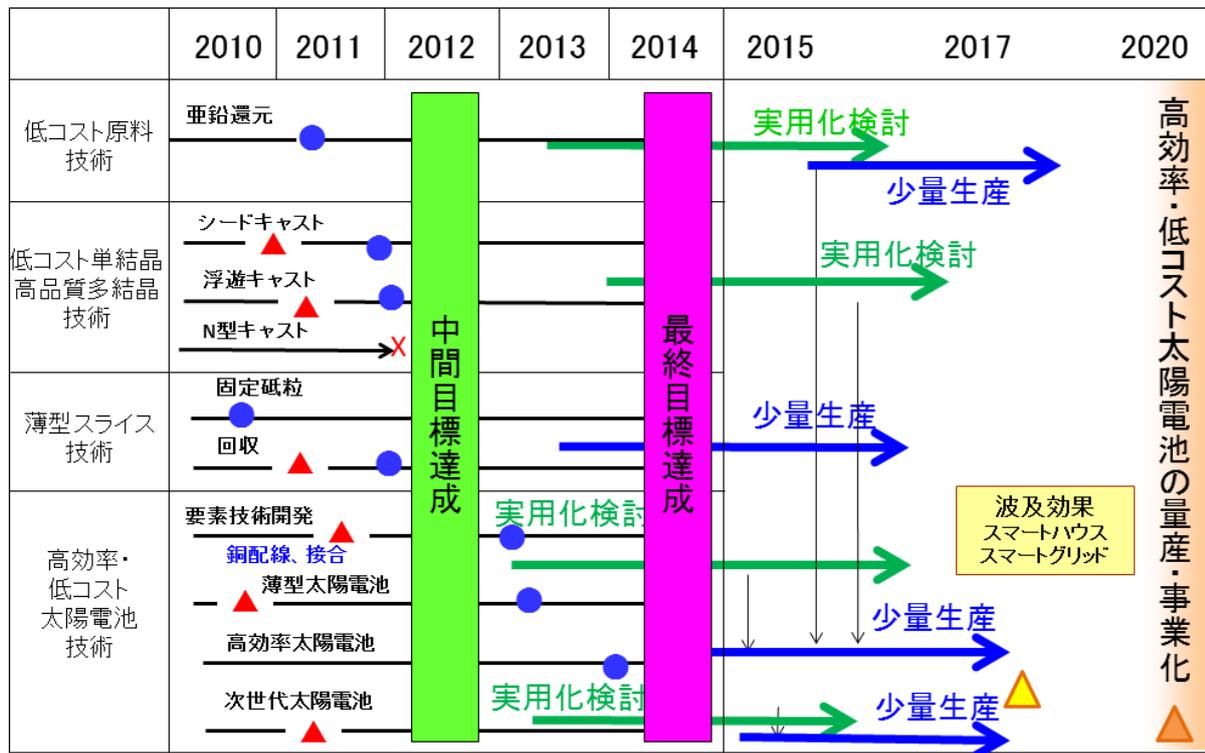
極限シリコン太陽電池セルの製造事業化計画

現在量産を実施している拡散接合型セルの製造技術を継承した、高効率セルの量産化の施を目指している。レーザー加工技術を用いた逆ピラミッド型TEXの形成においては、量産時の製造タクトを目標とし、基板表面に形成する約1億個にもおよぶ開口パターンを4秒で形成する技術を確立している。本TEXを基板表面に形成することにより、太陽電池と

して理想的な光閉じ込め効果が得られるため、セル性能が向上することが期待できる。

また、めっき法を用いた受光面側グリット電極の形成技術においては、現在用いている印刷ペーストに比べて、材料コストを大幅に軽減することが可能となり、低温での電極形成も可能となることからセル性能が向上することが期待できる。

さらに、セルの基本構造が現行製造セルを継承しているため、現行の量産製造装置を小規模な改造のみで使用できる可能性が高く、初期の装置コストを低減できるメリットが高い。



▲：基本原理確認 ●：基本技術確認

▲：実用化（少量生産品が2017年時点で、変換効率 モジュール20% セル25%と同等以上。）

▲：事業化（量産品が2020年時点で、変換効率 モジュール20% セル25%と同等以上。）

3. 波及効果

本事業は、2014年までに変換効率25%の実現をめざし、量産化における課題を明らかにする太陽光発電の開発を目的としている。

本事業の太陽電池分野での波及効果としては、以下のことが挙げられる。

- ・プラットフォームの構築による総合的技術開発ならびに容易な太陽電池技術の統合、およびそれによる基盤技術の向上ならびに次世代太陽電池の開発の加速
- ・ 基板の薄型化すなわち製品の材料使用量低減による環境負荷の低減
- ・ 太陽電池製造における資源の確保ならびに国際環境に大きく影響されない体制の構築
- ・ 銀配線の銅配線に置き換えによる安定供給ならびに低価格化
- ・ 新規太陽電池用結晶成長における国際的競争力の確保
- ・ 新規プロセスや新材料による、工程の簡略化や高信頼性の確保
- ・ 競合国（中国等）に対する、特に変換効率・信頼性の点での高い技術的優位性および、安易に模倣されない技術の確立
- ・ 世界最高の変換効率とコスト競争力を有する結晶シリコン太陽電池セル・モジュールの製造・販売による日本の産業競争力強化
- ・ 太陽電池産業における日本企業のシェアアップ、および太陽電池分野における日本のプレゼンスの向上
- ・ 上記太陽電池製造ラインの構築のための生産設備製造産業、あるいは生産工場建設、ユーティリティ設備建設による建築業、施設建設産業への需要創造
- ・ 上記製造ライン・生産工場稼働に伴う雇用創出
- ・ 上記太陽電池生産のための部品、材料需要の増加による周辺産業の振興
- ・ 上記太陽電池開発により創出された特許等知的財産権によってもたらされる国際貿易収入の増加、および日本の技術開発力優位性の確立
- ・ 上記により生産された太陽電池セル・モジュールの海外輸出による日本の貿易収入の向上
- ・ 上記開発及び生産に携わる開発者、技術者、生産者の知識およびスキルの向上
- ・ 高効率低コスト太陽光発電システムの普及促進に伴うインバーター、蓄電池、スマートグリッド、ホームエネルギーマネジメントシステムなどの周辺機器の新規需要創造
- ・ 高効率低コスト太陽光発電システムの普及促進によるCO₂削減、地球温暖化問題の解決
- ・ 高効率低コスト太陽光発電システムの普及促進による電力供給の増加、特に夏場昼間の電力需要極大時期の電力不足の解消、電力網への負荷低減
- ・ 日本国内産業・製造業の海外流出、国内空洞化の防止
- ・ 競合国（中国等）に対して、特に変換効率・信頼性の点で、技術的優位性が高く、安易に模倣されない技術を確立することができる。

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

以上、本事業により、日本の技術優位性の維持による技術基盤強化・産業競争力向上が見込める。

4. 今後の展開

競合国（特に中国）に対し、単にコスト競争ではなく、日本として独自かつ安易に模倣できない技術を確立し、優位性を高めていく。電氣的なセル特性・モジュール特性だけでなく、特に信頼性に関する項目に対し優位性を高めていけるような技術開発をコンソーシアムとして取り組んでいく。

5. 特許論文リスト

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	シャープ (株)	2011-138048	国内	2011/6/22		太陽電池、及び太陽電池の製造方法	今井 隆裕
2	シャープ (株)	2011-166647	国内	2011/7/29		光電変換装置モジュール、光電変換装置モジュールの製造方法、及び光電変換素子	大岡 幸代
3	シャープ (株)	2011-250515	国内	2011/11/16		太陽電池	生野 利典
4	シャープ (株)	2011-268563	国内	2011/12/8		太陽電池の製造方法	常深 剛 他
5	シャープ (株)	2011-277669	国内	2011/12/19		界面パッシベーション構造、裏面パッシベーション型太陽電池および界面パッシベーション構造の製造方法	栗本 祐司
6	シャープ (株)	2011-279126	国内	2011/12/21		裏面電極型太陽電池の製造方法	稗田 健
7	シャープ (株)	2012-032440	国内	2012/2/17		太陽電池の製造方法	中村 淳一 他
8	シャープ (株)	2012-037013	国内	2012/2/23		光電変換装置の製造方法	西野 浩己 他
9	シャープ (株)	2012-037055	国内	2012/2/23		光電変換素子及びその製造方法	西野 浩己 他
10	シャープ (株)	2012-050244	国内	2012/3/7		光電変換素子	稗田 健
11	シャープ (株)	2012-055495	国内	2012/3/13		光電変換素子およびその製造方法	常深 剛 他
12	シャープ (株)	2012-055504	国内	2012/3/13		光電変換素子およびその製造方法	常深 剛 他
13	シャープ (株)	2012-060240	国内	2012/3/16		光電変換素子およびその製造方法	中村 淳一

14	シャープ (株)	2012-066454	国内	2012/3/23		光電変換素子および その製造方法	常深 剛 他
15	京セラ	2011-285096	国内	2011/12/27	出願	太陽電池素子、太陽 電池素子の製造方法 および太陽電池モジ ュール	村尾彰了 伊藤憲和
16	三菱電機	—	国内	2011/3	出願	レーザー加工方法	桂 智毅
17	三菱電機	—	国内	2011/9	出願	光起電力装置の製造 方法および光起電力 装置	松野 繁
18	三菱電機	—	国内	2012/1	出願	太陽電池セルの製造 方法および製造装置	松本 紀久
19	三菱電機	—	国内	2012/2	出願	光起電力装置の製造 方法	由良 信介
20	九州大学、 物質・材料 研究機構	特願 2012-042427	国内	2012/2/28	出願 完了	結晶冷却方法及び半 導体結晶	柿本 浩一 原田 博文 中野 智 ガオ ビン グ
21	原田博文、 柿本浩一、 中野 智、 高 冰	特願 2012-42427	国内	2012/2/28	出願 中	結晶冷却方法及び半 導体結晶	原田 博文
22	関口隆史、 宮村佳児、 原田博文	出願準備中	国内	出願準備中	出願 準備 中	casting シリコン多結晶 の炭素濃度低減に関 する発明	関口 隆史
23	宮村佳児、 関口隆史、 原田博文、 柿本浩一、 中野 智、 高 冰	出願準備中	国内	出願準備中	出願 準備 中	成長界面と壁との角 度	宮村 佳児
24	京都大学	特願 2011-093418	国内	2011/4/19	公開	Si インゴット結晶 の製造方法	中嶋一雄 森下浩平 沓掛健太朗

25	東北大学	特願 2011-179126	国内	2011年8月18日	出願	シリコン太陽電池の製造方法	藩 伍根、 宇佐美 徳 隆、藤原 航三
26	東北大学	特願 2012-040324	国内	2012年2月27日	出願	S i 結晶の結晶品質 評価方法及び結晶品 質評価装置	藩 伍根
27	東北大学	特願 2011-054072	国内	2012年3月12日	出願	シリコンインゴットの 製造方法	宇佐美 徳 隆、藩 伍 根
28	豊田工業 大学	出願準備中	国内	出願準備中	出願 準備 中	MIS 形光変換素子	林 豊 大下 祥雄 小椋 厚志

【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	大岡幸代	シャープ(株)	OPTIMIZATION OF BACK-ETCHING PROCESS FOR REAR SURFACE PASSIVATION STRUCTURES OF CRYSTALLINE SILICON SOLAR CELLS	第 21 回太陽光発電国際会議	無	2011
2	山谷宗義	京セラ	結晶系シリコン太陽電池開発の状況について －NEDO プロジェクト 成果と進捗－	PVTEC 第 22 回技術交流会	無	2011
3	檜座秀一、他	三菱電機	「結晶シリコン太陽電池セルの高効率化技術」	日本学術振興会第 175 委員会 「次世代の太陽光発電」シンポジウム	無	2011
4	檜座秀一、他	三菱電機	「結晶系太陽電池セルの高効率化技術」	第 277 回電気材料技術懇談会 若手研究発表会	無	2011
5	新延大介、他	三菱電機	DEVELOPMENT OF CRYSTALLINE SILICON SOLAR CELLS WITH HIGHER EFFICIENCY	21st Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-21)	無	2011
6	B. Gao, X.J. Chen, S. Nakano, K. Kakimoto	Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University	Crystal growth of high-purity multicrystalline silicon using a unidirectional solidification furnace for solar cells	Journal of Crystal Growth, Vol.312, (2010) 1572-1576.	有	2010
7	Xuejiang Chen ^{a,b} , Satoshi Nakano ^b , Koichi Kakimoto ^b	^a Institute of Fluid Machinery, School of Energy and Power Engineerin	Three-dimensional global analysis of thermal stress and dislocations in a silicon ingot during a unidirectional solidification process with a square crucible	Journal of Crystal Growth, Vol.312, (2010) 3261-3266.	有	2010

		g, Xi'an Jiaotong University, ^b Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University				
8	B. Gao, K. Kakimoto	Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University	Global simulation of coupled carbon and oxygen transport in a Czochralski furnace for silicon crystal growth	Journal of Crystal Growth, Vol.312, (2010) 2972-2976.	有	2010
9	Koichi Kakimoto, Bing Gao, and Satoshi Nakano	Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University	Numerical analysis of light elements transport in a unidirectional solidification furnace	Phys. Status Solidi C8, No.3, 659-661 (2011) / DOI 10.1002/pssc.2010001 17	有	2011
10	B. Gao, S. Nakano, K. Kakimoto	Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University	Influence of reaction between silica crucible and graphite susceptor on impurities of multicrystalline silicon in a unidirectional solidification furnace	Journal of Crystal Growth, Vol.314, (211) 239-245.	有	2011
11	B. Gao, S. Nakano, K. Kakimoto	Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University	Effect of crucible cover material on impurities of multicrystalline silicon in a unidirectional solidification furnace	Journal of Crystal Growth, Vol.318, (2011) 255-258.	有	2011
12	S. Nakano, X.J. Chen, B. Gao, K. Kakimoto	Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University	Numerical analysis of cooling rate dependence on dislocation density in multicrystalline silicon for solar cells	Journal of Crystal Growth, Vol.318, (2011) 280-282.	有	2011

13	<p>Zaoyang Li ^a, Lijun Liu ^{a,b}, WenchengMa^a, KoichiKakimoto ^c</p>	<p>^a School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, ^b State Key Lab of Silicon Materials, Zhejiang University, ^c Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University</p>	<p>Effects of argon flow on heat transfer in a directional solidification process for silicon solar cells”</p>	<p>Journal of Crystal Growth, Vol.318, (2011) 298-303.</p>	有	2011
14	<p>Zaoyang Li ^a, Lijun Liu ^{a,b}, WenchengMa^a, KoichiKakimoto ^c</p>	<p>^a School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, ^b State Key Lab of Silicon Materials, Zhejiang University, ^c Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University</p>	<p>Effects of argon flow on impurities transport in a directional solidification furnace for silicon solar cells</p>	<p>Journal of Crystal Growth, Vol.318, (2011) 304-312.</p>	有	2011

15	Lijun Liu ^a , Xin Liu, Zaoyang Li ^a , and Koichi Kakimoto ^b	^a ,School of Ener; and Power Engineerin g, XĪ'an Jiaotong University, ^b Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University	Computer Modeling of Crystal Growth of Silicon for Solar Cells	Frontiers of Energy and Power Engineering in China, DOI: 10.1007/s11708-011-0 155-9	有	2011
16	柿本浩一、 Gao Bing、 中野 智、 寒川義裕	九州大学 応用力学 研究所	特集 どのように結晶成長 現象をモデル化するか？ 総合報告：半導体バルク 結晶成長における熱と物質 の輸送と成長速度との関係	日本結晶成長学会誌 Vol. 38, No. 2, (2011) 86-92. (2011 年7月) 4-10.	有	2011
17	B. Gao, S. Nakano, K. Kakimoto	Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University	Reducing Impurities of Multicrystalline Silicon in a Unidirectional Solidification Furnace for Solar Cells	JOM, Vol.63, No.10, (2011) 43-46.	有	2011
18	BING GAO, Satoshi Nakano, and Koichi Kakimoto	Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University	Influence of back-diffusion of iron impurity on lifetime distribution near the seed-crystal interface in seed cast-grown monocrystalline silicon by numerical modeling	Cryst. Growth Des. 2012, 12, 522-525.	有	2011
19	Tomihisa Tachibana, Takashi Sameshima, Takuto Kojima, Koji Arafune, Koichi Kakimoto, Yoshiji Miyamura, Hirofumi Harada, Takashi	¹ School of Science and Technology , Meiji University, ² Toyota Technologi cal Institute ³ University of Hyogo, ⁴ Kyusu University, ⁵ National Institute of	Evaluation of defects generation in crystalline silicon ingot grown by cast technique with seed crystal for solar cells	J. Appl. Phys. 111 , 074505 (2012); http://dx.doi.org/10.1063/1.3700250 (5pages)	有	2011

	Sekiguchi, Yoshio Ohshita, and Atsushi Ogura	Materials Science,				
20	宮村佳児、原田博文、伊藤俊、陳君、関口隆史	物材機構 東北大	Structural study of small angle grain boundaries in multicrystalline Si	Mater. Sci. Forum, Vol. 725	有	2012
21	K. Jiptner、原田博文、宮村佳児、関口隆史	物材機構	Effect of Si ₃ N ₄ coating on stress distribution and fracture of cast-Si ingots	Mater. Sci. Forum, Vol. 725	有	2012
22	陳君、陳斌、李雄、福澤理行、山田正良、関口隆史	物材機構, 京都工織大	Grain Boundaries in Multicrystalline Si	Solid State Phenom., 156-158,19-26	有	2010
23	福澤理行、山田正良、Md. Rafiqul Islam、陳君、関口隆史	京都工織大、物材機構	Quantitative Photoelastic Characterization of Residual Strains in Grains of Multicrystalline Silicon	J. Electronic Mat. 39,6,700-703	有	2010
24	JY.Li, T. Sekiguchi, H. Harada, Y.Miyamura, K. Kakimoto, T. Kojima, Y. Ohshita, T. Tachibana and A. Ogura	明治大、物材機構	Characterization of light element precipitates in large grain multicrystalline Silicon	21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-21)	無	2011
25	J.Chen	物材機構	Electrical/optical activities of grain boundaries in mc-Si	DRIP-XIV (招待講演) A-3	無	2011
26	T.Shimura, T.Matsumiya, N.Morimoto, T.Hosoi, K.Kajiwara, J.Chen,T.Sekiguchi, H.Watanabe	大阪大、物材機構	Analysis of grain orientation and lattice strain in mc-Si for PV cells	DRIP-XIV A-4	無	2011
27	Y. Miyamura, K. Jiptner, H. Harada, M. Fukuzawa, K. Kakimoto, T. Kojima,	物材機構、九大、明治大、豊田工大	Growth and characterization of large grain mc-Si	21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference	無	2011

	Y. Ohsita, T					
28	陳君、 Ronit Prakash、 K. Jipter、 李健永、 宮村佳児、 原田博文、 関口隆史	物材機構	Interaction between Grain Boundaries and Dislocations in Multicrystalline Si	日本応用物理学会 (Poster 発表)	無	2012
29	宮村佳児、 原田博、 文陳君、 伊藤俊、 関口隆史	物材機構、 東北大	多結晶 Si 中の小角粒界にお ける転位と EBIC 特性の関係	日本応用物理学会 (Poster 発表)	無	2012
30	李健永、 関口隆史、 原田博文、 宮村佳児、 陳君、 大下祥雄、 柿本浩一、 小椋厚	明治大、 物材機構、 九大、 豊田工大	大粒径多結晶シリコンにお ける軽元素の析出挙動	日本応用物理学会 (口頭発表)	無	2012
31	K. Jiptner、 福澤理行、 宮村佳児、 原田博文、 関口隆史	物材機構	一方向凝固で育成した mono-like 結晶の残留歪分布 の解析	日本応用物理学会 (口頭発表)	無	2012
32	原田博文、 宮村佳児、 渡辺健太郎、 関口隆史	物材機構	鋳造法による 高品質単結晶育成 の現状と課題	日本応用物理学会 (招待講演)	無	2011
33	関口隆史	物材機構	EBIC and Cathodoluminescence Study on the Grain Boundaries and Fe Impurities in Multicrystalline Si	シリコン材料の科学 と技術フォーラム (招待講演)	無	2010
34	陳君	物材機構	Electrical, optical and mechanical properties of GBs in mc-Si	Extended Defects in Semiconductors (招待講演)	無	2010

35	関口隆史	物材機構	結晶シリコン太陽電池とシリサイド太陽電池の比較／E B I Cによるアプローチ	つくばナノテク産学独連携人材育成プログラム(招待講演)	無	2010
36	RR.Prakash, T. Sekiguchi	物材機構	Impurity decoration on extended defects in multicrystalline Silicon	Joint Symp. on Electron. Mat. (口頭発表)	無	2010
37	H.Onodera, T. Sekiguchi	物材機構	Room temperature luminescence from nanoscale silicon chips	Joint Symp. on Electron. Mat. (口頭発表)	無	2010
38	K. Jiptner, T. Sekiguchi	物材機構	Formation of SiC and Si ₃ N ₄ particles in directional solidification Si-growth	Joint Symp. on Electron. Mat. (口頭発表)	無	2010
39	K. Nakajima, K. Kutsukake, K. Fujiwara, K. Morishita and S. Ono	京都大学 東北大学 第一機電	Arrangement of dendrite crystals grown along the bottom of Si ingots using the dendritic casting method by controlling thermal conductivity under crucibles	J. Crystal Growth, Vol.319, p.13-18.	有	2011
40	K. Kutsukake, T. Abe, N. Usami, K. Fujiwara, I. Yonenaga, K. Morishita, and K. Nakajima	東北大学 京都大学	Generation mechanism of dislocation and their clusters in multicrystalline silicon during two-dimensional growth	J. Appl. Phys., Vol.110, 083530 (5 pages)	有	2011
41	N. Usami, I. Takahashi, K. Kutsukake, K. Fujiwara, and K. nakajima,	東北大学 京都大学	Implementation of faceted dendrite growth on floating cast method to realize high-quality multicrystalline Si ingot for solar cells	J. Appl. Phys., Vol.109, 083527 (4 pages).	有	2011
42	K. Nakajima, R. Murai, K. Morishita, K. Kutsukake, and N. Usami	京都大学 東北大学	Growth of multicrystalline Si ingots using noncontact crucible method for reduction of stress	J. Crystal Growth, Vol.344, 6 (6pages).	有	2012
43	I. Takahashi, N. Usami, H. Mizuseki, Y. Kawazoe, G. Stokkan, and K. Nakajima	Tohoku University, NTNU, and Kyoto University	Impact of type of crystal defects in multicrystalline Si on electrical properties and interaction with impurities	J. Appl. Phys. 109, 033504	有	2011
44	K. Nakajima, K. Morishita,	京都大学 東北大学	Growth of high-quality multicrystalline Si ingots using	J. Crystal Growth, Vol.355, 38	有	2012

	R. Murai and K. Kutsukake,		noncontact crucible method	(8 pages).		
45	N. Usami, I. Takahashi, K. Kutsukake, K. Fujiwara, and K. Nakajima	Tohoku University, and Kyoto University	Implementation of faceted dendrite growth on floating cast method to realize high-quality multicrystalline Si ingot for solar cells	J. Appl. Phys. 109 , 083527.	有	2011
46	K. Kutsukake, T. Abe, N. Usami, K. Fujiwara, K. Morishita and K. Nakajima	Tohoku University, and Kyoto University	Formation mechanism of twin boundaries during crystal growth of silicon	Scripta Materialia 65 556-559	有	2011
47	K. Kutsukake, T. Abe, N. Usami, K. Fujiwara, I. Yonenaga, K. Morishita, K. Nakajima	Tohoku University, and Kyoto University	Generation mechanism of dislocations and their clusters in multicrystalline silicon during two-dimensional growth	J. Appl. Phys. 110 , 083530	有	2011
48	K. Kutsukake, T. Abe, N. Usami, K. Fujiwara, I. Yonenaga, K. Morishita, and K. Nakajima	Tohoku University, and Kyoto University	Generation mechanism of dislocations in multicrystalline Si during 2D growth	Proceedings of 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 1934-1937	無	2011
49	N. Usami, I. Takahashi, K. Kutsukake, K. Morishita, and K. Nakajima	Tohoku University, and Kyoto University	Floating cast method: A technique to realize high-quality multicrystalline Si ingot	Proceedings of 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 1986-1988	無	2011
50	K. Nakajima, R. Murai, K. Morishita, K. Kutsukake, and N. Usami	Kyoto University, and Tohoku University	Growth of multicrystalline Si ingots using noncontact crucible method for reduction of stress	J. Cryst. Growth 344, 6-11 (2012).	有	2012
51	Noritaka Usami, Wugen Pan, Satoru Matsushima, Kazuo Nakajima, and Haruna Watanabe	Tohoku University, and Kyoto University	Growth of multicrystalline silicon ingot from the top of the melt: control of microstructures and reduction of stress	Proc. IEEE PVSC38	無	2012
52	大久保 秀一	新日本ソーラーシリコン	ポリシリコンの製造	応用物理学会応用電子物性分科会	無	2012
53	Shinsuke Miyajima,	東工大	High Quality Aluminum Oxide Passivation Layer	APPLIED PHYSICS EXPRESS	有	2010

	Junpei Irikawa, Akira Yamada and Makoto Konagai		for Crystalline Silicon Solar Cells Deposited by Parallel-Plate Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition	3 (1) 012301		
54	Shinsuke Miyajima, Junpei Irikawa, Akira Yamada and Makoto Konagai	東工大	High-quality nanocrystalline cubic silicon carbide emitter for crystalline silicon heterojunction solar cells	APPLIED PHYSICS LETTERS 97 (2) 023504	有	2010
55	Junpei Irikawa, Shinsuke Miyajima, Shuhei Kida, Tatsuro Watahiki, and Makoto Konagai	東工大	Effects of Annealing and Atomic Hydrogen Treatment on Aluminum Oxide Passivation Layers for Crystalline Silicon Solar Cells	Jpn. J. Appl. Phys. Vol.50 012301	有	2010
56	Junpei Irikawa, Shinsuke Miyajima, Shuhei Kida, Tatsuro Watahiki, and Makoto Konagai	東工大	Effects of Annealing and Atomic Hydrogen Treatment on Aluminum Oxide Passivation Layers for Crystalline Silicon Solar Cells	JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS 50, 012301-1~012301-5	有	2011
57	Junpei Irikawa, Shinsuke Miyajima, Tatsuro Watahiki, Makoto Konagai	東工大	High Efficiency Hydrogenated Nanocrystalline Cubic Silicon Carbide/Crystalline Silicon Heterojunction Solar Cells Using an Optimized Buffer Layer	APPLIED PHYSICS EXPRESS 4, No.9, 092301-1~092301-3 3pages SEP	有	2011
58	Suttirat	東工大	Improvement of Rear Surface	JAPANESE	有	2011

	Rattanapan, Tatsuro Watahiki, Shinsuke Miyajima, Makoto Konagai		Passivation Quality in p-Type Silicon Heterojunction Solar Cells Using Boron-Doped Microcrystalline Silicon Oxide	JOURNAL OF APPLIED PHYSICS 50 , No.8 , 082301-1~082301-4 AUG		
59	Shinsuke Miyajima, Junpei Irikawa, Akira Yamada, and Makoto Konagai	東工大	Modeling and simulation of heterojunction crystalline silicon solar cells with a nanocrystalline cubic silicon carbide emitter	J. Appl. Phys. 109 054507-1~054507-6	有	2011
60	Daisuke Hamashita, Yasuyoshi Kurokawa, Makoto Konagai	東工大	Preparation of p-type Hydrogenated Nanocrystalline Cubic Silicon Carbide / n-type Crystalline Silicon Heterojunction Solar Cells by VHF-PECVD	Energy Procedia vol.10 , pp.14-19, Jan	有	2012
61	Irikawa Junpei, Miyajima Shinsuke, Watahiki Tatsuro and Makoto Konagai	東工大	Development of the Transparent Conductive Oxide Layer for Nanocrystalline Cubic Silicon Carbide/Silicon Heterojunction Solar Cells with Aluminum Oxide Passivation Layers	JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, vol. 51, No.2, 02BP04, 4 pages	有	2012
62	H. Natsuhara, X. Zhuo Me, Y. Natsume, D. Hoso, M. Kawai, F. Ohashi, T. Itoh, N. Yoshida, S. Nonomura	岐阜大	Development of photovoltaic microscope for thin film solar cell	21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference	無	2011
63	三木 祥平、 門田 昌郎、	兵庫県立 大学	シリコンインゴットスライス時の廃棄スラッジ特性の	第8回「次世代の太陽光発電システム」	無	2011

	早川 宗久、 佐藤根 大士、 新船 幸二		評価	シンポジウム		
64	S.Miki, N.Iio, S.Taniguchi, H.Satone, K.Arafune	兵庫県立 大学	Recycle of Silicon Powder in Multi-wire-saw-sludge for Silicon Feedstock	21st Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells & Modules: Materials and Processes	無	2011
65	S.Miki, N.Iio, S.Taniguchi, H.Satone, K.Arafune	兵庫県立 大学	Recycle of silicon powder In Multi-Wire-Saw-Sludge for Silicon feedstock	21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference	無	2011
66	飯尾 成央、 三木 祥平、 佐藤根 大士、 新船 幸二	兵庫県立 大学	シリコンインゴットスライ ス時の廃棄クーラントから のシリコン再原料化の検討	第9回「次世代の 太陽光発電システ ム」シンポジウム	無	2012
67	漆畑 孝、 三木 祥平、 新船 幸二	兵庫県立 大学	補償系シリコンインゴット の作製およびその評価	第9回「次世代の 太陽光発電システ ム」シンポジウム	無	2012
68	Shohei Miki, Norihisa Iio, Sho-ichi Taniguchi, Hiroshi Satone, Koji Arafune	兵庫県立 大学	Filtration of Waste Coolant from Fixed-Abrasive Wire Sawing and Recycle of Retrieved Silicon Powder for Feedstock	38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference	無	2012
69	伊東宇一他	産総研	Screen printed finger electrode with high aspect ratio by single printing for crystal Si solar cell using novel screen mask	38th IEEE PVSC Proceedings	無	2011
70	徳久英雄他	産総研	Cu Alloy Pastes Containing Low Melting Point (LMP) Alloys For Silicon Solar Cells Requiring Low Temperature Sintering	21-PVSC Technical Digest	無	2011
71	吉田学 他	産総研	Grass-fritless Cu alloy pastes for silicon solar cells requiring low temperature sintering	26th EUPVSEC Proceedings	無	2011
72	徳久英雄他	産総研	Grass-fritless Cu alloy pastes	37th IEEE	無	2011

			for silicon solar cells requiring low temperature sintering	PVSC Proceedings		
73	平田憲司、高山環、西村英紀、片桐卓哉、高本総一郎、杉村恵美、冬木隆	NAIST	レーザードーピングによるセレクトィブエミッター型太陽電池の作製その最適化	第8回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム	無	2011
74	平田憲司、高山環、長谷川光洋、舟谷友宏、西村英紀、冬木隆	NAIST	結晶シリコン太陽電池作製プロセスにおけるレーザードーピングの開発	2011年春季第58回応用物理学関係連合講演会	無	2011
75	西村英紀、平田憲司、長谷川光洋、舟谷友宏、高山環、冬木隆	NAIST	多結晶シリコン太陽電池におけるレーザードーピングプロセスの開発	2011年春季第58回応用物理学関係連合講演会	無	2011
76	高山環、平田憲司、斎藤貴志、長谷川光洋、舟谷友宏、冬木隆	NAIST	紫外光レーザーを用いた電極下高濃度エミッター層の作製と最適化	第7回「次世代の太陽光発電システム」	無	2010
77	舟谷友宏、平田憲司、斎藤貴志、高山環、長谷川光洋、冬木隆	NAIST	ドーパント層制御によるレーザードーピングプロセスの最適化	第7回「次世代の太陽光発電システム」	無	2010
78	長谷川光洋、平田憲司、斎藤貴志、高山環、舟谷友宏、冬木隆	NAIST	多結晶シリコン太陽電池におけるレーザーを用いたドーピングプロセスの開発	第7回「次世代の太陽光発電システム」	無	2010
79	長谷川光洋、平田憲司、高山環、舟谷友宏、冬木隆	NAIST	多結晶シリコン太陽電池の作製における室温レーザードーピング	電子情報通信学会シリコン材料・デバイス研究会	無	2010

	隆					
80	舟谷友宏、 平田憲司、 高山 環、 長谷川光洋、 冬木 隆	NAIST	結晶系シリコン太陽電池に おけるドーパントプレカー サー制御によるレーザード ーピングプロセスの最適化	電子情報通信学会 シリコン材料・デバ イス研究会	無	2010
81	Hideki Nishimura, Kenji Hirata, Mitsuhiro Hasegawa, Takuya Katagiri and Takashi Fuyuki.	NAIST	IMPROVED ELECTRONIC PROPERTIES OF LASER DOPED EMITTERS BY REDUCING SURFACE ROUGHNESS	21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference	無	2011
82	Kenji Hirata, Hideki Nishimura, Takuya Katagiri, Sohichiroh Takamoto, Emi Sugimura, and Takashi Fuyuki.	NAIST	OPTIMIZATION OF SELECTIVE EMITTER PROFILES BY LASER DOPING IN CRYSTALLINE SILICON SOLAR CELLS	21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference	無	2011
83	Takuya Katagiri, Tomohiro Funatani, Kenji Hirata, Hideki Nishimura and Takashi Fuyuki.	NAIST	Investigation of Precursor Layer for Laser Doping Technique in Crystalline Silicon Solar Cell.	26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition	無	2011
84	Kenji Hirata, Tamaki Takayama, Mitsuhiro Hasegawa,	NAIST	Optimization of Selective Emitter Formation using Laser Doping in Crystalline Silicon Solar Cell	26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition	無	2011

	Tomohiro Funatani, and Takashi Fuyuki.					
85	Hideki Nishimura, Kenji Hirata, Mitsuhiro Hasegawa, Tomohiro Funatani, Tamaki Takayama, and Takashi Fuyuki.	NAIST	Improvement of multi-crystalline silicon solar cell fabricated by Laser Doping Technique Using Continuous Wave Laser	37th IEEE Photovoltaic Specialist Conference	無	2011
86	Mitsuhiro Hasegawa, Kenji Hirata, Takashi Saitoh, Tamaki Takayama, Tomohiro Funatani, Emi Sugimura, Shinichiro Tsujii, Ayumi Tani, Takashi Fuyuki	NAIST	Laser Doping Technique using Continuous Wave Laser in Multi-crystalline Silicon Solar Cell Process.	35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference	無	2010
87	Takashi Saitoh, Kenji Hirata, Tamaki Takayama, Mitsuhiro Hasegawa, Tomohiro Funatani, Emi Sugimura, Takashi Fuyuki	NAIST	Laser doping for several types of emitter layer.	RENEWABLE ENERGY 2010	無	2010

88	Kenji Hirata, Takashi Saitoh, Tamaki Takayama, Mitsuhiro Hasegawa, Tomohiro Funatani, Takashi Fuyuki	NAIST	Selective Emitter Formation in Crystalline Silicon Solar Cell by Laser Doping at Room Temperature.	5th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion	無	2010
89	Kenji Hirata, Tamaki Takayama, Tomohiro Funatani, Mitsuhiro Hasegawa, Takashi Fuyuki	NAIST	Application of Laser Doping to Form Selective Emitter in Silicon Solar Cells	2010 MRS Fall Meeting	無	2010
90	H. Hashiguchi, T. Tachibana, M. Aoki, T. Kojima, Y. Ohshita, and A. Ogura	明治大学、 豊田工業 大学	Ion Shower Doping for Emitter Fabrication in Crystalline Si Solar Cells	38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (38th IEEE PVSC),	有	2012
91	N. Miyazaki, Y. Tsuchiya, T. Sameshima, T. Tachibana, T. Kojima, Y. Ohshita, K. Arafune and A. Ogura	明治大学、 豊田工業 大学、 兵庫県立 大学	Behaviors of Fe and Ni at Crystal Defects in Multi-crystalline Silicon by Intentional Contamination and Phosphorus Gettering	38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (38th IEEE PVSC),	有	2012
92	Y. Tsuchiya, H. Kusunoki, N. Miyazaki, T. Sameshima, T. Tachibana, T. Kojima,	明治大学、 豊田工業 大学、兵庫 県立大学、 神奈川県 産業技術	Correlation between Carbon Incorporation and Defect Formation in Quasi-Single Crystalline Silicon	38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (38th IEEE PVSC),	有	2012

	K. Arafune, Y. Ohshita, H. Ono, and A. Ogura	センター				
93	T. Tachibana, T. Sameshima, T. Kojima, K. Arafune, K. Kakimoto, Y. Miyamura, H. Harada, T. Sekiguchi, Y. Ohshita, and A. Ogura	明治大学、 豊田工業 大学、兵庫 県立大学、 NIMS、九 州大学	Evaluation of defects generation in crystalline silicon ingot grown by cast technique with seed crystal for solar cells	J. Appl. Phys. 111, (2012) 074505	有	2012
94	T. Sameshima, N. Miyazaki, Y. Tsuchiya, H. Hashiguchi, T. Tachibana, T. Kojima1, Y. Ohshita, K. Arafune, and A. Ogura	明治大学、 豊田工業 大学、兵庫 県立大学	Interaction between Metal Impurities and Small-Angle Grain Boundaries on Recombination Properties in Multicrystalline Silicon for Solar Cells	Applied Physics Express 5 (2012) 042301	有	2012
95	T. Tachibana, T. Sameshima, T. Kojima, K. Arafune, K. Kakimoto, Y. Miyamura, H. Harada, T. Sekiguchi, Y. Ohshita, and A. Ogura	明治大学、 豊田工業 大学、兵庫 県立大学、 NIMS、九 州大学	Impact of Light-Element Impurities on Crystalline Defect Generation in Silicon Wafer	Japanese Journal of Applied Physics 51 (2012) 02BP08	有	2012
96	宮崎直人、 土屋佑樹、 鮫島 崇、 立花福久、 小島拓人、 大下祥雄、	明治大学、 豊田工業 大学、兵庫 県立大学	強制汚染およびリングエッタ リングによる多結晶 Si 中の 鉄およびニッケルの挙動	2012 年春季第 59 回 応用物理学関係連合 講演会(17p-B10-14)	無	2011

	新船幸二、 小椋厚志					
97	楠木宏毅、 立花福久、 小島拓人、 大下祥雄、 小椋厚志、 小野春彦	明治大学、 神奈川県 産業技術 センター、 豊田工業 大学	シードキャスト法における 種結晶シリコンからの酸素 不純物の混入	2012 年春季第 59 回 応用物理学関係連合 講演会(17p-B10-6)	無	2011
98	立花福久、 楠木宏毅、 土屋佑樹、 鮫島崇、 小島拓人、 新船幸二、 柿本浩一、 宮村佳児、 原田博文、 関口隆史、 大下祥雄、 小野春彦、 小椋厚志	明治大学、 神奈川県 産業技術 センター、 豊田工業 大学、 兵庫県立 大学、 NIMS、 九州大学	疑似単結晶シリコン中の軽 元素不純物が結晶欠陥に与 える影響	2012 年春季第 59 回 応用物理学関係連合 講演会(17p-B10-5)	無	2011
99	T. Sameshima, N. Miyazaki, Y. Tsuchiya, T. Tachibana, Y. Ohshita, K. Arafune, and A. Ogura	明治大学、 豊田工業 大学、兵庫 県立大学	GETTERING EFFECT ON RECOMBINATION PROPERTIES AT INTRA-GRAIN DEFECTS IN MULTICRYSTALLINE SILICON	21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-21), 2D-1P-08	無	2011
100	T. Tachibana, T. Sameshima, T. Kojima, K. Arafune, K. Kakimoto, Y. Miyamura, H. Harada, T. Sekiguchi, Y. Ohshita, and A. Ogura	明治大学、 豊田工業 大学、兵庫 県立大学、 NIMS、九 州大学	STUDY OF CRYSTALLINE DEFECT GENERATION CAUSED BY LIGHT ELEMENT IMPURITIES IN SILICON SUBSTRATE	21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-21), 2D-1P-15	無	2011
101	T. Sameshima,	明治大学、	Impacts of Metal	220th Electrochemical	無	2011

	Y. Tsuchiya, N. Miyazaki, T. Tachibana, Y. Ohshita, K. Arafune, and A. Ogura	豊田工業 大学、兵庫 県立大学	Impurities on Recombination Properties at Small Angle Grain Boundaries in Multicrystalline Silicon for Solar Cells	Society (ECS) Meeting, Abstract #1988		
102	T. Sameshima, Y. Tsuchiya, N. Miyazaki, T. Tachibana, Y. Ohshita, K. Arafune, and A. Ogura	明治大学、 豊田工業 大学、兵庫 県立大学	Impacts of Metal Impurities on Recombination Properties at Small Angle Grain Boundaries in Multicrystalline Silicon for Solar Cells	ECS Transactions 41 (4), pp29-36, 2011	有	2011
103	T. Tachibana, T. Sameshima, T. Kojima, K. Arafune, K. Kakimoto, Y. Miyamura, H. Harada, T. Sekiguchi, Y. Ohshita, and A. Ogura	明治大学、 豊田工業 大学、兵庫 県立大学、 NIMS、九 州大学	Impact of Light-Element Impurities on Crystalline Defect Generation in Silicon Wafer	2011 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2011), L-9-3	無	2011
104	T. Sameshima, N. Miyazaki, Y. Tsuchiya, T. Tachibana, Y. Ohshita, K. Arafune, and A. Ogura	明治大学、 豊田工業 大学、兵庫 県立大学	EBIC Study on Metal Contamination at Intra Grain Defects in Multicrystalline Silicon for Solar Cells	14th International Conference on Defects - Recognition, Imaging and Physics in Semiconductors (DRIP XIV), PM-10	無	2011
105	T. Tachibana, T. Sameshima, T. Kojima, K. Arafune, K. Kakimoto, Y. Miyamura, H. Harada, T. Sekiguchi,	明治大学、 豊田工業 大学、兵庫 県立大学、 NIMS、九 州大学	Evaluation of Silicon Substrate Fabricated by Seeding Cast Technique	14th International Conference on Defects - Recognition, Imaging and Physics in Semiconductors (DRIP XIV),	無	2011

	Y. Ohshita, and A. Ogura			B-3		
106	T. Tachibana, T. Sameshima, N. Miyazaki, T. Kojima, K. Arafune, K. Kakimoto, Y. Miyamura, H. Harada, T. Sekiguchi, Y. Ohshita, and A. Ogura	明治大学、 豊田工業 大学、兵庫 県立大学、 NIMS、九 州大学	Evaluation of Crystalline Defects in Silicon Ingots Fabricated by Seeding Cast Growth	26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (26th EU PVSEC), 2BV.4.39	無	2011
107	宮崎直人、土 屋佑樹、鮫 島崇、立花福久、 大下祥雄、新 船幸二、小椋 厚志	明治大学、 豊田工業 大学、兵庫 県立大学	アルミゲッターリングによる 太陽電池用多結晶 Si 中の結 晶粒界での少数キャリア再 結合の挙動	2011 年秋季第 72 回 応用物理学会学術講 演会(1p-ZH-13)	無	2011
108	立花福久、鮫 島崇、小島拓 人、新船幸二、宮 柿本浩一、宮 村佳児、原田 博文、関口隆 史、大下祥雄、 小椋厚志	明治大学、 豊田工業 大学、兵庫 県立大学、 NIMS、九 州大学	種結晶を用いて作製したシ リコン基板中の結晶欠陥に 関する評価(2)	2011 年秋季第 72 回 応用物理学会学術講 演会(1p-ZH-10)	無	2011
109	鮫島崇、土屋 佑樹、宮崎直 人、立花福久、 大下祥雄、新 船幸二、小椋 厚志	明治大学、 豊田工業 大学、兵庫 県立大学	太陽電池用多結晶 Si 中の小 角粒界における金属不純物 が少数キャリア再結合に与 える影響	2011 年秋季第 72 回 応用物理学会学術講 演会(1p-ZH-7)	無	2011
110	T. Tachibana, T. Sameshima, Y. Ohshita, K. Arafune, And A. Ogura	明治大学、 豊田工業 大学、兵庫 県立大学	Influence of high temperature annealing on electrical activity at small angle grain boundaries in multi-crystalline silicon for solar cells	Proceedings of the Forum on the Science and Technology of Silicon Materials 2010, pp. 383-387	無	2010

111	立花福久、鮫島崇、小島拓人、新船幸二、柿本浩一、宮村佳児、原田博文、関口隆史、大下祥雄、小椋厚志	明治大学、豊田工業大学、兵庫県立大学、NIMS、九州大学	種結晶を用いて一方向凝固法で作製したシリコン基板の評価	2010 年第 58 回応用物理学関係連合講演会 (27a-BL-2)	無	2010
112	田島道夫、岩田恭彰、岡山太、豊田裕之、関口隆史、小野寺尚志	明治大学、JAXA 宇宙研、物材研	Deep-Level Photoluminescence Due to Dislocations and Oxygen Precipitates in Multicrystalline Si	J. Appl. Phys. 111(11) 113523-1 ~6	有	2012
113	岡山 太、田島道夫、豊田裕之、小椋厚志	明治大学、JAXA 宇宙研	High-speed Deep-level Luminescence Imaging in Multicrystalline Si Solar Cells	Mater. Sci. Forum, Vol. 725 (印刷中)	有	2012
114	田島道夫	明治大学、JAXA 宇宙研	Photoluminescence techniques for materials characterization: From electronic to photovoltaic Si	Abstracts of E-MRS 2012 Spring Meeting, Symposium A, No. 5-1 (口頭; 招待講演)	無	2012
115	田島道夫、小松賢司、岩田恭彰、岡山太、豊田裕之	明治大学、JAXA 宇宙研	Photoluminescence Analysis of Oxygen Precipitation around Small-Angle Grain Boundaries in Multicrystalline Silicon	Technical Digest of 21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-21) No. 2A-10-03	無	2011
116	岡山太、田島道夫、豊田裕之、小椋厚志	明治大学、JAXA 宇宙研	多結晶 Si セルにおける深い準位の高速フォトルミネッセンス分光イメージング法	第59回応用物理学会関係連合講演会予稿集, p. 16-083	無	2012
117	田中香次、田島道夫、小椋厚志、Sébastien Dubois, Jordi Veirman	明治大学、JAXA 宇宙研、CEA-INES	PL による太陽電池用高補償比 Si 結晶のドナー・アクセプタ不純物定量	第59回応用物理学会関係連合講演会予稿集, p. 16-081	無	2012
118	Michio Tajima,	明治大学、JAXA 宇宙	Towards the Quantification of Donor, Acceptor and	5th International Workshop on Science an	無	2011

	Takaaki Iwai, Kenji Komatsu, Koji Tanaka and Hiroyuki Toyota	研	Light-Element Impurities in Solar-Grade Si by Photoluminescence	d Technology of Crystalline Si Solar Cells (CSSC-5) (口頭；招待講演)		
119	Michio Tajima, Takaaki Iwai, Yasuaki Iwata, Futoshi Okayama, Koji Tanaka and Hiroyuki Toyota	明治大学、JAXA 宇宙研	Impurity and Defect Analysis in Solar Cell Si by Photoluminescence Spectroscopy and Topography	MRS Workshop on Photovoltaic Materials and Manufacturing Issues II (口頭；招待講演)	無	2011
120	田島道夫、岩井隆晃、豊田裕之、S.ビネッティ、D.マクドナルド	明治大学、JAXA 宇宙研	Donor-Acceptor Pair Luminescence in Compensated Si for Solar Cells	J. Appl. Phys. 110(4) 043506-1 ~5	有	2011
121	Futoshi Okayama, Yasuaki Iwata, Michio Tajima, Yoshio Ohshita and Atushi Ogura	明治大学、JAXA 宇宙研	Deep-Level Photoluminescence Analysis at Room Temperature in Small-Angle Grain Boundaries in Multicrystalline Silicon	Proceedings of the Forum on the Science and Technology of Silicon Materials 2010, pp. 388-393	無	2010
122	Takaaki Iwai, Michio Tajima and Atushi Ogura	明治大学、JAXA 宇宙研	Photoluminescence analysis of high concentrations of donor and acceptor impurities in Si	Proceedings of the Forum on the Science and Technology of Silicon Materials 2010, pp. 394-400	無	2010
123	岡山太、岩田恭彰、田島道夫、大下祥雄、小椋厚志	明治大学、JAXA 宇宙研	多結晶 Si における小角粒界近傍の深い準位の室温フォトルミネッセンス解析	2011 年春季 第 58 回 応用物理学関係連合講演会講演予稿集、p. 16-085	無	2010
124	岩井隆晃、田島道夫、小椋	明治大学、JAXA 宇宙研	フォトルミネッセンスによる低純度太陽電池用 Si の不	2011 年春季 第 58 回 応用物理学関係連合	無	2010

	厚志	研	純物評価	講演会講演予稿集、 p. 15-327		
125	T. Kojima、 M. Aoki、 N. Kojima、 Y. Ohshita、 M. Yamaguchi	TOYOTA TECHNOL OGICAL INSTITUT E	Annealing Effects on Recombination Activity of Nickel AND Copper at (110)/ (100) Direct Silicon Bonded Interface	21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-21)	無	2011
126	小島拓人、 大下祥雄、 青木真理、 小島信晃、 山口真史	豊田工業 大学	太陽電池材料開発の現状と 課題（多結晶シリコン・キャ スト単結晶シリコン）	SPring-8 コンファレンス 2011	無	2011
127	T. Kojima、 M. Aoki、 N. Kojima、 Y. Ohshita、 M. Yamaguchi	TOYOTA TECHNOL OGICAL INSTITUT E	Impact of Metal Impurities on Recombination Activity of (110)/ (100) Direct Silicon Bonded Interface	14th International Conference on Defects-Recognition, Imaging and Physics in Semiconductors (DRIP-XIV)	無	2011
128	小島拓人、 青木真理、 小島信晃、 大下祥雄、 山口真史	豊田工業 大学	シリコン直接接合界面の電 気的特性に対する Ni 汚染の 影響（2）	第 72 回応用物理学 会 学術講演会（2011 年秋季）	無	2011
129	T. Kojima、 M. Aoki、 N. Kojima、 Y. Ohshita、 M. Yamaguchi	TOYOTA TECHNOL OGICAL INSTITUT E	Annealing Effects on Recombination Activity of Nickel at (110)/(100) Direct Silicon Bonded Interface	21st Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells & Modules: Materials and Processes	無	2011
130	小島拓人、 青木真理、 小島信晃、 大下祥雄、 山口真史	豊田工業 大学	(110)/(100)シリコン直接 接合界面のキャリア再結合 に対する金属不純物の影響	第 8 回次世代の太陽 光発電システムシン ポジウム	無	2011
131	上甲朋広、 小島拓人、 小島信晃、 大下祥雄、 山口真史	豊田工業 大学	多結晶シリコン中の結晶粒 界構造に対する遷移金属不 純物の影響	第 8 回次世代の太陽 光発電システムシン ポジウム	無	2011

132	T. Kojima、 M. Aoki、 N. Kojima、 Y. Ohshita	TOYOTA TECHNOL OGICAL INSTITUT E	EFFECTS OF Ni AND Cu ON RECOMBINATION ACTIVITY OF (110)/ (100) DSB INTERFACE	Proceedings of the 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 1489-1491	無	2011
133	大下祥雄	豊田工業 大学	結晶シリコン太陽電池の現 状と課題	応用電子物性分科会 研究例会 結晶シリ コン太陽電池の最前 線	無	2011
134	大下祥雄	豊田工業 大学	結晶シリコン系太陽電池	PVJapan2011 SEMI Tutorial 「太陽光発電技術」	無	2011
135	大下祥雄	豊田工業 大学	太陽電池材料開発の現状と 課題（基調講演）	SPrig-8 コンファレンス 2011	無	2011
136	大下祥雄	豊田工業 大学	シリコン太陽電池の基礎と 将来の展望	「九州地域環境・ エネルギー成長産業 振興 ・発展対策活動事業」 平成 23 年度第 1 回新 事業創出セミナー 「太陽光発電セミナー」	無	2011
137	大下祥雄	豊田工業 大学	結晶シリコン太陽電池の研 究開発動向と将来展望	第 72 回応用物理学 会 学術講演会 (2011 年秋季)	無	2011
138	大下祥雄	豊田工業 大学	ドーピング不純物や金属不 純物が少数キャリア寿命に 与える影響	第 72 回応用物理学 会 学術講演会 (2011 年秋季)	無	2011
139	大下祥雄	豊田工業 大学	結晶シリコン太陽電池研究 開発：オールジャパン	第 8 回次世代の太陽 光発電システムシン ポジウム	無	2011
140	大下祥雄	豊田工業 大学	企画の意図 極限シリコン 結晶太陽電池の実現に向け て	2011 春季 第 58 回 応用物理学関係連合 講演会	無	2011
141	大下祥雄	豊田工業 大学	ドーピング不純物や金属不 純物が少数キャリア寿命に 与える影響	2011 春季 第 58 回 応用物理学関係連合 講演会	無	2011

142	小島拓人, 青木真理, 大下祥雄, 小島信晃, 山口真史	豊田工業大学	(110)/(100)シリコン直接接合界面の再結合特性に対する Ni および Cu の影響	2011 春季 第 58 回 応用物理学関係連合講演会	無	2011
143	小島拓人	豊田工業大学	(110)/(100)シリコン接合界面の電気的特性に対する Ni 汚染の影響	シリコン材料の科学と技術フォーラム 2010	無	2010

受賞実績

<東北大学>

受賞者：Noritaka Usami

タイトル：Best Poster Award

受賞内容：The 38th IEEE Photovoltaic Specialist Conference の Area 4 Crystalline Silicon の最優秀ポスター（約 140 件中の最優秀）

授賞団体：IEEE Photovoltaic Specialist Conference Program Committee

受賞年月日：2012 年 6 月 7 日

<京都大学>

受賞者：Kentaro Kutsukake

タイトル：Young Researcher Paper Award

受賞内容：『Study of dislocation generation during two-dimensional growth of multicrystalline silicon』

受賞団体：21th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-21)

受賞年月日：2011 年 12 月 2 日

受賞者：杳掛健太朗

タイトル：イノベイティブ P V 奨励賞

受賞内容：『多結晶シリコンのインゴット成長過程における転位形成機構』

受賞団体：第 8 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム)

受賞年月日：2011 年 7 月 1 日

受賞者：Kazuo Nakajima

タイトル：CGCT Distinguished Engineer Award 2011

受賞内容：『The development of the dendritic casting method of silicon multi-crystal growth for the Production of high-efficiency, large-scale solar cells』

受賞団体：The 5th Asian Conference on Crystal Growth and Crystal Technology (CGCT-5)

受賞年月日：2011 年 6 月 29 日

<AIST>

受賞者 徳久英雄、吉田学、伊東宇一、鎌田俊英、住田勲勇、関根重信

受賞タイトル Best Poster Award

受賞内容 GLASS-FRITLESS CU ALLOY PASTES FOR SILICON SOLAR CELLS REQUIRING LOW TEMPERATURE SINTERING

受賞団体 IEEE electron devices society

受賞年月日 2011 年 6 月 21 日

<明治大学>

受賞者：岡山太

受賞のタイトル：シリコン材料の科学と技術フォーラム Young Researcher Poster Award

受賞内容：「Deep-Level Photoluminescence Analysis at Room Temperature in Small-Angle Grain Boundaries in Multicrystalline Silicon」の講演に対して

受賞団体・機関：シリコン材料の科学と技術フォーラム実行委員会

受賞年月日：2010年11月16日

<NIMS>

受賞者：Karolin Jiptner

受賞のタイトル：International Conference on Defect Recognition, Imaging and Physics of Semiconductors (DRIP-XIV) Young Scientist Award

受賞内容：「Effect of Si₃N₄ coating on stress distribution and fracture of cast-Si ingots」の講演に対して

受賞団体・機関：DRIPIXV 組織委員会

受賞年月日：2010年9月28日

<九州大学>

受賞者 高 冰

受賞タイトル 日本結晶成長学会第八回奨励賞

受賞内容 「結晶シリコン中の不純物制御に関する基礎研究」、

受賞団体・機関：日本結晶成長学会

受賞年月日：2010年8月8日

B マルチワイヤーソーによるシリコンウエハ切断技術の研究開発

表Ⅲ-2-(イ)-B-1[1] 研究開発毎の成果・達成度

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
カーフロス 120 μ m未 満	<120 μ m	○	なし
ダメージ層 5 μ m以下	\leq 5 μ m	○	なし
表面粗さ 0.5 μ m以下	Ra : 0.5~1.0 μ m	△ (平成 24 年 11 月達成予定)	新規装置の導入とサイ クル数の最適化で 達成予定
ウエハ厚さ 130 μ m	131 μ m	○	なし
切断速度 0.3 mm/min 以上	0.2mm/min	△ (平成 24 年 11 月達成予定)	新規装置の導入と加 工油、フィード同期 の最適化で達成予定
洗浄の簡便化	純水洗浄にてセル評 価を実施	○	なし
エッチング時間の短縮 あるいは省略に目処	浅いテクスチャで達 成可能	○	なし
125 角 x0.2mm 単結晶 ウエハを試作してセル 評価を実施	R ワイヤ方式による 変換効率低下要因の 無いことを確認	○	なし

◎：大幅達成、○：達成、△：達成見込み、×：未達成

表Ⅲ-2-(イ)-B-1[2] 特許、論文、外部発表等の件数（内訳）

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

1. 成果詳細

(1) 中間目標と達成状況

最重要項目の低カーフロスと低ダメージを同時に達成することができた。ダメージ層 5 μ m 以下は他に例を見ない画期的な成果であり、セルメーカーが浅いテクスチャ技術（後述）を本格的に開発を開始するきっかけとなった。今後の太陽電池の高性能化と

コストダウンが期待されている。

表面粗さおよび切断速度は新規導入のマルチワイヤーソー（後述）を待つ平成 24 年 11 月までに達成する予定である。表面粗さはサイクル数の最適化、切断速度は低粘度加工油とフィード同期の最適化により達成する。

(2) 他のスライス方式に比較した R ワイヤ技術の特徴

R ワイヤは一般的にソーワイヤに用いられる鋼線に樹脂をコーティングしたソーワイヤである。R ワイヤの一例を図 III-2-(イ)-B-1[1]に示す。この R ワイヤとダイヤモンド遊離砥粒と組み合わせてシリコンインゴットをスライスすることにより、これまでのスライス方式では実現できなかった低カーフロスと低ダメージを同時に実現することが初めて可能となり、結晶太陽電池の高性能化と大幅なコストダウンに結びつくものと期待されている。R ワイヤ方式の開発を行っている機関は世界的に見ても他に存在しない。

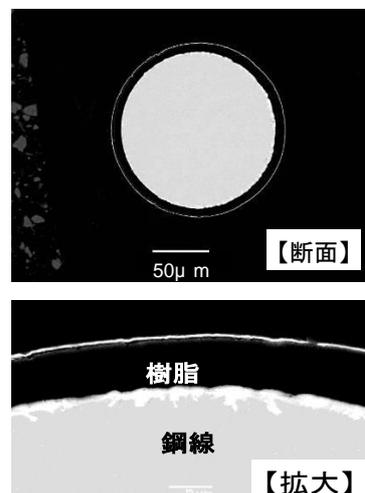


図 III-2-(イ)-B-1[1] R ワイヤ

図 III-2-(イ)-B-1[2]に各スライス方式でのシリコンウエハのダメージ層の観察結果を示す。一般的に遊離砥粒方式のダメージ層は 15 μm 程度、固定砥粒方式のダメージ層は 10 μm 程度あり、

これに対し R ワイヤのダメージ層は 5 μm 未満と大幅に浅くなっている。図 III-2-(イ)-B-1[3]に R ワイヤ方式のダメージ層観察において、ダメージを観察するためのエッチング前後における、転位のエッチ

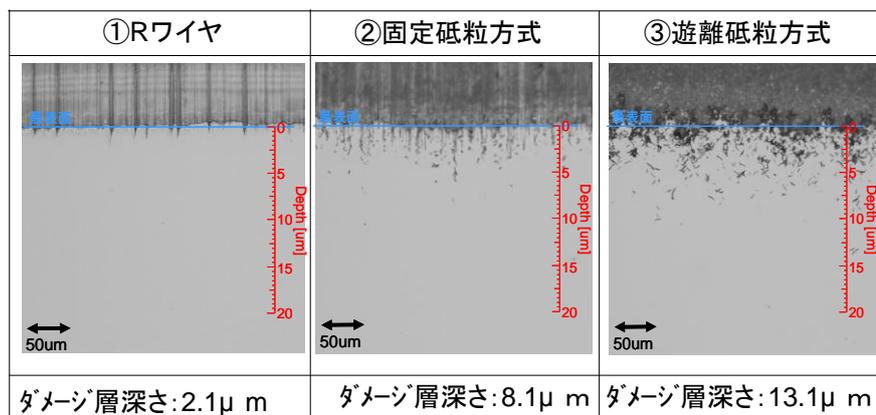


図 III-2-(イ)-B-1[2]各スライス方式のダメージ層深さ

ピット（ダメージ）の観察状況を示す。遊離砥粒方式、固定砥粒方式ではエッチピットの深さがダメージ層の深さを決めているのに対し、R ワイヤではエッチピットがほとんど観察されず、切断溝の深さがダメージ層深さを決めている。

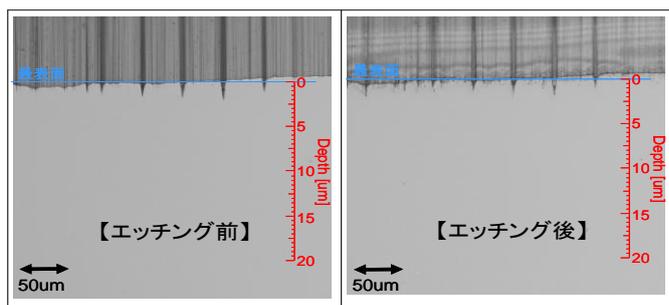


図 III-2-(イ)-B-1[3] R ワイヤウエハのエッチピット

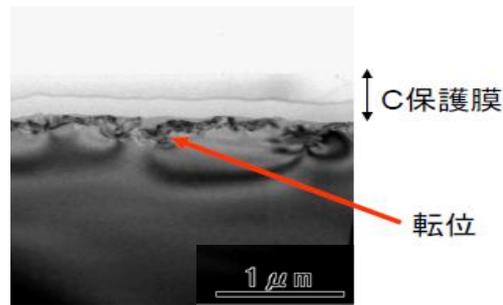


図 III-2-(イ)-B-1[4] TEM 観察結果

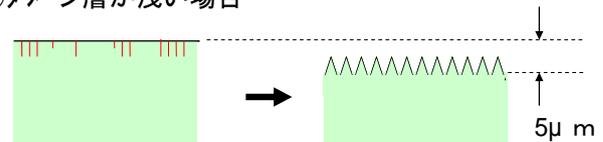
図Ⅲ2-(イ)-B-1[4]に R ワイヤウエハの TEM 観察結果を示す。ウエハ表面に転位は存在するものの、深さは $0.5\mu\text{m}$ 以下となっている。このように R ワイヤウエハでは、ウエハ表面の転位が存在する深さが他の切断方式に比較して圧倒的に浅く、遊離砥粒方式あるいは固定砥粒方式とは大きく異なる低ダメージのウエハとなっている。R ワイヤウエハではダメージ層深さは実質的に $0.5\mu\text{m}$ 以下となっていると結論でき、表面を $0.5\mu\text{m}$ 除去すれば、セル工程に流せるものと考えられる。

(3) 太陽電池製造工程における低ダメージのメリット

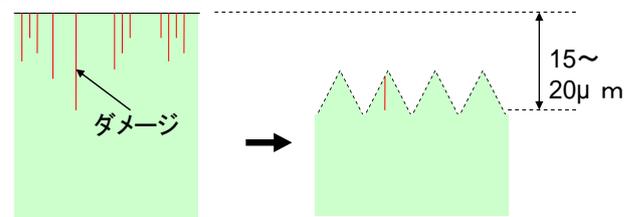
遊離砥粒方式あるいは固定砥粒方式でスライスされたウエハを用いて太陽電池を製造する際には、ダメージ層（転位）を除去するためウエハ表面を 15 から $20\mu\text{m}$ エッチングしてテクスチャを形成し、次のセル工程に流している。これに対し R ワイヤでは表面をほとんど除去することなく、例えば $5\mu\text{m}$ 以下の浅いテクスチャ形成でセル工程に進むことができる。ウエハ両面で 30 から $40\mu\text{m}$ のエッチング除去が不要となることは、R ワイヤウエハではスライス上がりで 20 から $30\mu\text{m}$ ウエハの厚みを薄くして、他のスライス方式と同じ厚みでセル工程に流すことができることを示している。結晶太陽電池ではウエハの厚みが薄くなるほど変換効率が低下することが知られており、セル工程前で同じ厚みのウエハをより薄いスライス上がりで得ることは、太陽電池の性能を落とさずにウエハコストの低減が可能となることを示している。ウエハのコストに占めるシリコンの比率は大きく、大きなコストダウン効果が期待される。

図Ⅲ-2-(イ)-B-1[5]にこの差異を模式的に示す。テクスチャは細かいほど光の散乱効果が大きく、太陽電池の変換効率の向上に繋がると言われている。15 から $20\mu\text{m}$ のエッチングではテクスチャは現状の $5\sim 10\mu\text{m}$ 程度より細かくすることが難しいと言われており、エッチング量の

①ダメージ層が浅い場合



②ダメージ層が深い場合



図Ⅲ-2-(イ)-B-1[5]エッチング除去量の比較

浅い R ワイヤウエハではより微細なテクスチャが形成できると期待されている。またウエハ表面に均一に存在する $0.5\mu\text{m}$ 深さの転位の存在が、これまでになく微細でかつ均一なテクスチャの形成に繋がることも期待される。今後の浅く均一なテクスチャ技術の確立により、変換効率の向上が図れるものと期待される。

(4) マルチワイヤーソーの導入と 0.12mm 素線 R ワイヤによる切断実験の開始

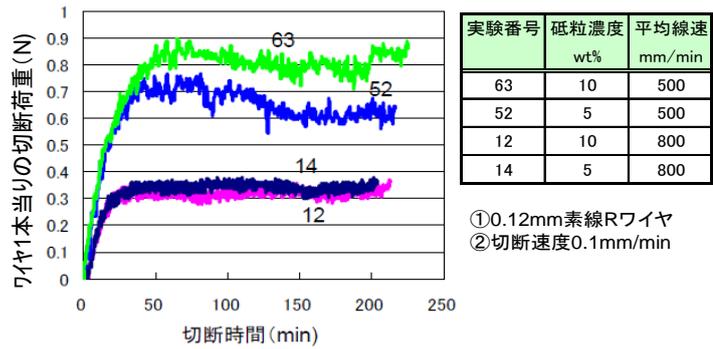
平成 23 年 4 月に、遊離砥粒用マルチワイヤーソーを R ワイヤ用に改装した装置を設置し、切断実験を開始した。プロジェクト開始前の金沢工業大学における事前の検討で、R ワイヤでは線速が切断性に大きな影響を及ぼすことが予想されていたため、線速は $1200\text{m}/\text{min}$ の高線速仕様とした。また切断実験中にシリコンに負荷される荷重を測定するため、ロードセルを設置した特別仕様とした。

図Ⅲ-2-(イ)-B-1[6]に線速と切断荷重との関係を示す。線速が早いほど切断荷重は低く、また一定値で安定しており、当初見込み通り高線速で切断性が大幅に改善している。

装置立ち上げより1年間は、事前検討で使用していた0.12mm素線Rワイヤ

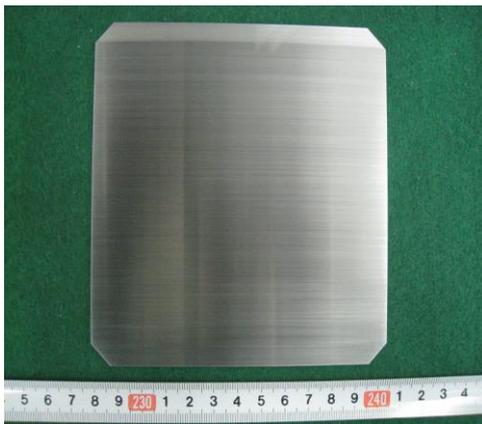
(樹脂を含めたワイヤ外径は

0.13mm)を中心に実験を行い、表Ⅲ-2-(イ)-B-1[3]に示す成果を得るに至った。切断実験には、幅60x高さ20x長さ50mm、おび幅120x高さ20x長さ50mmのシリコンインゴットを使用している。また平行して125角単結晶シリコンインゴットの切断にも挑戦し、図Ⅲ-2-(イ)-B-1[7]および表Ⅲ-2-(イ)-B-1[4]に示す125角x0.18mmウエハを得るに至っている。この125mm角ウエハはセルメーカーに提供し、セル評価が開始されている。



図Ⅲ-2-(イ)-B-1[6]線速の効果

表Ⅲ-2-(イ)-B-1[3]中間目標の達成度



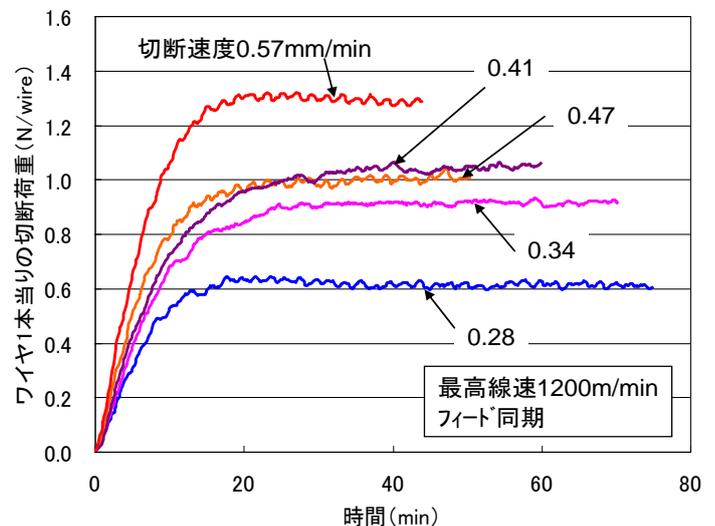
図Ⅲ-2-(イ)-B-1[7]125mm角ウエハ

中間目標	達成度	
	0.12mm素線	0.1mm素線
①カーフロス<120μm	<140μm	○
②ダメージ層≤5μm	○	○
③Ra≤0.5μm	○	△
④ウエハ厚さ130μm	180μm	○
⑤切断速度≥0.3mm/min	◎ 0.57mm/min	△

表Ⅲ-2-(イ)-B-1[4]125角x0.18mmウエハの性状

実験番号	ウエハ厚さ μm	カーフロス μm	表面粗さ Ra:μm	ダメージ層 μm	TTV μm	反り Wt:μm
S130	183	137	0.4	4.2	20	29

Rワイヤ方式では図Ⅲ-2-(イ)-B-1[6]に示すごとく線速が早いほど切断性が向上する。このため最高線速に達したときのみシリコンインゴットを動かして切断を行うフィード同期を用いた切断実験を24年7月より開始し、切断速度0.57mm/minを達成するに至っている。最高線速を1200m/minに設定し、徐々に切断速度を上げた切断実験の結果を図Ⅲ-2-(イ)-B-1[8]に示す。切断速度0.57mm/minにて安定した切断荷重が得られている。



図Ⅲ-2-(イ)-B-1[8] 切断速度

(5) 0.1mm 素線 R ワイヤによる切断実験

カーフロス 120 μ 未満は 0.1mm 素線 R ワイヤを用いて初めて可能となる。このため 0.1mm 素線 R ワイヤ（樹脂を含めたワイヤ外径は 0.11mm）を用いた切断実験を平成 24 年 4 月より開始した。残念ながら現行のマルチワイヤーソーは 0.1mm 素線 R ワイヤで幅 120mm ウェハを切断する際に断線が頻発するため、切断条件を緩くして実験を行っている。このため表面粗さと切断速度が中間目標に届いていない。現在細線対応可能な新規のマルチワイヤーソーの設置（後述）を予定しており、この装置により 0.1mm 素線 R ワイヤで中間目標を全て達成できる見込みである。

表Ⅲ-2-(イ)-B-1[5]に示す S131 から 133 の 3 実験ではサイクル数を 0.5 回/min に設定している。サイクル数を下げると表面粗さが粗くなることが避けがたく、このため S131 から S133 ではカーフロス、ダメージ層は目標値を達成しているものの、表面粗さは目標値を満足していない。S95、96 は同じく 0.1mm 素線 R ワイヤで幅 60mm ウェハを切断した結果で、負荷が軽いためサイクル数を 2.5 回/min としており、カーフロス、ダメージ層と共に表面粗さも目標値を満足している。

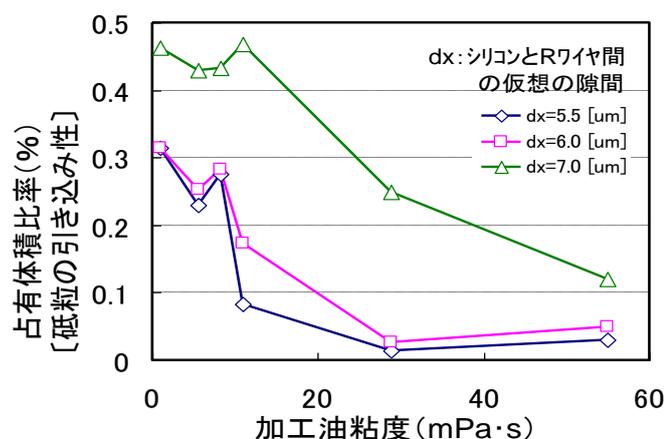
切断速度は現状の緩い切断条件にて 0.2mm/min を達成している。今後は新規のマルチワイヤーソーを用い、低粘度加工油（後述）とフィード同期条件の最適化により中間目標の 0.3mm/min を達成する計画である。

表Ⅲ-2-(イ)-B-1[5] 0.1mm 素線 R ワイヤでの中間目標の達成状況

実験番号	ワイヤピッチ μm	ウェハ厚み μm	カーフロス μm	ダメージ層 μm	表面粗さ Ra: μm	Si ⁺ ロック幅 mm	サイクル数 回/min	切断速度 mm/min
S131	250	132	118	4.5	0.7	120	0.5	0.1
S132	250	135	115	4.0	1.0	120	0.5	0.2
S133	250	131	119	3.0	0.5	120	0.5	0.1
S94	1000	886	114	2.8	0.4	60	2.5	0.1
S95	1000	886	114	4.9	0.4	60	2.5	0.1

(6) 砥粒挙動の数値解析と低粘度加工油の検討

R ワイヤでは砥粒の挙動が切断性に決定的な影響を及ぼすものと予想していたため、数値シミュレーションによる砥粒挙動の解析に注力してきた。R ワイヤでは加工油を変えると切断性が大きく変化する。このため加工油の粘性に着目し、粘性と砥粒の挙動の関係を詳しく解析した。その結果を図Ⅲ-2-(イ)-B-1[9]に示す。



図Ⅲ-2-(イ)-B-1[9]加工油粘度解析結果

加工油の粘性を下げるほど砥粒の引き込み性（図中では砥粒の占有体積比率）が上がるという解析結果となった。このため粘度の異なる 15 種類の加工油を試作して切断実験を実施した。この中で粘度 1 mPa·s の加工油で最も良好な結果が得られ、数値解析

の有効性が確かめられた。

図Ⅲ-2-(イ)-B-1[10]に現在標準加工油として使用している加工油（K29、粘度29mPa・s）と粘度1mPa・sの加工油（K1）を用いて0.12mm素線Rワイヤにて切断実験を実施した結果を示す。切断速度0.1mm/minではK29、K1ともに同程度の切断荷重となっており切断性に差は無いが、K29では砥粒濃度5wt%、K1では砥粒濃度1wt%となっている。すなわちK1では切断性が向上するため低い砥粒濃度で同じ切断性を得ることができることを示している。これは切断コストの大幅な低減に結びつくことになるため、今後低粘度を中心に加工油の最適化を図る計画である。

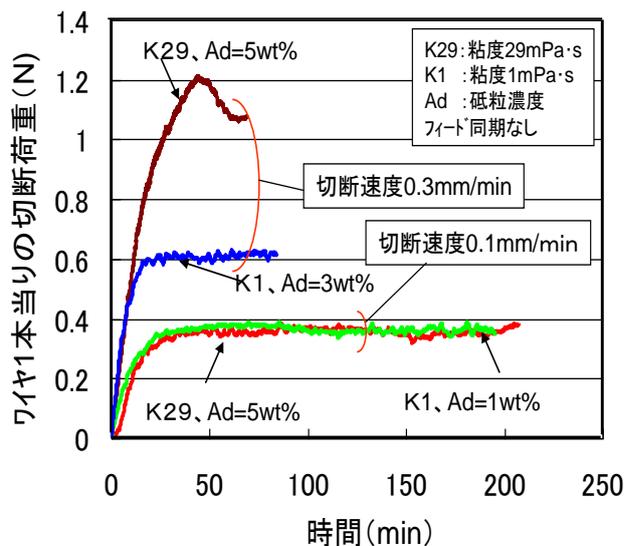
切断速度0.3mm/minでは、K29では切断荷重が安定せず、シリコンのフィード速度と砥粒がシリコンを研削する速度がバランスしていないが、K1では切断荷重が大幅に下がるとともに荷重が一定値となり、安定した切断が行えていることがわかる。低粘度加工油ではフィード同期無しで切断速度の改善が達成できており、今後加工油とフィード同期条件の最適化により、0.1mm素線Rワイヤによる切断速度0.3mm/minを達成する予定である。

K1は分散性、消泡性などに課題があり、このままで実用化することはできない。そのためさらなる加工油の最適化の検討を重ねている。

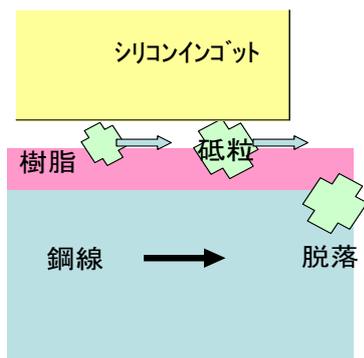
(7) 可視化実験とRワイヤ切断メカニズムの考察

Rワイヤでは図Ⅲ-2-(イ)-B-1[11]に示すごとく、砥粒がRワイヤの樹脂に抱えられ、鉋をかけるようにして砥粒がシリコンを研削していくものと考えている。砥粒はシリコンの端部に達するとRワイヤから脱落し、切断が完了したRワイヤには砥粒は残っていない。砥粒は加工油と混ぜて遊離砥粒スラリーとしてワイヤに掛けているが、切断は固定砥粒として進んでいるものと考えている。これを確認するために金沢工業大学の小型マルチワイヤーソーを使用し、ガラスを切断して砥粒を直接顕微鏡付の高速カメラで観察した。結果は予想通りで、Rワイヤでは砥粒は回転せずワイヤと同じ速度で進行していること、また鋼線では砥粒は回転しており進行速度はワイヤの進む速度に大きく遅れて進行していることを確認した。

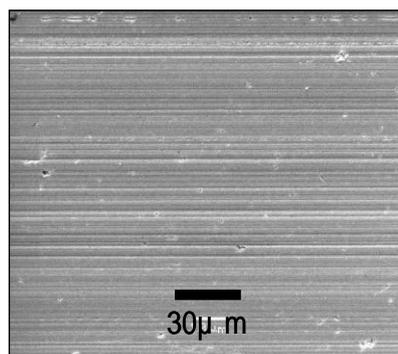
図Ⅲ-2-(イ)-B-1[12]に示すごとくRワイヤウエハの表面は微細な線状痕となっていること、また図Ⅲ-2-(イ)-B-1[13]に示すごとくシリコンの切粉がカールした線状の切粉となっていることから、図Ⅲ-2-(イ)-B-1[11]に示す切断メカニズムが正しいことが推察される。半固定砥粒方式と命名しており、多結晶インゴットの切断も可能なことを確認している。



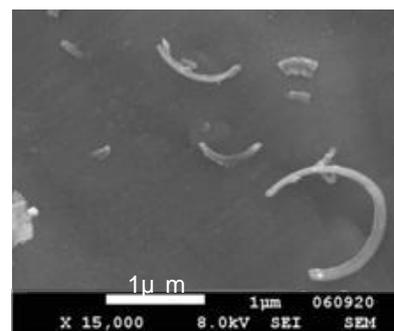
図Ⅲ-2-(イ)-B-1[10]低粘度加工油の効果



図Ⅲ-2-(イ)-B-1[11]
切断メカニズム



図Ⅲ-2-(イ)-B-1[12]
Rワイヤウエハの表面性状



図Ⅲ-2-(イ)-B-1[13]
シリコン切粉の性状

(8) セルメーカーでのRワイヤウエハの評価

平成23年9月より0.12mm素線Rワイヤを用いて125角x長さ50mmの単結晶インゴットの切断実験を開始した。ウエハ厚は当初0.86mmから徐々に薄い切断に移行し、平成24年1月には0.22mm、5月には実用厚みである0.18mmウエハを得るに至った。得られたウエハはセルメーカーに提供し太陽電池セルを試作して評価を受けている。また豊田工業大学にも125角x0.18mmウエハを提供し、セル評価を実施している。

これまでの評価で、Rワイヤウエハのダメージ層はセルメーカーがこれまで評価したウエハの中で最も浅いこと、ウエハの均一性に問題のないこと、テクスチャは均一に形成され問題のないこと、および変換効率もリファレンスに比較して遜色のないことが確認された。今後はRワイヤの低ダメージのメリットを最大限追及するため、浅く微細なテクスチャを形成する技術の開発を行い、変換効率の向上と大幅なコストダウンを達成する計画である。

(9) 新規マルチワイヤソーの導入と最終目標の達成

現在切断実験に使用しているマルチワイヤソーは、遊離砥粒用の装置を改装しており、Rワイヤの切断実験を行う中で改善したい点がいくつか出てきている。特に0.1mm素線Rワイヤの断線が切断実験の障害となっており、当初の予定より緩い切断条件にて切断実験を実施している。このため新規に図Ⅲ-2-(イ)-B-1[14]に示す固定砥粒用の装置を改装した新規の装置の導入を計画している。

0.08mm素線Rワイヤが使用できる

装置とし、カーブロス100μm以下を新たな目標に設定し開発を実施したい。

【現有の装置】

- ①遊離砥粒装置をベースにRワイヤ用に改装した実験機
 - ・最高線速:1200/min
 - ・インゴット長さ:50mm
 - ・切断荷重測定用ロードセル設置



【新規導入装置】

- ②固定砥粒装置をベースにRワイヤ用に改造した半量産機
 - ・最高線速:1300m/min以上
 - ・インゴット長さ:300mm以上

図Ⅲ-2-(イ)-B-1[14]新規導入装置の特徴

このマルチワイヤーソーの導入で中間目標のみならず、表Ⅲ-2-(イ)-B-1[6]に示す最終目標の達成が可能となるものと考えている。最終目標の達成には新規装置をベースとした切断条件の最適化とともに、加工油のさらなる最適化が必要であり、数値解析も交えながら総力を挙げて対応したい。

表Ⅲ-2-(イ)-B-1[6]最終目標の達成予想

中間目標	中間目標 120x20mmウエハ		最終目標 125/156mm角ウエハ
	現時点	年度末	
カーフロス<120μ m	○	○	○
ダメージ層≤5μ m	○	○	○
Ra≤0.5μ m	△	○	○
ウエハ厚さ130μ m	○	○	○
切断速度≥0.3mm/min	△	○	○
カーフロス<100μ m			○

(10) 特許の取得および対外発表

特許は R ワイヤの基本特許と位置づけている 1 件を出願している。現在国内優先出願の準備中で、出願と同時に審査請求および PCT 出願を予定している。なお NEDO プロジェクト開始前に、国内 7 件、海外 11 件の出願を行っており、国内 1 件、海外 2 件が成立している。

学会発表、論文発表等も積極的に実施しており、発表内容を見て数社より R ワイヤ提供依頼が来ている。

2. 実用化・事業化見通し

(1) Rワイヤスライスのコスト試算

表Ⅲ-2-(イ)-B-2[1]

に現在切断実験に採用している切断条件を基にした R ワイヤ方式での変動費の試算結果を示している。

表Ⅲ-2-(イ)-B-2[1] ウェハ変動費の比較

項目		単位	Rワイヤ	固定砥粒	遊離砥粒
前提条件	ウェハ厚み		0.15	0.17	0.18
	素線径	mm	0.1	0.1	0.12
	カーフロス	μ m	120	120	160
変動費計		相対比較	100	109	130

比較として現行の遊離砥粒方式および固定砥粒方式での変動費の試算結果を併せて示している。シリコンインゴットのコストを 6 千円/kg に置き、125mm 角ウェハをスライスしたときの試算結果である。スライス上がりのウェハ厚は、セル工程に流すときのウェハ厚を同じにするとの観点から、遊離砥粒方式では 0.18mm、固定砥粒方式では 0.17mm、R ワイヤでは 0.15mm とした。R ワイヤはスライス上がりのウェハ厚みが薄いこともあり、最も変動費が低い試算結果となっている。

表Ⅲ-2-(イ)-B-2[2]にこれ

までに得られている実験結果より推定し、R ワイヤ方式で今後 2 年間で達成可能と見込まれるコストダウン要因を加味して、

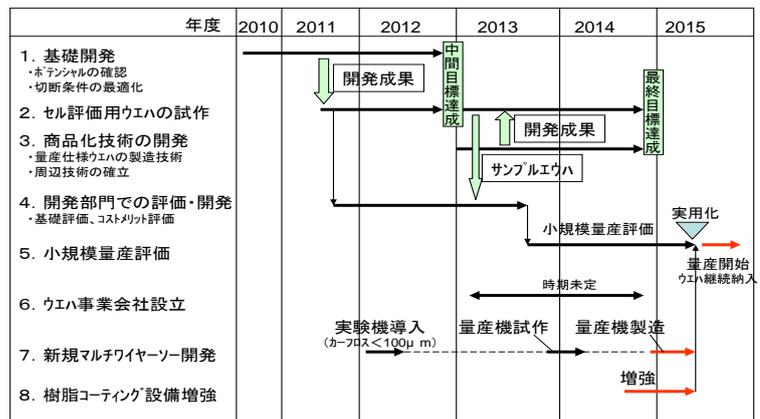
表Ⅲ-2-(イ)-B-2[2] ウェハ変動費の比較

項目		単位	Rワイヤ	固定砥粒
前提条件	ウェハ厚み		0.14	0.14
	素線径	mm	0.08	0.08
	カーフロス	μ m	100	100
変動費計		相対比較	100	104

変動費の試算を行った結果を示す。比較として将来固定砥粒方式のコストが到達する可能性のある究極の条件での試算結果を併せて示す。同じ 0.14mm 厚みのウェハの切断において、R ワイヤ方式は固定砥粒方式より変動費を下げられる結果となっており、この結果がウェハ事業進出の大きなドライビングフォースとなっている。ダメージ層が薄いことによるコストダウン効果を除いても R ワイヤ方式の変動費が固定砥粒方式より下がる可能性が出てきており、R ワイヤは将来の太陽電池のコストダウンに大きく貢献するものと期待される。

(2) Rワイヤウェハ事業の検討

上記のコスト試算結果に基づき、太陽電池用シリコンウェハの切断メーカーとジョイントベンチャーで新会社を設立し、国内の太陽電池工場向けに R ワイヤウェハ事業を開始することを計画している。ウェハ事業を展開することにより、R ワイヤの特徴である低カーフロスおよび低



図Ⅲ-2-(イ)-B-2[1] 実用化のスケジュール

ダメージのメリットを最大限事業に生かすことが可能となると考えている。またウエハ事業では、セルメーカーの要望が直接聞けるメリットも大きい。すでに固定費、変動費、要員、資本金などの算定を終えており、セルメーカーの採用計画に合わせていつでも新会社(JV)を設立できる準備を整えている。

Rワイヤウエハはまず国内のセルメーカーでの採用を目指している。国内工場でのRワイヤウエハの小規模量産採用を実現し、その後海外にも展開していく計画である。事業化のスケジュールを図Ⅲ-2-(イ)-B-2[1]に示す。赤矢印が実用化のフェーズを表している。

(3) Rワイヤの外販

海外のセルメーカー向けにはRワイヤの外販を計画している。国内はRワイヤウエハを、海外はRワイヤを提供する計画である。

海外ではマルチワイヤーソーメーカーと連携してRワイヤ技術のPRを実施し、固定砥粒方式に比較した総合的なコストメリット(低ダメージのコストメリット含めて)を強みに世界的なRワイヤの展開を考えている。

(4) Rワイヤ製造設備の拡充

Rワイヤの製造コストを現状の試作コストの数分の一とすべく、製造装置の設計とコスト試算を進めている。市場の動向を見てタイムリーな設備投資を行うべく、準備を進めつつある。

3. 波及効果

(1) 半導体用シリコンインゴットのスライスへの適用

半導体ウエハメーカーより R ワイヤを半導体用シリコンインゴットの切断で評価したいとの要望があり、NEDO と協議の結果、R ワイヤの提供を開始している。超高品質シリコンウエハに繋がるポテンシャルを有しているものと期待されている。

小型シリコンブロックを用いた継続的な切断実験が実施されており、ウエハメーカーで切断したウエハにて低ダメージが確認されている。引き続き評価が実施される予定であり、お互いの技術の発展に結びつけるべく密接な情報交換を行っている。

(2) SiC インゴットのスライスへの適用

R ワイヤは樹脂でコーティングされているため、薬液の腐食に強い。このため SiC に代表される難スライス材料のメカノケミカルスライシングに R ワイヤが使える可能性が考えられる。シリコンに留まらず幅広い材料のスライスで R ワイヤの活躍の場があるものと期待している。図Ⅲ-2-(イ)-B-2[2]に半導体および SiC 分野での展開予想を示す。

	2012	2013	2014	2016	2017	2018
半導体用シリコンウエハへの展開	ポテンシャルの確認		切断技術の開発	マルチワイヤーの製作	量産技術の確立	実用化
SiCウエハへの展開	ポテンシャルの確認		切断技術の開発	マルチワイヤーの最適化	量産技術の確立	実用化

図Ⅲ-2-(イ)-B-2[2] 半導体、SiC 分野への展開予想

4. 今後の展開

(1) 海外ユーザへの R ワイヤの提供と技術供与

海外への R ワイヤ販売が本格化すると、新たに規模の大きい R ワイヤ製造設備が必要となる。自社で設備投資を行うほかに、他社に技術供与して製造販売を委託し、ライセンス事業とすることも視野に入れている。

(2) 半導体用シリコンウエハ、SiC ウエハへの展開

太陽電池用シリコンウエハに比べてハードルが高いと予想しているが、可能性を追求していきたい。

5. 特許論文リスト

表Ⅲ-2-(イ)-B-5[1] 特許・論文・学会発表・新聞発表

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

平成 24 年 7 月 24 日現在

C 太陽電池用ポリシリコンのシリコン原料転換の研究開発

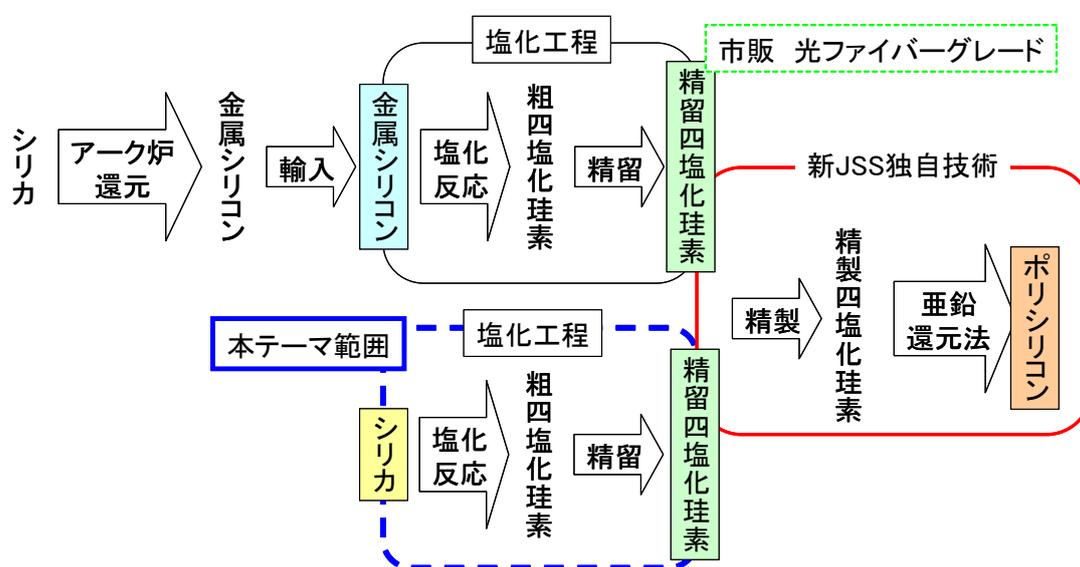
1. 成果詳細

共同研究の内容

本件は、太陽光発電ロードマップ (PV2030+) に記載の発電コスト目標：14 円/kWh (2020 年)、モジュール製造コスト目標：75 円/W、モジュール変換効率目標：20% (2015～2020 年時点) の実現に資するシリコン系太陽電池の低コスト化に係る研究開発である。

本研究は、ポリシリコンの原料として全量輸入に頼っている粗金属シリコン (Si) に代わって、より安価に調達できるシリカ (SiO₂) を原料とする太陽電池用ポリシリコンの生産技術を開発することである。この方法によれば、亜鉛還元法によるポリシリコン製造の中間原料となる四塩化珪素 (SiCl₄) を安価に生産することができ、製造コストを大幅に低減しうる利点を有する。

目標としている亜鉛還元法プロセスと本研究の範囲 (点線枠内) を下図に示す。



図Ⅲ-2-(イ)-C-1(1) 亜鉛還元法プロセスと研究範囲

また、本研究の中間目標 (平成 24 年度) を以下に示す。

表Ⅲ-2-(イ)-C-1(1) 中間目標値 (平成 24 年度)

中間目標項目	達成目標
シリカ塩化の生産性 ^{注1}	0.7 トン-SiCl ₄ /m ² /h 以上
四塩化珪素の品質 ^{注2}	純度 6N 以上
シリコン単結晶の品質	10 Ω・cm 以上

(注 1) 塩化炉の内径断面積当りの四塩化珪素生産速度

(注 2) 光ファイバー用原料グレード

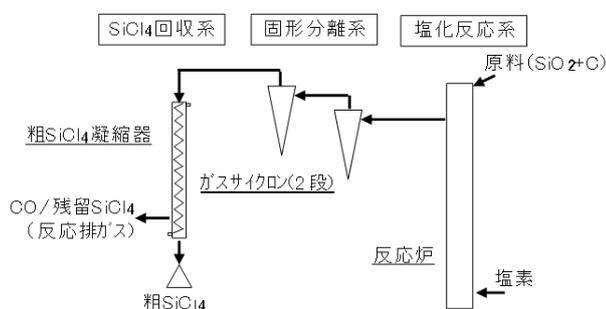
(1) シリカ塩化の生産性

シリカ塩化反応の生産性の検討において、始めに小型のラボ装置での試験、ついでベンチサイズの反応装置での試験、とスケールアップしながら、その反応条件及び生産性の検討を行なった。

塩化反応に関する基本条件を把握する目的で、シリカ及び炭材は比較的入手が容易で、高純度のオーストラリア産シリカと中国産コークスを標準材料として使用した。

塩化反応試験装置は主に、塩化反応系（反応炉）、固形分離系（ガスサイクロン）、四塩化珪素回収系（凝縮器）で構成される。また、一酸化炭素や残留四塩化珪素などから成る反応排ガスは、アルカリ洗浄した後に専用の除害装置にて処理される。

なお、安全対策として、吸引減圧が可能なブース内に同装置を設置して行った。



図III-2-(イ)-C-1(2) 試験装置の概略

試験装置の概略を図III-2-(イ)-C-1(2)に示す。

反応炉内を外熱ヒータで所定温度に昇温した後、炉内に原料(シリカ、炭材)を装填し、底部より所定量の塩素を炉内に導入した。塩化反応が開始した後、消費された原料に相当する分の原料を上方より連続的に炉内に追加供給した。

生成した四塩化珪素(気体)は、同伴する微粒の原料(一部)をガスサイクロンで捕集した後、冷媒(-10℃以下)で深冷した凝縮器にて凝縮、回収した。また、回収した粗 SiCl₄(塩化不純物や微粒原料を含む四塩化珪素)は、単位時間(1分間)毎に管状容器に集めてその回収量を実測して、四塩化珪素の生成速度を計測し、反応炉の内断面積当りの四塩化珪素の生成速度(トン-SiCl₄/m²/h)を算出し、生産性の指針とした。

ラボ反応試験の結果を下表にまとめる。

表III-2-(イ)-C-1(2) ラボ試験の結果(例)

項目		実績例
条件	原料シリカ	珪砂(豪州品)
	反応方式	固定層/流動層
結果	四塩化珪素回収率(液化率)	~70%
	塩化生産性(注)	0.57 (最高) (トン-SiCl ₄ /m ² /h)

(注) 反応炉の内断面積当りの四塩化珪素の生成速度

ベンチ試験

シリカの塩化試験(再委託先：東邦チタニウム)

本試験では、原料となるシリカ(SiO₂分 99.8%、珪砂)と炭材(石油系コークス)を所定の方法でベンチ試験(流動層)に適した造粒体にした。

この原料造粒体を使って流動層を形成し、塩化反応を行った。
反応条件の最適化を進めながら、ベンチ試験を実施した。

その結果として、最良例を表Ⅲ-2-(イ)-C-1(3)にまとめる。

表Ⅲ-2-(イ)-C-1(3) ベンチ試験結果 例

項目		試験条件／結果
条件	シリカ原料	珪砂(豪州産)
	炭素原料	コークス(石油系)
結果	塩化生産性 ^{注1} (トン-SiCl ₄ /m ² /h)	0.90(瞬間値、 ^{注3}) 0.79(平均値、 ^{注3})
	四塩化珪素品質 ^{注2}	3N程度(簡易蒸留品)

(注1) 中間目標値は0.7トン-SiCl₄/m²/h

(注2) 精留前の四塩化珪素純度

(注3) 凝縮回収した四塩化珪素量より計算(瞬間値は1分間の最高値)

同結果の生産性(シリカ塩化)は、前述した中間目標値を達成している。

高効率反応試験

前述したベンチ試験の成果を踏まえ、更なる塩化の生産性を探求すべく、技術改良を検討した。

塩化反応時には、吸熱反応であり、外部からの加熱が必要であった。この反応を詳細に検討した結果、あらかじめ造粒体を高温度で前処理を行ない、原料のシリカと炭材の一部をSiC化することで、塩化反応時にSiCと塩素の発熱反応により、一定の反応温度を維持しやすくなることを見出し、高効率反応試験として検討を行った。

高温加熱処理

高温加熱処理試験機を導入して、原料造粒体を所定の温度で加熱時間を変えながら高温加熱処理した。

その結果、

- 高温加熱処理で、造粒体強度が未処理品の約2倍に向上した。
- 高温加熱時間に伴い、造粒体中にSiCが生成、増加することが確認された。
- SiC生成の進行と共に、造粒体のかさ密度(タップ)が低下した。

塩化試験

高温加熱処理後の原料を使って、前述したベンチ試験装置で塩化試験を実施した。
その結果、

- a 塩化生産性が向上した。
→生成 CO を含む不純物低減による四塩化珪素ガス凝縮性能の改善
 - b 原料のキャリーオーバーが約 30%低減した。
→原料造粒体強度の向上
 - c 生成 SiC 量の増加に伴って、塩化炉加熱ヒータの消費電力が低下した。
→SiC と塩素の発熱反応の寄与が確認された。
- 以下に、高効率反応試験結果を示す。

表Ⅲ-2-(イ)-C-1(4) 高効率反応試験結果

項目		試験条件／結果
条件	シリカ原料	珪砂 (豪州産)
	炭素原料	コークス (石油系)
結果	塩化生産性 ^{注1} (トン-SiCl ₄ /m ² /h)	0.98 (瞬間値、 ^{注3}) 0.88 (平均値、 ^{注3})
	四塩化珪素品質 ^{注2}	3N 程度 (簡易蒸留品)

(注1) 中間目標値は 0.7 トン-SiCl₄/m²/h

(注2) 精留前の四塩化珪素純度

(注3) 凝縮回収した四塩化珪素量より計算 (瞬間値は 1 分間の最高値)

この高効率反応により、四塩化珪素の生産性は、平均値で 0.88 (トン-SiCl₄/m²/h) となり、中間目標の 0.7 を大きく上回る結果となった。

(2) 四塩化珪素の品質

ラボ試験およびベンチ試験で得られた粗四塩化珪素を小型蒸留装置、精留塔により、蒸留・精製を行った。その品質を調べた。

得られた蒸留四塩化珪素をガスクロマトグラフ分析装置で評価した結果、その純度は 3N(99.9%)以上であることが確認された。

粗四塩化珪素の精留

精留後の四塩化珪素を分析(GC-MS)した結果、6N以上の純度であることが確認され、中間目標(四塩化珪素の品質)を達成した。

また、精製後の四塩化珪素の金属不純物分析を ICP-MS で行った。以下に分析結果を示す。

分析値から、精留後の四塩化珪素は、一般の光ファイバークレードと同等の品質であることを確認した。



写真Ⅲ-2-(イ)-C-1(6) 精留塔

表Ⅲ-2-(イ)-C-1(5) 精留後の四塩化珪素の ICP-MS による金属不純物分析結果 (ppb)

	Li	Na	Mg	Al	K	Ca	Ti	Cr	Mn
精留後の SiCl ₄	<0.1	0.5	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.3	<0.1
	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Sn	Pb	
	3.3	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1

(3) 単結晶シリコンの品質評価

精製後の四塩化珪素を用いて単結晶原料となるポリシリコンを試作する水素還元装置を製作した。

本装置は、四塩化珪素と大過剰の水素を流通させ、高温度で四塩化珪素を還元し、Si を生成させる反応装置である。



水素還元反応により、直接塩化反応で生成した四塩化珪素からポリシリコンを製造し、分析・単結晶評価を実施した。

得られたポリシリコンの ICP-MS による分析の結果から、ポリシリコンの金属不純物は、すべて 0.1ppm 未満であった。

一方、晶癖線が明瞭な単結晶インゴットが得られた。この単結晶インゴットを切断し、ミドル部分の抵抗率を測定した結果、N型で約 30Ω・cm となり、当初の中間目標値を達成した。

表Ⅲ-2-(イ)-C-1(6) 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
シリカ塩化の生産性 0.7 トン-SiCl ₄ /m ² /h 以上	シリカ塩化反応において、生産性は 0.79 に達し、さらに、高効率化試験においては、0.88 の値を得た。	◎	なし
四塩化珪素の品質 純度 6N 以上	上記反応において生成した四塩化珪素を精留し分析した結果から、純度は 99.9999% (6N) 以上であった	○	なし
シリコン単結晶の品質 10Ω・cm 以上	ポリシリコン製造装置により、精製四塩化珪素からシリコンを製造し、分析評価をおこなった結果、N型で 30Ω・cm の抵抗値を得た	○	なし

達成度→ 大幅達成：◎、 達成：○、 達成見込み：△、 達成不可：×

2. 実用化・事業化見通し

本検討技術の目的は、新規のポリシリコン製造方法である亜鉛還元法の原料として、現在使用している金属シリコンの塩化による四塩化珪素から、シリカ直接塩化法による四塩化珪素に原料転換することである。

実用化試験においては、パイロット規模でのスケールアップ試験を行い、少量生産を行い、生成ポリシリコンの品質評価を実施する。その結果から量産機的设计を行うことになるが、直接塩化反応の生産性の数値は、最終目標値も達成しているため、量産設備的设计は可能と考えている。

また、本法が事業化された場合の効果としては、下記が見込まれる。

a. 太陽電池用ポリシリコン製造におけるコスト低減

亜鉛還元法によるポリシリコンの製造において、原料四塩化珪素の低コスト化が見込まれ、結果としてポリシリコンの低コスト化が図れる。

b. 国際情勢の影響を受けない

金属シリコンを原料としないため、国際情勢の変化による影響（金属シリコンの輸出入制限など）を受けず原材料を確保できる。

これらの効果により、国際競争力を持つ結晶シリコン太陽電池産業への貢献する。

3. 波及効果

本法は、シリカ原料から直接四塩化珪素を製造する技術である。本技術の波及効果先としては、光ファイバー製造、ヒュームドシリカ製造など、四塩化珪素を原料として用いる分野への転用が考えられる。

更に、最も大きな期待を得られる分野として、半導体シリコン原料の戦略的転換がある。

現状半導体向けポリシリコンを始め、PV用途のポリシリコンの大半は、金属シリコンを原料として輸入し、塩酸塩化反応によりトリクロロシランを製造し、これを原料とするシーメンス法により製造している。シーメンス法は、技術的にも完成されている製造技術であり、今後もポリシリコン製造法の主流であることは変わらない。

しかしながら、その出発原料となる金属シリコンに関しては、全量輸入品であり、国内需要の約8割以上を中国からの輸入品に頼っている。

今後、国際情勢の変化により、主たる輸出元である中国からの入手が困難になった場合には、よりコストの高い産地から輸入せざるを得なくなり、国内のポリシリコンメーカーの国際競争力が低下する。

そこで、将来、結晶シリコン太陽電池の生産量を拡大する際には、そのポリシリコン製造のための出発原料（トリクロロシラン）を、シリカ直接塩化法による四塩化珪素を出発原料とする製法に転換することが可能になる。

四塩化珪素からトリクロロシランを製造する技術は、すでにサンシャイン計画にて検討実施済みであり、且つポリシリコンメーカーにおいてコンバージョン技術として実施済みなので、技術的な問題はない。

更に、シリカ原料は広く輸入することも可能であるが、ポリシリコンの需給価格と、為替動向によっては、国内産シリカ原料の活用も可能となり、国内産業の裾野の拡大の可能性も期待できる。

4. 今後の展開

中間目標及び、四塩化珪素の生産性については最終目標を達成している。次のステップとしては、パイロット設備による原料転換実用化技術開発を進めて行くことになる。

5. 特許論文リスト

、論文、外部発表等の件数（内訳）

	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT 出願	査読付き	その他	
平成 22 年度	0	0	0	0	0	0
平成 23 年度	1	0	0	0	0	0
平成 24 年度	0	0	0	0	0	0

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条項) (添付資料) 特許論文リスト

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	新日本ソーラー シリコン (株)	特願 2012-012024	国内	2012/1/24	出願	四塩化珪素の 製造方法	深澤英一 大久保秀一

【論文】

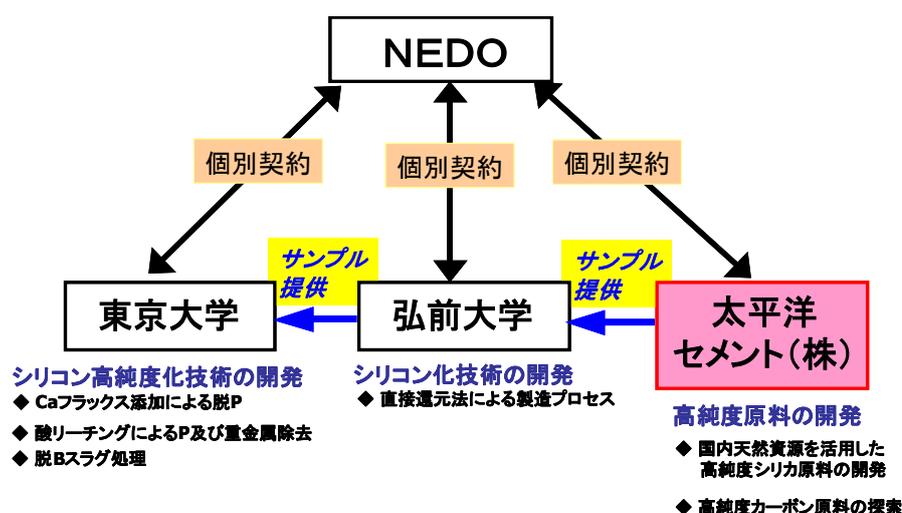
なし

D 太陽電池用シリコンの革新的プロセスの研究開発

1. 成果詳細

(2) 中間目標の達成度

本プロジェクトの技術開発は、最新の高純度化及び製錬技術の進歩を取り込んだシリコンの革新的プロセス研究を開発する。本プロジェクトの開発体制は、図Ⅲ-2-(イ)-D-1 [1]に示すように、各個別テーマごとに NEDO がそれぞれの研究機関と契約を個別に締結し開発を進めてきた。平成 22 年度から平成 24 年度にかけて、各研究機関は相互に情報共有及びサンプル提供を行い、本プロジェクトの最終目標達成に向けて活動してきた。以下に各個別テーマごとの中間目標と成果を示す。



図Ⅲ-2-(イ)-D-1 [1] 本プロジェクトの開発体制

a. 高純度原料の開発

太平洋セメント株式会社（以下、太平洋セメント(株)）は、シリカ原料と炭素材（カーボン）の高純度化技術を開発し、工業化に向けたプラント設計を検討するとともに、開発中の高純度化原料を弘前大に提供する。本テーマの中間目標は、シリコン（SOG-Si）を直接還元法で製造する際に一方向性凝固で除去できない特定の元素（B及びP）の含有量が1ppm未満のシリカ原料及びカーボンを開発することである。平成23年度までに、国内に豊富に存在する天然鉍石を出発原料としたシリカ合成及び精製技術を検討し、表Ⅲ-2-(イ)-D-1[1]に示すように、Bが0.05ppm未満及びPが1ppm未満の非晶質シリカの合成に成功した。また、安価なカーボン原料を探索し、シリカ原料同様、表Ⅲ-2-(イ)-D-1[1]に示すように、Bが0.1ppm及びPが1ppm未満のアモルファスカーボンを見出した。今後の課題は、本プロジェクトのSOG-Siの想定生産量（10,000t/年）に対応できる量産技術を開発と製造コストの達成に目処を付けることである。この課題の達成に向け、プラントの設計に必要なスケールアップ実験によるデータ取得と目標製造コスト実現（2,000円/kg-SOG-Si）のための生産効率化技術の検討を行う。

b. シリカの直接還元プロセスの開発

弘前大学は太平洋セメント・東海カーボンから供給される高純度原料を用いて、純度を低下させることなく、シリコンに還元することにより、太陽電池級シリコン原料を低コストで提供できるプロセスの開発を行った。本テーマの中間目標は、シリコン (SO_G-Si) を直接還元法で製造する際に太陽電池特性への影響が大きい (B 及び P) の含有量が 1ppm 未満のシリコンの還元を行うために、表Ⅲ-2-(イ)-D-1[1] に示すように①シリカ・炭素の混練材最適化 ②ハイブリッド加熱法(≥1900℃)の確立を行うことにより、③Si 純度 (B<1ppm) の達成を中間目標とした。シリカ(SiO₂)の還元反応は、総合反応式 $\text{SiO}_2 + \text{C} \rightarrow \text{Si} + 2\text{CO}$ をみると単純に見えるが、実際には亜酸化物(SiO)ガスや炭化物(SiC)を経た複雑な反応経路を取る。従来のアーク炉による還元法は、コンタミが多く、開放系での反応であるため、収率が低いという問題点があった。熱力学計算によれば、原料であるシリカ・炭素の配合や中間物質である SiC との固相-気相反応を正確に制御することの必要性が示唆される。そこで、準閉鎖系である反応るつぼの中で、シリカ・炭素の配合や中間物質である SiC の最適化を行うことにより、アーク炉による対照実験に比べて約 4.5 倍以上のシリコンを得ることに成功した (残留 SiC 量 85%→30%に抑制)。総合収率としては 45%と見積もられ、スケールアップによって壁面・断熱材への付着を相対的に抑制すれば、60%程度まで向上することができると考えられる。

課題として、(1) 反応炉サイズが非常に小型であるため、実験室レベルの検証炉へのスケールアップと、(2) 下流プロセスへ流すために脱 SiC 脱炭素のプロセス技術の確立が今後の課題である。

c. シリコン精製プロセスの開発

東京大学では、シリカ精製 (太平洋セメント)、還元プロセス (弘前大学) で得られた Si を太陽電池級に精製するプロセスの確立を目指し、フラックス処理による還元脱 P、酸リーチング併用による脱 P、脱 B スラグ処理および凝固精製の一連のプロセス開発を行っている。前段の Si 化プロセスで、残留 P 濃度が 10ppm、B 濃度が数 ppm であることを想定し、Ca 添加フラックス処理による還元脱 P プロセスの確立: 脱 P 率 > 90%、酸リーチング処理併用による脱 P 率の向上: 脱 P 率 > 98%、脱 B スラグ処理のためのスラグ組成の最適化を中間目標とした。

まず、フラックス処理プロセスとフラックス中 P の分別定量分析技術を確立した上で、P がフラックス中に P³⁻イオンとして除去されていることが明らかにした。引き続き、種々の条件で P および Ca を添加した金属 Si を CaO-CaF₂系フラックスと熔融平衡させ、強還元雰囲気下における Si からフラックス中への P 除去の効果について検証した。また、スラグ処理により P が低減した Si 試料について、酸リーチング処理を行い、更なる脱 P の効果について合わせて検証した。フラックス処理による最高脱 P 率は 82% (目標値 90%) であったが、酸リーチングを施すことにより 96%の脱 P 率を得ることができ、ほぼ目標 (98%) を達成しつつある。今後はフラックス組成を変えて高い P 除去率を得るための最適組成を見出し、さらに酸リーチング条件 (酸濃度、シリコン粒径) の模索により、目標値は十分達成されると考

えられる。

表Ⅲ-2-(イ)-D-1[1] 中間目標の達成度

個別テーマ名	目標	成果	達成度	今後の課題と対策
高純度原料の開発 (太平洋セメント(株))	シリカ及びカーボン原料の高純度化 (B, P<1ppm)	目標物性を満足する各原料を開発した。 ・シリカ: B<0.05, P<1.0 ・カーボン: B=0.1, P<1.0 ※単位はppm	○	課題: シリコン想定生産量(10,000t/年)に対応する量産技術の開発と製造コスト達成の目処付け 対策: ・スケールアップ実験によるプラント設計のデータ取得と生産の効率化の検討
シリカの直接還元プロセスの開発 (弘前大学)	①シリカ・炭素の混練材最適化 ②ハイブリッド加熱法の確立 ③Si純度(B<1ppm)	①シリカ・炭素の混合比の最適化を行い、②ハイブリッド加熱法の開発に成功した(1900℃以上)③従来法より高い収率でSiを製造できることを確認した。	△ (H24年12月) (達成の見込み)	課題: (1) 収率の向上(Si元素として回収率で60%以上) (2) 下流プロセスに流せる生産量の確保 対策: るつぼ構造の高アスペクト化・多段化と反応炉のスケールアップ実験
Si精製プロセスの開発 (東京大学)	脱P率98%以上および脱Bフラックス組成の最適化	フラックス中にPを還元する新手法を開発し、酸リーチング処理との組み合わせで、目標脱P率に近い96%を達成。強還元雰囲気でも脱B50%を確認。	△ (H24年9月) (達成の見込み)	課題: フラックス処理による脱P率の向上(目標90%) 対策: フラックス組成を変えて、より脱P率の高くなる条件を検討し、最適化処置条件を確立する。

◎: 大幅達成(特筆すべき成果あり), ○: 達成, △: 達成見込み, ×: 未達

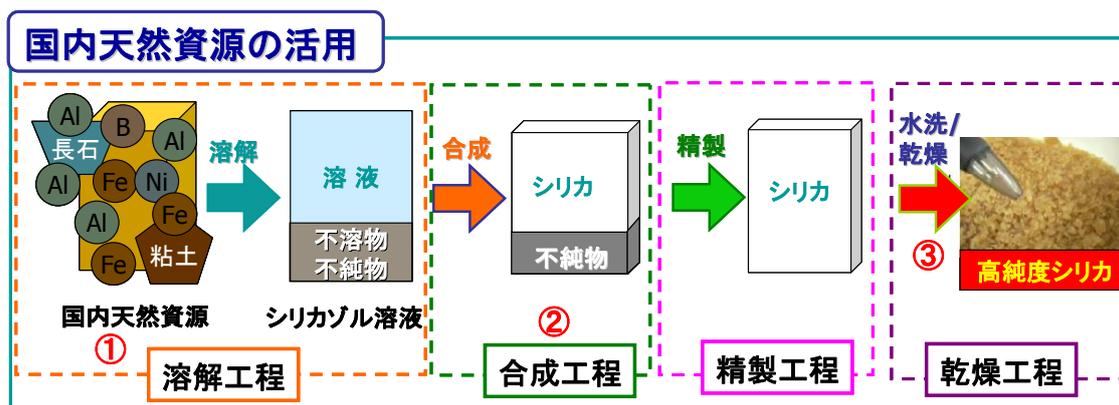
(3) 個別テーマの成果

a. 高純度原料の開発

本テーマの高純度シリカ原料は、国内に豊富に存在する天然鉱石を出発原料とする。このため、我が国の保有資源を有効に活用することができ、かつ定常的に安価な製造コストを実現できる。図Ⅲ-2-(イ)-D-1[2]に本テーマの高純度シリカ製造技術の特徴を示す。本テーマで開発した高純度シリカの製造技術は、溶解工程、合成工程、精製・水洗・精製工程及び乾燥工程で構成される。溶解工程は、天然鉱石中に含まれるシリカ(非晶質)成分をアルカリ溶液中に抽出する工程である。天然鉱石からシリカ成分を抽出するには、従来は高温高压処理による溶解処理が必要となり、莫大な熱エネルギーとオートクレーブと呼ばれる特殊な設備が必要であった。本工程では常圧及び100℃以下の温度による溶解処理で、シリカ成分を抽出できるため、従来よりも設備コスト及びエネルギーコストを安価にすることが可能となった。また、合成及び精製技術は、従来と異なり、酸性側領域から合成反応を活用することで、従来よりも安価な薬剤で合成し、効率よく不純物を除去する精製技術を見出し、前項の表に示すようにBが0.05ppm未滿、Pが1ppm未滿のシリカの合成に成功した。さらに、廃液の中和に生石灰を使用することで、得られる沈殿物をセメント原料としてリサイクルする仕組みの構築や遠心分離機の効率的な活用による洗浄水量の低減などランニングコストを抑える工夫をした。この結果、シリカの原材料費が200円/kg-シリカ以下で製造できる目処がついた。

高純度カーボン原料の調査結果を表Ⅲ-2-(イ)-D-1[2]に示す。低コスト化を狙い、液状樹脂2品種及びアモルファスカーボンの純度を評価した。この結果、アモルフ

アスカーボンが、B が 0.1ppm、P が 1ppm 未満を達成することを確認した。



★ 開発ポイント

- ① シリカ源に安価な国内天然資源を使用する。(低エネルギーのシリカゾル溶液製造技術の開発)。
- ② 酸性側領域からの合成。合成と精製処理に使用する酸を再利用する。(従来技術より安価な薬剤による合成・精製技術の開発)。
- ③ 水洗工程を工夫し、洗浄水量を5割削減する。(遠心分離機の有効活用による効率的な洗浄技術の開発)。
- ④ 廃液の中和に、生石灰を使用する。(セメント会社ならではの取り組み)
- ⑤ 目標純度を満足するガラス状炭素を見出した。(東海カーボン株式会社)

図Ⅲ-2-(イ)-D-1[2] 本テーマの高純度シリカの製造技術の特徴

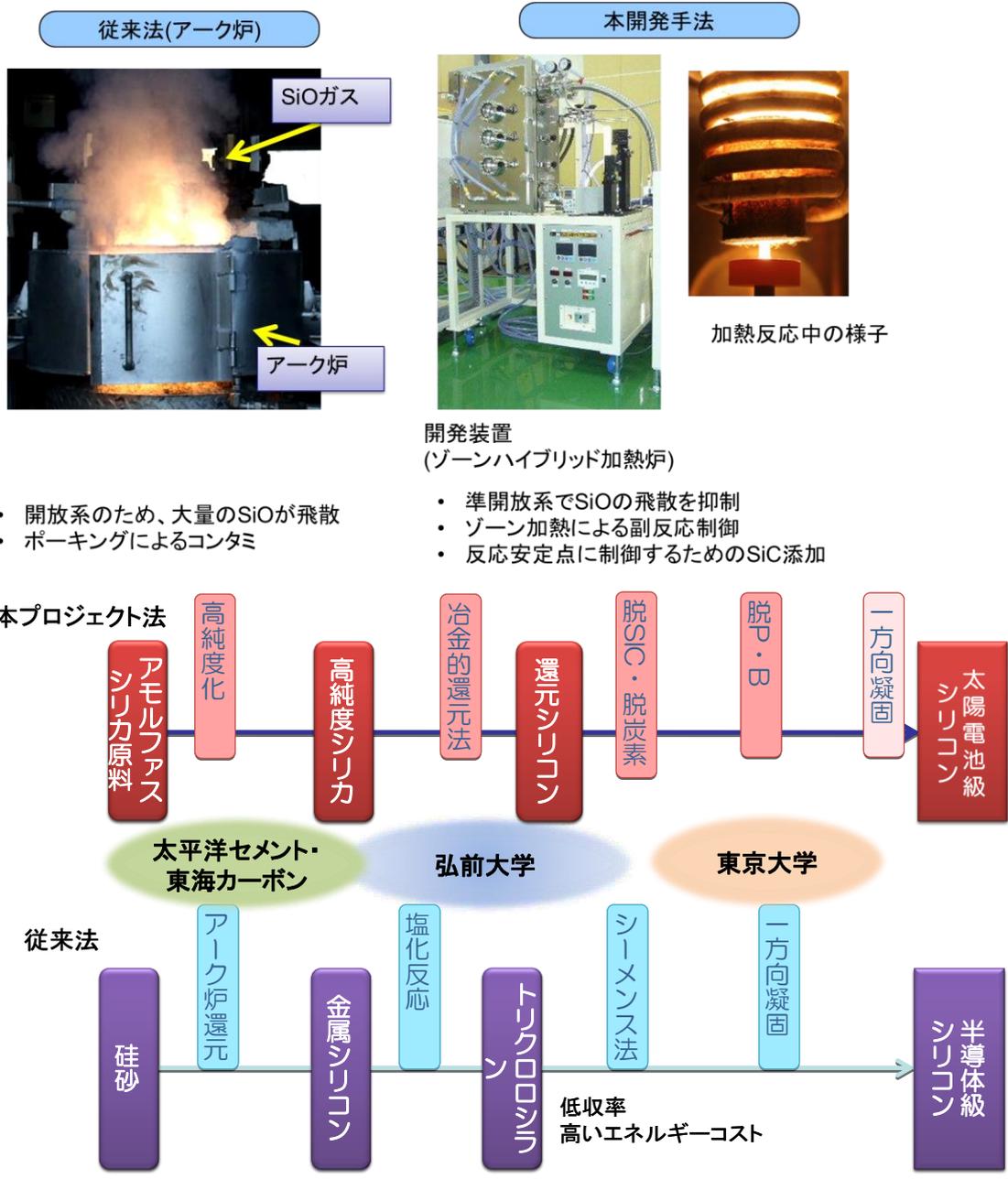
表Ⅲ-2-(イ)-D-1[2] 高純度カーボン原料の調査結果

	灰分	B	P	Al	Ca	Ti	Fe
アモルファスカーボン	-	0.1	1 未満	7	26	0.5 未満	11
樹脂A 炭化物 粉末	520	0.1未満	10 未満	28 ^{*1}	4.7	1.2	11
樹脂B 炭化物 粉末	370	0.1未満	10 未満	42 ^{*1}	3.3	2.3	69 ^{*1}

*1 テストに使用した粉砕機の使用部材からの汚染と確認済。

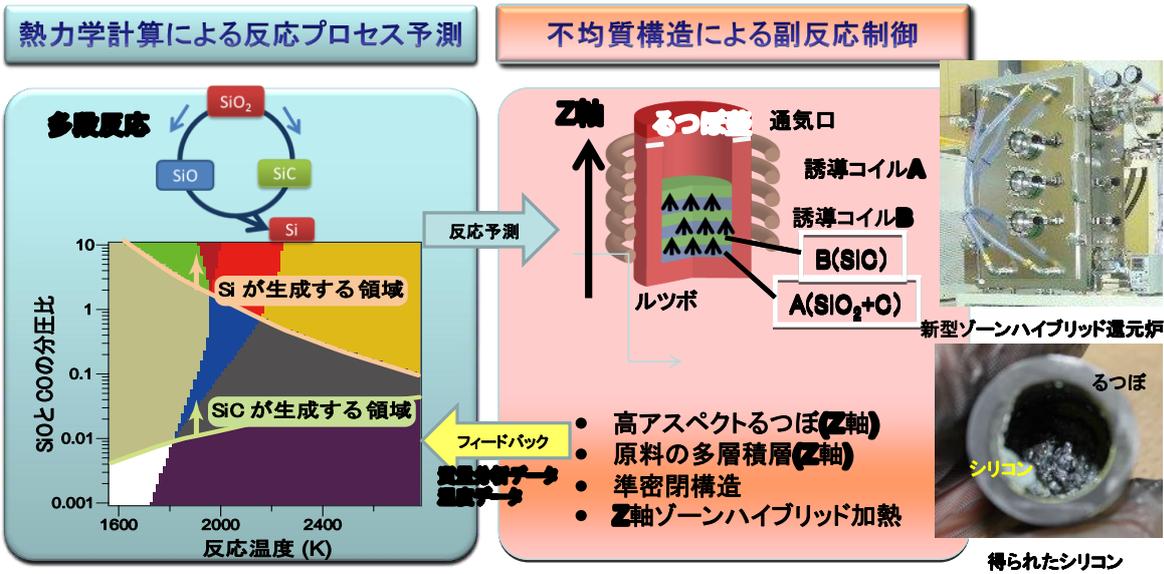
b. シリカの直接還元技術の開発

本技術の特徴は、高純度非晶質シリカを原料として、①純度を維持して、②高い収率でシリコンに還元することにある。高純度のプロセスによってコストが増大している非晶質シリカを出来るだけロスすることなく、還元することが非常に重要であるが、図Ⅲ-2-(イ)-D-1[3]に示すように従来法であるアーク炉では開放系であるために、大量の SiO₂ ガスを失うために収率が低く、またポーキングによるコンタミも大きな問題である。本開発手法は、熱力学計算に基づいて反応プロセスを設計することによって、コンタミを防ぎながら、収率の向上を図ることでプロセス設計した。ポイントとなるのは、①原料であるシリカと炭素の配合比の制御と、②副反応の制御するために中間生成物である SiC を添加すること、③反応サイトを z 軸(上下方向)に区分して、配合比・温度などを位置的に分離して最適化するために、原料配合の不均質化とゾーン加熱を行うことであり、これらによって準閉鎖系でシリカ還元反応を安定して進行させることに成功した。



図Ⅲ-2-(イ)-D-1[3] 従来法と本開発手法

シリカ(SiO₂)の還元反応は、総合反応式 $SiO_2 + C \rightarrow Si + 2CO$ をみると単純に見えるが、実際には亜酸化物(SiO)ガスや炭化物(SiC)を経た複雑な反応経路を取る。図Ⅲ-2-(イ)-D-1[4]右に示すように不均質化させた原料配分にするのと温度傾斜制御を行うことによって従来法であるアーク炉に比べて高い収率でシリコンが得られることに成功した。



各層の最適化により生成物中のシリコン量が約4.5倍向上(15%→70%)

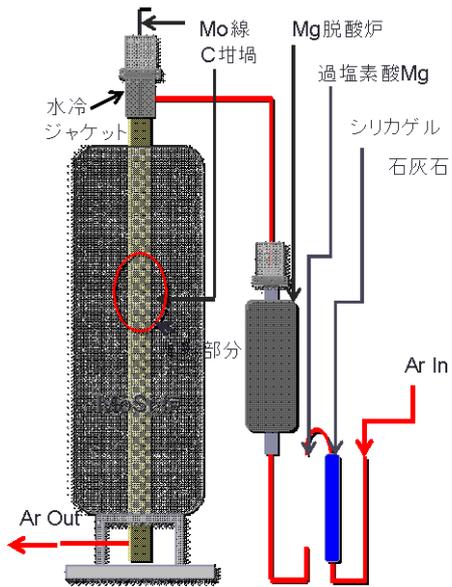
開発のポイント:原料を多層に積層することによって反応界面を増やし、SiCを補助的に入れることによって還元反応が促進されるようにした。

図III-2-(イ)-D-1[4] 本テーマの成果と特徴

c. シリコンの精製技術の開発

本精製技術は、前段となる原料シリカ精製およびシリカ直接還元で生成したシリコン中の不純物をさらに低減することを目的としたプロセスである。特にPとBについてはシリカ原料や炭材に含まれていた場合に、製錬時にシリコンとともに還元されてしまい、その後の諸過程で容易に混入する。しかし、酸化除去もできず多くの不純物元素と違って凝固時の偏析係数が大きいため凝固精製も困難であり、シリコン精製プロセスにおいてはその除去法の開発に力が注がれてきた。金属シリコンの精製法として開発されたNEDO法では、Pは電子ビームによる真空精製、Bは水蒸気添加プラズマ法で除去されるが、時間とコストの低減が必要である。また、安価なフラックス精製法では、Bはある程度酸化除去できるものの、Pについてはほぼ不可能とされてきた。

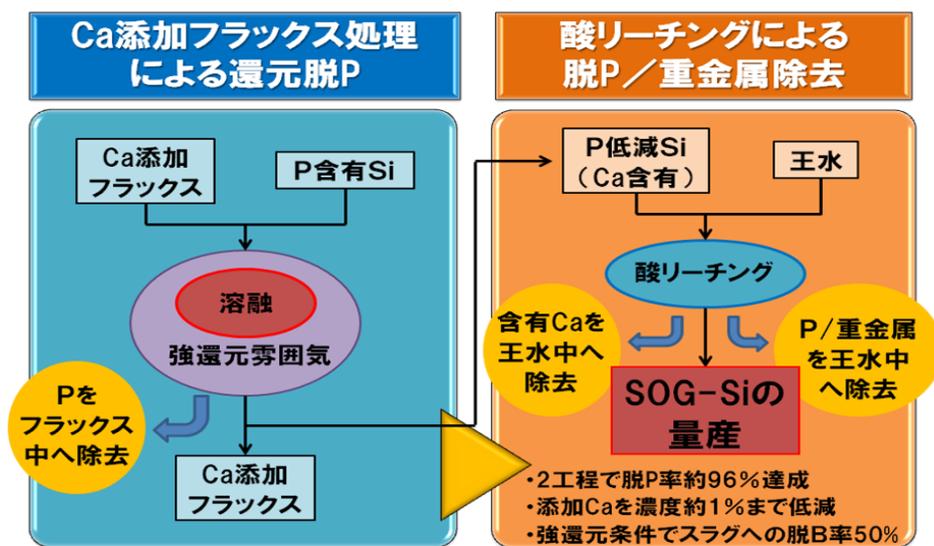
本方法は、Pはリン酸イオン PO_4^{3-} (P^{5+})として酸化除去するのではなく、リン化物イオン P^{3-} としてフラックス中に還元除去するもので、シリコンの酸化ロスを抑制できる。また、還元剤として添加されるCaはシリコン中に残留後、シリコンの粒界でPを濃縮しながらシリコンとの化合物を形成し、酸浸出による除去も併せて可能となる。その結果、98%のPを除去することが可能となり、原料シリカ精製およびシリカ直接還元で得られたシリコン中にPが50ppm含まれていても、本プロセスにより除去が可能であることが示された。また、NEDO法などではPとBをそれぞれ別プロセスでしか除去できなかったが、本精製技術では、PとBの双方が除去できるプロセスであり、本プロジェクトで目標とする一連のプロセスのみならず、金属シリコンを出発原料とした精製プロセスへの適用も十分考えられる。



図Ⅲ-2-(イ)-D-1[5] 装置の外観



図Ⅲ-2-(イ)-D-1[6] 精製シリコンの外観



図Ⅲ-2-(イ)-D-1[7] シリコン精製プロセス

2. 実用化・事業化見通し

(1) 成果の実用化の可能性

本プロジェクトの実用化の定義は、10,000t/年のシリコンの製造を想定した場合に、B及びPの純度が1ppm以下のSiを2,000円/kg以下の価格で、市場に提供できた時点を実用化と捉える。各テーマの実用化のための課題と対策について、以下に示す。

a. 高純度原料の開発

本テーマでは、SOG-Siを製造時に行われる一方向性凝固で除去が困難な元素であるB及びPの含有量が1ppm未満となる高純度シリカ粉末とカーボン粉末を開発した。今後は、想定したSOG-Si製造量(10,000t/年)に対応できる製造設備の設計と固定費を含んだ総コストが700円/kg-Si以下を達成することが課題である。この課題を解決するために、生産効率を高めた量産技術の検討を行い、この技術を元に製造設備を設計し、実用化を検討する。

b. シリカの直接還元技術の開発

本テーマでは、太平洋セメント・東海カーボンから供給される高純度原料を用いて、純度を低下させることなく、シリコンに還元することにより、太陽電池級シリコン原料を低コストで提供できるプロセスの開発を行うことであった。複雑な副反応を熱力学計算とつき合わせながら、反応最適化を行うことにより、シリコンのロスを極力抑えながら反応させることに成功した。SiCを添加することによって、反応制御を行っているが、そのコスト増を上回る収率を上げることが重要である。現在は様々なモニタリングを行うために非常に小規模な反応炉で実験しており、プロダクトは1g程度と非常に少ない。次ステップの課題として、想定したSOG-Si量を見据えて、Si製造プロセスをスケールアップした反応炉で検証することと、反応生成物(還元シリコン)に残留しているSiCとCを除去する技術開発を行うことが挙げられる。

c. シリコンの精製技術の開発

本方法により、シリコン中Pはフラックス中にリン化物イオン P^{3-} として還元除去されることが明らかになり、シリコンの酸化ロスを伴わない新たなPのフラックス除去法が確立され、酸浸出による効果的なP除去方も組み合わせて、98%のPを除去することが可能となった。(目標値99%)シリコンの歩留まりは96%とシリコンのロスは比較的小さい。また、従来知見よりBもフラックス中への除去は期待されるため、原料シリカ精製およびシリカ直接還元で残留するPやBについては、本プロセスにより除去が可能であると考えられる。

本プロセスのトータルコストは351円/kg-Siと試算され、シリコンロス約4%による前段プロセスの目標コスト上昇分を上乗せしても409円/kg-Siとなるため当初の目標600円/kg-Siは十分クリアしている。しかし、大量生産によるスケールメリットで本試算に含まれない設備償却や人件費を補う必要があり、スケールアップに取り組みその最適プロセス条件を明らかにすることが残された課題と考えられる。

(2) 事業化までのシナリオ

本プロジェクトの事業化までのシナリオを図Ⅲ-2-(イ)-D-2[1]に示す。また、個別テーマごとについては以下に通りである。

a. 高純度原料の開発

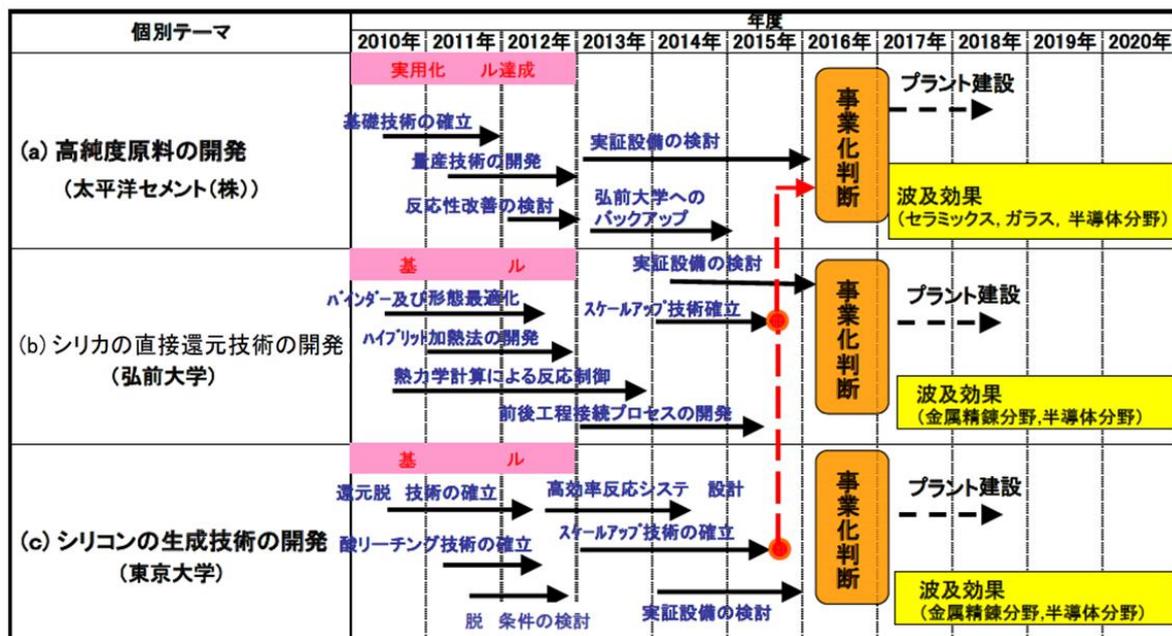
2012年度時点で量産化技術と高反応性付与技術の目処付けを行う。2013年に事業化検討に着手する。具体的には、10,000t/年の SOG-Si 製造量に対応できる原料製造設備を設計し、製造費を試算するとともに、事業環境を調査する。その結果を元に2016年度以降、事業化判断を実施する。事業化する基準としては、シリカとカーボンの製造コストの総額が700円/kg-Si以下であること、弘前大学が開発中のシリカの直接還元技術の実用化が目処付けされていること、また、後述する用途展開先で事業が成立すること等が挙げられる。

b. シリカの直接還元技術の開発

量産化技術としての大きな指標となるのが、収率である。すなわち、収率が50%ではロスだけで700円/kg-Siが本プロセスにかかってしまうため、他のコストを考えると60%~70%の収率までの向上が必要不可欠である。現状の炉が小規模であり、るつぼが小さいために、SiO₂ガスのロスも大きくなってきている。長尺化したるつぼを採用することによってこれを抑えることができる。スケールアップによって安定継続的に収率が60%を超えることができれば、コストをより精密に試算して事業が成立する可能性の検討が可能となる。

c. シリコンの精製技術の開発

当初目標通り、高純度シリカ原料の製造、その直接還元によるシリコン製造が場合、本精製プロセスを後段に組み入れることで、太陽電池級シリコンの大量製造は可能と考えられる。また、それぞれのプロセスを切り離して考える必要はなく、還元生成したシリコンを直ちに処理することで合理的なプロセス実現も可能である。また、同じ高純度シリカ原料から今後開発される他のプロセスを経由したシリコンも供給源として期待され、前段で純度と目標プロセスコストを達成し、本精製方法のスケールアップ技術が確立した時点で、事業化は可能となる。



図Ⅲ-2-(イ)-D-2[1] 本技術の事業化のシナリオと波及効果

3. 波及効果

a. 高純度原料の開発

本テーマで開発したシリカ粉末は、シリカを原料とした製品への用途展開が期待できる。例えば窒化珪素及び炭化珪素などのセラミックス部材分野や石英坩堝、光ガラス製品等のガラス製品分野、さらには半導体用治具等の原料といった半導体分野への展開が期待できる。

b. シリカの直接還元技術の開発

現在ホール・エルー法（電気分解）で得られているアルミニウムについても、炭素での還元がかつて検討されており、シリコン還元に通じた課題がネックとなり、実現していない。しかしながら、本開発技術をうまく展開できれば、アルミニウムのような金属精錬分野への技術の波及効果は大きいものと考えられる。

c. シリコンの精製技術の開発

これまで、NEDO法などではPとBをそれぞれ別プロセスでしか除去できなかったが、本精製技術は、PとBの双方が除去できるプロセスとして、純度の低い金属シリコンを出発原料とした精製プロセスへの適用も十分考えられることから、技術の波及効果は大きい。特に、ステンレスをはじめとする高合金鋼や、融液成長で得られる半導体原料の精製処理など、酸化し易い材料からのPの除去において有用な技術であると考えられる。

4. 今後の展開

a. 高純度原料の開発

本プロジェクトの最終目標と達成の見通しを表Ⅲ-2-(イ)-D-4[1]に示す。本テーマの最終目標は、SOG-Siの製造量が10,000t/年を想定した場合に、SOG-Siの価格が2,000円/kg以下で製造できる原料費の見通しをつけることである。このためには、シリカとカーボンを合計した原料費が、SOG-Si 1kg当たり700円以下で実現しなければならない。開発中の製造技術では、目標純度（B及びP）を満足するシリカとカーボンの製造に要する変動費は、シリカ：420円/kg-Si及びカーボン：190円/kg-Siと試算される。このため、今後の課題は、SOG-Siの製造量が10,000t/年に対応できるシリカの量産技術の開発と固定費を含めた目標製造コストの達成であり、その実現のために、スケールアップによるデータの取得と生産効率化技術の開発を検討する。

b. シリカの直接還元技術の開発

シリコン直接還元技術の開発の最終目標は、10,000t/年のSOG-Siの製造量を想定した場合に、2,000円/kg-Si以下でSOG-Siができるよう還元コストを700円/kg-Si以下としなければならない。熱コスト・消耗品コストが重要であり、これらは還元炉のスケールによっても大きく異なる。しかしながら、本工程でコストに影響を与える最も重要な因子は収率であり、700円/kg-Siで製造された非晶質シリカ・炭素の原料を最低でも本工程で700円/kg-Siにする最低ラインは50%以上にすることが必要である。現状、40%程度であるため、これを少なくとも60%以上を目指した反応設計する必要がある。これには、スケールアップしてつぼの長尺化させることによってSiO₂ガスのロスを抑えることができると考えられる。

ただし、電気代、部材費、設備償却費、人件費、輸送費等含めていないため、大量生産によるスケールメリットで目標達成を図る必要がある。

c. シリコンの精製技術の開発

シリコン精製技術の開発の最終目標は、10,000t/年のSOG-Siの製造量を想定した場合に、2,000円/kg-Si以下でSOG-Siができるよう精製コストを600円/kg-Si以下としなければならない。さらに、シリコン製造工程までに1400円/kg-Siが実現したとしても、精製プロセスにおける歩留まりを考慮すればロスによる原料コストの上昇分も上乘せして評価する必要がある。現時点では、フラックス等原料費（石灰石、蛍石、金属Ca）110円/kg-Si、酸処理原料費237円/kg-Si、電力料金4円/kg-Siであり、本プロセスのトータルは351円/kg-Siと試算される。さらに、本プロセスでのシリコンのロス約4%による前段プロセスの目標コスト上昇分 $1400\text{円/kg-Si} \times (100/96 - 1) = 58\text{円/kg-Si}$ を上乘せすると409円/kg-Siとなる。ただし、設備償却費、人件費、輸送費等含めていないため、大量生産によるスケールメリットで目標達成を図る必要がある。今後は、大型設備を製造し、スケールアップによる還元脱P処理時間の検討を行うと共に、各エネ

ルギーコストや耐火物など維持経費などが最小にする指針を明確化する。

表Ⅲ-2-(イ)-D-4[1] 最終目標と達成の見通し

個別テーマ名	研究課題	最終目標 (平成26年)	達成の見通し
高純度原料の開発 (太平洋セメント(株))	SOG-Siの想定生産量に対応可能な量産技術の開発と目標製造コストの達成	700円/kg-SOG-Siの原料費の目処付け	基礎製造技術と3.6t年の生産スケールでの製造検証は確立されている。プラント設計用データの取得と生産の効率化を図ることで目標達成が目処付けられる
シリカの直接還元プロセスの開発 (弘前大学)	スケールアップによる収率向上・熱効率向上・純度維持できるシステム設計	「700円/kg-SOG-Siの還元技術の目処付け」	SiCを適度に導入することで、反応プロセスが促進できる見通しはついており、SiO ₂ ガスの逃げを抑制することで、目標達成の実現が高まる。
Si精製プロセスの開発 (東京大学)	スケールアップ時の高効率反応システム設計と設備費・人件費込みの低コスト化の実現	600円/kg-SOG-Siの精製技術の目処付け	前段プロセスによりP濃度<25ppm、B濃度<2ppmの原料Siの安定供給により実現可能である。

本プロジェクトの最終目標は、SOG-Siの製造量が10,000t/年を想定した場合に、SOG-Siの価格が2,000円/kg以下で製造できることである。本プロジェクトの目標達成のために、前述したように、各個別テーマごとの目標価格を、それぞれ高純度原料に係る費用：700円/kg-Si以下、シリカ直接還元に係る費用：700円/kg-Si以下、及びシリコン精製に係る費用：600円/kg-Si以下と暫定的に設定し開発を進めてきた。しかし、本プロジェクトは個別テーマの成果に応じて、適宜組み合わせることが可能であり、その結果、SOG-Siの製造価格を大幅に下げられる可能性がある。例えば、シリカの直接還元技術で、高純度原料の純度を維持したまま、シリカを直接還元することができ、SOG-Siの純度を保つことができれば、最終工程のシリコン精製技術を省略することができるようになり、1400円/kg-Siで製造することが可能となる。

5. 特許論文リスト

本プロジェクトに関係する特許出願、論文及びその他外部発表（プレス発表等）を取りまとめたものを表Ⅲ-2-(イ)-D-5[1]に示す。個別テーマの「高純度原料の開発」においては、ノウハウ的な技術が多いことから、特許出願は1件のみとした。

表Ⅲ-2-(イ)-D-5[1] 知的財産権等の取得及び成果の普及

	H22	H23	H24	計
特許出願(うち外国出願)	0(0)	1(0)	0(0)	1件
論文(査読)	0(0)	0(0)	0(0)	0件
研究発表・講演(うち国際会議)	1(0)	2(0)	3(0)	6件
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0	0件
受賞実績	0	0	0	0件
展示会への出典	0	0	0	0件

ノウハウ流出を防止するため、戦略的に特許出願は控えている。

特許リスト及びその他外部発表リストを表Ⅲ-2-(イ)-D-5[2]および表Ⅲ-2-(イ)-D-5[3]に示す。「高純度原料の開発」については、前項で記載したように、ノウハウ的技術が多々あるため、発表等を控えた。

表Ⅲ-2-(イ)-D-5[2] 本プロジェクトの特許リスト

番号	出願人	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	太平洋セメント(株)	特願2012-108989	国内	2012/5/11	出願	非晶質シリカの洗浄方法	増田賢太他

表Ⅲ-2-(イ)-D-5[3] 本プロジェクトの外部発表リスト

年月日	発表媒体・内容	発表者
平成24年8月1-4日	The 8th International Forum on Advanced Material Science and Technology, H.Kawamura, Y.Yanaba, T.Yoshikawa and K.Morita, "Reductive removal of phosphorus in silicon using CaO-CaF2 slag"	東京大学
平成25年3月28-30日	日本金属学会2012年春期(第150回)大会, 河村浩彰、築場豊、吉川健、森田一樹, 「CaO-CaF2スラグを用いたシリコンの還元脱リン」(12月申込み予定)	東京大学
平成23年3月24日	緊急シンポジウム:新エネルギー供給の未来を考える —ソーラーシリコンの生産技術革新とサハラスーパーエネルギー戦略 伊高 健治、古屋泰文、鯉沼秀臣 「シリカ直接還元 ー低コストシリコン製造に向けてー」	弘前大学
平成23年8月23-26日	1st Asia-Arab Sustainable Energy Forum, Nagoya, Japan H.Sato, Y.Furuya, K.Itaka, M. Kamimoto, "Strategy For Beyond SIEMENS SOG-Si Process"	弘前大学
平成23年8月23-26日	1st Asia-Arab Sustainable Energy Forum, Nagoya, Japan K. Itaka, H.Sato, Y.Furuya, M. Kamimoto, "Combinatorial Reducing Furnace For Direct Production Process from Silica to Silicon"	弘前大学
平成24年5月15-16日	2nd Asia-Arab Sustainable Energy Forum, in Algeria, Kenji Itaka, "Metallurgical reduction process for solar grade silicon by combinatorial furnace"	弘前大学

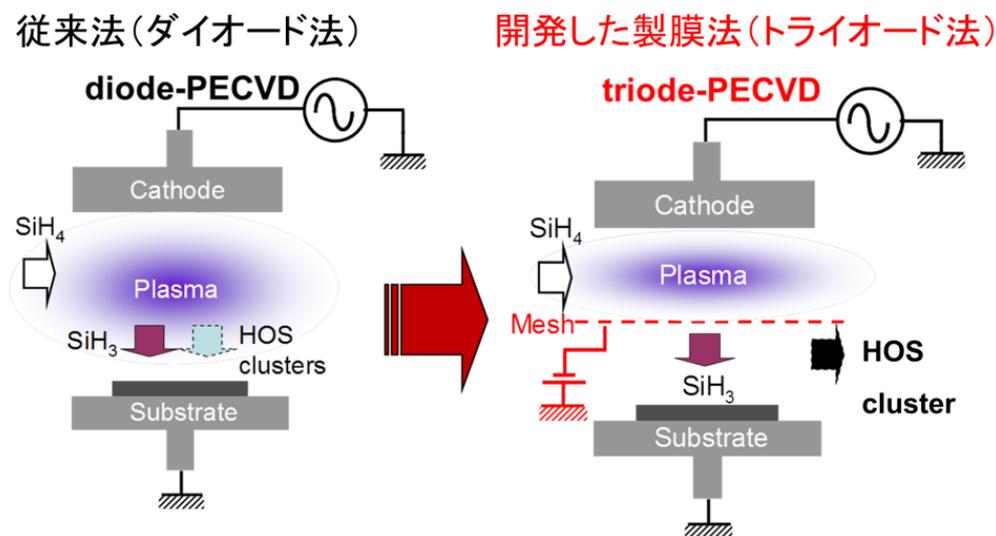
(ロ) 薄膜シリコン太陽電池

A 次世代多接合薄膜シリコン太陽電池の産学官協力体制による開発（高効率化）

1. 成果詳細

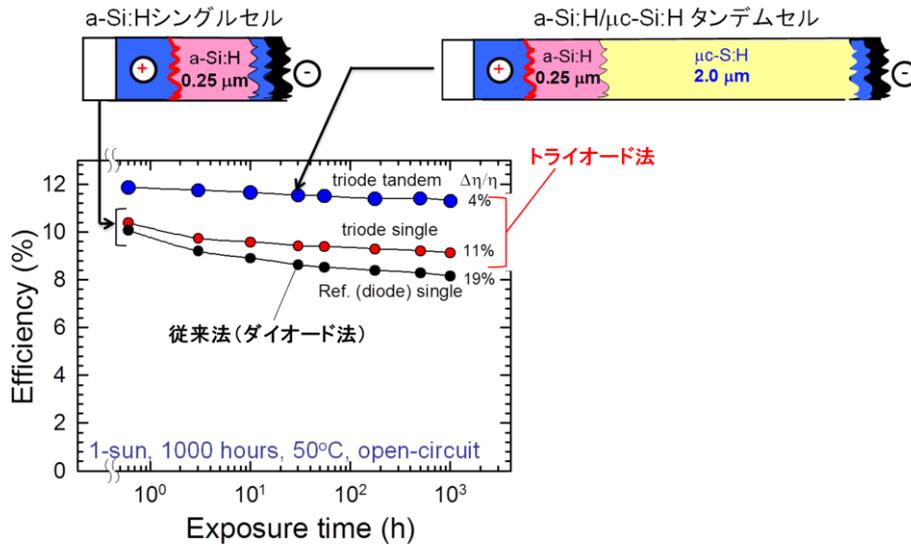
a-1. アモルファスシリコン太陽電池の高電流・高安定化技術開発（担当：独立行政法人産業技術総合研究所）

光劣化の少ない a-Si:H の製膜技術として、独自に開発してきたトライオード型プラズマ CVD 法（三極放電：図Ⅲ-2-（ロ）-A-1-a1(1)）を適用した。これにより、光劣化の要因として考えられる高次シラン系ラジカルの膜への取り込みを抑制することができる^{Ⅲ-2-（ロ）-A-1-a（1,2）}。この製膜技術を用いて a-Si:H 単接合太陽電池や a-Si:H/ $\mu\text{c-Si:H}$ タンデム型太陽電池の a-Si:H 光吸収層を作製し、その光照射安定性を評価した。



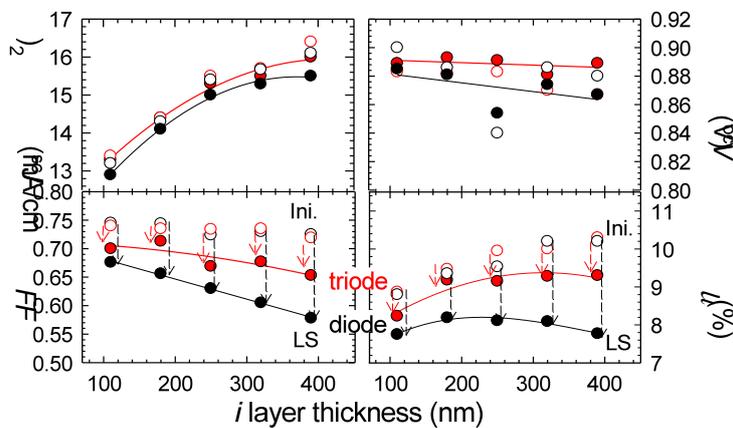
図Ⅲ-2-（ロ）-A-1-a1(1) 一般的なダイオード型プラズマ CVD 法（左）と独自に開発したトライオード型プラズマ CVD 法（右）の概念図。

図Ⅲ-2-（ロ）-A-1-a1(2)は、a-Si:H i 層膜厚 250 nm の単接合およびタンデム型太陽電池の光照射時における変換効率の時間推移をプロットしたものである。トライオード法で作製した単接合セルは約 200 時間後に変換効率は安定化し、1000 時間の光照射後の光劣化率は 11%であった。一方、ダイオード法で作製した太陽電池（リファレンス）はより大きな光劣化特性を示し、1000 時間後の劣化率は 19%であった。



図III-2- (ロ) -A-1-a1(2) ダイオード型プラズマ CVD 法およびトライオード型プラズマ CVD 法を用いて作製した太陽電池の変換効率の光照射時間依存性。

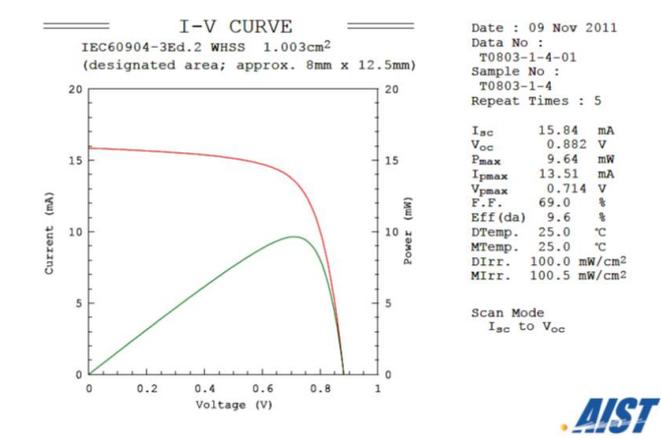
図III-2- (ロ) -A-1-a1(3)は異なる製膜手法で作製した単接合セルにおける発電特性の *i* 層膜厚依存性について示している。初期特性は製膜手法によらず同じ特性を示しているが、光照射後においては、両者の差が *i* 層膜厚の増加とともに顕著になっている。特にリファレンスの太陽電池では光劣化後の曲線因子 (FF) が膜厚増加とともに単調に低下するのに対して、トライオードプラズマ CVD で作製した太陽電池では FF の劣化が小さく、200-400 nm の膜厚範囲で 9%以上の安定化効率が得られた。



図III-2-(ロ)-A-1-a1(3) ダイオード型プラズマ CVD 法とトライオード型プラズマ CVD 法を用いて作製した単接合セルにおける太陽電池特性 (初期(ini)、劣化後 (LS)) の膜厚依存性。

トライオード型プラズマ CVD 法を用いて作製した a-Si:H 太陽電池の最適化を行った結果、安定化効率 9.6%を得た。図III-2- (ロ) -A-1-a1 (4)に AIST 評価・標準チームで測定した I-V 特性を示す。この太陽電池の安定化効率はこれまでに報告された最高効率(10.1%) III-2- (ロ) -A-1-a1 (3)の a-Si:H 太陽電池とほぼ同等の性能であるが、光劣化率は約 5%低いことがわかった。さらに、この a-Si:H をトップセルとした a-Si:H (250 nm)/μc-Si:H (2 μm)タ

ンデム型太陽電池を作製した結果、光安定性はさらに改善され、光劣化率を4%まで抑制することができた。これまでに a-Si:H (350 nm)/ μ c-Si:H (3 μ m) タンデム型太陽電池で、安定化効率 11.6% (J_{sc} =12.6 mA/cm², V_{oc} =1.345 V, FF=0.687, ガラス面 AR 膜あり) を得ている。



図Ⅲ-2- (ロ) -A-1-a1 (4) 光劣化後の a-Si:H (250 nm)単接合太陽電池の電流電圧特性

参考文献

Ⅲ-2-(ロ)-A-1-a1 (1) : A. Matsuda, T. Kaga, H. Tanaka, and K. Tanaka, J. Non-Cryst. Solids 59-60 (1983) 687.

Ⅲ-2- (ロ) -A-1-a1 (2) : S. Shimizu, M. Kondo, and A. Matsuda, J. Appl. Phys. 97 (2005) 033522.

Ⅲ-2- (ロ) -A-1-a1 (3) : S. Benagli et al., Proc. 24th European Photovoltaic Solar Energy Conf., 2009, p. 21.

a-2. 高効率アモルファスシリコンによるトップセル高効率化 (三菱重工株式会社、独立行政法人産業技術総合研究所)

水素化アモルファスシリコン(a-Si:H)の光劣化には、膜中のSi-H₂結合が影響していることが広く知られている。このSi-H₂結合はSiH₄プラズマ中のシリコンナノ粒子が起源と考えられている(文献Ⅲ-2-(ロ)-A-1-a2(1)及び(2))。本研究開発項目では、シリコンナノ粒子の発生を抑制する新規構造電極の開発とシリコンナノ粒子計測技術を活用した成膜条件の適正化により、30×40cm²以上の製膜プロセスを用いて作製したa-Si:H単接合太陽電池において短絡電流16mA/cm²と、劣化率5%以下の実現を目標としている。

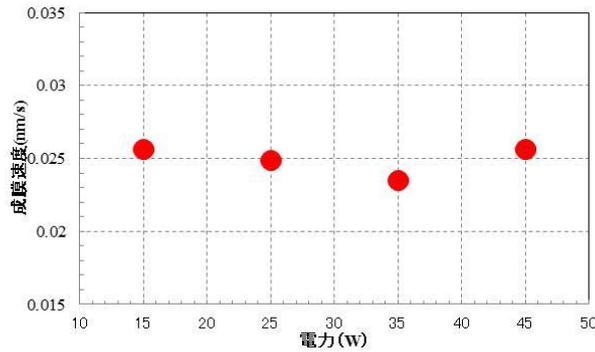
始めにシリコンナノ粒子量と劣化率との関係の把握するため、共同研究先である九州大学のシリコンナノ粒子計測技術を活用してシリコンナノ粒子計測モニタを製作し、小面積プラズマCVD装置に設置した。小面積プラズマCVD装置の電極構造には、シリコンナノ粒子計測モニタ設置によるプラズマへの影響が小さく、かつ低光劣化a-Si:H太陽電池作製の報告実績があるトライオード型電極構造を用いた(文献Ⅲ-2-(ロ)

-A-1-a2(3))。表Ⅲ-2-(ロ) -A-1-a2(1)に主な試験条件を示す。また、図Ⅲ-2-(ロ) -A-1-a2(1)にa-Si:H成膜速度のSiH₄プラズマ放電電力依存を示す。本試験ではトライオード電極構造のためか、放電電力を増加しても成膜速度はほとんど変わらない結果となっている。図Ⅲ-2-(ロ) -A-1-a2(2)にシリコンナノ粒子量体積分率のSiH₄プラズマ放電電力依存を示す。縦軸はa-Si:H膜中に取り込まれるシリコンナノ粒子量体積分率を表している。各数値は電力25Wでのシリコンナノ粒子量体積分率で規格化している。放電電力を増加させるとシリコンナノ粒子量体積分率が增加する結果となっている。このように、SiH₄プラズマの放電条件の変化が、a-Si:H膜中に取り込まれるシリコンナノ粒子量に影響を及ぼすことが確認できた。次に、図Ⅲ-2-(ロ) -A-1-a2(3)にa-Si:H単接合太陽電池の劣化率のシリコンナノ粒子量体積分率依存を示す。横軸は図Ⅲ-2-(ロ) -A-1-a2(2)と同様に、電力25Wでのシリコンナノ粒子量体積分率で規格化している。また、縦軸の劣化率は、光照射強度：AM1.5、300mW/cm²、基板温度：60℃、照射時間：6時間の加速劣化条件での簡易計測結果である。a-Si:H膜中に取り込まれるシリコンナノ粒子量が低下すると劣化率も低下することが確認できた。このように、ナノ粒子計測モニタでのa-Si:H膜中への取り込み量の観測が、a-Si:H太陽電池の劣化率改善に適用できることを確認できた。

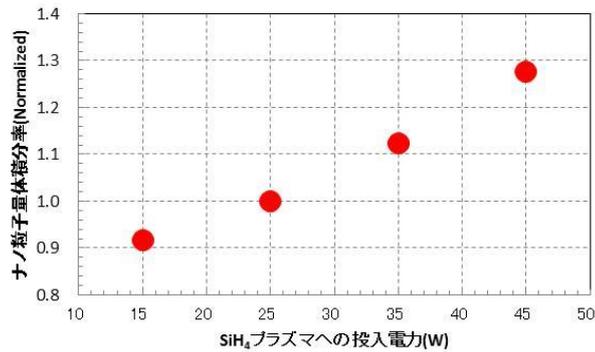
上記ナノ粒子計測モニタの開発と並行して、30×40cm²基板成膜用プラズマCVD装置の電極ユニットを設計・製作した。公知の発電層成膜技術と比較した本電極・成膜ユニットの特長は以下の通りである。①大面積成膜用電極に展開可能とするため、トライオード型電極構造の第3電極に適用されているメッシュなど強度のない構造物を用いない。②プラズマ内のガス滞留時間を最小化するため、ガス導入を工夫するとともに電極を介してその背面から排気する。この構成により、従来と比較してより高い安定化発電効率を達成できる見込みである。a-Si:Hの成膜条件の適正化には、小面積プラズマCVD装置と同様にシリコンナノ粒子計測モニタを使用し、小面積プラズマCVD装置で蓄積したシリコンナノ粒子量に関するデータを30×40cm²装置に展開することでa-Si:H単接合太陽電池の劣化率低減を実現する。また、Ⅲ-2-(ロ) -A-1-a8.の「デバイス高効率化に向けた新規光閉じ込め技術の開発」で開発した光閉じ込め技術を適用することで、短絡電流16mA/cm²かつ劣化率5%以下のa-Si:H単接合太陽電池を実現する。

表Ⅲ-2-(ロ) -A-1-a2(1) SiH₄プラズマ放電

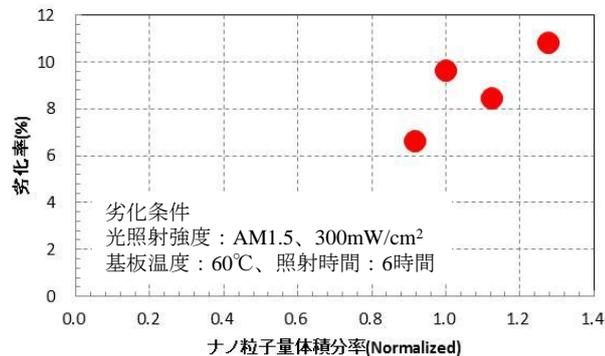
ガス流量 (sccm)	SiH ₄	25
	H ₂	25
圧力	(Torr)	0.10
電源周波数	(MHz)	60
間隔(mm)	メッシュ -カソード	26.5
	成膜表面 -メッシュ	12



図Ⅲ-2- (口) -A-1-a2 (1) a-Si:H 膜成膜速度の電力依存



図Ⅲ-2- (口) -A-1-a2 (2) シリコンナノ粒子量体積分率の電力依存



図Ⅲ-2- (口) -A-1-a2 (3) a-Si:H 単接合太陽電池の劣化率のシリコンナノ粒子量体積分率

参考文献

Ⅲ-2- (口) -A-1-a2 (1) :T. Nishimoto, M. Takai, H. Miyahara, M. Kondo, and A. Matsuda, “Amorphous silicon solar cells deposited at high growth rate”, J. Non-Crys. Solids. vol. 299, 1116 (2002).

Ⅲ-2- (口) -A-1-a2 (2) :M. Shiratani, K. Koga, N. Kaguchi, K. Bando, and Y. Watanabe, “Species responsible for Si-H₂ bond formation in a-Si:H films deposited using silane high frequency discharges”, Thin Solid Films, vol. 506, 17 (2006).

Ⅲ-2- (口) -A-1-a2 (3) :S. Shimizu, M. Kondo, and A. Matsuda, “A highly stabilized hydrogenated amorphous silicon film having very low hydrogen concentration and an improved Si bond network”, J. Appl. Phys. vol. 97, 033522 (2005).

a-3. ナノ粒子制御によるアモルファスシリコンセルの高光安定化に関する研究（国立大学法人九州大学 白谷研究室）

本研究開発では、シランプラズマ中のナノ粒子計測技術と膜中ナノ粒子の抑制技術により、高光安定な a-Si セルの実現に結びつける研究開発を行い、小面積セルで劣化率 5%以下の a-Si:H 太陽電池を実現する。

開発項目(1)P層、N層の単膜でのナノ粒子取り込み量と膜の光安定性に及ぼす影響の解明
マルチホロー放電プラズマ CVD を用い、膜中へのナノ粒子の取り込みを抑制した P 層および N 層を作製し、単膜での光安定性の評価を実施した。ナノ粒子の取り込みを抑制した P 層および N 層は良い光安定性を示すことを明らかにした。

開発項目(2)TCO を含めた複数層膜、及びその界面の光安定性に対するナノ粒子取り込みが及ぼす影響の解明

界面近傍のナノ粒子取り込みの影響を評価するため、プラズマ ON, OFF に伴うナノ粒子取り込みと、ショットキーセルの曲線因子 FF の光劣化との関係を調べた。図 III-2- (ロ) -A-1-a3 (1) にショットキーセルの I-V 特性を示す。(a) は I 層成膜初期の界面にナノ粒子が取り込まれたセル、(b) は界面近傍のナノ粒子取り込みの無いセル、(c) は I 層成膜終了時の界面にナノ粒子が取り込まれたセルの I-V 特性である。図 III-2- (ロ) -A-1-a3 (2) に

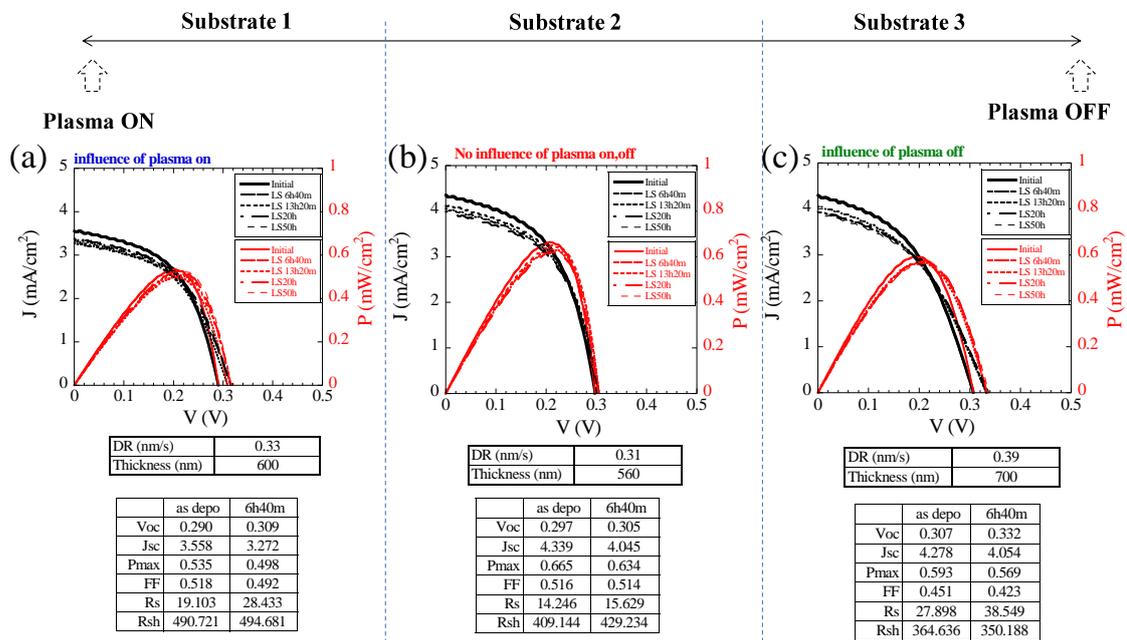
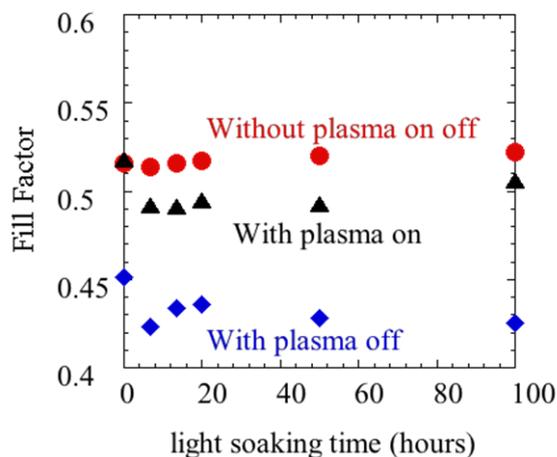


図 III-2- (ロ) -A-1-a3 (1) ショットキーセル I-V 特性。(a) I 層成膜初期の界面にナノ粒子が取り込まれたセル、(b) 界面近傍のナノ粒子取り込みの無いセル、(c) I 層成膜終了時の界面にナノ粒子が取り込まれたセル。

これらのセルの FF の照射時間依存性を示す。界面近傍のナノ粒子取り込みの無いセル（赤丸）において、ショットキーセルの初期 FF=0.516、劣化率 1%以下を実現した。以上のように、プラズマ ON, OFF に伴う I 層上下の 2 つの界面近傍のナノ粒子取り込みを抑制することが光安定性の改善に重要であることを初めて明らかにした。



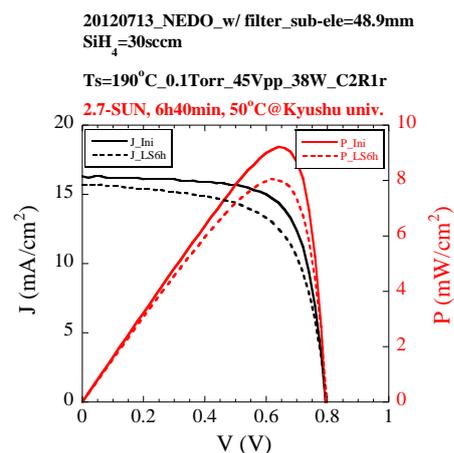
図III-2- (口) -A-1-a3 (2) ショットキーセルの FF の照射時間依存性。(黒三角)I 層成膜初期の界面にナノ粒子が取り込まれたセル、(赤丸)界面近傍のナノ粒子取り込みの無いセル、(青菱形)I 層成膜終了時の界面にナノ粒子が取り込まれたセル。界面近傍のナノ粒子取り込みの無いセル（赤丸）で光劣化率 1%未満を達成。

開発項目 (3) PIN セルの光安定性を高める方法の開発

クラスター除去フィルター設置でナノ粒子取り込みを抑制することにより光劣化率 1.95%の a-Si:H 膜ショットキーセルの作製に成功した。クラスター除去フィルターを成膜基板前面に設置することにより、劣化率が未設置の 9.09%から設置後の 1.95%へと大きく改善した。

開発項目 (2) での結果と上記の結果より、劣化率改善には、I 層へのナノ粒子取り込み抑制が重要であること、特に界面近傍のナノ粒子の取り込み抑制にも注意を払う必要があることが明らかになった。

マルチホロー放電プラズマ CVD を用い a-Si:H 膜 I 層を堆積し、PIN 太陽電池を試作した。マルチホロー放電中で成長したナノサイズのクラスターを、そのガス流により下流側へと搬送し、ナノ粒子の膜中への取込を低減している。図III-2- (口) -A-1-a3 (3) に PIN セルの I-V 特性を示す。初期効率 9.19%、劣化率 12.6%と中間目標には達していない。ショットキーセル作製装置に比べて PIN セル作製に用いている装置でのナノ粒子の膜中への取り込み抑制が不十分であることが問題点である。抑制効率を飛躍的に高める方法を現在、開発中である。



図III-2- (口) -A-1-a3 (3) PIN セルの I-V 特性

a-4. 微結晶シリコンゲルマニウムを用いたボトムセル高電流化技術開発(独立行政法人産業技術総合研究所)

微結晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$ ($\mu\text{c-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$) は Si/Ge 組成比により赤外感度領域を制御できることから、多接合型太陽電池のボトムセル材料への応用が期待できる。しかし、我々はこれまでに、Ge の添加にともなって発生するアクセプター準位が太陽電池特性を低下させる要因となっていることを見出した^{III-2-(ロ)-A-1-a4 (1)}。そこで、本研究では $\mu\text{c-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$ に存在するアクセプター準位を補償することを目的に酸素を用いたカウンタードーピングを試みた。

作製した太陽電池の構造は単接合 p-i-n 型で、i 層の Ge 濃度を 10-30% の範囲とし、i 層に添加する酸素源としては CO_2 ガスを用いた。図 III-2-(ロ)-A-1-a4 (1) は Ge 濃度および膜厚が異なる $\mu\text{c-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$ 太陽電池の量子効率スペクトルで、i 層製膜時における CO_2 ガス濃度依存性について示している。Ge 濃度が 30 at. %、膜厚 $1\ \mu\text{m}$ の太陽電池の場合、原料ガス総流量に対する CO_2 ガスの流量比を $C_{\text{CO}_2}=2.4\%$ としたときに全波長領域で量子効率の改善が確認された。また、i 層の Ge 濃度が 10 at. % と低い場合においても膜厚が厚い ($3.4\ \mu\text{m}$) 太陽電池では、 CO_2 の添加効果 ($C_{\text{CO}_2}=0.3\%$) として短波長領域の量子効率の改善が得られる。その結果、短絡電流密度は約 $5\ \text{mA}/\text{cm}^2$ 増加し、 $-1\ \text{V}$ のバイアス印加時では $29\ \text{mA}/\text{cm}^2$ の光電流密度を確認した。一方、過度の CO_2 添加は長波長感度の低下をもたらすことがわかった。これらのことより、添加した酸素は Ge 欠陥に起因するアクセプター準位を補償するドナーとして働くことが明らかとなり、 $\mu\text{c-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$ 太陽電池の特性改善に有効であることが示された。

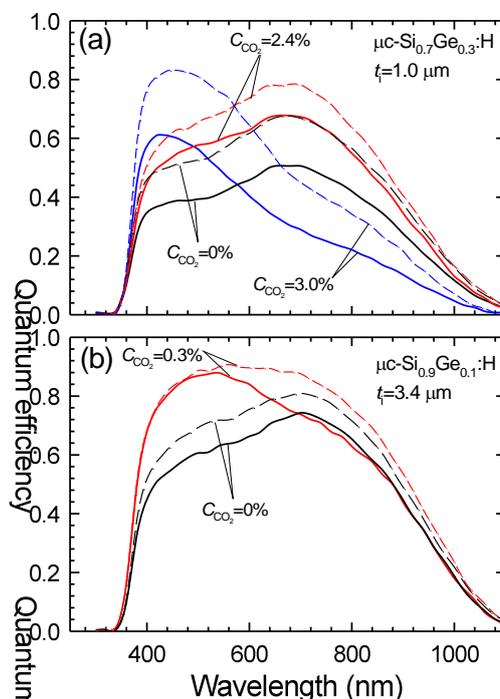


図 III-2-(ロ)-A-1-a4 (1) CO_2 ガスを用いて i 層に酸素を添加した $\mu\text{c-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$ 単接合 p-i-n 型太陽電池の量子効率スペクトル [(a) $x=0.3$, $t_i=1.0\ \mu\text{m}$ 、(b) $x=0.1$, $t_i=3.4\ \mu\text{m}$]。実線および点線はそれぞれ $0\ \text{V}$ と $-1\ \text{V}$ のバイアス電圧を印加したときのスペクトルを表す。

Ge 濃度 10 at. %、i 層膜厚 3.4 μm の単接合 p-i-n 型 $\mu\text{c-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$ 太陽電池において、i 層中にドーピングした酸素濃度と太陽電池特性の関係を調べた結果 (表 III-2-(口)-A-1-a4 (1))、 $\sim 7 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の酸素添加で短絡電流密度は最大値 27.5 mA/cm^2 を示し、酸素添加のないセルに比べて約 5 mA/cm^2 の改善が得られた。

表 III-2-(口)-A-1-a4 (1) i 層に添加した酸素濃度と $\mu\text{c-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$ 単接合 p-i-n 型太陽電池 [$x=0.1$, $t_i=3.4 \mu\text{m}$] の電流電圧特性との関係。

0 content (cm^{-3})	J_{sc} (mA/cm^2)	V_{oc} (mV)	FF	efficiency (%)
3.0×10^{17}	22.7	449	0.576	5.86
3.6×10^{18}	27.0	439	0.511	6.06
7.3×10^{18}	27.5	451	0.504	6.24
1.1×10^{19}	26.5	454	0.527	6.35

参考文献

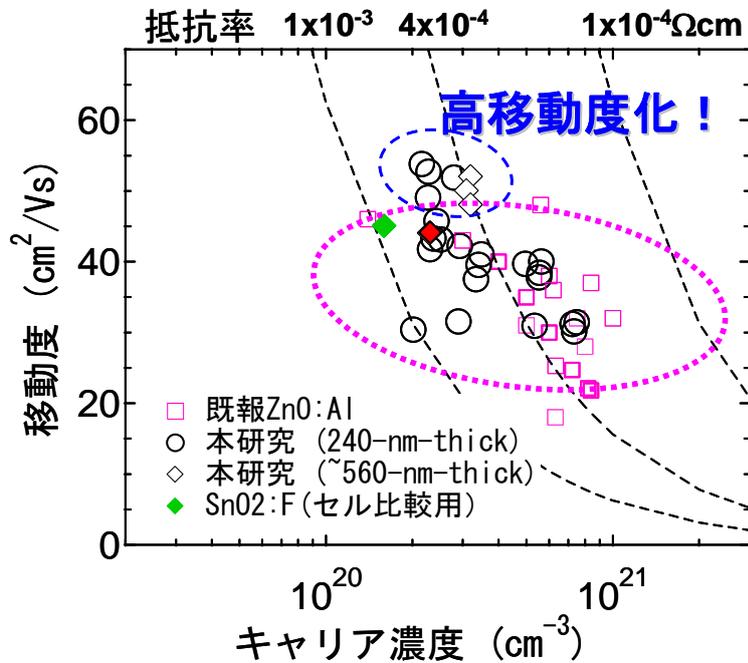
III-2-2-(口)-A-1-a4 (1): T. Matsui, C.W. Chang, M. Kondo, K. Ogata, and M. Isomura, Appl. Phys. Lett. 91 (2007) 102111.

a-5. 高性能・低コスト透明電極材料の開発 (担当: 独立行政法人産業技術総合研究所)

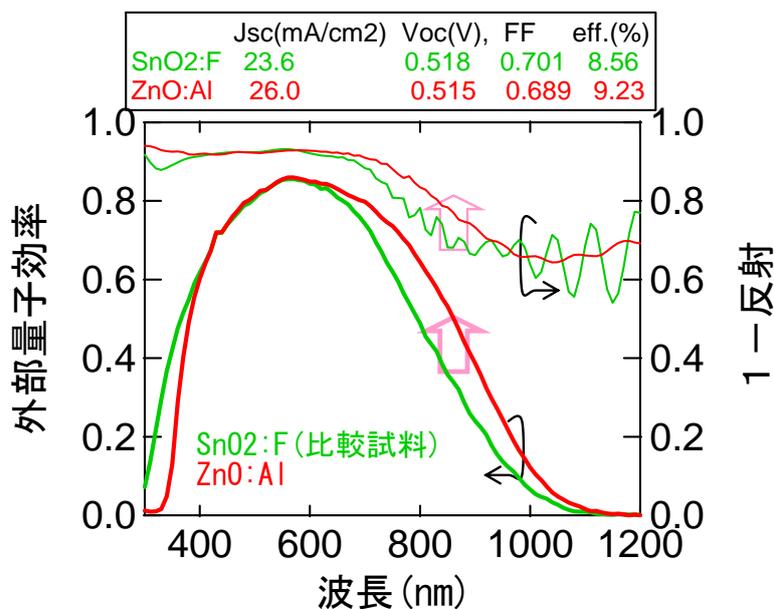
可視・近赤外域において透明かつ光閉じ込め効果の高い、高導電性 ZnO 薄膜の開発を目的に、スパッタ法による ZnO:Al および MOCVD 法による ZnO:B 薄膜を検討している。具体的には、縮退した ZnO 半導体薄膜において、アクセプター型欠陥とキャリア濃度 (ドナー濃度 - アクセプタ濃度) を同時に減らすことで移動度を向上させ、高導電性を維持した状態で欠陥および自由キャリアに起因する吸収を減少させた薄膜を形成させる。

これまで、Al 濃度に応じた薄膜作製条件の最適化を行うことにより、結晶性およびキャリアの活性化率を向上させ、その結果、図 III-2-(口)-A-1-a5 (1) にしめすように、膜厚 240nm では移動度 $30\text{--}40 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 、膜厚約 560nm では移動度 $50 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 程度の ZnO:Al 薄膜を形成できることを確認した。これまで報告されている ZnO:Al 薄膜のなかでも高い性能を示している。また、酸素分圧を制御した環境下でのポストアニール処理により、膜厚 240nm の ZnO:Al 薄膜の移動度を $50\text{--}60 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 程度まで向上 (図中の青の点線で囲った領域) できることを見出した。一方、膜厚約 700nm の ZnO:Al 薄膜を希塩酸でエッチングすることによりテクスチャー化させた ZnO:Al 薄膜 (図中の桃色の菱形) 上に $\mu\text{c-Si:H}$ (i 層厚 $2 \mu\text{m}$) シングルセルを作製したところ、比較試料として用いた $\text{SnO}_2\text{:F}$ 基板 (図中の緑色の菱形) と比べ、セル特性は大幅に向上することを確認した。図 III-2-(口)-A-1-a5 (2) に示すように、長波長域 (波長 800–1100nm) の分光感度 80% 増加、短絡電流密度 10% 増加をしている。なお、本セルに用いた ZnO:Al 薄膜は前述のポスト処理は行っていない。一方、ZnO:B

薄膜に関しては、MOCVD 装置の設計・開発を行い、既報と同等のテクスチャー構造と電気特性（抵抗率： $1.4 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}$ 、キャリア濃度： $1.3 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 、移動度： $37 \text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ ）を示す薄膜の作製を確認している。今後、ZnO:Al 薄膜と同様に、欠陥制御による透明導電膜の高性能化、セルでの効果の実証を図る。



図III-2- (口) -A-1-a5 (1) 本研究と一般的な ZnO:Al 薄膜との特性比較



図III-2- (口) -A-1-a5 (2) $\mu \text{c-Si:H}$ シングルセル (i 層厚： $2 \mu \text{m}$) のセル特性と分光感度特性

a-6. 表面凹凸構造制御・高ヘイズZnO透明導電膜を用いた高効率アモルファスシリコン太陽電池の研究開発（国立大学法人東京工業大学 小長井研究室）

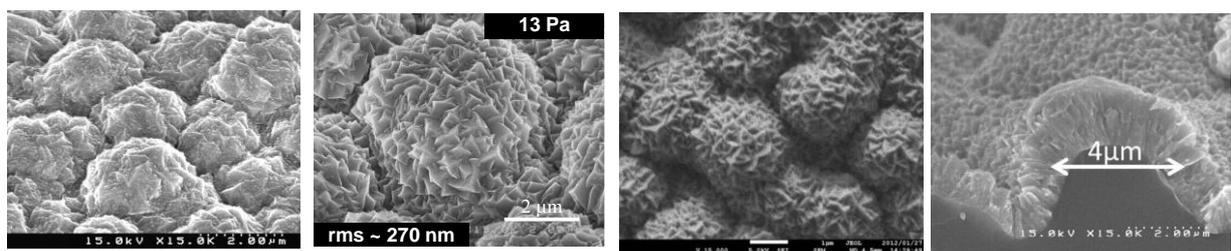
a) 表面凹凸構造制御・高ヘイズZnO透明導電膜の開発（高ヘイズZnO）

平成26年度までに、アモルファスSiシングル接合太陽電池で12%の安定化効率を得ることを目的として、表面凹凸形状が制御されたZnO透明導電膜を用いたセル開発を行っている。アモルファスSiシングル接合太陽電池で光劣化率を減少させるには、i層を200nm程度まで薄くし、内部電界を強くする必要がある。i層を薄くすると、光劣化の原因となるi層内部での再結合減少するとともに、光誘起欠陥がセル特性に与える影響が小さくなる。一方、i層を薄くすると光の吸収量が減少するため、より有効な光閉じ込め構造の開発が必要不可欠である。

本研究では、まずガラス基板をRIE（反応性イオンエッチング）でエッチングすると表面にミクロンサイズの凹凸が形成され、その上にMOCVD（有機金属気相成長法）によりZnO透明導電膜を形成すると、非常にヘイズ率が高いダブルテクスチャーZnOが形成されることを世界に先駆けて見出した。

まず、Corning7059ガラス、Corning Eagleガラス、青板ガラス、白板ガラスをRIEエッチングし、その上にMOCVD法によりZnOを製膜したところ、各ガラス基板ごとにエッチング条件が異なるものの、いずれの基板でも超高ヘイズのダブルテクスチャー透明導電膜の形成に成功した。波長1 μ mでも90%を超すヘイズ率が得られている。これほど高いヘイズ率を得たのは、本研究が世界初である。

図III-2-(ロ)-A-1-a6(1)は、各種ガラス基板を凹凸加工した後、MOCVD法にて形成したZnOの表面SEM（走査型電子顕微鏡）観察の結果である。いずれの場合も、きれいなダブルテクスチャーになっている。どの基板でも大きなヘイズ率を得ているが、ガラスの価格と透過率の両面から判断して、今後は白板でいっそうの条件の最適化を図っていく必要がある。



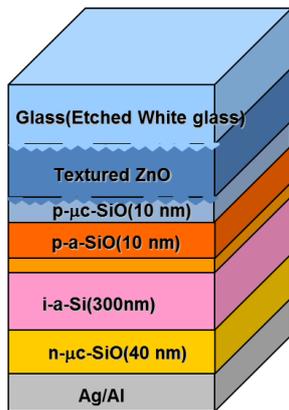
(a)Corning 7059 (b) 青板ガラス (c) Corning Eagle (d) 白板ガラス

図III-2-(ロ)-A-1-a6(1) 種々のガラス基板上に形成したダブルテクスチャーZnO 透明導電膜

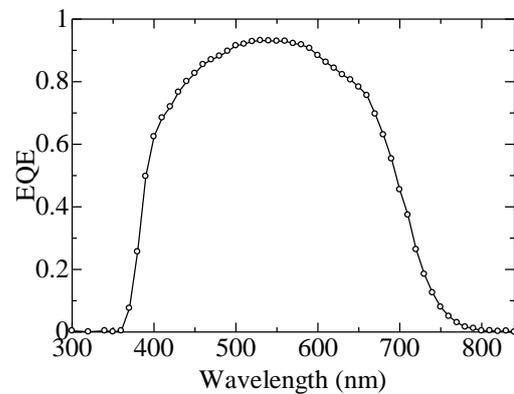
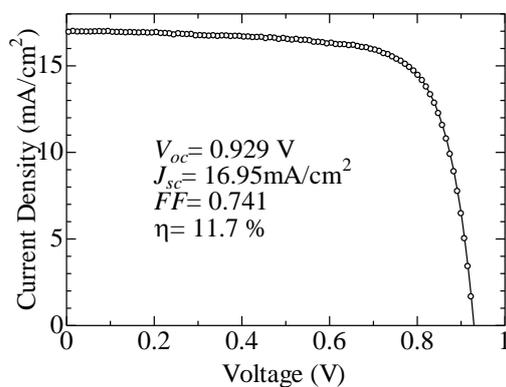
ついで、これらのTCO基板を用いてアモルファスSiシングル接合型太陽電池を作製した。セル構造は、図III-2-(ロ)-A-1-a6(2)に示す。ダブルテクスチャー基板では、深い溝の部分で漏れ電流が発生しやすくなる。そこで、本研究では、製膜後にRIE処理を行った。RIE処理により大幅に漏れ電流が減少し、これまでに初期効率11.7%を

得ることに成功した。また、i層の厚さが300nmのセルで、短絡電流密度17mA/cm²が得られ、平成24年度の中標を達成した。さらに、初期的ながら安定化効率の測定をおこなったところ、9.6%を達成した（i層の厚さ300nm）。

図Ⅲ-2-（ロ）-A-1-a6（3）、図Ⅲ-2-（ロ）-A-1-a6（4）は、それぞれ標準状態での太陽電池特性、ならびに収集効率スペクトルを示している。ダブルテクスチャー構造の採用により、非常に有効な光閉じ込め効果が得られ、波長 600nm～700nm の範囲でも高い収集効率を示しているのが特徴である。



図Ⅲ-2-（ロ）-A-1-a6(2) 白板ガラス上に形成したダブルテクスチャーZnOを用いたa-Siセル構造（p, n層ともにSiO系）



図Ⅲ-2-（ロ）-A-1-a6（3）a-Si シングル接合太陽電池の 図Ⅲ-2-（ロ）-A-1-a6（4）同収集効率スペクトル特性。

(b) ワイドギャップ p 層の研究開発

禁制帯幅が2.2eVの微結晶p型3C-SiCを用いたアモルファスSi太陽電池を開発することを目的に、TCO開発、TCO/p界面制御を行っている。これまでに、p型窓層として適用可能な導電率を有する微結晶p型3C-SiCの製膜技術は確立されたが、p-nc-3C-SiC/i-a-Si/n-a-Siセルを作製したところ、開放電圧がまだ0.6V程度と低い。これはp層製膜時の水素ラジカルによる還元のためであり、引き続き界面の改善を試みている。

a-7. スパッタ法による低コスト高性能TCOの開発 (学校法人金沢工業大学 宮田研究室)

変換効率向上を目的として、薄膜シリコン太陽電池用透明電極に最適な表面テクスチャー構造を有するZnO系透明導電膜を開発する。具体的には、本研究で提案する①成膜技術、②加工技術及び③材料技術を使用して、高品質なZnO系透明導電膜を実現すると共に光閉じ込め機能の高度化を図る。

1. 高効率化

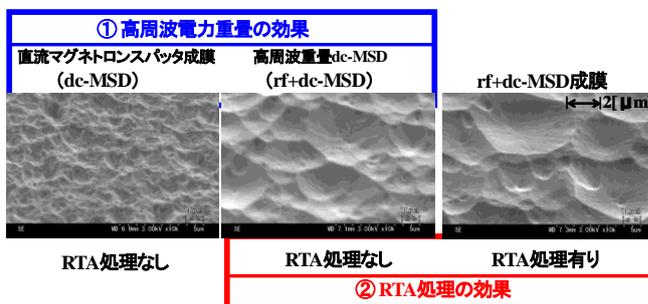
①成膜技術では、直流マグネトロンスパッタ成膜(dc-MSD)に高周波電力を重畳する成膜(rf+dc-MSD)技術を開発することにより、c軸配向性に優れたZnO系透明導電膜を実現した。その結果の一例として、図Ⅲ-2-(ロ)-A-1-a7(1)中の「①高周波重畳の効果」に示したように、rf+dc-MSDにより作製したAl添加ZnO(AZO)膜を湿式エッチング加工して得られた表面テクスチャー構造は、dc-MSDで作製した場合と比較して大きなエッチピット径を実現している。dc-MSDではエッチピット径の大きさが1 μ m以下であったが、rf+dc-MSDでは最大3 μ m程度まで大きさが分布したエッチピットを実現できた。また、図Ⅲ-2-(ロ)-A-1-a7(2)に示したように、ヘイズ率スペクトルも大きく改善された。②加工技術では、成膜後のZnO系透明導電膜に対するラピッドサーマルアニーリング(RTA)処理技術を開発することにより、エッチピット径の増大を実現できた。その結果の一例として、図Ⅲ-2-(ロ)-A-1-a7(1)中の「②RTA処理の効果」に示したように、rf+dc-MSDで作製したAZO膜をエッチング処理前にRTA処理(空气中で、500 $^{\circ}$ Cで5分間)して作製した表面テクスチャー構造は、RTA処理無しの場合と比較して大きなエッチピット径を実現している。また、図Ⅲ-2-(ロ)-A-1-a7(2)に示したように、RTA処理を施したAZO膜ではヘイズ率がさらに改善し、可視から波長1200[nm]付近までの広い波長域で約80[%]以上の高ヘイズ率を達成できた。ここには示していないが、RTA処理を施したAZO膜においては、処理後に膜中のキャリア密度が減少したことにより、長波長域の透過率の大幅な改善を実現できた。③材料技術では、薄膜シリコン太陽電池の透明電極としての適合性を明らかにするために、不純物の種類及び含有量の異なるZnO系透明導電膜を作製し、表面テクスチャー構造形成に対する添加不純物の影響を明らかにした。ZnO系透明導電膜の得られる膜特性は使用する成膜技術や成膜条件に依存するため、不純物の種類の影響についてはパルスレーザー蒸着(PLD)法を用いてAZO、B添加ZnO(BZO)及びGa添加ZnO(GZO)透明導電膜を作製した。図Ⅲ-2-(ロ)-A-1-a7(3)にPLD法を用いて同一条件下で成膜後、湿式エッチングにより形成したAZO、GZO及びBZO膜の表面テクスチャー構造を示す。同図に示すようにGZO、BZOそしてAZO膜の順に大きなエッチピット径が形成されている。ここでは示していないが、近赤外域でのヘイズ率はBZO、AZO、GZOの順で高かった。一方、図Ⅲ-2-(ロ)-A-1-a7(4)に示すように、これらの膜の抵抗率はほぼ同じで、電気伝導機構が全てイオン化不純物散乱に支配されていると考えられる。すなわち、AZOやGZO膜においても膜中のそれぞれのAl及びGa含有量を低減すれば、BZO膜と同様に低いキャリア密度と高い移動度を実現できることが示唆される。したがって、AZOやGZO膜の近赤外域での低いヘイズ率は、これらの膜の高い不純物含有量(キャリア密度)に起因する低い透過

率が主因である。また、図Ⅲ-2-(ロ)-A-1-a7(5)に示すように、BZO膜の耐湿安定性はAZO及びGZO膜と比較してやや低かったが、これも主として膜中の不純物含有量の違いによると考えられる。膜中の不純物含有量の最適化について検討した一例として、図Ⅲ-2-(ロ)-A-1-a7(6)にrf+dc-MSD法で作製したGZO膜の表面テクスチャー構造のGa含有量依存性を示す。同図に示すように、膜の表面テクスチャー構造は膜中のGa含有量に依存し、約2[at. %]の含有量において比較的大きなエッチビットが形成できた。また、ここには示していないが、RTA処理を施した膜においては不純物の種類に関わらず耐湿安定性が改善されることがわかった。したがって、上述の①～③の技術を併用することにより、いずれの不純物を使用しても同様の用途適合性を実現できることを明らかにした。

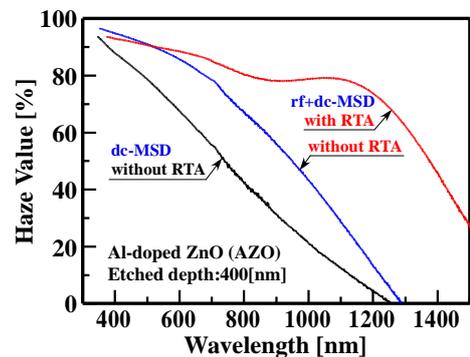
そこで、上記のrf+dc-MSD法により成膜し、大気中、550℃で5分間RTA処理を施した後に、湿式エッチング法により作製された表面テクスチャー構造を有するAZO膜上に産総研において、 μ c-Si:H pin太陽電池を試作した。表Ⅲ-2-(ロ)-A-1-a7(1)に示すように、Asahi-Uガラス上に作製した同様の構造の太陽電池と比較して短絡電流密度を約10%改善でき、中間目標を達成できた。

2. 製造コスト低減

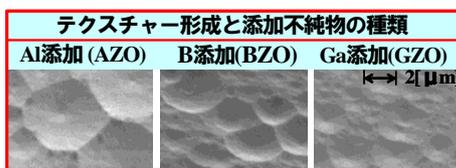
低酸素含有 ZnO 系焼結体ターゲットを採用する高周波重畳直流マグネトロンスパッタ成膜において、約 1.7nm/s の高い成膜レートを実現できた。



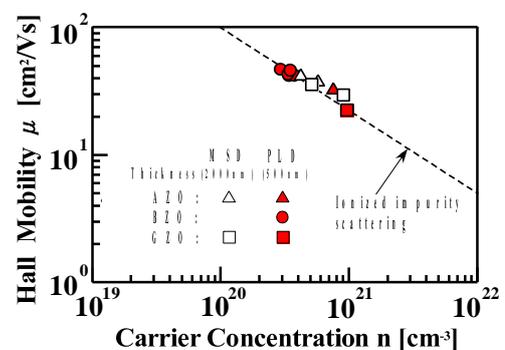
図Ⅲ-2-(ロ)-A-1-a7(1)
AZO膜の表面テクスチャー構造



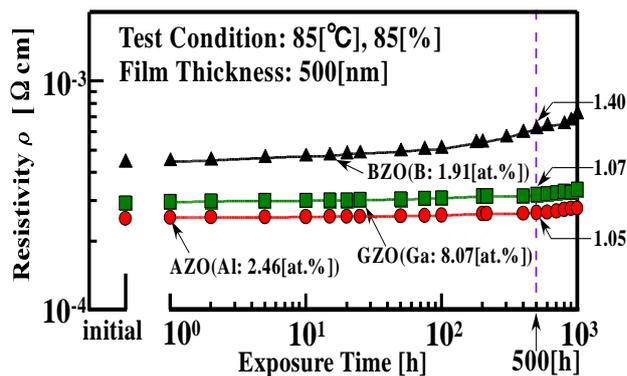
図Ⅲ-2-(ロ)-A-1-a7(2)
AZO膜のヘイズ率スペクトル



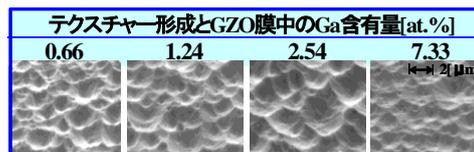
図Ⅲ-2-(ロ)-A-1-a7(3)
AZO,BZO,GZO膜の表面テクスチャー構造



図Ⅲ-2-(ロ)-A-1-a7(4)
AZO,BZO及びGZO膜の μ -n関係



図Ⅲ-2- (口) -A-1-a7(5)
AZO,BZOGZO 膜の耐湿安定性



図Ⅲ-2- (口) -A-1-a7(6)
GZO 膜の表面テクスチャー構造の不純物含有量依存性

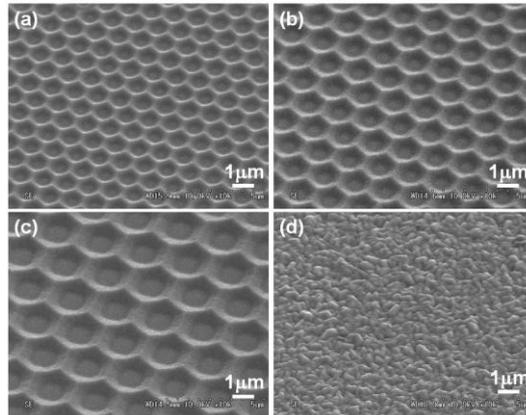
表Ⅲ-2- (口) -A-1-a7(1) 表面テクスチャー構造 AZO 膜上に作製した μ c-Si:H pin 太陽電池特性

	開放端電圧 [V]	短絡電流密度 [mA/cm ²]	曲線因子	効率 [%]
AZO	0.498	25.81	0.652	8.38
Asahi-U	0.497	23.55	0.695	8.14

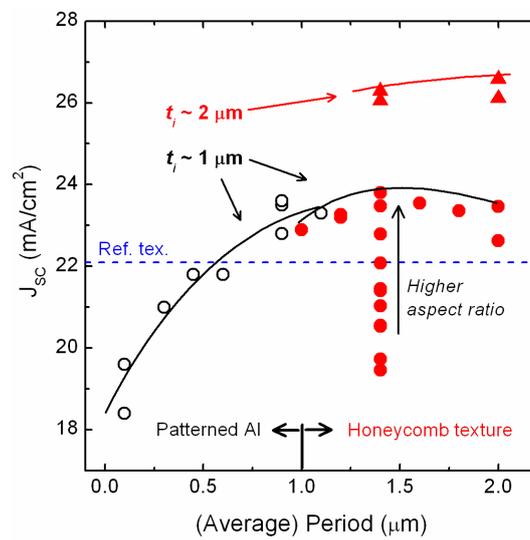
a-8. デバイス高効率化に向けた新規光閉じ込め技術の開発 (担当: 独立行政法人産業技術総合研究所、三菱重工業株式会社)

μ c-Si:H 太陽電池の光閉じ込め効果・光路長増大効果の最大化を目的として、新規ハニカムテクスチャ構造を作製した。低コスト作製プロセス開発も不可欠な開発要素ではあるが、まずは光閉じ込め効果のポテンシャルの見極めを行うために制御性に富むフォトリソグラフィを利用したテクスチャ開発を実施した。また、テクスチャ構造と太陽電池特性の相関をより明確化するためにランダム性を排した周期構造を用いることとした。なお、周期構造を用いてもランダム構造と遜色ない発電特性が得られることは理論的・実験的に確認されている (文献Ⅲ-2- (口) -A-1-a8(1) 及び(2))。各種条件を適正化し、図Ⅲ-2- (口) -A-1-a8(1) に示すような種々のテクスチャ構造を作製した。図中 (a) (b) (c) はそれぞれ周期 $1\mu\text{m}$ 、 $1.4\mu\text{m}$ 、 $2\mu\text{m}$ のハニカム構造であり、(d) は参照テクスチャ基板である。同条件にて作製したサブストレート型 μ c-Si:H 太陽電池の短絡電流密度 J_{sc} とハニカムテクスチャ構造の周期との相関をまとめたものが図Ⅲ-2- (口) -A-1-a8(2) である。図には過去に Al 陽極酸化法で作製した基板 (周期 $1\mu\text{m}$ 以下) の結果も示している (文献Ⅲ-2- (口) -A-1-a8(3))。この結果から、光閉じ込め効果を最大化する適切な周期があること、その周期は太陽電池の膜厚に依存する傾向があること、高アスペクト比を持つ基板ほど高電流が得られることが理解される。本図における最大の J_{sc} は膜厚 $2\mu\text{m}$ において 26.7mA/cm^2 であるが、更なるテクスチャ構造の探索により、現時点で $J_{sc}=27.7\text{mA/cm}^2$ 、逆バイアス電圧印可状態における量子効率スペクトルの積分値としては 28.9mA/cm^2 を得た (図Ⅲ-2- (口)

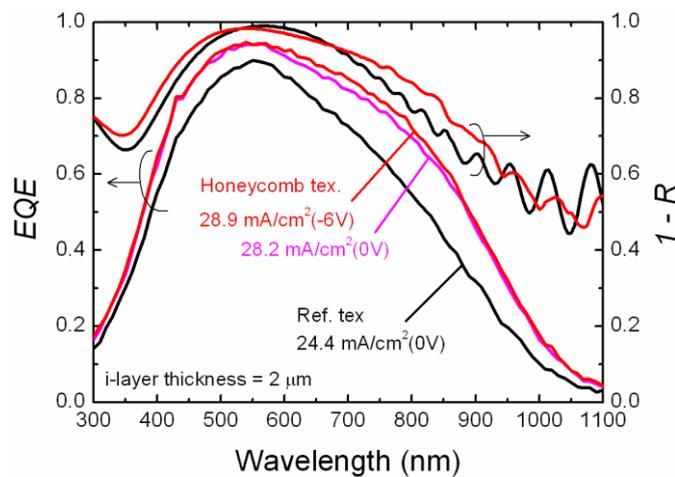
-A-1-a8(3))。テクスチャ構造の最適化・吸収損失の抑制並びに反射防止構造等の適用によって中間目標値 $30\text{mA}/\text{cm}^2$ は十分達成可能と考えられる。



図Ⅲ-2- (ロ) -A-1-a8(1) 新規開発したハニカムテクスチャ構造の走査型電子顕微鏡



図Ⅲ-2- (ロ) -A-1-a8(2) ハニカムテクスチャ構造の周期と短絡電流密度 J_{sc} の相関



図Ⅲ-2- (ロ) -A-1-a8(3) ハニカムテクスチャ上の $\mu\text{c-Si:H}$ 太陽電池の量子効率スペクトル

参考文献

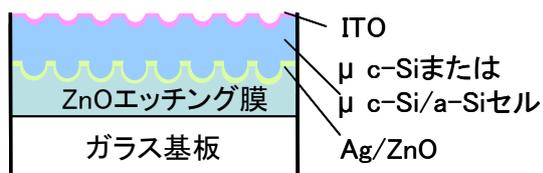
- III-2- (口) -A-1-a8 (1) :C. Battaglia, C.-M. Hsu, K. Söderström, J. Escarre, F.-J. Haug, M. Charrière, M. Boccard, M. Despeisse, D. T. L. Alexander, M. Cantoni, Y. Cui, and C. Ballif, “Light Trapping in Solar Cells: Can Periodic Beat Random?”, ACS Nano, vol. 6, 2790-2797 (2012).
- III-2- (口) -A-1-a8 (2) :S. E. Han and G. Chen, “Toward the Lambertian Limit of Light Trapping in Thin Nanostructured Silicon Solar Cells”, Nano Lett., vol. 10, 4692-4696 (2010).
- III-2- (口) -A-1-a8 (3) :H. Sai, M. Kondo, “Effect of self-ordered textured back reflectors on light trapping in thin-film microcrystalline silicon solar cells”, J. Appl. Phys. vol. 105, 094511 (2009).

a-9. サブストレート型薄膜シリコン系太陽電池の光閉じ込め構造に関する研究開発（担当：富士電機株式会社）

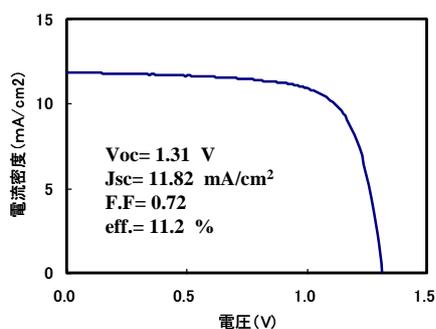
フレキシブル薄膜シリコン太陽電池の高出力化のために光閉じ込め技術について検討している。太陽電池はサブストレート型であり、裏面電極面に凹凸形状を付与することで光を発電層内に閉じ込める。ここでは、光閉じ込めの最適構造検討として制御された凹凸構造を用いてその構造を探索している。フィルム基板太陽電池に適用できる光閉じ込め構造として選択的反応性スパッタリング法を検討している。これらをサブストレート型太陽電池に適用し、2 接合太陽電池において 13%以上の変換効率を得ることを目標としている。

光閉じ込め構造の最適化では ZnO エッチング法の検討を行った。この方法はガラス基板に製膜した ZnO 膜（厚さ $2\mu\text{m}$ ）を希塩酸でエッチングするものであり、ZnO 膜に比較的整った円形の窪みが形成される。この基板に Ag/ZnO を製膜して凹凸状の裏面電極とした。円形の窪みはエッチング時間とともに大きくなり、乱反射の指標である拡散反射率が高くなった。窪みがガラス基板に達すると拡散反射率が徐々に低くなった。窪みの直径が $2.4\sim 3.5\mu\text{m}$ を越えると拡散反射率が 80%以上に増加する傾向があった。薄膜 Si 太陽電池で広く用いられている Type-U 基板上に形成した裏面電極（拡散反射率 46%）と比較しても高い拡散反射率が得られた。ここで、拡散反射率の代表値は波長 700nm の値とした。次に、裏面電極の上に微結晶 Si の n 層、i 層と p 層、そして、ITO 透明電極を形成して太陽電池とした（図 III-2- (口) -A-1-a9(1)）。その短絡電流密度 (J_{sc}) は拡散反射率とともに増加した（図 III-2- (口) -A-1-a9(2)）。分光感度特性において 600nm 以上の長波長領域で量子効率が增加することからも、光閉じ込めの効果によることがわかる。エッチング時間 120s のときに変換効率 9.3%（拡散反射率 92%、 J_{sc} $23.8\text{mA}/\text{cm}^2$ ）を得た。同時に形成した Type-U 基板では変換効率 9.0%（拡散反射率 46%、 J_{sc} $22.7\text{mA}/\text{cm}^2$ ）と同等の特性であった。さらに、微結晶 Si 太陽電池とアモルファス Si

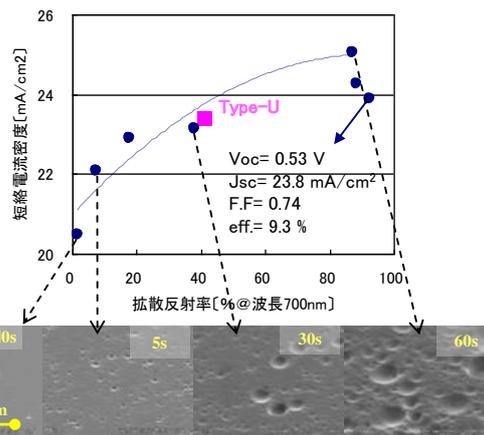
太陽電池を積層した 2 接合太陽電池は変換効率 11.2%であった（図 III-2- (口) -A-1-a9(3)）。また、開放電圧 (V_{oc}) 1.31V、 J_{sc} $11.8\text{mA}/\text{cm}^2$ 、曲線因子 (FF) 0.723 であった。



図III-2-(ロ)-A-1-a9(1) ZnOエッチング膜上に作製した太陽電池構造



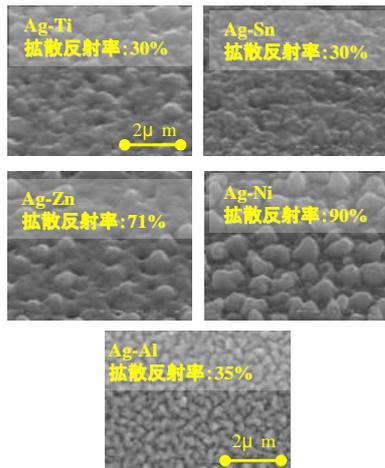
図III-2-(ロ)-A-1-a9(3) ZnOエッチング膜上に作製した2接合太陽電池の電圧電流特性



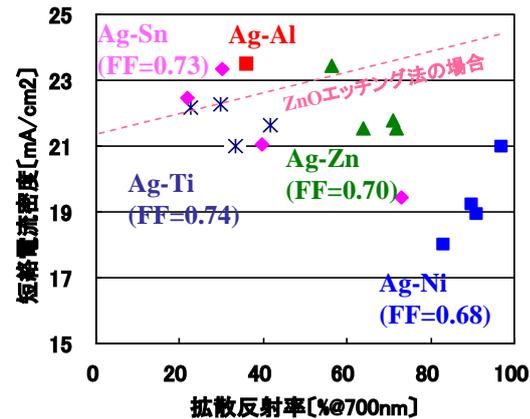
図III-2-(ロ)-A-1-a9(2) ZnOエッチング膜の拡散反射率と太陽電池の電流密度の関係およびZnOエッチング膜の表面形状

選択的反応性スパッタリング法は富士電機の独自技術で太陽電池の裏面電極の形成に使用されている。これはAl添加のAg合金を酸素添加のArガスでスパッタするものであり、更なる高性能化のために新たなAg合金材料の検討をしている。4種類の添加元素(Zn、Sn、Ti、Ni)を選定して裏面電極を形成した。Ag-Ni合金は最も突起が大きく、拡散反射率が80%を超え、Ag-Al合金の値(40%)よりも高かった(図III-2-(ロ)-A-1-a9(4))。

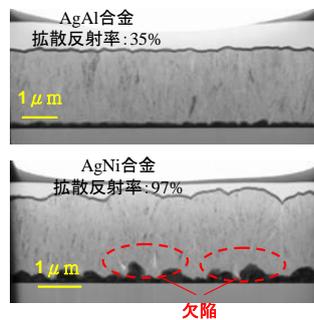
次に、これらを裏面電極として微結晶Si太陽電池を形成した。各合金とも短絡電流密度は拡散反射率とともに大きくなる傾向が見える(図III-2-(ロ)-A-1-a9(5))。一方、拡散反射率が高いAg-Ni合金やAg-Zn合金は短絡電流密度が小さくなり、FFの減少とも対応していた。太陽電池の断面を透過電子顕微鏡観察すると、Ag-Ni合金の裏面電極界面からSi膜中に線状の欠陥が観察される(図6)。これが太陽電池特性の低下を招いたものと考えられる。このため、Ag-Ni合金太陽電池の変換効率は7.0%($J_{sc}=20.9\text{mA/cm}^2$)とAg-Al合金の変換効率8.5%($J_{sc}=23.5\text{mA/cm}^2$)には至っていない。欠陥を発生させない凹凸形状を検討する必要がある。



図III-2- (ロ) -A-1-a9(4) Ag合金膜の表面形状と拡散反射率



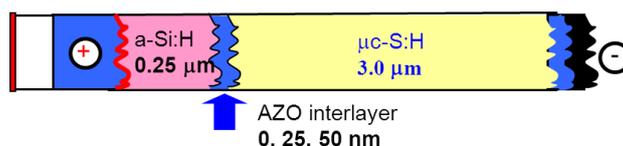
図III-2- (ロ) -A-1-a9(5) Ag合金膜の拡散反射率と太陽電池の電流密度の関係



図III-2- (ロ) -A-1-a9(6) 太陽電池の断面透過電子顕微鏡像

a-10. 安定化効率15%以上の小面積薄膜シリコン太陽電池セルの開発 (担当: 独立行政法人産業技術総合研究所)

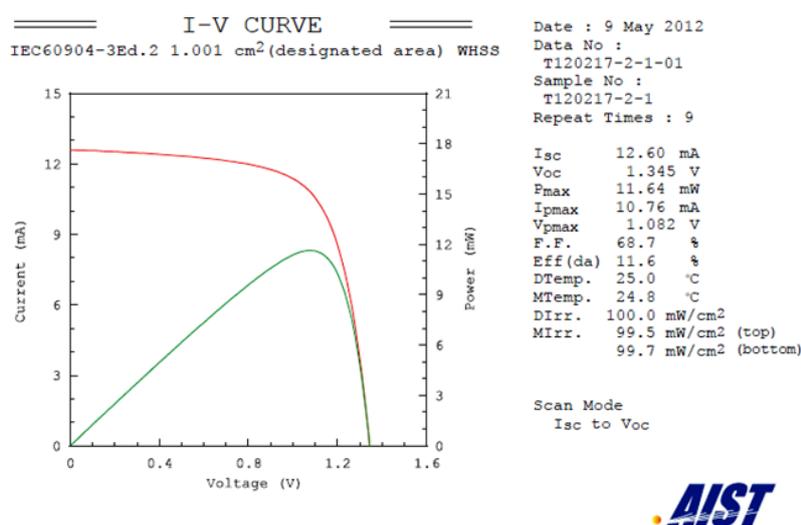
これまでに、a-1 で開発中の高光安定な a-Si:H を用いて a-Si:H/ μ c-Si:H タンデム型太陽電池の開発を行ってきた。タンデムセルの特性改善のために、トップセルとボトムセルの間に中間反射層を導入し、a-Si:H トップセルの高電流化を図るとともに、セルの電流律則条件と光安定性の関係について調査した。具体的にはトップ・ボトムセルの間に、Al ドープ ZnO (AZO) を中間反射層として挿入し、その膜厚を変化させたタンデムセルを作製した。図III-2- (ロ) -A-1-a10(1) に、異なる膜厚の中間反射層 ($t_{AZO}=0, 25, 50$ nm) を具備した a-Si:H (250 nm)/ μ c-Si:H (3 μ m) タンデムセルの素子構造と、各要素セルの電流密度と電流電圧特性について示す。中間反射層を用いないセルではトップセル電流律則となり、 $t_{AZO}=25, 50$ nm でそれぞれ電流整合、ボトム電流律則となった。これらのタンデムセルの中で、ボトム電流律則となるセルでは、光劣化率が約 3% と最も小さく、光劣化後の FF が 0.75 ときわめて高い値を示した。一方、最も高い安定化効率を示したのは、電流整合した太陽電池で、1.25 sun、48°C、310 時間の光照射条件下で安定化効率 11.3% を得た (AIST 評価・標準チーム測定)。



t_{AZO} (nm)	J_{top} / J_{bottom} (mA/cm ²)	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	FF	η (%)	
0	12.1 / 14.7	Ini	12.0	1.314	0.742	11.7
		LS	11.9	1.343	0.715	11.2
		Δ (%)	-0.83	2.21	-3.64	-4.27
25	12.9 / 13.4	Ini	12.8	1.300	0.727	12.0
		LS	12.6	1.330	0.687	11.4
		Δ (%)	-1.56	2.31	-5.50	-5.00
50	13.7 / 11.7	Ini	11.3	1.324	0.780	11.7
		LS	11.3	1.330	0.755	11.3
		Δ (%)	0.00	0.45	-3.21	-3.42

図Ⅲ-2- (ロ) -A-1-a10 (1) 中間反射層を用いた a-Si:H/ μ c-Si:H タンデム型太陽電池のデバイス構造と、各要素セルの電流密度および電流電圧特性の中間層膜

上記の AZO はタンデムセルの中間反射層として機能するものの、AZO の膜厚を増加させるとフリーキャリア吸収による光学ロスが発生し、それに起因してボトムセルの電流が減少することがわかった。そこで、より透明性の高い μ c-SiO_x:H^{III-2-} (ロ) -A-1-a10(1) の適用を検討した。また、トライオード PECVD 法で作製する高光安定性な a-Si:H 太陽電池は、従来よりセル膜厚を厚くしても光劣化の増加を抑えることができるため、トップセルの高電流化のためにトップセルの厚膜化 (250⇒350 nm) を検討した。a-Si:H (350 nm)/中間反射層 μ c-SiO_x:H (25 nm)/ μ c-Si:H (3 μ m) タンデムセルを試作した結果、光照射 (125 mW/cm²、310 h、48°C) による光劣化率は約 7% であり、安定化効率 11.6% (J_{sc} =12.6 mA/cm², V_{oc} =1.345 V, FF=0.687, ガラス面 AR 膜あり) を得た。図Ⅲ-2- (ロ) -A-1-a10(2) にこの太陽電池の I-V 特性 (AIST 評価・標準チームで測定) を示す。



図Ⅲ-2- (ロ) -A-1-a10(2) 光劣化後の a-Si:H (350 nm)/ μ c-Si:H (3 μ m) タンデム型太陽電池の電流電圧特性。

参考文献

III-2- (□) -A-1-a10 (1) P. Buehlmann, J. Bailat, D. Dominé, A. Billet, F. Meillaud, A. Feltrin, and C. Ballif, *Appl. Phys. Lett.* 91 (2007) 143505.

III-2- (□) -A-1-a10 (2) A. Hongsingthong, T. Krajangsang, I. A. Yunaz, S. Miyajima, and Makoto Konagai, *Appl. Phys. Express* 3 (2010) 051102.

表Ⅲ-2- (ロ) -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
<p>a-1. アモルファスシリコン太陽電池の高電流・高安定化技術開発 (担当: 独立行政法人産業技術総合研究所)</p> <p>(平成 24 年度末中間目標)</p> <p>2 接合または 3 接合で 1cm²以上の小面積セルで安定化効率 14%。</p>	<p>単接合セルと 2 接合化セル (1cm²) でそれぞれ安定化効率 9.6%と 11.6%を達成。</p> <p>単接合セルと 2 接合化セル (a-Si:H 膜厚: 250 nm) の光劣化率が、それぞれ 10%と 5%程度。</p>	△	<p>p/i 界面のバッファ層の高品質化 (高光安定化) による光劣化のさらなる抑制。</p> <p>市販 TCO 基板から高へイズ基板に移行し、高電流化・高効率化を図る。</p>
<p>a-2. 高効率アモルファスシリコンによるトップセル高効率化 (三菱重工株式会社、独立行政法人産業技術総合研究所)</p> <p>(平成 24 年度末中間目標)</p> <p>30×40cm²以上の製膜プロセスで単接合セルの短絡電流 16mA/cm²と、劣化率 5%以下のセル実現</p>	<p>シリコンナノ粒子計測モニタの設計・製作完了。計測技術を確認し、小面積プラズマ CVD 装置でシリコンナノ粒子のモニタリングが可能となった。</p> <p>シリコンナノ粒子量と a-Si:H 単接合太陽電池の劣化率との関係を確認。ナノ粒子量低減により劣化率が改善可能であることを確認した。</p> <p>30×40cm²基板成膜用プラズマ CVD 装置の電極・成膜ユニットの設計・製作を完了した。</p>	△	<p>30×40 cm² 基板成膜用プラズマ CVD 装置の新規電極・成膜ユニットで成膜した a-Si:H 膜中のシリコンナノ粒子量の制御。</p> <p>小面積プラズマ CVD 装置で蓄積したシリコンナノ粒子量に関するデータを 30×40 cm² 装置に展開。</p> <p>光閉じ込め技術適用による短絡電流の増加。</p>
<p>a-3. ナノ粒子制御によるアモルファスシリコンセルの高光安定化に関する研究 (国立大学法人九州大学 白谷研究室)</p> <p>(平成 24 年度末中間目標)</p>	<p>ナノ粒子の取り込みを抑制した P 層および N 層は、良い光安定性を示すことを明らかにした。</p> <p>I 層に関して、プラズマ ON, OFF に伴う I 層上下の 2 つの界面近傍のナノ粒子取り込みを抑</p>	△	<p>これまでの方法では抑制が難しい、サイズの小さいクラスターの膜中への混入を防止し、光安定性をさらに高める。</p> <p>複数層膜に対して、その場ナノ粒子膜中取り込み量モニター装置を用いて、ナノ粒子取</p>

<p>ナノ粒子を抑制する放電技術を確立し、小面積セルの光劣化5%以下を実現し、産総研プロセスにその成果を反映。</p>	<p>制することが光安定性の改善に重要であることを初めて明らかにした。界面近傍のナノ粒子取り込みの無いセルにおいて、ショットキーセルの初期FF=0.516、劣化率 1%以下を実現した。また、クラスター除去フィルター設置でナノ粒子取り込みを低減することにより光劣化率 1.95%の a-Si:H 膜ショットキーセルの作製に成功した。</p> <p>PIN セルにおいて、I 層成膜時のナノ粒子を抑制することにより、現在までに初期効率 9.19%、劣化率 12.6%を達成した。</p>	<p>り込み量と光安定性の関係を定量的に把握する。</p> <p>ナノ粒子取り込み抑制効率を飛躍的に高める、新型放電電極を開発する。また、PIN セル作製時の界面のナノ粒子取り込み抑制を行う。</p>
<p>a-4. 微結晶シリコンゲルマニウムを用いたボトムセル高電流化技術開発（独立行政法人産業技術総合研究所） （平成 24 年度末中間目標） Ge 濃度 25%以上で短絡電流密度 35 mA/cm² の小面積単接合セルを開発。</p>	<p>Ge 濃度 10-30%のセルで、酸素添加により短絡電流密度を 5 mA/cm² 改善した。厚さ 3.4 μm、Ge 濃度 10%で 27.5 mA/cm² を得た。</p>	<p>△</p> <p>高 Ge 濃度領域 (>20%) における結晶粒径の大粒径化。</p> <p>表面 TCO、裏面電極、ドーピング層の寄生吸収ロスを低減するとともに、高ヘイズ基板の適用による高電流化。</p>
<p>a-5. 高性能・低コスト透明電極材料の開発（担当：独立行政法人産業技術総合研究所） （平成 24 年度末中間目標） 太陽電池の長波長光感度を 20%向上。</p>	<p>開発中の ZnO:Al 基板を用いることで、比較試料より長波長域（波長 800-1100nm）の分光感度 80%増加、短絡電流密度 10%増加することを μc-Si:H セルにおいて確認</p>	<p>○</p>

<p>a-6. 表面凹凸構造制御・高ヘイズZnO透明導電膜を用いた高効率アモルファスシリコン太陽電池の研究開発（国立大学法人東京工業大学 小長井研究室） （平成 24 年度末中間目標） 小面積 a-Si 単接合セルで 17 mA/cm²以上の短絡電流を実証。</p>	<p>Corning 7059、Eagle ガラス、青板ガラス、白板ガラスのそれぞれに対して、反応性イオンエッチングにより表面の凹凸化を図り、その後で、ダブルテクスチャー構造の ZnO を製膜する革新技术を開発した。これにより、i 層の膜厚 300nm において短絡電流密度 17 mA/cm²を達成した。</p>	○	
<p>a-7. スパッタ法による低コスト高性能TCOの開発（学校法人金沢工業大学 宮田研究室） （平成 24 年度末中間目標） 開発した表面テクスチャー構造を有する ZnO 系透明導電膜を採用した薄膜シリコン太陽電池において、現状の SnO₂系透明導電膜付きガラスを採用した薄膜シリコン太陽電池と比較して、10%以上の短絡電流密度の向上を実現。</p>	<p>新規に開発した高周波重畳直流マグネトロンスパッタ成膜法により ZnO 系透明導電膜を形成後、化学的 surface 加工を施すことによりテクスチャー構造を形成する基本技術を確立。 ZnO 系透明導電膜において、波長 1000nm におけるヘイズ率約 40%を達成。 高周波重畳直流マグネトロンスパッタ成膜法を用いて作製した低抵抗率 ZnO 系透明導電膜の RTA 処理技術を確立。最適な RTA 処理条件は空气中、500[°C]で 5[min]であり、AZO 膜では RTA 処理後のエッチング、GZO 膜では RTA 処理前のエッチング処理により近赤外域のより長波長まで高いヘイズ率を実現。テクスチャーAZO 膜で波長 1200[nm]で 80[%]以上のヘイズ率を達成。 B、Al 及び Ga をそれぞれ添加した BZO、AZO 及び GZO 膜を作</p>	○	

	<p>製し、添加不純物の種類及び含有量と得られる電気的特性及び光学的特性との関係を検討。Si 系薄膜太陽電池用途に適合する特性を実現するためには、添加不純物の種類よりむしろ不純物添加量が重要であり、最適な不純物含有量は約 2[at.%]程度であることを明らかにした。</p> <p>高周波重畳直流マグネトロンスパッタ成膜法により成膜後、RTA 処理を施してテクスチャー構造を形成した AZO 膜上に、産総研において μc-Si:H pin 太陽電池を試作。その結果、asahi-U ガラス上に作製した同様の構造の太陽電池と比較して短絡電流密度を約 10%改善でき、中間目標を達成。</p> <p>製造コスト低減(中間目標に対する到達度：68[%]) 低酸素含有 ZnO 系焼結体ターゲットを採用する現有の高周波重畳直流マグネトロンスパッタ成膜において、約 1.7nm/s の高い成膜レートを実現。</p>		
<p>a-8. デバイス高効率化に向けた新規光閉じ込め技術の開発(担当：独立行政法人産業技術総合研究所、三菱重工業株式会社) (平成 24 年度末中間目標) 誘電体層を用いた裏</p>	<p>新規開発したハニカムテクスチャー型反射基板を用いたサブストレート型 μc-Si 単接合セル(膜厚 2μm)において、短絡電流密度 27.7mA/cm²、逆バイアス電圧下における量子効率スペクトルでは 28.9mA/cm²を得、従来構造に較べて 4mA/cm²程度の向上を実現。</p>	<p>△</p>	<p>テクスチャー構造の高アスペクト化および最適化。</p> <p>反射防止構造の適用。</p> <p>p 及び n 型層の吸収損失低減最。</p> <p>表面/裏面 TCO の吸収損失低減。</p>

<p>面反射層などの活用を含めた他の吸収損失抑制技術と合わせ、膜厚 $2\mu\text{m}$ 程度の $\mu\text{c-Si}$ 単接合セルで短絡電流 $30\text{mA}/\text{cm}^2$ の実現。</p>	<p>また、白色顔料を用いた反射材料が優れた拡散反射特性を有することを確認した。またタンデム太陽電池の裏面反射材として適用した結果、Ag 電極と比較し 2~6%の J_{sc} 向上を確認。</p>		<p>裏面反射層の透過損失低減。 デバイス形状の最適化。</p>
<p>a-9. サブストレート型薄膜シリコン系太陽電池の光閉じ込め構造に関する研究開発（担当：富士電機株式会社） （平成 24 年度末中間目標） サブストレート型 2 接合太陽電池セルにおいて 13%以上の変換効率を達成。</p>	<p>ZnO 膜のエッチングにより凹凸を形成した基板に、Ag 裏面電極/日結晶 Si セル/アモルファス Si セル/透明電極を積層したサブストレート型 2 接合太陽電池において、11.2%の変換効率を得た。</p>	<p>△</p>	<p>高い効率（効率 12.5%）が得られる薄膜 Si 製膜装置でセルを形成する。このため、ZnO 膜エッチング基板の設置方法、製膜条件の最適化を行う必要がある。</p>
<p>a-10. 安定化効率 15%以上の小面積薄膜シリコン太陽電池セルの開発（担当：独立行政法人産業技術総合研究所） （平成 24 年度末中間目標） 各社と協力して 14%以上の安定化効率を達成。</p>	<p>$\mu\text{c-SiO}_x\text{:H}$ (25 nm) の中間反射層を具備した a-Si:H (350 nm)/$\mu\text{c-Si:H}$ (3 μm) タンデム型太陽電池 (1cm^2) で安定化効率 11.6%を達成。</p>	<p>△</p>	<p>a-1 で開発する a-Si:H 太陽電池のさらなる高効率化・高光安定化。 高い電流を保持した状態でボトム電流律則条件となるように、中間層の厚膜化とボトムセルの赤外光閉じ込めを強化する。 高ヘイズ基板に適応する a-Si:H/$\mu\text{c-Si:H}$ の成長条件の適正化。 3 接合セルに向けた高光安定 a-Si_{1-x}Ge_x:H ミドルセル（カネカと共同実施）や a-4 で開発する $\mu\text{c-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$ ボトムセルの適用。</p>

達成度→ 大幅達成：◎、 達成：○、 達成見込み：△、 達成不可：×

表Ⅲ-2- (ロ) -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	1 (0)	0	1 件
論文 (査読付き)	8	5	4	17 件
研究発表・講演 (うち国際会議)	24 (12)	28 (13)	9 (5)	61 件
新聞・雑誌等への掲載	0	0	1	1 件
受賞実績	1	1	0	2 件
展示会への出展	1	1	0	2 件

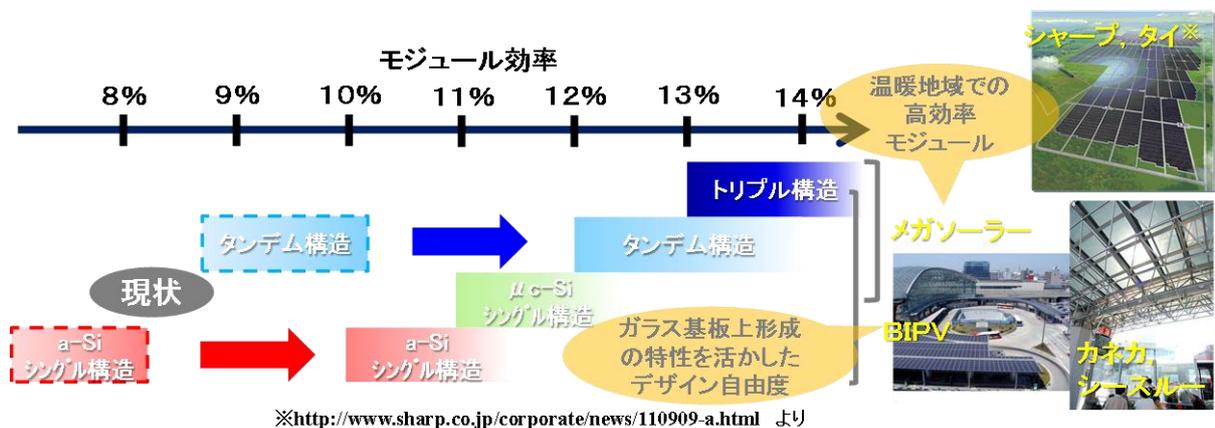
2. 実用化・事業化見通し

本プロジェクト成果の実用化は、本コンソーシアム企業が2017年度において、G5サイズで変換効率～14%（出力200W以上）でかつコスト競争力のある生産プロセスで事業化するための装置・技術を提供することを指すが、多接合薄膜シリコン太陽電池の高効率化開発においては、大面積化可能な高効率化技術を確立することが課題である。

これを達成するためには、光安定なアモルファスシリコン膜形成技術と高度な光マネジメント技術が必要であるが、現状トライオード製膜法により世界トップレベルの光安定なアモルファスシリコン膜形成がなされているものの、本方法の装置構成ではスケールアップが困難なため、スケールアップ可能な新電極等を用いた製膜法を30×40cm² (G1)サイズレベルで検証した後、G5（実機）サイズへ展開し、実用化を目指す計画である。このスケールアップした製膜法は、コンソ企業プロセスへの適用検討を進めると同時に、新規CVD装置事業としても展開していく計画である。

また、高度な光マネジメント技術においては、本開発で得られたテキスチャガラスやハニカムテキスチャ構造応用部材、新規裏面反射材料等のスケールアップおよび低コスト化技術を確立し、コンソ企業プロセスへの適用検討を進める。

これらの技術開発による2017年度における事業化イメージとしては、高効率モジュールによる温暖地域におけるメガソーラー展開や、またBIPV（建材一体型太陽電池モジュール）に対して、高効率モジュールだけでなく、微結晶シリコンやアモルファスシリコンといった単接合モジュールによる展開も進むことが考えられる。



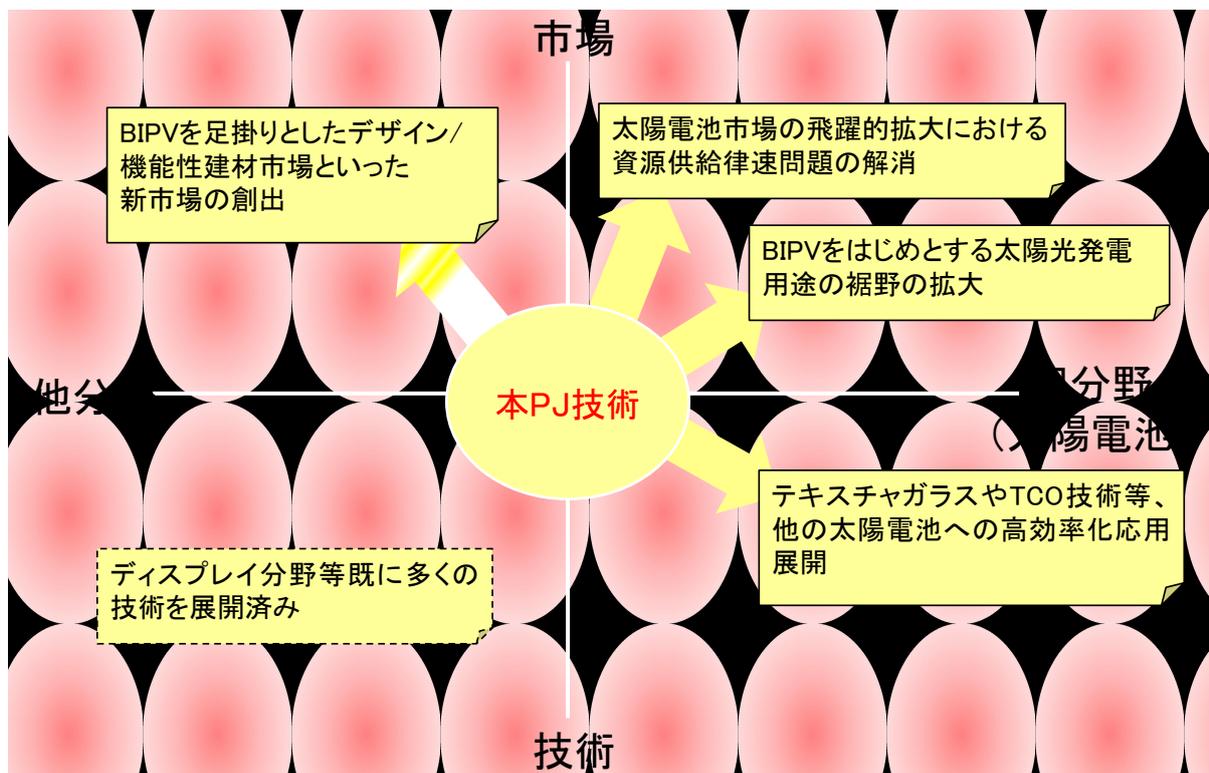
図Ⅲ-2- (ロ) -A-2(1) 2017年度の事業化イメージ

3. 波及効果

薄膜シリコン太陽電池で培われてきた技術は、既にディスプレイ分野を中心に多くの技術が他分野に展開されてきたが、本開発で得られた、テキスチャガラスやハニカムテキスチャ構造応用部材、新規裏面反射材料等は他の薄膜電池やヘテロ接合太陽電池、有機太陽電池等の高効率化に今後展開が可能な技術である。

また、この高効率化技術により、薄膜シリコン太陽電池の市場でのプレゼンス向上が期待できるが、特に薄膜シリコン太陽電池が得意とする BIPV 市場拡大に対する貢献において、太陽光発電用途の裾野を拡大することだけでなく、デザイン／機能性建材市場といった新たな市場を創出していくものと考えられる。

さらに、高効率化によるコスト競争力向上により、年産100GW以上となる太陽電池市場において、結晶シリコンや薄膜化合物系太陽電池で顕在化してくると予測されている資源供給律速問題の解消に大きく貢献することができる。



図Ⅲ-2-（ロ）-A-3(1) 薄膜シリコン太陽電池プロジェクト多接合薄膜シリコン太陽電池の高効率化開発技術の波及効果

4. 今後の展開

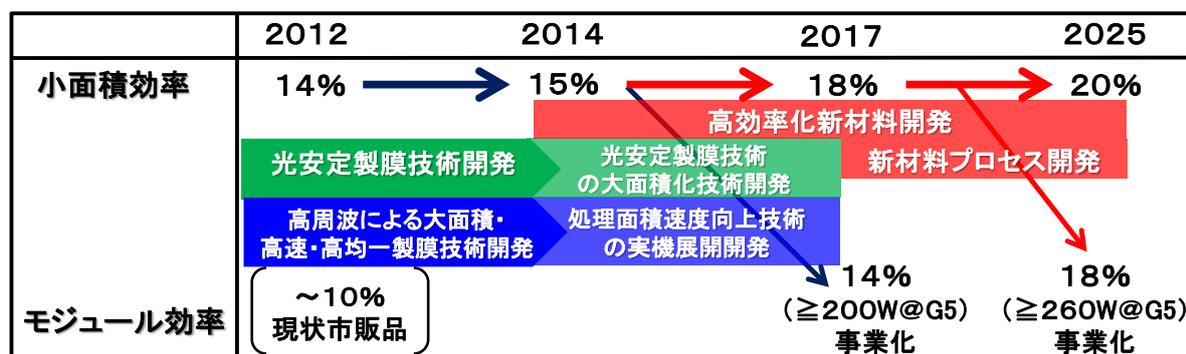
これまでの太陽電池市場は7割以上を占めるヨーロッパが主であったが、今後は新興国を中心とした他の地域市場も拡大し、2016年にはヨーロッパ以外が7割程度を占めると予測されている。その中で、中国や中東・アフリカ地域、環太平洋地域の市場は、政策主導シナリオでは2016年に29GW規模、市場全体の1/3程度を占めると予測されている。Ⅲ-2-(ロ)-A-4(1) さらに、これら地域に相当するいわゆる Sunbelt 地域の累積導入量は、加速成長シナリオにおいて2030年に403GWが予測されている。Ⅲ-2-(ロ)-A-4(2)

これら低緯度・中緯度地域においては、結晶シリコン太陽電池に比べて低い負の温度特性や短波長側の高い感度といった薄膜シリコン太陽電池の特性により、年間総発電量としては結晶シリコン太陽電池を上回る発電量も期待される。また、豊富な資源量と薄膜といった少ない材料使用量から、このような大きな太陽電池導入量の伸びに対しても、高い資源供給安定性の確保が見込める。

このため、薄膜シリコン太陽電池の高効率化による BOS コストの低減を図ることにより、特に今後伸長していくこれら低緯度・中緯度地域市場を中心とした展開が期待される。

また、ガラス基板上形成とそのモジュール形成プロセスから、薄膜シリコン太陽電池は、デザイン自由度の高さやシースルー型構造の形成等、他のタイプの太陽電池では作製困難なデザイン・機能を有する太陽電池製造が可能である。特に高効率化することにより、単接合タイプの微結晶シリコンやアモルファスシリコン太陽電池の BIPV 分野への展開も期待される。

これら市場の機会と期待に応えるべく、PV2030+の技術ロードマップを基本として、現行PJ成果およびそれを更に発展させた光安定製膜の大面积化技術確立等により、2017年にはモジュール効率14%での事業化を計画している。さらに、2017年には小面積での変換効率18%を達成し、2025年を目途に18%の変換効率を有するモジュールで事業化ができるように研究開発を進める計画であるが、これら効率達成に対しては、新材料およびそのプロセス開発といった今までと異なる新たなアプローチも必要となる。



図Ⅲ-2-(ロ)-A-4(1) 薄膜シリコン太陽電池プロジェクトの今後の展開

参考文献

Ⅲ-2-(ロ)-A-4(1) EPIA, Global market outlook 2012

Ⅲ-2-(ロ)-A-4(2) EPIA, Unlocking the Sunbelt Potential of Photovoltaics

5. 特許論文リスト

表Ⅲ-2- (ロ) -A-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	富士電機(株)	特願 2012-054377	国内	2012/03/12	出願	裏面電極、 裏面電極の製造 方法、 及び薄膜太陽電 池	稲員 ふみ

表Ⅲ-2- (ロ) -A-5(2) 論文リスト

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	Takuya Matsui	産業 技術 総合 研究 所	Amorphous-Silicon-Base d Thin-Film Solar Cells Exhibiting Low Light-Induced Degradation	Jpn. J. Appl. Phys	有	2012 印刷中
2	古閑一憲、 他	九州 大学	Deposition of cluster-free P-doped a-Si:H films using SiH ₄ +PH ₃ multi-hollow discharge plasma CVD	Phys. Status Solidi C, 1- 4, 201100229	有	2011
3	白谷正治, 他	九州 大学	Characteristics of stable a-Si:H Schottoky cells fabricated by suppressing cluster deposition	MRS Proceedings	有	2012 印刷中
4	Yeonwon Kim、他	九州 大学	In-situ Measurements of Cluster Volume Fraction in Silicon Thin Films Using Quartz Crystal Microbalances	MRS Proceedings	有	2012 印刷中
5	Aswin Hongsingtho ng, Ihsanul Afdi Yunaz,	東工 大 大学 院理 工	Preparation of ZnO thin films using MOCVD technique with D ₂ O/H ₂ O gas mixture for use as TCO in silicon-based thin	SOLAR ENERGY MATERIALS AND SOLAR CELLS 95, pp. 171-174	有	2011

	Shinsuke Miyajima, Makoto Konagai		film solar cells			
6	Liping Zhang, Ihsanul Afidi Yunaz, Shunsuke Kasashima, Hidetoshi Wada, Aswin Hongsingthong, Taweewat Krajangsang Yasuyoshi Kurokawa and Makoto Konagai	東工大大学院理工	Light management of a-Si:H solar cells using textured zinc oxide with adjustable haze values	Physica Status Solidi C,1-4, DOI 10.1002/pssc.201001180	有	2011
7	H. Sai, et.	産業技術総合研究所	Investigation of Textured Back Reflectors with Periodic Honeycomb Patterns in Thin-Film Silicon Solar Cells for Improved Photovoltaic Performance	IEEE J. Photovolt.	有	2012
8	Tadatsugu Minami, Jun-ichi Oda, Jun-ichi Nomoto, and Toshihiro Miyata	金沢工大	Spatial resistivity distribution of transparent conducting impurity-doped ZnO thin films deposited on substrates by dc magnetron sputtering	J. Vac. Sci. Technol. A 28, p.842-845	有	2010
9	Jun-ichi Nomoto, Manabu Konagai,	金沢工大	Resistivity characteristics of transparent conducting impurity-doped ZnO films for use in oxidizing	J. Vac. Sci. Technol. A 28, p.861-866	有	2010

	Toshihiro Miyata, and Tadatsugu Minami		environments at high temperatures			
10	Jun-ichi Oda, Jun-ichi Nomoto, Toshihiro Miyata, Tadatsugu Minami	金沢工大	Improvements of spatial resistivity distribution in transparent conducting Al-doped ZnO thin films deposited by DC magnetron sputtering	Thin Solid Films, 518, p.2984-2987	有	2010
11	Jun-ichi Nomoto, Manabu Konagai, Kenji Okada, Tomoyuki Ito, Toshihiro Miyata, Tadatsugu Minami	金沢工大	Comparative study of resistivity characteristics between transparent conducting AZO and GZO thin films for use at high temperatures	Thin Solid Films, 518, p.2937-2940	有	2010
12	Tadatsugu Minami, Jun-ichi Oda, Jun-ichi Nomoto, Toshihiro Miyata	金沢工大	Effect of target properties on transparent conducting impurity-doped ZnO thin films deposited by DC magnetron sputtering	Thin Solid Films, 519, p.385-390	有	2010
13	Jun-ichi Nomoto, Jun-ichi Oda, Toshihiro Miyata, Tadatsugu Minami	金沢工大	Effect of inserting a buffer layer on the characteristics of transparent conducting impurity-doped ZnO thin films prepared by dc magnetron sputtering	Thin Solid Films, 519, p.1587-1593	有	2010
14	Jun-ich Nomoto, Tomoyasu Hirano,	金沢工大	Electrical Property Improvements by Inserting a Buffer Layer in Impurity-Doped ZnO	Proc. of the 17th Int. Display Workshops, p. 833 - 836	有	2010

	Toshihiro. Miyata and Tadatsugu. Minami		Transparent Electrodes Prepared by Magnetron Sputtering Depositions			
15	Jun-ich Nomoto, Tomoyasu Hirano, Toshihiro Miyata and Tadatsugu Minami	金沢 工大	Effects of Superimposing r.f. Power on the Preparation of Impurity-Doped ZnO Transparent Electrodes by d.c. Magnetron Sputtering	Proc. of the 17th Int. Display Workshops, p. 837 - 840	有	2010
16	Jun-ichi Nomoto, Toshihiro Miyata, and Tadatsugu Minami	金沢 工大	Optical and electrical properties of transparent conducting B-doped ZnO thin films prepared by various deposition methods	J. Vac. Sci. Technol. A 29, p.041504	有	2011
17	Tadatsugu Minami, Toshihiro Miyata, Tomoyasu Hirano, Jun-ichi Nomoto	金沢 工大	Reduction of obtainable resistivity in transparent conducting impurity doped ZnO thin films deposited with a very thin buffer layer by magnetron sputtering	Proc. of SPIE, 8204, p.820435-820439	有	2011

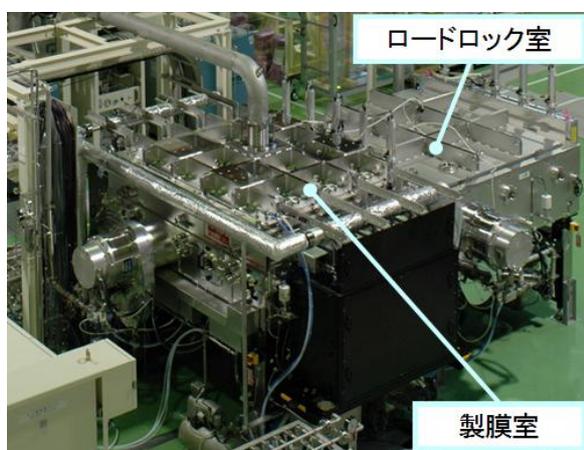
B 次世代多接合薄膜シリコン太陽電池の産学官協力体制による開発（大面積化）

1. 成果詳細

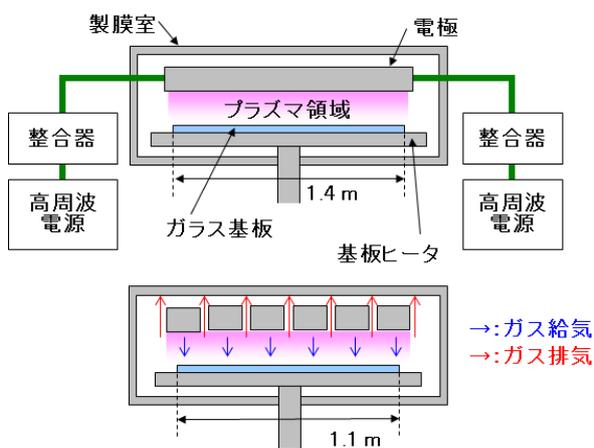
b-1-1. 大面積高生産性製造装置の開発（三菱重工業株式会社） （マルチロッド電極方式の G5 基板サイズでの膜厚均一化）

大面積製膜における高変換効率化を促進するために、平成 24 年度までに三菱重工業がこれまで開発してきたマルチロッド電極を用いた G5 相当サイズの基板を処理可能な装置で、微結晶シリコンの製膜で±10%以下の膜厚均一性を達成することを目標として製膜試験を実施し膜厚均一性の確認を行った。

本研究に用いたマルチロッド電極方式 G5-プラズマ CVD 装置の概観写真および模式図を図Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b1-1(1)に示す。ガラス基板は電極と対向する位置に設置された基板ヒータ上に配置される。電極は 6 本に分割されており、電極両端に高周波電源から高周波が給電される。原料ガスは電極内部に設けられたガス供給口より給気され、分割された電極間のスリットおよびガラス基板周囲を介して排気される。原料ガスは電極に印加された高周波電力により生成されたプラズマによって分解され、ガラス基板上にシリコン膜を形成する。



(a) 装置概観写真



(b) 装置模式図

図Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b1-1(1) マルチロッド電極方式 G5-プラズマ CVD 装置

本研究では G5 サイズ（1100mm×1400mm×厚さ 4mm）のガラス基板上に製膜を行い、膜厚均一性を評価した。代表的な製膜条件を表Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b1-1(1)に示す。膜厚均一性はエリプソメトリーにより製膜基板上的シリコン膜の膜厚を測定し、式Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b1-1(1)に示す定義式で評価した。結晶性についてはラマン分光法により評価した。

表Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b1-1(1) 製膜条件

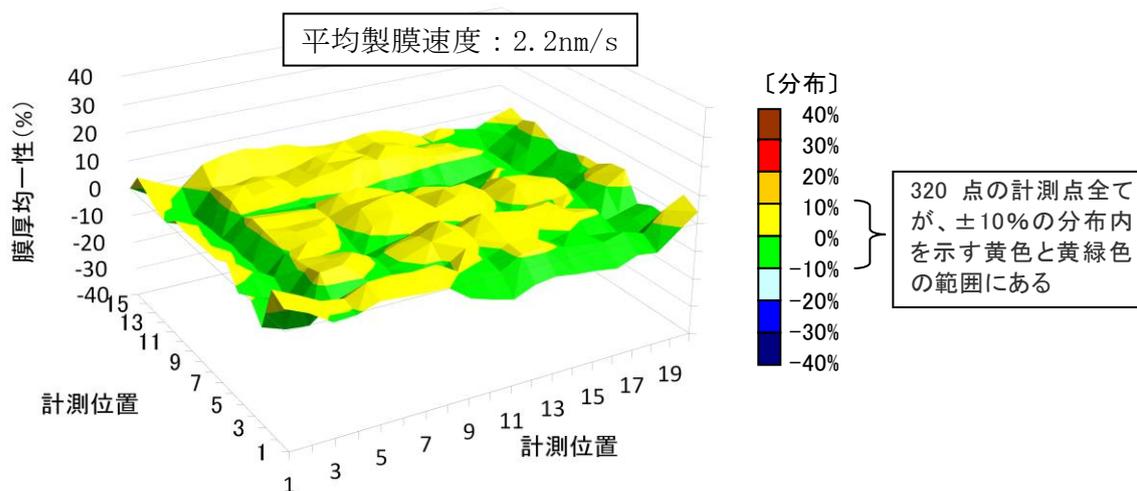
水素希釈率 (H ₂ /SiH ₄)	製膜圧力 [Pa]	投入電力 [W/cm ²]	基板-電極間 距離 [mm]	高周波電源 周波数 [MHz]
60	1500	1.2	6	60

$$\text{膜厚均一性}[\pm\%] = 100 \times \frac{\text{最大膜厚値} - \text{最小膜厚値}}{2 \times \text{平均膜厚値}} \quad \text{式Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b1-1(1)}$$

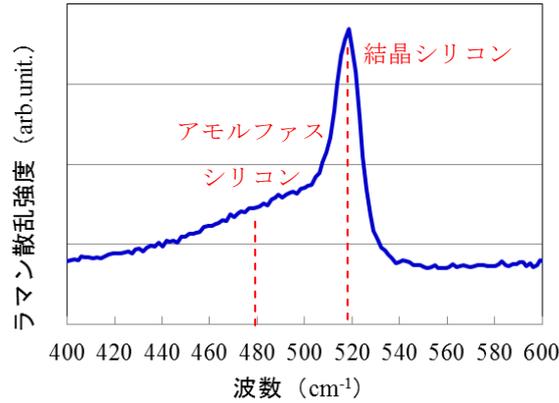
通常 60MHz の超高周波数を用いた場合、G5 サイズ基板上へ均一な膜厚分布を得ることは困難である。これは波長が短いことから定在波の電圧分布が電極上に発生するためである。本装置では、図Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b1-1(1)-(b)の上図の方向に対しては位相変調法にて、下図の方向に対しては分割した電極毎に投入する電力を調整することで、膜厚分布：±15%を得ていたが、6分割した電極の内、両端の2本に対向する基板上の膜厚分布が全体の膜厚分布に大きく影響していることが課題として残っていた。本研究では更なる分布改善のために、位相変調時の定在波電圧の振幅の変位を計測・検討し、その差が分布の一因であることを見出した。このため従来に比べより高度な制御が可能な方法を開発し、位相変調法に適用した。

上記方法を適用した製膜結果を図Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b1-1(2)に示す。膜厚均一性は±9.9%であり、平成24年度の目標である±10%以内を達成できた。また、シリコン膜のラマンスペクトルの測定結果の代表例を図Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b1-1(3)に示す。アモルファスシリコンの波数 480cm⁻¹と結晶シリコンの波数 520cm⁻¹においてピークが検出されていることから、製膜したシリコン膜は微結晶シリコンとなっていることを確認した。

これらの結果から、本研究開発の平成24年度の目標を達成したことを確認した。



図Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b1-1(2) 製膜結果



図Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b1-1 (3) ラマンスペクトル測定結果

b-1-2. 大面積高生産性製造装置開発に向けた超高周波プラズマ源の開発

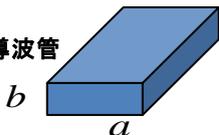
i. 共振電極対アレイ方式プラズマ源 (東京エレクトロン株式会社、国立大学法人東北大学 平山昌樹)

G8.5 サイズ(2.8m×2.2m)ガラス基板に高品質微結晶シリコンを高速で製膜可能な PECVD を開発するに当たり、産総研・三菱重工で開発された高圧枯渇法成膜を前提に、励起周波数：60MHz 以上、圧力：500~1500Pa、電極～基板間 Gap：10mm 以上、上方排気機構、の装置仕様を設定した。

大面積・高均一プラズマを励起する為に2つの新手法を開発した。

先ず、長手方向の均一化技術 (共振伝搬技術) について説明する。矩形導波管の管内波長 λ_g は、次式で表される。

矩形導波管

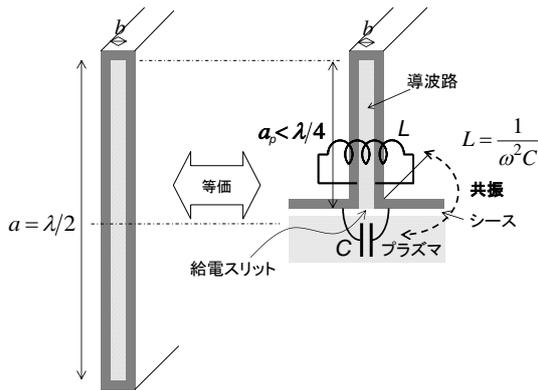


$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}}$$

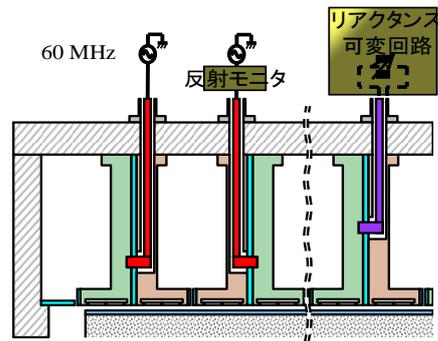
式Ⅲ-(ロ)-B-1-b1-2-i (1)

ここで、 a は導波管断面の長辺の長さ、 λ は自由空間の波長である。 $a = \lambda/2$ となると、上式の分母が0となり管内波長 λ_g が無限大になり、導波管はカットオフ状態となり、導波管長手方向に同一強度、同一位相の高周波が印加され、定在波は立たなくなる。

左は、 $a = \lambda/2$ でカットオフ状態の導波管を示したものである。本プラズマ源は、図Ⅲ-(ロ)-B-1-b1-2-i (2)右のように、カットオフ状態の導波管の下半分を取り除いて下部に平板上の電極を取り付けた構造になっている。

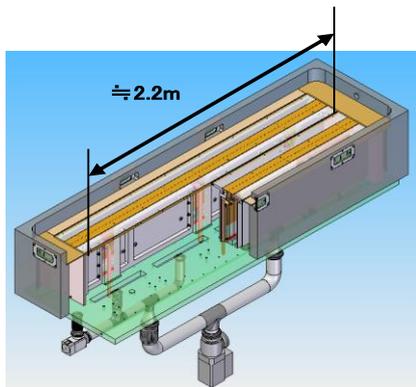


図Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b1-2-i(2)
共振伝搬概念

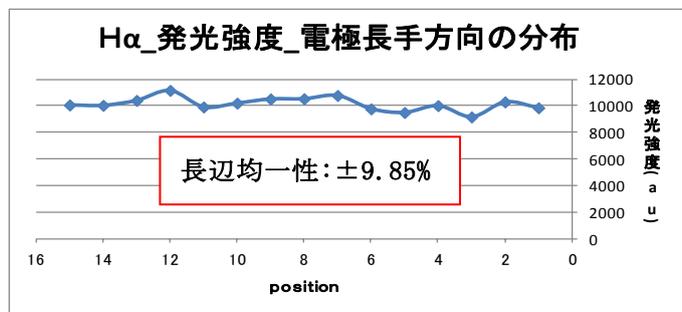


図Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b1-2-i(3)
プラズマ可視化装置の伝播機構

本共振伝搬技術の有効性を検証する為、2.2m×0.56m のプラズマ可視化装置（図Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b1-2-i(4)）を製作し、定在波が立たない事を確認し、更に、 H_2 プラズマではあるが、高圧（500Pa）狭 Gap：5mm、低 Power：0.32W/cm² 条件にて、グラフⅢ-2-(ロ)-B-1-b1-2-i(5) の如く、OES（分光発光分析）での長辺 $H\alpha$ 強度：±9.85%、長辺電界強度：±8.8%を達成。60MHz、VHF 帯にて、世界初の定在波の立たない大面積プラズマ源を実証した。

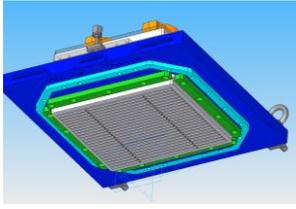


図Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b1-2-i(4)
プラズマ可視化装置



図Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b1-2-i(5) 長辺均一性

次に、図Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b1-2-i(6)に示す短辺均一性を実現するコプレーナラインタイプのプラズマ源を考案した。これは、電極ピッチを基板－電極間 Gap 程度（10 mm）まで狭くしたもので、幅 3 mm、深さ 1.5 mm の溝が設けられている。この溝部には、多数のガス放出孔が設けられ、シャワープレートとホローカソードの機能を有している。



図Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b1-2-i
(6) 短辺均一性評価用
コプレーナ電極

	500Pa	1000Pa	1500Pa
旧型電極 1.29w/cm ²			
ステージ無し(Gap:200mm 以上)、斜め下方より撮影 電極サイズ: 270mm×280mm、SiH4:5sccm、H2: 250sccm			
新型電極 1.55W/cm ² 2			
短辺均一性			
Gap: 170mm、電極サイズ: 230mm×280mm、SiH4:20sccm、H2:			

図Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b1-2-i (7) 新旧電極でのプラズマ広がり確認

図Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b1-2-i (7)に旧型電極とコプレーナ電極に於ける、概ね実プロセス条件下でのプラズマ発光状態を示す。旧型電極ではプラズマが広がらずに、給電部近傍に局所的に集まっているが、コプレーナ電極では両端まで均一にプラズマ発光が観察されている。

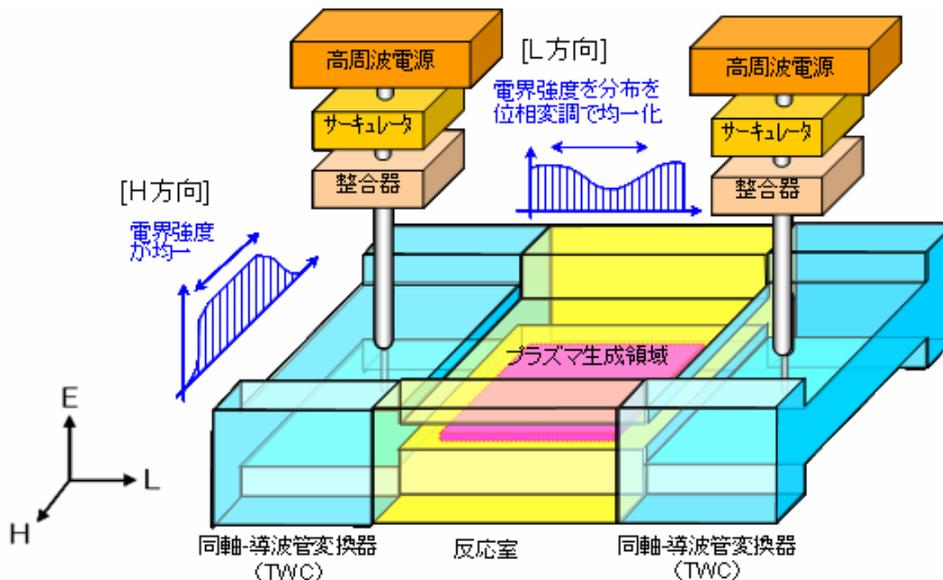
ii. 大面積化に向けたダブルリッジ導波管方式プラズマ源の検証（三菱重工業株式会社、
国立大学法人九州大学 河合研究室）

ダブルリッジ導波管方式のプラズマ源は、図Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b1-2-ii(1)のように、H型の断面を持つダブルリッジ型導波管（反応室）を、同じくH型の断面を持った同軸-導波管変換器（TWC）で挟み込んだ構造をしており、高周波電源から同軸モードで供給された高周波電力がTWCで導波管の基本伝播モードに変換されて反応室に投入され、反応室の狭ギャップ部分でプラズマが生成される仕組みとなっている。導波管の性質上、図中のH方向は均一な電界強度分布が得られる。一方、L方向は定在波によりそのままでは均一な電界強度分布は得られないが、位相変調法^{Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b1-2-ii(1)}、^{Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b1-2-ii(2)}の適用により均一化されると考えられている。また、導波管内での高周波伝播モードは高周波電力の周波数と導波管サイズで決まるため、反応室の面積は周波数を変えれば容易に変更できる。

一方、薄膜 Si 太陽電池においてはモジュール製造コストの低減が喫緊の課題であり、 μ c-Si 膜の大面積高速製膜の実現がコスト低減に有効であると考えられている。また、 μ c-Si 膜は、40~100MHz の VHF 帯を用いた高圧枯渇法により高品質かつ 2nm/s を超える高速で製膜されることが知られている。VHF 帯を伝播できるダブルリッジ型導波管では 2m×2m のプラズマ面積が得られると見込まれるため、VHF 帯でダブルリッジ導波管方式のプラズマ源の実現が 2m×2m の大面積高速製膜技術の確立に繋がると考えられる。そこで、本研究では、ダブルリッジ導波管方式のプラズマ源の実用性を確認するため、小型のプラズマ可

視化装置を設計・製作し、原理検証を行った。

まず、ダブルリッジ導波管方式のプラズマ可視化装置を製作するため、3次元電磁界シミュレーションにより均一な電界強度分布となる導波管寸法を検討した。原理検証用の小型装置であることから、プラズマ面積が 0.1 m^2 程度となる周波数 $400\sim 500\text{ MHz}$ の範囲で解析を行い、周波数 450 MHz においてH方向の電界強度分布が $\pm 3.6\%$ となる導波管寸法を見出した。この結果を基に、高周波電源の周波数 450 MHz に対して電極面積にあたるプラズマ生成領域の面積が $1/3\lambda$ 以上 $\times 1/3\lambda$ 以上となるプラズマ可視化装置を製作した。



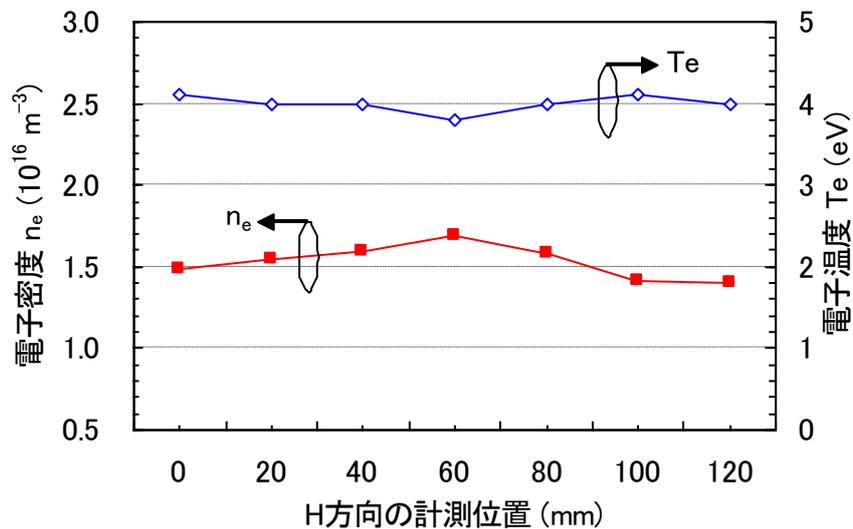
図III-2-(ロ)-B-1-b1-2-ii (1) ダブルリッジ導波管方式のプラズマ源イメージ

上記の可視化装置において大気圧下でプラズマ生成領域の電界強度を計測した結果、位相変調のない状態では、H方向の電界は均一分布となり、L方向は中央部で強く、端部に向かうほど弱くなるのが確認され、理論通りの結果が得られた。また、位相変調の適用によりL方向の電界も均一化されるのを確認した。このとき、プラズマ生成領域全体の電界強度分布率は $\pm 3.6\%$ で、H方向の電界強度分布の計算値と同値であった。

次に、 H_2 プラズマ中でプラズマパラメータ計測を行った結果、図III-2-(ロ)-B-1-b1-2-ii (2)に示す電子密度と電子温度のH軸上分布が得られた。分布率は電子密度が $\pm 9.6\%$ 、電子温度が $\pm 3.8\%$ であった。なお、プラズマ電位は分布率 $\pm 3.5\%$ であった。H方向については、中間目標値であるプラズマパラメータ分布 $\pm 10\%$ 以下を達成する均一性を確認できた。

一方、L方向については、現時点では位相変調時にプラズマがTWC側に局在化してしまうため、均一分布は得られていない。また、図III-2-(ロ)-B-1-b1-2-ii (2)は圧力 50 Pa の結果であり、現時点では、 $\mu\text{c-Si}$ 薄膜の高速製膜が望める数百 Pa を超える高圧力で均一なプラズマを生成できていない。これらの課題に対しては、プロセス条件の調整により改善可能か検証しているところである。また、これらの課題はともに導波管の改良により改善できる可能性がある。現可視化装置の導波管寸法は真空中での解析結果を基に決められ

ているため、プラズマが発生していない状態では均一な電界分布が得られるものの、プラズマ発生時はプラズマの誘電率により高周波の波長が短縮されるため、波長に応じた不均一分布になると考えられる。そのため、プラズマパラメータの計測結果を基にプラズマ存在下の解析を行い、その結果を基に導波管を改良し、プラズマ分布の均一性向上を目指していく。



図III-2-(ロ)-B-1-b1-2-ii (2) H軸上に対する電子密度と電子温度の分布

参考文献

III-2-(ロ)-B-1-b1-2-ii(1) K. Kawamura, H. Mashima, Y. Takeuchi, A. Takano, M. Noda, Y. Yonekura, and H. Takatsuka, Thin Solid Films 506-607 (2006) 22.

III-2-(ロ)-B-1-b1-2-ii (2) H. Mashima, H. Yamakoshi, K. Kawamura, Y. Takeuchi, M. Noda, Y. Yonekura, H. Takatsuka, S. Uchino and Y. Kawai, Thin Solid Films 506-507 (2006) 512.

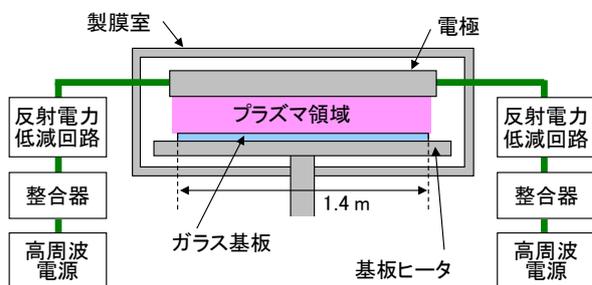
b-1-3. 超高周波を用いた大面積製膜技術の開発 (三菱重工業株式会社)

本研究では三菱重工業がこれまで開発してきた G5 サイズ相当の基板を処理可能なマルチロッド型電極を G5 サイズ以上の基板に適用するため、電極の長尺化の検討を行うことを目的としている。

平成 24 年度までに 100~120MHz の超高周波をマルチロッド型電極方式の CVD 装置 (G5 装置) に導入し反射電力比率を 20%以下とすることを目標としている。

本研究に用いる G5 装置の模式図を図III-2-(ロ)-B-1-b1-3 (1) に示す。G5 サイズの基板に対しては位相変調技術を導入することにより幅広い条件で±10%以下の膜厚均一性を得ている。基板サイズの大面積化には電極の長尺化が必要となるが電極を長くした場合、電極上に定在波の最大値と最小値が生じてしまう。現在の G5 装置で前述の定在波の影響を検証するために超高周波を導入する。一般的には高周波電源の周波数を高くすると高周波電

源の周波数に対応する波長が短くなるため、高周波電源の周波数を高くすることで G5 装置において前述の定在波の状況を模擬することができる。これにより G5 サイズを超える大面積基板に対する装置設計の技術的検証が可能となる。



G5 装置仕様	
取扱基板サイズ	1400×1100×厚さ 4mm
製膜圧力 : P	(60) ~ 2300Pa
基板電極間距離 : D	3~25mm
最大高周波電力	24kW
高周波電源周波数	60MHz

図 III-2-(ロ)-B-1-b1-3 (1) G5 装置模式図

現在の 60MHz での大面積製膜時における反射電力低減技術の実績を図 III-2-(ロ)-B-1-b1-3 (2) に示す。製膜条件は幅広い範囲となるため、反射電力比率が 20%以下となることを確認できた条件の製膜圧力と基板-電極間距離で整理した。60MHz における実績では、位相変調技術と反射電力低減回路との組み合わせにより、幅広い製膜条件下においても反射電力比率を 20%以下に抑制する技術を確立した。現在は 100MHz の高周波電源設計・製作を実施中であり、60MHz で得た知見をベースに 100MHz での検証を進めていく。

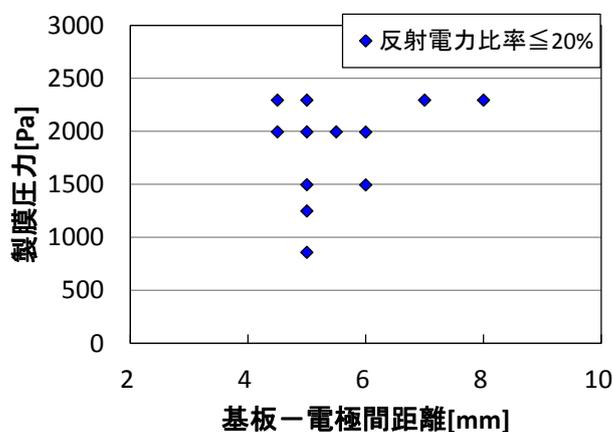


図 III-2-(ロ)-B-1-b1-3 (2) 60MHz での反射電力比率実績

b-2. VHF プラズマを用いたシリコン合金系薄膜高速大面積製膜技術の開発 (株式会社カネカ)

シリコン合金系薄膜開発をより一層加速し目的を達成するべく、PVTEC つくば研究所及びカネカ拠点の両拠点で検討を行った。

カネカ拠点では、これまでの a-SiGe に関する知見を活用し、カネカ m 角級 CVD 設備 (パ

イロット設備)を用いた、シリコン合金系薄膜大面積製膜の各種課題抽出及び高品質化を実施。ガス流れの均一性や流量に対する依存性を確認し、また電極間隔による課題を抽出することにより小面積設備と同等の高品質膜を太陽電池セル構造にて確認した。

PVTEC つくば研究所においては G5 装置稼働後、60MHz での a-SiGe 大面積高品質均一製膜検討を開始。カネカ拠点での結果を G5 スケールへフィードバックし小面積検討及びカネカ m 角級 CVD 設備 (パイロット設備) とほぼ同等な高品質膜にて a-SiGe の膜厚分布 11% という高い膜厚均一性を得た。

本サブテーマの目標は「セル化した際の J_{sc} 分布が $\pm 10\%$ 以下を達成する」であるため、セル化の検討を実施。本質的な a-SiGe 薄膜による発電層の影響を確認するため、p 層はカネカ拠点の小面積設備で作製したのを用いた。G5 サイズ基板面内 9 点に p 層製膜済み基板を設置の上、前述の良好な均一性条件を用いて a-SiGe 薄膜からなる発電層を 100nm 製膜した。その後 PVTEC つくば研究所内の設備にて n 層及び裏面電極層を形成し、面積 1 cm^2 の太陽電池セルを作製の上、評価を実施した。図 III-2-(ロ)-B-1-b2(1) に示すように J_{sc} の分布は 5.5% が得られ、また、初期変換効率も図 III-2-(ロ)-B-1-b2(2) に示すように、6.7% というプロセス及び構造を加味した上では良好と判断できる結果が得られた。これらの結果より、本サブテーマの目標は前倒しで達成した。

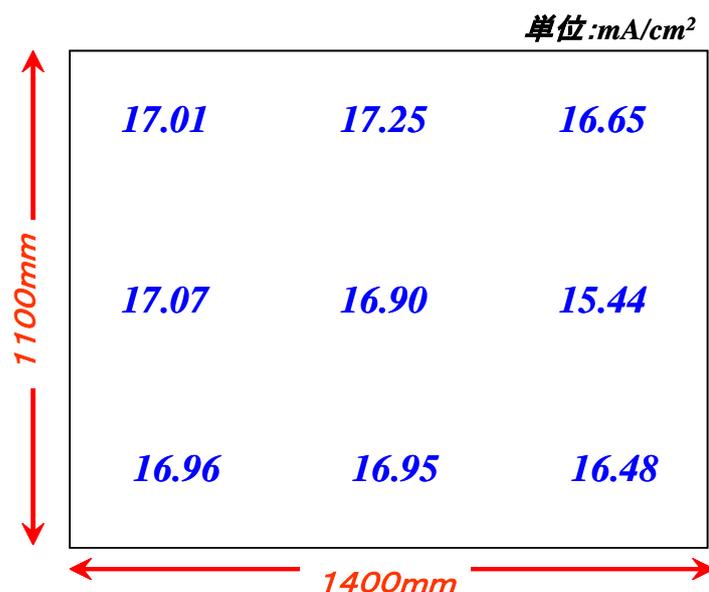
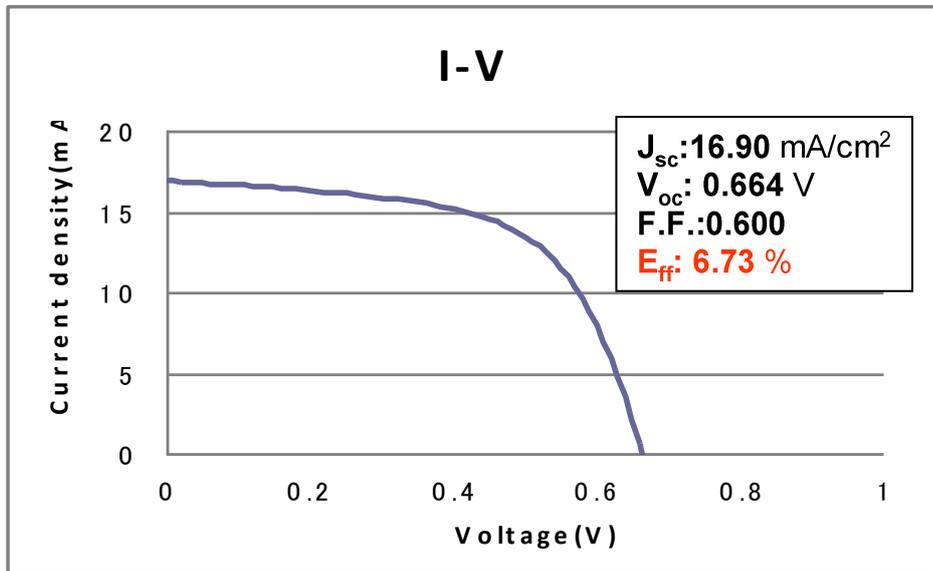


図 III-2-(ロ)-B-1-b2 (1) G5 装置による a-SiGe 膜を用いた単接合セルの電流密度分布

セル構成 5cm角基板(1400サイズ基板上に設置) セル面積 1cm²
 Asahi-VU/p(kaneka a-SiC) / air brake / i:a-SiGe (G5 PVTEC Tsukuba)
 / air brake / n ZnO Ag (PVTEC 小面積設備)



図Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b2 (2) G5 装置による a-SiGe 膜を用いた単接合セルの I-V カーブ

更に、より本質的な高品質化の実現のため、G5 装置での最適化のみならず、トライオード型 CVD や新たな原料ガスの適用等の製膜処方面、TCO 基板の形状が a-SiGe 膜質へ与える影響及びその最適化、及びデルフト大学や EPFL/IMT 等の外部機関の優れた知見を用いた膜物性分析等の 3 方面からのアプローチによる高品質化を検討中であり、途中経過としてトライオード型 CVD を用いることで通常の平行平板型 CVD より高いセル特性を確認した。

b-3. VHFプラズマを用いた微結晶シリコン高速大面積製膜技術の開発 (パナソニック株式会社)

○H24 年度末中間目標

- ① プラズマ高精度評価技術 (G5 サイズでの実製膜速度予測誤差 : <10%)
- ② 基板/電極(E/S)間距離 10 mm 以上で微結晶 Si 薄膜の高速製膜技術 (>1 nm/sec)

○成果

微結晶Si膜の高品質化、高能率・均一製膜に重要な原子状水素(発光水素(H^{*}), 非発光水素(H))の実測システムを構築し(図Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b3(1))、SiH₄/H₂プラズマ中におけるH^{*}およびH密度の実測を可能にした。また、H密度測定におけるSiH₄添加時のSiH₄分子による励起光吸収の問題を明らかにし、これを抑制するために新たに設計・開発した励起光の吸収長を制御できるプローブを水素原子モニタ装置へ実装した。さらに、吸収長を制御することで、水素原子モニタ装置における測定可能密度領域の上下限値が10¹⁰ ~ 10¹⁶ cm⁻³オーダーとなり、微結晶Siの高压高速製膜中に存在するH原子密度(10¹³ ~ 10¹⁴ cm⁻³)の測定を可能にした。(図Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b3(2))。

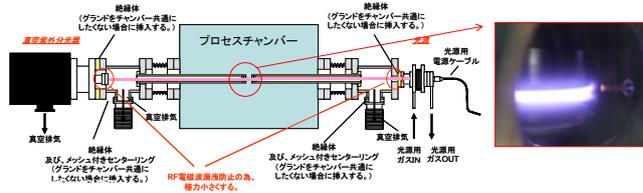


図 III-2-(ロ)-B-1-b3(1)
水素原子の実測システム

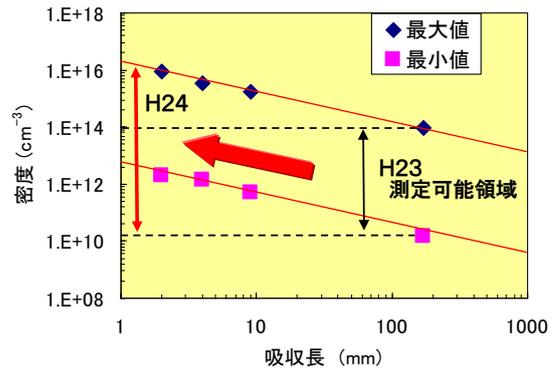


図 III-2-(ロ)-B-1-b3(2)
測定可能密度領域

また、製膜速度予測に必要なフラックス等を計算する弊社独自の高圧SiH₄プラズマシミュレータ (High pressure SiH₄ plasma simulator: HiP-SPS) を用いて計算したH原子密度と水素原子モニタ装置を用いて実測したH原子密度を比較し、計算値に対する補正係数を算出した。これにより、微結晶Si製膜中におけるH原子密度の実測値を高圧SiH₄/H₂プラズマシミュレータを用いて、ほぼ再現することに成功した(図 III-2-(ロ)-B-1-b3(3))。

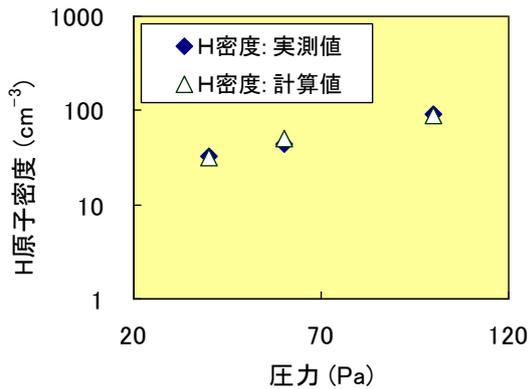


図 III-2-(ロ)-B-1-b3(3) 水素原子密度の計算値と実測値 (SiH₄/H₂プラズマ)

このHiP-SPSを用いて小面積における微結晶Siの製膜速度を予測した結果、実測値0.87 nm/sec に対して0.78 nm/sec という予測値が得られ、予測誤差-10.3%を確認した。(図 III-2-(ロ)-B-1-b3(4))。

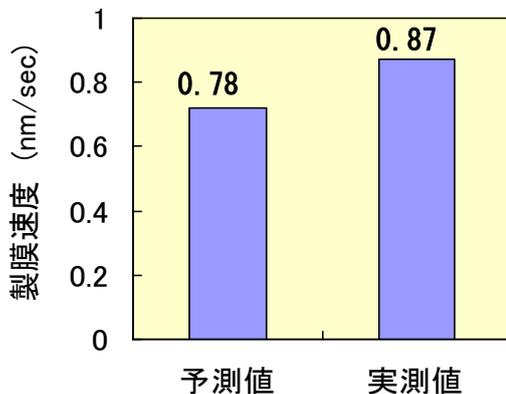
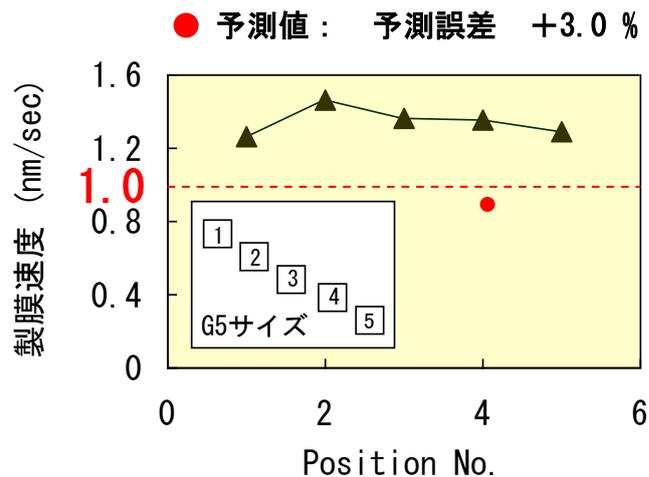


図 III-2-(ロ)-B-1-b3(4)
小面積サイズ微結晶Siにおける製膜速度の予測値と実測値

上記システムを用いて、大面積均一化に有効な基板/電極(E/S)間距離 10 mm 以上で製膜速度 1.0 nm/sec 以上を実現する製膜条件を検討した。予測値が 1.4 nm/sec となる製膜条件で大面積(G5)において微結晶 Si 膜を実製膜した結果、製膜速度 1.3 nm/sec (均一性 7%) が得られ、製膜速度 1.0 nm/sec 以上を達成すると共に、製膜速度予測誤差約+3%が得られ、H24 年度末中間目標である製膜速度予測誤差 10%を達成した。(図Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b3(5))。

製膜速度予測誤差に関しては、プロセス(大面積 or 小面積など)における予測誤差にバラツキがあることから、今後、プラズマシミュレーション技術の改善による予測精度の向上を図る。



図Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b3(5) 大面積サイズ微結晶Siにおける製膜速度の実測

b-4. バンドプロファイル評価技術の開発とプラズマ励起周波数効果の解明 (シャープ株式会社)

a) 欠陥や結合状態とバンドプロファイルとの相関の調査

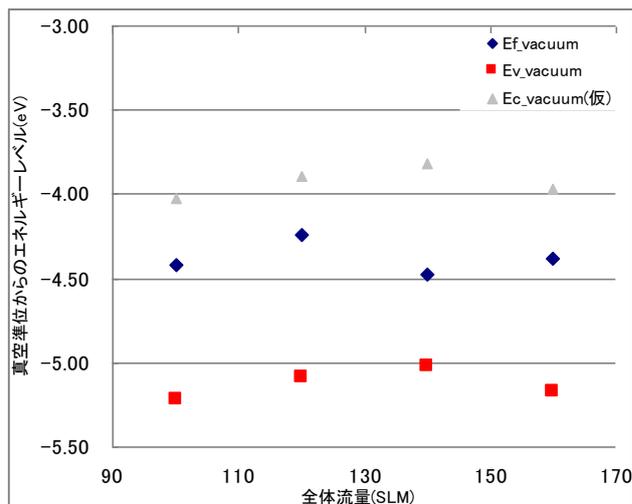
G5 サイズにおける 60MHz 放電での微結晶シリコン i 層のバンドプロファイル分析を実施。以下 3 つの測定方法より i 層のバンドプロファイルを調査し、図Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b4 (1)を得た。

光電子分光測定 → イオン化ポテンシャル (E_{v_vacuum})

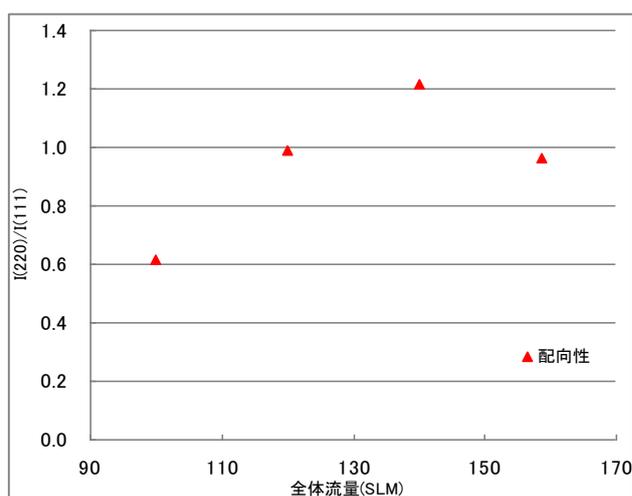
ケルビン法測定 → 仕事関数 (E_{f_vacuum})

光学測定 → バンドギャップ (E_{c_vacuum})

このとき光学測定によるバンドギャップは全て 1.2eV と仮定。



図III-2-(ロ)-B-1-b4(1) i層バンドプロファイル



図III-2-(ロ)-B-1-b4(2) XRDによるi層(220)配向性

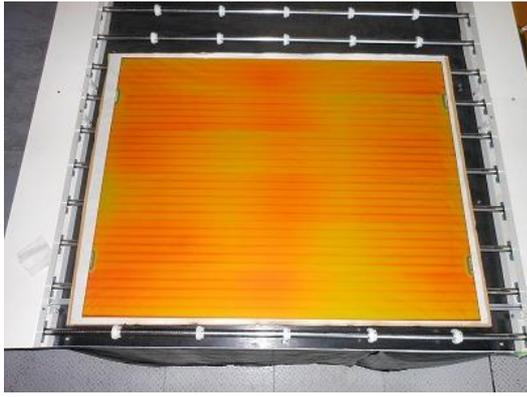
ここから、全体流量 140SLM において i 層のフェルミ準位が中央にシフトするとき、図 III-2-(ロ)-B-1-b4 (2) より (220) 配向性が極大値を持つことがわかる。微結晶 Si の i 層バンドプロファイル分析において (220) 配向性との相関が得られた。

b) プラズマ励起周波数変化に伴う、特性・分布変化の分析手法確立

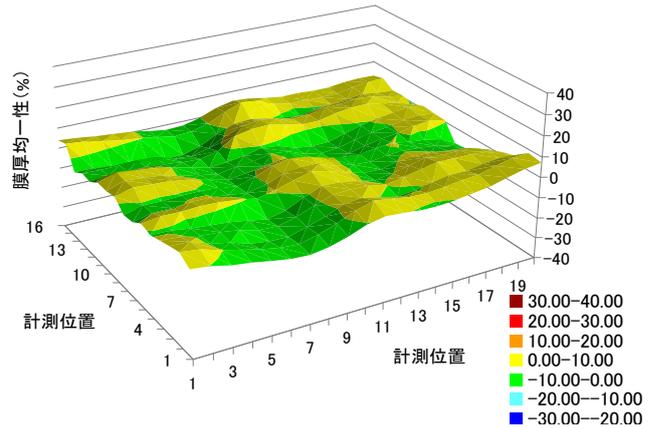
目標：G5 サイズにおける高周波（60MHz）p, n 層製膜技術

p, n 層、膜厚 30nm 以下にて、結晶化度 30%以上、膜厚分布±10%以下

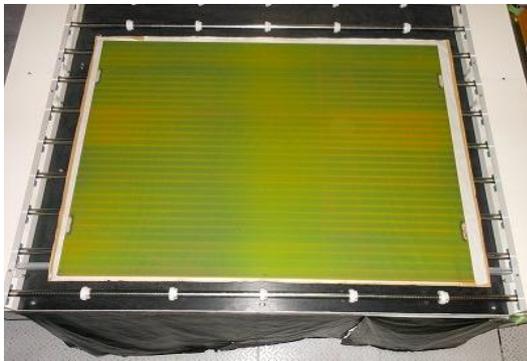
結果として、中央部と端部で位相変調やガス流量を分割供給することにより p 層は膜厚分布±8.5%、n 層は±9.2%を得た。膜厚が 30nm 以下で結晶化度 30%以上の場合、エリプソのモデルフィッティングが合わないため、今回のデータは膜厚 50nm-80nm を使用している。どちらの場合も十分に結晶化度があるため、薄膜にしたときの結晶化度の問題は無く、均一化の分布改善目標はほぼ達成された。



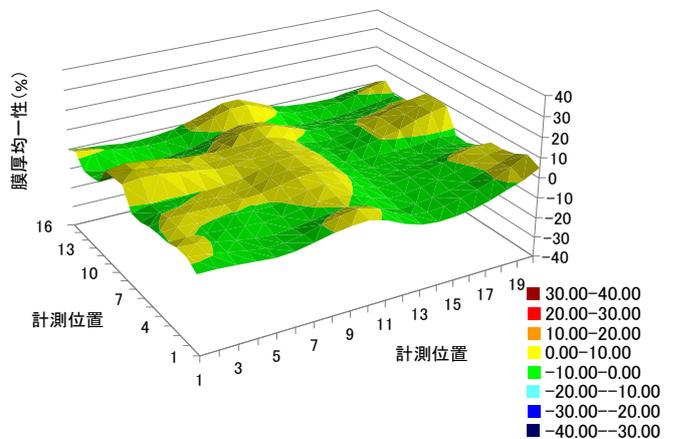
図Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b4(3) p 層均一化外観写真



図Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b4(4) p 層均一化エリプソ結果



図Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b4(5) n 層均一化外観写真



図Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b4(6) n 層均一化エリプソ結果

c) 界面構造、セル構造におけるバンドプロファイル評価・制御技術の確立

目標：界面層の最適化により μc -Si 太陽電池の開放電圧で 550mV 以上

微結晶 Si 太陽電池のセルの場合、SnO₂ 基板に直接セルを作製すると水素高希積によって SnO₂ 基板が黒色化、導電性が劣化。耐水素対策として、5 月下旬に G5 基板サイズの GZO 付き TCO 基板を導入し、微結晶 Si 太陽電池のセル試作を開始。

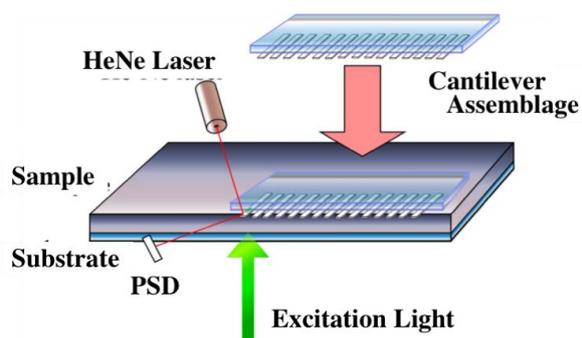
現在、セル条件が最適化できていないため、開放電圧は 424mV。今後、各層の最適化とバンドプロファイル分析を駆使して開放電圧 550mV を目指す。

b-5. 大面積薄膜シリコン太陽電池の欠陥評価手法に関する研究開発（国立大学法人岐阜大学 野々村研究室）

薄膜シリコン太陽電池において 6m² の大面積基板に対応可能な光活性層の欠陥評価手法を開発することを目標とし、接触マルチカンチレバー方式光熱変換分光法および非接触式光熱輻射分光法を用いた欠陥評価技術の開発に取り組んだ。以下に、成果に

ついて述べる。

接触マルチカンチレバー方式光熱変換分光法は、カンチレバーを用いた光熱変換分光法^{Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b5(1)}により薄膜シリコンの光吸収係数スペクトルを測定する際、複数のカンチレバーを使用することにより大面積試料の欠陥評価を可能とする手法である。図Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b5(1)に測定系の概念図を示す。カンチレバーを用いた光熱変換分光法^{Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b5(1)}では試料に光を照射したときの温度上昇を、試料に接触させたポリエチレン製カンチレバーの曲げに変換し、この曲げを光てこ法により検出する。光吸収係数 α の大きさに応じてカンチレバーの曲げ量は大きくなるため、サブバンドギャップ領域の光吸収係数 α を測定することにより、試料の欠陥密度評価が可能となる。このような評価を図のような複数のカンチレバーを用いて行うことにより、大面積試料の欠陥評価が可能となると思われる。



図Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b5(1) 接触マルチカンチレバー方式光熱変換分光法の概念図。

これまでに、励起光とカンチレバーの幅を同程度とすること、および複数のカンチレバーの固定を一括方式から個別方式に変更するなどの技術的検討を行った。このことにより、アモルファスシリコン(a-Si:H)薄膜においてサブバンドギャップ領域($h\nu < 1.7$ eV)の光吸収係数 α が $\sim 10^1 \text{cm}^{-1}$ まで測定可能となった。

一方、非接触式光熱輻射分光法は、光励起キャリアの非輻射再結合による試料の温度上昇を直接的に測定して、試料の光吸収スペクトルを評価する方法である。励起光照射による試料の温度上昇 ΔT は

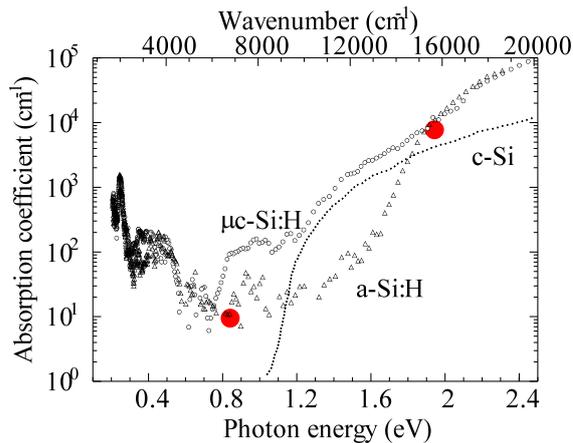
$$\Delta T = \alpha I_0 V / 2 \pi^{1/2} \kappa r \quad \text{式Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b5(1)}$$

で表わされる^{Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b5(2)-(4)}。ここで、 I_0 は光出力、 V は光照射下の試料の体積、 κ は試料の熱伝導度および r は光のスポット半径である。この式を用いることにより、以下の方法で欠陥密度に関連するサブバンドギャップ領域の光吸収係数 α を評価することができる。はじめに、バンドギャップより大きなフォトンエネルギーを有する光を試料に照射し、そのときの試料の温度上昇 ΔT を測定する。次にサブバンドギャップ光を照射するのであるが、式Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b5(1)より

$$\alpha \sim \Delta T \kappa r / I_0 V \quad \text{式Ⅲ-2-(ロ)-B-1-b5(2)}$$

の関係があるため、同じ ΔT となるように光強度 I_0 を調整すれば、 I_0 の逆数をモニターすることにより光吸収係数 α が評価可能となる。本研究では励起光源としてHe-Neレーザー($h\nu = 2.0$ eV)および半導体レーザー($h\nu = 0.84$ eV)を用い、試料の温度はサーモグラフィにより測定した。

光吸収係数 α の評価結果を図Ⅲ-2-(□)-B-1-b5(2)の●印で示す。試料には膜厚1.3 μm のa-Si:Hを用いた。He-Neレーザによる温度上昇 ΔT は光出力10mWで $\sim 1\text{K}$ であった。また、半導体レーザにより同じ温度上昇 ΔT を得るのに必要な光出力は10Wであった。ここで、 $h\nu = 2.0\text{ eV}$ (He-Neレーザ)におけるa-Si:Hの光吸収係数 α は $\sim 10^4\text{ cm}^{-1}$ であるので、 $h\nu = 0.84\text{ eV}$ (半導体レーザ)におけるa-Si:Hの光吸収係数 α は $\sim 10^1\text{ cm}^{-1}$ と評価することができる。この値は他の光熱変換分光法(光熱ベンディング分光法)で評価した光吸収係数 α Ⅲ-2-(□)-B-1-b5(5)と良い一致を示した(図の△印)なお、実験に用いたa-Si:Hにおける欠陥密度は $\sim 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ である。



図Ⅲ-2-(□)-B-1-b5(2) 光熱輻射分光法で評価した a-Si:H の光吸収係数(●印)。他の光熱変換分光法(光熱ベンディング分光法)で評価した a-Si:H の光吸収スペクトルⅢ-2-(□)-B-1-b5(5)を△印で示す。

この手法をX-Yステージ上に設置した試料で行い光吸収係数 α の面分布を測定することにより、大面積試料の欠陥密度評価が可能となると思われる。現在までに、小面積(18mm x 6mm)a-Si:Hを用いて(3 x 5)の15箇所における光吸収係数 α の面分布評価を試み、 $2.8 \times 10^1\text{ cm}^{-1}$ から $11 \times 10^1\text{ cm}^{-1}$ の分布を有している結果を得た。

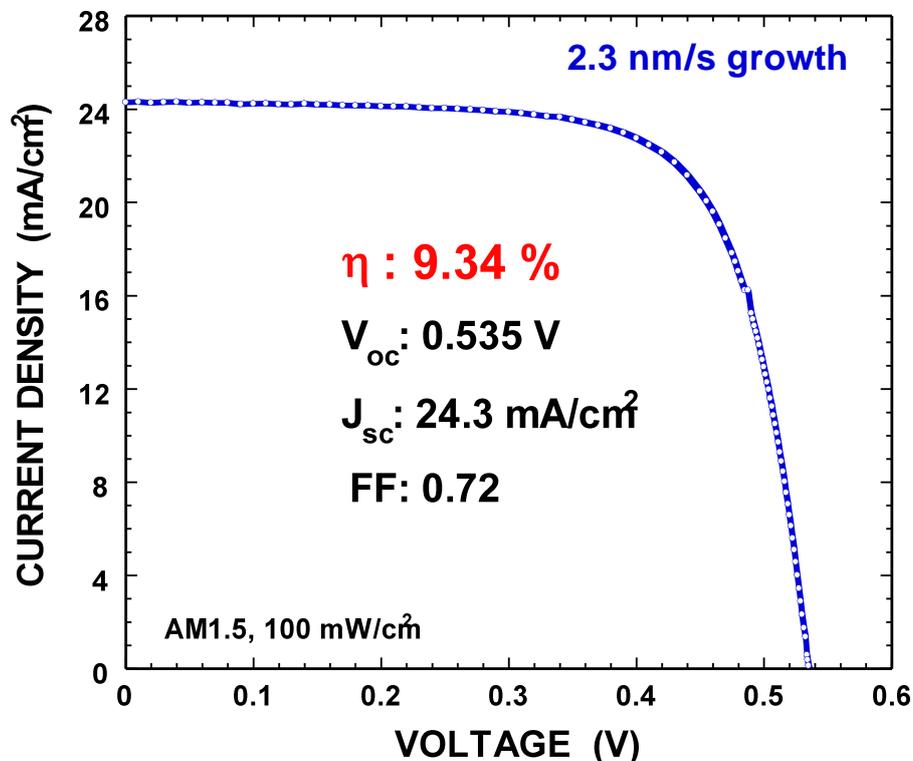
非接触式光熱輻射分光法は測定の容易さの観点から、実用的な大面積試料の光吸収係数(欠陥密度)評価に展開可能(基板の大きさ、厚さ、試料雰囲気を問わない欠陥評価手法)と思われる。また、光吸収係数 α は $\sim 10^1\text{ cm}^{-1}$ の感度に到達したため、原理的に欠陥密度 $10^{16}\sim 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ の検出が可能である。励起光強度の改善等、測定系の高感度化により、さらに高品質なシリコン系薄膜における欠陥密度の評価も可能であると思われる。

参考文献

- Ⅲ-2-(□)-B-1-b5(1) T. Gotoh, Rev. Sci. Instrum., 80 (2009) 074902.
- Ⅲ-2-(□)-B-1-b5(2) J. P. Gordon et al., J. Appl. Phys., 36 (1965) 3.
- Ⅲ-2-(□)-B-1-b5(3) K. Weiser et al., Appl. Phys. Lett., 22 (1973) 48.
- Ⅲ-2-(□)-B-1-b5(4) H. Hisakuni and K. Tanaka, Appl. Phys. Lett., 65 (1994) 2925.
- Ⅲ-2-(□)-B-1-b5(5) J. Kitao et al., Analytical Sciences Special Issue, 17 (2001) s302.

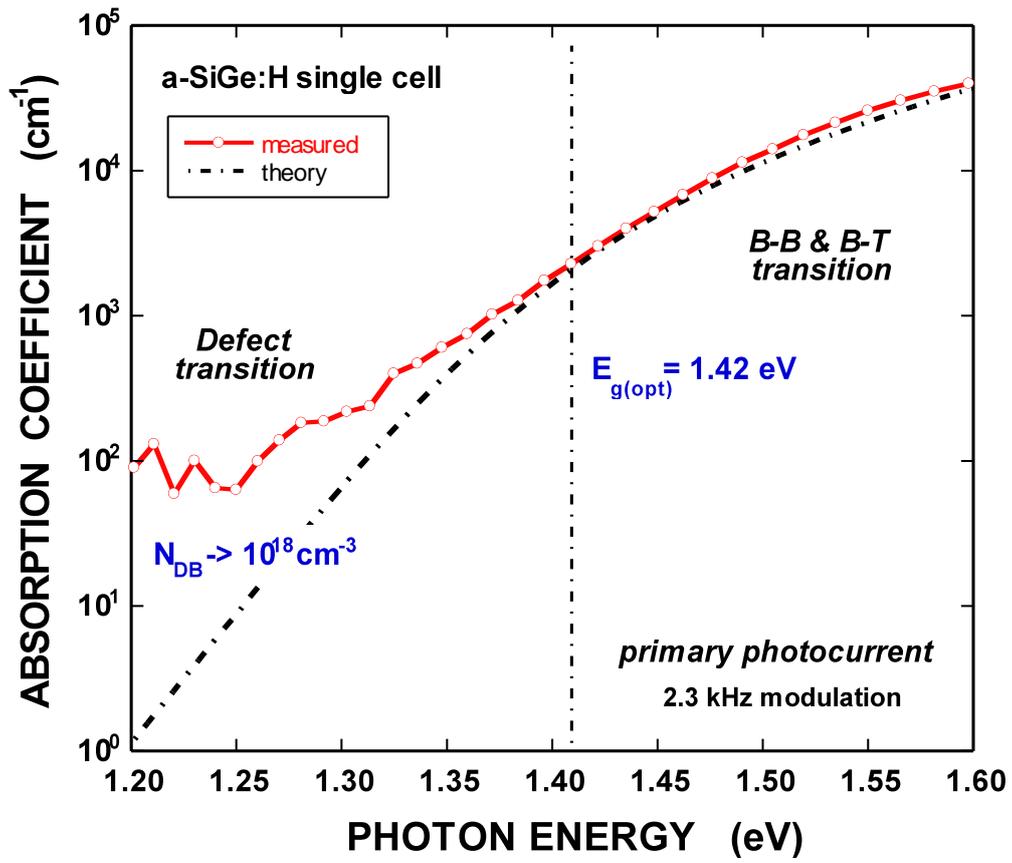
b-6. 膜質・接合界面特性の評価と制御技術開発 (国立大学法人大阪大学 岡本研究室)

リアルタイムプラズマ発光分析により、高速製膜微結晶i形Si製膜初期層 (n/i界面近傍) での高次シラン系粒子堆積の抑制、電子温度低減やP原子オートドーピング阻止などのプラズマプロセス制御が、接合界面ならびに光電流活性層特性の改善に重要であるとの知見を得た。この知見を踏まえて、1) 高速製膜微結晶アンドープSi製膜初期プラズマの制御 (n/i界面、i層特性改善) と、2) 製膜最終段階で「欠陥制御層」を設ける (i/p界面特性) 試みを行なった。その結果、図III-2-(ロ)-B-1-b6(1)に示すように、2nm/s以上の高速製膜条件で作製された微結晶Si n-i-pサブストレート型単接合太陽電池で、開放端電圧535mVにて変換効率9.34%を達成した。この値は、2nm/sを超える製膜速度では、世界最高値である。



図III-2-(ロ)-B-1-b6(1)

さらに、実際の太陽電池において様々な膜質や界面特性を評価解析する手法を提案し、さらなる変換効率向上のための膜質や接合界面制御策確立に関する予備的な研究開発を開始した。図III-2-(ロ)-B-1-b6(2)に、アモルファスSiGe単接合太陽電池におけるサブバンドギャップ光電流スペクトルの測定例を示しているが、これより膜中の欠陥密度の大凡を判定することができ、高品質に向けたプラズマプロセスやデバイス構成技術の改善への指針が得られるものと期待される。



☒ III-2-(□)-B-1-b6 (2)

表Ⅲ-2- (ロ) -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	目標達成のために解決すべき課題
<p>b-1-1. 大面積高生産性製造装置の開発（三菱重工業株式会社） （平成 24 年度末中間目標） マルチロッド電極を用いた、G5 相当サイズのガラス基板を処理可能な規模の装置において、μc-Si 製膜において±10%以下の膜厚均一性の達成</p>	<p>G5 サイズ（1100×1400×厚さ 4mm）のガラス基板上に製膜した μc-Si 膜で±9.9%の膜厚均一性を達成した。</p>	○	
<p>b-1-2. 大面積高生産性製造装置開発に向けた超高周波プラズマ源の開発 a. 共振電極対アレイ方式プラズマ源（東京エレクタロン株式会社、国立大学法人東北大学 平井研究室） （平成 24 年度末中間目標） VHF プラズマ周波数（60MHz 以上）に対応する波長λに対して長さ 1/4λ以上、幅 1/10λ以上の電極を用いて μc-Si 薄膜の製膜速度 1.5nm/ s 以上、±10%以下の膜厚均一性を達成しうる、±10%以内のプラズマパラメータの均一性の達成</p>	<p>長辺均一性確認用プラズマ可視化本機（2.2m×0.56m 電極）を製作し、定在波が立たない事を目視確認し、H2 式プラズマ源（東京エレクタロン株式会社、国立大学法人東北大学 平井研究室）にて、$H\alpha$ 強度：±9.85%以下、電界強度：±8.8%以下達成。 また、短辺均一性に関しては、十分な均一性目視確認済。</p>	○	
<p>b-1-2. 大面積高生産性製造装置開発に向けた超高周波プラズマ源の開発 b. 大面積化に向けたダブルリッジ導波管方式プラ</p>	<p>電磁界シミュレーションの結果を元に、周波数 450MHz に対して各辺が 1/3λ 以上のプラズマ生成領域を持つ小型のプラズマ可視化装置</p>	△	<p>位相変調時に TWC にプラズマが局在化しないような導波管の改良。</p>

<p>ズマ源の検証（三菱重工業株式会社、国立大学法人九州大学 河合研究室） （平成 24 年度末中間目標） VHF プラズマ周波数（60MHz 以上）に対応する波長λに対して長さ $1/4\lambda$ 以上、幅 $1/10\lambda$ 以上の電極を用いて μc-Si 薄膜の製膜速度 1.5nm/ s 以上、$\pm 10\%$以下の膜厚均一性を達成しうる、$\pm 10\%$以内のプラズマパラメータの均一性の達成</p>	<p>を作製。 上記のプラズマ可視化装置において大気圧下で電界強度計測を行い、位相変調時にプラズマ生成領域全体に渡って均一な電界強度となることを確認。シミュレーション予測値と同じ $\pm 3.6\%$の電界強度分布率を得た。 プラズマ可視化装置で H 方向のプラズマパラメータ計測を行い、$\pm 9.6\%$の電子密度分布および $\pm 3.8\%$の電子温度分布を達成し、H 方向は理論通り均一なプラズマ分布が得られることを確認。</p>		<p>高圧力下で均一なプラズマ生成をできるような導波管の改良およびプロセス条件の調整。 均一なプラズマを生成可能なプロセス条件範囲の把握。</p>
<p>b-1-3. 超高周波を用いた大面積製膜技術の開発（三菱重工業株式会社） （平成 24 年度末中間目標） 100~120MHz の超高周波を G5 サイズのマルチロッド電極方式 CVD 装置に導入し、反射電力比率 20%以下とする。</p>	<p>マルチロッド型電極方式の CVD 装置にて高周波電源周波数 60MHz での反射電力確認を実施し、幅広い製膜条件下となることを確認した。 現在は 100MHz の高周波電源の導入に向けて装置の設計・製作を実施中。</p>	△	<p>高周波電源周波数に対する CVD 装置の電気特性の把握</p>
<p>b-2. VHF プラズマを用いたシリコン合金系薄膜高速大面積製膜技術の開発（平成 24 年度末中間目標） G5 サイズ VHF プラズマ CVD 装置における 10%以下の膜厚分布の達成のもと、μc-Si 或いは a-SiGe</p>	<p>G5 サイズ VHF プラズマ CVD 装置による a-SiGe を活性層に用いた単接合太陽電池セルにおいて、短絡電流分布 5.5%を達成。</p>	○	<p>24 年度中間目標は達成済み。ただし、現時点でも良好な膜質が得られているものの、更なる高品質化に向け、G5 装置での最適化、トライオード型 CVD や新たな原料ガスの適用等の製膜処方面、a-SiGe 膜質に最適な TCO 形状、及び外部機関等の</p>

<p>を活性層に用いたセルにおいて10%以下の短絡電流分布の達成。</p>			<p>優れた知見を用いた膜物性分析を加速させる。</p>
<p>b-3. VHF プラズマを用いた微結晶シリコン高速大面積製膜技術の開発 (平成 24 年度末中間目標) μc-Si 膜のプラズマ CVD 製膜プロセスにおいて水素原子濃度を実測しこれをシミュレーションで再現するとともに、G5 サイズでの実製膜速度を 10% の誤差で予測する。また、μc-Si 膜のプラズマ CVD 製膜プロセスにおいて、電極-基板間距離 10mm 以上で製膜速度 1nm/sec 以上を得る。</p>	<p>原子状水素の実測システムを構築し、独自の高压 SiH_4/H_2 プラズマシミュレータを用いて微結晶 Si 製膜プラズマ中の H 原子密度の実測値をほぼ再現することに成功した。 高压 SiH_4/H_2 プラズマシミュレータを用いた微結晶 Si 製膜速度予測システムを構築、基板/電極 (E/S) 間距離 10 mm 以上で製膜速度 1.0 nm/sec 以上を実現する製膜条件を検討し、予測値 1.4 nm/sec に対して実測値が 1.3 nm/sec を大面積製膜 (G5) において確認した。製膜速度予測誤差は約+3 %となり、H24 年度末中間目標である製膜速度予測誤差 10% を達成するとともに、電極-基板間距離 10mm 以上で製膜速度 1nm/sec 以上を達成した。</p>	<p>○</p>	<p>プラズマ反応、表面反応の詳細を検討し、プロセス依存性を考慮した製膜速度予測精度の更なる向上を図る。</p>
<p>b-4. バンドプロファイル評価技術の開発とプラズマ励起周波数効果の解明 (平成 24 年度末中間目標) 界面層の最適化により μc-Si 太陽電池の開放電圧で 550mV 以上を得る。また、G5 サイズにおける</p>	<p>5 月下旬に G5 基板サイズ GZO 付き TCO 基板を導入し、μc-Si 太陽電池セルの試作開始。現在、開放電圧 424mV。 中央部と端部で位相変調やガス流量を分割することにより p 層は膜厚分布 $\pm 8.5\%$、n 層は $\pm 10.6\%$ を得た。</p>	<p>△ ○</p>	<p>各層の高品質に向けた条件出しと G5 基板でのセル作製を加速させ、開放電圧 550mV を目指す。 上記の検討の合間に n 層均一化の試験を入れ、膜厚分布を $\pm 10\%$ 以内にする。</p>

60MHz 放電での微結晶シリコン p, n 層製膜において、膜厚 30nm 以下にて、結晶化度 30%以上、膜厚分布±10%以下を得る。			
b-5. 大面積薄膜シリコン太陽電池の欠陥評価手法に関する研究開発（平成 24 年度末中間目標） a-Si、 μ c-Si、 μ c-SiGe などの様々な材料に光熱変換分光法を適用し、セル特性との相関を明らかにする。	接触マルチカンチレバー方式光熱変換分光法および非接触式光熱輻射分光法を用いた欠陥評価技術の開発に取り組み、欠陥密度評価に関連するサブバンドギャップ領域の光吸収係数が 10^1cm^{-1} まで測定可能となった。	△	光吸収係数と ESR 等により評価した欠陥密度との相関係数決定のための測定感度向上
b-6. 膜質・接合界面特性の評価と制御技術開発（平成 24 年度末中間目標） 膜質の評価および接合界面特性の評価を踏まえて薄膜シリコン系太陽電池の高効率化に資する具体的かつ実用的な制御技術を提案。	新しいプラズマプロセス制御技術を開発し、高速製膜条件で作製された微結晶 Si 単接合太陽電池で、変換効率 9.34%を達成した。さらに、実際の太陽電池において様々な膜質や界面特性を評価解析する手法を提案し、さらなる変換効率向上のための膜質や接合界面制御策確立への支援ができることを示した。	○	微結晶 Si だけではなく、アモルファス Si 系、特にアモルファス SiGe を用いた太陽電池における膜質や接合界面特性を評価解析し、高品質・高効率化に向けたプラズマプロセス制御法を提案する。

達成度→ 大幅達成：◎、 達成：○、 達成見込み：△、 達成不可：×

表Ⅲ-2-（ロ）-B-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	5（3）	0	5件
論文（査読付き）	7	5	3	15件
研究発表・講演（うち国際会議）	9（5）	17（9）	2（2）	28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

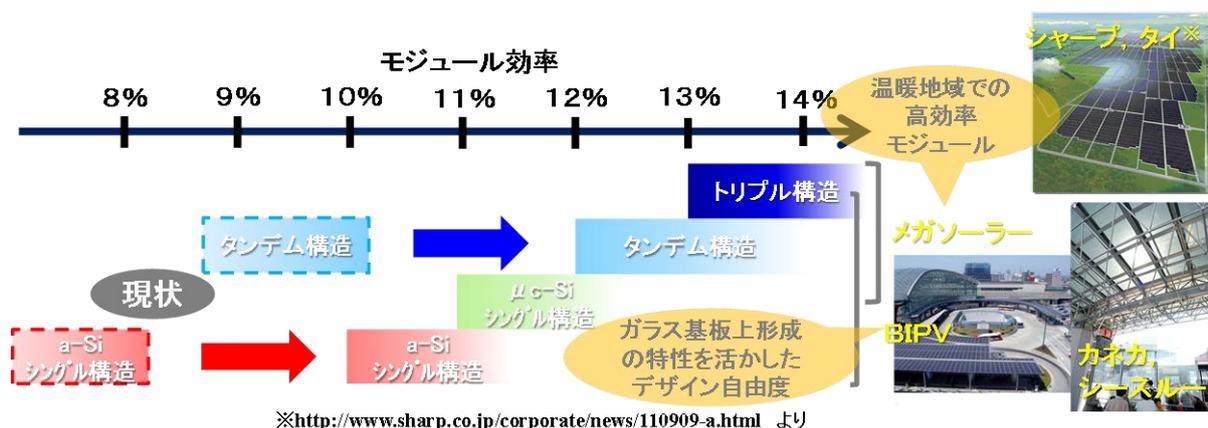
2. 実用化・事業化見通し

本プロジェクト成果の実用化は、本コンソーシアム企業が2017年度において、G5 サイズで変換効率～14%（出力200W以上）でかつコスト競争力のある生産プロセスで事業化するための装置・技術を提供することを指すが、薄膜シリコンの大面積高生産性製膜技術の開発においては、低コスト化を実現する実生産スケールの装置およびプロセス技術を確立することが課題である。

これを達成するためには、高周波を用いることにより G5 サイズにおいて既に世界最高水準の製膜速度を有し、今回高い面内膜厚均一性をも達成した、マルチロッド電極方式 CVD 装置の処理面積速度を更に向上させ、G5 基板サイズを基本とした実機検証による CVD 装置技術を確立することが必要である。また、処理面積速度向上に伴い必要となるシングルチャンバーもしくはより少ないチャンバーによるデバイス形成プロセスを確立することが必要である。更には競争的開発として進めた新規大面積プラズマ源として共振電極対アレイ方式を採択し、本方式の CVD 装置におけるデバイス性能検証を実施した後、G8.5 以上の基板サイズでの実機検証による CVD 装置最適化を図ることにより、BIPV といった大面積基板を必要とする市場への対応準備も進めておく必要がある。

これら装置・プロセス技術開発に関しては、現行のマルチロッド電極方式 CVD 装置含め実用化検討を早い段階で開始し、新規 CVD 装置の事業化とコンソ内企業への導入展開を進めていく。

また、これらの技術開発による2017年度における事業化イメージとしては、高効率モジュールによる温暖地域におけるメガソーラー展開や、また BIPV（建材一体型太陽電池モジュール）に対して、高効率モジュールだけでなく、微結晶シリコンやアモルファスシリコンといった単接合モジュールによる展開も進むことが考えられる。

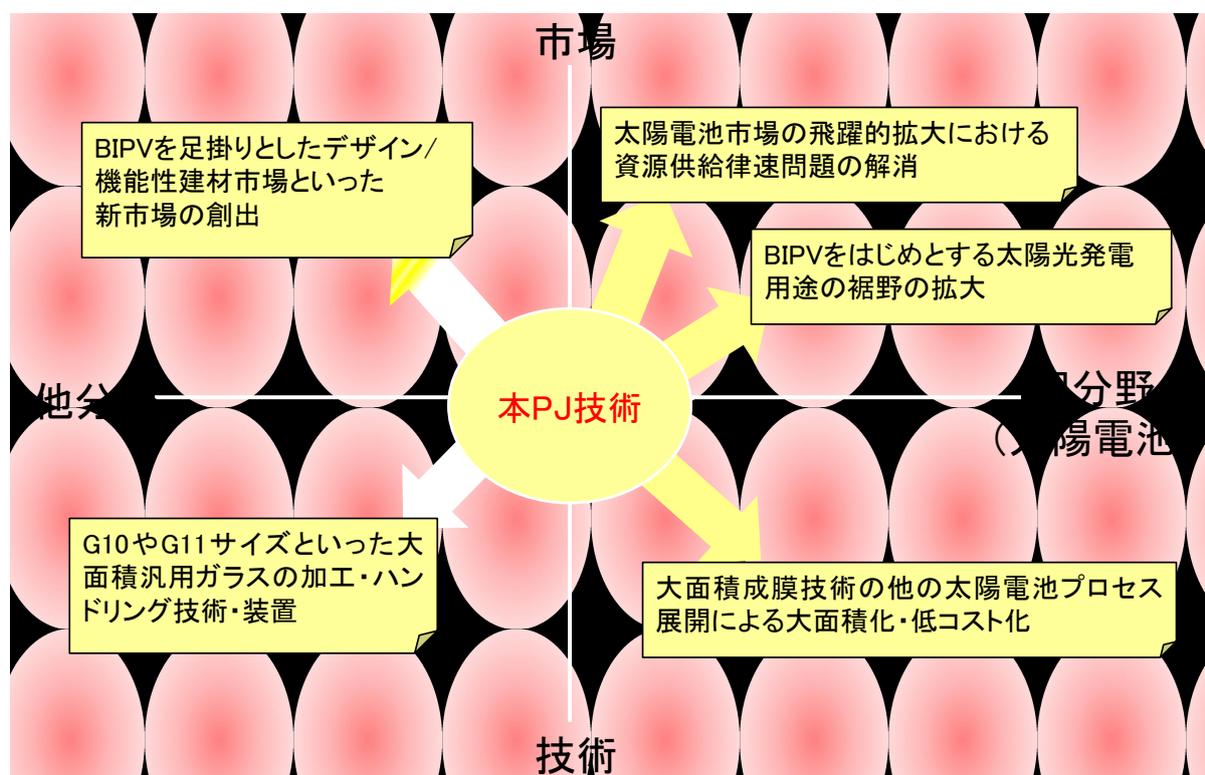


図Ⅲ-2-（ロ）-B-2(1) 2017年度の事業化イメージ

3. 波及効果

本プロジェクトの開発技術により、特に薄膜シリコン太陽電池が得意とする BIPV 市場拡大による太陽光発電用途の裾野を拡大、および、それに伴うデザイン／機能性建材市場といった新たな市場の創出が期待される。また大面積化要求から、G10、G11 といった大面積ガラス基板の加工やハンドリング、施工技術等の装置・技術開発への波及が期待できる。

さらに、設備コストの低減によるコスト競争力向上により、太陽電池市場の飛躍的拡大において懸念されている、結晶シリコンや薄膜化合物系太陽電池で顕在化してくると予測されている資源供給律速問題の解消に大きく貢献することができる。



図Ⅲ-2- (ロ) -B-3(1) 薄膜シリコン太陽電池プロジェクト薄膜シリコンの大面積高生産性製膜技術の開発の波及効果

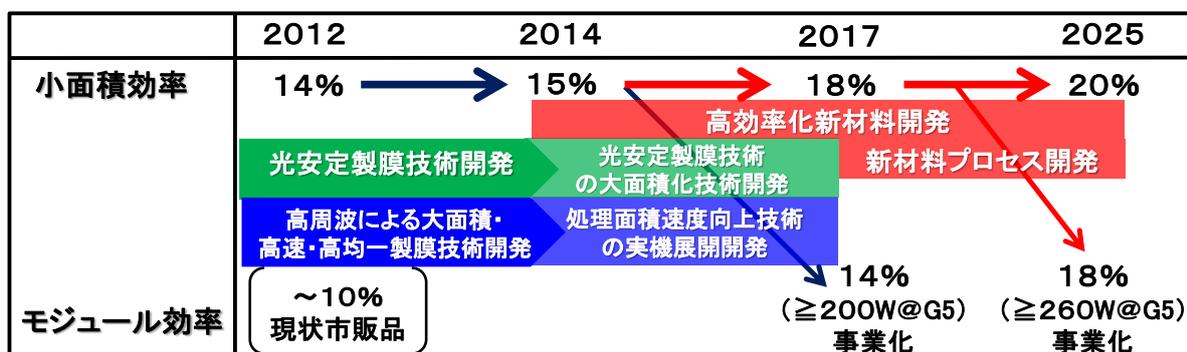
4. 今後の展開

今後の太陽電池市場においては、メガソーラーといった用途のみでなく、CO₂排出ゼロ政策やゼロ消費エネルギービル推進といった理由による、ビルをはじめとした幅広い建築物の部材用途として展開が進み、2016年には127億ドルの市場が予測されている^{Ⅲ-2-(ロ)-B-34(1)}。ガラス基板上形成とそのモジュール形成プロセスから、薄膜シリコン太陽電池は、デザイン自由度の高さやシースルー型構造の形成等、他のタイプの太陽電池では作製困難なデザイン・機能を有する太陽電池製造が可能である。このため、大面積化により製品サイズの自由度を広げられる可能性も含め、この分野での急速なシェア拡大が期待される。

また、これまでの太陽電池市場は7割以上を占めるヨーロッパが主であったが、今後は新興国を中心とした他の地域市場も拡大し、2016年にはヨーロッパ以外が7割程度を占めると予測されている。その中で、中国や中東・アフリカ地域、環太平洋地域の市場は、政策主導シナリオでは2016年に29GW規模、市場全体の1/3程度を占めると予測されている。^{Ⅲ-2-(ロ)-B-4(2)} さらに、これら地域に相当するいわゆるSunbelt地域の累積導入量は、加速成長シナリオにおいて2030年に403GWが予測されている。^{Ⅲ-2-(ロ)-B-4(3)}

これら低緯度・中緯度地域においては、結晶シリコン太陽電池に比べて低い負の温度特性や短波長側の高い感度といった薄膜シリコン太陽電池の特性により、年間総発電量としては結晶シリコン太陽電池を上回る発電量も期待される。また、豊富な資源量と薄膜といった少ない材料使用量から、このような大きな太陽電池導入量の伸びに対しても、高い資源供給安定性の確保が見込める。このため、薄膜シリコン太陽電池のCVD装置・プロセス開発によるモジュールコスト低減を図ることにより、今後伸長していくこれら低緯度・中緯度地域市場を中心とした展開が期待される。

これら市場の機会と期待に応えるべく、PV2030+の技術ロードマップを基本として、2017年にはモジュール効率14%での事業化を計画しているが、この事業化に対しては、現行プロジェクトで開発した高スループット化や大面積化による低コスト装置・プロセス技術を実機展開して実用化し、市場競争力のあるコストを同時に目指す。



図Ⅲ-2-(ロ)-B-4(1) 薄膜シリコン太陽電池プロジェクトの今後の展開

参考文献

Ⅲ-2- (口) -B-4(1) MarketsandMarkets, Global BIPV Market (2011-2016),
report description article

Ⅲ-2- (口) -B-4(2) EPIA, Global market outlook 2012

Ⅲ-2- (口) -B-4(3) EPIA, Unlocking the Sunbelt Potential of Photovoltaics

5. 特許論文リスト

表Ⅲ-2- (ロ) -B-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	国立大学法人 東北大学	PCT/JP201 2/ 001072	PCT	2012/2/17	出願	プラズマ処理装置お よびプラズマ処理方 法	平山昌樹
2	国立大学法人 東北大学	PCT/JP201 2/ 001252	PCT	2012/2/23	出願	プラズマ処理装置お よびプラズマ処理方 法	平山昌樹
3	国立大学法人 東北大学	PCT/JP201 2/ 001304	PCT	2012/2/24	出願	プラズマ処理装置お よびプラズマ処理方 法	平山昌樹
4	三菱重工業株 式会社	特願 2011-2396 23	国内	2011/10/31	出願	真空処理装置	大坪 栄一郎 他
5	三菱重工業株 式会社	特願 2011-2396 46	国内	2011/10/31	出願	真空処理装置	中尾 禎子 他

表Ⅲ-2- (ロ) -B-5(2) 論文リスト

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	Norimitsu Yoshida, Sho Terazawa, Atsuteru Takeuchi, Nobutaka Yoneyama, Tomo-o Morino, Zhao Jun, Hironori Natsuhara and Shuichi Nonomura	岐阜 大学	Preparations of P- and N-doped hydrogenated microcrystalline cubic silicon carbide films by VHF plasma enhanced chemical vapor deposition method for Si thin film solar cells	Physica Status Solidi (c), Vol.7, No.3-4, pp.790-792	有	2010
2	H. Natsuhara, T. Tatsuyama, M. Ushiro, M. Furuhashi, T. Fujii, F. Ohashi, N. Yoshida, S. Nonomura	岐阜 大学	Preparation of SnO ₂ thin films at low temperatures with H ₂ gas by the hot-wire CVD method	Thin Solid Films, Vol.519, No.14, pp.4538-4541	有	2011

3	H. Natsuhara, S. Miura, K. Hori, T. Kumasawa, Y. Noda, Z. Xiang qu, F. Ohashi, N. Yoshida and S. Nonomura	岐阜 大学	Preparation of p-type NiO film for a-Si solar cells	J. Non-Cryst. Solids, in press	有	2012
4	Norimitsu Yoshida, Sho Terazawa, Kotaro Hayashi, Tomonari Hamaguchi, Hironori Natsuhara and Shuichi Nonomura	岐阜 大学	A narrow process window for the preparation of polytypes of microcrystalline silicon carbide thin films by hot-wire CVD method	J. Non-Cryst. Solids, in press	有	2012
5	Yasushi Sobajima, Shirou Kamanaru, Hirotaka Muto, Jakapan Chantana, Chitose Sada, Akihisa Matsuda, Hiroaki Okamoto	大阪 大学	Effect of thermal annealing and hydrogen-plasma treatment in boron-doped microcrystalline silicon	J. Non-Cryst. Solids (2012) in print	有	2012
6	Jakapan Chantana, Yanqiu Yang, Yasushi Sobajima, Chitose Sada, Akihisa Matsuda, Hiroaki Okamoto	大阪 大学	Localized Surface Plasmon Enhanced Microcrystalline-Silicon Solar Cells	J. Non-Cryst. Solids (2012) in print	有	2012
7	Jakapan Chantana, Yanqiu Yang, Yasushi Sobajima, Chitose Sada, Akihisa Matsuda, Hiroaki Okamoto	大阪 大学	Importance of Starting Procedure for Film Growth in Substrate-Type Microcrystalline-Silicon Solar Cells	Jpn. J. Appl. Phys. 50(2011)45806	有	2011
8	Yasushi Sobajima, Chitose Sada, Akihisa Matsuda,	大阪 大学	Control of Materials and Interfaces in $\mu\text{c-Si:H}$ -based Solar Cells Grown at High	MRS Proc. 1321(2011) 1321-a02-01	有	2011

	Hiroaki Okamoto		Rate			
9	Hiroaki Okamoto, Yasushi Sobajima, Toshihiko Toyama, Akihisa Matsuda	大阪 大学	Laplace Meyer–Neldel relation	Physica Status Solidi (a) 207 (2010) 566	有	2010
10	Toshihiko Toyama, Masanori Kurihara, Yasushi Sobajima, Hiroaki Okamoto, Satoshi Takahashi, Naoki Misaka, Yasuo Tsutsumi	大阪 大学	Photoacoustic spectroscopy and electron spin resonance studies of defects in microcrystalline silicon thin films grown on rough surfaces	Physica Status Solidi (c) 7 (2010) 696	有	2010
11	Yasushi Sobajima, Takuya Higuchi, Jakapan Chantana, Toshihiko Toyama, Chitose Sada, Akihisa Matsuda, Hiroaki Okamoto	大阪 大学	Gas- temperature control in VHF-PECVD process for high-rate (>5 nm/s) growth of microcrystalline silicon thin films	Physica Status Solidi (c) 7 (2010) 521	有	2010
12	Jakapan Chantana, Takuya Higuchi, Tomoyuki Nagai, Shota Sasaki, Yasushi Sobajima, Toshihiko Toyama, Chitose Sada, Akihisa Matsuda, Hiroaki Okamoto	大阪 大学	The relationship between $I_{Ha} = (I_{SiH^*})^2$ and crystalline volume fraction in microcrystalline silicon growth	Physica Status Solidi (a) 207 (2010) 587	有	2010
13	Toshihiko Toyama, Yasushi Sobajima, Hiroaki Okamoto	大阪 大学	Fractal Study of Surface Nanostructures of Microcrystalline Silicon Films: From Growth Kinetics to Electronic Transport	Philos. Mag. 89 (2009) 2491	有	2009
14	Yasushi Sobajima, Mitsutoshi Nishino, Taiga Fukumori, Takuya Higuchi, Shinya Nakano,	大阪 大学	6.3% Efficiency Solar Cell Employing High Deposition Rate (8 nm/s) Microcrystalline Silicon Photovoltaic Layer	Sol. Energy Mater. & Sol. Cells 93 (2009) 980	有	2009

	Toshihiko Toyama, Hiroaki Okamoto					
--	--------------------------------------	--	--	--	--	--

C 高度構造制御薄膜シリコン太陽電池の研究開発

1. 成果詳細

表III-2-(ロ)-C-1 [1] 研究開発項目ごとの成果・達成度

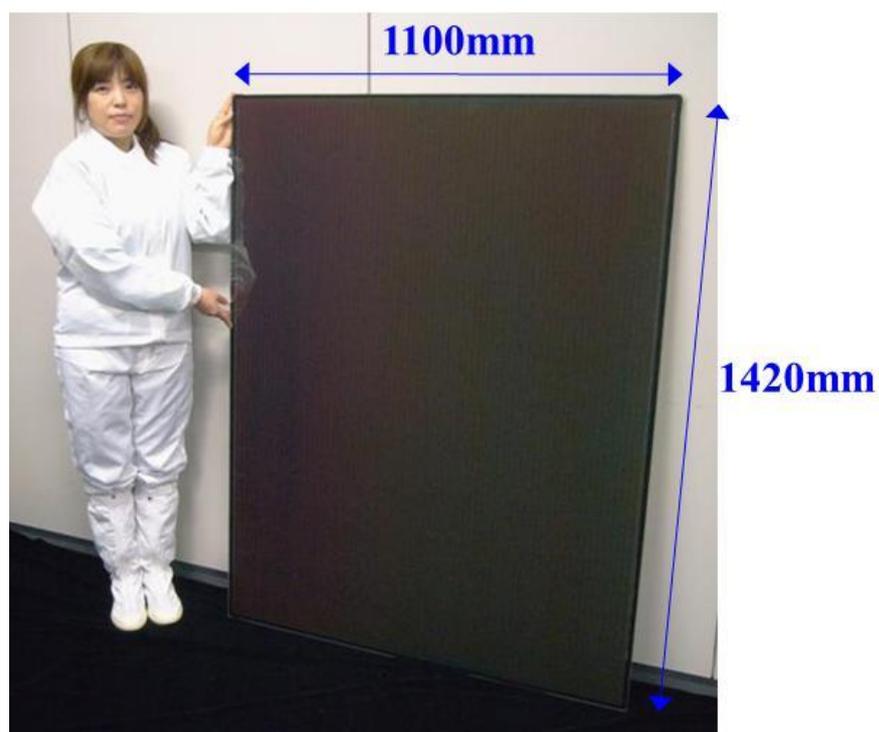
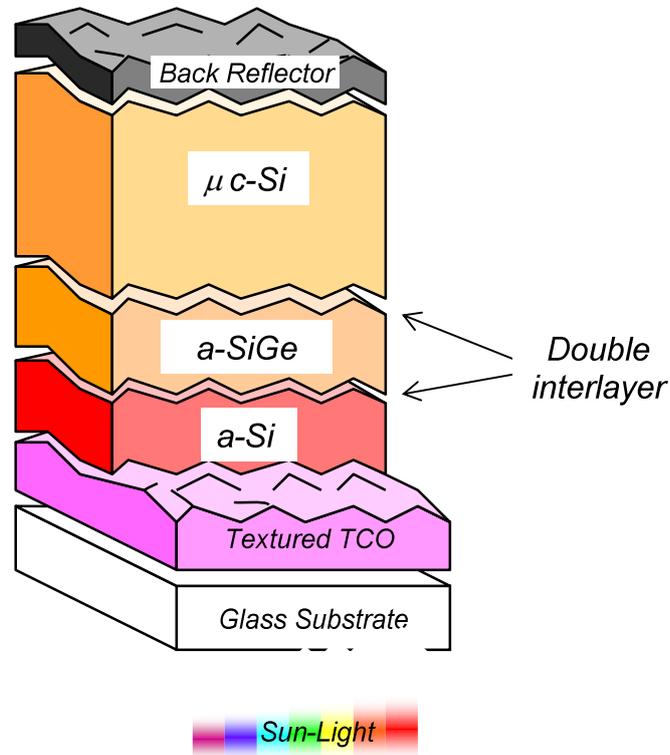
中間目標	研究開発成果	達成度	目標達成のために解決すべき課題
サブモジュール (モジュールサイズ 20cm×20cm) にて安 定化効率 15%	<p><u>◎開発項目①の成果として</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・透明電極の光散乱方向の角度依存性を明確化し、ミドル層およびボトム層感度が向上する散乱角を明確化した。 ・2 接合セルにて、ボトム膜厚 1 μ m ながら Voc 1.47V、効率 13.2%を得た。(従来基板 7%up) <p><u>◎開発項目②の成果として</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・新規欠陥低減処理により、3 接合セルの光安定化後の保持率が 97%に向上。(処理無し 93%) 	△	<ul style="list-style-type: none"> ・透明電極凹凸形状制御技術の 3 接合への適用。 ・ミドル層の高品質化 ・今後は大面積化に注力
実機サイズモジュール (モジュールサイズ 980×950mm) にて 120W	<p><u>◎開発項目②の成果として</u></p> <p>世界で初めて中間層を有する大面積 3 接合モジュール(a-Si/中間層/a-SiGe/中間層/μc-Si)を作成した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・980×950mm : 115W相当 ・1420×1100mm : 作製 ・500mm□内での均一インプリント技術確立の目処がついた。 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・透明電極凹凸形状制御技術ならびに新規欠陥低減処理技術の大面積化

達成度→ 大幅達成：◎、 達成：○、 達成見込み：△、 達成不可：×

研究開発項目としては、①新規低空間指向性光閉じ込め技術の開発および②サブサーフェス制御製膜法による新規バンドギャップ制御シリコン系材料の開発について取り組んだ。①に関しては、ナノインプリント技術を用いてガラス基板表面へ凹凸構造を形成する技術を開発し、ガラス上に凹凸サイズを制御した透明電極の形成を行い光散乱の制御を行った。特に周期的に配列した凹凸構造により散乱方向に指向性を持たせることにより、各発電層に最適な光閉じ込めを行う。また凹凸層の光学パラメーター（屈折率、吸収ロス抑制）

の最適化検討も行い、光閉じ込めに最適な光散乱層を形成する。一方②に関しては、薄膜シリコン太陽電池の事業競争力の強化を目指し、目的を 3 接合構造(a-Si/中間層/a-SiGe/中間層/ μ c-Si)のミドル層である a-SiGe の高性能化と、量産化サイズである大面積 3 接合モジュールの高効率化に絞った検討を実施した。

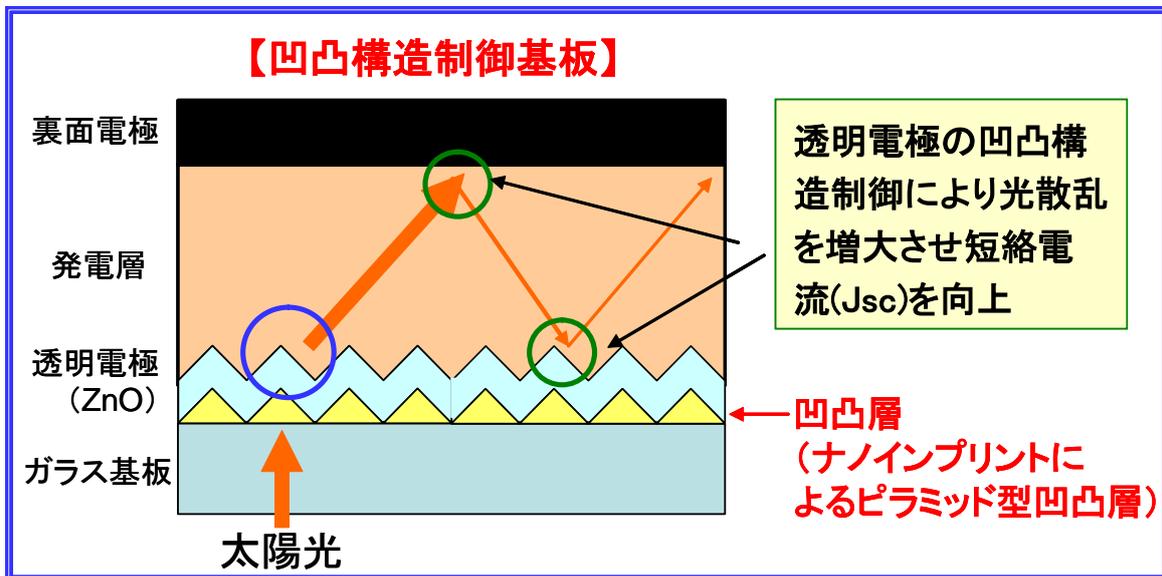
図Ⅲ-2-(ロ)-C-1 [1]に 3 接合薄膜シリコン太陽電池の構造とモジュールの外観写真を示す。世界で始めて量産サイズでの中間層を有する大面積 3 接合モジュールの作成に成功した。



図Ⅲ-2-(ロ)-C-1 [1] 3 接合薄膜シリコン太陽電池の概念図とモジュール外観写真

① 規低空間指向性光閉じ込め技術の開発

新規低空間指向性光閉じ込め基板として凹凸構造制御基板の開発を行った。以下図Ⅲ-2-(ロ)-C-1 [2]に本基板の開発概念を示す。



図Ⅲ-2-(ロ)-C-1 [2]. 凹凸構造制御基板の概念

ガラス基板上にナノインプリントの手法によりピラミッド型の凹凸層を形成する事で、引き続き形成される透明電極層の凹凸形状も制御する事で、これにより透明電極/Si 界面の光散乱が増大し短絡電流が向上する。

特に本プロジェクトにおいては、周期的に配列した凹凸構造を用いる事で、光の散乱方向制御（指向性化）を目指した。すなわち 3 接合型の太陽電池 (a-Si/a-SiGe/ μ c-Si) のミドル a-SiGe 層ならびにボトム μ c-Si 層の吸収波長にマッチした選択的な光閉じ込めの実現を目指した。

次に本プロジェクトで開発した凹凸構造制御基板を用い、a-Si/ μ c-Si セルで、その有効性を確認する検討を実施した。表Ⅲ-2-(ロ)-C-1 [2]に各基板の特性を示す。

比較対象としては、従来基板としてインプリントによる凹凸層が形成されていない ZnO のみの基板、さらに市販の SnO₂ 基板を用いた。その結果ボトム μ c-Si 層の膜厚が 1.0 μ m ながら、電流の大幅な向上に加えて Voc 1.47V の達成により、ZnO 基板と比較して Eff が 7% 向上し、初期 Eff.にて 13.2%を達成した。電流だけでなく Voc が向上したのは TCO の表面形状を制御する事で光散乱だけでなく、線欠陥等の形成が抑制され、結果的には膜質が向上した事によるものと考えられる。

表Ⅲ-2-(ロ)-C-1 [2]. 凹凸構造制御基板のセル特性

基板	Voc(V)	Jsc(mA/cm ²)	F.F.(%)	Eff.(%)
ZnO(内製)	1.42	11.3	76.5	12.3
SnO ₂ (市販)	1.44	11.2	77.7	12.5
凹凸構造制御基板	1.47	12.6	71.4	13.2

② ブサーフェス制御製膜法による新規バンドギャップ制御シリコン系材料の開発
次に、本プロジェクトにて開発した高性能 a-SiGe 製膜条件を、実機サイズ (980×950mm) での 3 接合構造 a-Si/a-SiGe/ μ c-Si モジュールに適用した。その結果を表Ⅲ-2-(ロ)-C-1 [3] に示す。

表Ⅲ-2-(ロ)-C-1 [3]. 基板サイズ 980×950mm の 3 接合モジュール特性

980×950mm		Pmax(W)
	初期	115W相当

980×950mm□基板に関しては、本基板の製膜が可能な装置における初期特性として、115W 相当が得られている。また厳しい市場環境の中、競争力強化のためには量産レベルで高い出力を実証する事が重要である事から、実用化サイズである 1420×1100mm でのモジュール化検討も実施した。図Ⅲ-2-(ロ)-C-1 [7]に本サイズのモジュールの外観写真を示す。



図Ⅲ-2-(ロ)-C-1 [7]. 1420×1100mm サイズの 3 接合モジュール外観写真 (屋外暴露中)

次に 3 接合構造のミドル層である a-SiGe において課題となっている膜中欠陥、光劣化を抑制するためにサブサーフェス制御製膜法の検討を実施した。より具体的には、従来のプラズマ CVD 法では膜形成時に水素化することにより未結合手を終端させ、欠陥密度増加を抑制していたが、サブサーフェス制御製膜法では従来法と異なり、敢えてサブサーフェス (断続的な界面) において欠陥低減処理を行うことで、却って処理効果の増大、膜中閉じ込めを行い、活性層全体的大幅な品質向上を図るものである。

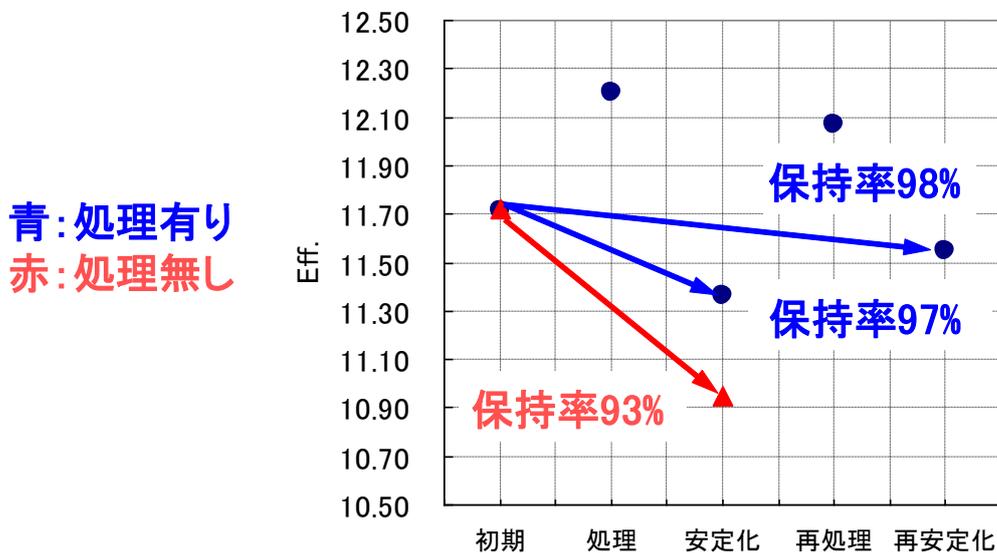
我々は、まず 3 段タンデムセルに対し新規欠陥低減処理を製膜後に実施することで初期および安定化後特性に対する改善効果を確認した。表Ⅲ-2-(ロ)-C-1 [5]に 3 段タンデムセルの処理前後の特性を示す。全てのパラメーターが向上し、Eff.としては 4%の向上がみられた。

表Ⅲ-2-(ロ)-C-1 [5]. 新規欠陥低減処理前後のセル特性

	Voc(V)	Isc(mA)	F.F.(%)	Eff.(%)
処理前	2.09	7.58	73.9	11.7
処理後	2.11	7.79	74.3	12.2

4%向上

次に光安定化特性について検討した。照射強度 5sun による 550 時間相当の加速劣化試験を実施した結果を図Ⅲ-2-(ロ)-C-1 [8]に示す。安定化後特性に関しても処理無しの場合の保持率が 93%であるのに対し、処理を行う事で 97%まで向上した。さらに光安定化後のサンプルを再度、処理を行い光安定化試験を行ったところ、保持率が向上する傾向にあった。以上の結果より、セルに対する新規欠陥低減処理の有効性が確認された。



図Ⅲ-2-(ロ)-C-1 [8]. 新規欠陥低減処理の光安定性への影響

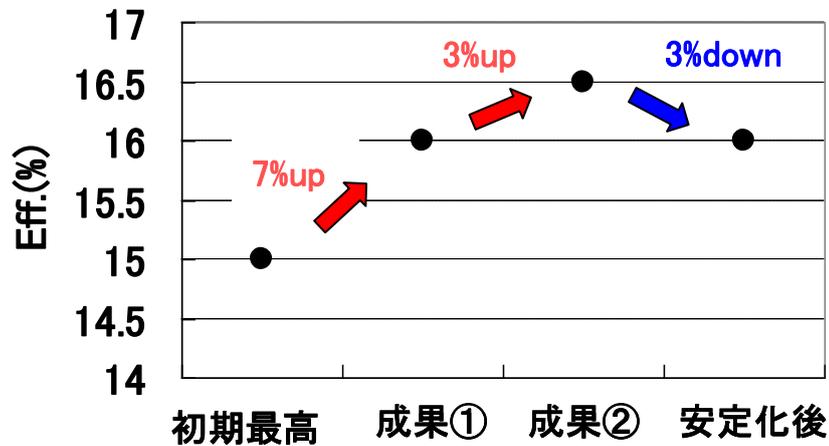
最後に最終目標の達成可能性だが、表Ⅲ-2-(ロ)-C-1 [6]に 2 接合(a-Si/ μ c-Si)ならびに 3 接合(a-Si/a-SiGe/ μ c-Si)セルのカネカにおける最高性能を示す。

表Ⅲ-2-(ロ)-C-1 [6]. 小面積セルのトップデータ

	Voc(V)	Jsc(mA/cm ²)	F.F.(%)	Eff.(%)	備考
2段タンデム安定化(従来基板)	1.365	12.44	69.4	12.3	2011AIST認証 世界最高
3段タンデム初期(従来基板)	2.28	8.93	73.5	15.0	

これらの基板としては従来基板を用いた 1cm²セルの結果である。2 接合セルに関しては 2011 年に AIST 認証値で世界最高値である 12.3%を達成しており、薄膜シリコン太陽電池

分野において依然世界トップクラスの開発力を有している事を示している。また3 接合セルに関して初期値ではあるが 15%を達成している。この3 接合セルの特性を元に、本プロジェクトにおける成果によるゲインを見込んだ性能の想定達成値を図Ⅲ-2-(ロ)-C-1 [9] に示す。



図Ⅲ-2-(ロ)-C-1 [9]. 各要素技術と性能の達成想定値

まず一つ目の成果として本プロジェクトで開発した凹凸構造制御基板にて 7%の性能向上を見込んでいる。(成果①) 次に二つ目の成果として新規欠陥低減処理にて初期性能が最大4%向上すると共に、保持率 97% (3%の低下) に抑制される。これによりセルにて初期 16.5%、安定化後 16%の達成は可能である。本性能を有するセルから量産サイズである実用化サイズモジュール (モジュールサイズ 1420×1100mm) に大面積化する場合の特性低下を考慮する必要はあるものの、同サイズでの安定化後 200W (13.6%) の達成は十分可能である。

2. 実用化・事業化見通し

太陽電池市場の厳しい市況環境を鑑み、薄膜シリコン太陽電池に求められているのは、他の太陽電池と同様に高性能化と低コスト化である。よって2接合よりも高性能化が見込める3接合構造による大面積化検討を行う。弊社においては単接合ならびに2接合の生産、販売を既に実施しており、a-SiGe層が追加されるだけの3接合構造は既設の生産設備をベースとした展開が可能であり、実用化・事業化に対する障害は無く、実現可能である。

3. 波及効果

本事業は、2020年に発電コスト14円/kwh（モジュール製造コスト換算75円）の実現に資する技術の確立を目標としており、確実に高性能化が望める研究開発を行うものとする。まず本事業の太陽電池分野での波及効果として、開発に注力している3接合セルのミドル層である高性能a-SiGe層は他の薄膜系太陽電池（化合物、有機）などとのタンデム化が可能である。同じくインプリント技術による凹凸構造制御基板についても、同様に他の薄膜系太陽電池への展開が可能である。一方、太陽電池以外の波及効果としては、インプリントによる微細構造形成技術の展開として、オプトエレクトロニクス分野、ディスプレイ分野等への適用可能性が考えられる。

なお、本事業により、日本の技術優位性の維持による技術基盤強化・産業競争力向上が見込める。

4. 今後の展開

研究開発に関しては、一部社内資源も活用した取り組みを行い、中間および最終目標を確実に達成する。また事業化、実用化に関しては、3 接合構造の早期事業化を目標に本プロジェクトの研究計画と密接にリンクした事業開発を行う。短期的には、本プロジェクトで開発した成果は随時適用し事業競争力の強化を図る。長期的には 2014 年度末の達成目標である出力 200W(13.6%)の 3 接合モジュールでの事業化、実用化が重要であり、目標達成後の短期間での生産開始を目指して全社内資源を投入して取り組む。最終的にはモジュール性能を 14%まで高める必要があるが、上記 200W モジュール技術をベースに、Si 層の高性能化と更なる光閉じ込めの強化により 2017 年での実用化ならびに 2020 年での事業化を実現する。

5. 特許論文リスト

以下、表Ⅲ-2-(ロ)-C-5[1]に知的財産、成果の普及結果を、表Ⅲ-2-(ロ)-C-5[2]ならびに表Ⅲ-2-(ロ)-C-5[3]に特許、論文リストを示す。成果については、着実に権利化を進めると共に、研究発表およびプレスリリースを通じて成果のアピールも適切に実施している。

表Ⅲ-2-(ロ)-C-5 [1]. 知的財産、成果の普及

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

・プレスリリースを実施(H22年1件、H23年2件)

* 平成24年7月25日現在

表Ⅲ-2-(ロ)-C-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	株式会社 カネカ	特願 2011-021908	国内	2011/2/3	公開待 ち	多接合型 薄膜太陽電池	口山 崇
2	株式会社 カネカ	特願 2011-032510	国内	2011/2/17	公開待 ち	薄膜太陽電池	口山 崇
3	株式会社 カネカ	特願 2011-146316	国内	2011/6/30	公開待 ち	薄膜太陽電池	稲木 修
4	株式会社 カネカ	特願 2011-178060	国内	2011/8/16	公開待 ち	薄膜光電変換 装置	末崎 恭
5	株式会社 カネカ	特願 2011-199902	国内	2011/9/13	公開待 ち	光電変換装置	目黒 智巳

表Ⅲ-2-(ロ)-C-5 [3]. 論文リスト

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	Andrea Feltrin, Tomomi Meguro	Kaneka Corporation	Light scattering and parasitic absorption in thin film silicon solar cells containing metal nanoparticles	Journal of Photonics for Energy, Vol.1, 2011, P017003-1	有り	2011
2	Tomomi Meguro	Kaneka Corporation	Advanced Light Trapping of High-Efficiency Thin Film Silicon Solar Cells	Japanese Journal of Applied Physics, in press	有り	2012

D 薄膜シリコンフィルム太陽電池の高速製膜技術の研究開発

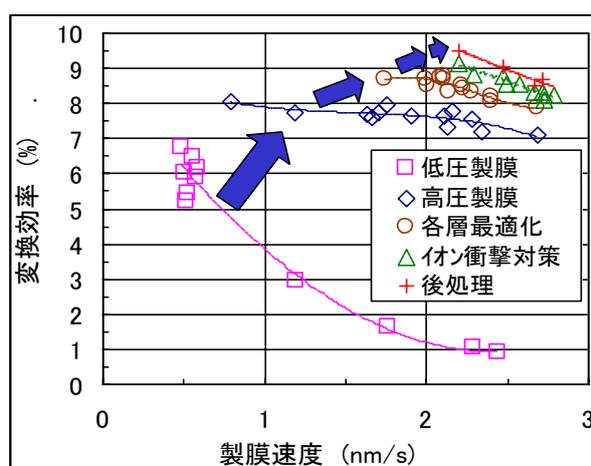
1. 成果詳細

フレキシブル太陽電池の高出力化のために、薄膜シリコン (Si) 太陽電池の効率を向上させると共に薄膜 Si を高速で製膜する必要がある。この研究では、高効率の薄膜 Si 太陽電池を高速で製膜する技術、この薄膜 Si 太陽電池を用いて多接合太陽電池を製膜する技術、そして、この太陽電池からモジュールを作製する技術を開発する。

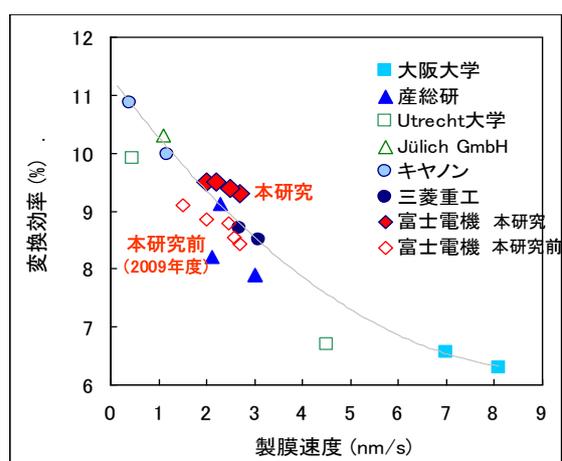
Ⅲ-2-(ロ)-D-1-1 薄膜シリコン太陽電池の高速製膜技術

薄膜 Si 太陽電池の高速製膜技術として、非晶質シリコン (a-Si:H) 薄膜や微結晶シリコン (μc -Si:H) 薄膜について検討している。その目標 (中間目標) は、フィルム基板上の μc -Si:H 太陽電池において製膜速度が 2.0 nm/s 以上で変換効率を 9.5%以上とすることである。

μc -Si:H 太陽電池の高速製膜については、放電パワーを上げて製膜速度を速くすると太陽電池の変換効率が小さくなる傾向がある (図Ⅲ-2-(ロ)-D-1(1))。これまで、製膜圧力の高圧化やイオン衝撃対策などによって高速製膜領域における変換効率を向上させてきたⅢ-2-(ロ)-D-1(1)。また、ITO 透明電極と p/i 界面層の最適化、後処理 (熱処理) などによって、太陽電池の特性が向上した。イオン衝撃対策としては、高周波プラズマ CVD においてカソードに直流バイアス電圧を印加することによってイオン衝撃のエネルギーを制御する方法を開発したⅢ-2-(ロ)-D-1(2)。この結果、本研究の実施前において製膜速度 1.5nm/s で変換効率 9.1%であったものが、本研究によって製膜速度 2.2nm/s で変換効率 9.5%までに特性が向上した。これは中間目標を達成するものである。図Ⅲ-2-(ロ)-D-1(2)には、世界の他の研究機関で発表されている太陽電池の効率と製膜速度を載せたⅢ-2-(ロ)-D-1(1)。他の研究機関と比較して同等の特性が得られており、フィルム基板上においても高い特性が得られることがわかった。



図Ⅲ-2-(ロ)-D-1(1) μc -Si:H太陽電池の製膜速度と変換効率の関係



図Ⅲ-2-(ロ)-D-1(2) μc -Si:H太陽電池の高速高効率に関する研究機関との比較



図Ⅲ-2-(ロ)-D-1(3)
2 接合太陽電池の構造

表Ⅲ-2-(ロ)-D-1(1) 多接合太陽電池の製膜速度と変換効率

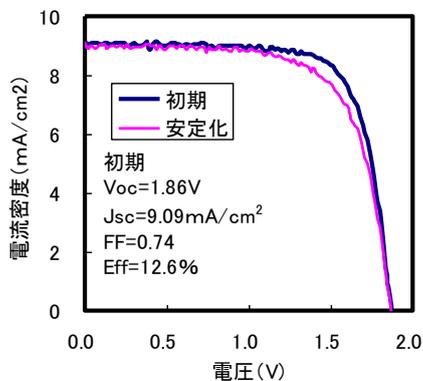
年度	多接合数	製膜速度(nm/s)		変換効率(%)	
		μ c-Si:H	a-Si:H	初期	安定化
2009	2接合	1.1	0.3	12.5	10.2
2010	2接合	2.0	0.3	12.3	10.4
2010	3接合	2.0	0.3	12.4	11.7
2012	3接合	2.2	0.83	12.6	11.6
目標		≥ 2.0	≥ 0.67	≥ 14	≥ 13

Ⅲ-2-(ロ)-D-1-2 多接合太陽電池の製膜技術

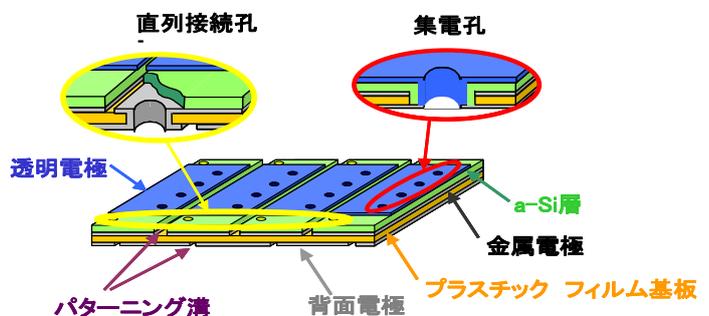
多接合太陽電池の製膜技術において、Ⅲ-2-(ロ)-D-1-1 項で開発した μ c-Si:H 太陽電池と a-Si:H 太陽電池を用いて多接合太陽電池を作製している。中間目標はフィルム基板上的多接合太陽電池において初期効率を 14%以上または安定化効率を 13%以上とすることである。ここで、その製膜速度は μ c-Si:H 薄膜で 2.0 nm/s 以上、a-Si:H 薄膜で 0.67nm/s 以上である。

多接合太陽電池としては2接合と3接合について検討した。図Ⅲ-2-(ロ)-D-1(3)に2接合太陽電池の構造を示す。3接合太陽電池は μ c-Si:H 太陽電池が2層となる。多接合太陽電池の検討としては主に各構成セルの電流マッチングであり、シミュレーションなども利用した。トンネル接合層は μ c-Si:H:n 層を用い、その製膜条件を検討した。透明電極としてITO膜の製膜条件やITO以外の材料などについても検討している。

これまでの多接合太陽電池の開発の経緯を表Ⅲ-2-(ロ)-D-1(1)に示す。本研究の開始以前は2接合太陽電池において初期効率12.5%、安定化効率10.2%を得ていたが、製膜速度が両者とも目標値より遅かった。次に、高速の μ c-Si:H 太陽電池 (2nm/s) が作製できるよ



図Ⅲ-2-(ロ)-D-1(4) 3 接合太陽電池のIV特性 (a-Si:H 0.8 nm/s、 μ c-Si:H 2.2nm/s)



図Ⅲ-2-(ロ)-D-1(5) SCAF直列接続構造

うになり、同程度の変換効率を持つ2接合太陽電池が得られた。3接合太陽電池とすると安定化効率が11.7%に向上した。現在、高速のa-Si:H太陽電池が作製(0.8nm/s)できるようになり、3接合太陽電池で初期効率12.6%、安定化効率11.6%を得ている。そのときの電流電圧曲線を図Ⅲ-2-(ロ)-D-1(4)に示す。

Ⅲ-2-(ロ)-D-1-3 太陽電池モジュール作製技術

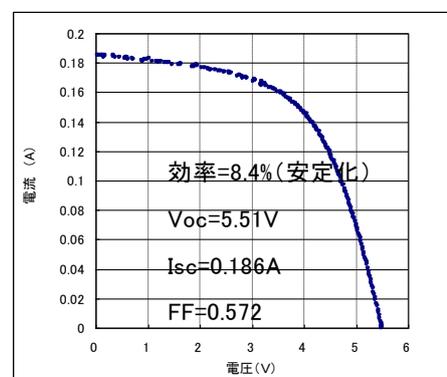
太陽電池モジュール作製技術では、Ⅲ-2-(ロ)-D-1-2項で開発した多接合太陽電池に直列接続構造を形成し、さらに封止することで太陽電池モジュールを作製している。その目標(最終目標)はフィルム基板上に形成した薄膜Si多接合太陽電池を用いて作製したサブモジュール(面積100cm²以上)において安定化効率を12%以上とすることである。2012年度までの内部目標として、直列接続構造による出力低下を15%以下とした。

直列接続構造としては、図Ⅲ-2-(ロ)-D-1(5)に示した富士電機独自の構造であるSCAF構造(Series-Connection through Apertures Formed on Film Substrate構造)を採用した。その特徴は、区画に区切られたユニット太陽電池をフィルムの反対面に形成された背面電極を通して直列に接続している。ユニットの両端に配置された2個の直列ホールを通して裏面電極と背面電極が接続され、多数の集電ホールを通して透明電極と背面電極が接続される。使用する多接合太陽電池は現行製品に比べて発電層が厚いため、レーザーによる細線加工の条件などを検討し、SCAF構造太陽電池を試作した。2接合太陽電池(μ c-Si:H/a-Si:H)を用いて4個のユニット太陽電池(面積17.5cm²)を直列に接続した。その特性を表Ⅲ-2-(ロ)-D-1(2)に示す。直列接続にともなう出力低下は、当初が26%であったものが20%程度に下がったが、内部目標(15%以下)には至っていない。SCAF構造太陽電池の安定化効率も8.4%(Voc=5.51V、Isc=0.186A、FF=0.572)で最終目標とはまだ差がある。図Ⅲ-2-(ロ)-D-1(6)にその電流電圧曲線を示す。

研究開発項目ごとの成果・達成度を表Ⅲ-2-(ロ)-D-1(4)に、特許、論文、外部発表等の件数を表Ⅲ-2-(ロ)-D-1(5)に示す。

表Ⅲ-2-(ロ)-D-1(2) SCAF構造形成による太陽電池の出力低下率

年度	a-Si:H/ μ c-Si:H 膜厚(nm)	効率(%)			出力低下率
			小面積	直列接続	
2009	700/2500	初期	12.5	9.3	26%
2011	500/2400	安定化	10.1	7.8	23%
2011	700/2400	安定化	10.1	7.9	21%
2011	300/1800	安定化	—	8.4	—



図Ⅲ-2-(ロ)-D-1(6) SCAF構造太陽電池のIV特性

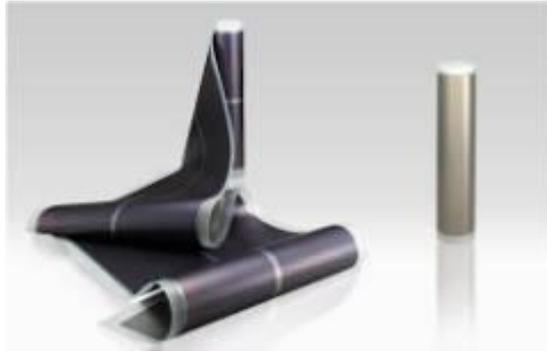
表Ⅲ-2-(ロ)-D-1(4) 研究開発項目ごとの成果・達成度

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

達成度→ 大幅達成：◎、 達成：○、 達成見込み：△、 達成不可：×

表Ⅲ-2-(ロ)-D-1(5) 特許、論文、外部発表等の件数(内訳)

	H22	H23	H24	計
特許出願(うち外国出願)	0(0)	4(1)	0(0)	4件
論文(査読付き)	0	0	0	0件
研究発表・講演(うち国際会議)	6(3)	0	0	6件
新聞・雑誌等への掲載	1	0	0	1件
受賞実績	0	0	0	0件
展示会への出展	0	0	0	0件



図Ⅲ-2-(ロ)-D-2(1) フレキシブル薄膜Si太陽電池

2. 実用化・事業化見通し

本研究の実用化については、2015年度までにフレキシブル薄膜Si太陽電池に高出力化/高速化に関する要素技術を提供することを目指す。本研究で得られた成果で実用化・事業化の可能性あるのは、①a-Si:H太陽電池の高速化/高効率化技術と②改良型のSCAF直列接続構造による高出力化技術である。これらは現行製品(フレキシブル薄膜Si太陽電池)に適用可能な技術である(図Ⅲ-2-(ロ)-D-2(1))。実用化に向けた技術的な課題と対策を以下に整理した。

①a-Si:H太陽電池の高速化/高効率化技術の課題

- ・ a-Si:H:i層の高品質化・・・対策は高次シラン低減、イオン衝撃低減
- ・ a-Si:H:i層以外の層の最適化・・・対策はp層やn層の改良(界面層、組成)
- ・ 大面積製膜・・・対策は工場の製膜装置の利用

②改良型のSCAF直列接続構造による高出力化技術の課題

- ・ 選択加工の実用化検証・・・対策は加工の歩留り、信頼性試験
- ・ 直列・集電ホールの小径化・・・対策は短パルス、短波長レーザー加工
- ・ 大面積高速加工・・・対策は設備メーカーと工場設備の利用

本研究の成果によりフレキシブル太陽電池の販売拡大が期待される。デザイン屋根や壁を利用した発電の普及、遊休地の利用による発電の普及、非常用電源の普及、非電化地区への電気の供給などが期待される。そのための製品イメージとしては、図Ⅲ-2-(ロ)-D-2(2)に示すように鋼板一体型太陽電池、シート発電装置、モバイル電源などである。フレキシブル太陽電池市場は薄膜Si太陽電池においても20%前後の成長率が期待され、2015年で400MWの市場規模が予想される^{Ⅲ-2-(ロ)-D-2(1)}。上記の実用化により製造コストが10%程度削減でき、販売拡大が期待される。



鋼板一体型太陽電池



シート発電装置



モバイル電源

図Ⅲ-2-(ロ)-D-2(2) フレキシブル太陽電池の製品イメージ

3. 波及効果

特に、なし。

4. 今後の展開

中間目標の達成に向けて、a-Si:Hセルの高効率化、トンネル接合層の低抵抗化、透明電極の低抵抗化/透明化など各構成要素の改善を行い、さらに電流マッチングによって多接合太陽電池の中間目標（初期効率 14%以上または安定化効率 13%以上）を達成することを目指す。また、SCAF 直列接続構造の改良を進め、直列化による損失を 15%以下（内部目標）とする。そして、この技術を現行製品の出力向上につなげる。

参考文献

- Ⅲ-2-(ロ)-D-1(1) Tsuji Taketo et. al. : LARGE-AREA, LIGHT-WEIGHT FLEXIBLE SOLAR CELLS USING PLASTIC FILM SUBSTRATES, 5th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, 3B0.12.5.
- Ⅲ-2-(ロ)-D-1(2) 松山秀昭：直流電圧を印加した高周波プラズマ CVD による薄膜 Si 太陽電池の形成、第 71 回秋季応用物理学会学術講演会、14p-ZB-12。
- Ⅲ-2-(ロ)-D-2(1) 大阪マーケティング本部第三事業部編集：2011 年度太陽電池関連技術・市場の現状と将来展望（上巻）、株式会社富士経済、(2011)、64。

5. 特許論文リスト

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	富士電機	特願2011-276609	国内	H23-12-19	公開前	薄膜太陽電池の製造方法	澤柳悟
2	富士電機	特願2011-175744	国内	H23-8-11	公開前	薄膜太陽電池およびその製造方法	松山秀昭
3	富士電機	特願2011-158631	国内	H23-7-20	公開前	薄膜太陽電池及び薄膜太陽電池の製造方法	松山秀昭
4	富士電機	特願2012-037301	PCT 日、米、独中	H24-2-23	公開前 外国移行前	薄膜太陽電池	松山秀昭

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	高野章弘	富士電機	Large-Area and Light-Weight Film Solar Modules	IMID/IDMC/ASIA DISPLAY 2010 T14-1153	なし	2010年
2	大瀬直之	富士電機	フィルム基板上への微結晶シリコン太陽電池の高速製膜技術	第71回秋季応用物理学会学術講演会, 14p-ZB-11	なし	2010年
3	松山秀昭	富士電機	直流電圧を印加した高周波プラズマCVDによる薄膜Si太陽電池の形成	第71回秋季応用物理学会学術講演会, 14p-ZB-12	なし	2010年
4	大瀬直之	富士電機	プラスチックフィルム基板上の大面積微結晶シリコン太陽電池	第71回秋季応用物理学会学術講演会, 14p-ZB-10	なし	2010年
5	辻剛人	富士電機	LARGE-AREA, LIGHT-WEIGHT FLEXIBLE SOLAR CELLS USING PLASTIC FILM SUBSTRATES	5th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion 3B0.12.5	なし	2010年
6	和田雄人	富士電機	Large-Area, Light-weight Flexible Solar Cells Fabricated on Plastic Film Substrates	Third International Workshop on Thin Film Silicon Solar Cells Oral Session 4	なし	2010年

(ハ) CIS・化合物系太陽電池

A CIS系薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発

1. 成果詳細

①「CIS系薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発（大面積モジュールの研究開発）」

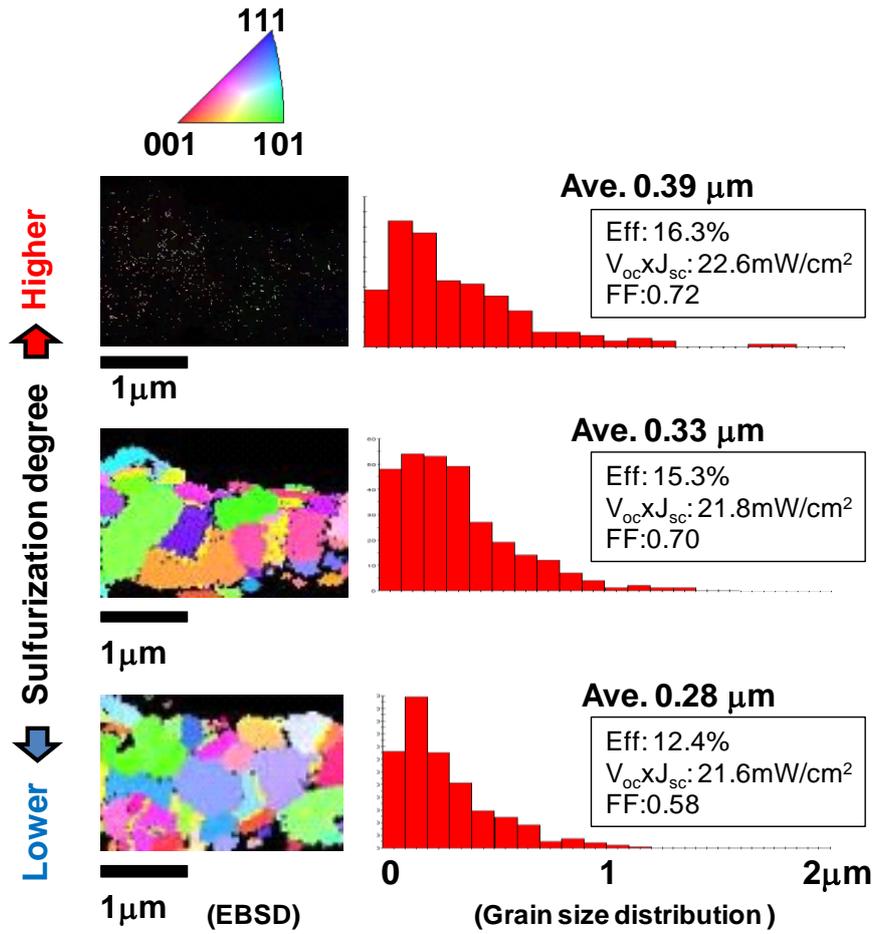
1) $V_{oc} \times J_{sc}$ 向上のための p 型 CIS 系光吸収層の高品質化技術開発

昭和シェル石油(株)独自の p 型 CIS 系光吸収層作製技術である「セレン化後の硫化法 (SAS 法)」により、CIS 系光吸収層の高品質化 ($V_{oc} \times J_{sc}$ 向上) を目的に SAS プロセスを検討した。一般的に CIS 系光吸収層は Ga (及び/又は S) を導入することによりバンドギャップを調整することが可能である。小面積で高効率が達成されているバンドギャップは $E_g = 1.15-1.20\text{eV}$ 程度の範囲であり、理論的な最適バンドギャップである $E_g = 1.4-1.5\text{eV}$ とは乖離している。その主な原因はバンドギャップ増加に応じた V_{oc} 向上が達成できていないことである。このような現実のもと、 V_{oc} 、 J_{sc} という個別の数値目標を立てることは、変換効率向上に対しマイナスの効果を生じさせていると判断している。そこで当社では CIS 系光吸収層の品質を表す「 $V_{oc} \times J_{sc}$ 」という独自の指標を導入している。「 $V_{oc} \times J_{sc}$ 」は CIS 系光吸収層の持つ変換効率向上能力、即ち、「ポテンシャル」を表すものとして適用し、バンドギャップや V_{oc} 、 J_{sc} といった値に拘らず、「 $V_{oc} \times J_{sc}$ 」を最大化することで変換効率の向上を目指している。

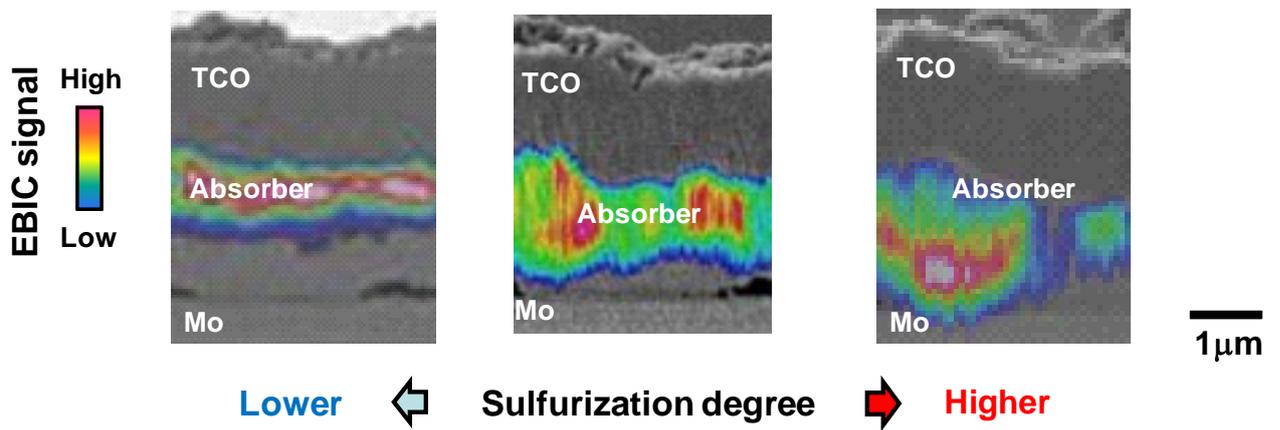
この $V_{oc} \times J_{sc}$ を向上させるべく、CIS 系光吸収層の膜厚増加を検討した。従来の SAS プロセスに対して光吸収層の膜厚を増加することで、 J_{sc} 向上は確認できたが、 V_{oc} 低下により $V_{oc} \times J_{sc}$ は、ほとんど変化しなかった。一方、FF が急激に低下し、変換効率は低下してしまいった。そこで、厚い光吸収層に対しても V_{oc} 、FF を維持すべく SAS プロセスの検討を行った。具体的には硫化度を上げる検討を行った。硫化度とは硫化プロセスにおける温度、時間、ガス濃度からなる指標で、値が大きくなるほど「強い」硫化となる。厚い光吸収層に対して硫化度を上げることにより、結晶粒径の増大 (図Ⅲ-2- (ハ) -A-1-1)、空乏層の増加 (図Ⅲ-2- (ハ) -A-1-2) が確認され、これにより V_{oc} 、FF を改善することができた。

さらに、光吸収層内の Ga および S の膜厚方向プロファイルを最適化した。前述したように小面積で高効率が達成されているバンドギャップは $E_g = 1.15-1.20\text{eV}$ 程度の範囲であったが、Ga および S の膜厚方向プロファイルを最適化することで従来最適と言われていたバンドギャップより小さい $E_g = 1.07\text{eV}$ において $V_{oc} \times J_{sc}$ の極大値が得られた (図Ⅲ-2- (ハ) -A-1-3, 4)。

以上の結晶品質向上技術およびバンドギャップ制御技術により $V_{oc} \times J_{sc} = 24\text{mW/cm}^2$ が得られる技術を確立した。



図III-2- (ノ) -A-1-1 EBSD 像



図III-2- (ノ) -A-1-2 EBIC 像

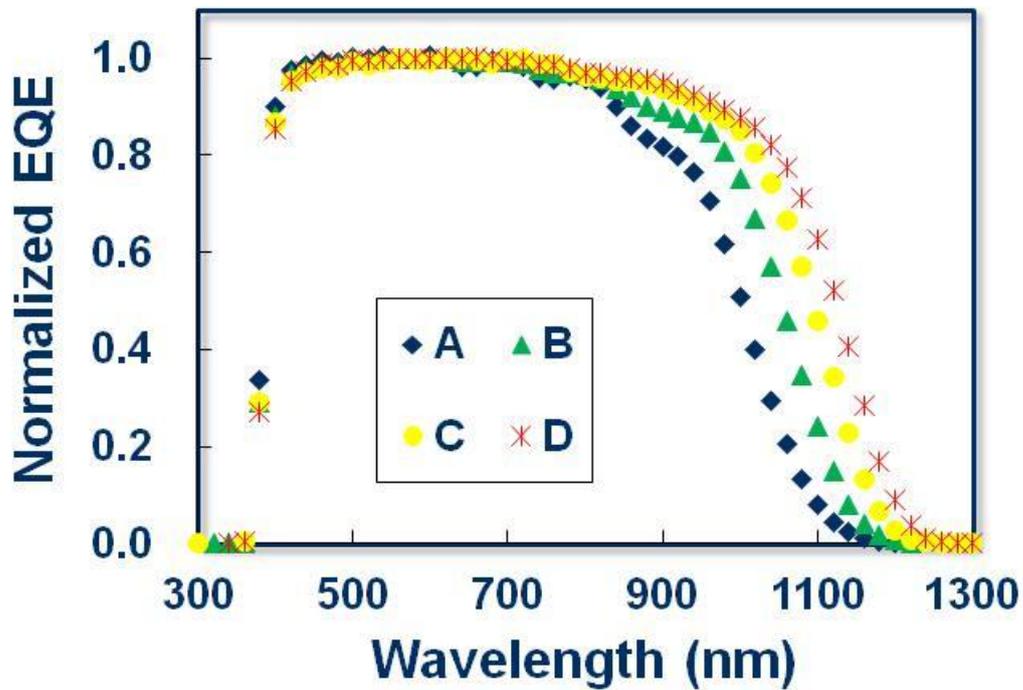


図 III-2- (ハ) -A-1-3 Ga および S の膜厚方向プロファイルを変化させた際の EQE

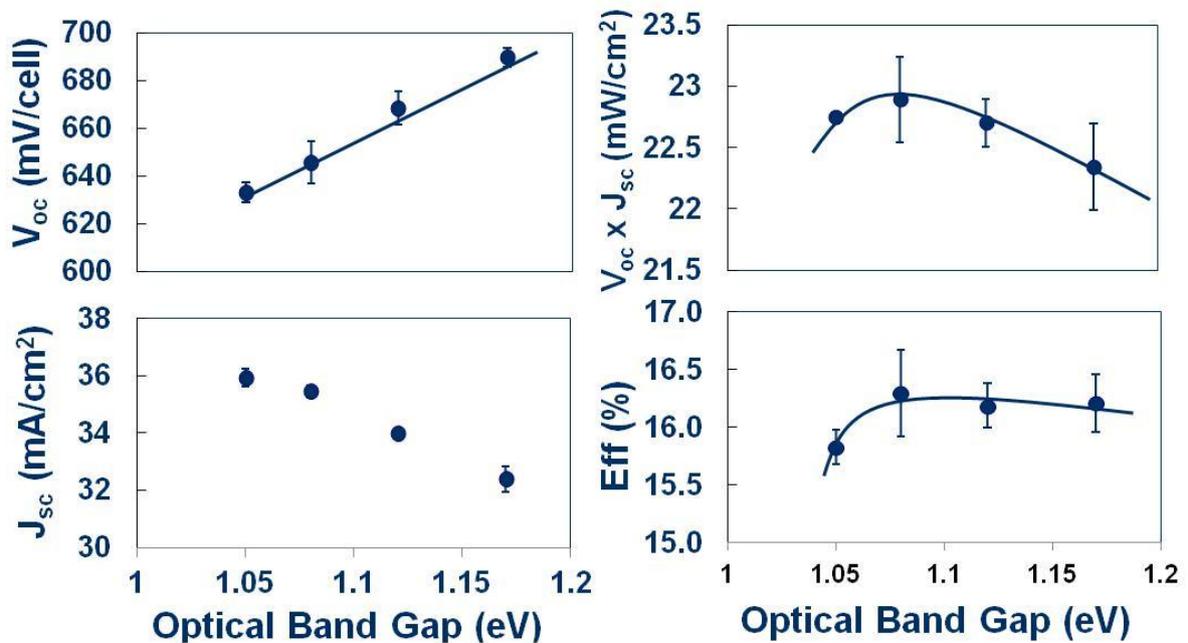


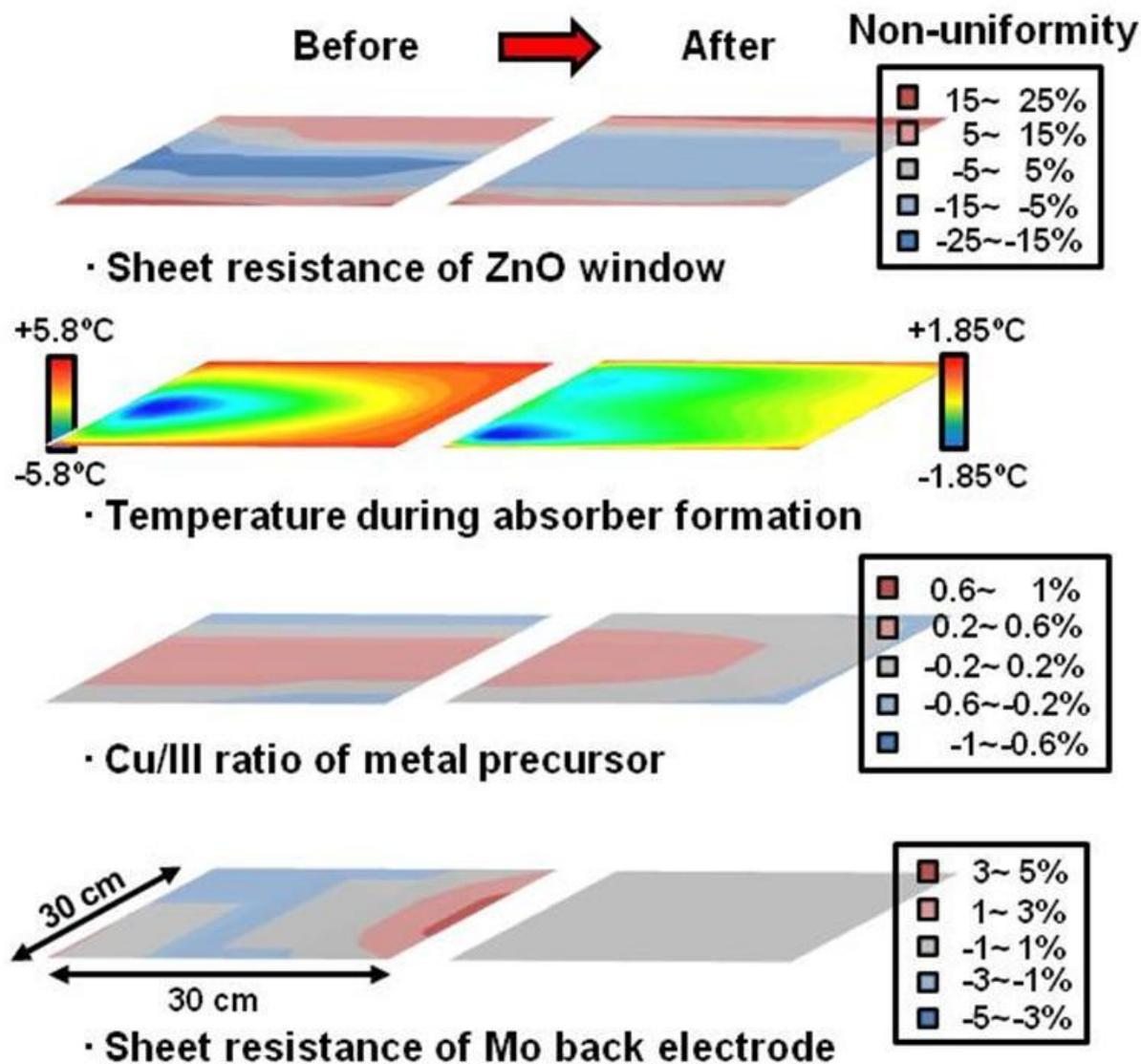
図 III-2- (ハ) -A-1-4 Ga および S の膜厚方向プロファイルを変化させた際の電池パラメータ (AR 無し)

2) 高品質接合界面形成技術開発

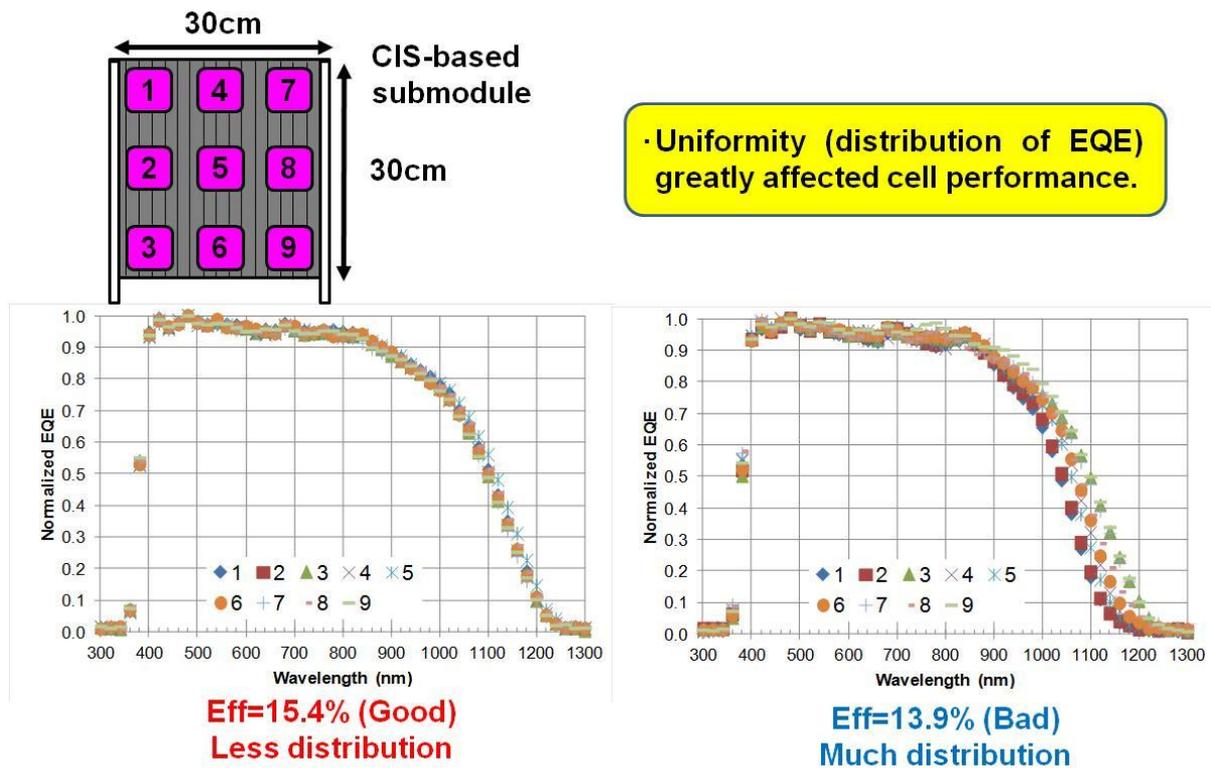
FFを向上させるには光吸収層とバッファ層、窓層の接合界面品質向上が重要である。特に光吸収層とバッファ層との伝導帯オフセットは最重要課題である。本研究では1)で開発した高品質光吸収層にマッチングするバンド構造をもつ新たなバッファ層の可能性探索を行った。

3) 基板面内分布の改善技術開発

基板面内分布改善に関しては製膜工程の主であるスパッタプロセス（裏面電極層、プリカーサー膜）、SAS プロセス、MOCVD プロセスにおける分布改善を図った（図Ⅲ-2-（ハ）-A-1-5）。スパッタプロセスでは、真空製膜室内における Ar ガス圧力分布を改善することにより膜厚の均一性を向上させることができ、裏面電極層ではシート抵抗の均一化、プリカーサー膜では Cu/Ⅲ比の均一化を実現した。SAS プロセスでは反応ガス流を制御することにより基板温度の均一化を図り、特に基板端部における不均一反応を抑制することができた。また、MOCVD プロセスでは製膜圧力分布、製膜温度分布を改善することで膜厚および膜質の均一性が向上し、基板面内でのシート抵抗分布が低減した。以上の分布改善により基板面内での分光感度特性の均一化を実現し（図Ⅲ-2-（ハ）-A-1-6）、電圧／電流のミスマッチ低減、および抵抗分布改善により FF が向上した。



図Ⅲ-2-（ハ）-A-1-5 製膜プロセスにおける面内分布の改善



図Ⅲ-2- (ハ) -A-1-6 分光感度の面内分布

4) デバイス設計の改善技術開発

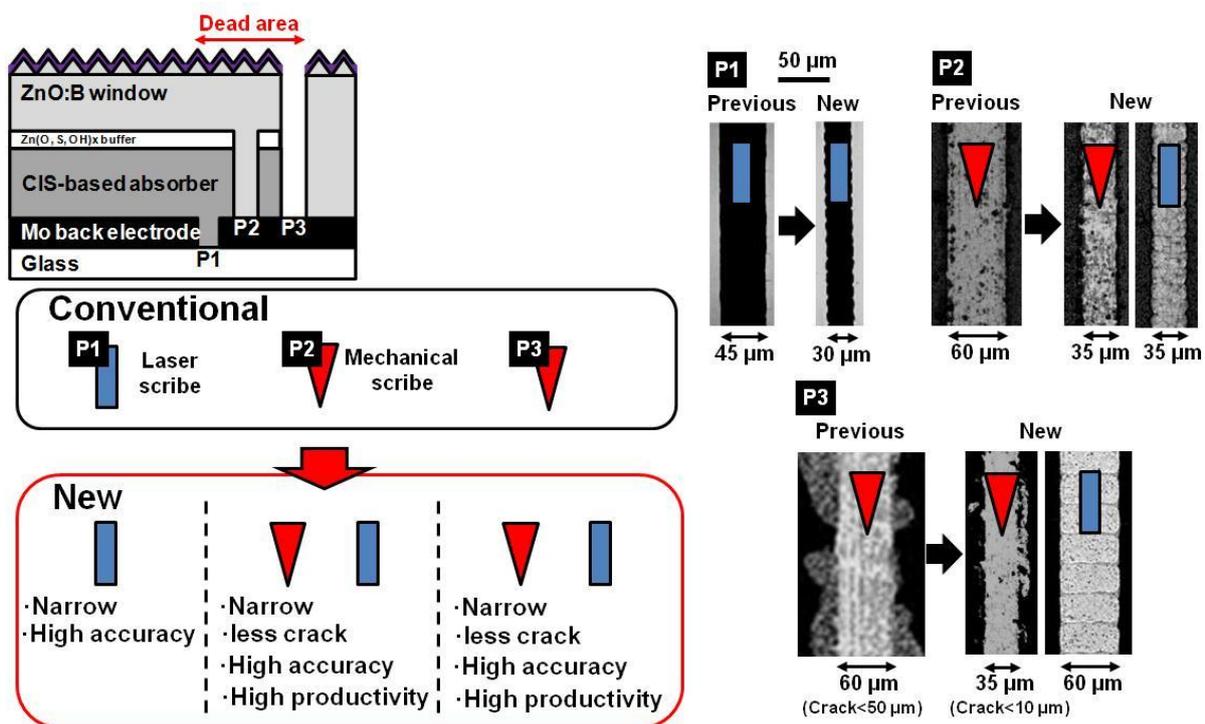
集積型のサブモジュールの高効率化にはパターニングに起因するリーク (FF 低下)、デッドエリア (J_{sc} 低下) の抑制が重要である。また、セル幅についても横方向の直列抵抗とデッドエリアとのトレードオフの関係があるため、パターニングの技術レベルに応じた最適設計が必要となる。

本研究開発で新たに導入したレーザーパターニング装置 (P1、P2、P3)、メカニカルパターニング装置 (P2、P3) によるリーク低減、デッドエリア低減を試みた。

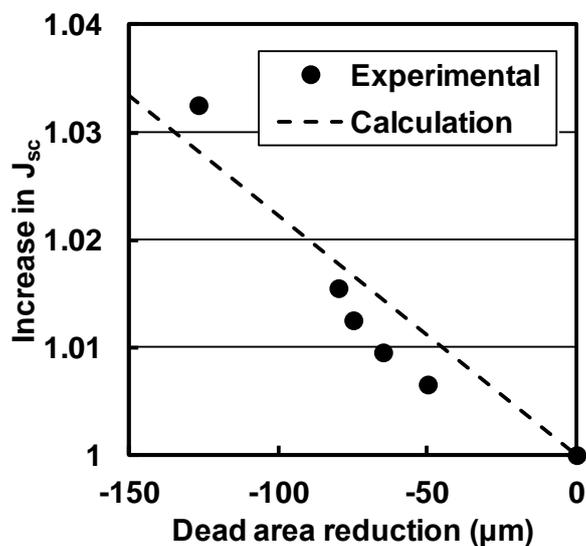
まずメカニカルパターニングであるが、従来より P2 および P3 に適用してきたが、加工幅を低減させようとする膜にクラックが発生するなどしてリーク抑制と両立することが困難であった。新規メカニカルパターニング装置においては新型加工ツールの適用と加工条件の制御により、従来ではリーク抑制が実現できなかった領域のデッドエリアでもリークなく加工することが可能であることが実証できた (図Ⅲ-2- (ハ) -A-1-7)。

また、レーザーパターニングにおいても、従来より細線化した P1 の実現に加えて、レーザー加工による P2、P3 も可能となった。P3 についてはまだ細線化に課題が残っている。

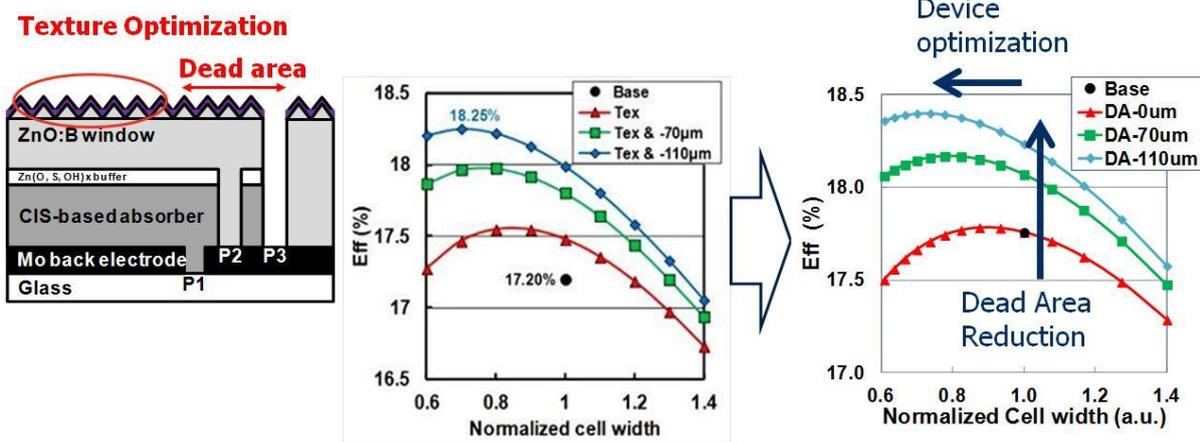
上述した、デッドエリア低減の効果を実験的に確認した (図Ⅲ-2- (ハ) -A-1-8)。シミュレーションと実測はよく一致している。このデッドエリア低減に合わせたセル幅の最適設計を現状の最高効率と組み合わせることで、18%を超える変換効率が期待できることが分かる (図Ⅲ-2- (ハ) -A-1-9)。この場合の FF は 0.73 を超えるものであり、中間目標は達成できたと言える。



図Ⅲ-2- (ハ) -A-1-7 パターニングデッドエリア低減効果



図Ⅲ-2- (ハ) -A-1-8 パターニングデッドエリア低減に対する J_{sc} 向上効果



図Ⅲ-2- (ハ) -A-1-9 セル幅最適化による変換効率の試算

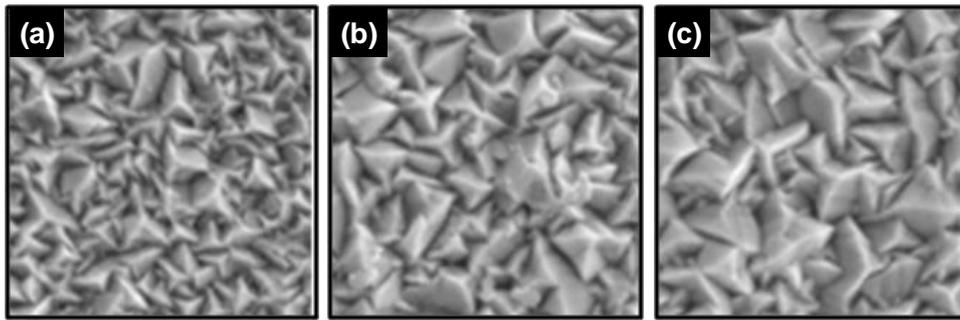
5) 光学設計の改善技術開発

表面反射率の低減は CIS 系太陽電池に限らず太陽電池に共通の解決すべき課題である。当社ではサブモジュール最表面での反射率低減を目指し、透明導電膜窓層のテクスチャ形状の最適化および反射防止膜の検討を行った。

まず、透明導電膜窓層であるが、透明導電膜のシート抵抗を維持した状態で、テクスチャ構造のサイズ、アスペクト比の検討を行った。透明導電膜の改良による J_{sc} 向上のためには言うまでもなく、透過率向上と反射率低減の両立が不可欠であるが、これまではガラス基板上での単膜評価結果を指針として開発を進めてきた。しかしながら CIS 太陽電池への適用に際し、単膜評価結果だけでは見間違ふことがあることが明らかとなり、CIS 上での透明導電膜の最適化を進めた。この結果、単膜評価では透過率が低い状態でも CIS へ適用した場合に J_{sc} が向上する条件を見出し、 J_{sc} を 1%強向上することに成功した。(図Ⅲ-2- (ハ) -A-1-10)

また、反射防止膜についてもシミュレーションを併用して最適設計を行った。シミュレーションからはダブル AR 膜およびトリプル AR 膜を用いても、シングル AR 膜に比べ優位な向上が期待されなかった。実験的にもシングル AR 膜とダブル AR 膜での J_{sc} 向上率は共に 4% であり優位差は確認されなかった(図Ⅲ-2- (ハ) -A-1-11)。このため、以降の実験についてはシングル AR 膜を適用することとした。

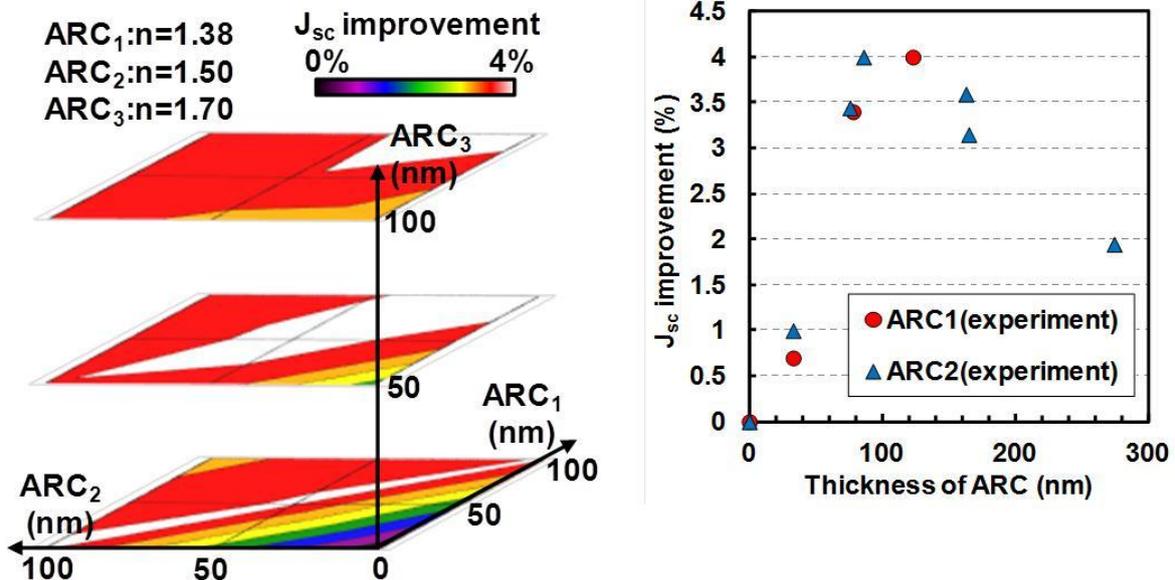
SEM image of textured ZnO surface 1 μm



Normalized light transmittance (ZnO on glass)		
1	0.938	0.888
Normalized J_{sc} (Submodules)		
1	1.015	1.004
Light trapping ratio		
1	1.082	1.131

Trapping > Transmittance loss

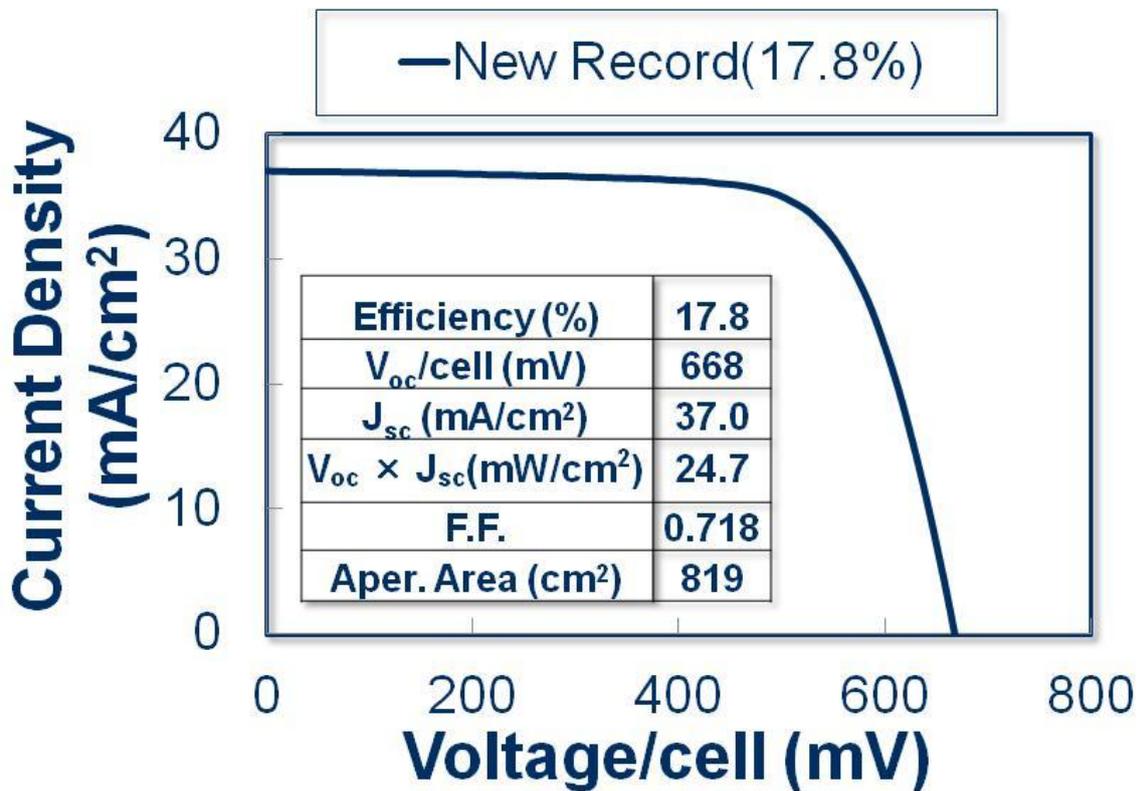
図Ⅲ-2- (ハ) -A-1-10 透明導電膜表面形状と透過率、 J_{sc} の関係



図Ⅲ-2- (ハ) -A-1-11 AR 効果

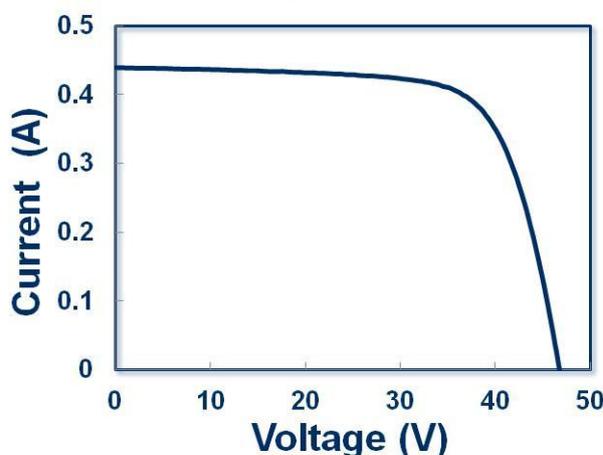
以上の 1) から 5) の開発項目の成果を組み合わせることで、30cm 角サイズのサブモジュールにおいて 17.8% (自社測定、819cm²) を達成した (図Ⅲ-2- (ハ) -A-1-12)。これは中間目標である 17% を大きく上回り、最終目標である 18% にあと一歩と迫るものである。

この 17.8%と同様のレシピで作製したサンプルを外部認証機関であるドイツの TUV Rheinland で測定し、17.5% (837cm²) の認定データを得た (図Ⅲ-2- (ハ) -A-1-13)。17.8%の内訳としては $J_{sc} \times V_{oc}$ が 24.7mW/cm²と最終目標である 24mW/cm²を大きく上回る一方、FFは最高値 (別サンプル) でも 0.73 台であり接合界面形成技術をもう一步進めることができれば、最終目標の達成は確実なものとなる。



図Ⅲ-2- (ハ) -A-1-12 17.8%の I-V 特性 (自社測定)

We sent a 30x30cm²-sized module prepared with the same recipe as our champion module to TÜV in Cologne, Germany.



TÜVRheinland[®]
Precisely Right.

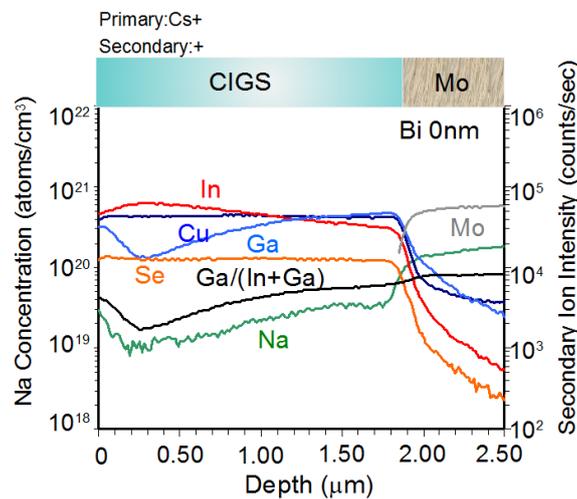
Pmpp (W)	14.7	±3.2%
V_{oc} (V)	46.76	±1.0%
I_{sc} (A)	0.44	±2.3%
FF (%)	71.4	
Efficiency (%)	17.53	±0.6%
Aperture Area (cm²)	837.3	±0.8%

図Ⅲ-2- (ハ) -A-1-13 外部認証機関 (TUV) による I-V 測定結果

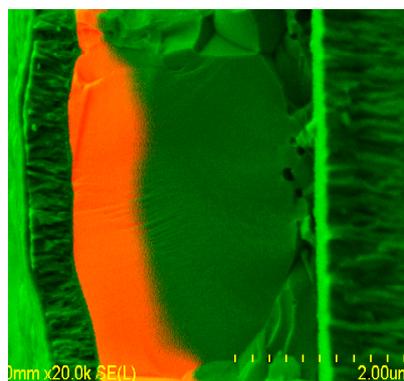
② 「C I S系薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発（小面積セルの研究開発）」

1) 禁制帯プロファイル制御技術開発

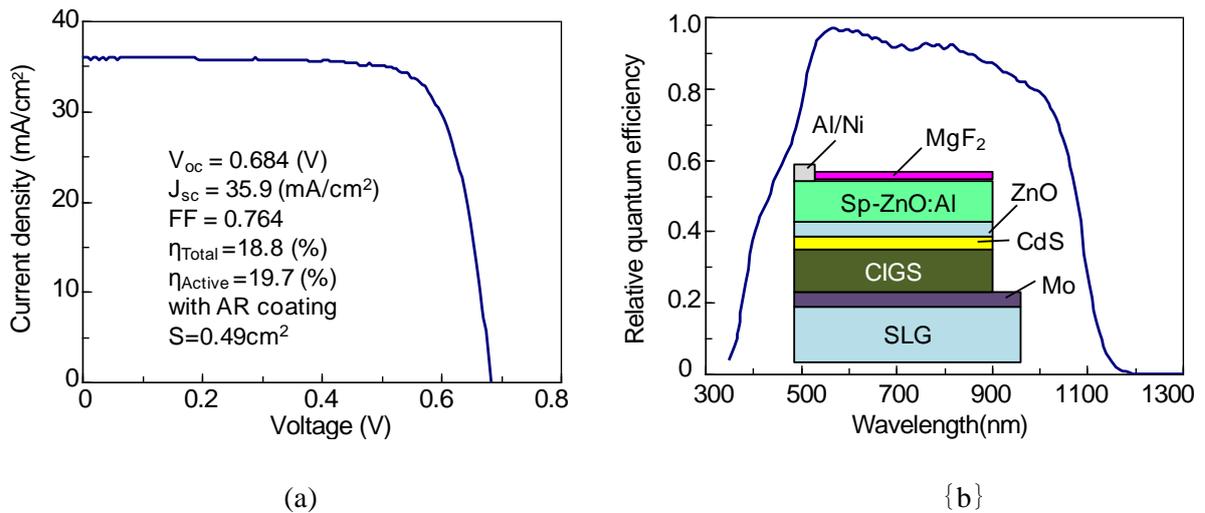
AMPS-1D デバイスシミュレーション・ソフトを用い、2重禁制帯プロファイルを有する CIGS 太陽電池の最適デバイス設計を行なった。その結果、高効率の得られる $Ga/(In+Ga)=0.3$ の CIGS 太陽電池では、禁制帯幅が最小となるノッチ位置が空乏層幅の中央付近で「 $V_{oc} \times J_{sc}$ 」および変換効率が最大となること、また、ノッチ位置が裏面側に行くに従い、 V_{oc} は上昇するが、 J_{sc} は逆に低下することがわかった。図Ⅲ-2- (ハ) -A-1-14 はこのシミュレーション結果に基づき、実際に3段階法で作製した CIGS 薄膜の SIMS 分析の結果を示す。また、この CIGS 光吸収層を用いて作製した $ZnO:Al/CdS/CIGS/Mo$ 構造セルの EBIC（電子線誘起電流）像を図Ⅲ-2- (ハ) -A-1-15 に示す。これらの図から、ノッチ位置が空乏層の中央付近にあることが分かり、高い変換効率が期待できる。実際、図Ⅲ-2- (ハ) -A-1-16 の J-V 特性に示すように、変換効率 18.8%（真性変換効率 19.7%）が得られ、シミュレーション結果の妥当性を実証した。



図Ⅲ-2- (ハ) -A-1-14 CIGS 薄膜の SIMS 分析結果



図Ⅲ-2- (ハ) -A-1-15 $ZnO:Al/CdS/CIGS/Mo$ 構造セルの EBIC 像



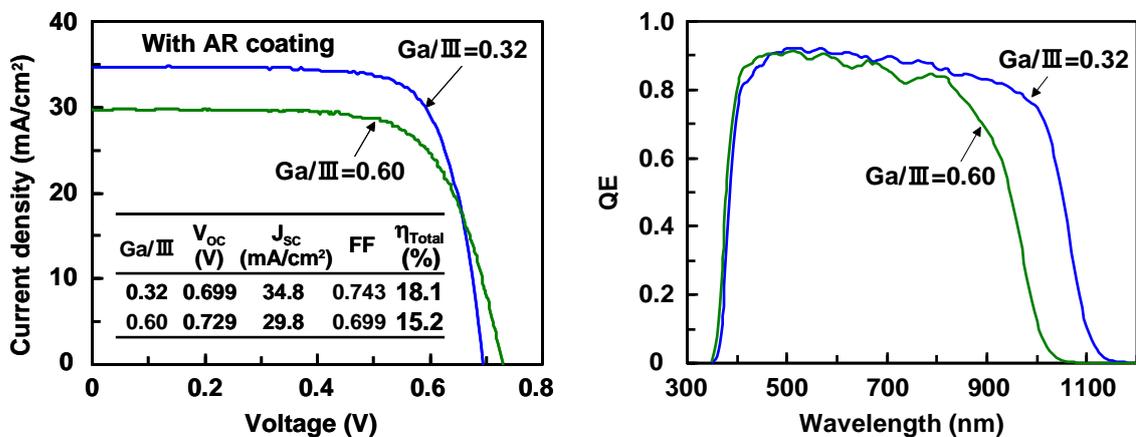
図III-2- (ハ) -A-1-16 (a) 電流-電圧(J-V)特性と(b)スペクトル感度特性

2) 新規界面制御技術開発

① ALD-Zn(O, S)バッファ層を用いたCIGS太陽電池

原子層堆積法(ALD)法はZn(O, S)バッファ層中のO/S比を制御性良く制御できるため、高効率化に必要なバッファ層と光吸収層の伝導帯オフセットの最適化が容易である。ここでは、ALD-Zn(O, S)バッファ層およびMOCVD法によるZnO:B透明導電膜を用いたCdフリーCIGS太陽電池の試作を試みた。各層を最適化した結果、Ga/(In+Ga)=0.32および0.60で各々、変換効率18.1%および15.2%を得た。ZnO:B/ZnO/Zn(S, O)/CIGS/Mo構造太陽電池のJ-V特性およびスペクトル感度特性を図III-2-(ハ) -A-1-17に示す。

一方、Zn(O, S)バッファ層をスパッタ法で堆積した用いた場合、スパッタダメージにより変換効率は大きく低下し、13.2%となった。これらの結果から、バッファ層の形成にはスパッタダメージのないALD法やMOCVD法の採用が重要であることが実証された。



図III-2- (ハ) -A-1-17 ZnO:B/ZnO/Zn(S, O)/CIGS/Mo構造太陽電池のJ-V特性およびスペクトル感度特性

② CBD-ZnS(0, 0H)バッファを用いた CIGS 太陽電池

MOCVD-ZnO:B/CBD-ZnS(0, 0H)/CIGS 太陽電池に関して、熱処理 (130°C) と光照射 (AM1.5, 100mW/cm²) を組み合わせた熱・光照射処理 (HLS: Heat Light-Soaking) により、変換効率を 8.5% から 17.5% へと大幅に改善出来ることを見出し (表 III-2- (ハ) -A-1-1)、本手法が高効率化のために有効であることがわかった。さらに熱・光照射効果が、熱によるものか光なのかを明らかにするため、加熱単独、光照射単独、および熱・光照射の前後でのセル特性を調べた。その結果、図 III-2- (ハ) -A-1-18 に示すように、熱、光単独でなく、高温での光照射が高効率化に重要であること確認した。また、このメカニズムを調べるため、各処理前後の CBD-ZnS(0, 0H) バッファ層の組成を XPS により調べた。その結果、図 III-2- (ハ) -A-1-19 に示すように、HLS 後に S/(S+O) 比が膜表面側で減少することから、禁制帯幅が減少し、光生成キャリアの障壁となる ZnS(0, 0H)/CIGS 間の伝導帯オフセットの変化が主因であることがわかった。図 III-2- (ハ) -A-1-20 はこの手法により作製した CIGS 太陽電池の J-V 特性とスペクトル感度特性である。

表 III-2- (ハ) -A-1-1 LS および HLS 前後の MOCVD-ZnO:B/CBD-ZnS(0, 0H)/CIGS 太陽電池のセル特性

	V _{oc} (V)	J _{sc} (mA/cm ²)	FF	η (%)
Initial	0.665	31.4	0.408	8.5
LS 10min	0.678	31.8	0.525	11.3
HLS 40min	0.686	34.0	0.715	16.7
HLS 120min	0.686	33.8	0.756	17.5

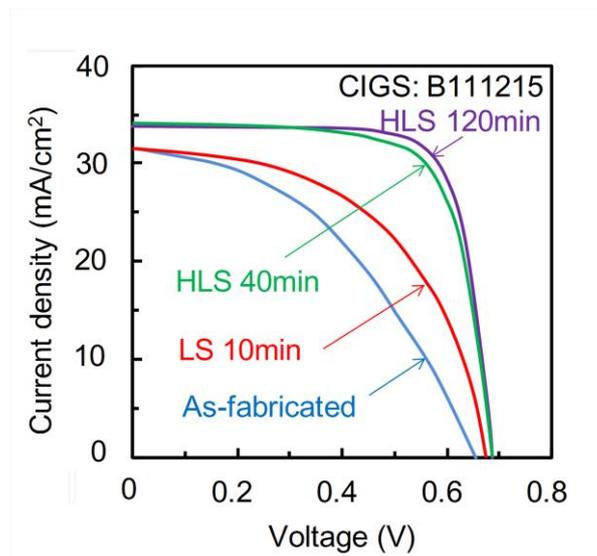
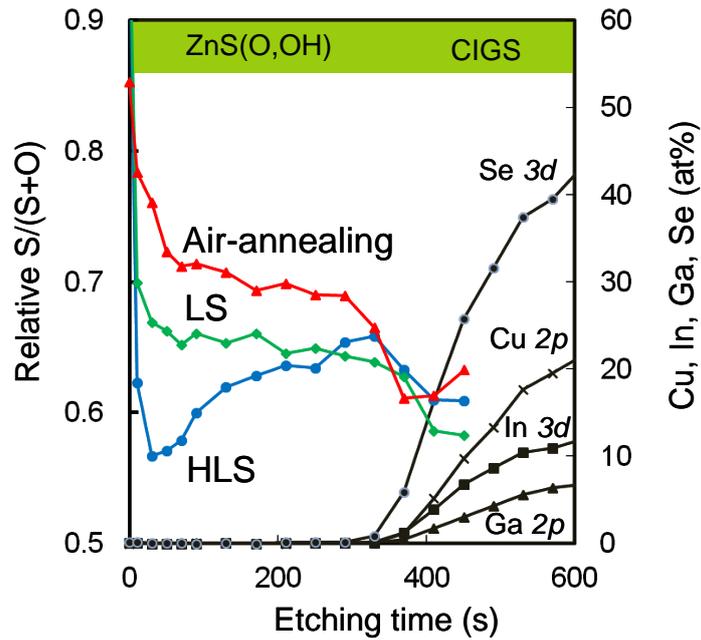
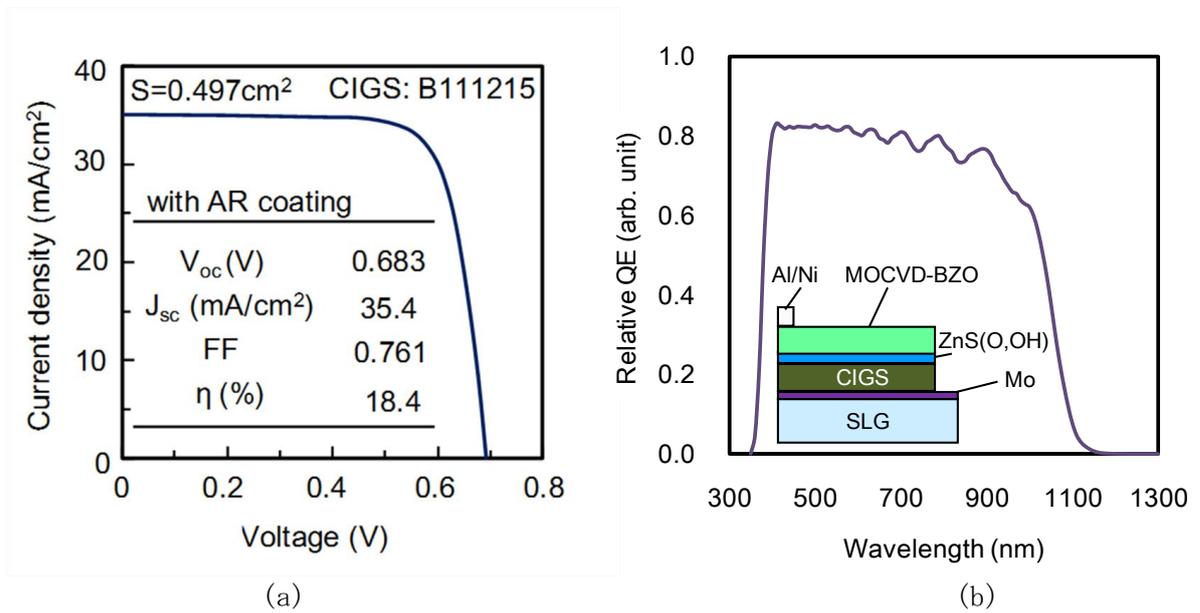


図 III-2- (ハ) -A-1-18 加熱単独、光照射単独、および熱・光照射によるセル特性の変化



図III-2- (ハ) -A-1-19 熱・光照射処理の前後における ZnS(O,OH)バッファ層の S/(S+O) に関する XPS デプスプロファイル。



図III-2- (ハ) -A-1-20 MOCVD-ZnO:B/CBD-ZnS(O,OH)/CIGS 太陽電池の (a) J-V 特性と (b) スペクトル感度特性

表Ⅲ-2- (ハ) -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「C I S系薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発（大面積モジュールの研究開発）」 1) $V_{oc} \times J_{sc}$ 向上のための p 型 CIS 系光吸収層の高品質化技術開発	最終目標である $24.0\text{mA}/\text{cm}^2$ を上回る $24.7\text{mW}/\text{cm}^2$ を達成した。	◎	
2) 高品質接合界面形成技術開発	高品質光吸収層にマッチングするバンド構造をもつ新たなバッファ層の可能性探索を行った。	△	伝導帯オフセットの制御技術開発
3) 基板面内分布の改善技術開発	基板面内での分光感度特性の均一化を実現し、電圧／電流のミスマッチ低減、および抵抗分布改善により FF が向上した。	○	
4) デバイス設計の改善技術開発	デッドリア低減に合わせたセル幅の最適設計を現状の最高効率と組み合わせることで、18%を超える変換効率が期待できる状態になった。	○	
5) 光学設計の改善技術開発	テクスチャ形状の最適化により J_{sc} で1%の向上が期待できる。	○	
②「C I S系薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発（小面積セルの研究開発）」 1) 禁制帯プロファイル制御技術	計算シミュレーションにより最適2重禁制帯プロファイルを求め、 $\text{ZnO}:\text{Al}/\text{CdS}/\text{CIGS}$ 構造セルで18.8%（真性変換効率19.7%）を達成した。	△	シミュレーション結果に基づく最適禁制帯プロファイル（ダブル・グレデッドバンドギャップ）を有するCIGS光吸収層の試作とセル化。
2) 新規界面制御技術	(1) 光MOCVD-ZnO:B窓層とMOCVD-ZnO/CBD-ZnS(0,0H)ダブルバッファ層を開発。 (2) 熱・光照射処理による	△	(1) 高Ga-CIGSエピ膜の適用による粒界再結合の低減、 (2) アルカリ金属添加技術

	<p>大幅な高効率化を見出すと共に、メカニズムを解明。変換効率 18.4%（真性変換効率 19.3%）を達成。</p>	<p>の開発 (3) CIGS 光吸収層の表面硫化による界面再結合の低減。 (4) バッファ層の最適化による界面再結合の低減。以上による $V_{oc} \times J_{sc}$ の改善。</p>
--	---	---

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

昭和シェル石油（株）／ソーラーフロンティア（株）は、過去に NEDO 委託事業で得られた技術開発成果を移転して、宮崎県に第 1 工場（公称生産能力 20MW／年）を建設・稼働させたのを皮切りに、現在では単一工場として世界最大の生産能力（公称生産能力 900MW／年）を誇る第 3 工場がフル生産に移行し、3 工場合わせた生産能力は約 1GW である。昨年 2011 年の生産実績は Photon International 紙（2012 年 3 月号）によれば薄膜分野では米国 First Solar 社に次ぐ 2 番手、結晶 Si を含めた総合でも上位 20 社に名を連ねるにまで至っている。この実績より、本 NEDO 共同研究事業で得られた技術開発成果を、生産技術開発を含めた実用化へ繋げる技術力を有することは十分に実証されていると言える。

当社のみならず太陽電池メーカーは、今まさに競争の真ただ中におり、開発成果を遅滞なく生産現場に落とし込むことができるかが生き残りのカギであり、その意味でも、本開発成果は量産化技術開発を経て、早いものでは 2013 年中には稼働中の生産工場に移転される見込みである。サブモジュール 18%（当社のモジュール出力で 200W）の技術が実用化されるのは 2015 年、事業化されるのは 2016 年を見込んでいる。

3. 波及効果

昨年3月に発生した東日本大震災は現在も日本国経済に甚大な影響を及ぼしており、エネルギーセキュリティの確保が国をあげての緊急の課題である。今後、不足すると予想されている電気エネルギー確保の為、様々な再生可能エネルギーの導入が検討・実施される中、まさに太陽光発電システムは普及拡大の即効性と電力需要のピークカットを可能とする有望な再生可能エネルギーと言える。これまで発電コストが高くとされてきた太陽光発電システムも、今年7月に本格スタートする再生可能エネルギーの全量買取り制度に後押しされ、メガソーラーをはじめ公共機関や企業、及び個人住宅など様々な形で導入され、エネルギー源として普及拡大に大きく貢献することができる。

4. 今後の展開

太陽電池をめぐる国際的な競争は淘汰の時代に入っており、数年前には世界 No1 であったメーカーですら生き残れない程の過酷な戦いになっている。特に直近 1-2 年から長くとも 5 年が勝負の年である。この勝負に「結晶」や「薄膜」といった垣根はなく低コスト化、高効率化を突き詰めることが必須である。CIS の敵も薄膜の First Solar のみならず、中国をはじめとする低コスト結晶 Si である。この競争に勝ち残るためには、低コスト化を進めると同時に、CIS の特徴である「高効率化が目指せる」ところを追求していくことが絶対条件であり、今後とも高効率化技術開発は最重要との位置付けである。

5. 特許論文リスト

表Ⅲ-2- (ハ) -A-5-1

	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)	1	0	5	6件
研究発表・講演(うち国際会議)	3(1)	24(14)	5(4)	32件
新聞・雑誌等への掲載	1	1	0	2件
受賞実績	3	0	0	3件
展示会への出展	—	—	—	一件

※：平成24年度6月25日現在

新聞・雑誌等への掲載、展示会への出展については、本成果単独のものはゼロであるが、本成果を含めた形では昭和シェル石油株式会社およびソーラーフロンティア株式会社として実施しており、その数の把握は困難である。このため、新聞・雑誌等への掲載についてはプレスリリースの2件の件数とする。

受賞実績

- 1) PVSEC-21において CIS 技術、世界最大級の国富工場、エネルギー企業としての社会的責任を評価され「PVSEC 特別賞」を受賞
- 2) PVSEC-21 において「Best Paper Award」を受賞(発表タイトル: EFFECTS OF GRAIN STRUCTURE ON Cu(InGa)(SeS)₂ THIN FILM SUBMODULE)
- 3) PVSEC-21 において「Student Paper Award」を受賞(発表タイトル: Wide-gap CIGS solar cells with ALD-Zn(O,S) buffer layers)

表Ⅲ-2- (ハ) -A-5-2 特許出願リスト

番号	出願日	出願番号	発明の名称	出願人
1	2011年9月2日	特願 2011-191451	薄膜太陽電池およびその製造方法	昭和シェル石油株式会社
2	2011年10月24日	特願 2011-233445	太陽電池及びその製造方法、太陽電池モジュール	昭和シェル石油株式会社
3	2011年11月25日	特願 2011-257927	薄膜太陽電池モジュール及びその製造方法	昭和シェル石油株式会社
4	2011年12月1日	特願 2011-264011	C I S系薄膜太陽電池、及びその製造方法	昭和シェル石油株式会社
5	2012年3月27日	特願 2012-070521	集積型薄膜太陽電池モジュールにおける分離溝の形成方法	昭和シェル石油株式会社

表III-2- (ハ) -A-5-3 論文 (査読付き) リスト

番号	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
1	2010年	Progress in Photovoltaics 8(6) (2010) 411-433	Buffer layers and transparent conducting oxides for chalcopyrite Cu(In,Ga)(S,Se) ₂ based thin film photovoltaics: present status and current developments	N. Naghavi, D. Abou-Ras, N. Allsop, N. Barreau, S. Bücheler, A. Ennaoui, C.-H. Fischer, C. Guillen, D. Hariskos, J. Herrero, R. Klenk, K. Kushiya, D. Lincot, R. Menner, T. Nakada, C. Platzer-Björkman, S. Spiering, A.N. Tiwari, T. Törndahl
2	2012年	Electronic Materials Letters Volume 8, Number 2 (2012), 179-185	CIGS-based thin film solar cells and modules-Unique material properties	T. Nakada
3	2012年	Jpn. J. Appl. Phys., (2012) in press	Effects of antimony doping on Cu(In _{1-x} Ga _x)Se ₂ thin films and solar cells	Y. Yatsushiro, H. Nakakoba, T. Mise, T. Nakada
4	2012年	Jpn. J. Appl. Phys., (2012) in press	Effects of Bi incorporation on Cu(In _{1-x} Ga _x)Se ₂ thin films and solar cells	H. Nakakoba, Y. Yatsushiro, T. Mise, T. Nakada
5	2012年	Jpn. J. Appl. Phys., (2012) in press	Wide-gap Cu(In,Ga)Se ₂ Solar Cells with Zn(O,S) Buffer layers Prepared by Atomic Layer Deposition	K. Nakashima, T. Kumazawa, T. Kobayashi, T. Mise, T. Nakada
6	2012年	Jpn. J. Appl. Phys., (2012) in press	Transparent Conducting ZnO:B Thin Films Grown by Ultraviolet Light Assisted Metal Organic Chemical Vapor Deposition Using	T. Kobayashi, K. Yamauchi, T. Mise, T. Nakada

			Triethylboron for Cu(In,Ga)Se ₂ Solar Cells	
--	--	--	--	--

表III-2- (ハ) -A-5-4 研究発表・講演（国際会議）リスト

番号	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
1	2010年9月6-10日	25th EU-PVSEC	PROGRESS TOWARD 17% EFFICIENCY IN LARGE AREA CIS-BASED THIN-FILM SUBMODULES	H. Sugimoto, Y. Chiba, Y. Kawaguchi, T. Morimoto, T. Yagioka, M. Nagahashi, T. Miyano, S. Kijima, T. Aramoto, Y. Tanaka, H. Hakuma, S. Kuriyagawa and K. Kushiya
2	2011年6月19~24日	37th IEEE -PVSC	Achievement of Over 17% Efficiency with 30x30cm ² -Sized Cu(InGa)(SeS) ₂ Submodules	H. Sugimoto, T. Yagioka, M. Nagahashi, Y. Yasaki, Y. Kawaguchi, T. Morimoto, Y. Chiba, T. Aramoto, Y. Tanaka, H. Hakuma, S. Kuriyagawa and K. Kushiya
3	2011年9月5~8日	26th EU-PVSEC	Challenge to 18% Efficiency with 30x30cm ² -sized Cu(InGa)(SeS) ₂ Submodules in Solar Frontier	H. Sugimoto, Y. Kawaguchi, Y. Yasaki, T. Aramoto, Y. Tanaka, H. Hakuma, S. Kuriyagawa and K. Kushiya
4	2011年11月28日~12月2日	PVSEC-21	EFFECTS OF GRAIN STRUCTURE ON Cu(InGa)(SeS) ₂ THIN FILM SUBMODULE	S. Kijima, T. Morimoto, T. Yagioka, M. Nagahashi, H. Sugimoto, Y. Chiba and H. Hakuma
5	2012年6月4日~8日	38th IEEE -PVSC	ACHIEVEMENT OF 17.5% EFFICIENCY WITH 30 × 30cm ² -SIZED Cu(In, Ga)(Se, S) ₂ SUBMODULES	M. Nakamura, Y. Chiba, S. Kijima, K. Horiguchi, Y. Yanagisawa, Y. Sawai, K. Ishikawa and H. Hakuma
6	2011年6	37th IEEE	Impacts of Sb and Bi Inco	T. Nakada, Y. Honishi, Y.

	月19～24日	-PVSC	Corporations on CIGS Thin Films and Solar Cells	Yatsushiro, and H. Nakakoba
7	2011年9月29日	The 6th Korea-China-Japan Intern. Symp. on Photovoltaics	Current R&D of Chalcopyrite-Based Thin Film Solar Cells at AGU	T. Nakada
8	2011年11月10日	International Symposium on Chalcogenide Materials and Devices	CIGS-based Thin Film Solar Cells and modules- Unique material properties of CIGS-	T. Nakada
9	2011年11月28日～12月2日	PVSEC-21	Buffer Layers and Transparent Conducting Oxides for CIGS-based Thin Film Solar Cells	T. Nakada
10	2011年11月28日～12月2日	PVSEC-21	Growth of ZnO:B Thin Films by Photo-Assisted MOCVD Method and Its Application to CIGS Solar Cells	T. Kobayashi, K. Yamauchi, T. Mise and T. Nakada
11	2011年11月28日～12月2日	PVSEC-21	Wide Gap CIGS Solar Cells with Sputtered-Zn (O,S) Buffer Layers	T. Kumazawa, K. Nakashima, T. Mise and T. Nakada
12	2011年11月28日～12月2日	PVSEC-21	ZnO-Based Window Layers by MOCVD Process for CIGS Solar Cells	K. Yamauchi, T. Kobayashi, T. Mise and T. Nakada
13	2011年11月28日～12月2日	PVSEC-21	Wide Gap CIGS Solar Cells with ALD-Zn (O,S) Buffer Layers	K. Nakashima, K. Toyokazu, T. Mise and T. Nakada
14	2011年11月28日～12月2日	PVSEC-21	Effects of Sb Incorporation on CIGS Thin Films and Solar Cells	Y. Yatsushiro, H. Nakakoba, T. Mise and T. Nakada
15	2011年11月28日～12月2日	PVSEC-21	Effects of Bi Incorporation on CIGS Thin Films and Solar Cells	H. Nakakoba, Y. Yatsushiro, T. Mise and T. Nakada

16	2012年2月28日	KIER workshop	Current R&D for CIGS thin film solar cells at AGU	T. Nakada
17	2012年5月	EMRS	Revised Conduction Band Offset of High Efficiency CBD-ZnS(O, OH)/CIGS Thin Film Solar Cells	T. Nakada, T. Kobayashi, K. Yamauchi, and H. Yamaguchi
18	2012年6月4日～8日	38th IEEE -PVSC	Comparison of cell performance of ZnS(O, OH)/CIGS solar cells with MOCVD-ZnO:B and sputter-deposited ZnO:Al window layers	T. Kobayashi, K. Yamauchi and T. Nakada
19	2012年6月4日～8日	38th IEEE -PVSC	Impacts of Post-treatments on Cell Performance of CIGS Solar Cells with Zn-Compound Buffer Layers	T. Nakada, T. Kobayashi, T. Kumazawa, H. Yamaguchi

表Ⅲ-2- (ハ) -A-5-5 研究発表・講演（国際会議以外）リスト

1	2011年6月30日～7月1日	日本学術振興会 第175委員会 第8回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム	30 cm角CISサブモジュールにおける17%達成	森本卓也, 八木岡剛, 長橋正典, 河口由佳, 千葉善之, 杉本広紀, 田中良明, 白間英樹
2	2010年11月29日	日本太陽エネルギー学会 太陽光発電部会 第2回セミナー	CIGS系太陽電池の高効率化	中田時夫
3	2010年12月2日	日本表面科学会 第31回表面科学セミナー	化合物系太陽電池開発と評価解析	中田時夫
4	2011年4月21日	日本学術振興会 第154委員会 第76回研究会	化合物系太陽電池開発と評価解析	中田時夫
5	2011年6月30日～7月1日	日本学術振興会 第175委員会 第8回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム	MOCVD法によるCIGS太陽電池用ZnO系窓層の開発	堀口恭平, 山内浩太郎, 小林大造, 三瀬貴寛, 中田時夫
6	2011年6月30日～7月	日本学術振興会 第175委員会 第8	スパッタ法によるZn(O, S)バッファ層	高橋・中島・熊澤・小林・三瀬・中田

	1日	回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム	を用いたワイドギャップCIGS太陽電池の試作	
7	2011年8月30日	第72回応用物理学関係連合講演会	光MOCVD法によるZnO:B透明導電膜の作製とCIGS太陽電池への応用	小林大造, 山内浩太郎, 三瀬貴寛, 中田時夫
8	2011年12月9日	多元系機能材料研究会 年末講演会	ギガワット時代のCIGS太陽電池ー期待と課題	中田時夫
9	2012年3月17日	第59回応用物理学関係連合講演会	ALD-Zn(O, S)バッファ層を用いた高効率CdフリーCIGS太陽電池	熊澤豊和, 中島一哉, 小林大造, 三瀬貴寛, 中田時夫
10	2012年3月17日	第59回応用物理学関係連合講演会	MOCVD-ZnO:B及びスパッタ-ZnO:Al窓層を用いたCIGS太陽電池の特性比較	小林大造, 山内浩太郎, 成田有希, 山上由里子, 中田時夫
11	2012年3月17日	第59回応用物理学関係連合講演会	CIGS薄膜及びセル特性に及ぼすビスマス添加効果	中木場祐也, 八ッ代雄太, 三瀬貴寛, 中田時夫
12	2012年3月17日	第59回応用物理学関係連合講演会	ステンレス箔基板を用いたフレキシブルCIGS太陽電池	小川達也, 三瀬貴寛, 中田時夫
13	2012年5月31日~6月1日	日本学術振興会 第175委員会 第9回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム	UVアシストMOCVD法によるZnO:B窓層を用いた高効率CdフリーCIGS太陽電池	小林大造, 熊澤豊和, 山口博, 中田時夫

表III-2- (ハ) -A-5-6 新聞・雑誌等への掲載（プレスリリース）リスト

番号	発表年月日	内容
1	2011年3月29日	「ソーラーフロンティア厚木リサーチセンターにおいて世界最高の変換効率を達成 30cm角のCIS薄膜太陽電池サブモジュールの開口部面積でエネルギー変換効率 17.2%を実現」
2	2012年2月28日	「ソーラーフロンティア、変換効率の世界記録を更新 サブモジュールのエネルギー変換効率で 17.8%を実現、商業生産化を視野に」

B フレキシブル CIGS 太陽電池モジュールの高効率化研究

1. 成果詳細

本プロジェクトは、従来にない高効率、軽量（フレキシブル）、低コストな CIGS 太陽電池の実現を目的とし、富士フイルム、アルバック、鹿児島大学、筑波大学、豊橋技術科学大学、産業技術総合研究所（富士フイルムからの再委託）が共同で進めている。

具体的には次の 2 課題に取り組んでいる。

課題 1：フレキシブル基板上的 CIGS 集積型モジュール作製技術の開発

10×10cm 基板で達成した性能を大面積（30×30cm）、高生産性条件（高速成膜、ロール・トゥ・ロールプロセス）にて実現することを目的とする。

課題 2：CIGS 高効率化技術の開発

禁制帯幅 1.4～1.5eV のワイドギャップ CIGS 太陽電池の高効率化を狙う。

粒界・欠陥・界面・表面を徹底的に評価し、損失要因を解明することで技術的指針を明確にする。

このうち課題 1 を富士フイルム、アルバック、産業技術総合研究所が、課題 2 を鹿児島大学、筑波大学、豊橋技術科学大学、産業技術総合研究所が担当する。最終的に両者の技術を統合し、最終年度の目標を達成する計画である。（図 III-2-3-B(1)）

課題 2 における研究分担は図 III-2-3-B(2)に示すようになっている。図 III-2-3-B(3)は単接合太陽電池の変換効率と禁制帯幅との関係を示したものであるが、禁制帯幅 1.4eV 付近で変換効率がピークになると理論予測されている。ところが CIGS 太陽電池では禁制帯幅が 1.2eV を超えると逆に効率が低下してしまっている。この問題を解決することが更なる変換効率向上に繋がるものと考え、我々はワイドギャップ CIGS 太陽電池の粒界・欠陥・界面・表面を徹底的に評価し損失要因を解明することで高効率化を実現する。

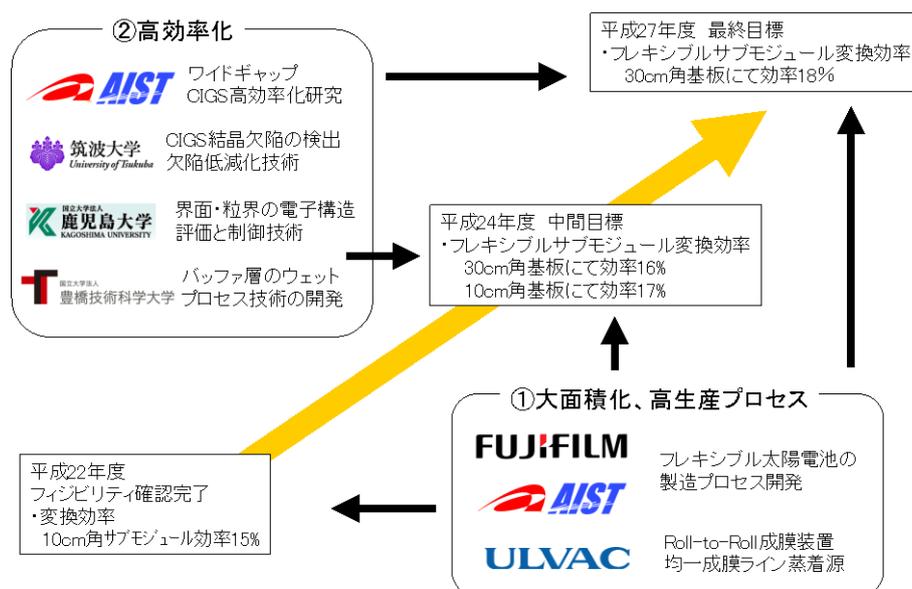


図 III-2-3-B(1) 「フレキシブル CIGS 太陽電池モジュールの高効率化研究」の開発体制

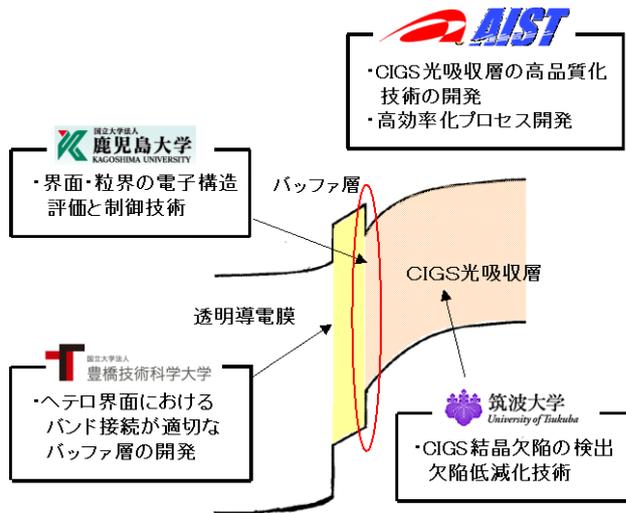


図 III-2-3-B(2) 課題 2 に対する各研究機関の役割

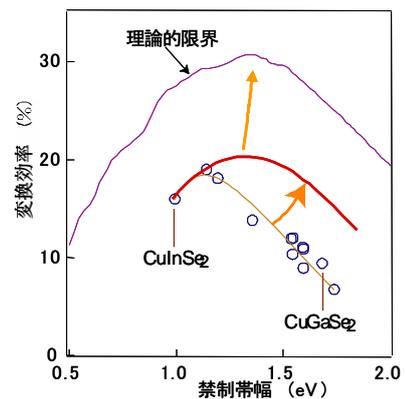


図 III-2-3-B(3) 変換効率と禁制帯幅の関係

1-1. フレキシブル基板上の集積化モジュール作製技術の開発 (富士フィルム・産業技術総合研究所)

富士フィルムは金属基板上に絶縁層を形成し、高い耐熱性と絶縁性を両立したフレキシブル金属基板を開発した。本研究は、この金属基板を用いて高効率な集積型フレキシブル CIGS 太陽電池を開発することを目的としている。従来の蒸着法による CIGS 太陽電池のプロセスは基板が青板ガラスであることを前提として開発されてきたため、金属基板に対してそのまま適用することはできない。そこで金属基板に適した集積型 CIGS 太陽電池プロセスの開発を行った。

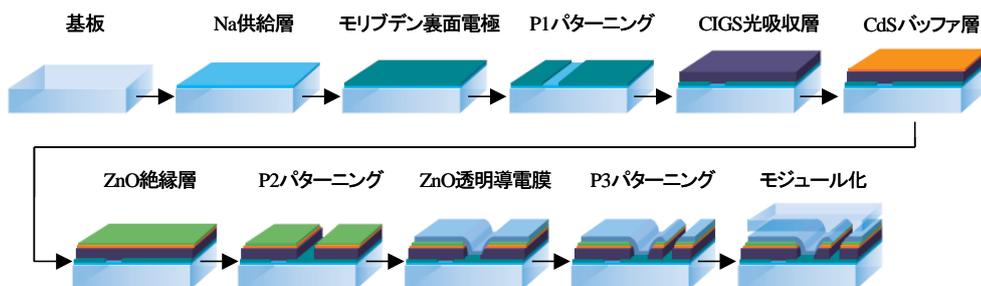


図 III-2-3-B(4) フレキシブル CIGS 太陽電池のプロセスフロー

(a) CIGS 光吸収層へのナトリウム添加

CIGS 光吸収層へナトリウムをドーピングするため、基板とモリブデン裏面電極との間にナトリウム供給層を設けている。図 III-2-3-B(5)はその効果を示したものであるが、ナトリウム供給層の成膜条件を最適化することで開放電圧が 0.08V 上昇し、変換効率が 3.5% 増大している。

(b) フレキシブル基板上へのレーザーパターニング

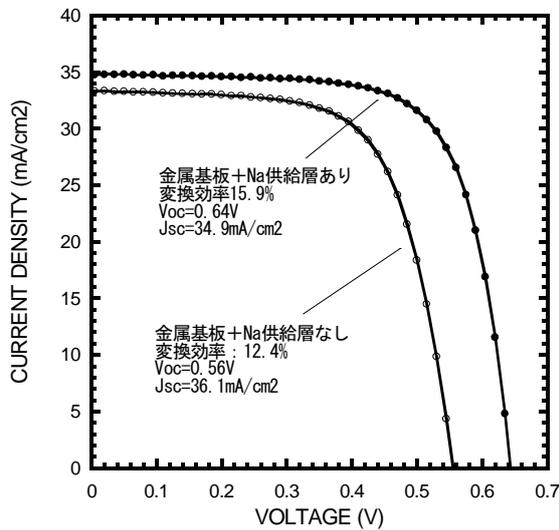
我々が使用する基板は非透明であるため、ガラス基板向けの条件ではモリブデ

ン裏面電極をレーザパターニングする際に基板（特に、表面に形成された絶縁層）にダメージが生じていた（図Ⅲ-2-3-B(6)）。これに対し、パターニングに使用するレーザ光のパルス幅、照射方法を工夫することで基板へのダメージを大幅に抑制できた。プロセス改良前後にてレーザパターニング部の絶縁特性を測定したところ、改良前では変換効率に影響が生じるレベルである 10^{-6}A/cm^2 以上のリーク電流が発生していたが、改良後ではそれを大幅に下回るレベルに抑えられている。

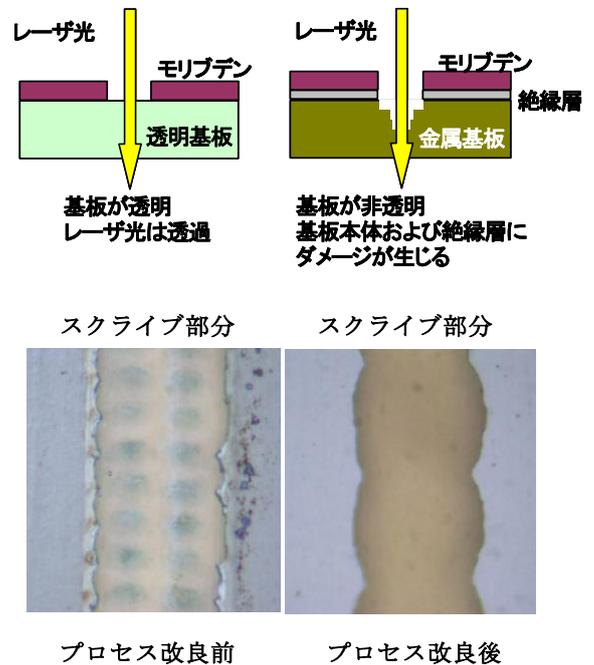
(c) フレキシブル基板上へのバッファ層成膜技術

バッファ層の成膜法として CBD（化学析出）法を採用しているが、アルカリ溶液を用いるため金属基板（が剥き出しの部分）を保護する必要がある。しかし保護の方法によっては面内膜厚が不均一になる。我々は基板を保護しつつ、(1)CBD 溶液が不均一に基板に接するのを抑制する、(2)基板面内に生じる温度分布を解消する、成膜技術を新たに開発した。その結果 $10 \times 10 \text{cm}$ 基板表面に成膜したバッファ層の膜厚バラツキを従来に比べて 1/3 に抑制することができた。

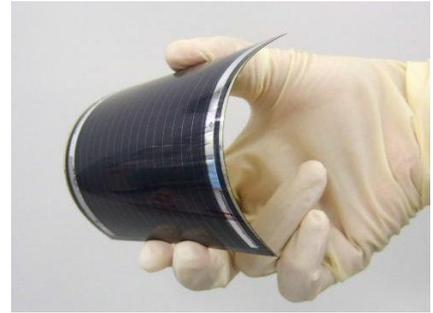
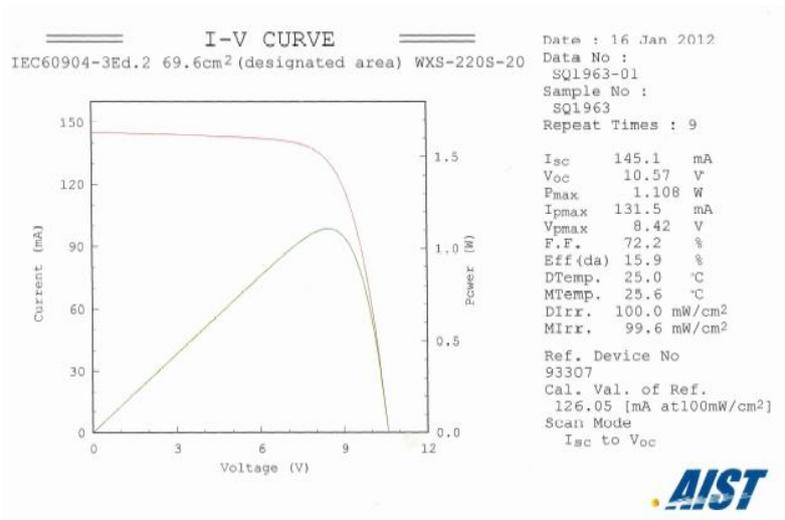
これらの技術をベースに、 $10 \times 10 \text{cm}$ サイズの金属フレキシブル基板上に CIGS 太陽電池サブモジュールを試作した。その結果、図Ⅲ-2-3-B(7)に示すように変換効率 15.9%（開放電圧 10.57V、短絡電流 33.85mA/cm^2 、フィル・ファクタ 0.722、開口面積 69.6cm^2 ）が得られた。この値は産業技術総合研究所 評価・標準チームによる公式測定値である。



図Ⅲ-2-3-B(5) ナトリウム添加の効果



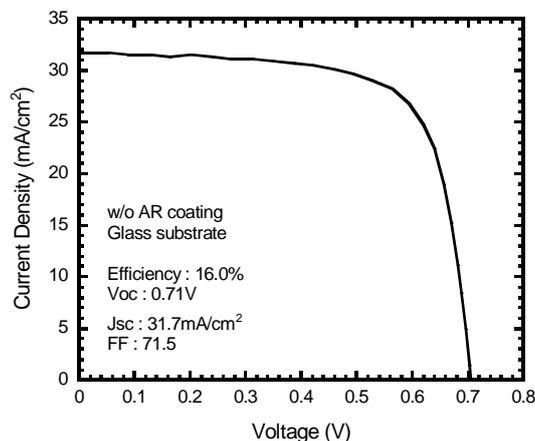
図Ⅲ-2-3-B(6) レーザパターニング形状



図III-2-3-B(7) 10×10cm サブモジュールの変換効率とその外観

1-2. CIGS 光吸収層の高速成膜技術開発（富士フイルム）

太陽電池を低コスト化するには変換効率を向上させるだけでなく、製造スループットをあげる必要がある。とりわけ CIGS 光吸収層の高速成膜は低コストの鍵となる。検討により CIGS 層の高速化にともない電流リークが発生し、例えば 0.04 $\mu\text{m}/\text{min}$ から 0.13 $\mu\text{m}/\text{min}$ へと速度を変えた場合、変換効率が約 1% 低下することが分かった。我々は CIGS 光吸収層のプロセスを改良することで、この電流リークを抑制することに成功した。図III-2-3-B(8)は新プロセスにて高速成膜した際の電流-電圧特性を示したものであるが、変換効率 16% (AR コーティングなし) と高速成膜前と同等の高い効率が得られた。



図III-2-3-B(8) 高速成膜した CIGS 光吸収層の IV 特性

1-3. CIGS 層、Na 供給層・裏面電極層のロール・トゥ・ロール成膜技術と装置開発 (アルバック)

(1) CIGS 層成膜装置、Na 供給層・裏面電極層成膜装置の開発

CIGS 光吸収層の蒸着装置 (図III-2-3-B(9)) のチャンバー及びチャンバー内の巻取機構、脱ガス機構、基材加熱機構、冷却機構を開発した。真空性能において、

目標値である到達圧力 $1 \times 10^{-3} \text{Pa}$ 以下、圧力上昇値 $5 \times 10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$ 以下を達成することを確認した。また巻出軸から搬送されて巻取軸に巻き取られた際に起きる巻きズレが目標値である $\pm 2.5 \text{mm}$ 以下を満たした（高温加熱時、搬送長 16m、巻出軸から巻取軸までの長さ 13m において）。また搬送速度 $0.6 \text{m}/\text{min}$ 、張力 100N、150N の条件下において、基材にかかる張力変動が目標値である $\pm 5\%$ 以下を満たした。また加熱性能としても 500°C 以上の加熱が可能であることが、熱電対を取り付けた基材の加熱テストにより確認できた。

また Na 供給層と裏面電極層の成膜装置（図 III-2-3-B(10)）のチャンバー及びチャンパー内の巻取機構、脱ガス機構の開発を行った。真空性能において、目標値である到達圧力 $2.5 \times 10^{-4} \text{Pa}$ 以下、圧力上昇値 $6.5 \times 10^{-4} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$ 以下を達成した。また、基材の巻きズレが $\pm 2.5 \text{mm}$ 以下、張力安定性が、張力 100N、150N、200N で張力変動が $\pm 5\%$ 以下と、いずれも目標性能を達成した。これにより、ロール基材に CIGS 層、Na 供給層、裏面電極層を成膜することが可能となった。

(2) CIGS 層成膜用ラインセルの開発

Ga、In を蒸発させ、幅 300mm の基材にそれらを着膜させる蒸発源（図 III-2-3-B(11)）を開発した。InGaSe 膜の成膜テストの結果、幅方向 250mm 範囲内での膜厚分布が $\pm 5\%$ 以内であることが確認できた。

(3) Na 供給層・裏面電極層成膜用のカソードの開発

Na 供給層と裏面電極層を成膜するためのカソード（図 III-2-3-B(12)）を開発した。成膜テストの結果、裏面電極層は幅方向 250mm 範囲内で膜厚分布 $\pm 5\%$ 以内に到達できた。一方、Na 供給層は膜厚分布 $\pm 5\%$ 以内に到達することができず、今後の課題である。



CIGS層成膜装置



Na供給層・裏面電極層成膜装置



ULVAC, Inc.
Industrial Equipment Division



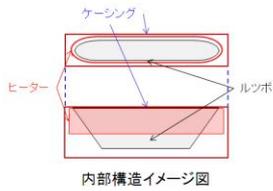
ULVAC, Inc.
Industrial Equipment Division

図 III-2-3-B(9) CIGS 層成膜装置

図 III-2-3-B(10) Na 供給層・裏面電極層の成膜装置



実物写真

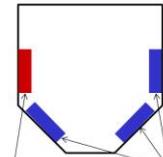


内部構造イメージ図

▼ラインセル

- ・Ga、Inを成膜
- ・ルツボの内径は422mm
- ・ルツボの開口に蒸発物ができるだけ着かないように、開口周辺にヒーターを集中。

ULVAC Inc. Industrial Equipment Division



裏面電極層成膜用カソード

Na供給層成膜用カソード

▼カソード

- ・Na供給層成膜用カソード×3 (RF電源カソード)
- ・裏面電極層成膜用カソード×1 (DC電源カソード)

ULVAC Inc. Industrial Equipment Division

図III-2-3-B(11) 成膜用ラインセル

図III-2-3-B(12) 成膜用カソード

1-4. ロール・トゥ・ロールプロセス開発 (富士フィルム)

CIGS 光吸収層までの前半工程をロール・トゥ・ロールプロセス化した。図III-2-3-B(13)は、各ロール・トゥ・ロールプロセスの流れを示したものである。CIGS 光吸収層以降の後工程は基板を 30×30cm で切り離し、バッチ処理を行っている。

図III-2-3-B(14)は、ロール・トゥ・ロール CIGS 蒸着装置にて成膜した基板を小面積セルとして太陽電池特性を評価したものであるが、現時点で、変換効率 9.3% (開放電圧 0.47V、短絡電流 31.2mA/cm²、フィル・ファクタ 0.64、開口面積 0.493cm²) が得られている。また図III-2-3-B(15)は 30×30cm 基板を用いた作製したサブモジュールの外観を示したものである。サブモジュールの作製にあたり、CIGS 成膜より後工程はバッチプロセスにて行った。



富士フィルム独自の
絶縁層付き金属基板



ロールtoロールスパッタ装置
(ULVAC製)



CIGS蒸着ロール基板

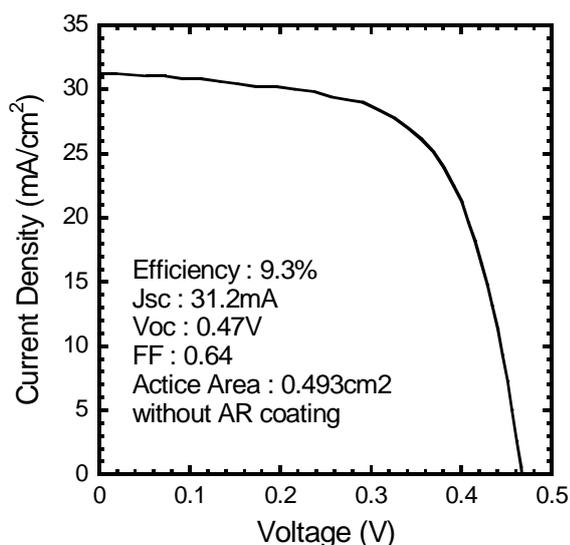


ロールtoロールレーザスクライブ装置
(富士フィルム開発)

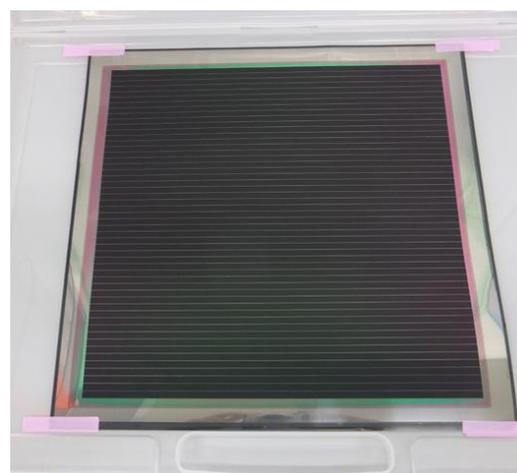


ロールtoロール CIGS蒸着装置
(ULVAC製)

図III-2-3-B(13) ロール・トゥ・ロールプロセス



図Ⅲ-2-3-B(14) 小面積セルの IV 特性



図Ⅲ-2-3-B(15) 30×30cm 基板上に作製したフレキシブルサブモジュールの外観

1-5. ワイドギャップ CIGS 太陽電池の高効率化技術の開発 (産業技術総合研究所)

フレキシブル CIGS サブモジュールおよびワイドギャップ CIGS 太陽電池の高性能化を目的に小面積セルの高効率化技術開発、モジュール化工程の最適化、ナトリウム添加制御技術の開発を行った。また、CIGS 太陽電池のデバイスシミュレーション技術の開発も行った。

ワイドギャップ CIGS 太陽電池の高性能化の開発については三段階法による CIGS 製膜中の Se 供給量を最適化することによって CIGS 薄膜特性および太陽電池特性が向上することを見出した。またワイドギャップ化を目指して CIGS 薄膜中の Ga 組成を従来よりも高くすることにより、開放電圧 750mV 以上の小面積セルの作製を可能とし大幅な特性向上に成功した。最適 Se 供給量と高 Ga 組成条件を用いた高品質 CIGS 層の製膜技術を適用することによって、青板ガラス (SLG) 基板上の小面積セル (active area = 0.514cm²) において世界最高水準の変換効率 19.8% (反射防止膜あり) を実現した (図Ⅲ-2-3-B(16))。現状では CIGS 膜厚 (~2.2μm) と製膜温度 (~570°C) に特性向上の余地がまだ残されており、これらの最適化によって CIGS 太陽電池の更なる高効率化が可能と考えられる。

集積型サブモジュールの高性能化においては、スクライブ技術の高度化および透明導電膜 (TCO) の最適化の検討を行った。TCO の最適化では同一製膜条件下の CIGS 層を用いた評価が行えるように小面積サブモジュール (面積=4cm²) を作製し、そのデバイス特性によって TCO の評価を行った。CIGS 光吸収層の形成には高効率小面積セルを実現した新しい CIGS 製膜条件を用いた。その結果、現在までに最適膜厚の TCO を RPD 法によって CdS バッファ層上に堆積することで SLG 基板上のサブモジュール効率としては世界最高水準の 17.1% (反射防止膜あり) を達成した (図Ⅲ-2-3-B(17))。今後は、小面積セル同様、CIGS 膜厚および製膜温度の最適化により現状の世界最高効率 (17.4%) を超えるサブモジュールの実現が可能であると考えられる。

また、フレキシブル CIGS サブモジュールの低コスト化を目指して、フレキシブル基板と Mo 裏面電極の薄型化を図った。H22 年度では、フレキシブルセラミクスを基板にした CIGS サブモジュールにおいて、効率はこれまでの最高値と同じ 15.9%ながら、フレキシブル基板材料の薄型化 (300 μm →200 μm)、および Mo の薄膜化 (800nm→400nm) に成功した (図 III-2-3-B(18))。

SLG 基板以外のフレキシブル基板を用いる際に不可欠なナトリウム添加制御技術の開発については、従来法である ASTL 法に加え、CIGS 製膜中にナトリウムを添加するナトリウム化合物の同時蒸着法の開発に取り組んだ。この手法を用いて作製した小面積セルにおいて反射防止膜なしで 16%を超える変換効率が得られており、今後新しい CIGS 製膜条件に対するナトリウム添加条件の最適化を行うことにより基板の種類に依らず高効率太陽電池の実現が可能であると考えられる。

CIGS 太陽電池のデバイスシミュレーション技術の開発においては、CIGS 太陽電池のデバイスモデルを構築し、各薄膜層の物性値がデバイス特性に及ぼす影響について定量的な評価が可能な計算機シミュレーション技術を確立した。また、このデバイスモデルを使って CIGS 光吸収層の伝導帯のバンドオフセットと開放電圧の間の相関を検討し、高い開放電圧を得るために必要なデバイス作製条件を明らかにすることが出来た。

これまでの経験によると、SLG 基板上的小面積セルの変換効率とフレキシブル・サブモジュールの変換効率の間には、およそ 3%弱の差異がある。その内訳は、SLG 基板上的小面積セルと SLG 基板上的サブモジュールとの間の差異がおよそ 2%であり、SLG 基板上的サブモジュールとフレキシブル・サブモジュールの間の差異がおよそ 1%弱である。従って、フレキシブル・サブモジュールにおいて 17%以上の変換効率を達成するという中間目標を達成するためには、SLG 基板上的小面積セルにおいて 20%弱の変換効率を達成すれば良いことが分かる。上記のように、この必要条件は 19.8%という変換効率によって既に達成されている。従って、中間目標であるフレキシブル CIGS サブモジュール (10 \times 10cm) で 17%以上の目標変換効率が達成できる見込みである。

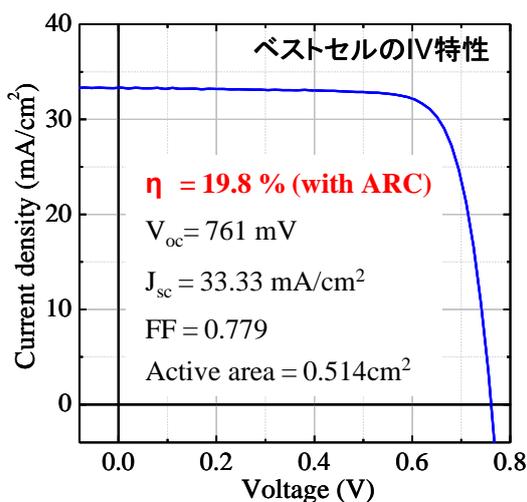


図 III-2-3-B(16) 小面積セルの IV 特性

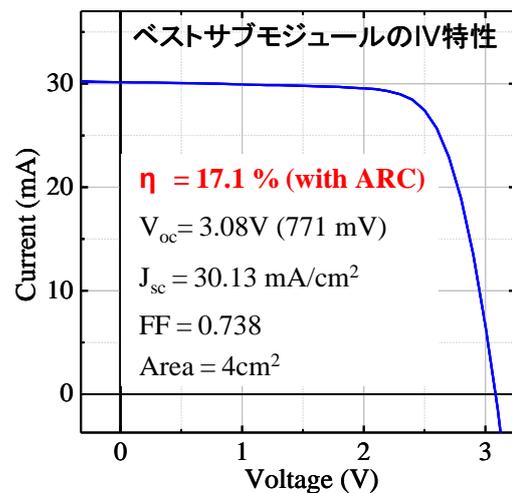
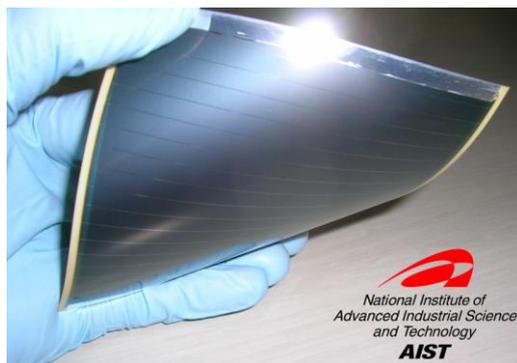


図 III-2-3-B(17) 小面積サブモジュールの IV 特性



図Ⅲ-2-3-B(18) 基板厚 200 μ m のフレキシブル CIGS サブモジュール

1-6. 新規バッファ層材料のウエットプロセスによる形成技術の開発 (豊橋技術科学大学)

豊橋技術科学大学はワイドギャップ (1.4eV 程度) CIGS に適合する新規バッファ層の材料とその成形技術、およびバンドギャップチューニング技術の開発を行い、ワイドギャップ CIGS 太陽電池の高効率化を図る。

(事業内容)

① CBD 法によるバンドギャップ制御 酸化物系バッファ層形成技術の開発

アルカリ性アンモニア錯体水溶液から CBD 法により作成した ZnO 系バッファ層材料の局所ならびに微細組織を検討しバンドギャップとの相関を明らかにすると共に、CIGS 太陽電池の太陽電池特性との相関を明らかにし高効率化への設計指針を明らかにする。

② CBD 法における溶液化学的制御技術の開発

アンモニア錯体水溶液について化学熱力学的に溶液中錯体種ならびに電位-pH 図をシミュレーションし、CBD 析出制御パラメータを予測し実験的に実証すると共に、酸化物系バッファ層の膜厚制御ならびに溶液の安定性向上のための溶液化学的設計指針を明確にする。

(進捗状況と成果)

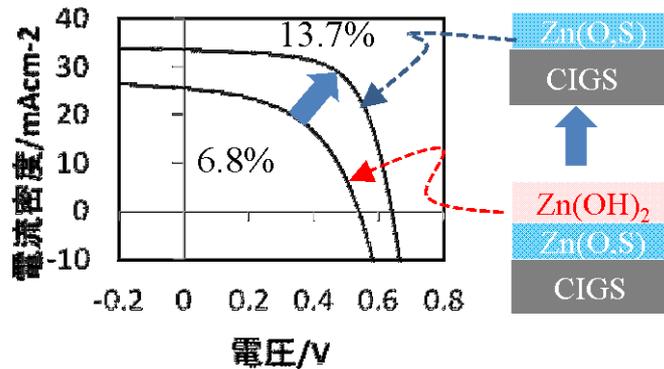
① CBD 法によるバンドギャップ制御酸化物系バッファ層形成技術の開発

溶液中のチオ尿素濃度と関係して Zn(O,S,OH)層の O/S 比が変化し、バンドギャップも 2.7-3.7eV で変化した。CBD 製膜後にアンモニア水浸漬を行うことによって、CIGS 太陽電池の変換効率が 6.8%から 13.7%に倍増した。(図Ⅲ-2-3-B(19)) そこで XAFS 測定から求めた動径分布関数(RDF)より、CBD 製膜により形成された Zn(O,S,OH)層は、結晶性の良い Zn(O,S)下層と結晶性の低い Zn(OH)₂ 上層からなる積層構造を有し、アンモニア水溶液浸漬により上層の Zn(OH)₂ 層が選択的に溶解し、結晶性の良い Zn(O,S)層が残存し膜厚も小さくなることを明らかにした。鹿児島大学での電子分光測定によって、太陽電池変換効率ならびにヘテロ界面バンドアライメントに及ぼす表面 Zn(OH)₂ 層の効果を初めて明らかにした。また、積層構造形成ならびにアンモニア水中での Zn(OH)₂ 溶解機構

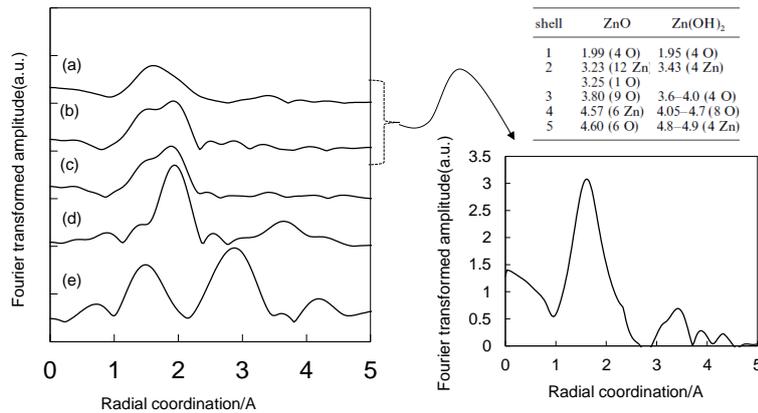
を熱力学的観点から明らかにした。

② CBD 法における溶液化学的制御技術の開発

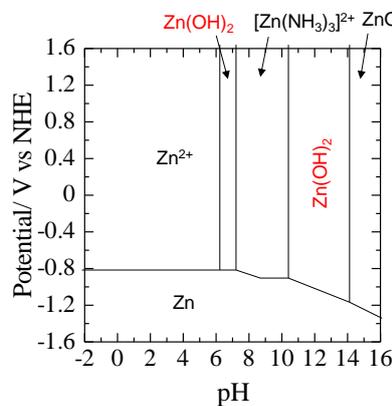
NH₃ 塩としてアンモニア水と硝酸アンモニウムを用いることによって全 NH₃ 濃度と pH を独立に変化させた。pH ならびに全 NH₃ 濃度が高いほど、亜鉛アンモニア錯体の存在率が多くなり安定性が向上することが予測でき、この領域では CBD 反応による Zn(O,S,OH)膜形成は生じるが、溶液の沈殿生成は抑制されることを実験的に確認し、熱力学計算が有効な手法となることを実証した。



図III-2-3-B(19) Zn(OH)₂層除去による変換効率の向上



図III-2-3-B(20) 膜厚 100nm(a),50nm(b),20nm(c)-Zn(O,S)層ならびに ZnS(d),ZnO(e)標準試料の Zn 原子周囲の動径分布関数(RDF)と 50,100nm-Zn(O,S)層の差分 RDF



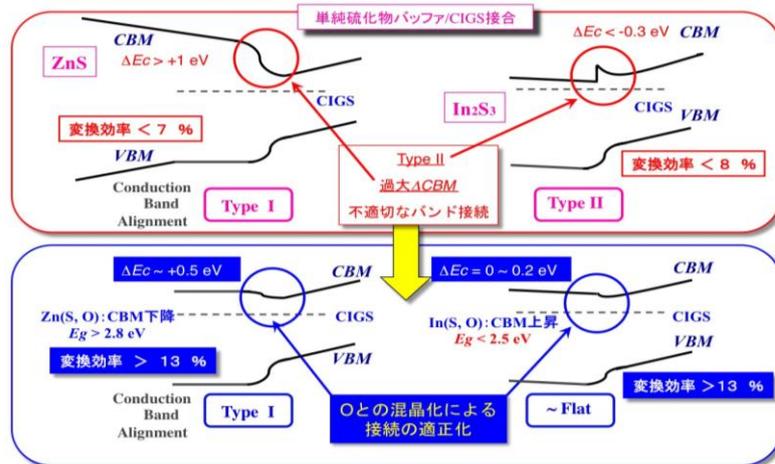
図III-2-3-B(21) Zn-NH₃-水系電位-pH 図 (298K)

1-7. 界面・粒界・縦貫断面電子構造評価・制御技術の開発
(鹿児島大学)

CIGS系太陽電池における一層の高効率化の鍵の一つである禁制帯幅1.4~1.5eVのワイドギャップCIGSに適する非Cd系バッファ材料を電子構造の観点から明らかにすること、バッファ/CIGS界面のバンド接続のバッファ層の作製条件との関連を正・逆光電子分光を用いた直接法により評価し、高効率化に有利なバンド接続状態が得られる組成・条件を明らかにすること、フレキシブル基板上の大面積モジュールで同様な評価を行うための技術を開発することを目的として研究開発を実施した。

1) 非Cd系バッファ材料として有望と考えられたChemical Bath Deposition (CBD)法によるZn系、In系酸硫化物バッファの電子構造、及び、バッファ/CIGS界面におけるバンド接続状態の適正化に関して、以下を明らかにした。

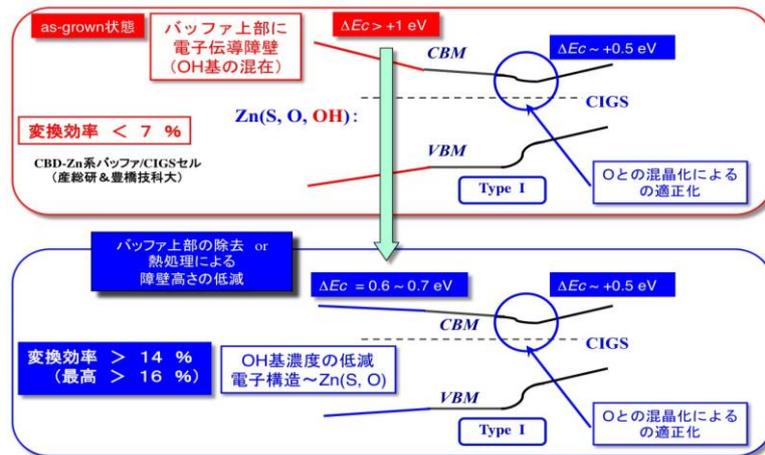
- ・単純硫化物であるZnSは伝導帯下端CBMが+1 eV以上と過高で界面に電子伝導障壁を形成し、In₂S₃はCBMがCIGSより低く、バンドオフセット ΔE_c が負の再結合を促進するバンド接続となり、両系とも単純硫化物は高効率化に適當でない電子構造を持つ。
- ・S-O混晶化により、CBMがZn系では下降、In系では上昇が発現し、S/(S+O)比 = 0.6 ~ 0.9の領域で $\Delta E_c = 0 \sim +0.3$ の高効率化に有利なオフセットを持つバンド接続が実現される。図III-2-3-B(22)にS-O混晶化による伝導バンド接続改善に関する概略図を示す。



図III-2-3-B(22) CBD-Zn(S, O, OH)、In(S, O, OH)バッファのS-O混晶化によるバッファ/CIGS界面における高変換効率に適するバンド接続の実現

- ・両系ともOH基濃度の上昇によりバンドギャップが拡張・CBMが上昇した領域が混在し[Zn(S, O, OH)系の場合、OH/(O+OH) > 0.4のとき、CBM > 1.0 eV]、電子伝導障壁が形成される。CIGS上に形成されたS/(S+O) = 0.6~0.7のCBD-Zn(S, O, OH)層 [CIGS; 産業技術総合研究所グループ作製、Zn(S, O, OH); 豊橋技術科学大学グループ作製]の電子構造・酸素化学種の深さ方向プロファイルを評価により、この主に水酸化物からなる障壁領域がCIGSとの界面から離れたバッファ層表面に偏在すること、一方、CIGS

との界面近傍では低OH基濃度、 $CBM \sim 0.6 \text{ eV}$ の望ましい電子状態を持つことを明らかにした。更に、CBD堆積後の、 NH_3 溶液を用いた化学エッチング乃至 $250 \text{ }^\circ\text{C}$ 、数十分程度の熱処理が伝導障壁領域の除去のための優れた手法であることを見出した。図III-2-3-B(23)に後処理によるバッファ上層部分の電子構造改善の概略を示す。



図III-2-3-B(23) 堆積後処理効果の概略：高 CBM CBD-Zn(S, O, OH)上層部の除去、再結晶化による電子伝導障壁の厚さ・高さの低減→高変換効率の実現。

- CBD堆積後熱処理を施した試料では、加えて、CIGS側へのSの拡散促進によるCIGSの価電子帯上端VBMの下降が誘起され、電子・ホール間のエネルギー離間の大きい再結合が一層抑制される電子接続となることが明らかとなった。

以上のように、非Cd系酸硫化物バッファ/CIGS接合における電子構造の最適化にはS-O混晶比、OH濃度抑制、S拡散等のアニオン濃度・プロファイル制御が重要であること、CBD条件に加えて堆積後処理が、そのための有力な手法であることを明らかにした。電池特性は未処理試料で8%未満であった変換効率が14%以上（最高 $> 16\%$ ）へと顕著に向上することを確認した。以上のように、界面領域の電子構造評価から導出された界面～バッファ領域の電子構造の適正化指針に基づくプロセス制御が電池特性向上に有効な手法・技術であることを実証した。

2) CIGS及びZn(S, O, OH)バッファ内粒界の電子状態の空間プロファイルの光-アシストケルビンプローブ顕微鏡（光-KFM）による評価を行い、Ga置換率20~100%の全領域でCIGSのCBMが平坦且つVBMが選択的に下降したキャリア再結合抑制に有利な電子構造を持つこと、その構造起源が粒界におけるCu欠損相の局所形成にあること、Zn系バッファがCdSと同様、一次粒子間のバンド接続が平坦なキャリア散乱の少ない電子構造を持ち、両者とも高効率化に有利であることを明らかにした。なお、後者の二次粒子は層厚程度の寸法を持ち、電池特性に影響する積層方向では二次粒子粒界の影響は小さいが、面内方向に散乱に寄与する約200 mVのポテンシャル差が存在するため、面内伝導を利用する電池構造においては留意が必要と考えられる。

3) フレキシブル基板対応 電子構造評価技術の開発

ガラス基板上の電池と電気的アイソレーション、機械的特性が異なるフレキシブル基板上のモジュールの評価のための測定面調整手法をフレキシブル基板～Mo 構造[富士フィルム作製]を用いて検討し、高剛性金クランプによる接地が電子分光・KFM 測定時の帯電効果の十分な補償のための、セルを導電性機材に接着後に機械研磨する手法が凹凸が数 nm 以下の超平坦断面形成の優れた手法であることを見出した。これらにより Na 添加法が異なることからガラス基板上と異なることが予想される CIGS 層内バンドギャップ傾斜、粒界の伝導活性度等のモジュール特有の電子構造の評価手法を確立した。

1-8. 結晶欠陥の検出、同定と欠陥低減化技術の開発

(筑波大学)

本開発はデバイス特性に影響を与えている欠陥の検出と構造の同定を行ない、欠陥低減化技術開発の支援を行うことを目的とする。

禁制帯幅 1.4-1.5eV のワイドギャップ CIGS を用いることで太陽電池の高効率化を目指している。CIGS 太陽電池においてはバンドギャップエネルギーが 1.1-1.2 eV (Ga 濃度 30%程度) で最高効率 20.3%が実現されているが、Ga 組成を増加しバンドギャップエネルギーを大きくすると変換効率は低下する。この原因の一つとして欠陥の形成が考えられ、これらの欠陥の検出と同定を通じて欠陥低減化をはかり、セルの高効率化を実現する計画である。特に Ga 組成の増加と共に増加する欠陥に着目しその原因と低減化法を検討した。

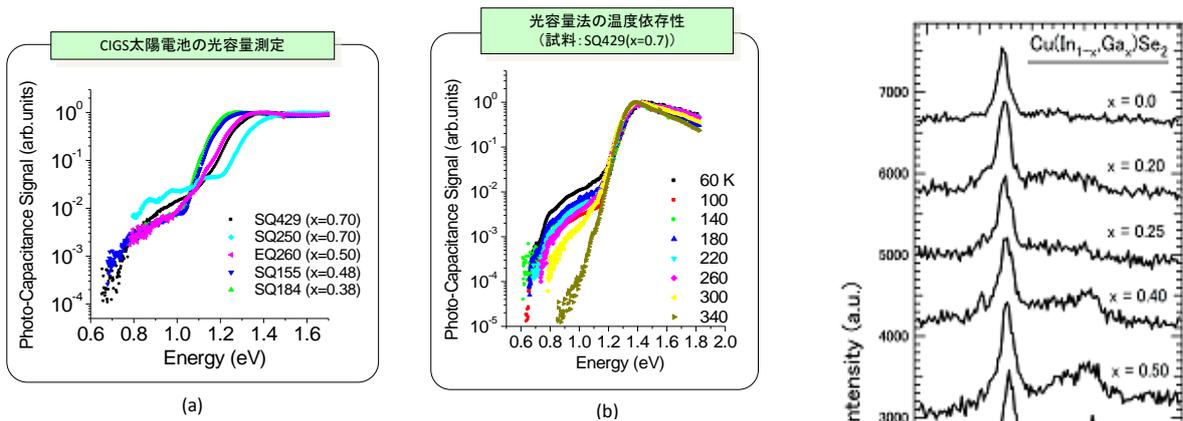
CIGS 中の欠陥として、価電子帯上 800meV の準位を光容量法で検出しこれらの信号強度とデバイス特性との対応からデバイス特性に影響を与えている欠陥であることを明らかにした。図 III-2-3-B(24)-(a)に示すように Ga 組成増加とともに 800meV 欠陥濃度が増加することが分かった。また、図 III-2-3-B(24)-(b)に示す温度依存性や 2 波長照射光容量法により、800meV 欠陥が室温で再結合中心として働いていることを明らかにした。この知見は世界初である。一般に、再結合中心の存在は開放電圧を低下させることが知られており、Ga 組成増加と共に素子特性が劣化する一つの原因となっている欠陥である可能性がある。図 III-2-3-B(25)に示すように陽電子消滅法による実験から、空孔型欠陥濃度は Ga 組成により変化せずほぼ一定であることが分かった。すなわち、800meV 欠陥は空孔型欠陥ではなく、アンチサイト欠陥である可能性を示唆しており、欠陥低減化には化学量論組成制御が重要であることを提案した。

図 III-2-3-B(26)に CIGS のラマンスペクトルを示す。170cm⁻¹, および 260cm⁻¹はそれぞれ CIGS 母体、Cu₂Se からの信号である。CIGS 中に Cu₂Se が形成されることを見出した。Cu₂Se の形成は Ga 組成依存性があり、組成 0.4 近傍から形成されやすくなることが分かった。また、Cu₂Se の形成は、CIS では極めて Cu リッチ条件で成長した試料でのみ観察され、これらは KCN 処理で消失することから表面だけに形成されることが分かった。一方、CGS では Cu 不足の成長条件で作成した試料においても Cu₂Se が検出された。KCN 処理で信号が消失しないことからバルク中にも形成されていることが分かった。Cu₂Se は Cu 空孔が形成されやすく、抵抗率は 10⁻³Ω cm 程度、キャリア濃度 10²⁰ cm⁻³, バンド

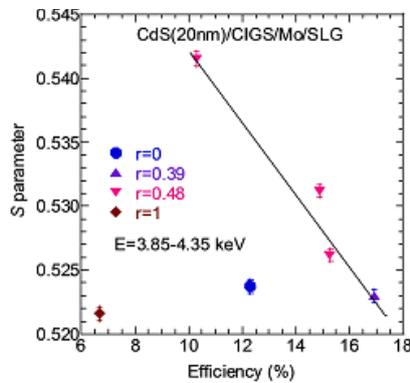
ギャップエネルギー1.2~1.4 eV程度とされており、Ga組成が高いCIGS中に存在すれば、エネルギー井戸が形成されたと同様の効果を持ち、再結合中心として働く可能性がある。図III-2-3-B(27)に示すようにCu₂Seの信号強度とデバイス特性に相関がみられ、デバイス特性に影響を与えていることが分かった。

図III-2-3-B(28)に示すようにCIGSを大気中で加熱し酸化するとCu₂Seの信号強度が増加し、KCN処理で減少することから、Cu₂Se形成の一つの原因として酸化であることを明らかにした。

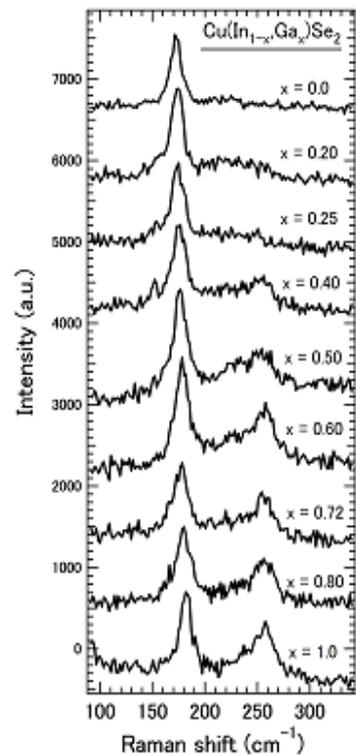
これらの結果よりCIGS成膜中あるいはプロセス中に酸化を防ぐ必要があることを提案した。



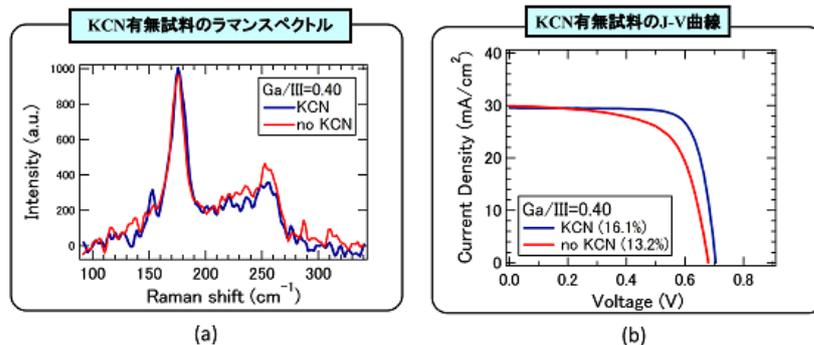
図III-2-3-B(24) 光容量法で検出した800meV欠陥のGa組成依存性(a)と温度依存性(b)



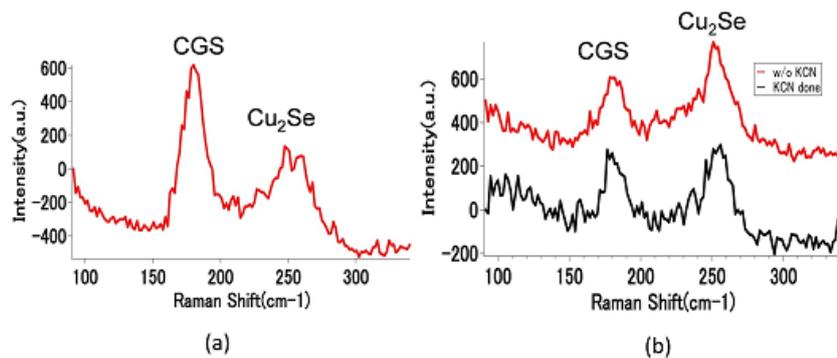
図III-2-3-B(25) 陽電子消滅法による欠陥濃度とデバイス変換効率との関係



図III-2-3-B(26) ラマンスペクトルのGa組成依存性



図III-2-3-B(27) KCN処理前後のラマンスペクトル(a)と対応するデバイス特性(b)



図III-2-3-B(27) CGS の酸化前(a)と酸化後(b)におけるラマンスペクトル

表III-2-3-B(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>B-1. フレキシブル基板上の集積化モジュール作製技術の開発 (富士フィルム・産業技術総合研究所)</p> <p>(1)フレキシブル金属基板向けのプロセス開発</p> <p>(2)・10×10cm サブモジュール効率 17% ・30×30cm サブモジュール効率 16%</p>	<p>(1)フレキシブル金属基板向けのプロセスを開発し、10×10cm 角の集積型サブモジュールにて変換効率 15.9%(公式測定)を達成した。フレキシブル基板向け集積プロセス技術の構築を完了した。</p> <p>(2)・ガラス基板上の小面積サブモジュールにて効率 17.1% ・10×10cm フレキシブル・サブモジュール効率 15.9%</p>	<p>○</p> <p>△</p>	<p>(1)バッチプロセスにて構築した技術をロール・トゥ・ロールプロセスへ導入するとともに大面積化フレキシブル基板での技術構築を進める。</p> <p>(2)小面積セル、小面積サブモジュールで構築した高効率化技術を大面積プロセスへと導入するほか、大面積均一成膜技術の構築により更なる高効率化を行う。</p>
<p>B-2. CIGS 光吸収層の高速成膜技術開発 (富士フィルム)</p> <p>(1) CIGS 光吸収層の高速成膜時に生じる効率劣化要因把握とその対策</p>	<p>(1) CIGS 光吸収層を高速成膜した際に生じる電流リークの原因を突き止め、プロセス改良により効率低下を抑制することに成功した。</p>	<p>◎</p>	<p>・今後、ロール・トゥ・ロールプロセスへ本プロセスを導入し、更なる高速成膜検討を進める。</p>
<p>B-3. ロール・トゥ・</p>	<p>(1)①基材 SUS430 を用いて成</p>	<p>○</p>	<p>(1)②蒸発源の構造の見直し</p>

<p>ロール成膜装置開発 (アルバック)</p> <p>(1)CIGS 層成膜装置にて ①基板を 500 °C以上に加熱 ②膜厚分布±5 %</p> <p>(2) Na 供給層、裏面電極層の成膜装置にて ・膜厚分布±5 %</p>	<p>膜室での加熱試験の結果、540°Cまで加熱されたことを確認した。</p> <p>②InGaSe 成膜にて幅 250mm 以内で膜厚分布が最大で約 4%を確認。±5 %以内を達成。有効幅 270mm の膜厚分布は未測定であり、今後評価を行う。</p> <p>(2)Na 供給層 (SLG)、裏面電極層である Mo の成膜にて幅 250 mm 以内での膜厚分布が SLG にて約±21 %、Mo にて約±4 %を確認。Mo 膜は±5 %以内を達成したが、SLG が未達成。また、有効幅 270mm の膜厚分布は未測定であり、今後評価を行う。</p>		<p>△ (2)膜厚分布に関する放電の安定性をとり、膜厚を補正するためにカソードの構造を変える。</p>
<p>B-4. ロール・トゥ・ロールプロセス開発 (富士フイルム)</p> <p>(1) CIGS 光吸収層までの工程をロール・トゥ・ロール化</p>	<p>(1) CIGS 光吸収層までの前半工程を計画通り、ロール・トゥ・ロールプロセス化した。本プロセスにて成膜した CIGS 光吸収層を小面積セル化（後工程はバッチプロセス）した結果、変換効率 9.3%が得られた。</p>	<p>△</p>	<p>・CIGS 光吸収層の成膜条件の最適化。</p>
<p>B-5. ワイドギャップ CIGS 太陽電池の高効率化技術の開発（産業技術総合研究所）</p>	<p>CIGS 製膜時の原料供給量や Ga 組成の最適化により大幅な開放電圧の向上およびそれに伴う変換効率の向上を実現した。具体的には、SLG 基板上の小面積セル（active area = 0.514 cm²、反射防止膜あり）で 19.8%を達成し、また aperture area = 4 cm²であるが、SLG 基板上のサブモジュールで 17.1%（反射防止膜あり）を</p>	<p>△</p>	<p>CIGS 膜厚と製膜温度の最適化による CIGS 太陽電池の更なる高効率化。 高品質 CIGS 製膜法に適したナトリウム添加技術の開発。 フレキシブル基板のハンドリング技術の向上。 上記課題をクリアすることにより、2012 年度中に中間目標効率の達成見込みがある。</p>

	達成した。		
<p>B-6. 新規バッファ層材料のウエットプロセスによる形成技術の開発 (豊橋技術科学大学)</p> <p>(1) CBD 法によるバンドギャップ制御酸化物系バッファ層形成技術の開発</p> <p>(2) CBD 法における溶液化学的制御技術の開発</p>	<p>(1)チオ尿素濃度調整によるZn(O,S)の 2.7 - 3.7eV バンドギャップ制御, Zn(O,S)層へのアンモニア水処理によるCIGS 高効率化と構造変化の相関の明確化による表面水酸化物層効果の明確化</p> <p>(2) 化学熱力学により計算した, 化学種, 電位-pH 図からの予測を実験的に実証すると共に。溶液安定性向上指針を明確にし, 化学熱力学シミュレーション技術の有効性を実証。</p>	<p>◎</p> <p>◎</p>	<p>(1) Zn(O,S)層の局所構造とバンドギャップは基板となるCIGS 層の拘束を受けており, CIGS 直上の Zn(O,S)層の構造並びにバンドギャップを制限する可能性を示唆したことから, 不純物導入や加熱処理の併用などのバンドギャップならびにイオン化エネルギー制御技術の開発が必要。また, CIGS 直上に FE-TEM により観測されたエピタキシャル層を同定する必要がある。</p> <p>(2)現在利用している化学種や電位-pH 図から溶解度曲線や速度論に対応できるように化学熱力学シミュレーション技術を高度化すると共に, 実験結果との対応により検証する必要がある。</p>
<p>B-7. 界面・粒界・縦貫断面電子構造評価・制御技術の開発 (鹿児島大学)</p> <p>(1) ワイドギャップCIGS に適合する新規バッファ層の電子構造およびバッファ層/CIGS 界面の伝導帯・価電子帯の適正な接続条件を明らかにし、デバイス作成技術にフィードバックする。</p>	<p>(1)ワイドギャップ CIGS 用バッファの候補である Zn 系、In 系酸硫化物、CIGS との界面電子接続の支配因子がバッファのアニオン濃度・プロファイルにあることを解明</p> <p>・CBD-Zn(S,O,OH)、In(S,O,OH)系の電子構造 (バンドギャップボーイング、伝導帯下端等)の S-O 混晶比依存性を解明</p> <p>・CIGS との界面での電子構造整合に必要な S-O 混晶比領域 S/(S+O)=0.6~0.9 を決定</p> <p>・電子伝導障壁となる高 OH 領域が CBD 堆積後期部分に偏</p>	<p>◎</p>	<p>(1)・伝導帯オフセットの最終チューニング;最終目標の効率に最適な S/(S+O)比、OH 濃度の決定</p> <p>・S の CIGS 側への界面拡散の作製条件 (CBD 堆積後熱処理を含む) 依存性の解明</p> <p>・セル特性の対する光照射効果の解明;光照射による非 Cd 系バッファの電子構造変成の評価</p>

<p>(2) 作成されたセルの縦貫断面電子構造評価を行い、デバイス作成技術にフィードバックする。</p> <p>(3)粒界の電気的活性度および薄膜層内のバンドギャップと光起電力の不均一性を評価し、デバイス作成技術にフィードバックする。</p>	<p>在すること及びその除去手法（堆積儀熱処理等）を提案 上記の電子構造評価結果に基づくアニオン制御が変換効率向上（最高 > 16 %）に有効であることを実証</p> <p>(2)・積層方向電位プロファイル評価用の超平坦断面（凹凸 < 10 nm）作製技術を開発 ・ガラス基板上セルの電位プロファイルの可視化に成功</p> <p>(3)・CIGS 内粒界がキャリア分離を促進する、電子特性向上に有利なバンド湾曲を持つことを光-KFM により解明 ・CdS, Zn(S,O,OH)内粒界が電氣的に不活性であり電池特性に影響しないことを解明</p>	<p>○</p> <p>◎</p>	<p>(2)・伝導帯下端の CIGS 層内深さ方向プロファイルの評価（ガラス基板、フレキシブル基板とも被測定断面作製技術開発済み）現在進行中。</p> <p>(3)・フレキシブルモジュール内粒界の評価（被評価面作成手法開発済み、Na 添加条件依存性の解明）</p>
<p>B-8. 結晶欠陥の検出、同定と欠陥低減化技術の開発（筑波大学） デバイス特性に影響を与えている欠陥の検出と構造の同定を行い、欠陥低減化技術開発の支援を行う。</p>	<p>・価電子帯上 800meV の欠陥準位を光容量法で検出した。Ga 組成依存性があり、デバイス特性に影響を与えていることを明らかにした。温度依存性および 2 波長照射光容量法により、800meV 欠陥が室温で再結合中心として働いていることを明らかにした。また、陽電子消滅法による実験から、空孔型欠陥濃度は Ga 組成によらないことから、800meV 欠陥が空孔型欠陥ではないことを明らかにした。アンチサイト欠陥であると予想され、欠陥低減化には化学量論組成制御が重要であることを提案し</p>	<p>○</p>	<p>・化学量論的組成制御の精度と効果の確認。</p>

	<p>た。</p> <p>・ラマン分光法により CIGS 中に Cu_2Se を検出した。Ga 組成 0.4 以上で形成されやすく濃度も増加することを明らかにした。Cu_2Se の形成とデバイス特性に相関がみられ、デバイス特性に影響を与えていることが分かった。Cu_2Se の形成原因の一つとして酸化であることを見出した。CIGS 成膜中あるいはプロセス中に酸化を防ぐ必要があることを提案した。</p>	○	<p>・ Cu_2Se の形成が酸化以外にないかの確認。</p>

達成度→ 大幅達成：◎、 達成：○、 達成見込み：△、 達成不可：×

表Ⅲ-2-3-B(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	3	0	3件
論文(査読付き)	8	12	0	20件
研究発表・講演(うち国際会議)	38(14)	28(16)	4(2)	70件
新聞・雑誌等への掲載	1	2	1	4件
受賞実績	1	1	0	2件
展示会への出展	0	0	0	0件

2. 実用化・事業化見通し

2-1. 実用化・事業化のスケジュール

軽量・割れないという特徴が必要とされる太陽電池市場を創造しつつ、高効率化技術、生産技術（タクト、歩留り含む）、高信頼性なモジュールの作製技術を構築していく。NEDO プロジェクト（2010～2014 年度）終了後、生産歩留まり、タクト向上のための開発を行い、実用化、事業化につなげる。

2-2. 本研究成果物の価値

軽量・割れないという特徴を有しながら高効率な太陽電池が欲しいというニーズが強いことが分かってきている。この様な特徴を持ちながら耐久性に優れる製品を実現することに本研究の価値がある。

2-3. 具体的な顧客との検討状況

新たな市場を創造するというフェーズにある顧客候補先と、特徴を生かした工法により協業で試験設置をすることを狙い議論を進めている。現状、競合製品を使って設置を検討している先が多いが、本開発物が高変換効率である点、意匠性に厳しい壁面設置に対しては黒色色調が優れる点、また信頼性に勝る構造である点など、期待を寄せられている。

2-4. 今後の技術課題

高効率の独自のモジュールを実用化するための課題は、以下の2つに区分される。

- ・技術課題 1：大面積・高生産プロセス開発(富士フイルム／アルバック／産総研)
- ・技術課題 2：高効率化技術開発(産総研／筑波大／豊橋技科大／鹿児島大)

課題 2 で達成された成果は、課題 1 で進めているプロセスに反映させていく。なお図 III-2-3-B(28)に今後の効率目標値とこれまでの実績効率値をまとめた。

技術課題 1：フレキシブル CIGS 太陽電池のプロセス開発

作製プロセス	現状	課題と方針
Na供給層	<u>RtR化の装置化完了</u>	製膜レートの高速化
Mo電極	装置改良&性能作り込み中	スクライブ ラッチュードの拡大 歩留まり/タクトの向上
P1スクライブ		
CIGS層	30cm角で効率目標=16% (H24)	<ul style="list-style-type: none"> ・高効率化/高速成膜化 ・ライン蒸発源の安定化(均一化)
バッファ層	<u>30cm角の装置化完了</u>	<ul style="list-style-type: none"> ・Cdフリー化技術確立(H24) ・高生産プロセス確立
P2/P3スクライブ		<ul style="list-style-type: none"> ・デットゾーン減少(変換効率up)と生産性/歩留まり両立プロセス確立
透明電極	性能作り込み中	<ul style="list-style-type: none"> ・変換効率と生産性両立プロセス確立

技術課題 2 : 高効率化技術開発

変換効率22%超の高効率を実現できるポテンシャルをもつ、禁制帯幅1.4~1.5eV(高Ga組成)のワイドギャップCIGS太陽電池に開発のターゲットを絞る。

最大の課題: 高Ga組成から期待される、高い開放電圧が得られない。

- 原因: ① 高Ga組成時におけるキャリア再結合確率の増大
 ② 高Ga組成時におけるバッファ層/CIGS層ヘテロ界面におけるバンド接続状態の変化

対策① CIGS光吸収層をはじめとする各層の高品質化によるバルク再結合の低減

- ← Se供給量等に着目したCIGS光吸収層の高品質化技術の推進 (産総研)
- ← 高Ga組成時における再結合機構の解明と解決手段の開発 (筑波大学)

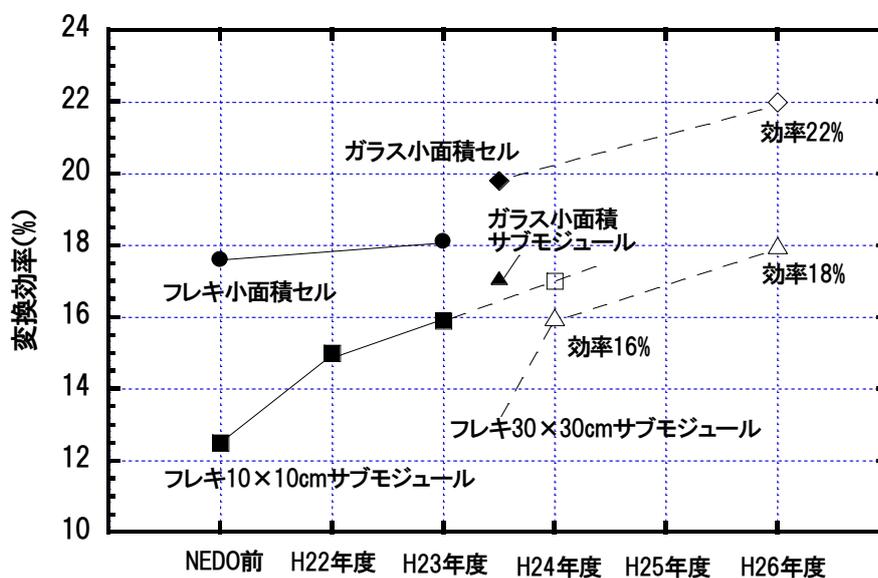
対策② ワイドギャップCIGSに最適な新規バッファ層の開発

- ← ヘテロ界面におけるバンド接続が最適な新バッファ層の開発 (豊橋技科大)
- ← バンド接続状態の可視化技術によるバッファ層評価技術の確立 (鹿児島大)

対策③ まだ残されている改良の余地に着手

- ← Na添加効果の解明とNa供給量の最適化および新規Na供給手法の開発
- ← 高Ga組成時におけるGa/In組成プロファイルの最適化

・困難(低い開放電圧)の原因は解明されており、対策手段①~③も解明されて進捗している。
 ・既に変換効率19.8%を達成しており、更に対策①~③により22%超の高変換効率を実現できる見通しがある。



図III-2-3-B(28) 本プロジェクトにおける変換効率の推移(黒塗り)と目標(白塗り)

3. 波及効果

3-1. 技術の製品への応用可能性

軽量・割れないという特徴を生かした太陽電池用途、さらには海上、宇宙等の特殊用途へも展開出来る可能性がある。

3-2. 開発者、研究者の育成の観点

基礎研究として高効率化に取り組んでいる産総研、筑波大学、豊橋技術科学大学、鹿児島大学における研究者育成への貢献は大きい。

また本開発は、ハロゲン化銀による写真、BaFBr:EuによるX線の輝尽性蛍光蓄積、CCD撮像素子、アモルファスSeによるX線センサー等、富士フィルムのコア技術である光電変換技術を深耕するテーマであり、企業内の技術者の育成に大きく寄与している。このような技術蓄積が、たとえば別途、国家プロジェクトで進められる光による水素発生等、日本独自の技術発展に寄与出来るものと考えている。ロール・トゥ・ロールの装置開発を得意とするアルバック社においても、このような新たな視点での装置開発は社内の技術者育成、技術蓄積に重要である。

4. 今後の展開

4-1. 事業化までのシナリオ

市場を創造しつつ高効率化技術、生産技術(タクト、歩留含む)、モジュールの耐久信頼性技術を構築し、市場を大きくしていくシナリオのもとに進めている。現状の大勢を占める結晶シリコン型の太陽電池とは違った市場ニーズを満たす製品として、日本経済に貢献していく。また、独自の高度な部材とのすり合わせによる製品であり、容易には物まねの出来ない日本の技術が生きる応用製品であると考えている。

アルバックが担当しているロール・トゥ・ロール成膜装置は、今後、成膜再現性および生産効率に優れた量産機の実現を目指した開発を進めていく。本装置にて製造されるフレキシブル太陽電池は土台なしで、かつ曲率のある壁面でも設置することができることが特徴である。そのため従来の太陽電池市場とは異なる新たな市場が見込めるため、装置の販売台数の増加を期待できる。

4-2. 事業化された場合の効果

本太陽電池は、従来の太陽電池では設置が難しかった用途に適用出来るため、新たな市場を創出する技術であると考えている。仮定に基づき計算すると、公共施設／産業施設の壁面にだけ限定しても2GW程度の総需要が予測される。補強が必要な工場屋根等、用途の広がりが見込まれる。また本太陽電池は、独自の高度な部材技術と高度な生産技術のすり合わせによる商品であり、日本の産業競争力に大きく貢献すると考えている。これらの技術を使った商品を海外市場へ展開することでさらなる市場効果を創出することが期待出来る。

5. 特許論文リスト

表Ⅲ-2-3-B(3)【特許】

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	富士フイルム	2011-192896	国内	2011年 9月5日	出願	化学浴折装置	河野哲夫 新井洋
2	富士フイルム	2011-192897	国内	2011年 9月5日	出願	バッファ層の製造 方法および光電変換 素子の製造方法	河野哲夫 新井洋
3	富士フイルム	2011-158142	国内	2011年 7月19 日	出願	薄膜太陽電池および その製造方法	矢後栄郎 浅野武史

表Ⅲ-2-3-B(4)【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	村上直樹、森脇健一、南宮麻紀、大郷毅、祐谷重徳、石塚尚吾、仁木栄	富士フイルム、産業技術総合研究所	Monolithically integrated CIGS sub-modules fabricated on new structured flexible substrates	37 th IEEE Photovoltaic Specialists Conference	有	2011
2	野本麻紀、大郷毅、森脇健一、村上直樹、祐谷重徳、石塚尚吾、仁木栄	富士フイルム、産業技術総合研究所	Monolithically integrated CIGS sub-modules on stainless steel substrate with insulating layers	第21回太陽光発電国際会議	有	2011
3	T. Fukae, H. Ichiki, H. Kashiwabara, T. Shiota, A. Yamada, S. Ishizuka, K. Matsubara, S. Niki, Y. Yoshimura and N. Terada	Kagoshima Univ., Kagoshima Perf. Inst. Indust. Technol., AIST	CHARACTERIZATION OF ELECTRONIC STRUCTURE OF GRAIN BOUNDARIES IN CIGS ABSORBER LAYERS BY KELVIN PROBE FORCE MICROSCOPY	25th European PVSEC and 5th WCPEC, pp.3349-3352	有	2010
4	S. Niki, S. Ishizuka, H. Komaki, Y. Kamikawa-Shimizu, S. Furue, S.W.	AIST, Tokyo Univ. Sci., Kagoshima Univ, Tsukuba	DEVELOPMENT OF HIGH-EFFICIENCY CIGS SOLAR CELLS AND	Proc. 25th European PVSEC and 5th WCPEC, pp.2846-2848	有	2010

	Choi, K. Matsubara, H. Shibata, A. Yamada, H. Nakanishi, N.Terada, T. Sakurai and K. Akimoto	Univ.	SUBMODULES BY MULTI-STAGE EVAPORATIO N			
5	N. Terada	Kagoshima Univ.	Characterization of Electronic Structure at Interfaces and Grain Boundaries in CIGS-based Solar Cells	OPTRONICS, No.342. pp.126-130	無	2010
6	S. Niki, S.Ishizuka, H. Komaki, Y.Kamikawa-Sh imizu, S. Furue, S.W. Choi, K.Matsubara, H. Shibata, A. Yamada, H. Nakanishi, N. Terada, T. Sakurai and K. Akimoto	AIST, Tokyo Univ. Sci., Kagoshima Univ, Tsukuba Univ.	Critical issues for high-efficiency low-cost CIGS solar cells and modules	Proc. Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2010 35th IEEE, pp.863-865	有	2010
7	寺田 教男	鹿児島大 学	CIGS 太陽電池 の電子構造評 価	「CIGS 薄膜太陽電池 の最新技術」監修 中 田時夫（シーエムシー 出版）, pp.227-240	無	2010
8	寺田 教男	鹿児島大 学	バンドオフセ ット評価	「太陽電池の基礎と 応用」小長井 誠、山 口 真史、近藤 道雄 編著（培風館）, pp.166-168	無	2010
9	Y. Tanaka, A. Iyo, K. Tokiwa, T. Watanabe, A. Crisan, A. Sundaresan, and N. Terada	Kagoshima Univ., Tokyo Univ. Sci., AIST, Univ. Birmingham, JNCAS R	Topological Structure of the interband phase difference soliton in two band superconductivit y	Physica C vol.470, pp.1010-1012	有	2011
10	N. Terada, A. Kirihaara, T. Takahae, Y. Shiota, S. Niki, S. Ishizuka, H. Shibata, A.	Kagoshima Univ., AIST	CHARACTERI ZATION OF BAND ALIGNMENT AT BUFFER/ABSO	Technical Digest of 21 st International Photovoltaic Science and Engineering Conference, p.3B-3I-01	有	2011

	Yamada and K. Matsubara		RBER INTERFACES AND GRAIN BOUNDARIES IN CIGS-BASED SOLAR CELLS			
11	M. M. Islam, A. Uedono, S. Ishibashi, K. Tenjinbayashi, T. Sakurai, A. Yamada, S. Ishizuka, K. Matsubara, S. Niki, K. Akimoto	University of Tsukuba, AIST	Impact of Cu/III ratio on the near-surface defects in polycrystalline CuGaSe ₂ thin films	Appl. Phys. Lett.	有	2011
12	T. Sakurai, K. Taguchi, M. M. Islam, S. Ishizuka, A. Yamada, K. Matsubara, S. Niki, K. Akimoto	University of Tsukuba, AIST	Time-Resolved Microphotoluminescence Study of Cu(In,Ga)Se ₂	Jpn. J. Appl. Phys.	有	2011
13	T. Sakurai, M.M.Islam, H. Uehigashi, A. Yamada, S. Ishizuka, K. Matsubara, S. Niki, K. Akimoto	University of Tsukuba, AIST	Dependence of Se beam pressure on defect states in CIGS solar cells	Solar Energy Materials and Solar Cells	有	2011
14	M.M.Islam, T. Sakurai, S. Otagiri, S. Ishizuka, A. Yamada, K. Sakurai, K. Matsubara, S. Niki, K. Akimoto	University of Tsukuba, AIST	Determination of Cu(In,Ga) ₃ Se ₅ defect phase in CIGS material by Rietveld analysis	Solar Energy Materials and Solar Cells	有	2011
15	M. M. Islam, A. Yamada, T. Sakurai, M. Kubota, S. Ishizuka, K. Matsubara, S. Niki, and K. Akimoto	University of Tsukuba, AIST	Cu-dependent phase transition in polycrystalline CuGaSe ₂ thin films grown by three-stage process	J. Appl. Phys.	有	2011
16	M.M. Islam, A. Yamada, T. Sakurai, S. Ishizuka, K.	University of Tsukuba, AIST	Effect of Ga/Cu Ratio on Polycrystalline CuGaSe ₂ Thin	Appl. OptoElectronics	有	2011

	Matsubara, S. Niki, and K. Akimoto		Film Solar Cell			
17	M.M.Islam, S. Ishizuka, A. Yamada, K. Matsubara, S. Niki, T. Sakurai, K. Akimoto	University of Tsukuba, AIST	Thickness study of Al:ZnO film for application as a window layer in Cu(In _{1-x} Ga _x)S ₂ thin film solar cell	Appl. Surface Sci.	有	2011
18	Masanobu Izaki, Yusuke Yamane, Junji Sasano, Tsutomu Shinagawa, Mitsuteru Inoue	豊橋技術科学大学 大阪市立工業研究所	Direct Preparation of 1.35-eV-Bandgap CuO:S Film by Chemical Bath Deposition	Electrochem. Solid State Lett.	有	2011
19	伊崎昌伸, 笹野順司, 太田貴之, 斎藤尊正, 杉山真也, 本村賢次郎	豊橋技術科学大学	Cu(InGa)Se ₂ 層上に形成した半導体バッファ層の局所構造に関する研究	平成23年度SPring8重点産業利用報告書 (2011A)	無	2011
20	伊崎昌伸, 笹野順司, 草野雄也, 大畑達也, 太田貴之, 斎藤尊正, 杉山真也, 本村賢次郎, 牧剛志	豊橋技術科学大学	CIGS 太陽電池用バンドギャップ制御酸化化物半導体バッファ層の局所構造に関する研究	平成22年度SPring8重点産業利用報告書 (2010A)	無	2010
21	伊崎昌伸, 品川勉, 笹野順司, 草野雄也, 大畑達也	豊橋技術科学大学 大阪市立工業研究所	太陽電池用 0.95-2.1eV バンドギャップ酸化化物半導体光吸収薄膜の局所構造に関する研究	平成22年度SPring8重点産業利用報告書 (2010B)	無	2010
22	石塚尚吾 仁木栄	産業技術総合研究所	Challenges for Highly Efficient Flexible CIGS Submodules	Proceedings of the 25th EUPVSEC/5th WCPEC	有	2010
23	石塚尚吾 山田昭政 仁木栄	産業技術総合研究所	Monolithically integrated CIGS submodules fabricated on flexible substrates	Proceedings of the 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference	有	2010
24	石塚尚吾 山田昭政 仁木栄	産業技術総合研究所	Monolithically integrated flexible Cu(In,Ga)Se ₂ solar	SOLAR ENERGY MATERIALS AND SOLAR CELLS 94	有	2010

			cellsubmodules			
25	石塚尚吾 山田昭政 仁木 栄 他	産業技術 総合研究 所	Texture and morphology variations in (In,Ga) ₂ Se ₃ and Cu(In,Ga)Se ₂ thin films grown with various Se source conditions	Progress in Photovoltaics DOI: 10.1002/pip.1227	有	2010

C 反射式集光型太陽光発電システムの研究開発

1. 成果詳細

中間目標と達成状況を下表に示す。達成度は、耐久試験が達成見込みであるが、他の開発項目は全て達成することができた。

表 III-2-(ハ)-C-1 (1) 中間目標と達成状況

開発項目		平成24年度の中間目標	達成度／今後の課題
集光性能	■幾何学的集光倍率 ■集光効率	■ 約500倍以上 ■ 約70%以上	■ 約800倍 ◎ ■ 約80% ◎
発電コスト	■設備コスト ■発電コスト	■ 約4億円/MW ■ 約23円/kWh	■ 約4億円/MW ○ 集光モジュール:2.2億円/MW (内CPVモジュール:0.15億円/MW) 構造体等:1.1億円/MW ハワコン:0.2億円/MW 現地工事:0.5億円/MW ■ 約23円/kWh ○
耐久性	■国内実証試験	■ 半年間連続運転	■ 0.5ヶ月間連続運転 △ ／残り期間の連続運転

◎:大幅達成、○:達成、△:達成見込み、×:未達

各開発項目の開発結果を、下記に述べる。

(1) 集光性能

ミラーを使った反射による集光の光学設計は、Light Prescription Innovation (LPI) 及び長岡技術科学大学が担当した。幾何学的集光倍率500倍以上、集光効率70%以上、集光の許容角度 ± 1 度以上を条件として開発を進め、幾何学的集光倍率800倍、集光効率80%、許容角度 ± 1.3 度を達成した。

LPIの一次集光器(POE)と二次集光器(SOE)の形状を下図に示す。

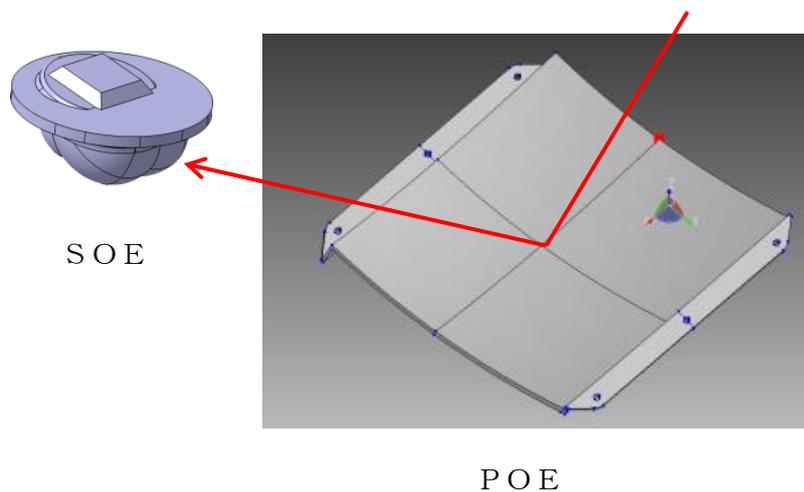


図 III-2-(ハ)-C-1 (1) POEとSOEの形状

屋外試験の様子を下図に示す。

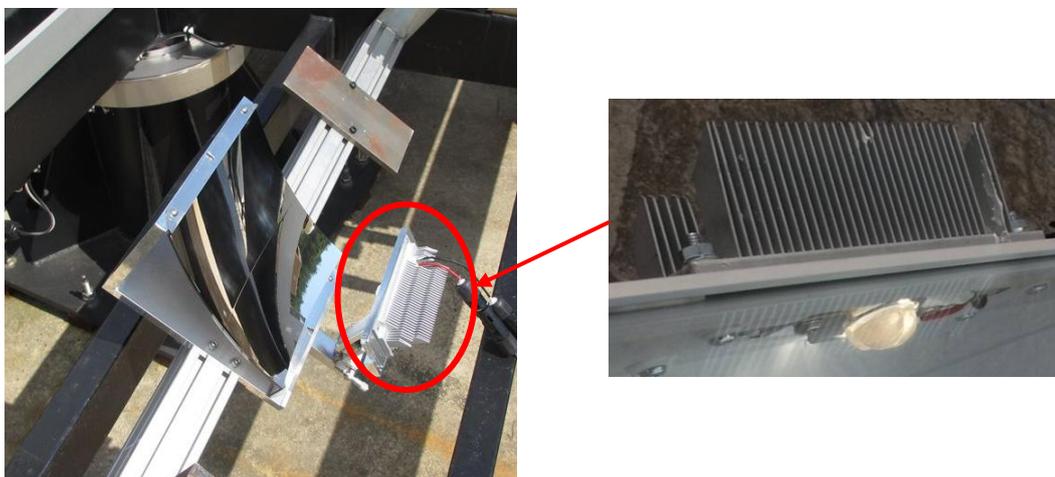


図 III-2-(ハ)-C-1 (2) 屋外試験

(2) 放熱性能

コンピュータ解析と実験により基礎データを求めて、屋外試験によりCPV裏面温度を計測した結果、外気温40℃換算で96℃を達成した。

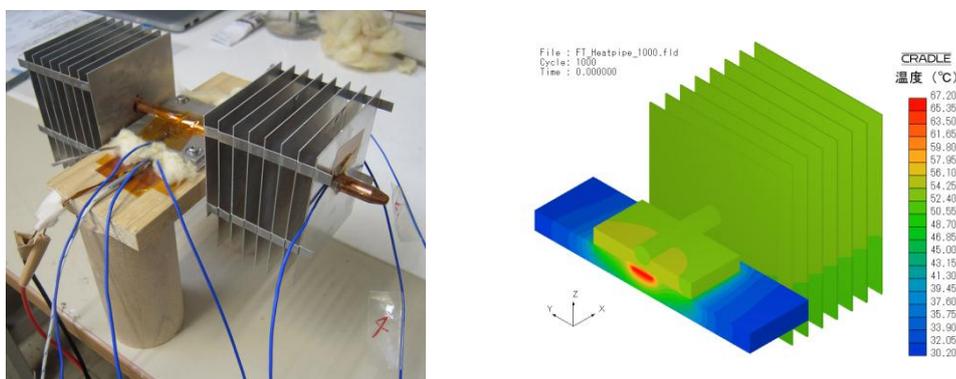


図 III-2-(ハ)-C-1 (3) コンピュータ解析と基礎実験

(3) 発電コスト

1) 設備コスト

構造体、駆動機構、電気・制御、現場工事を三井造船が担当し、ハウジング、一次集光器、CPVモジュールの集光モジュールを自動車部品メーカーが担当し、二次集光器を岡本硝子が担当して、製造コストを積算した結果、中間目標の設備コスト約4億円/MWを達成できた。

最終目標の設備コスト約3.3億円/MWは、米国での実証試験（定格出力合計100kW）向けに、定格出力10kW機を10台生産する過程において、量産効果を確認し、正確な製造コストを把握することにより、達成することができると考えている。

2) 発電コスト

米国アリゾナ州フェニックス（DNI：2,500kWh/m²/年）に設置すると、年間の発電量は、シミュレーション結果1,757MWh/年と推定され、設備コスト4億円/MWの場合の発電コストは23円/kWhに、設備コスト3.3億円/MWの場合の発電コストは19円/kWhになり、中間目標及び最終目標を達成できた。

(4) 耐久性

岡山県玉野市に実証試験機を設置し、7月中から実証試験を開始し、現在も実験を継続している。実証試験機を下図に示す。当初は、実験担当者が立ち会っていたが、現在は無人運転を行っており、部品が太陽熱で変形する等の不具合の発生もなく、変換効率も安定しており、順調に実証試験が進んでいる。来年1月ごろには、中間目標値である半年間の連続運転を達成できる見込みである。



図 III-2-(ハ)-C-1 (4) 実証試験機

2. 実用化・事業化見通し

成果の最終目標の達成可能性を下表に示す。

表 III-2-(ハ)-C-2 (1) 成果の最終目標の達成可能性

研究課題	最終目標	達成見通し
平成26(2014)年度末 ①設備コスト ②発電コスト ③安定稼働	<ul style="list-style-type: none"> ■ 3.3億円/MW 集光モジュール: 1.8 (内CPVモジュール0.12) 構造体: 0.9 パワコン: 0.2 現地工事: 0.4 ■ 19円/kWh ■ 平均発電効率30% を1年間程度連続して 継続 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 自動車部品メーカー(自動車のヘッドライトの製造技術の応用)と組むことにより下記を適用し、4億円/MWの目途が立った。 <ul style="list-style-type: none"> ①樹脂製ハウジングの採用 ②既存設備利用による新規投資の抑制 ③組立ロボットの採用 等 ■ 米国向け実証試験機の製作を通して、量産効果等を検証することにより、3.3億円/MWが達成可能 ■ 米国フェニックス(DNI 2,500 kWh/m²/年)での年間発電量1,757MWh/年、設備コスト3.3億円/MWで、19円/kWh達成可能 ■ 今年度中に集光状態を最適化する手法を確立し、発電効率を向上し、米国での実証試験で実証
平成29(2017)年度末 ①設備コスト ②発電コスト	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2.7億円/MW ■ 14円/kWh 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 事業化後の量産効果 ■ NEDO目標の変換効率45%のセルの採用

現時点の設備コスト4億円/MWは、世界の先頭集団(AMONIX, SolFocus, Soitec等)の現時点の設備コスト3.3億円/MW程度(コンサルタントの調査結果)より高いが、米国での実証試験(定格出力合計100kW)向けに、定格出力10kW機を10台生産する過程において、量産効果を確認し、正確な製造コストを把握することにより、最終目標の3.3億円/MWを達成できると考えている。

世界の先頭集団は、ペDESTALタイプの構造を採用しているが、本事業は、カルーセルタイプの構造を採用した。カルーセルタイプの特長の一つに、強風が吹いても揺れが小さく集光効率が落ち難いことがある。集光型太陽光発電の最も有望市場である米国サンベルト地帯は、強風の日が多くあると聞いている。従って、カルーセルタイプは、ペDESTALタイプよりも、発電時間が多くなり、同じ設備コストならば、発電コストが安くなるはず

である。

しかし、PVの設備コストは今年になって大幅に下落し、世界の先頭集団は、懸命なコストダウンを行っている。本事業が、最終目標の設備コスト3.3億円/MW、発電コスト19円/MWh（米国アリゾナ州フェニックス）を達成しても、PVに対抗できないが、次の目標である設備コスト2.7億円/MW、発電コスト14円/MWh（米国アリゾナ州フェニックス）を達成すれば、PVは高温地帯では発電効率が下がること、土地の使用面積が多いことにより、PVと棲み分けができると考えている。

3. 波及効果

(1) 産業分野

1) 関連産業に新たなビジネス提供

自動車部品、射出成型、金属蒸着、駆動機器メーカー等が、再生可能エネルギー分野へ進出することができる。

2) 集光型太陽光セルメーカー

現在よりもっと集光倍率の高い（約1800倍）集光型太陽光セルの開発を促す可能性がある。

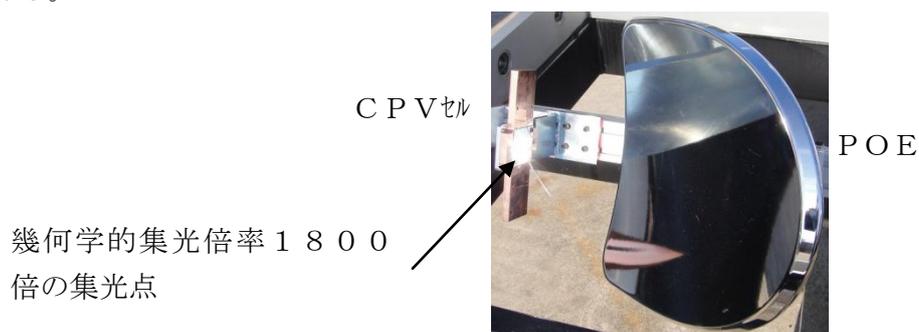


図 III-2-(ハ)-C-3 (1) 幾何学的集光倍率1800倍の集光

3) 省エネ推進

集光型太陽光発電装置の設置できないビルの屋上、駐車場の屋上等に設置し、省エネを推進し、日陰を提供する。

(2) 研究開発や人材育成

長岡技術科学大学機械系山田准教授の研究室は、

- ①世界トップレベルのLPI社の設計に匹敵/凌駕する最適化手法を構築中であり、
- ②光学設計分野の優れた人材を育成している。

4. 今後の展開

(1) ビジネスモデル

最初の市場は、米国サンベルト地帯、特にカリフォルニア州を想定している。カリフォルニアで事業展開するためのビジネスモデルを下図に示す。

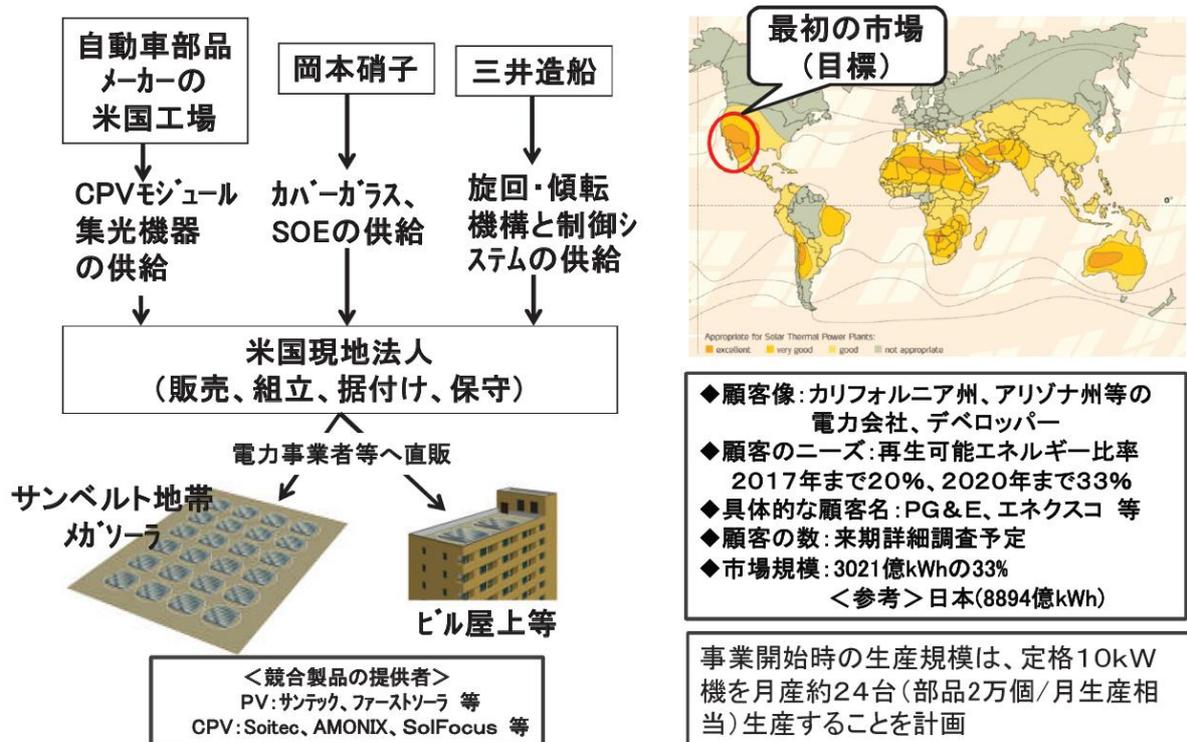


図 III-2-(ハ)-C-4 (1) カリフォルニアでのビジネスモデル

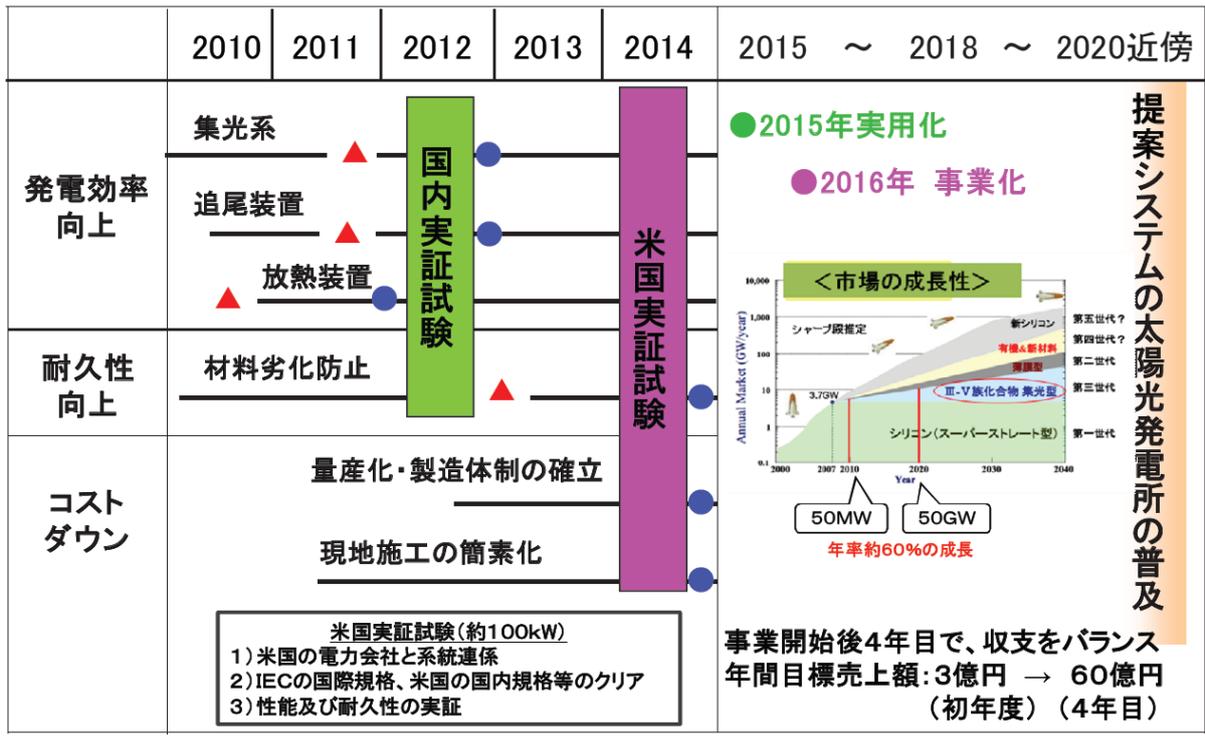
カリフォルニア州、再生可能エネルギーの比率を、2017年までに20%、2020年までに33%まで引き上げることを決定し、カリフォルニア州の需要電力量は、3021億kWhで、日本の8894億kWhと比べて、十分な市場規模である。

カリフォルニア州の市場に参入するために、米国に現地法人を設立する。事業開始時の生産規模は、既存の生産設備を使って量産効果が出せる最小の生産量である部品生産量2万個/月、つまり、定格10kW機を月産24台とする。

(2) 今後の展開

2015年に実用化し、2016年に事業化するために、今年度の国内実証試験に続いて、2014年に米国カリフォルニア州で定格出力100kW程度の実証試験を行うことを計画している。

米国の実証試験で、性能及び耐久性を実証し、更に米国の電力会社と系統連係を行い、国際規格及び米国規格をクリアする。今後の展開を下図に示す。



▲ : 基本原理確認 ● : 基本技術確立

図 III-2-(ハ)-C-4 (2) 今後の展開

5. 特許論文リスト

採択されて以降、特許の出願、論文の発表は行っていないが、現時点でも特許の出願、論文のテーマは持っている。

特許の出願については、POEを精度良く組み立てる方法や、その精度を効率的に検査する方法等、ノウハウの属する事項が多いので、権利化の方法を検討している。

論文の発表については、実証試験結果がまとまり次第、数件の論文を発表する予定である。知的財産権、成果の普及を下表に示す。

表 III-2-(ハ)-C-5 (1) 知的財産権、成果の普及

	H21 (2009)	H22 (2010)	H23 (2011)	H24 (2012)	H25 (2013)	H26 (2014)	計
特許出願(うち外国出願)							0件
論文(査読付き)	ノウハウに属する部分が多く、権利化の範囲について検討中、下記が主な候補 ・SOEへのARコート ・POE組付け方法 ・POE組付け精度検査方法						0件
研究発表・講演							0件
受賞実績							実証試験結果が出てから、積極的に論文や新聞・雑誌等へ発表する予定
新聞・雑誌等への掲載		2	2				4件
展示会への出展							0件

以上

(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。

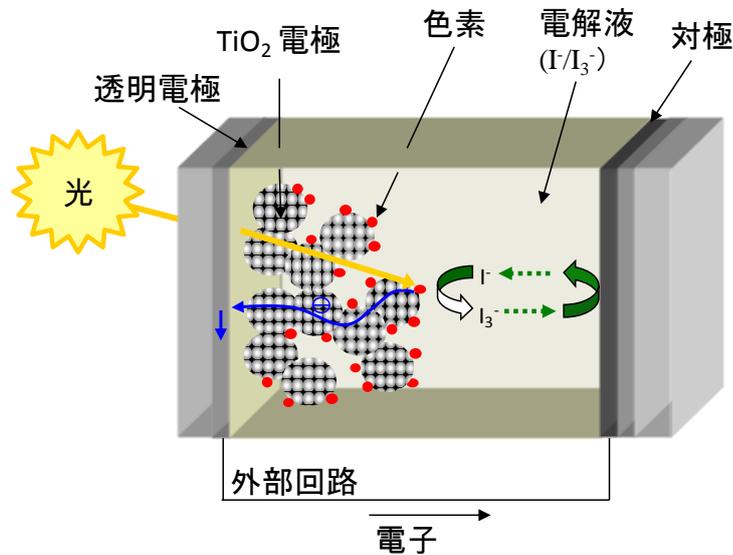
そこで、これら“三層”に注目した研究開発体制、具体的には三つの研究グループを構成する。まず、“三層”それぞれの部材において高性能材料を開発する“材料開発グループ”、そして、“三層”で起こる様々な光誘起反応（電子注入、再結合等）や材料の劣化機構を解析する“メカニズム解析グループ”そして、得られる成果を統合し高効率、高耐久性セルおよびモジュールを開発する“セル・モジュール開発グループ”である。これらの研究開発グループが結集し、お互いの研究成果のフィードバックを通して研究開発を加速し、目標の達成を実現する。

(1)-1 高効率化技術（セル）／シングルセル

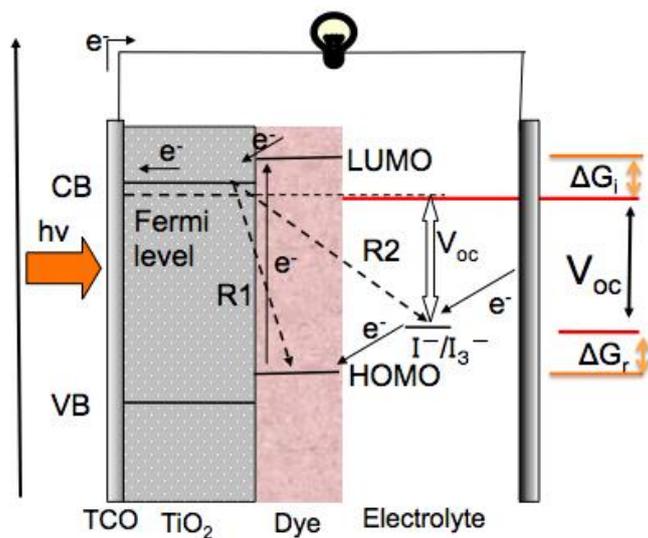
① 色素増感太陽電池の高効率化の指針

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



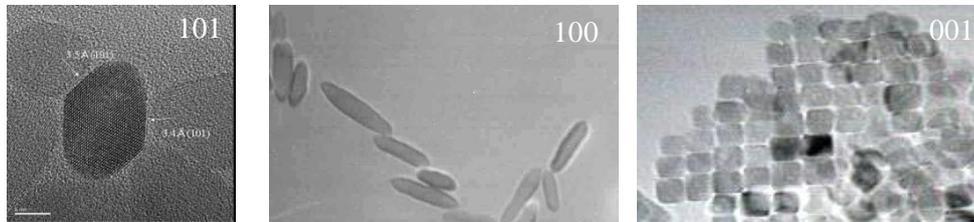
図III-2-(ニ)-A-1(2) 色素増感太陽電池のエネルギーダイアグラム

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。

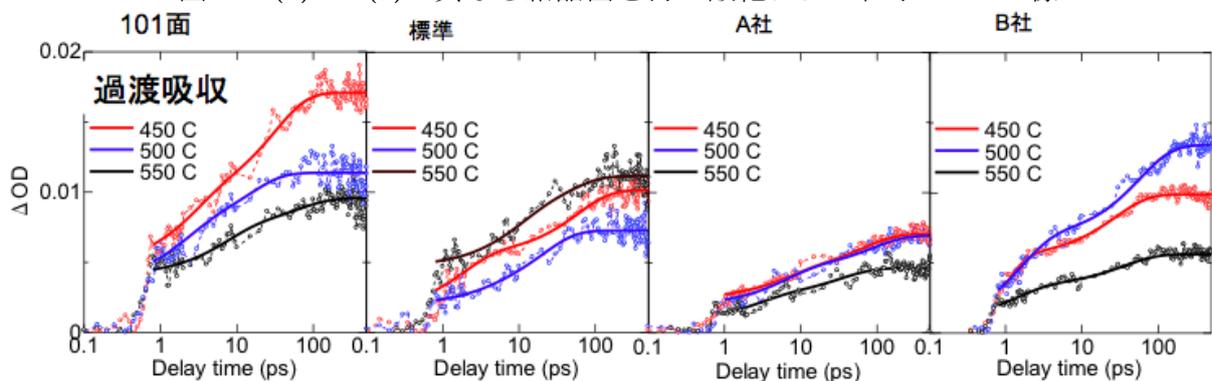
- 1 電子注入効率の高い酸化チタンの開発
- 2 電荷再結合を抑制する色素の開発
- 3 還元し易い色素の開発
- 4 再結合を抑制し、色素を還元し易いレドックス対の開発
- 5 長波長化／高吸収係数色素の開発（ ΔG 低減に伴う周辺技術）

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)

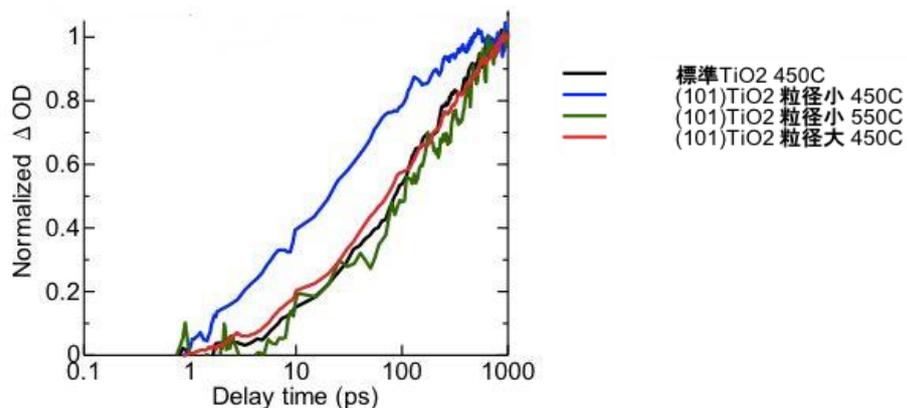
電子注入に必要な ΔG として約 0.2eV 必要な理由として、通常の酸化チタン粒子の表面にさまざまな結晶面が露出していることが原因として考えられる。そこで異なる結晶面が選択的に露出した酸化チタン粒子を合成し、その電子注入速度を測定した。なお、電極は異なる酸化チタン粒子を異なる焼成温度を用いて作製した。



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



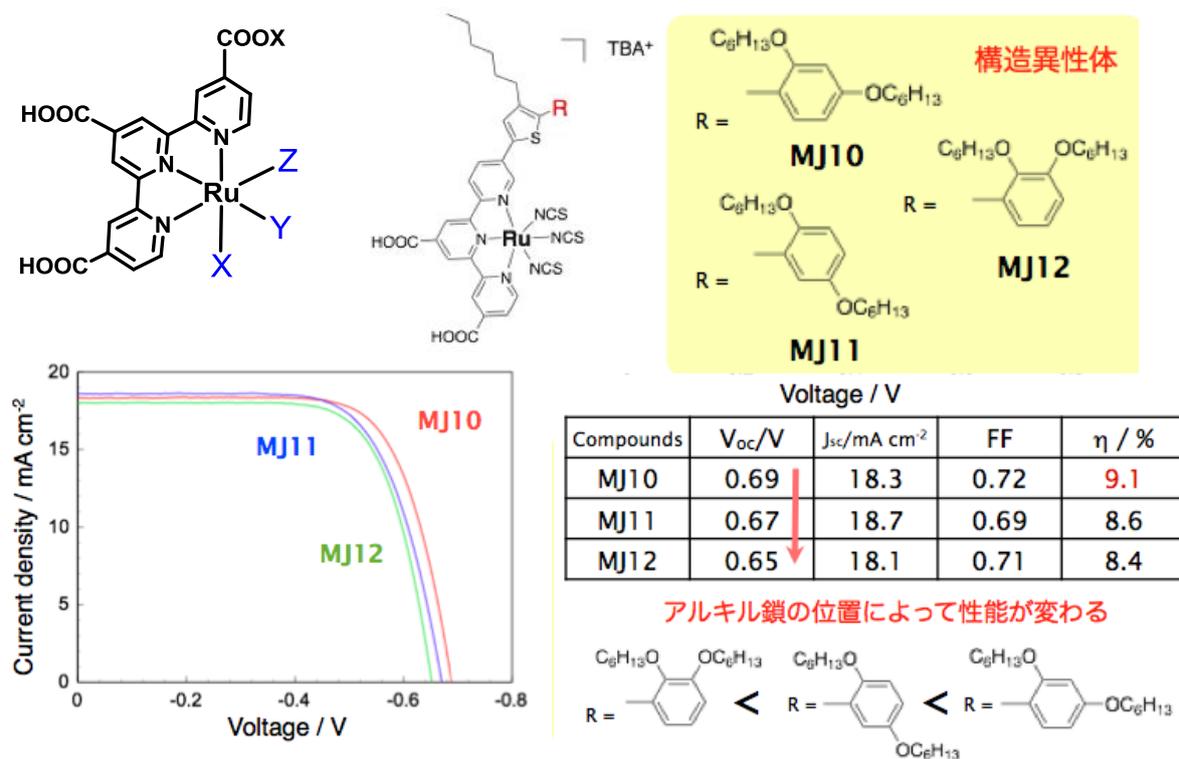
図III-2-(ニ)-A-1(5) 色素から酸化チタン(101)面への注入過程 (規格化)

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。

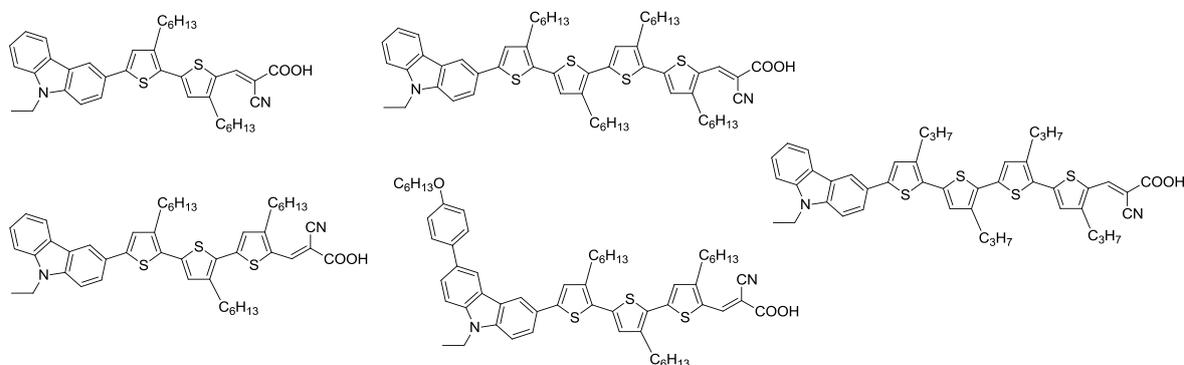
①-2 電荷再結合を抑制する色素の開発 (信州大学)

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

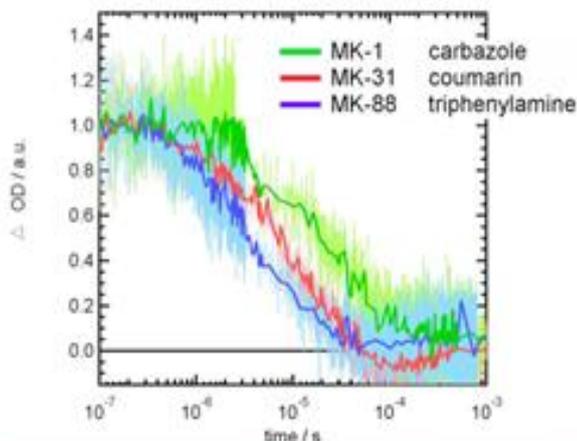


図III-2(-)-A-1(7) 様々な位置にアルキル鎖を持つ新規カルバゾール系有機色素

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

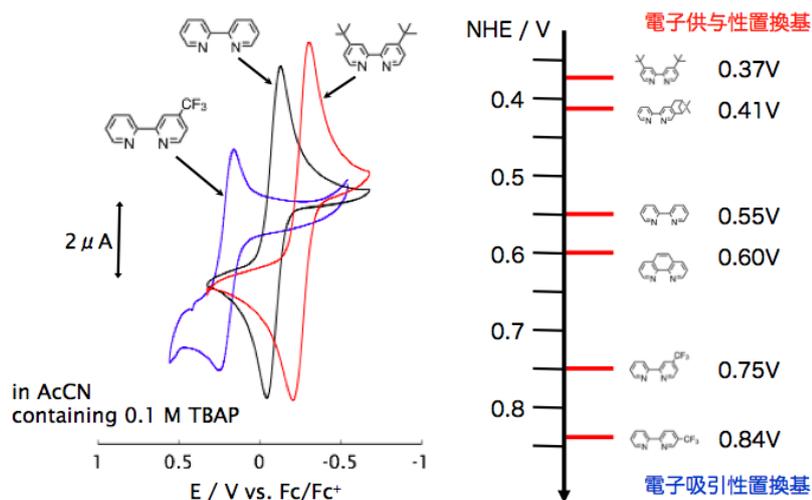
HOMO / V (vs NHE) : 1.0

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。

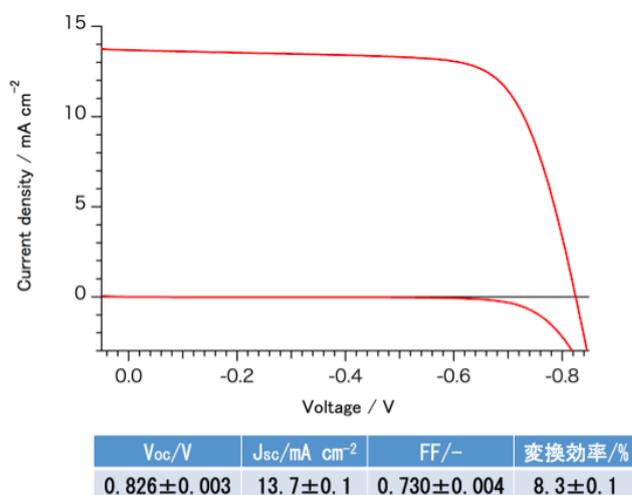
①-4 再結合を抑制し、色素を還元し易いレドックス対の開発（信州大学、メルク株式会社）

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

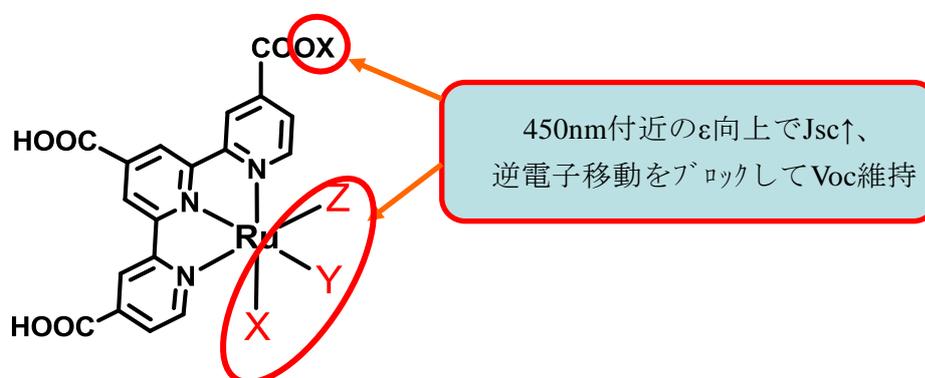
また、これらのコバルト錯体レドックス対と図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(7)に示されるような有機色素を組み合わせてセルを作製したところ、最高効率として 8.3%、開放電圧は 0.83V の値が得られた (図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(10))



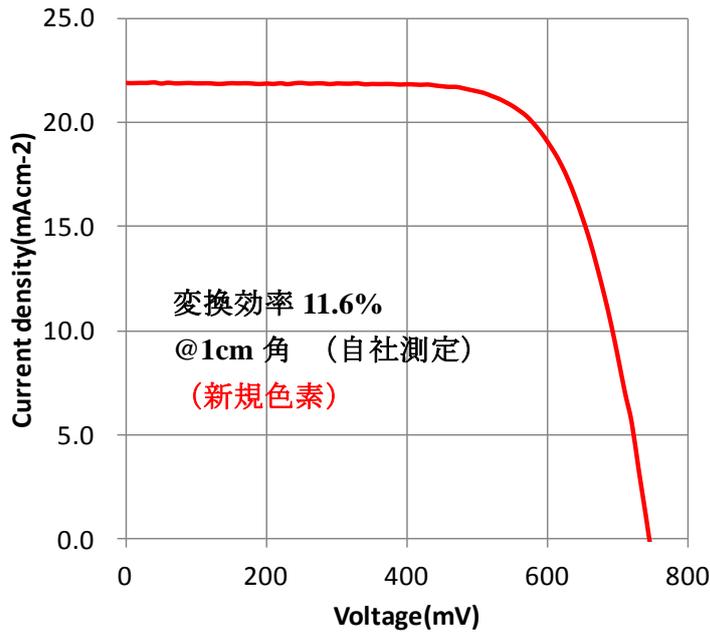
図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(10)有機色素とコバルト錯体レドックス対を用いた太陽電池の IV 特性

- 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)

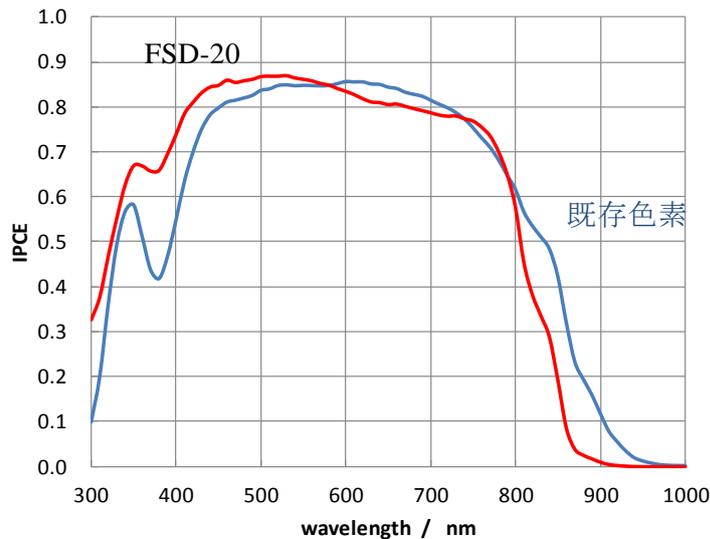
IPCE が 900nm まで長波で、これまで最も高い効率を示している Black Dye は、400nm~600nm の IPCE がピピリジン系の色素 N719 などと比べると低い、この部分のモル吸光係数を高めることで、Jsc を向上させることができると考えた。この観点で新たに設計・合成したターピリジン Ru 色素 FSD-20 は、Black Dye と同等以上の変換効率を示すことがわかった。Ru 色素 FSD-20 を用いて、①-6 セル化技術を活用したセルの IV 特性と IPCE 特性を図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(12)に示す。



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



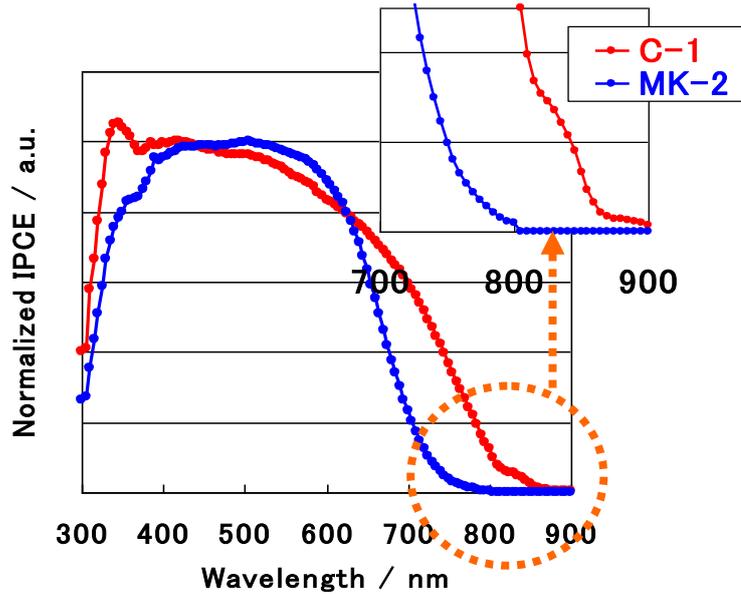
(b) IPCE 特性

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。

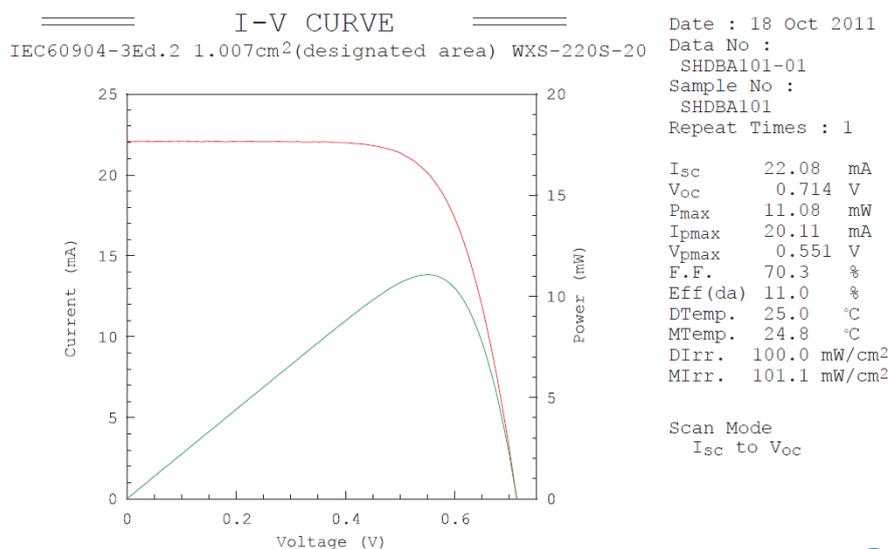
その結果、これまでで最も波長の長かったベンチマークの有機色素 MK-2 よりも長波長化する C-1 の合成に成功した。C-1 は、ベンチマークの有機色素 MK-2(800nm)よりも IPCE の長波端が長波長化 (880nm)することが分かった。現在、Co レドックスとの組み合わせでも機能する構造設計を取り入れ、Jsc、Voc のどちらも向上させる設計を探索中。これにより、大幅効率向上を狙う。



図III-2-(二)-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)

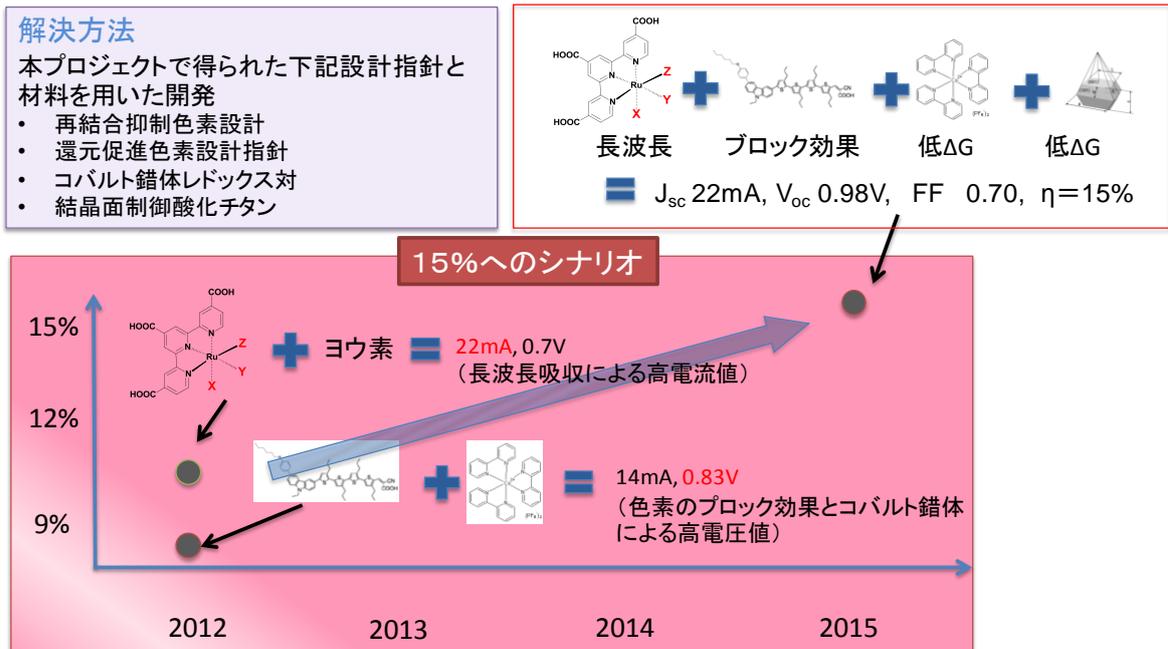
色素増感太陽電池は、酸化チタン、色素、電解液による三層界面の制御が重要であり、各材料設計指針に基づき設計された材料の能力を十分に引き出すためには、各界面の制御の適正化が必要不可欠である。界面の基礎となる酸化チタンの形成は、(1)-2 モジュール化技術による酸化チタン基板均一形成技術を活用し、各色素における様々な吸着条件を検討、電解質組成の検討を行うことにより、既存色素 (Black Dye) を用いた 1cm 角セルにおいて、中間目標である変換効率 11.0% (AIST 測定) を達成することができた。



図III-2-(二)-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）

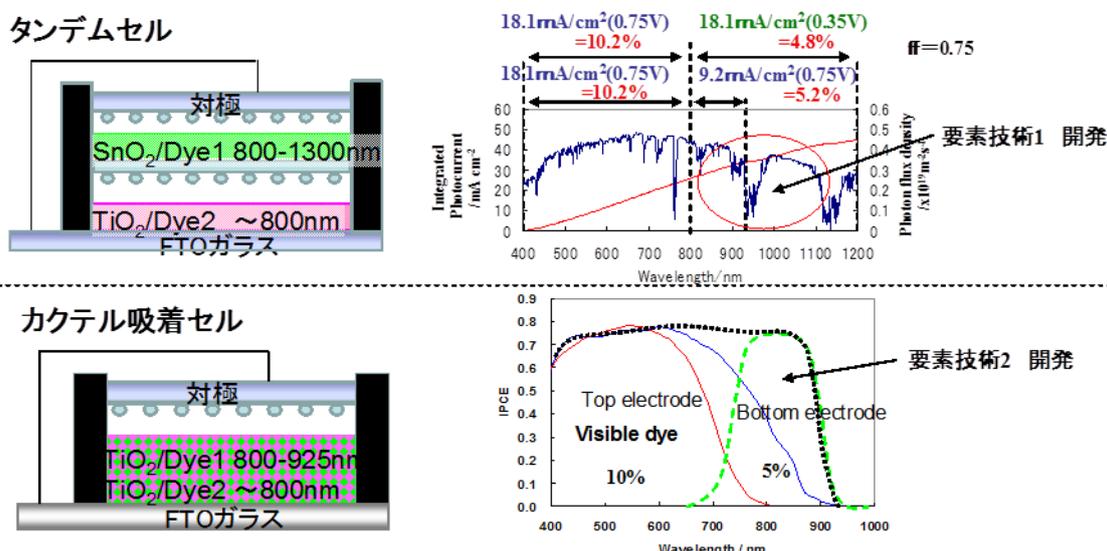
■ 研究目標

<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。さらにそれをを用い、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

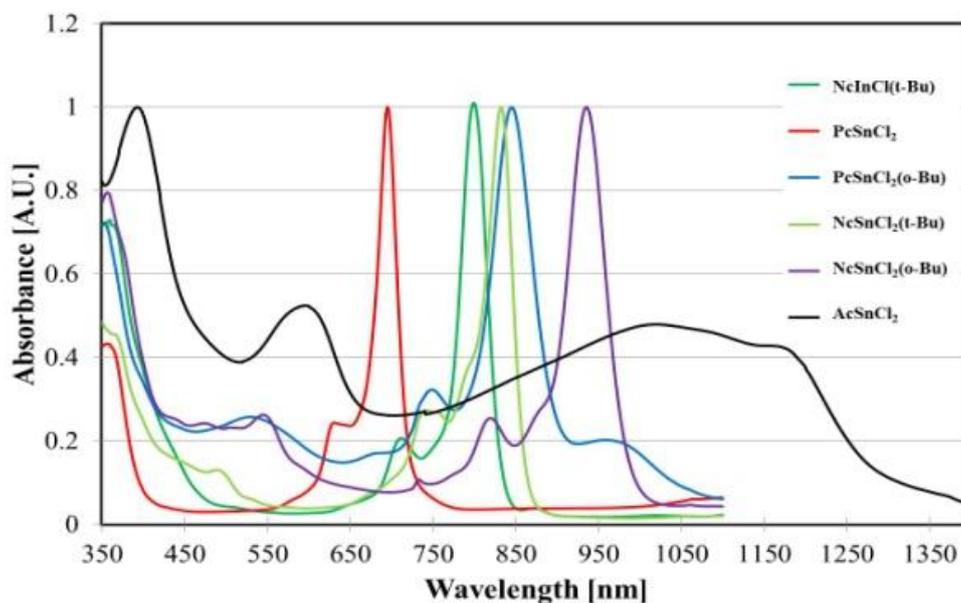
<中間目標 達成度：達成可能>

- ・ 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。

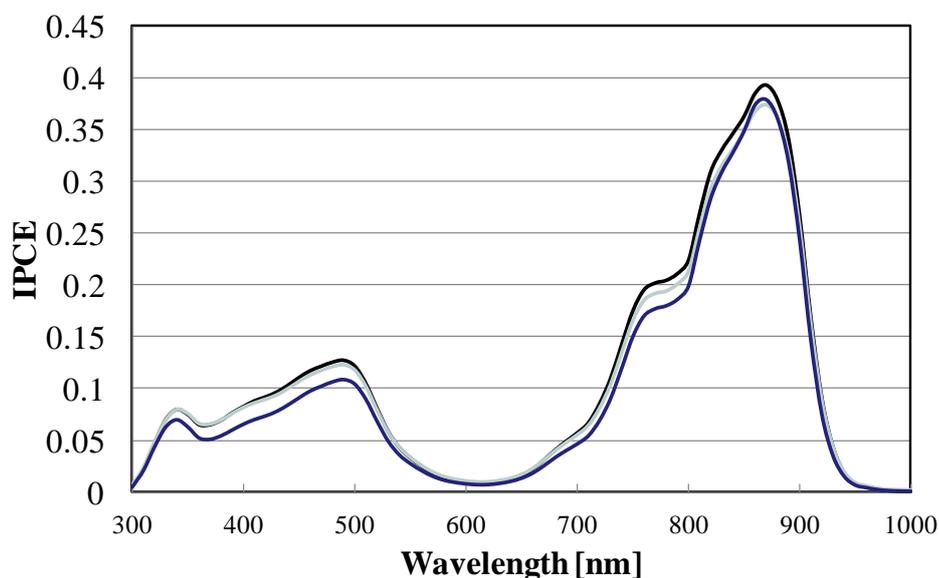
■ 成果の意義

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。

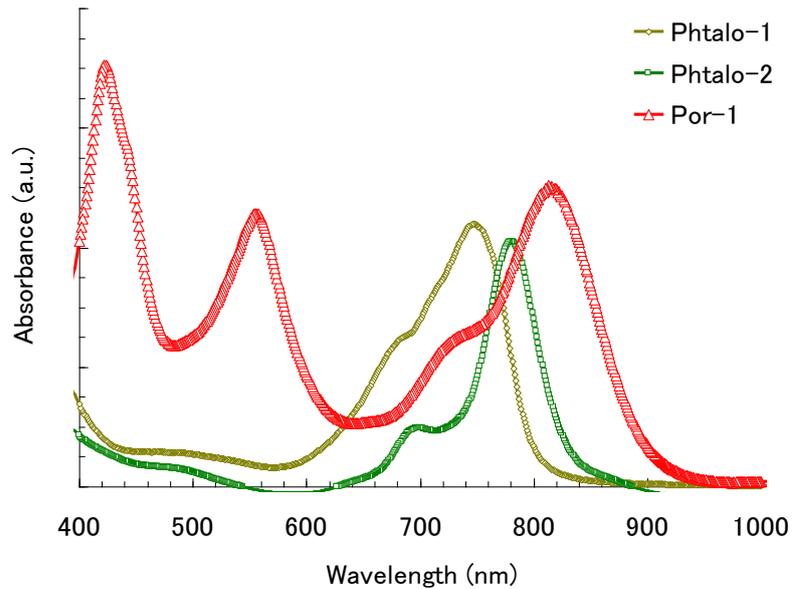


図 III-2-(ニ)-A-1(19) 耐久性を有する新フタロシアニン系、新ポリフィリン系色素の吸収スペクトル

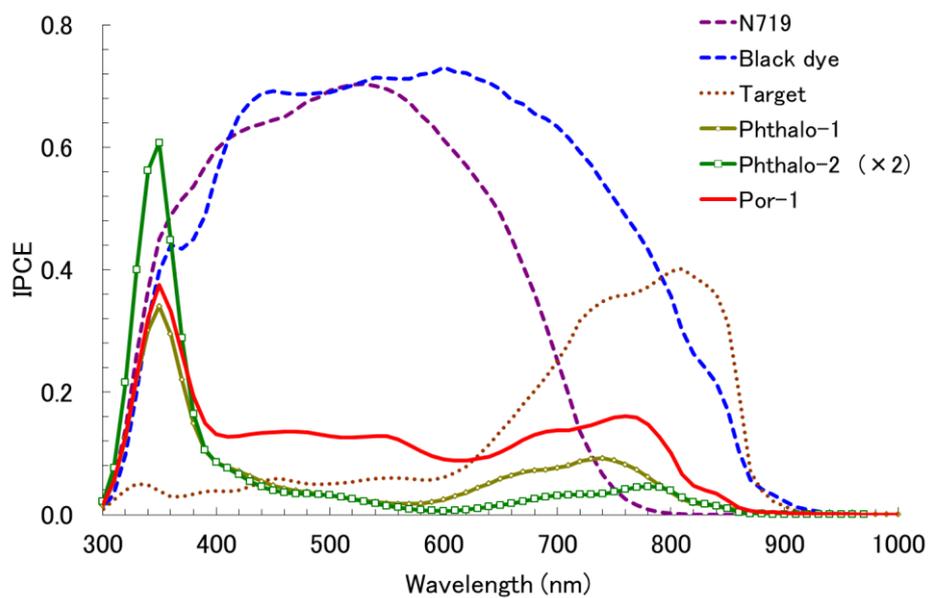
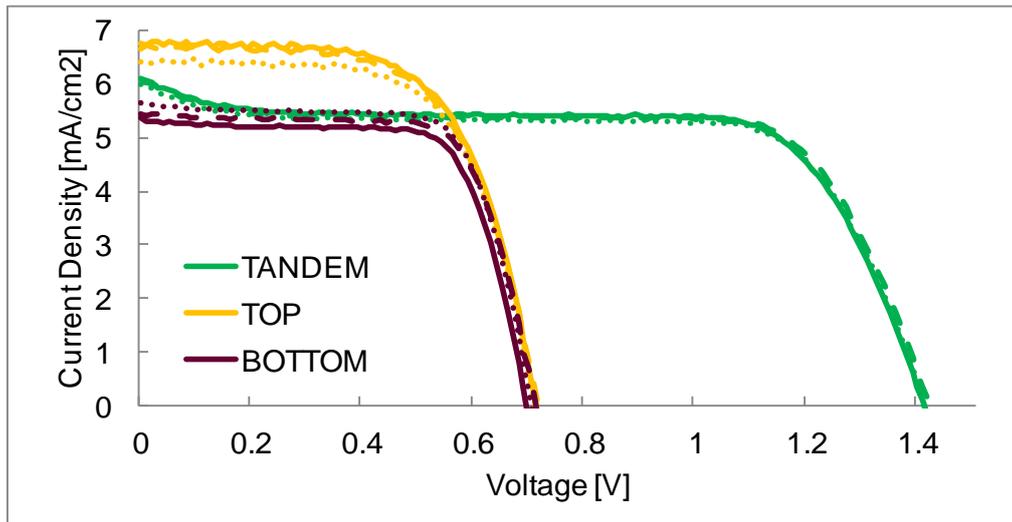


図 III-2-(ニ)-A-1(20) 耐久性を有する新フタロシアニン系、ポリフィリン系色素を用いた IPCE 曲線

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。



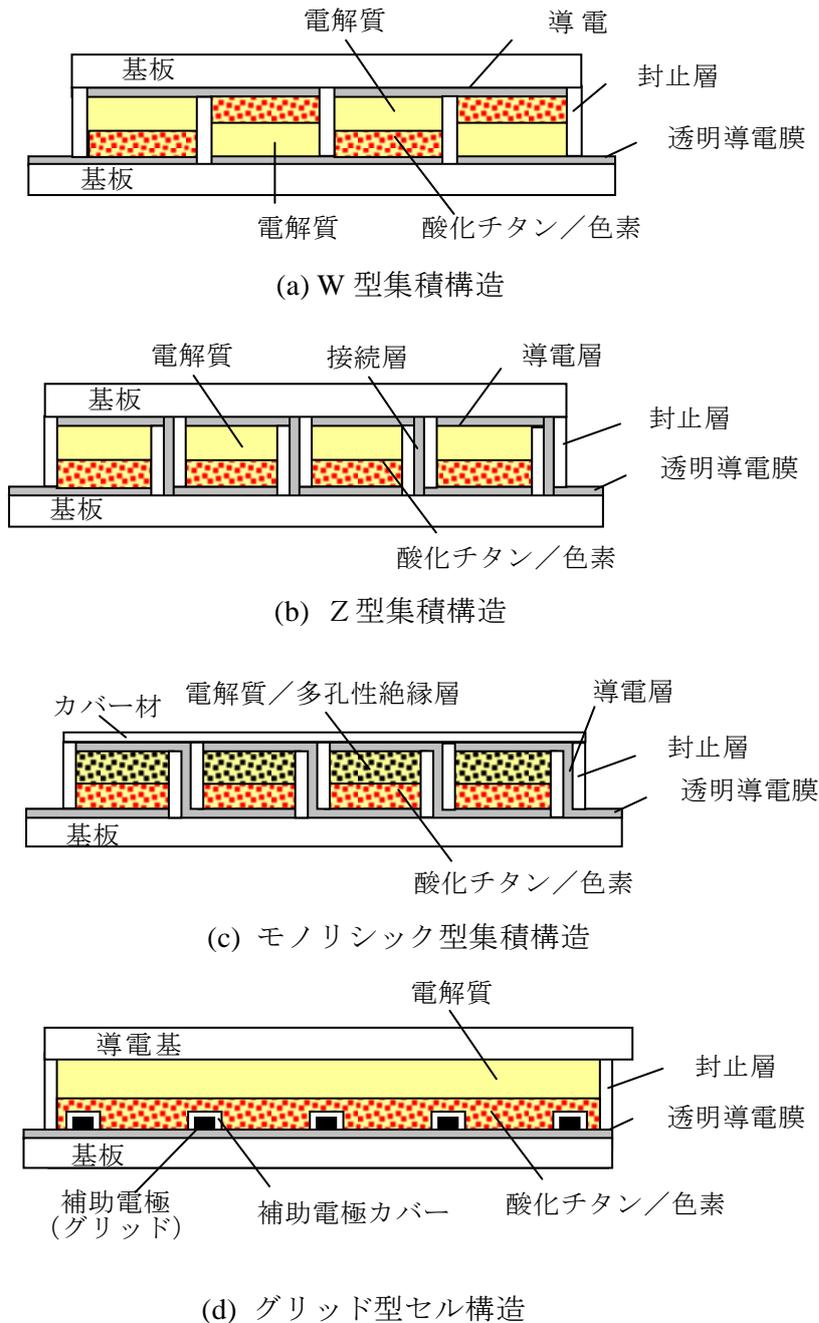
図III-2-(ニ)-A-1(21) タンデムセルの性能

(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

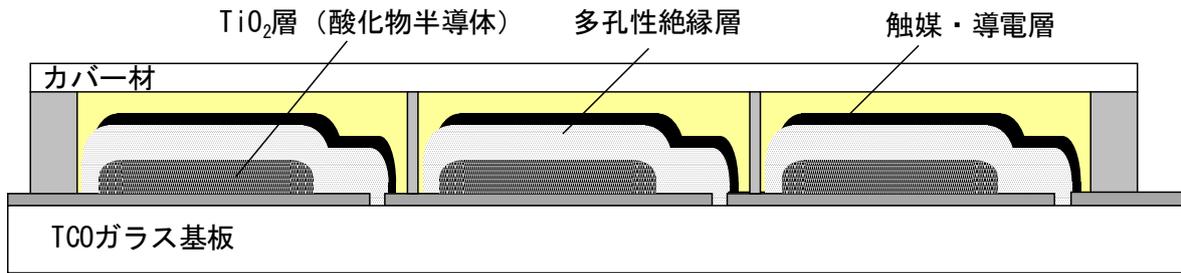
図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(22) (d)に示す構造はグリッド型構造と言われ、集積構造ではなく、ユニットセル構造である。この構造は、TCO上に酸化チタンなどを大きく形成するため、発電した電子を取り出すときに、TCO電極の抵抗が大きく影響する。そのため、銀などで補助電極（グリッド電極）を形成し抵抗低減を行っている。ただし、色素増感電池ではヨウ素系の電解液を使用するため、電極腐食防止のためカバー材を形成する必要がある。

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。

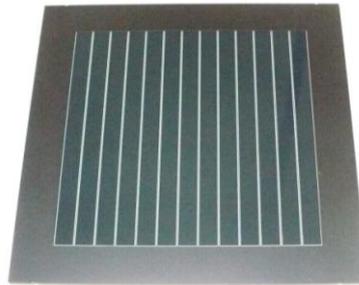
表Ⅲ-2-(ニ)-A-1(1) モジュール比較

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 TiO_2 電極層に積層するだけで短絡電流密度 (J_{sc}) 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、 J_{sc} 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。

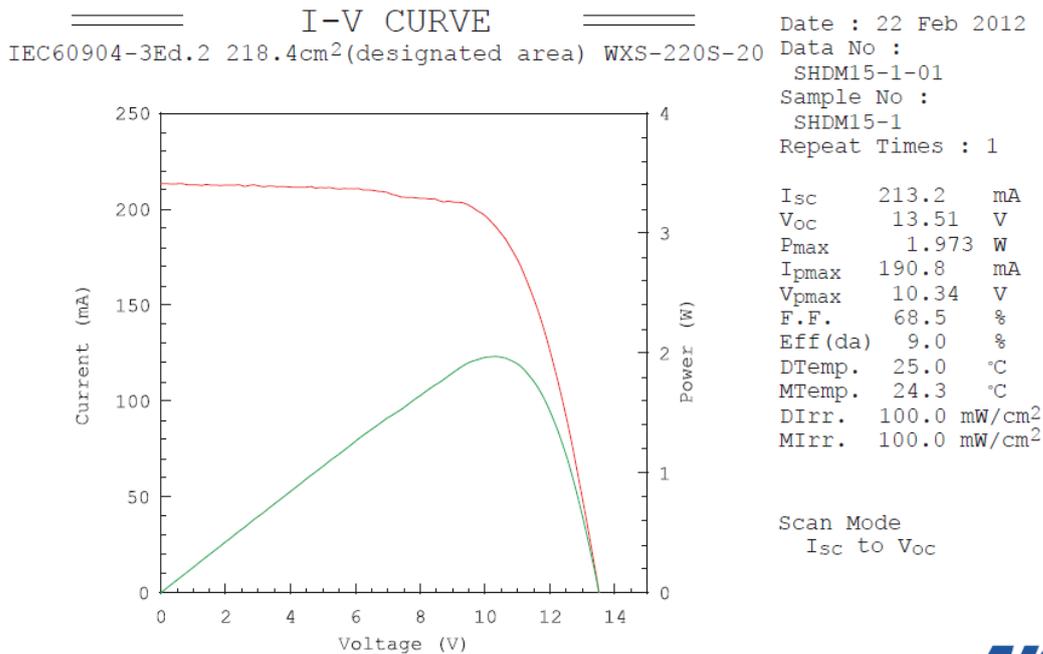
そこで、色素吸着量の減少による J_{sc} 低下を改善すべく、多孔性絶縁層の検討を行った。その結果、表Ⅲ-2-(ニ)-A-1(2)に示すように J_{sc} の低下を約2%まで低減することに成功した。また、多孔性絶縁層内を移動するイオンの拡散抵抗も低減したため、FF の改善も可能となった。

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
(V_{oc} : 開放電圧、Eff.: 変換効率)

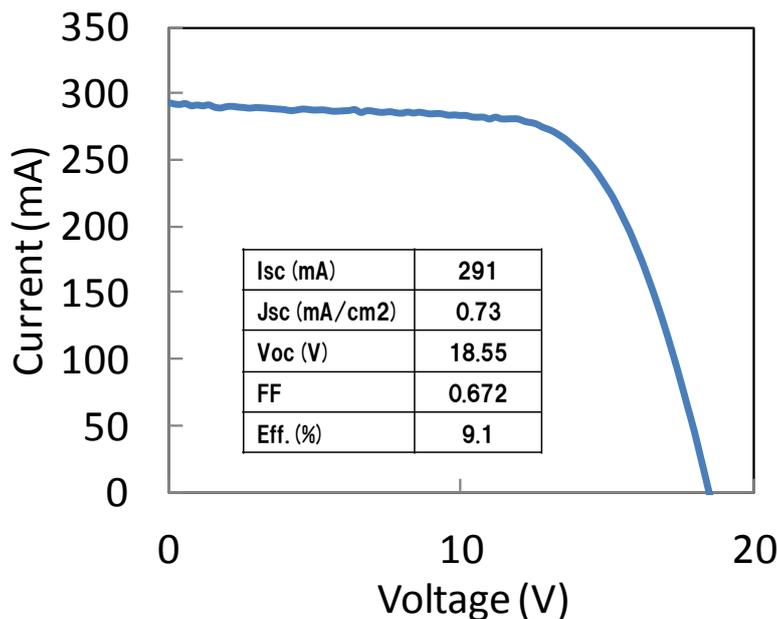
	$J_{sc}(\text{mA}/\text{cm}^2)$	$V_{oc}(\text{V})$	FF	Eff.(%)
サンドイッチセル (ref.)	20.81	0.673	0.660	9.25
モノリシックセル (改良後)	20.37	0.372	0.657	9.00

上記多孔性絶縁層薄膜化による J_{sc} 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



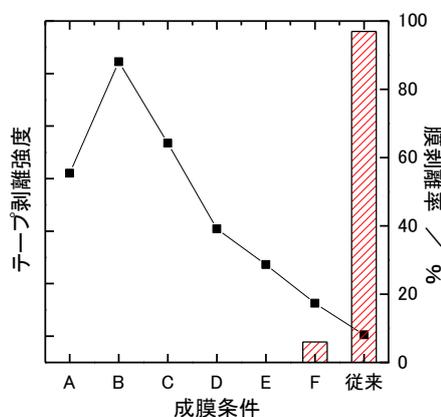
図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(26) 20cm 角モノリシックサブモジュール IV 特性

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

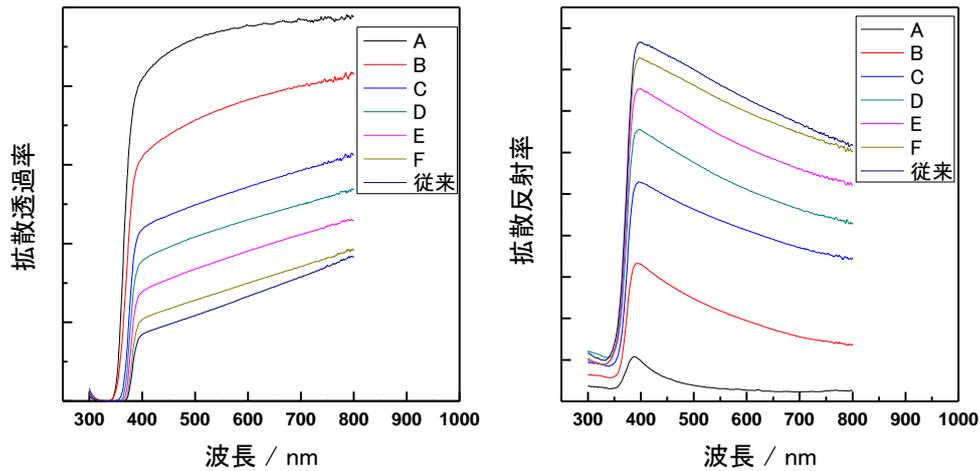
モジュール材料は、太陽電池の電極構造によって必要となる材料が異なる。プロジェクトコンソーシアム内での開発の方向性を統一し、検討を開始した。低コストの色素増感太陽電池モジュールを開発する上でのコンソーシアム内での目指すべきモジュール構造をTCO ガラス基板1枚のみ利用したモノリシック型とした。決定された構造での問題点抽出の為に、従来のセパレート型セルの負極に対し、絶縁性多孔質膜の積層印刷した結果、酸化物半導体層に膜剥離が生じた。これは、光閉じ込め効果を高める為に、光散乱性の高い粒子径の大きな粒子を利用しているが、本粒子を含むペーストを印刷焼成し、成膜されたのみでは粒子接合力が弱いことが起因していることが分かった。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

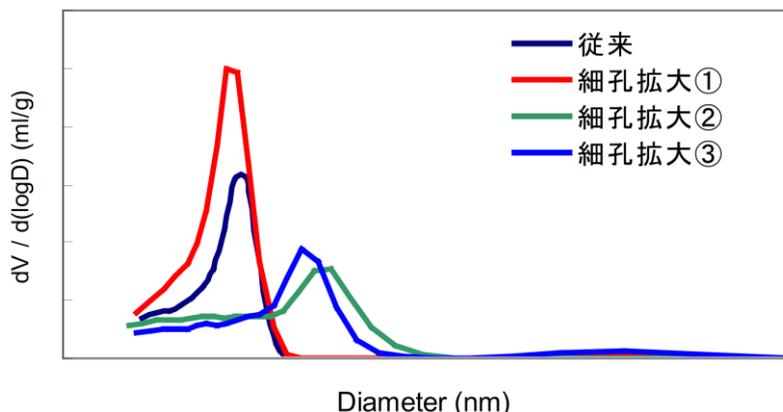
TiO ₂ 積層条件	成膜剥離率	TiO ₂ 積層/INS積層膜			
		J_{sc}	V_{oc}	FF	Eff
A	0%	0.82	1.01	1.00	0.83
B	0%	0.91	1.00	1.01	0.91
C	0%	0.94	1.01	1.00	0.96
D	0%	0.96	1.03	0.99	0.97
E	0%	0.95	1.02	1.00	0.97
F	6%	0.96	1.00	1.01	0.97
従来	97%	-	-	-	-

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。

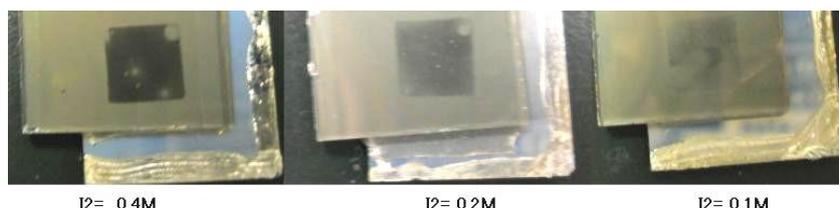
表Ⅲ-2-(ニ)-A-1(5) 触媒材料の耐熱評価

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

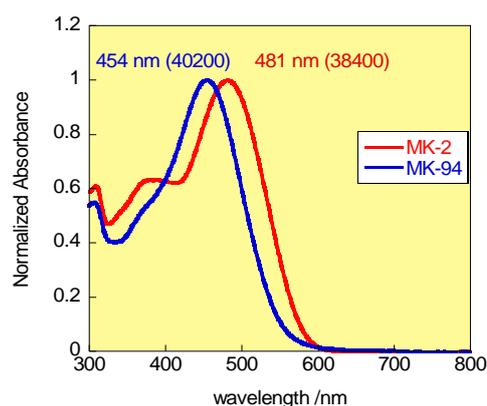
① 信頼性向上技術（単セル基礎技術）

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）

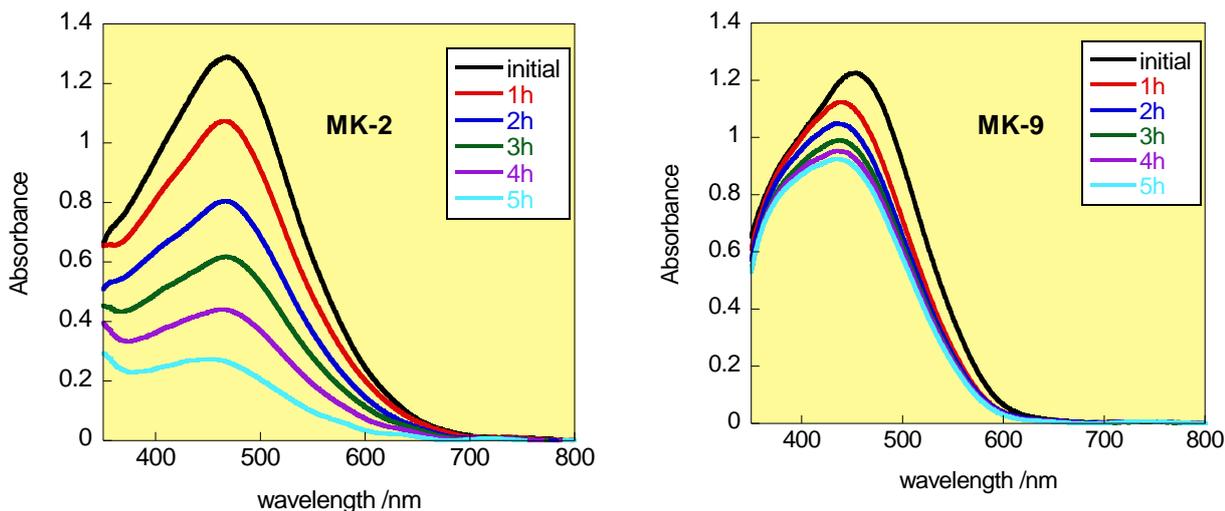
酸化チタンとの吸着を強固にし、85℃以上の高温条件で酸化チタンからの脱着しにくい有機色素の開発を目的とし、吸着基としてリン酸基を持つカルバゾール系有機色素の合成を行ってきた。

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。

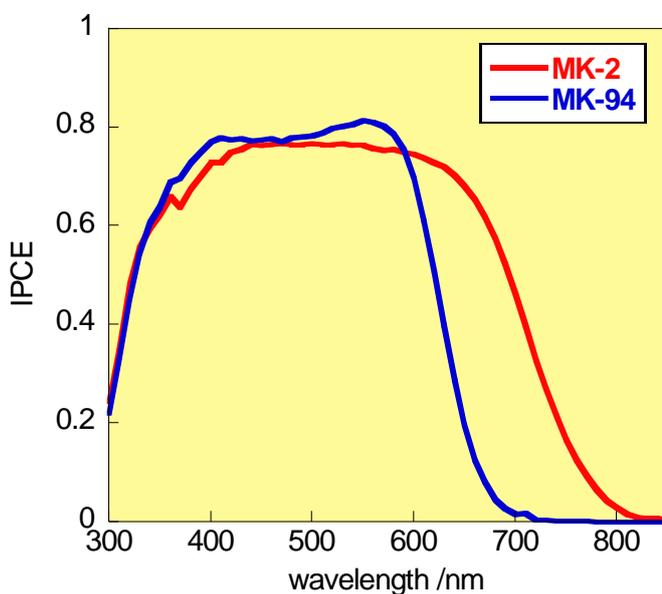


図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(31) MK-2 と MK-94 の UV スペクトル（溶液）

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。

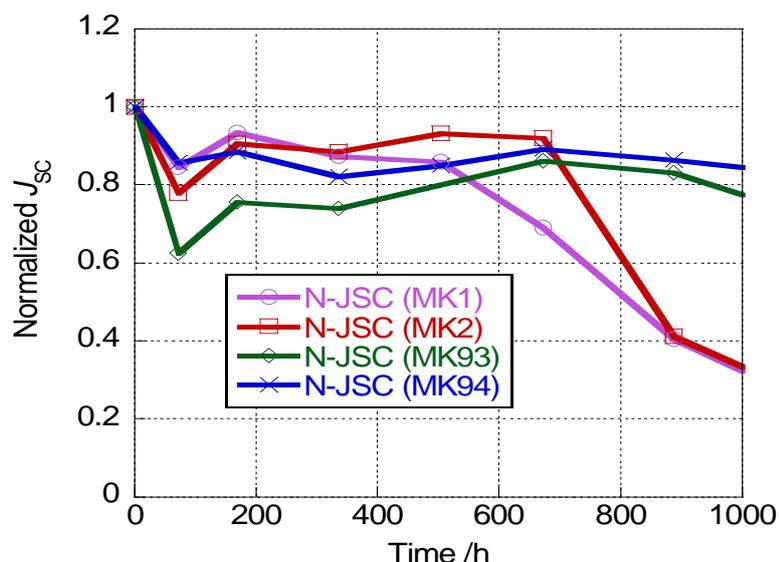


図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(32) MK-2 と MK-94 の酸化チタン上の UV スペクトル変化



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/cm^2 、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/cm^2 、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。

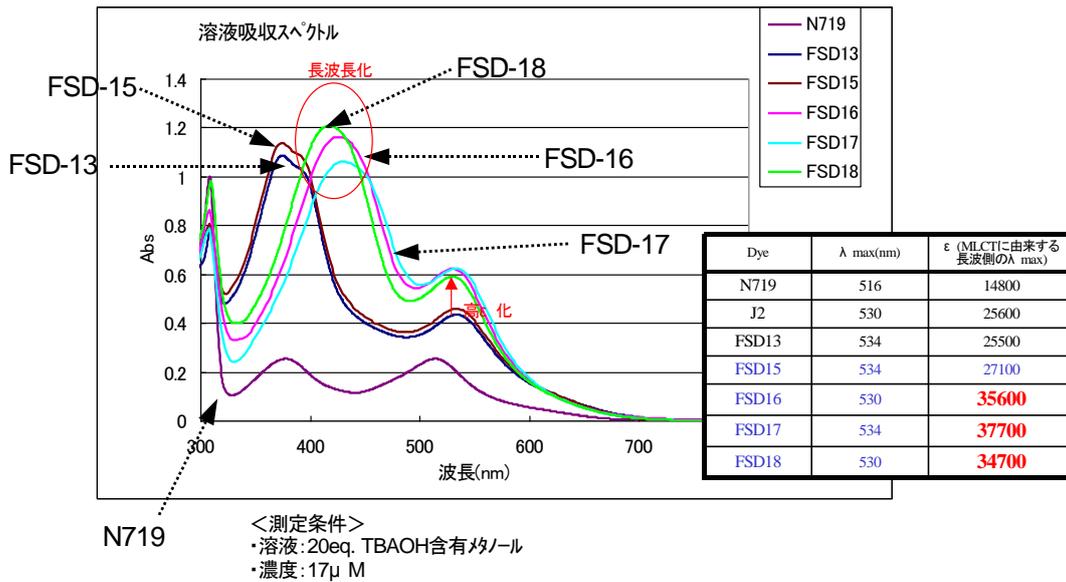
①-2 疎水性基導入による高効率・高耐久性色素の設計の探索検討 (富士フイルム株式会社)

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。

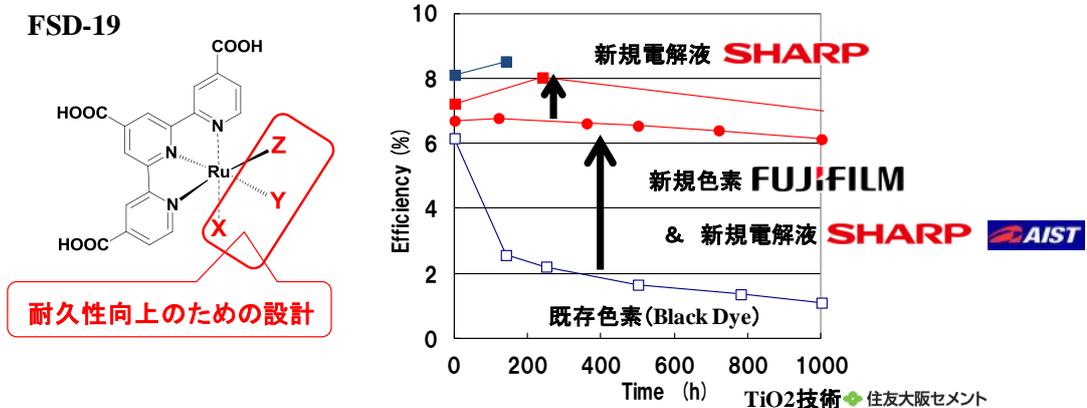
この知見を基にさらに、FSD-13よりも更にモル吸光係数が大きい(N719の2.4~2.5倍の)FSD-16、17、18を新たに合成することに成功した。



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。

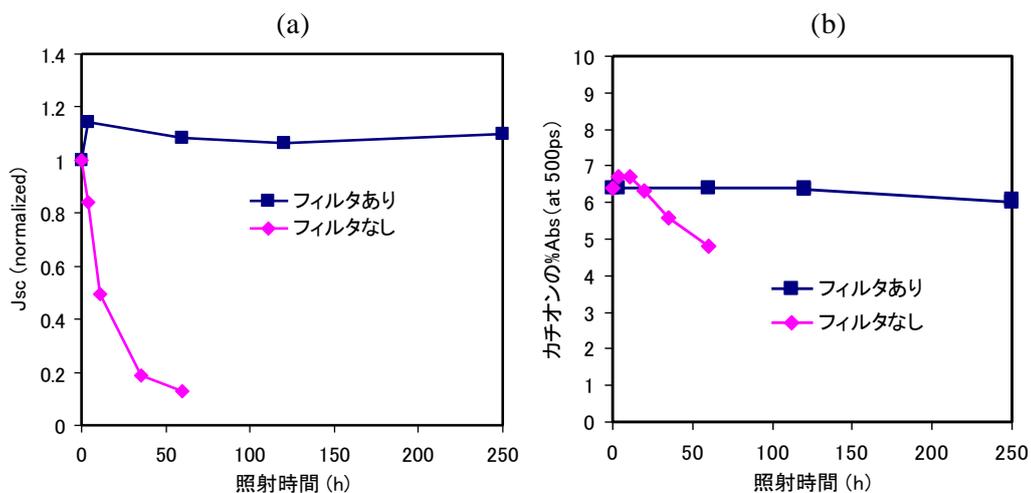


図 III-2-(=)-A-1(37) (a)耐光性試験 A-5 における J_{sc} の時間変化、(b) 過渡吸収分光により評価された電子注入反応の効率（カチオンの %Abs）の光照射時間依存性。

※(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。

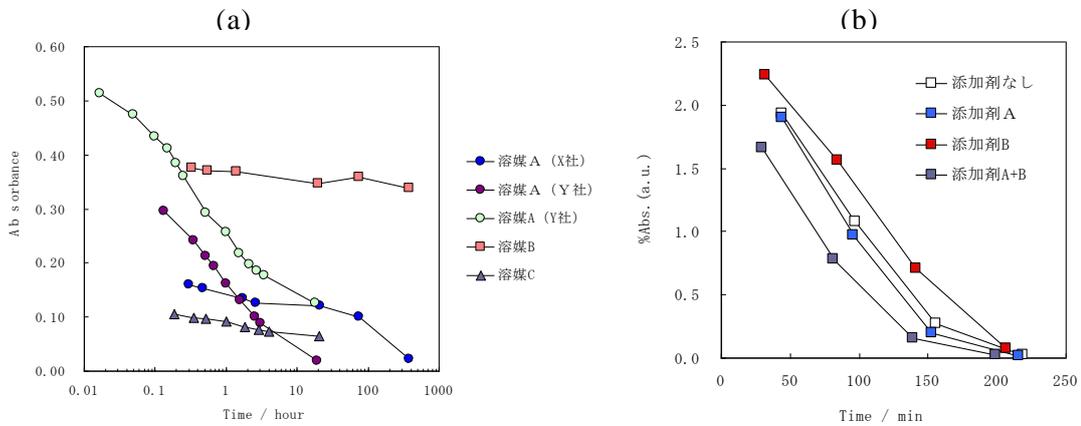


図 III-2(-)-A-1(38) I_3^- の吸光度の経時変化の(a)溶媒依存性と(b)添加物依存性 (室温保持)

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。

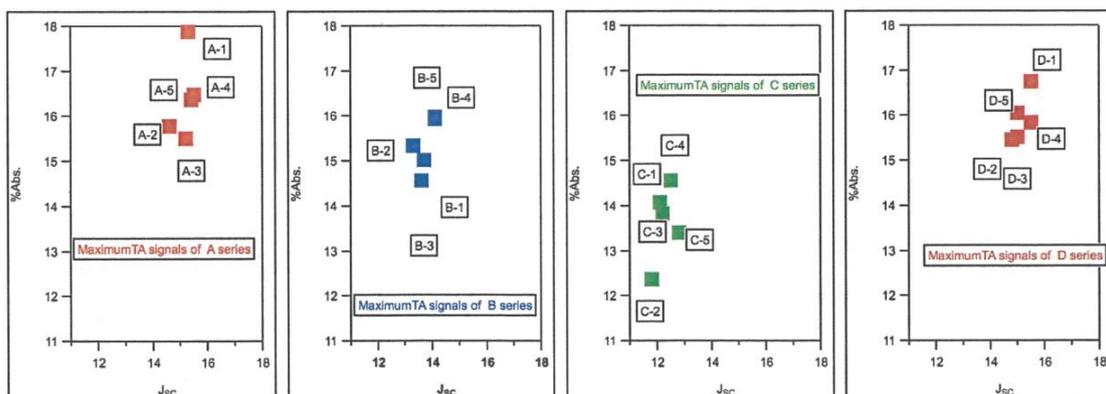
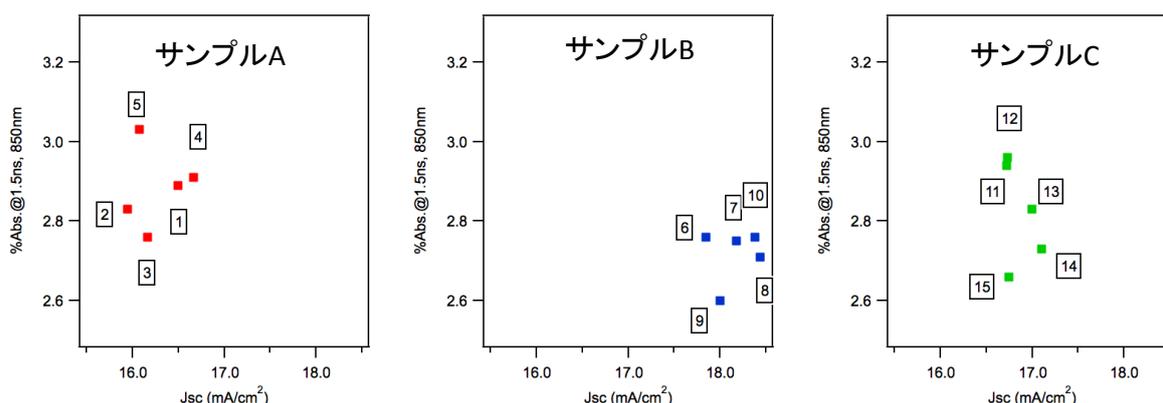


図 III-2(-)-A-1(39) N719 色素から酸化チタン電極への電子注入効率の電解液中の添加物依存性 (縦軸が電子注入効率に相当)

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。



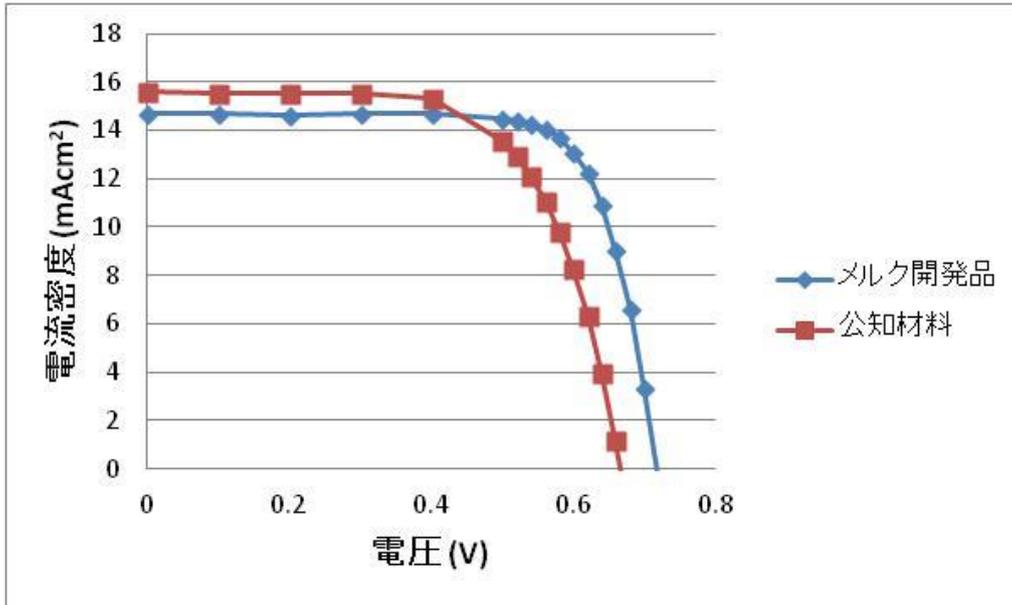
図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(40) FSD-19 色素から酸化チタン電極への電子注入効率の電解液中の添加物依存性（縦軸が電子注入効率に相当）

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

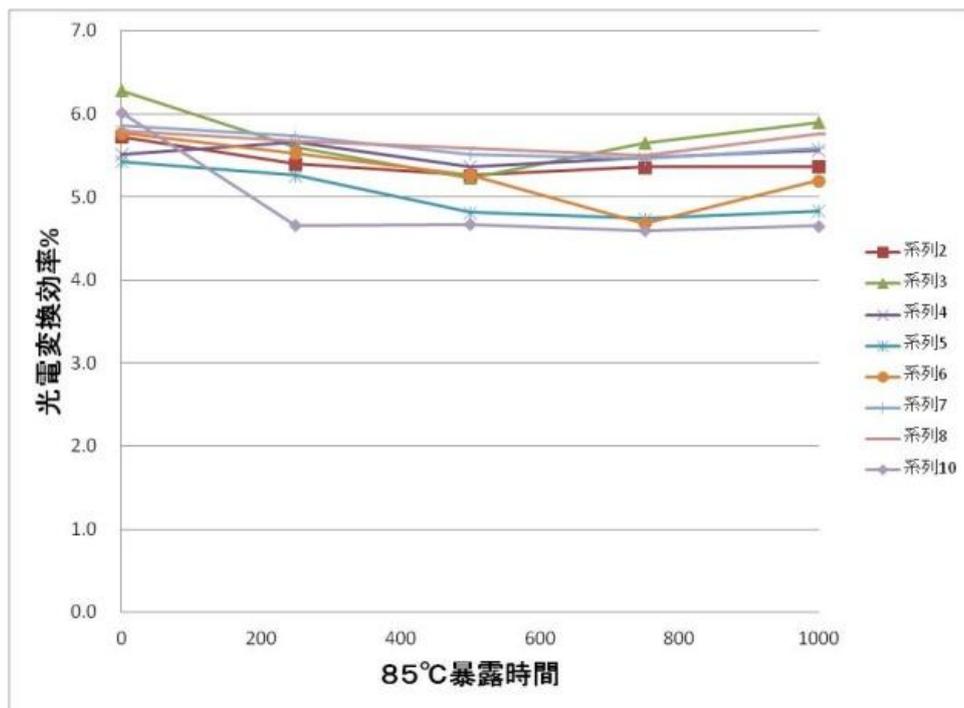
図Ⅲ-2-(ニ)-A-1(40)より、FSD-19 色素を用いたセルでは、材料 Y、弊社にて開発した材料 Z、さらには材料 Z の濃度を 5 倍にしたいずれの場合においても電子注入効率に変化せず、電子注入効率が電解液に依存しないことが判明した。FSD-19 の過渡吸収測定に関する測定は難解であり、議論の余地が存在するが、本検討結果における FSD-19 色素および材料 Z のように電子注入効率、さらには Jsc に影響を及ぼさない色素および添加物が、高信頼性化と高効率化の必要条件であると考えられる。

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)）。



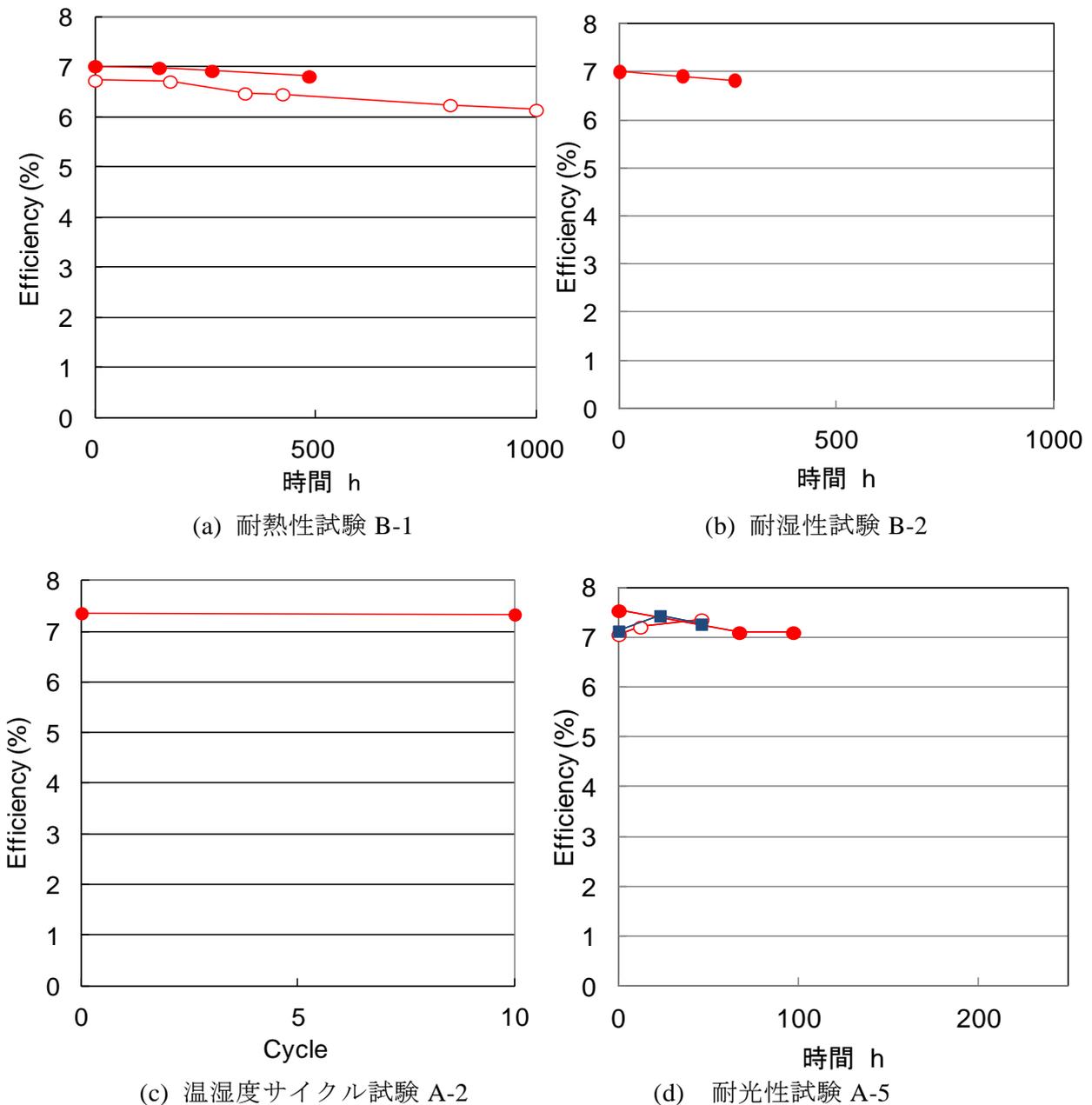
図Ⅲ-2-(=)-A-1(41) IV 特性



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が得られた場合、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。

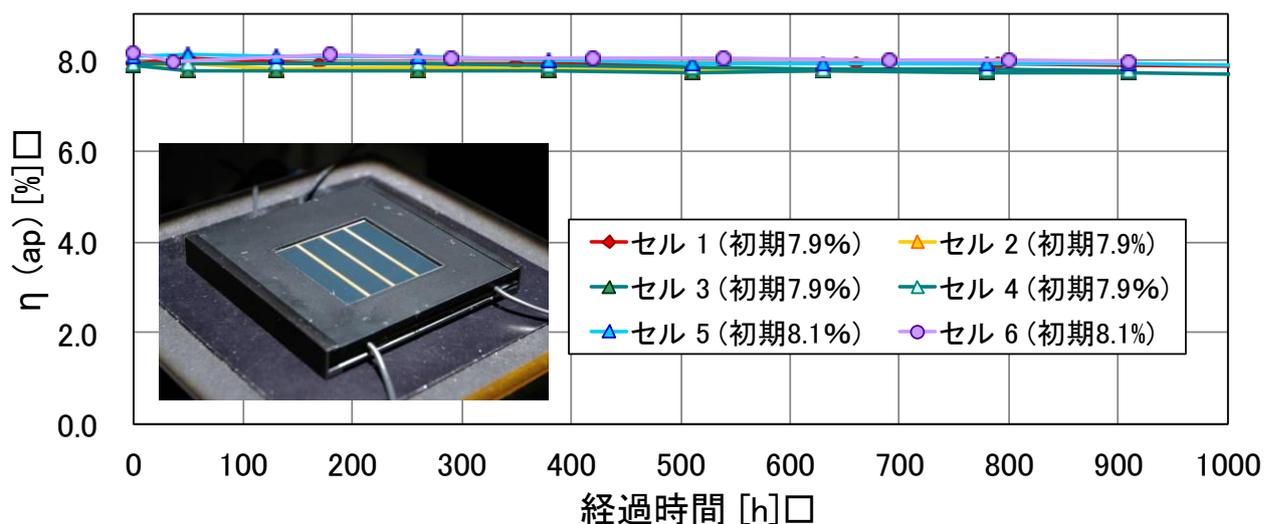


図 III-2-(=)-B-1(1) η (ap) = 8%程度の 5cm 角セルにおける耐湿性試験 B-2 での変換効率変化

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。

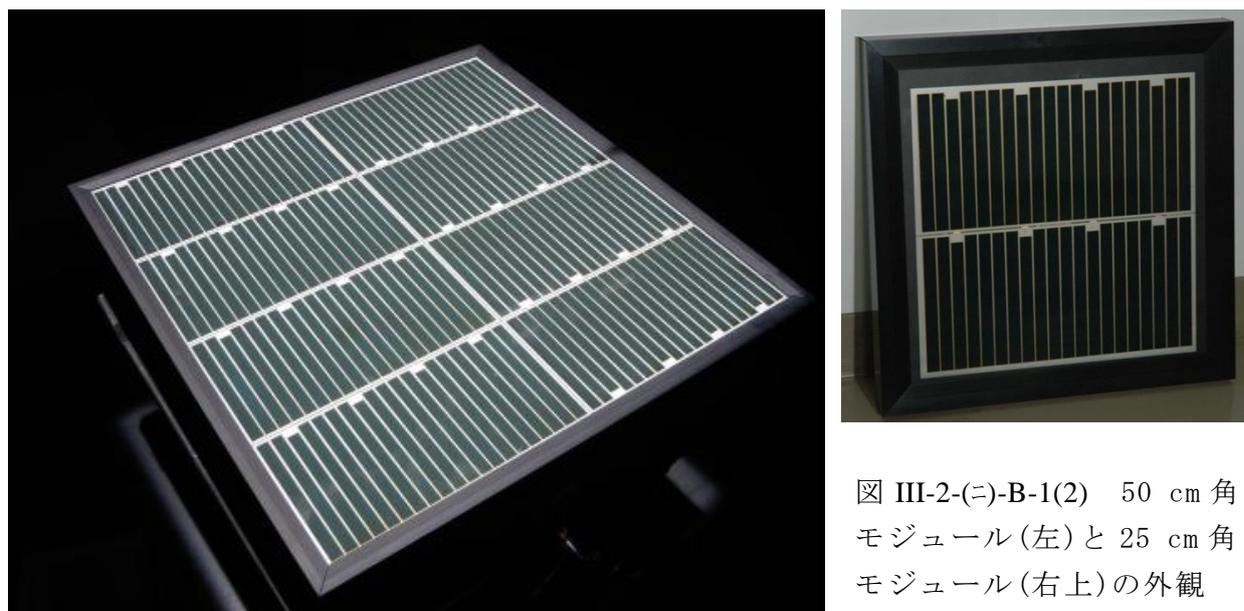


図 III-2-(=)-B-1(2) 50 cm 角モジュール(左)と 25 cm 角モジュール(右上)の外観

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。

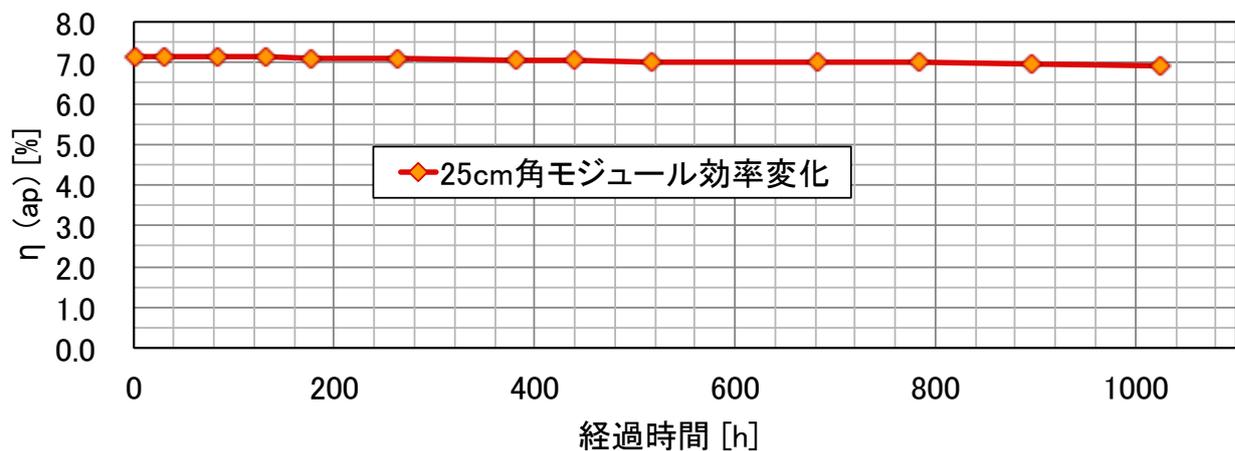


図 III-2-(ニ)-B-1(3) $\eta(\text{ap}) = 7.2\%$ の 25 cm 角モジュールでの耐湿性試験 B-2 における変換効率変化

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を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。

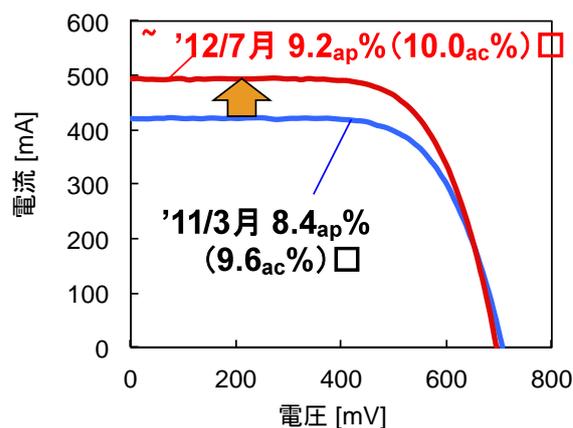


図 III-2-(ニ)-B-1(4) 高効率化技術開発による耐久性仕様 5 cm 角セルでの I-V 曲線の変化

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、 TiO_2 光電極から電解液中の I_3^- 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 TiO_2 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、 Al_2O_3 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、 Al_2O_3 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 TiO_2 光電極中における電子寿命を調べたところ、 Al_2O_3 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、 TiO_2 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) TiO_2 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
$\text{Al}[\text{OCH}(\text{CH}_3)_2]_3^a$	20.4	0.73	0.72	10.8
$\text{Mg}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_2^b$	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

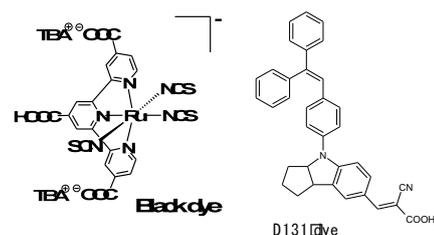
電解液Dは有効であることが確認された。以上の結果を踏まえ、従来の最適条件に電解液Dを適用してDSCを作製したところ、光電変換効率は11.8%まで向上した。自己測定ではあるが、この値はルテニウム錯体色素を用いたDSCにおいて現在の世界最高レベルの値である。図 III-2-(ニ)-B-1(5)にはこれら効率向上技術をまとめた図を示す。

◆ 小面積セル(4~5mm角)での効率向上技術開発

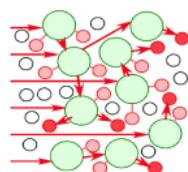
E

各種改善法による太陽電池性能の変化

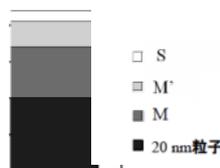
電極構造とセル構成	J_{sc} [mA/cm ²]	V_{oc} [V]	FF [%]	η [%]
従来型	21.0	0.69	0.71	10.3
表面修飾型	20.4	0.73	0.72	10.8
TiO ₂ Beads型	22.3	0.70	0.71	11.0
光閉じ込め最適化	22.6	0.70	0.71	11.2
ダイ・カクテル	23.5	0.68	0.72	11.6
総合最適化	25.1	0.67	0.70	11.8



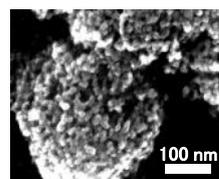
自己測定ではあるが、5mm角セルで世界最高レベルとなる11.8%の変換効率を達成



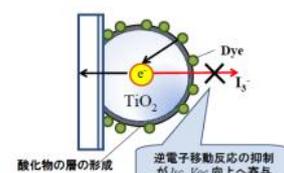
大粒子による光散乱を利用した光閉じ込め効果



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

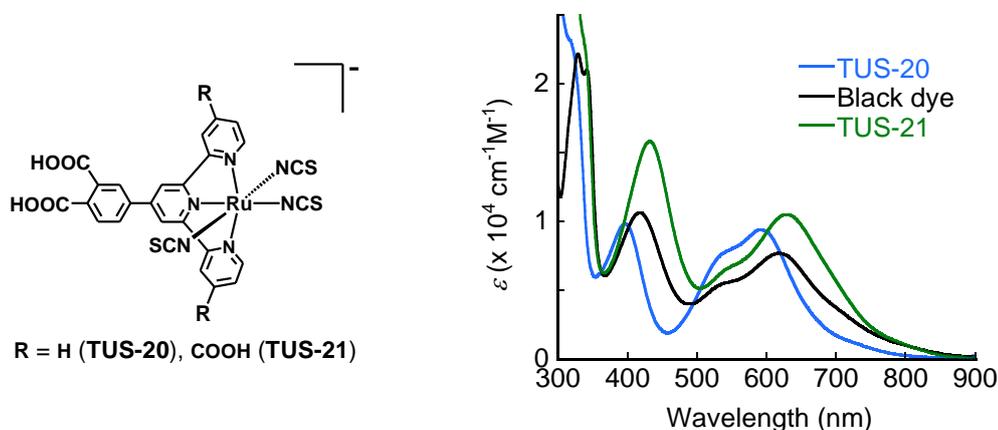


図 III-2-(ニ)-B-1(5) 新規色素 TUS-20, TUS-21 の構造と紫外-可視吸収スペクトル

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

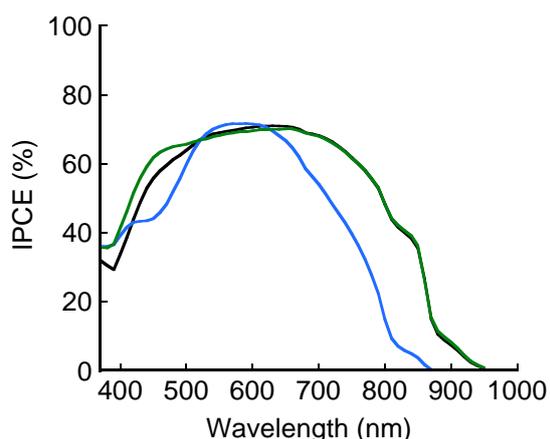


図 III-2-(ニ)-B-1(6) 各種色素を用いた 5mm 角セルの IPCE スペクトル[TUS20(青線)、TUS-21(緑線)、Black dye(黒線)]

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 FTO5mm 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。

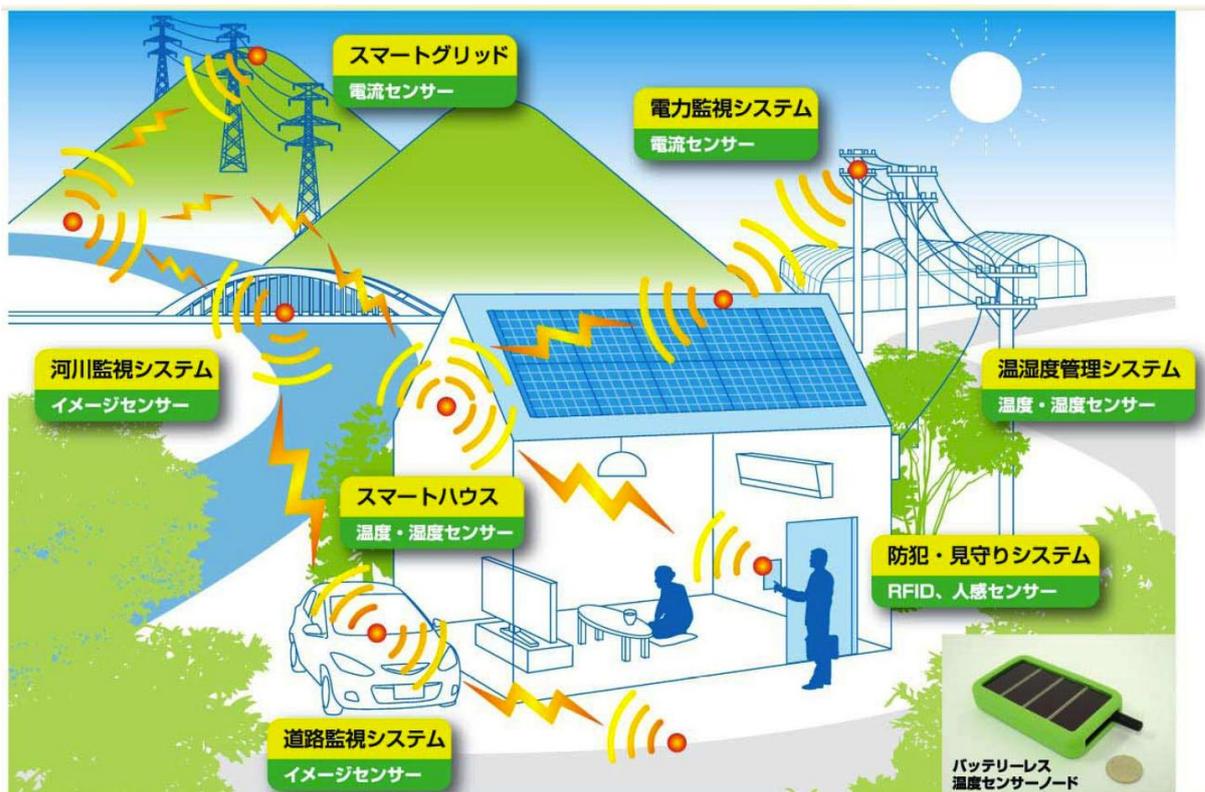


図 III-2-(ニ)-B-2(1) センサーネットワークへの DSC 利用イメージ
(株)フジクラ パンフレットより抜粋)

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□ 小規模体制確立□	★設備増強判断□ 生産効率向上□		★事業継続判断□ スケールアップ□	
・生産□		顧客スケジュールに沿った小規模生産(サンプル等)□		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

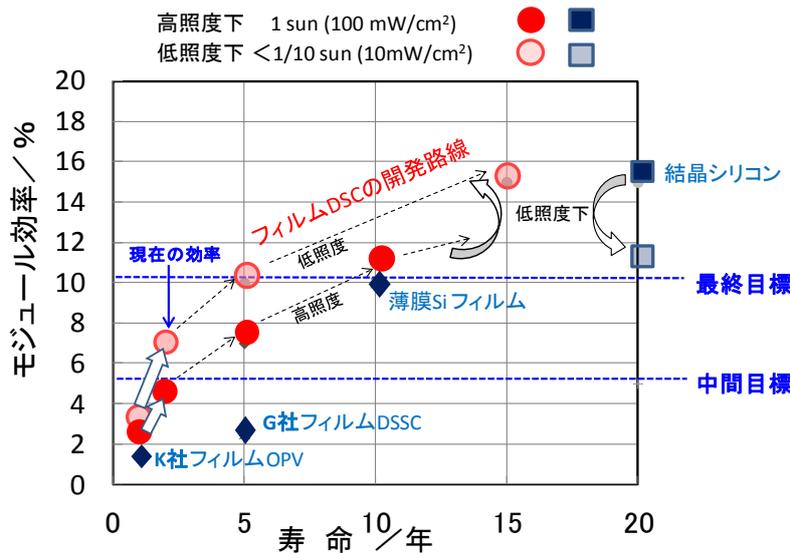
【その他外部発表】

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。

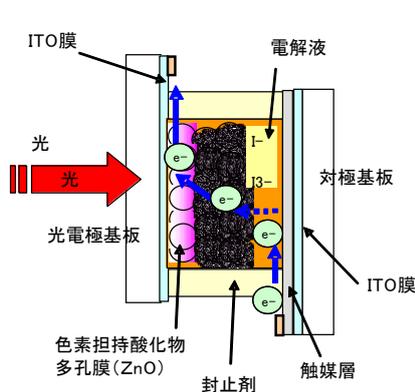


図 III-2-(ニ)-C-1(2) 色素増感太陽電池の構成

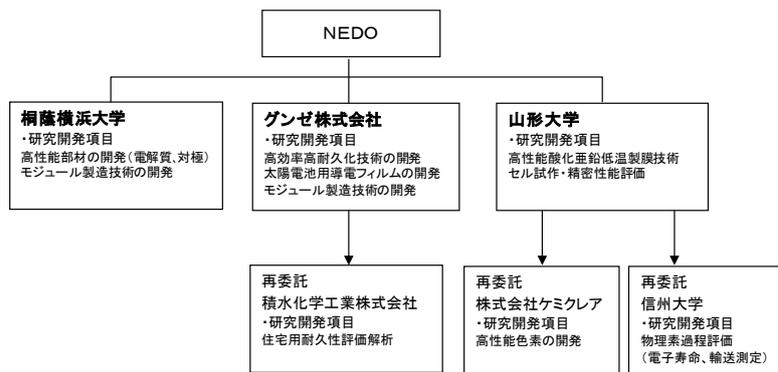


図 III-2-(ニ)-C-1(3) 開発体制図

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℃-90%）に放置し、特性の変化を観察した。その結果、現在使用しているフィルム型DSCにおいては耐久性の点で酸化亜鉛膜のほうが優位であることがわかった。これは、酸化亜鉛膜は酸化チタン膜と比べて、科学的に不安定な面もあるが、逆に 100℃以下の低温でも反応性が高いことが低温成膜での膜質や膜密着性の向上につながっ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。

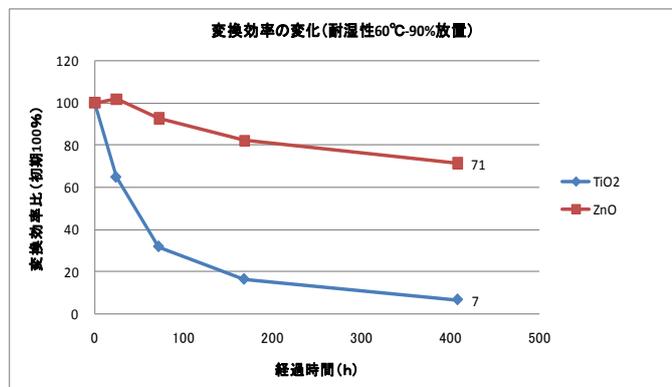
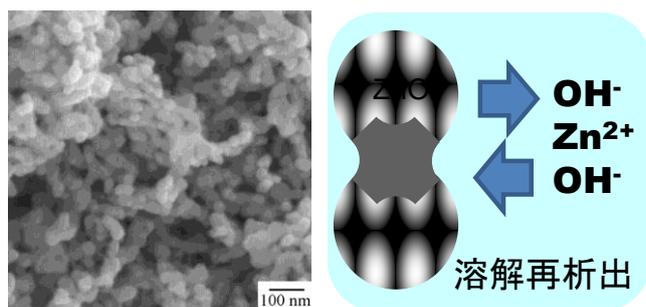


図 III-2-(ニ)-C-1(4) 酸化亜鉛膜と酸化チタン膜の耐久性評価

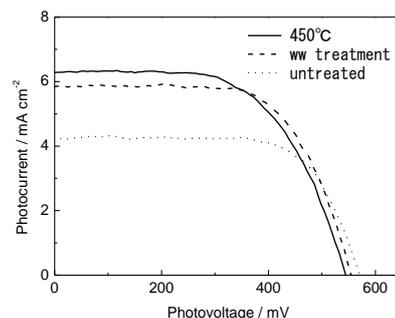
(1) 高効率化技術の開発

(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



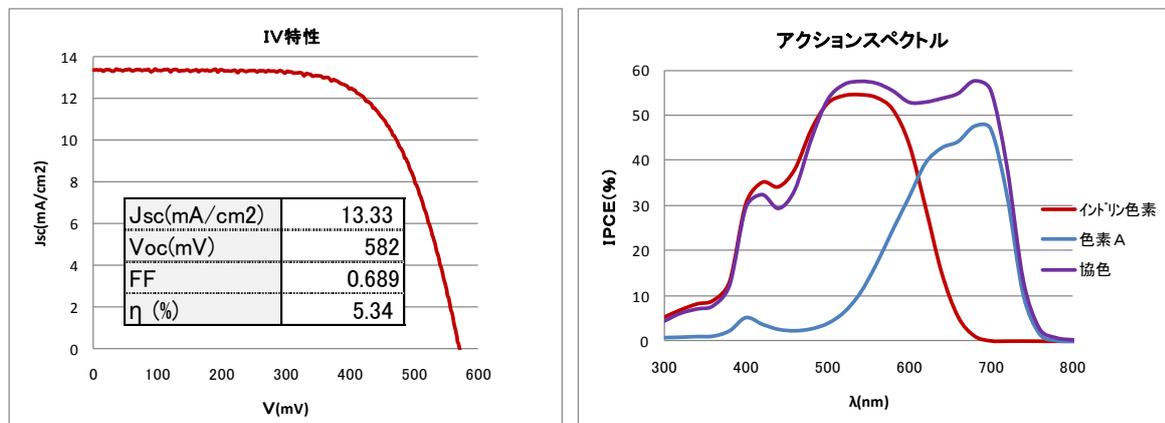
図Ⅲ-2-(ニ)-C-1(6) 温水処理による J_{sc} の向上

(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% (φ6 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。

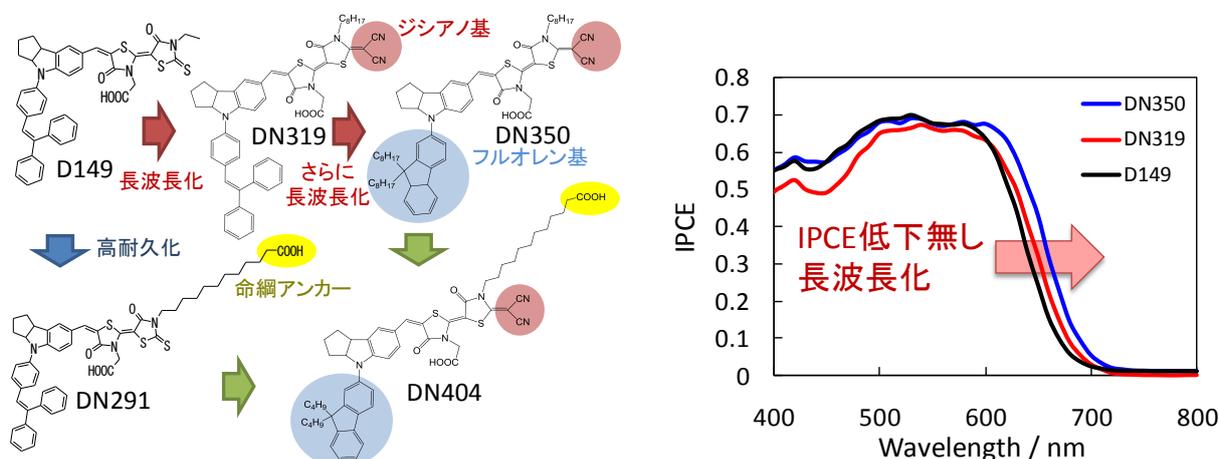


図Ⅲ-2-(ニ)-C-1(7) 酸化亜鉛フィルム型セルのIV特性とアクションスペクトル

(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。

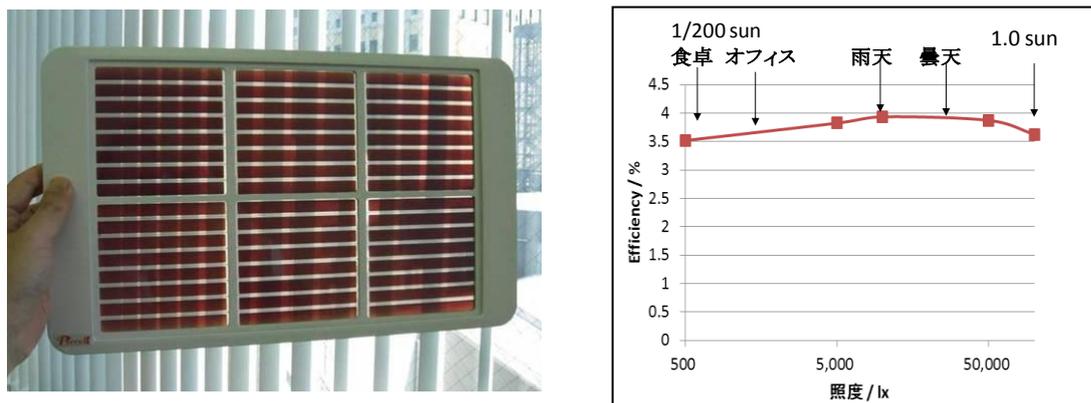


図Ⅲ-2-(ニ)-C-1(9) メタルメッシュ基板の製造例とメッシュパターン

(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。

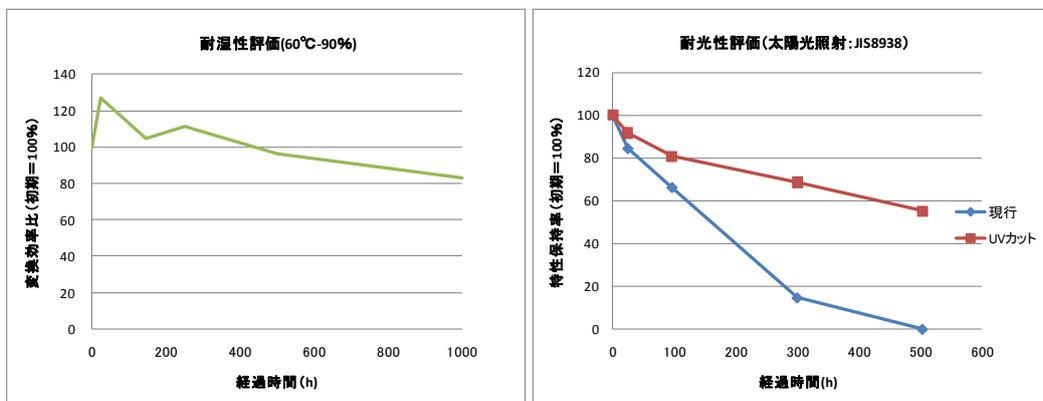


図III-2-(二)-C-1(10) 両面発電型モジュールと光量変動と出力の関係

(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。

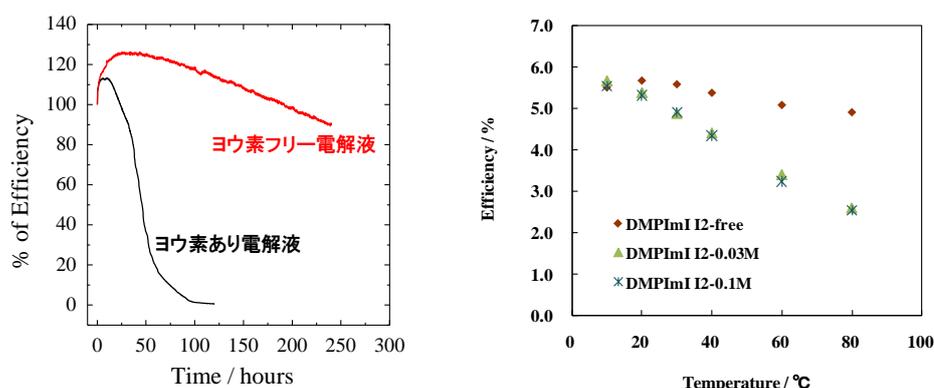
まず、耐高温高湿性について、単セルでは60°C90%RH条件の1000時間をクリアすることができた。しかし、85°C85%RH条件では劣化が大きく、現在のところ、目標未達である。モジュールではさらに劣化しやすくなる傾向であるが、ガスバリアフィルムのラミネートにより耐湿熱性も向上できることを確認した。また、耐光性については、UVカットフィルムの装着や表面UVカットコートにより、耐光試験での効率半減劣化時間を100時間から500時間に向上させることができた。いずれに関しても、耐久性向上の手法は見出ししており、今後の取り組みによりJIS規格C8938の達成は可能であると考えている。



図III-2-(二)-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。

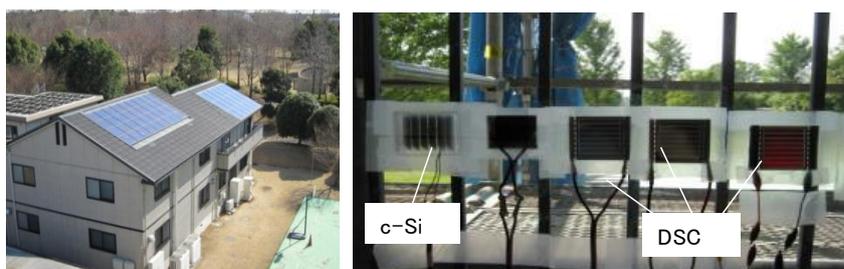
実証評価にあたり、住宅の窓(屋内)に設置することを想定した信頼性試験として温度サイクル(-10℃←→60℃)試験を実施し、フィルムモジュールは若干の低下は見られるが、試験可能レベルと判断し、実証試験を開始した。

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。

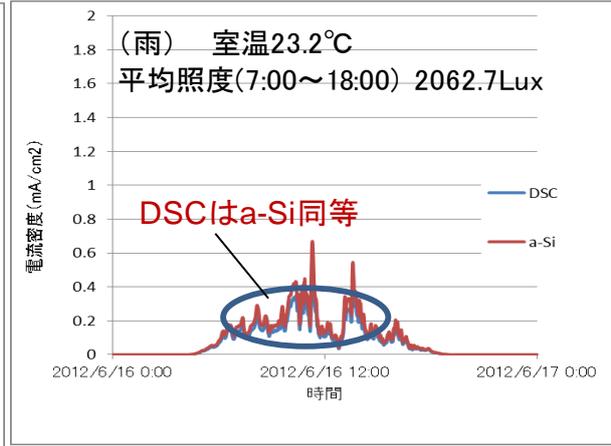
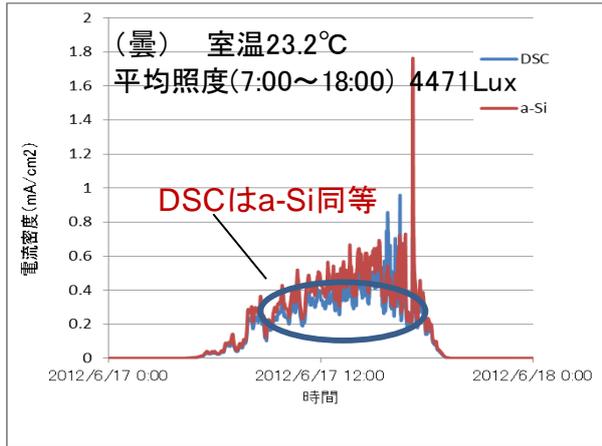
本試験の結果は下記のとおりである。

- ・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。

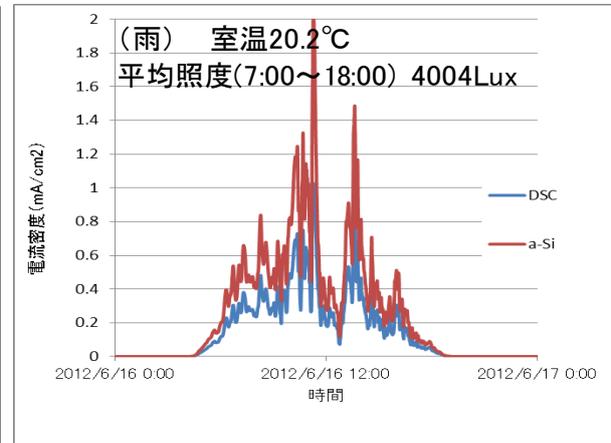
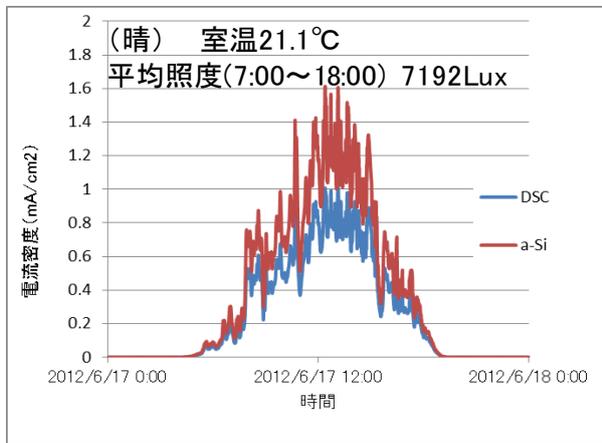
本試験では、色素増感太陽電池の実用性能を明確に把握することができただけでなく、窓やその他の建築物に貼ることができるフィルム型色素増感太陽電池の大きなメリットを示すことができたと考えている。



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	
ゲンゼ	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	
ゲンゼ	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
ゲンゼ						
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ている。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

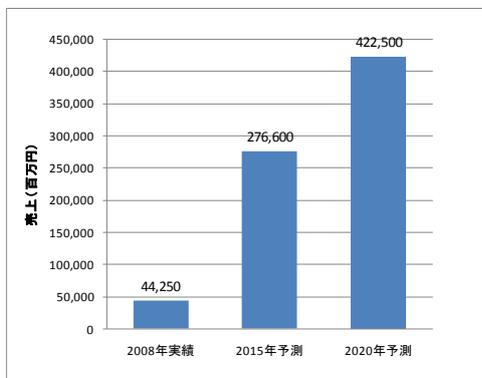
色素増感太陽電池を含めたすべての有機系太陽電池は、結晶シリコン等の無機接合太陽電池との比較において基本的な耐久性に劣ることは、材料上避けられない（JIS 耐光堅牢試験（ブルースケール）最高級フタロシアニンをもっても無機材料に及ばない）。したがって、有機系太陽電池の開発は、シリコンを置き換える可能性に向けるのではなく、シリコンとの共存において、シリコンにとって困難な産業化の分野で、電源として実用化することを目指すことがもっとも社会貢献が大きく、市場の波及効果も大きいと考える。

(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。

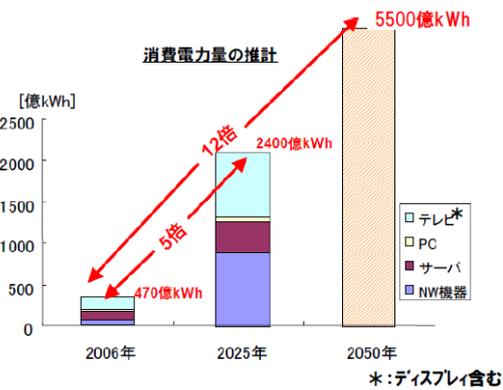
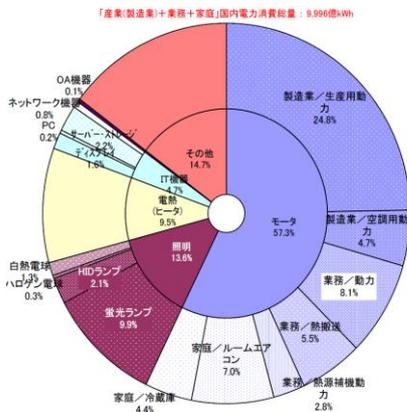
(2) 国内生産と波及誘発効果

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。

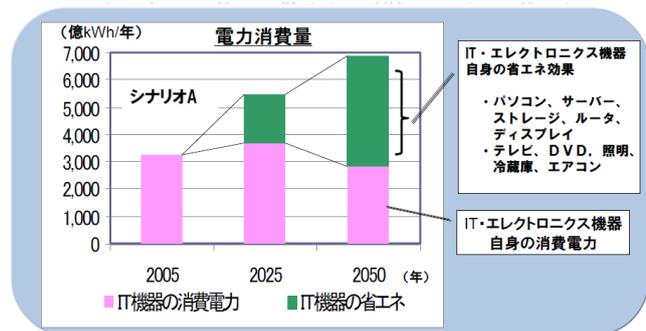
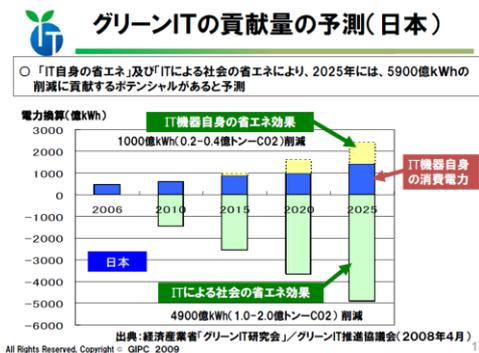
4. 今後の展開

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 Universit y Chemierea 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 Universit y	"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 Universit y	"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 Universit y	"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 innear-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 Pcocedia</i> , 14 , 12-24 (2011)	有	2011
12	M. Matsui, M. Kotani, Y. Kubota, K. Funabiki, J. Jin, T. Yoshida, S. Higashijim a, H. Miura	Gifu Universit y Shinshu University Chemicrea Co., Ltd.	"Comparison of performance between benzoindoline and indoline dyes in zinc oxide dye-sensitized solar cell"	<i>Dyes Pigm.</i> , 91 , 145-152 (2011)	有	2011
13	S. Higashijim a, H. Miura, T. Fujita, Y. Kubota, K. Funabiki, T. Yoshida, M. Matsui	Chemicrea 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)

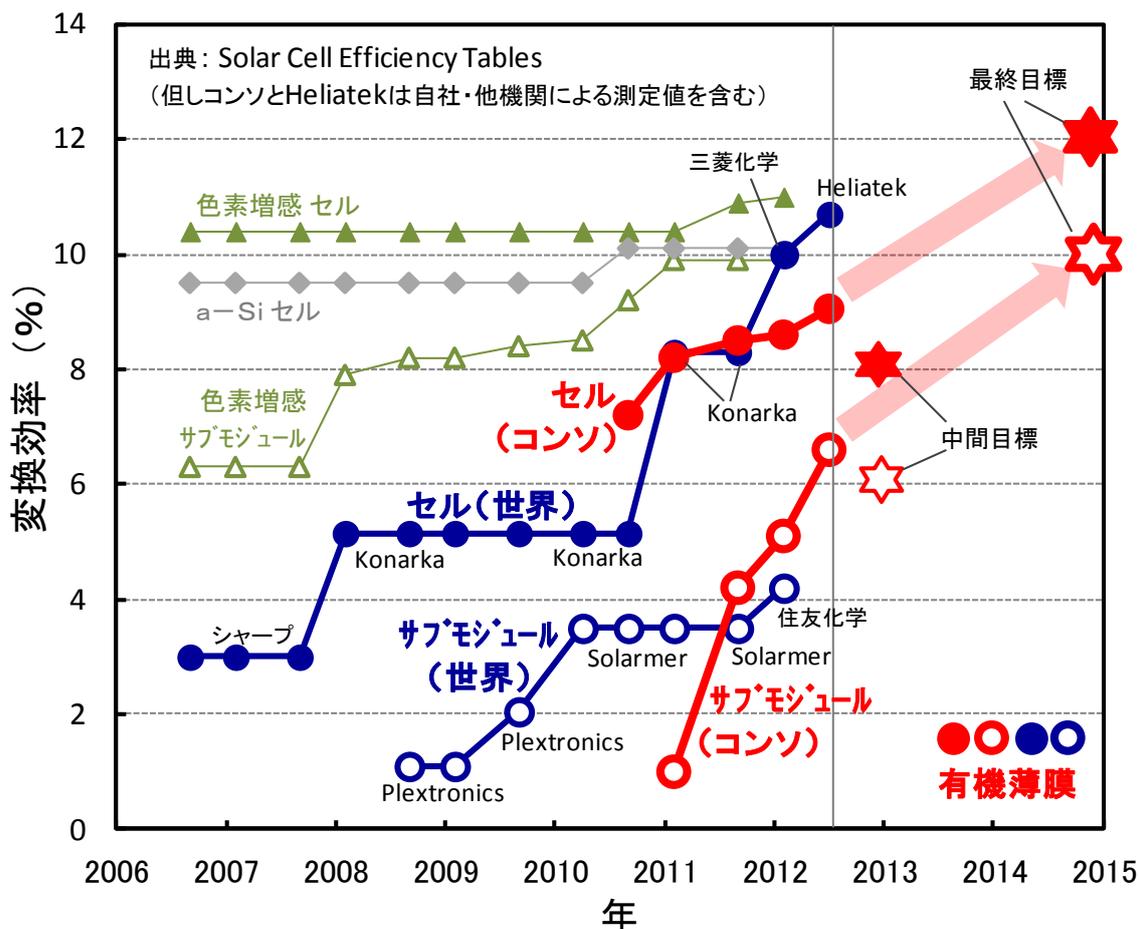
	Polymer (flexible)	mc-silicon	Thin film			
			CdTe	CIS	Silicon	Dye-sensitised
NREU (MJ/W _p)	2.4	24.9	9.5	34.6	17.1	5.8
Climate change (g CO ₂ -eq/W _p)	132	1293	542	2231	993	255
Energy payback time (yrs)	0.19	1.95	0.75	2.71	1.34	0.45

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 O P V 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。

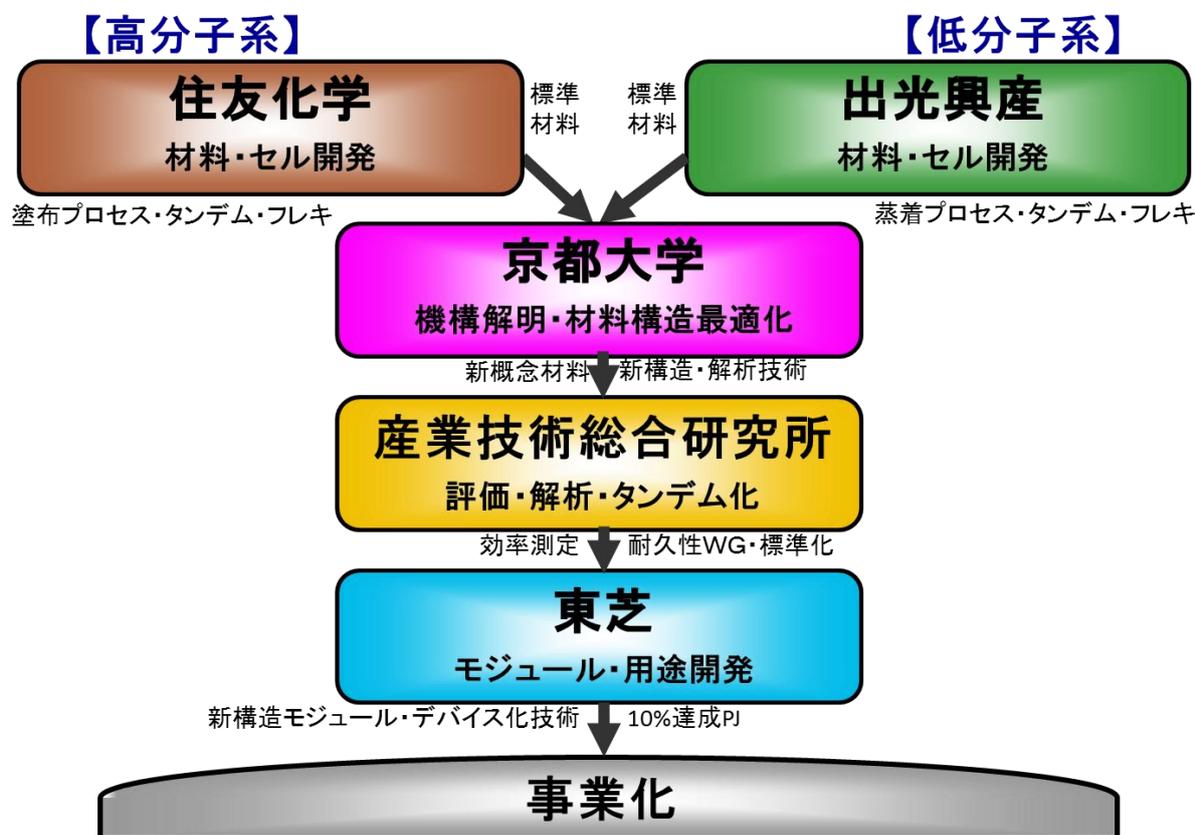
今後、このような強みを生かし、独自材料技術の上に、製造技術を加えた、実用化への道筋を踏まえた広範なコンソーシアム形成が重要であろう。

(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>

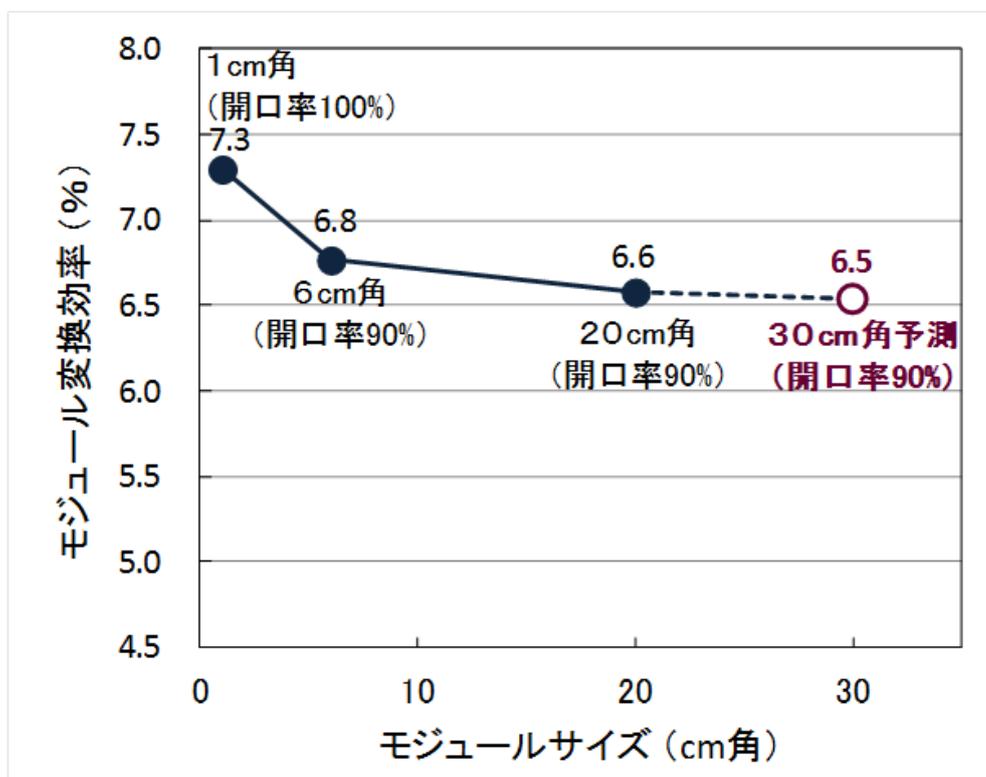
<p>(4)材料・構造最適化技術の研究開発 ①p型材料の開発 (京都大学)</p>	<p>新規4材料を提案し、うち効率6%以上の材料を新たに、2種開発した(特許申請中)。 HOMO-LUMOバンドギャップ調整によりVoc0.8V以上を達成し、吸収波長領域拡大によるJ向上で13 mA cm⁻²を達成しており、早期に、独自ポリマーで効率10%を目指す。</p>	<p>○ 課題：効率12%実現 方策：新規n型材料とのマッチング、高開放電圧(V_{oc})モデルの高効率化・高安定化(耐久性強化)に関して、東芝と連携して開発を加速。 塗布可能な低分子p型半導体材料の高電流密度(J_{sc})モデル化合物に関して、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）

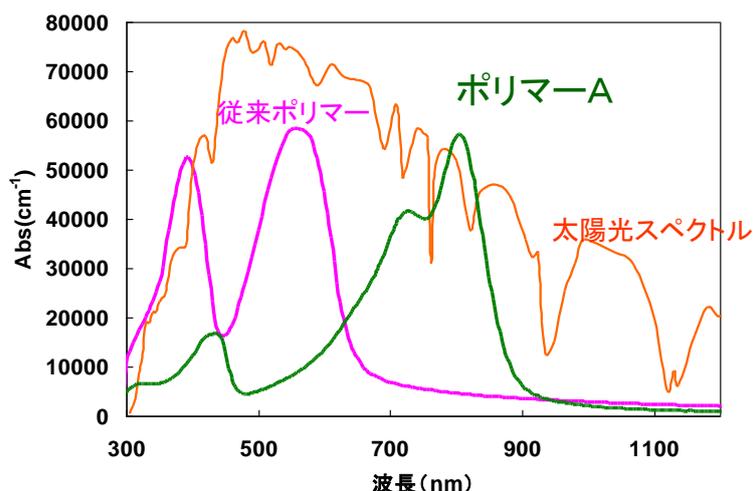
高分子系では、作製をグローブボックス中で行っているが、有機溶媒の調整からデバイス作製、封止までの雰囲気を完全に制御出来ていない。デバイス性能に影響を及ぼす微量な残留水分および酸素を除去するため、有機溶媒の脱酸素および脱水、デバイス作製から封止までのプロセス雰囲気制御を行い劣化要因を取り除く。

(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。

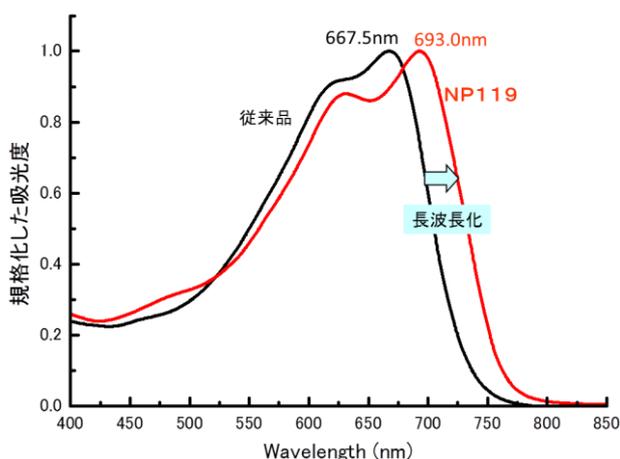


図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(4) ポリマーAの吸収スペクトル

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))。

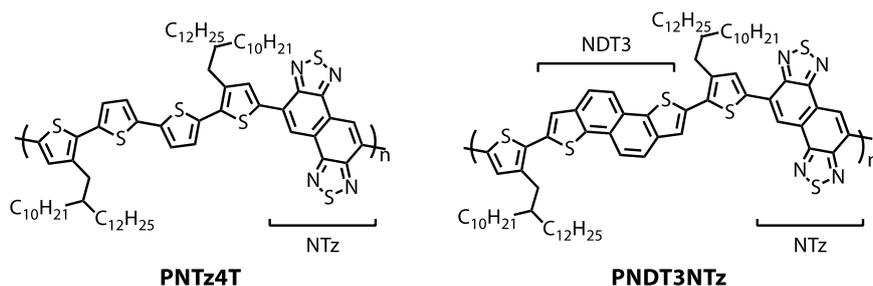
また、NP119は、大電流を得るため長波長吸収性に優れた縮環構造を有するドナー-アクセプター型ポリマーであり、既知材料と比較し、長波長吸収を高めるために共役系を拡張し、更に高起電力を得るためドナーユニットのドナー性を弱めた側鎖を導入した新規P型有機半導体ポリマーである。既知材料に対して、極大吸収波長が25.5nm長波長化することに成功した(図III-2-(ホ)-A-1(5))。



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。

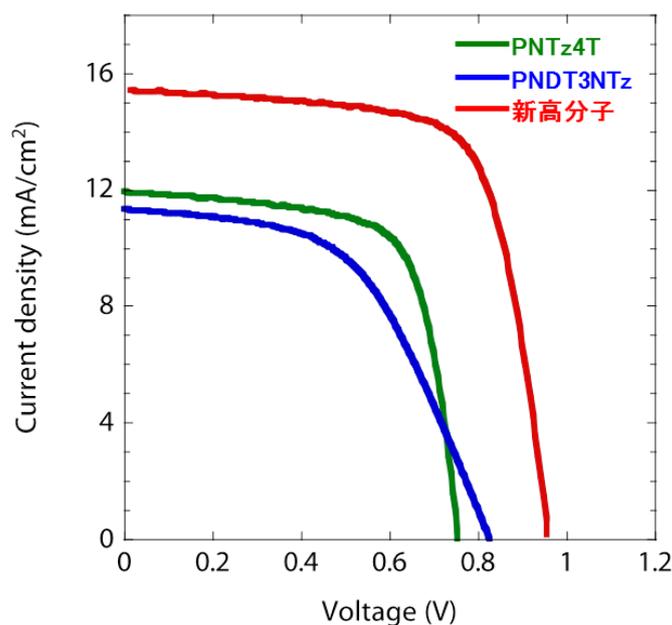


図III-2-(ホ)-A-1(6) ナフトビスチアジアゾール系高性能p型ポリマー

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



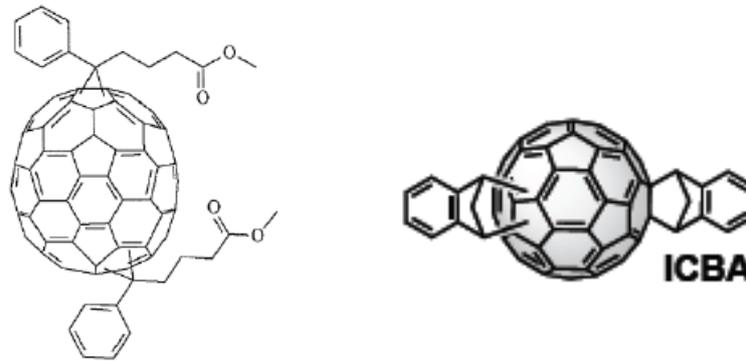
図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(7) ナフトビスチアジアゾール系ポリマー素子の電流-電圧特性

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、これをタンドムに用いることで 10% 以上の効率を期待できる。

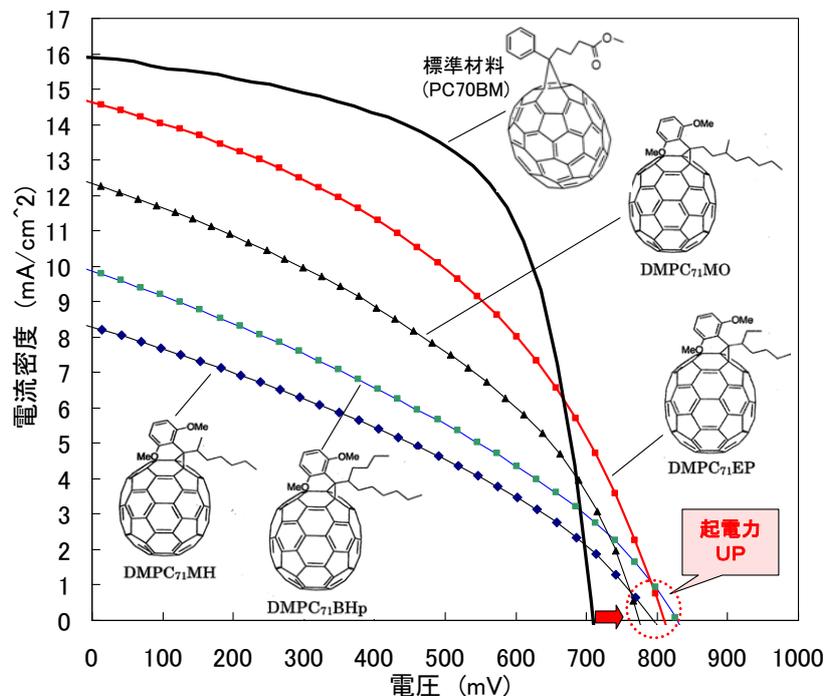
更に BisPC70BM の高純度合成に成功し、分取精製を行い、現在評価中である。また、ICBA の異性体分離を行い、代表的な 4 つのピークについてサンプルを収集し、現在

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

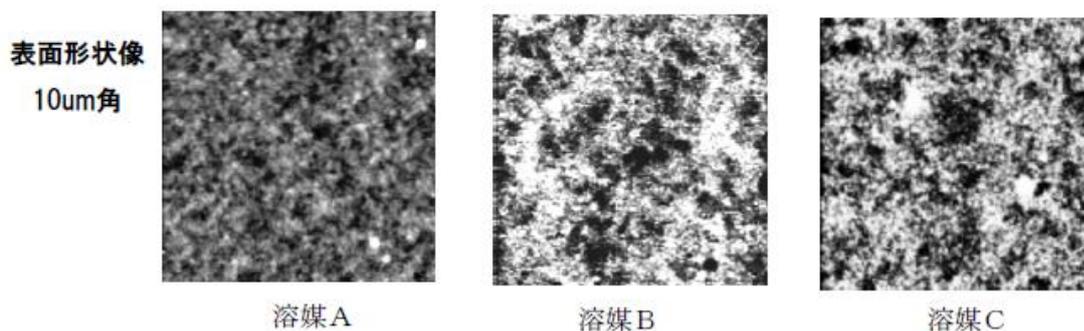
新規構造のフラーレン誘導体の特徴は、標準材料として使用しているPC70BMに比べ、LUMO準位が高いC70系フラーレン誘導体で、起電力の増大（P型のHOMOとN型のLUMOの差の絶対値の増加）が期待できる。図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(9)に試作した素子のIV特性を示した。P型有機半導体はPTB7を用い、8種類のフラーレン誘導体を検討した結果、標準材料のPC70BM（黒線）と比較して、高起電力が得られることを確認した。しかし J_{sc} の低下傾向が認められ、変換効率はPC70BMよりも低くなってしまった。今後、P型有機半導体ポリマーとのモルフォロジーを見直し電流を改善していく。



図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(9) 高LUMOフラーレン誘導体のIV特性

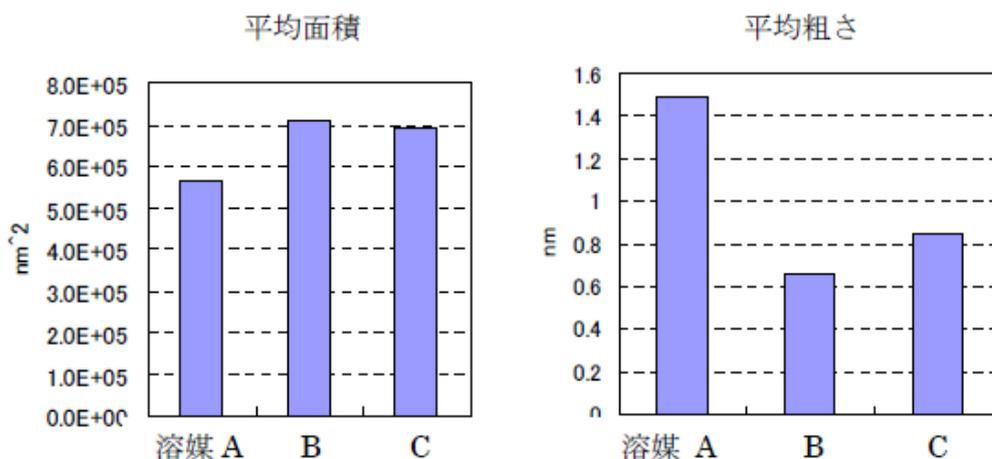
活性層のモルフォロジー最適化も重要な開発項目となっている。

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

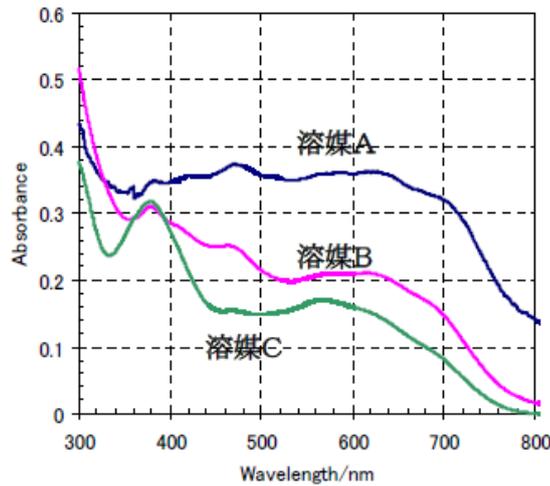
また、AFM画像から、ドメインの平均面積と表面の平均粗さを見積もった（図III-2-(ホ)-A-1(11)）。ドメインの面積は溶媒Aでは小さいが、表面の粗さは溶媒Aが最も大きくなっている。溶媒Aでは面積は小さいが縦方向に大きい粒子が存在している可能性が考えられる。



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。



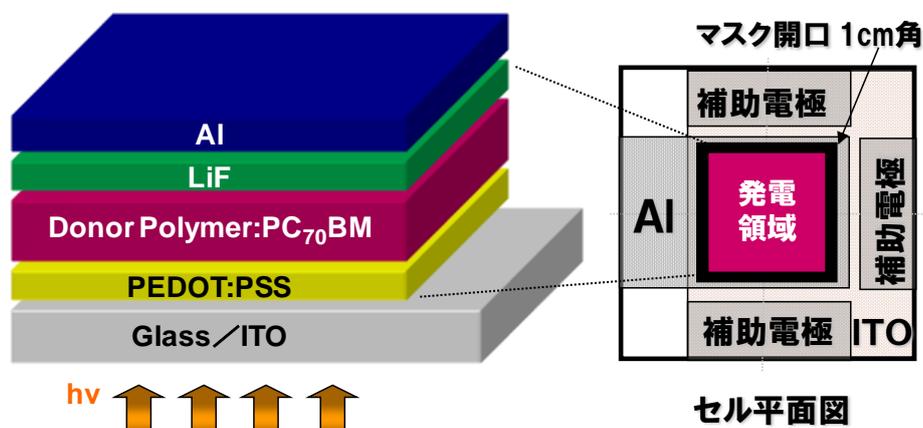
図III-2-(ホ)-A-1(12) セルのUV-VIS吸収の違い

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。

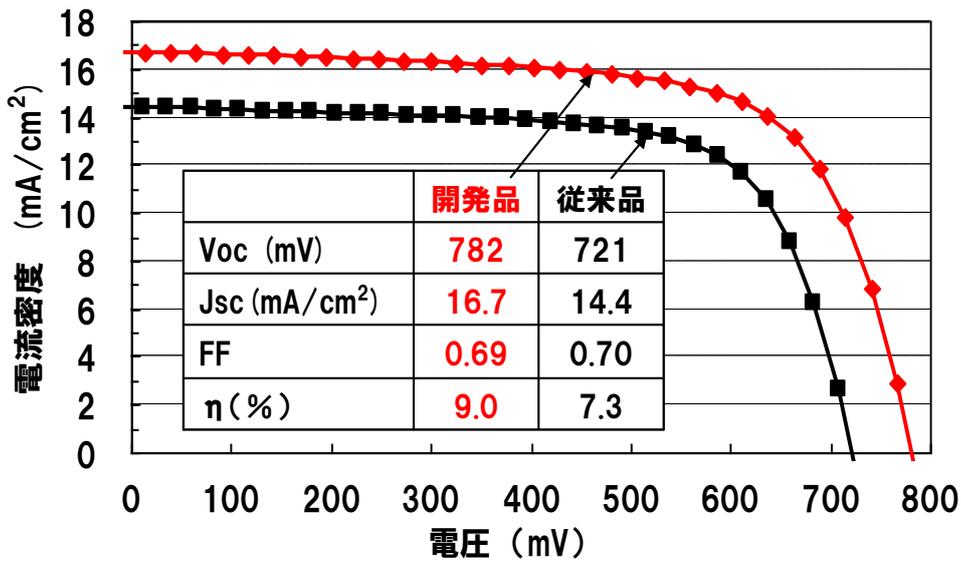
最後にこれら複数の知見をベースに最適化したNP119を用いたセルを試作した。

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。

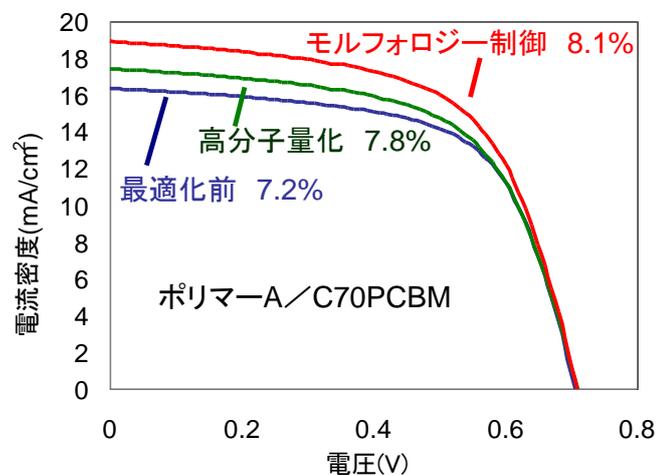


図III-2-(ホ)-A-1(13) 有機薄膜太陽電池の基本構成



図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(14) I V特性

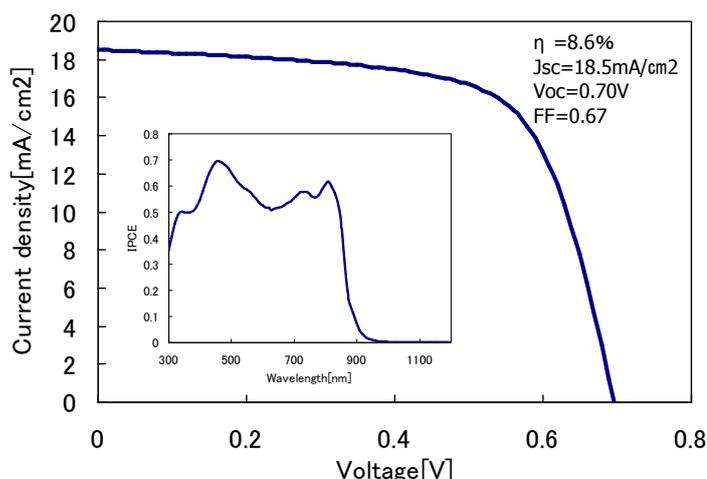
ポリマーAにおいても、モルフォロジーの最適化により変換効率が向上した。ポリマーAを用いた素子の量子効率 (IPCE) は、50%に留まっており、その原因解析として活性層の蛍光分析を行った。その結果、ポリマーAの蛍光は50%程度しか消光されておらず、活性層のモルフォロジーに改善余地のあることが示唆された。そこで、各種溶媒組成によるモルフォロジー改良やポリマーの高分子量化を検討した結果、IPCEの向上に伴うJscが向上し、効率として8.1%の世界最高レベルの効率を達成した (図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(15))。



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。

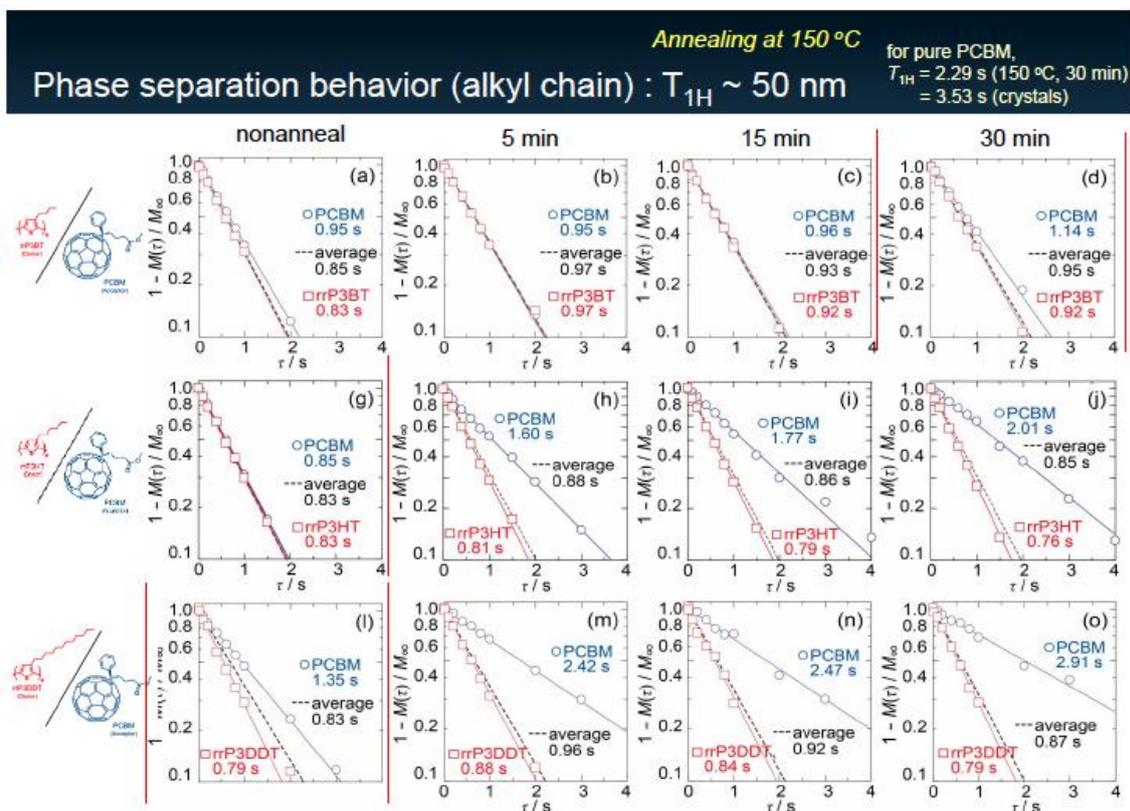


図III-2-(ホ)-A-1(16) 小面積セルの効率

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



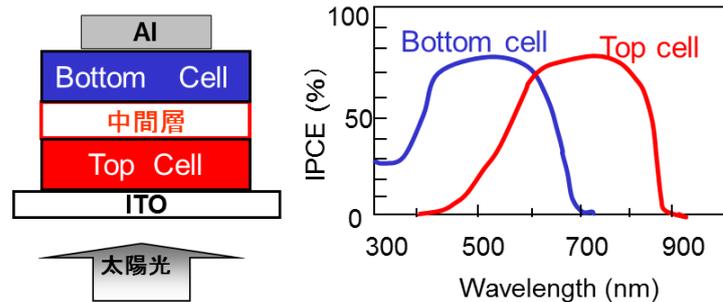
図III-2-(ホ)-A-1(17) 個体 NMR による D/A 相分離構造解析

: 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

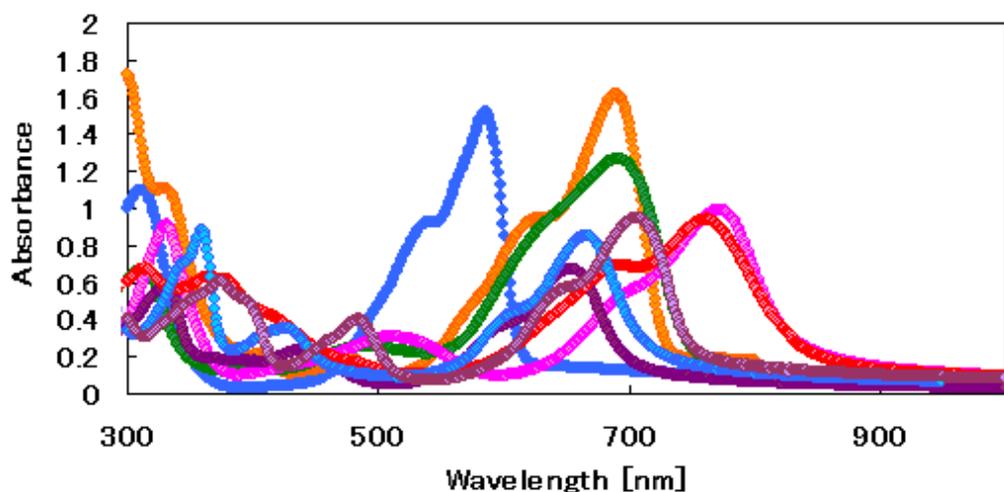
低分子系の材料開発では、ヘテロタンデム方式により、高効率化の目標を達成する考えである。これは、図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(18)に示す波長分離の考え方に則り、異種P型材料から形成されるタンデムセルにて高効率化を達成するものである。



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。

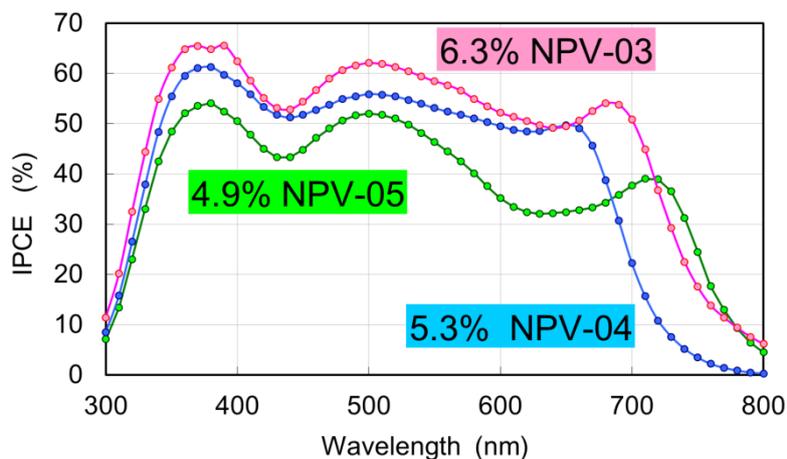
長波長側と短波長側をそれぞれ吸収し、高効率な発電に寄与するp材料を開発する必要がある。図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(19)に、これまでに開発したP型材料の薄膜状態の吸収スペクトルの一部を示す。すべて真空蒸着法により成膜している。500 nmから800 nm以上にわたり強い吸収を有する多くのP型材料を合成、評価した。



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。



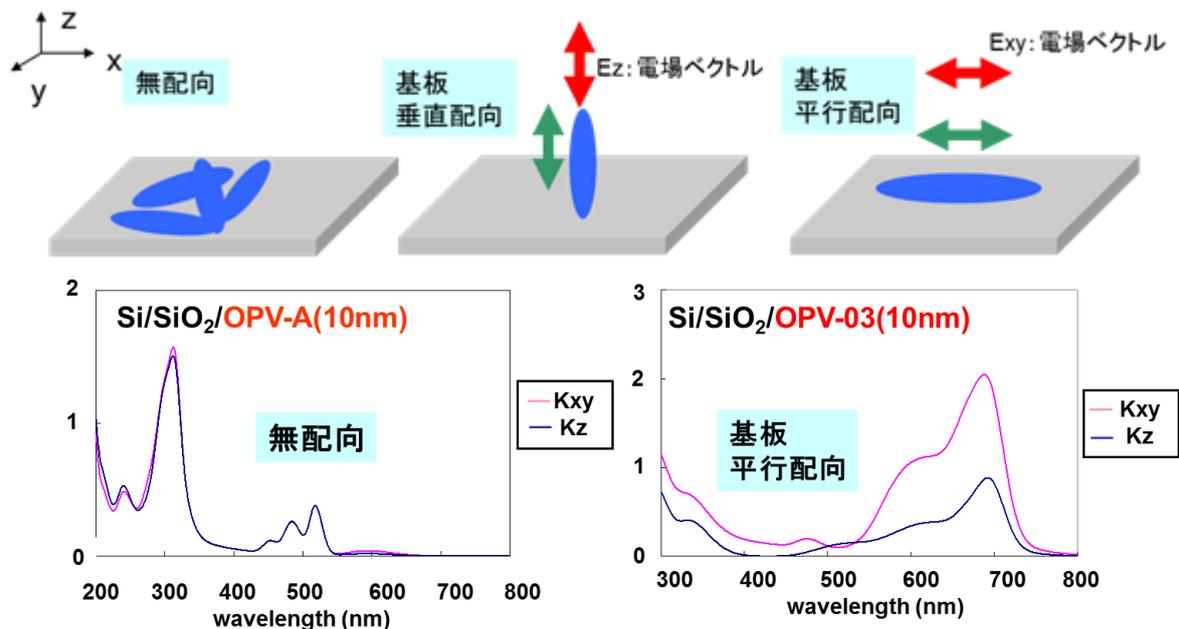
図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(20) p材料3種のシングルセルのIPCE

表Ⅲ-2-(ホ)-A-1(4) p材料3種のシングルセルの性能

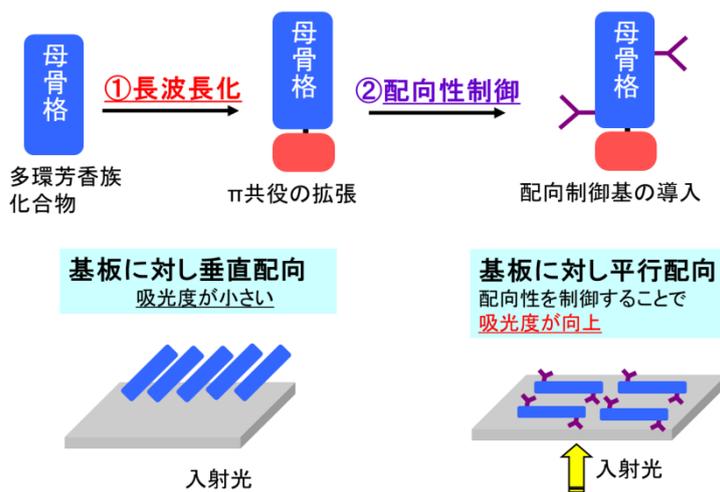
	NPV-03	NPV-04	NPV-05
Voc(V)	0.80	0.97	0.83
Jsc(mA/cm ²)	13.66	10.30	11.3
FF	0.58	0.53	0.52
η (%)	6.28	5.30	4.88

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。



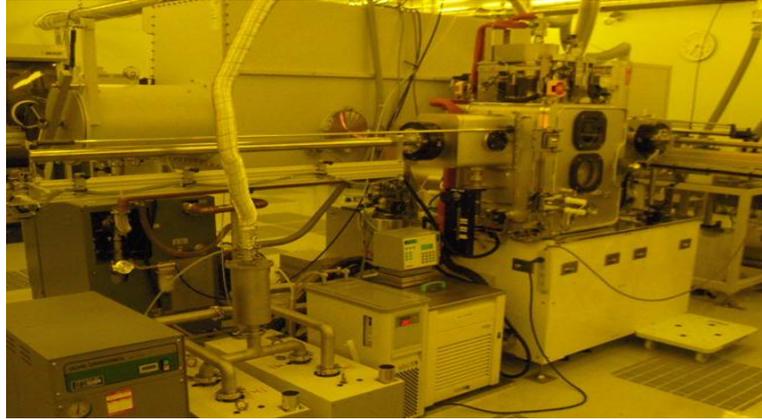
図III-2-(ホ)-A-1(21) 配向性とエリプソメトリースペクトル



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))。

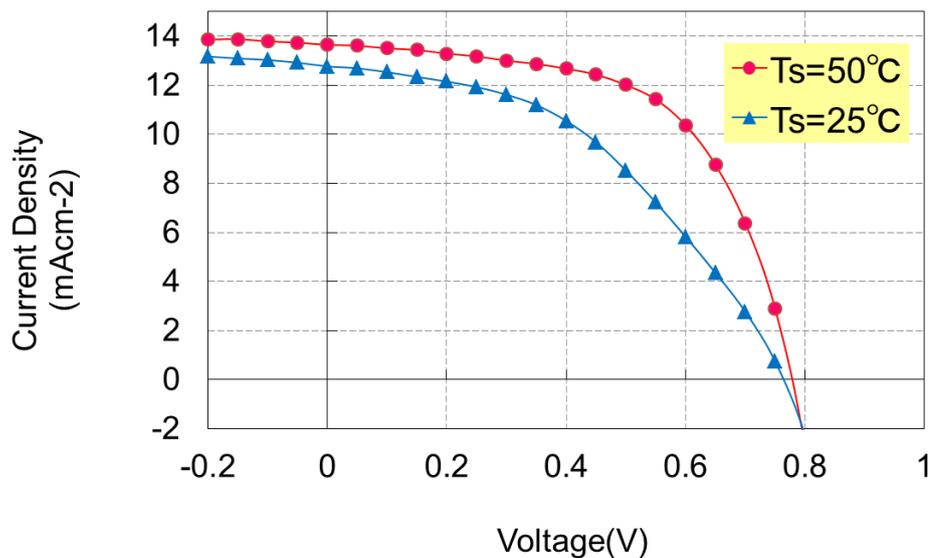


図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(23) 熱処理機構

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。

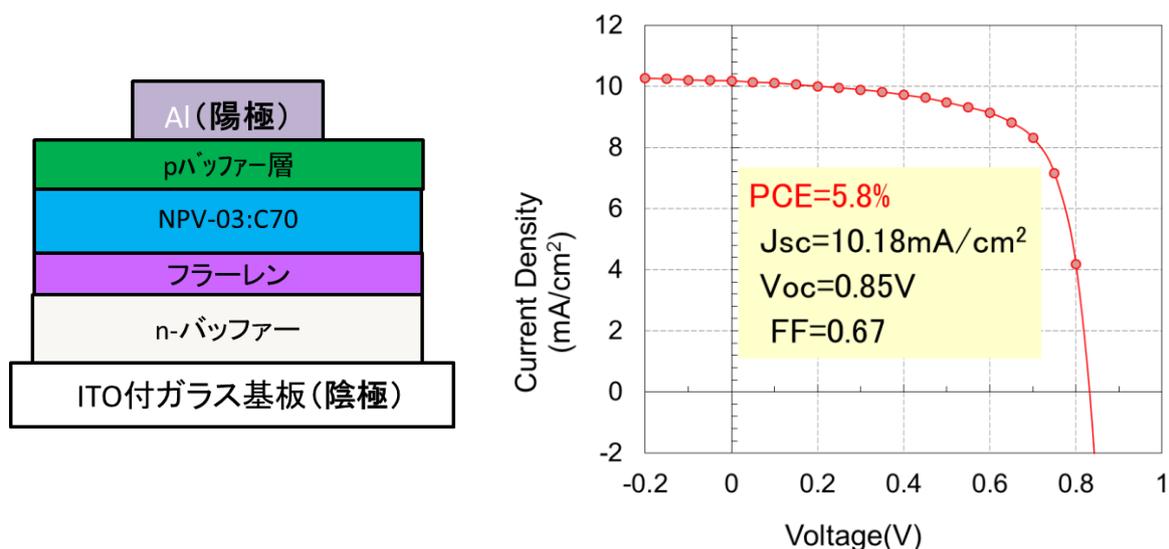


図 III-2-(ホ)-A-1(25) 逆構成素子の JV 特性と素子構成

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。



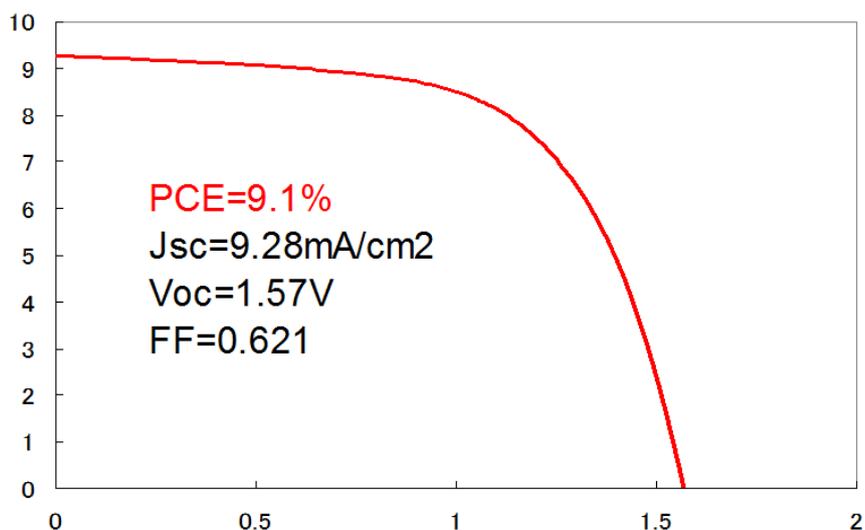
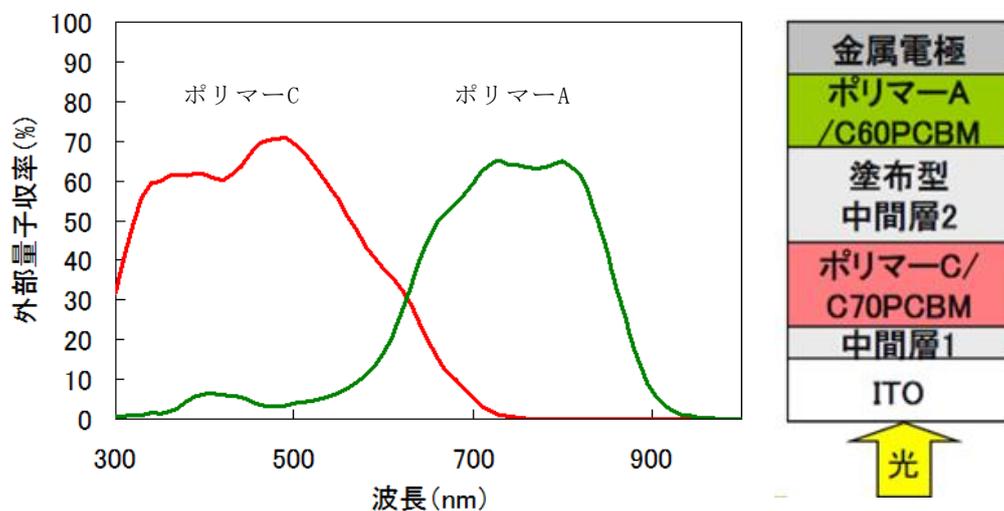
図 III-2-(ホ)-A-1(26) 結晶析出型昇華精製装置

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。

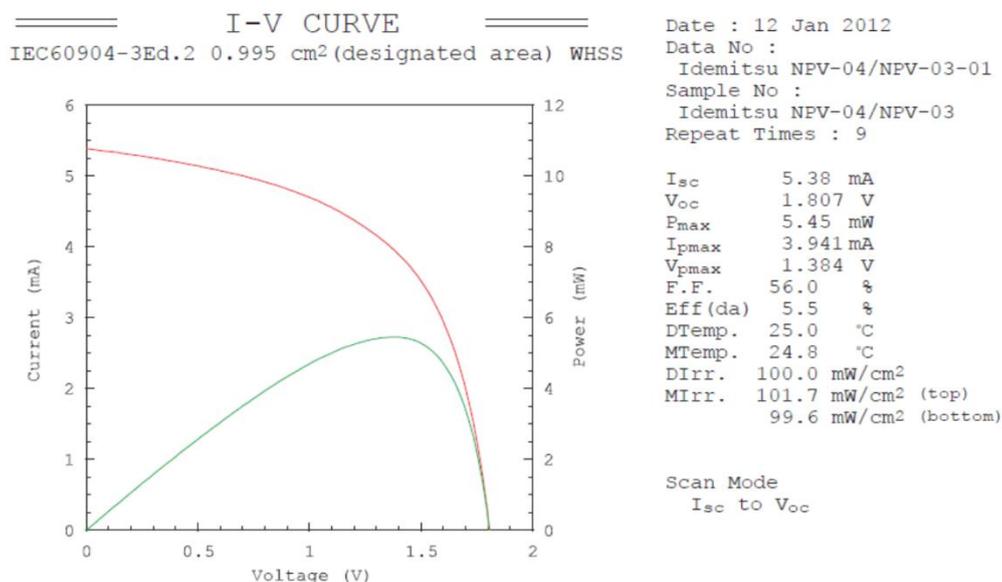
以下にNPV-03およびNPV-04の二つの5%レベルのシングルセルを組合せたタンデムセルの検討結果を示す。中間層の膜厚を実験的に変化させ、陰極A1と陽極ITO含むタンデム素子の光学干渉を調整し、バックセルにも有効に光が入射するように試みた。結果を表III-2-(ホ)-A-1(6)に示す。

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。

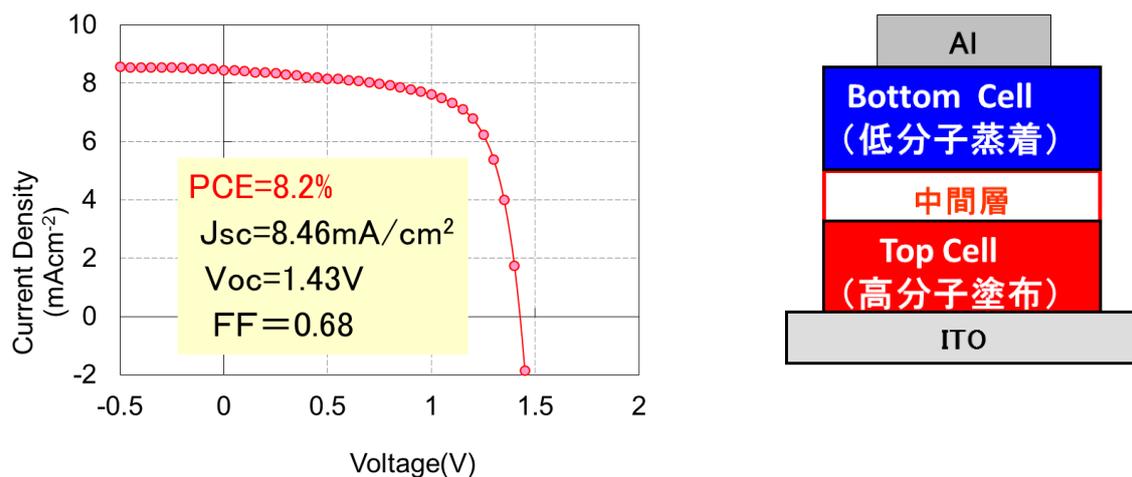
図III-2-(ホ)-A-1(28)に、表III-2-(ホ)-A-1(6)と同じ構成の1 cm角のセルに対する産業技術総合研究所における精密測定結果を示す。同一セルの自社測定値は5.7%であったが、産業技術総合研究所での精密測定では5.5%となった。



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。

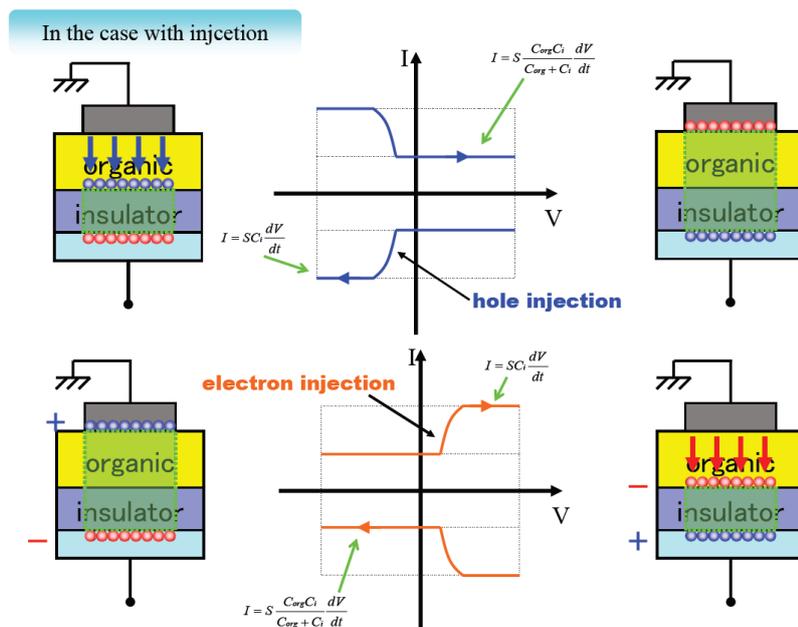
まず、本コンソーシアムの強みである高分子材料および低分子材料を組み合わせることで、他には実現できない可能性が期待できる。次に、塗布-塗布のタンデムで問題となっているような下地（トップセル）を溶解させるリスクを、中間層以降をドライ成膜である蒸着で形成することで、完全に回避している。最後に、コスト的な観点では、塗布と蒸着を組み合わせること自体は、現状の塗布においても電極が概ね蒸着で形成せざるを得ない状況であり、ボトムセルの蒸着工程を塗布工程にさらに付加しても大きなコストアップとはならないと期待できる。

④開発スピード向上に向けた取り組み

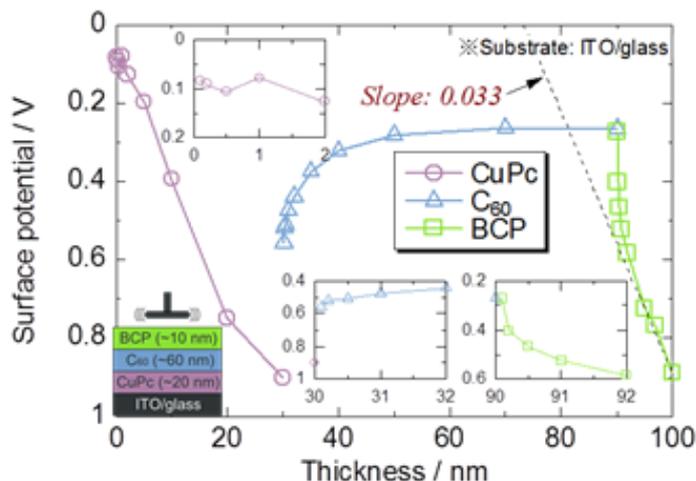
セル開発を効率的に進めるための技術開発にも取り組んできた。

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

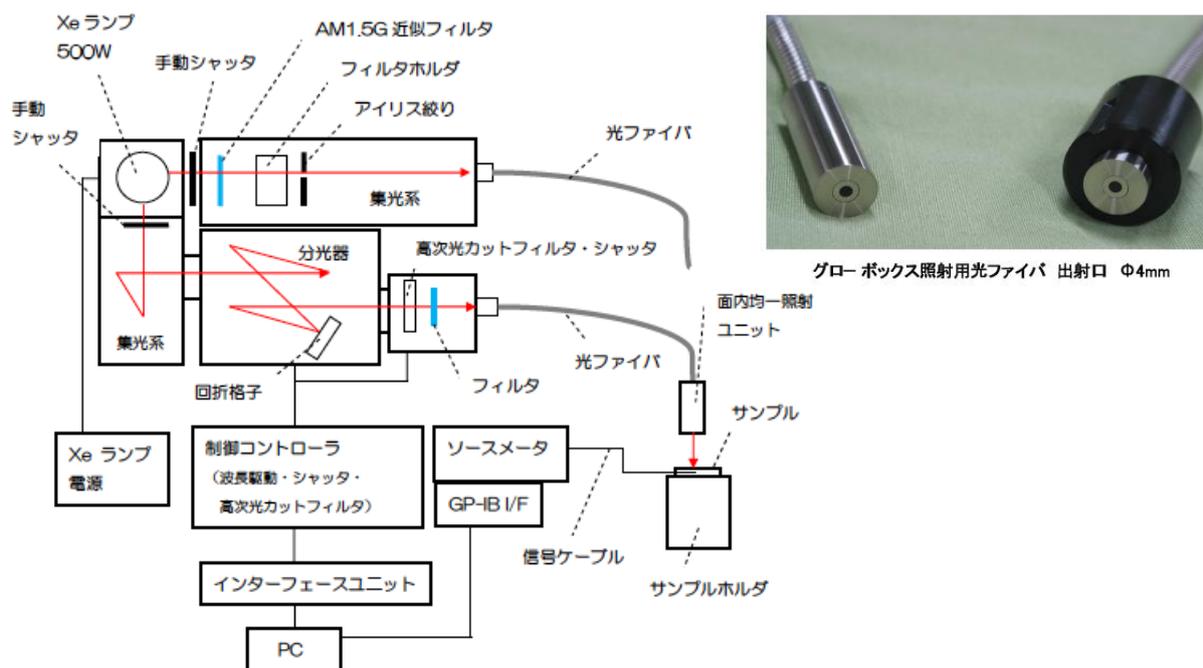


図 III-2-(ホ)-A-1(33) 分光感度特性測定装置の構成概要(左)とグローブボックス照射用光ファイバーの写真(右)

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。

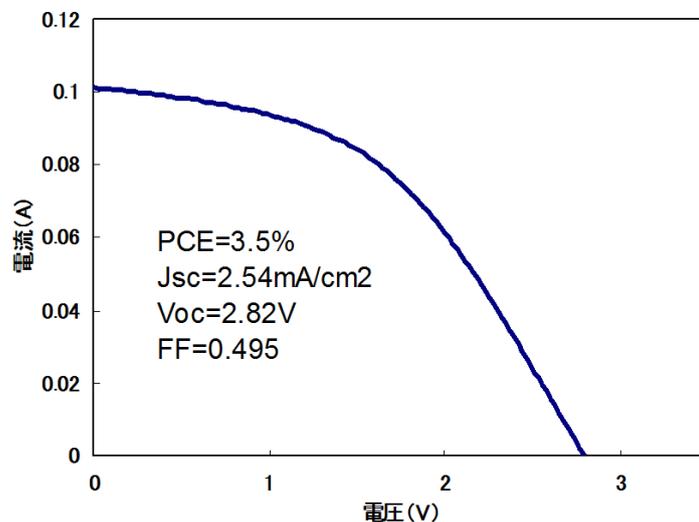
現在、ロール to ロールプロセスに適用可能な塗布法ならびにメニスカス塗布法の2種類の塗布法の開発に取り組んでいる。

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。

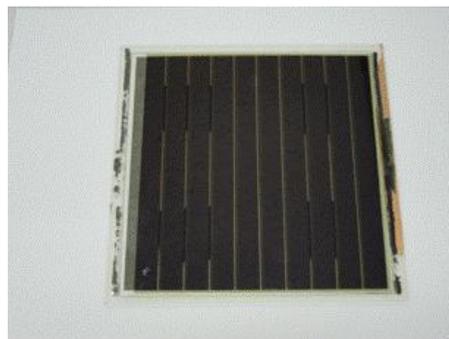
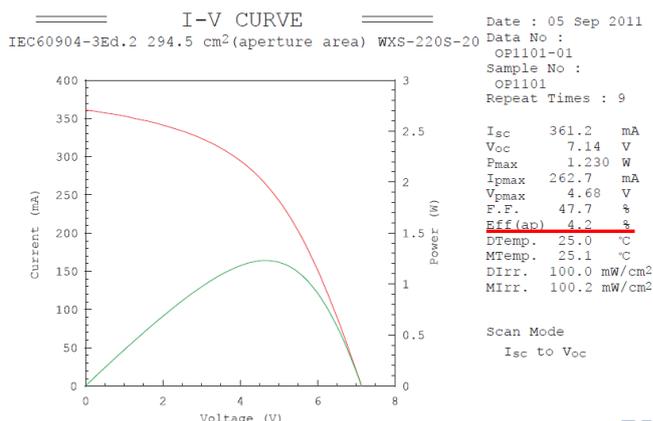
ポリマーAを用い、開口率が70%程度のサブモジュールで、効率3.5% (ap)、4.8% (ac) と、有機薄膜太陽電池の大型サブモジュールとしては世界最高レベルの効率を達成した(図III-2-(ホ)-A-1(34))。

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

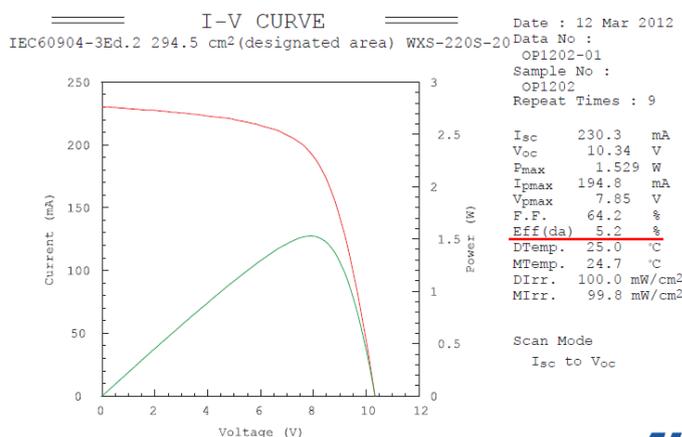


図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(35) 大型サブモジュールの効率

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。

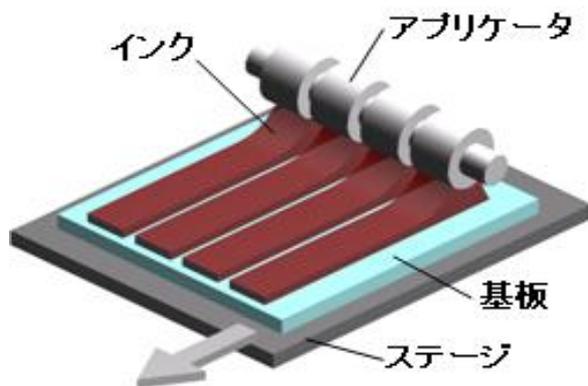


図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(36) 基板の低抵抗化

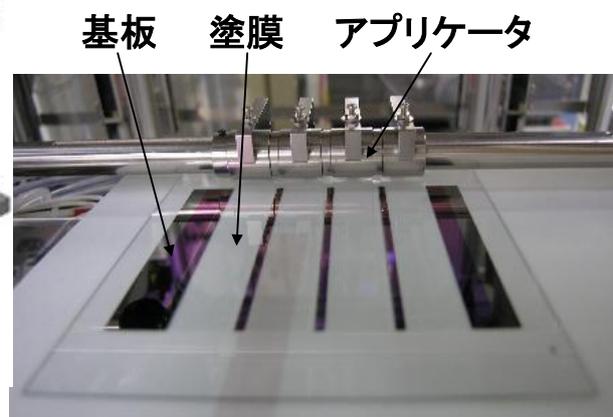
次にメニスカス塗布法の開発状況を説明する。

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。

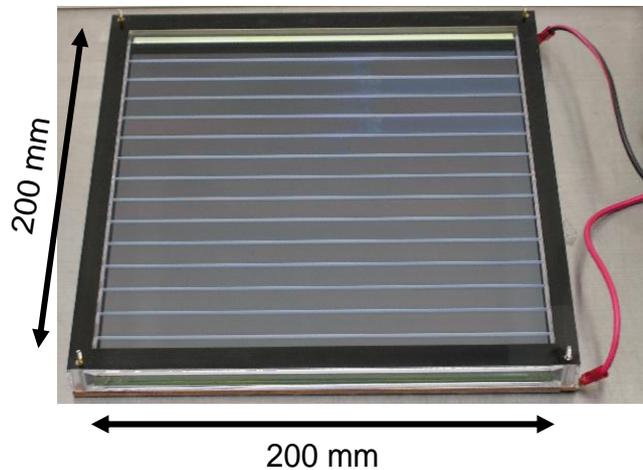
モジュール構造設計では、まず図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(39)に示すストライプ状のセルを直列接続する構造を基本とし、セルの効率特性を可能な限りモジュールにおいても再現することを目指した。具体的には、開口率（セル有効部の面積率）の向上と、発電時の局所的なリーク電流の抑制を念頭に置

いて設計した。

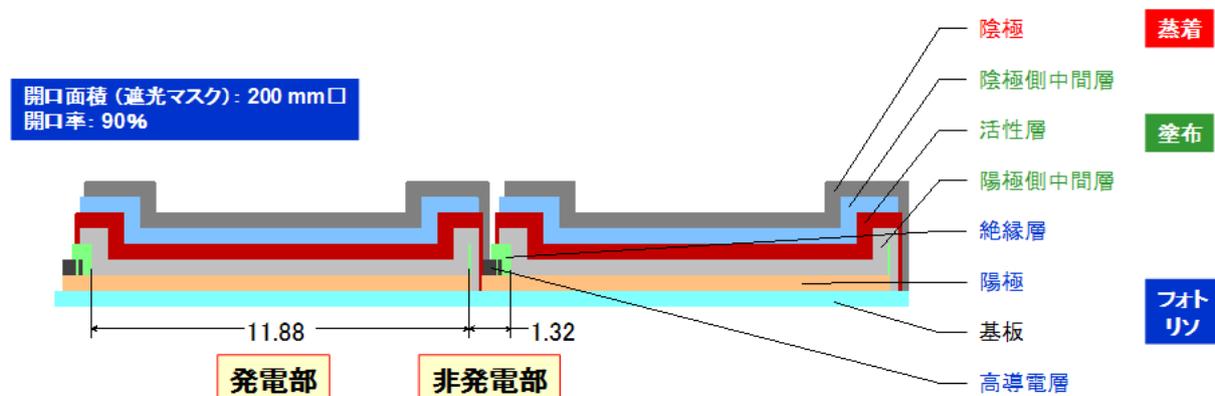
図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(40)に、開発した直列モジュールの断面構造を図示した。発電部の幅（ストライプセル幅）を11.88mmと従来よりも狭い値に設定することでITO陽極における電流損失を抑制すると共に、非発電部を極力狭く(1.32mm)設計することで開口率の向上を図った。非発電部を狭くしたことで、活性層や中間層の塗布幅精度を著しく向上する必要が生じたが、上記メニスカス塗布の開発によりこれを実現

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

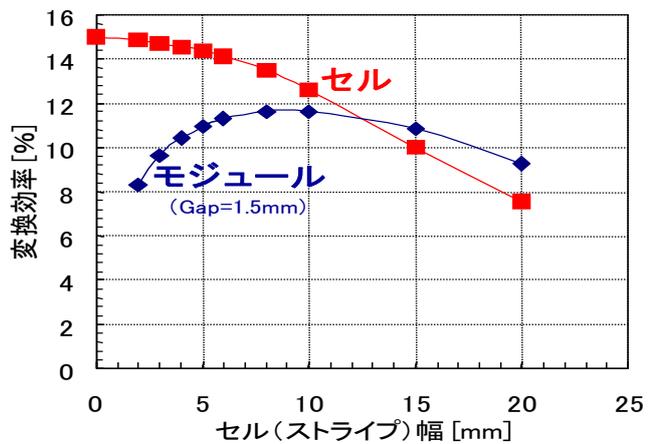


図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(40) 20cm角モジュールの断面設計図

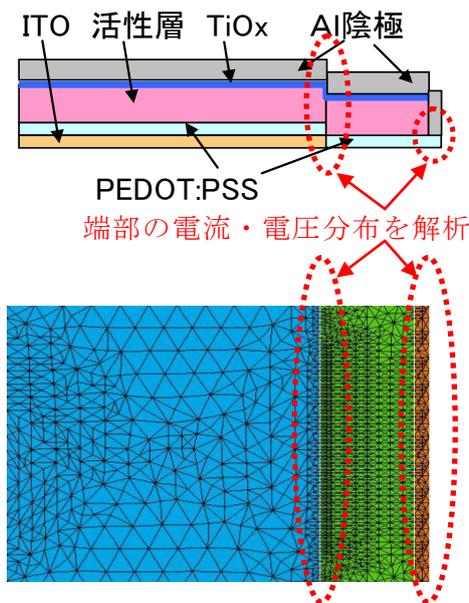
シミュレーション技術の開発は、上記のモジュール設計やメニスカス塗布技術の開発に対して重要な指針を与えるもので、有機薄膜太陽電池開発には必要不可欠な開発アイテムである。特に、モジュールのストライプセルの幅、セル間ギャップ幅、ITO電極抵抗、陰極抵抗、補助電極の抵抗値などの設計値を決定するにあたり、実験で全てを最適化することは事実上不可能であり、シミュレーションによる最適化が極めて有効であった。

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)

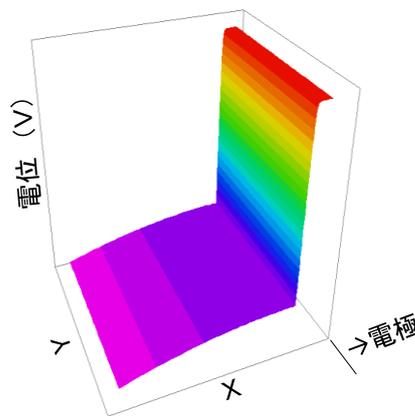
に示す。これらのシミュレーションを駆使して図III-2-(ホ)-A-1(40)のモジュール構造における発電部の幅 (11.88mm) を決定した。また、非発電部の設計にあたっては、図III-2-(ホ)-A-1(42)に示すセル端部における電流・電圧分布の解析結果から決定した。この解析から、セル端部の外側 0.2mm の範囲の発電はセル効率に寄与するため、効率測定においてはこの端部効果を除去できるマスクの使用が必要であることを再確認するとともに、中間層の導電率が 1000[S/m]以上



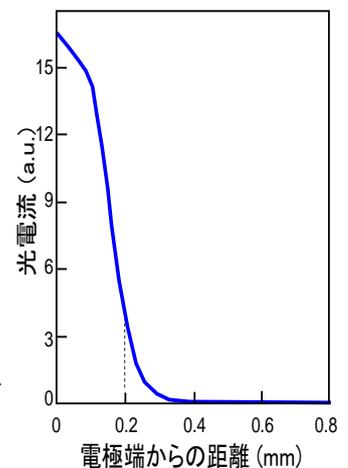
図III-2-(ホ)-A-1(41) セル幅の影響のシミュレーション結果



(a)セルの断面・平面モデル



(b)端部の電圧分布の計算結果



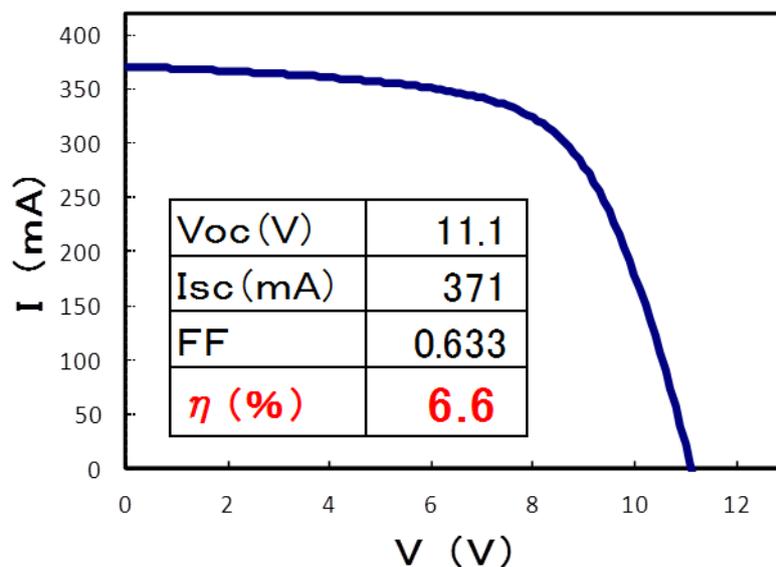
(c)端部の電流分布の計算結果

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。

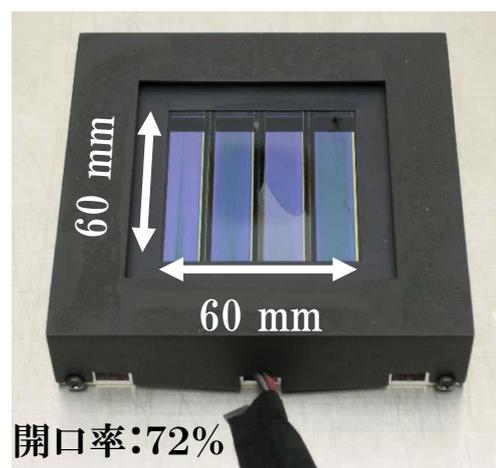
さらに、このシミュレーションによって、ミニセルの効率値からモジュール効率を推定することも可能になった。定量的にも実験結果と良く一致しており、開発の効率化に対し多大の効果が得られた。

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。

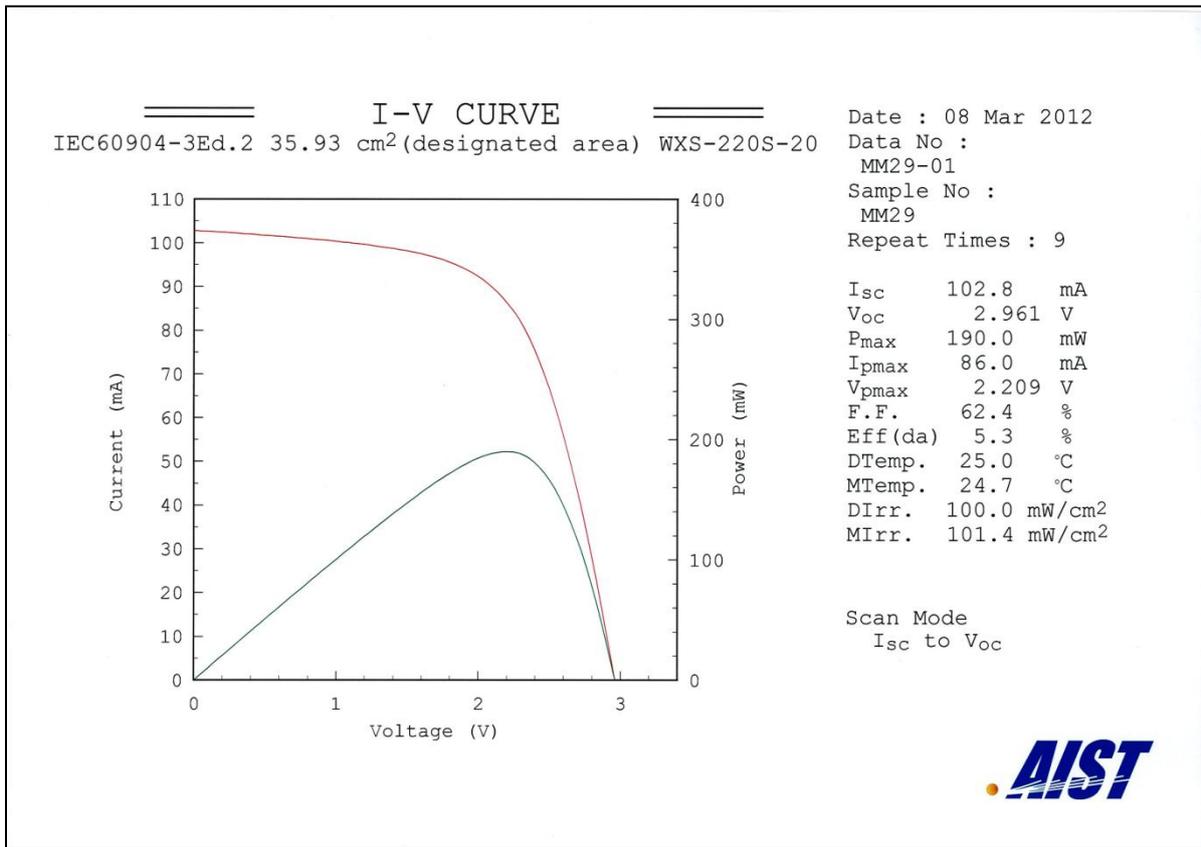


図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(43) 6.6%モジュールのI-V特性

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

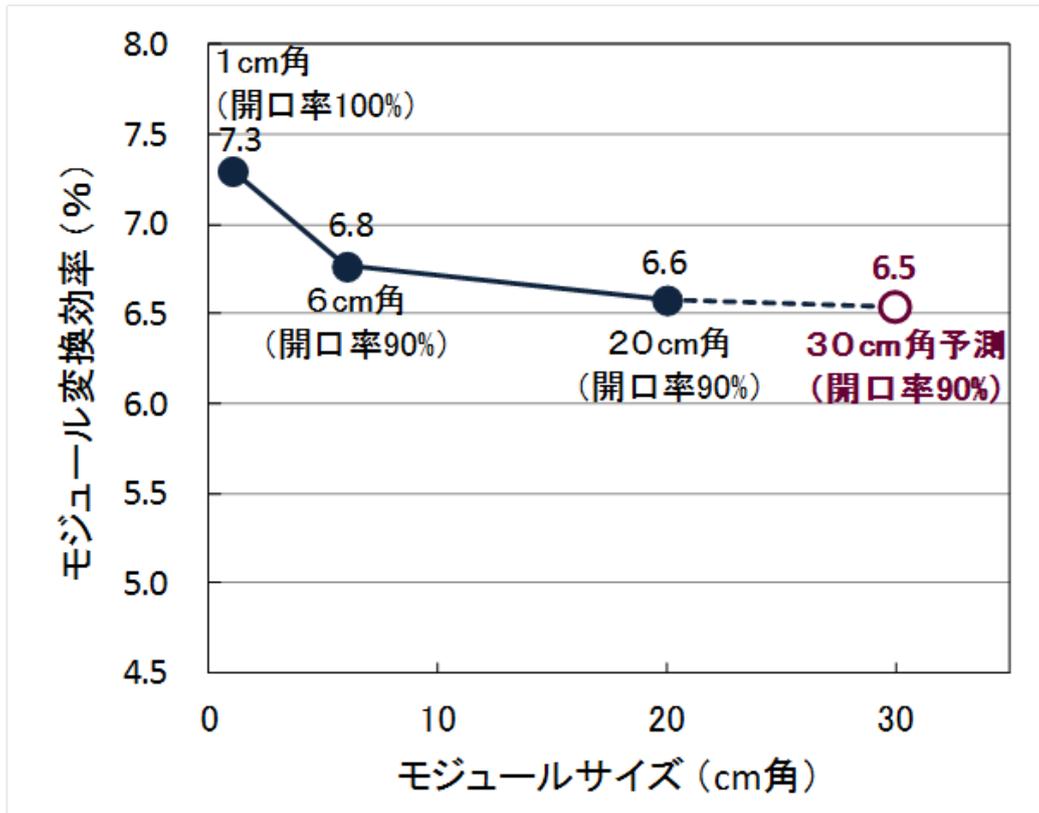


図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(45) 産総研における効率5.3%サブモジュールの測定結果

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。

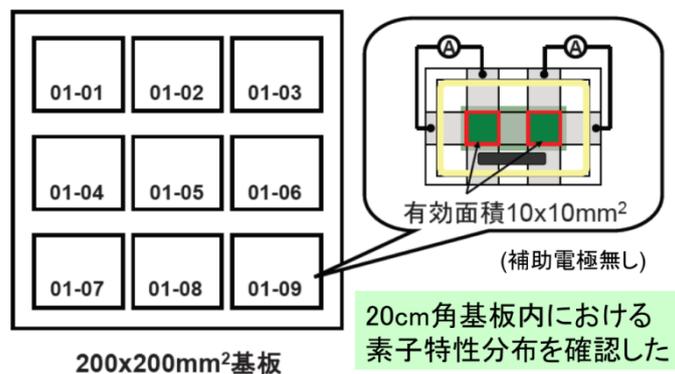


図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(46) 30cm角モジュールの効率予測

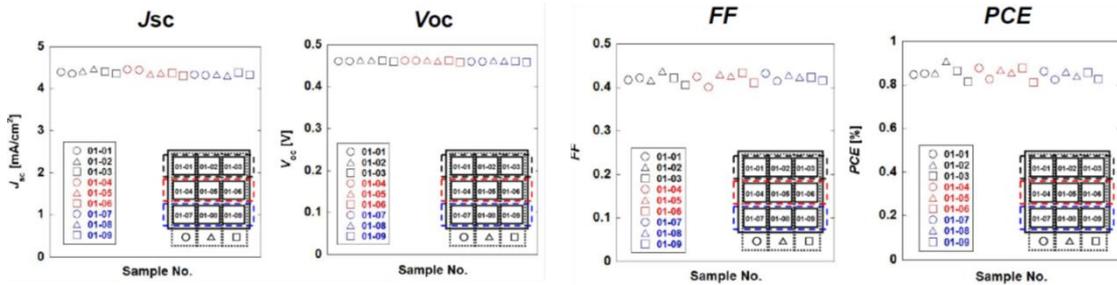
②蒸着プロセス

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、既存装置の改造をしなくても成膜可能な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。



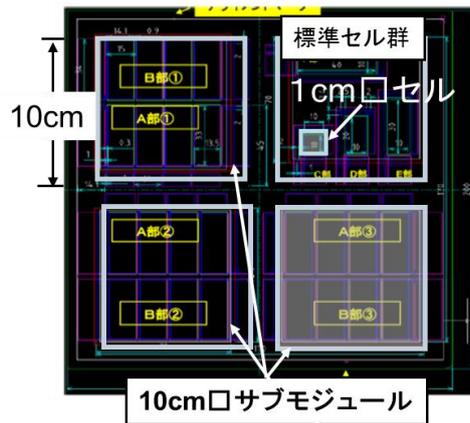
図Ⅲ-2-(ホ)-A-1(47) 20cm角基板における1cm角素子の配置



	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。



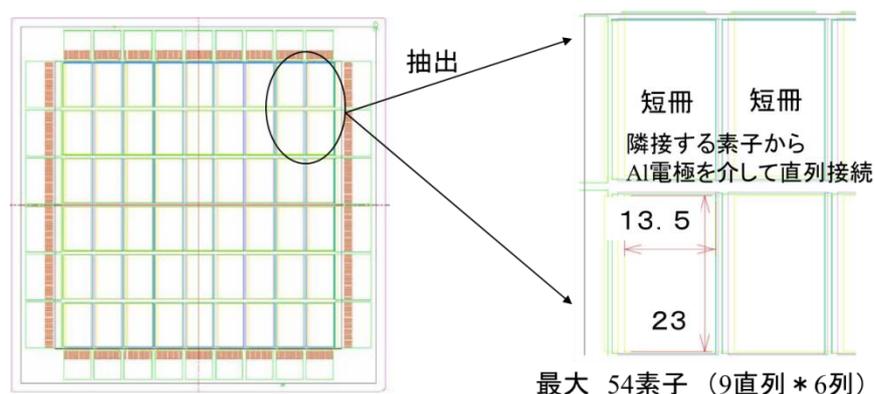
8 cell (Series 4, Parallel 2)
Active area 35.64cm²

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。



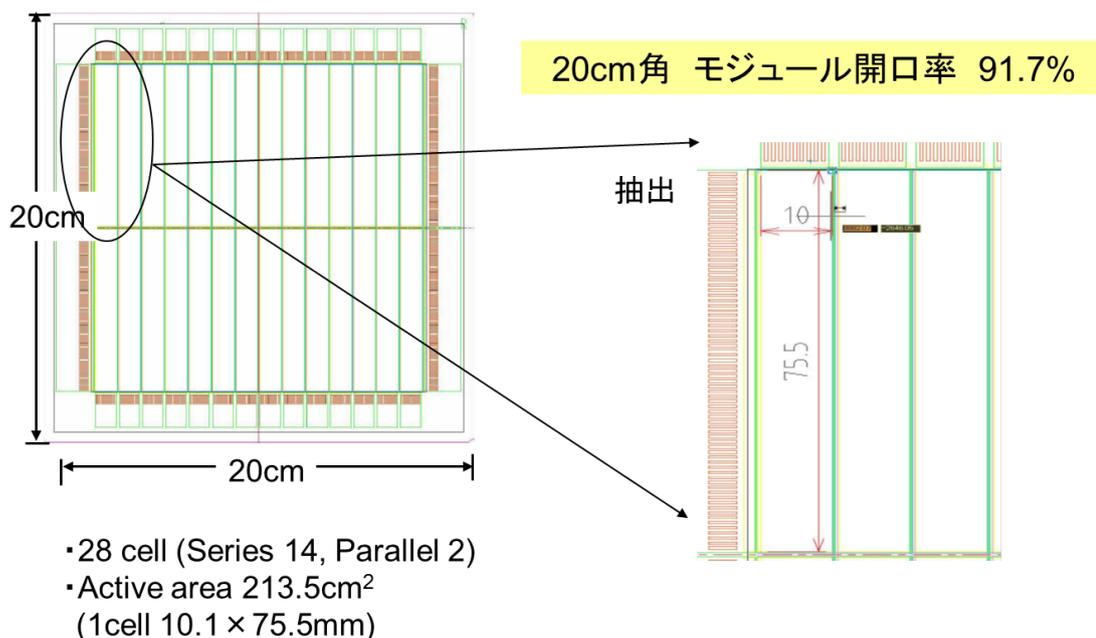
図III-2-(ホ)-A-1(50) 20cm角モジュールデザイン（開口率76%）

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、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

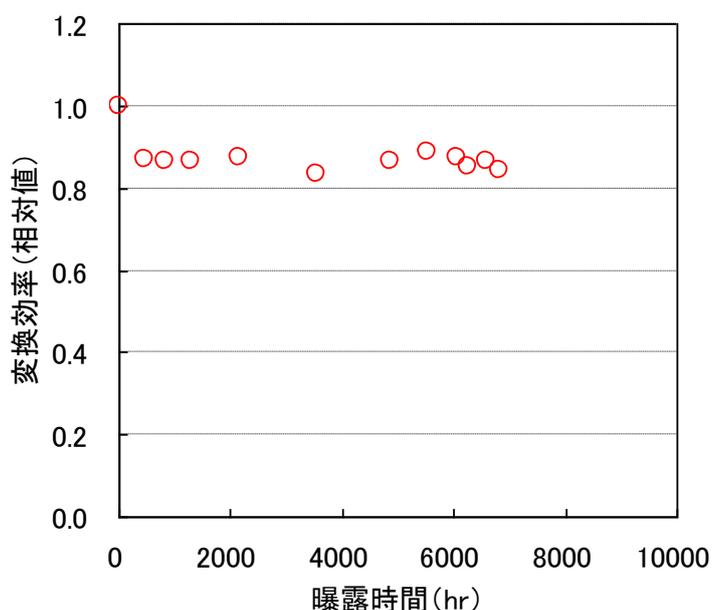
高分子系では、グローブボックスでの作製により水分、酸素などの制御を行っているが、有機溶媒の調整からデバイス作製、封止までを完全に制御している訳では無い。残留する水分がデバイス性能に影響を及ぼしていることが十分に予測される。有機溶媒の脱酸素および脱水、作製から封止まで完全に制御することで、劣化要因を無くし耐久性を向上させることで中間目標を達成する。

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IEC/TC113（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。NEDO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。

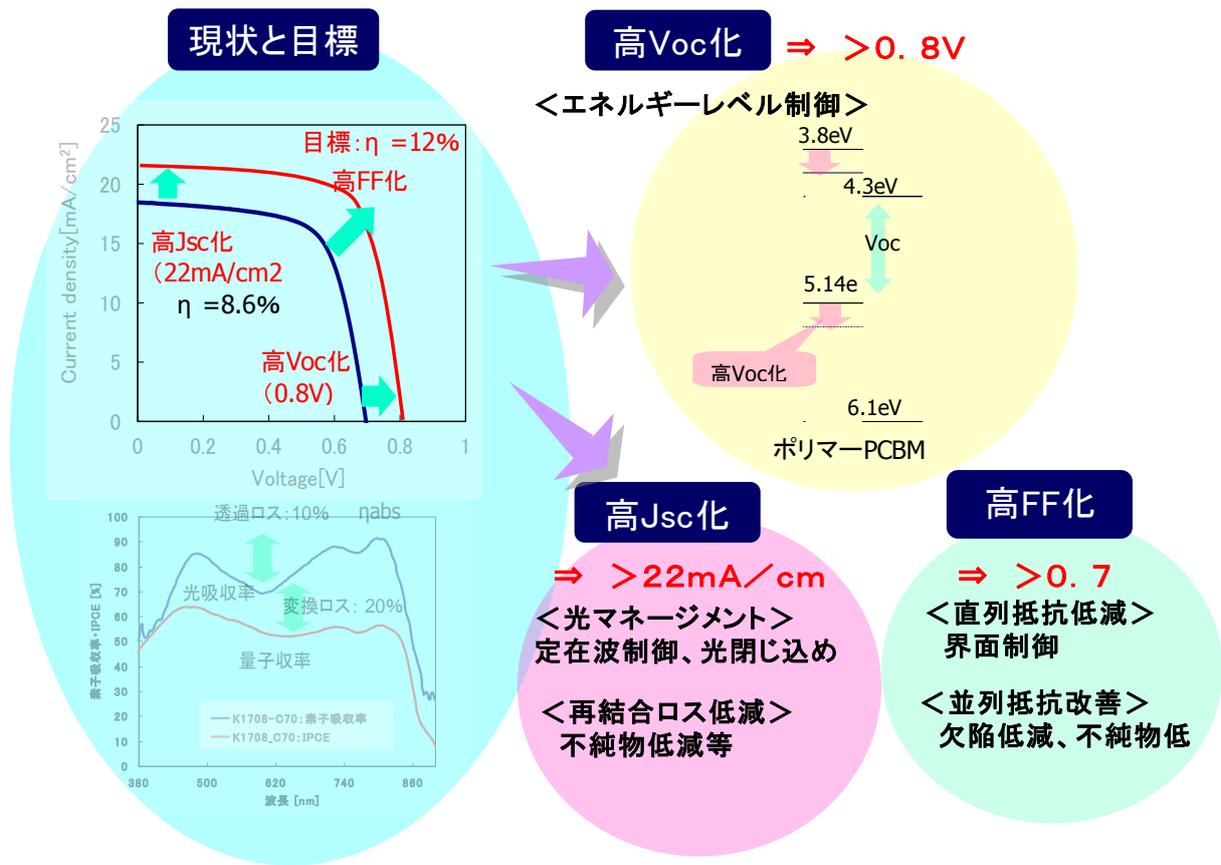
- a. 多元セルを同一環境下で多数作成する手法開発。
- b. 多元セルを同一環境下で迅速に評価する手法開発
- c. 最適セルのナノ構造解析

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。

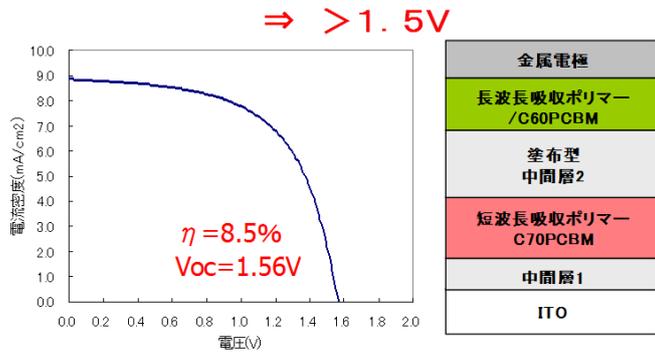
これまで低分子型p材料に関しての高効率化はすべて蒸着法を前提にして説明してきた。しかし低分子を用いた塗布法による成膜もカリフォルニア大学等において継続的に検討されている。開示されているこれら塗布用の低分子はいずれも比較的分子量は大きく、蒸着は困難と推定される。しかし高分子に比較し、再結晶法等精製が容易であり、純度を向上させることが可能と考えられる。したがって低分子塗布は、低分子の特長を残しつつ、成膜の面では高分子の良さを取り込んだ方法と言える。塗布法が低コストというだけでなく、同一構造の高分子p材料は分子量が大きいほど結晶性が向上し、ナノ相分離の構造が形成し易くなり、変換効率が向上するという報告がある。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

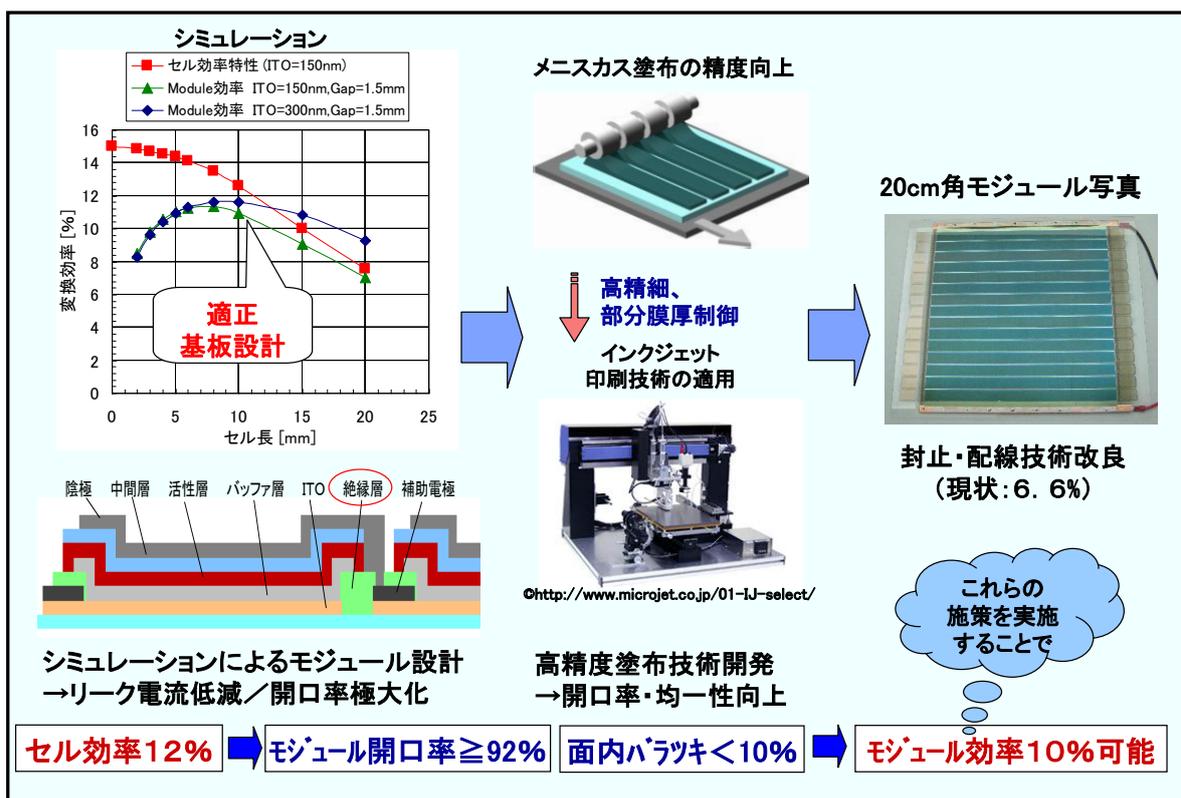
②モジュール変換効率の向上

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のであるため、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。

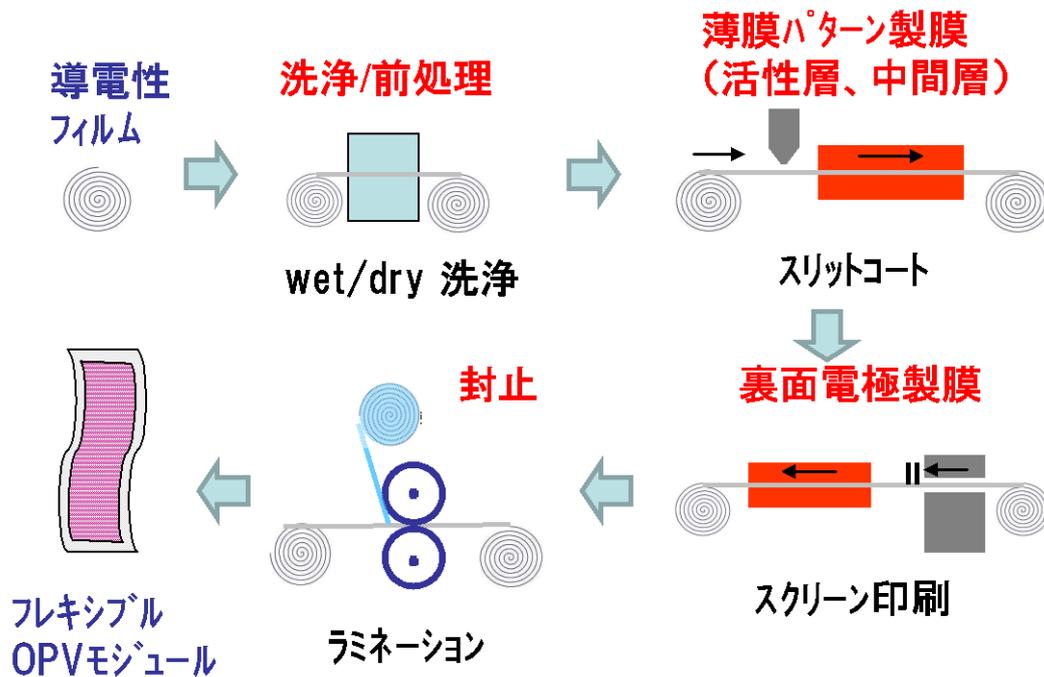
これらの施策により1cm角セルで変換効率12%の材料/素子構造を用いて、30cm角モジュールを作製した場合、モジュール変換効率10.2~10.8%を得られ目標を達成できる。



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。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む予定である。

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。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)）。

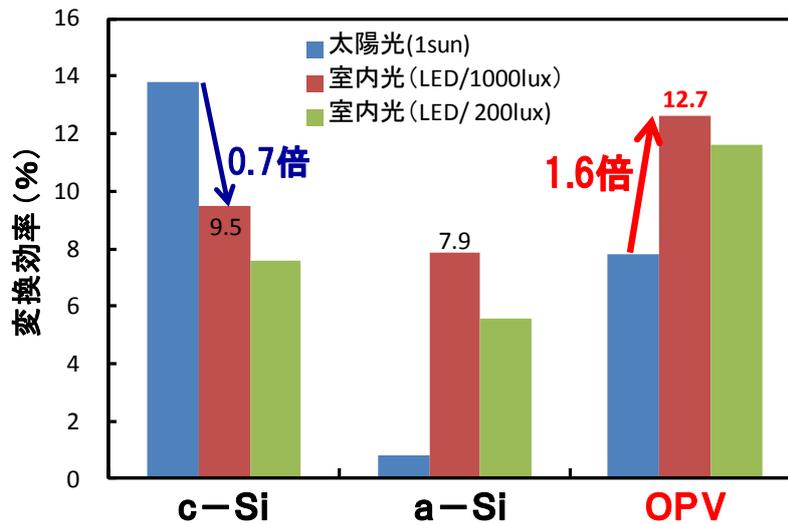


図Ⅲ-2-(ホ)-A-2(1) 各種有機薄膜太陽電池作品

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。

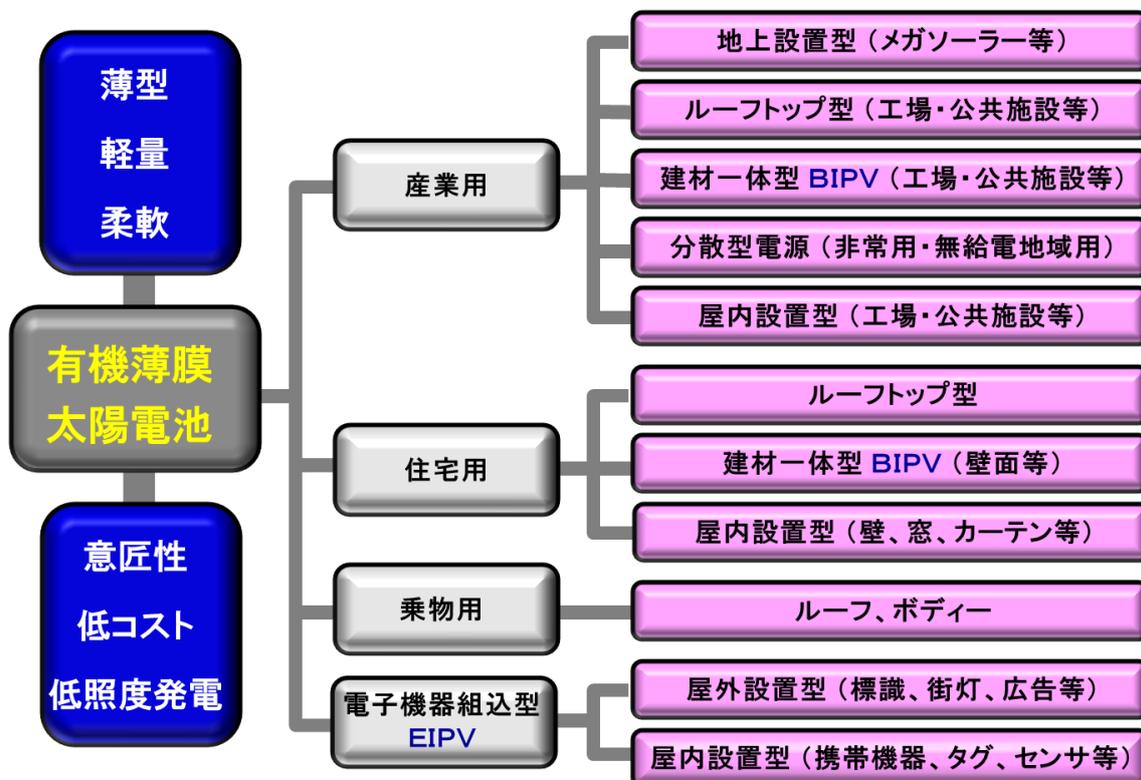
したがって有機薄膜太陽電池の推定市場規模は、結晶シリコン太陽電池にはない特徴をいかして普及が進めば、非常に大きなものになることが期待できる。

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。

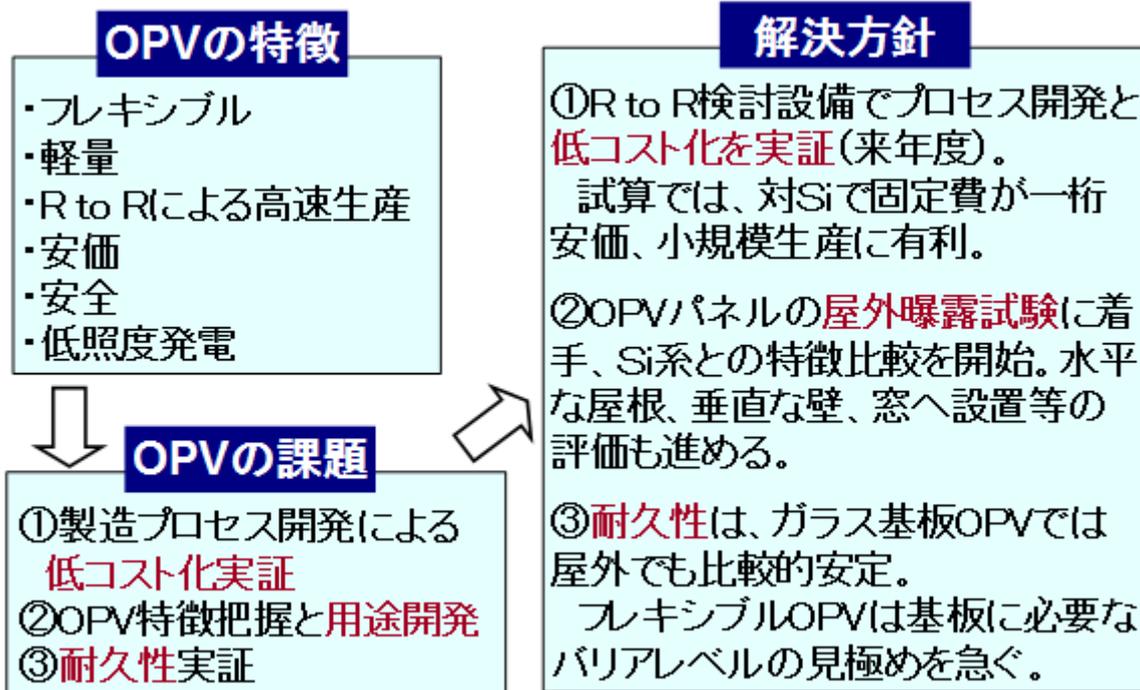
多くの課題の中でも有機薄膜系太陽電池の特徴を生かすためにはフレキシブル化が極めて重要であり、フレキシブル有機薄膜系太陽電池の実用化を見極める必要がある。

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

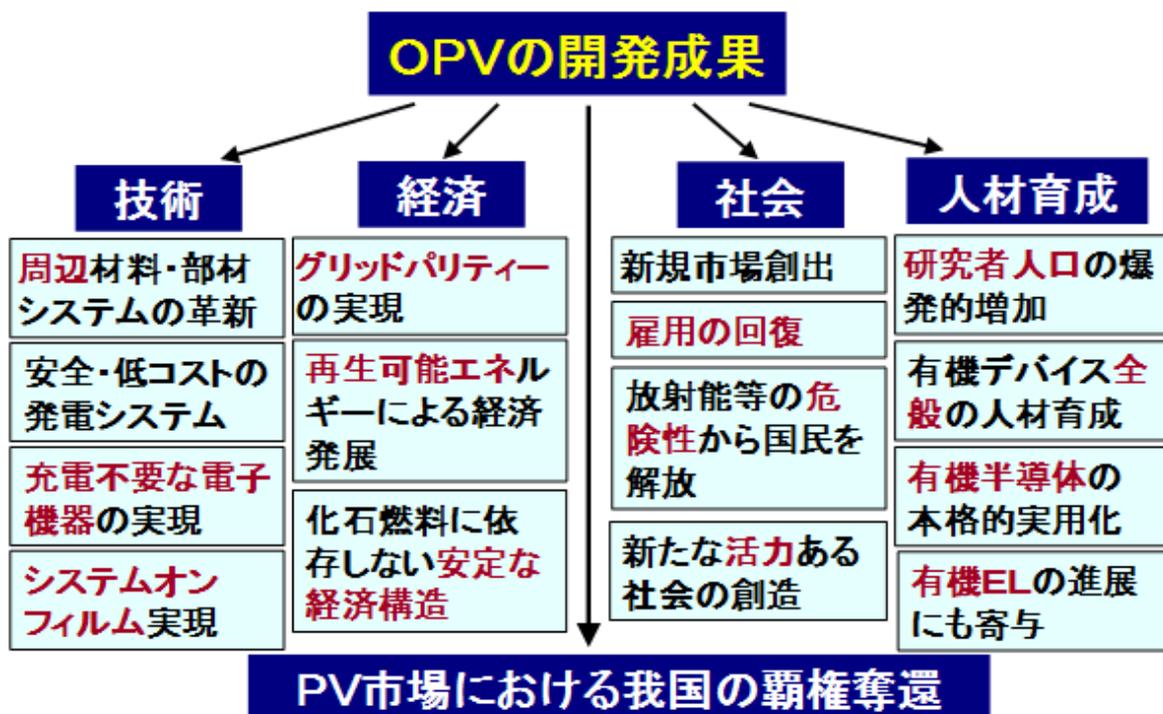
3. 波及効果

(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

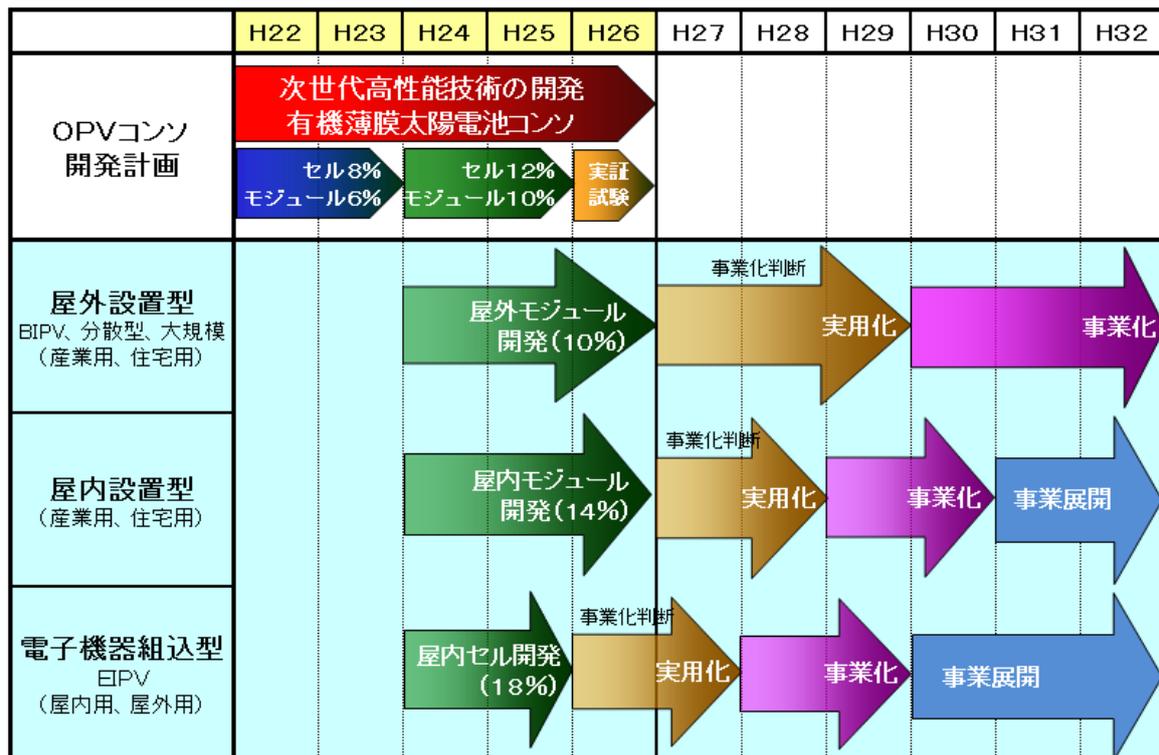
近年の有機薄膜太陽電池開発の進展は、当該分野における研究者人口の爆発的増加を招来し、広く有機デバイス全般の研究開発や人材育成にも多大の効果をもたらしつつある。有機薄膜太陽電池開発の成功は、有機半導体技術の本格的な実用化を促すのみならず、技術的には有機薄膜太陽電池に先行してきた有機ELディスプレイや有機EL照明などの進展にも寄与することは疑いない。



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)）。

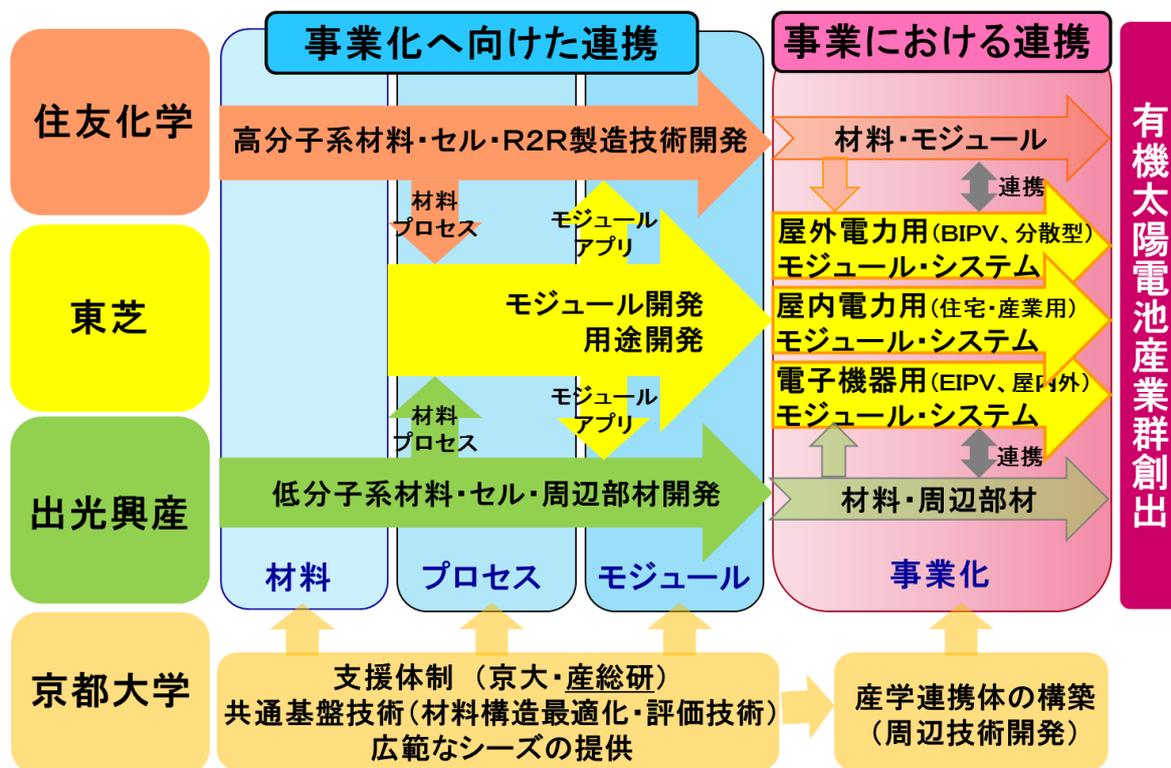


図Ⅲ-2-(ホ)-A-4(1) 事業化時期を盛り込んだコンソーシアムとしての開発計画

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

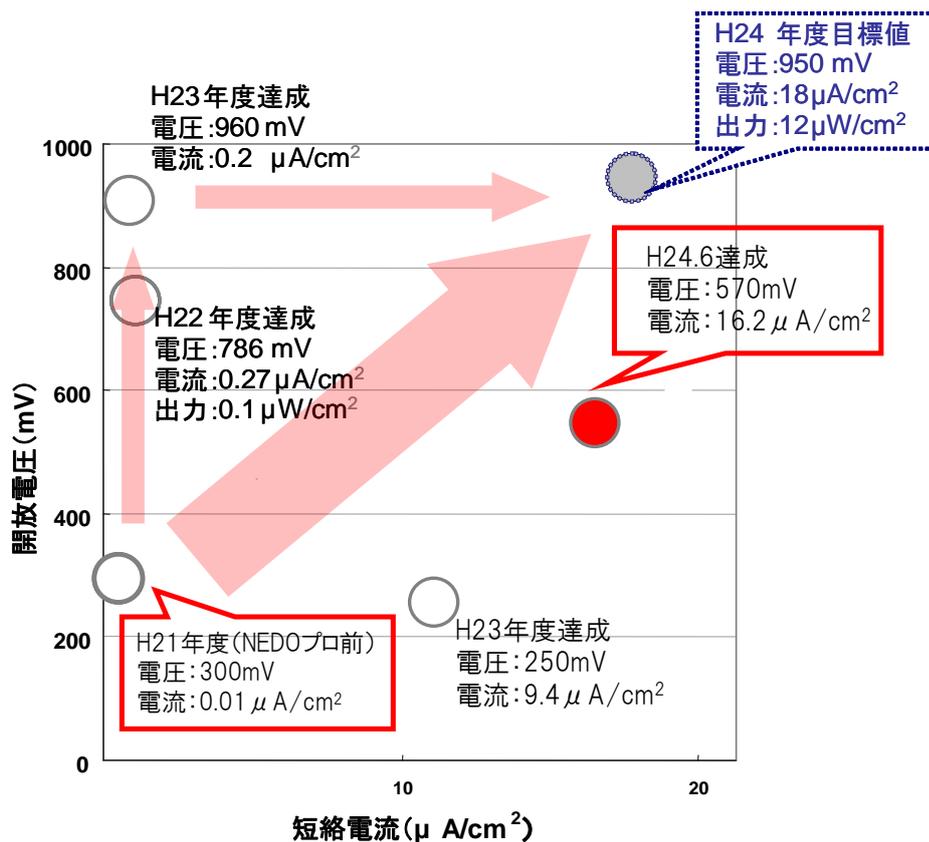
◎: 数値目標クリアに加えて想定以上の付加価値を実証、○: 数値目標クリア、△: 数値目標未達

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 $V_{oc}950\text{mV}$ 、 $J_{sc}:0.2\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ）
 - ・電荷分離分子設計による J_{sc} 向上（目標 $J_{sc} 0.2\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ）
 - ・漏れ反応抑制による V_{oc} 向上（目標 $V_{oc} 950\text{mV}$ ）
- 2) 多孔質電極による J_{sc} の増大（目標 $J_{sc}:18\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ）
 - ・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

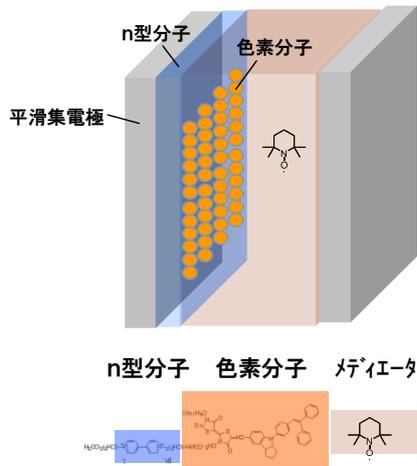
H24年6月時点で、可視光下 $V_{oc}570\text{mV}$ 、 $J_{sc}16.2\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 、変換効率10.5%(出力 $6.1\mu\text{W}/\text{cm}^2$) を達成した。それぞれの検討内容について以下に詳細を述べる。なお残課題として、「光学損失要因となる色素の排除」があり、H24年度末に変換効率20% ($12\mu\text{W}/\text{cm}^2$) を達成する見通しである。



図Ⅲ-2-(ホ)-B-1(2) 素子特性の俯瞰図

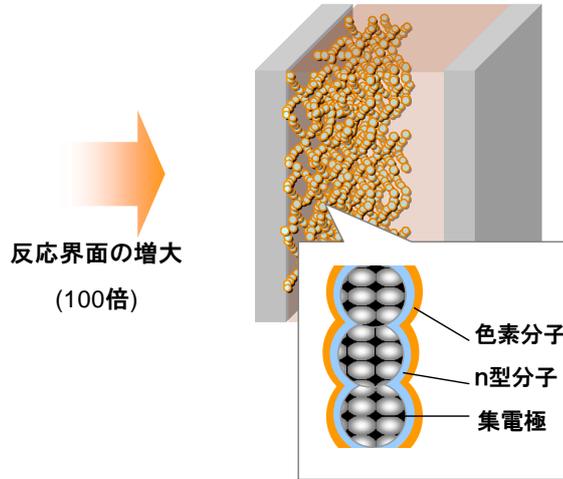
1) 平滑電極における電荷分離界面の構築

(Voc950mV、Jsc0.2 μ A/cm²)



2) 多孔質電極によるJscの増大

(18 μ A/cm²)

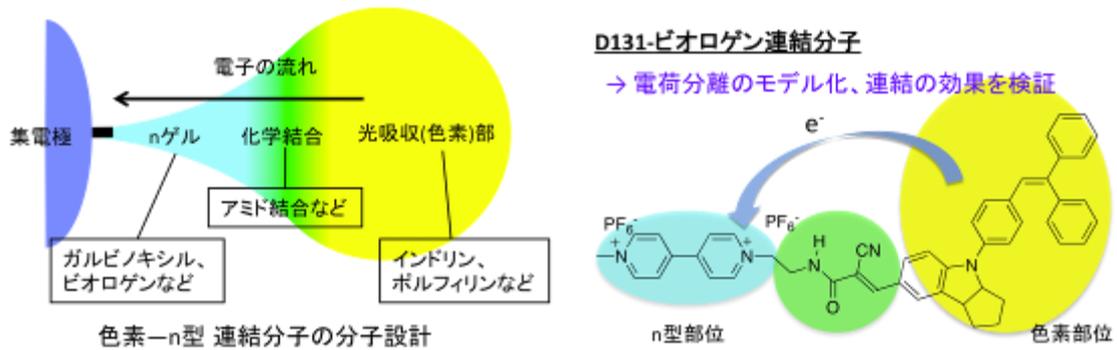


図III-2-(ホ)-B-1(3) 変換効率向上方策の概念図

1) 平滑電極による電荷分離界面の構築 (Voc 950mV、Jsc 0.2 μ A/cm²)

・電荷分離分子設計による Jsc 向上 (Jsc 0.2 μ A/cm²)

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 Jsc 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 μ A/cm² 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 μ A/cm² 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)。

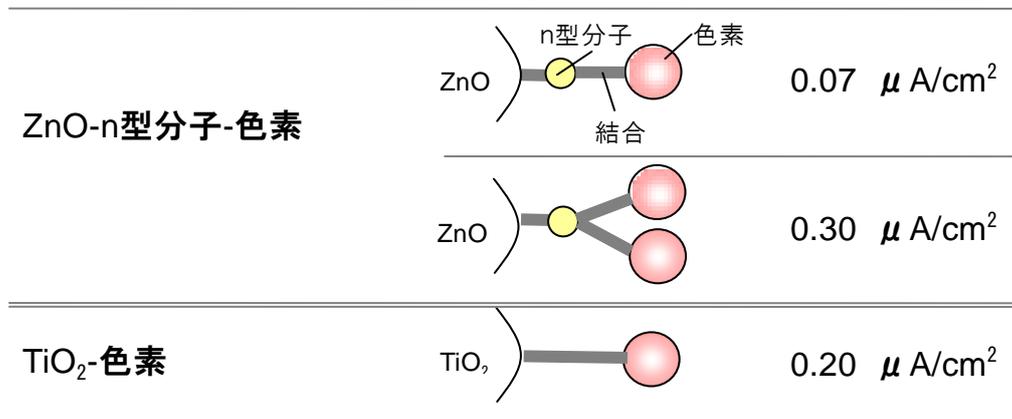


図 III-2-(ホ)-B-1(5) 電荷分離界面状態と平滑電極での電流値のまとめ

・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)

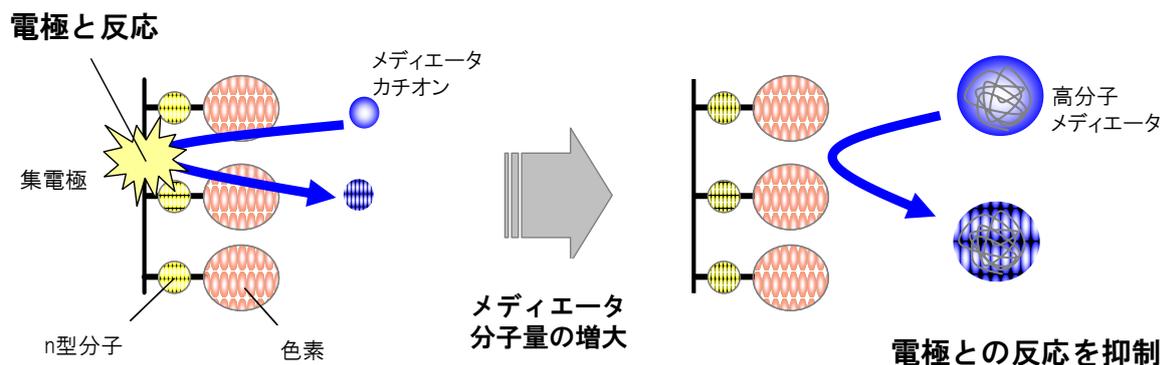
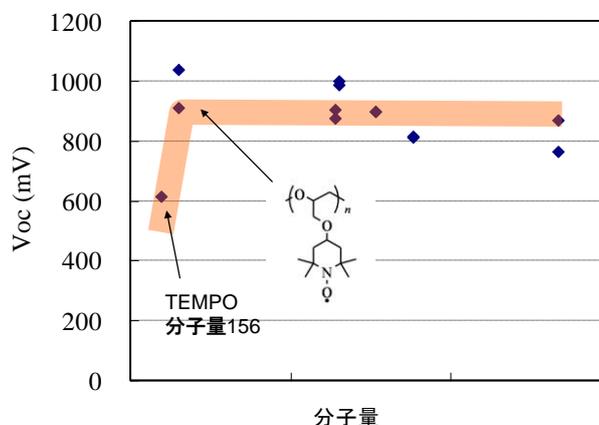


図 III-2-(ホ)-B-1(6) メディエータ高分子化による電極との反応抑制

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。

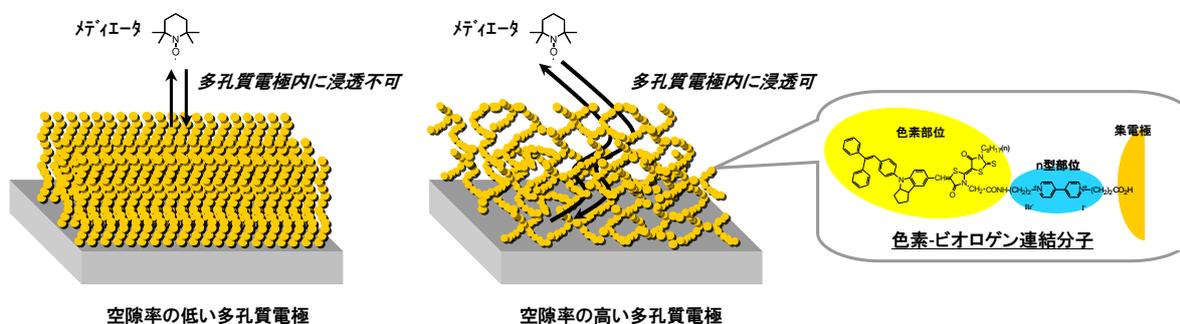


図III-2-(ホ)-B-1(7)

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

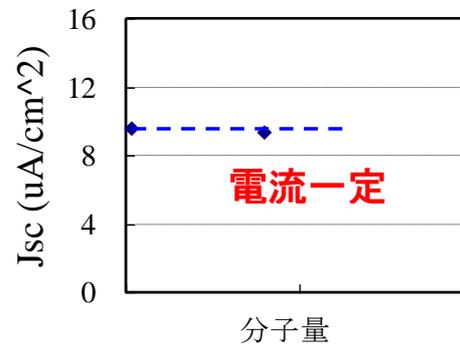
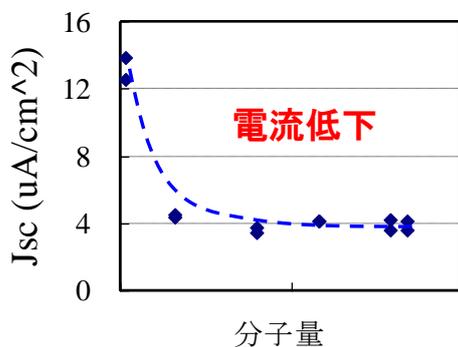
1) の結果より、Voc=950mV 達成には、高分子メディエータ活用が重要な鍵である。一方、多孔質電極の有効活用にはメディエータを多孔質内部へ浸透させる必要があり、分子サイズの大きな高分子メディエータ活用には、大きな細孔をもつ電極の導入が求められることが推測される。実験においても、図III-2-(ホ)-B-1(9)に示すように、小さな細孔をもつ多孔質電極ではメディエータ分子量が大きくなるに従い電流が低下するのに対し、大きな細孔をもつ多孔質電極では、メディエータ分子量が大きくなっても電流値は一定であり、高分子メディエータが浸透する電極構造であることが示唆された(電極構造の詳細についてはC. 多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



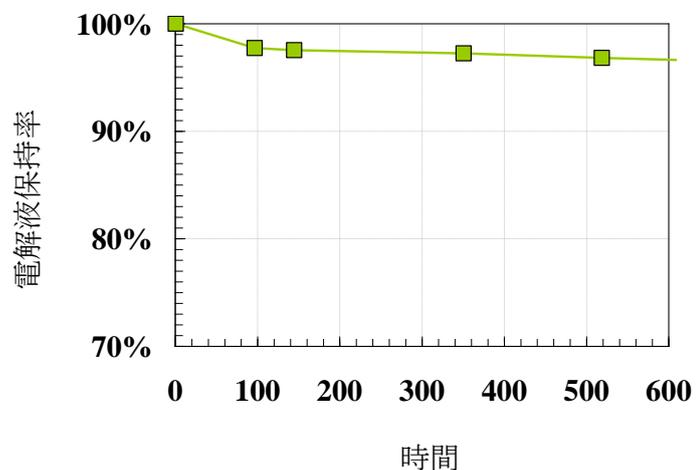
図Ⅲ-2-(ホ)-B-1(9) 多孔質集電極構造と、分子量- J_{sc} の関係

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)。



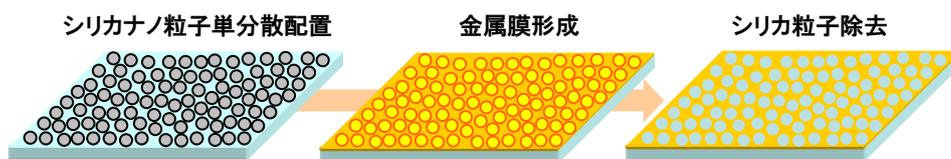
図Ⅲ-2-(ホ)-B-1(10) 電解液保持率

C. 低コスト

- ・透明導電膜基板の開発

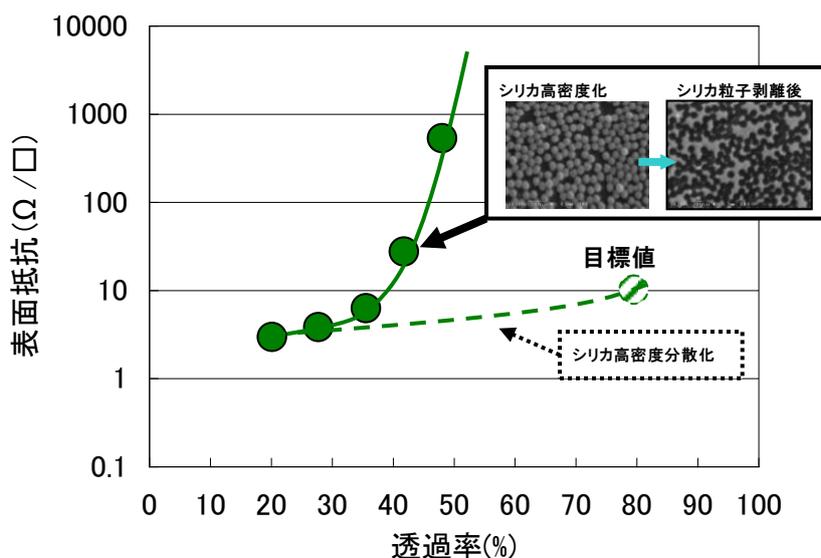
ナノ粒子の自己配列技術を応用し、シリカナノ粒子を塗布により基板上に分散配置する。金属薄膜を製膜後、最終的にシリカナノ粒子を除去することで「パンチングナノメタル」

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))。

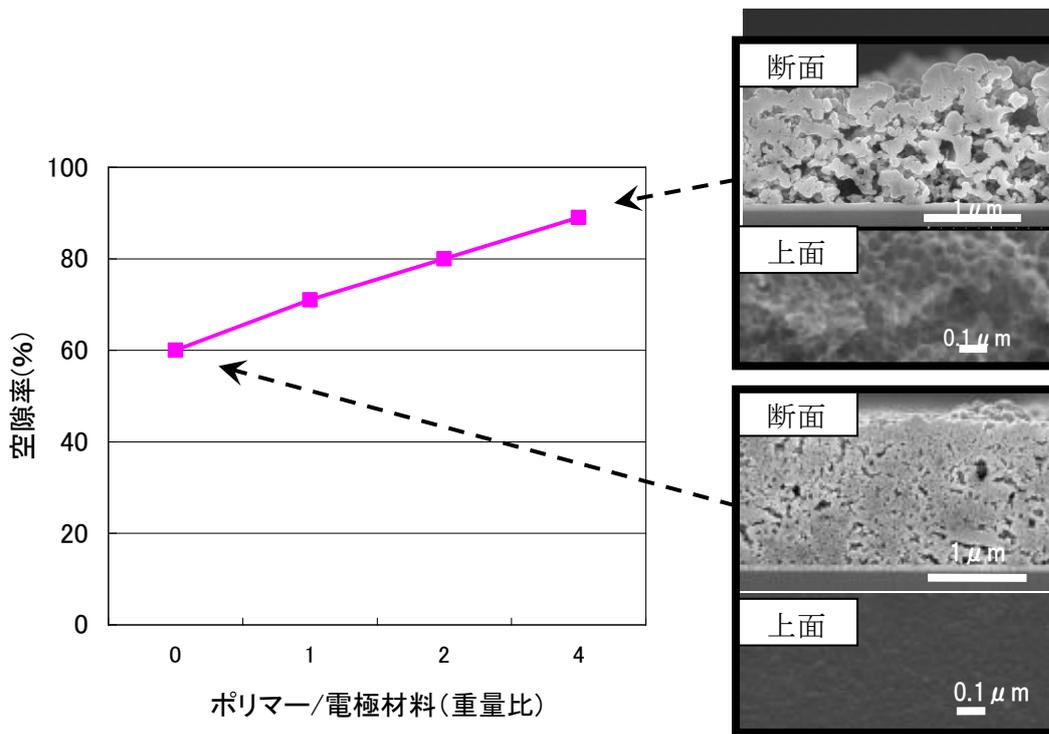


図 III-2-(ホ)-B-1(13) 多孔質電極の高空隙化と膜の SEM 像

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。

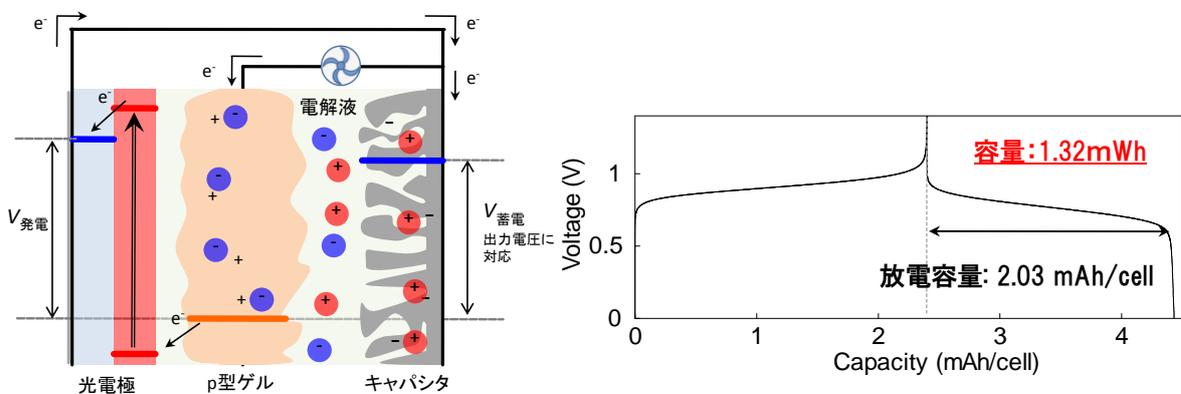


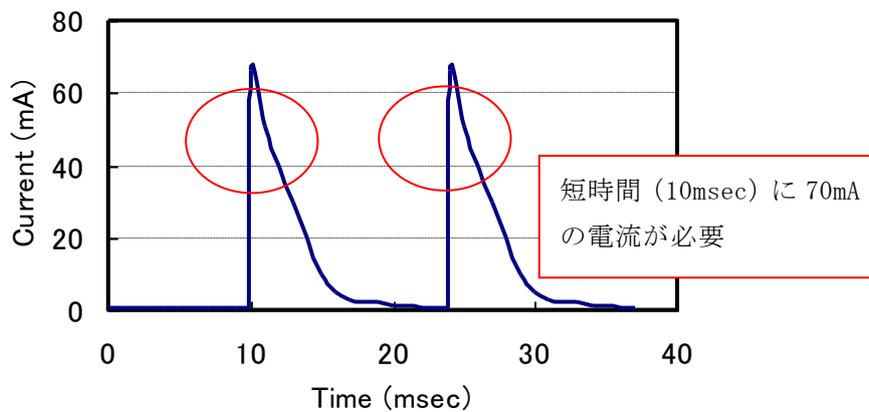
図 III-2-(ホ)-B-1(14) 蓄電一体型素子の概念図 (左) と光充電挙動 (右)

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

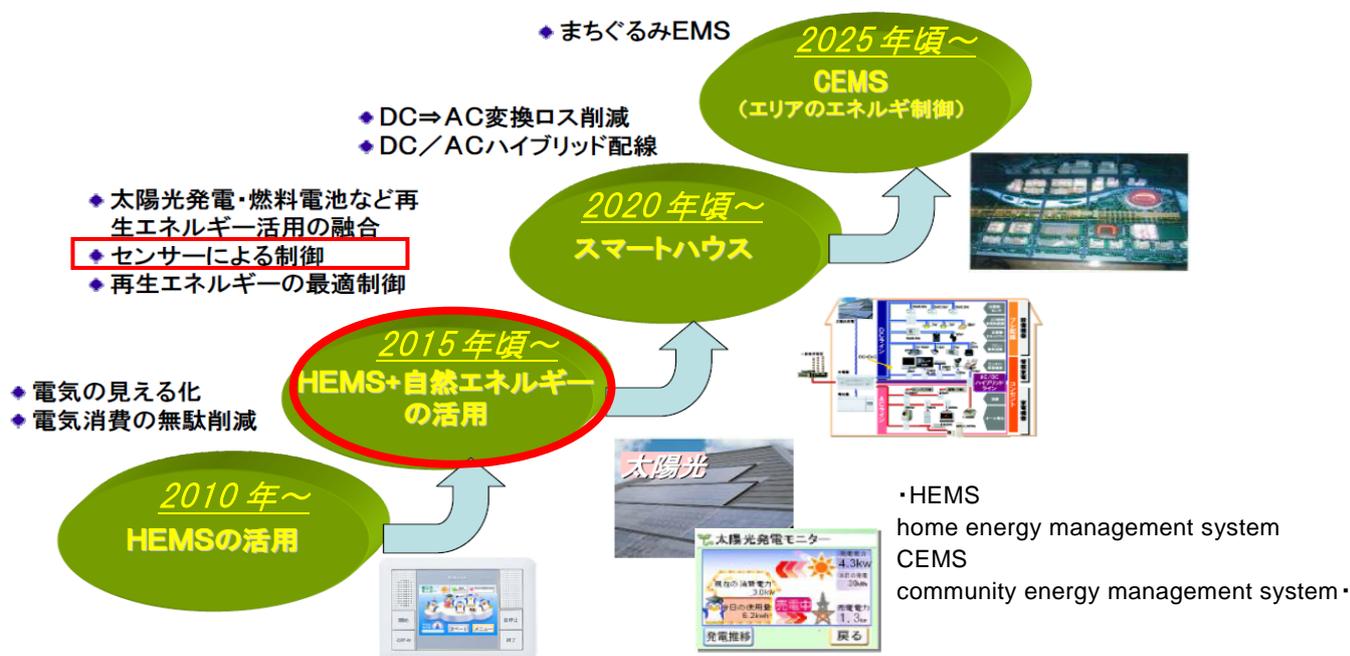
2. 実用化・事業化見通し

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）

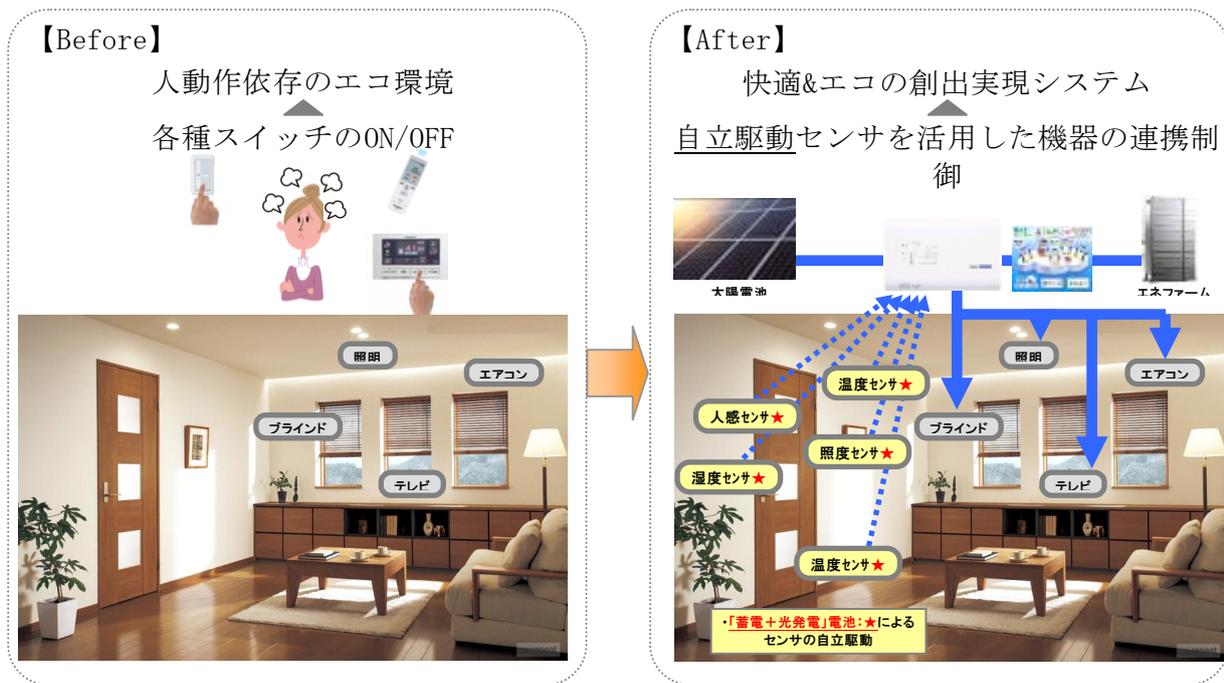
パナソニックでは図Ⅲ-2-(ホ)-B-2(1)に示す構想を掲げ、家電製品の連携駆動、電力消費に見合う発電システム運用など家庭・地域で、効率的にエネルギーを活用するためのエネルギーマネジメントシステムの普及拡大を推し進めている。現在、図Ⅲ-2-(ホ)-B-2(1)の赤線で示した「HEMS+自然エネルギーの活用」実現に向けた価値創造を推進するステージにある。



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)

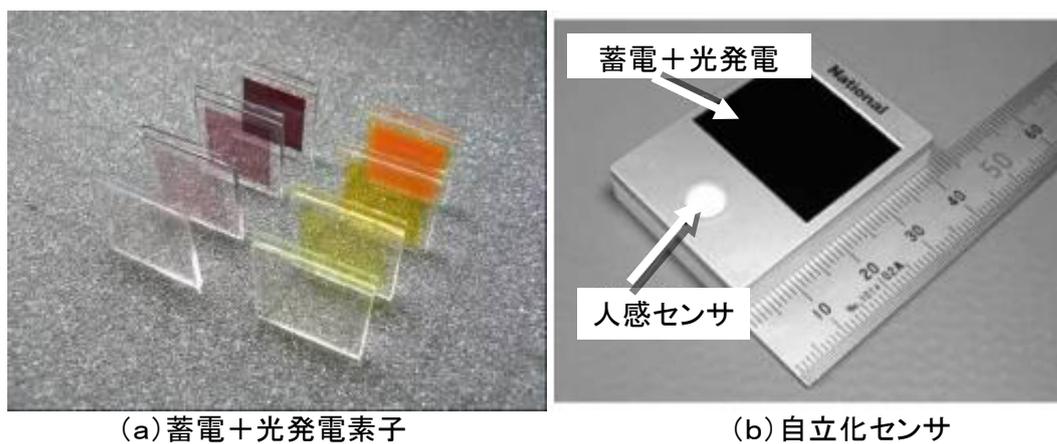
(出展)「創・蓄・省エネ技術を活用したスマートエコハウス開発の取り組み (パナソニック電工)」次世代電力ネットワーク研究会講演資料 (2011. 10. 13)。時期については加筆。

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	<table border="1"> <tr><td>電子保持体</td></tr> <tr><td>色素</td></tr> <tr><td>正孔保持体</td></tr> </table>	電子保持体	色素	正孔保持体	<table border="1"> <tr><td>電子受容体</td></tr> <tr><td>正孔受容体</td></tr> </table>	電子受容体	正孔受容体	<table border="1"> <tr><td>電子受容体</td></tr> <tr><td>色素</td></tr> <tr><td>正孔受容体</td></tr> </table>	電子受容体	色素	正孔受容体	<table border="1"> <tr><td>電子受容体</td></tr> <tr><td>ノンドープ層</td></tr> <tr><td>正孔受容体</td></tr> </table>	電子受容体	ノンドープ層	正孔受容体	<table border="1"> <tr><td>電子受容</td></tr> <tr><td>正孔受容体</td></tr> </table>	電子受容	正孔受容体
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	—	—													

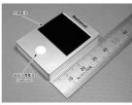
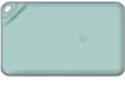
括弧内：目論見値

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

B. 成果の実用化可能性

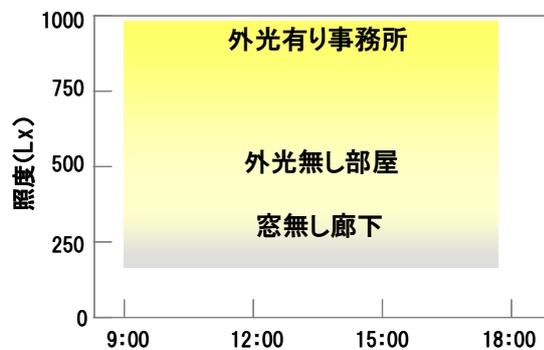
B-1. 産業技術としての見極め (実用化要件、目標の妥当性) : 41A

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

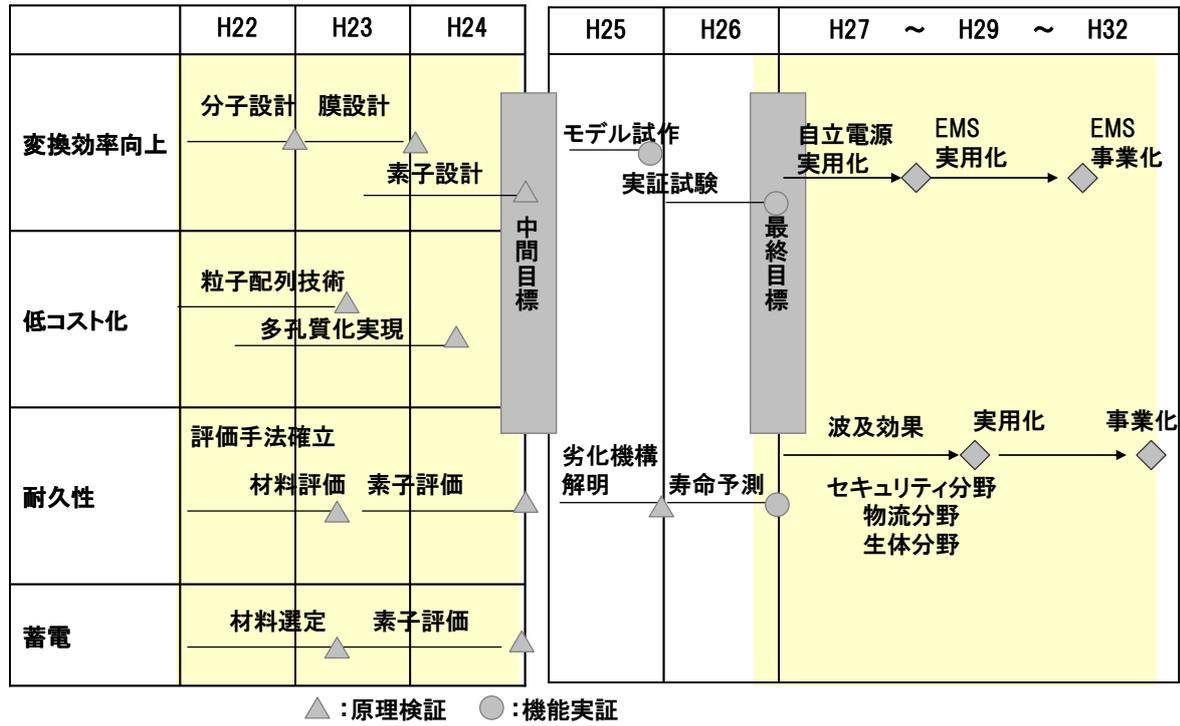
B-2. 実用化に向けた課題

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。

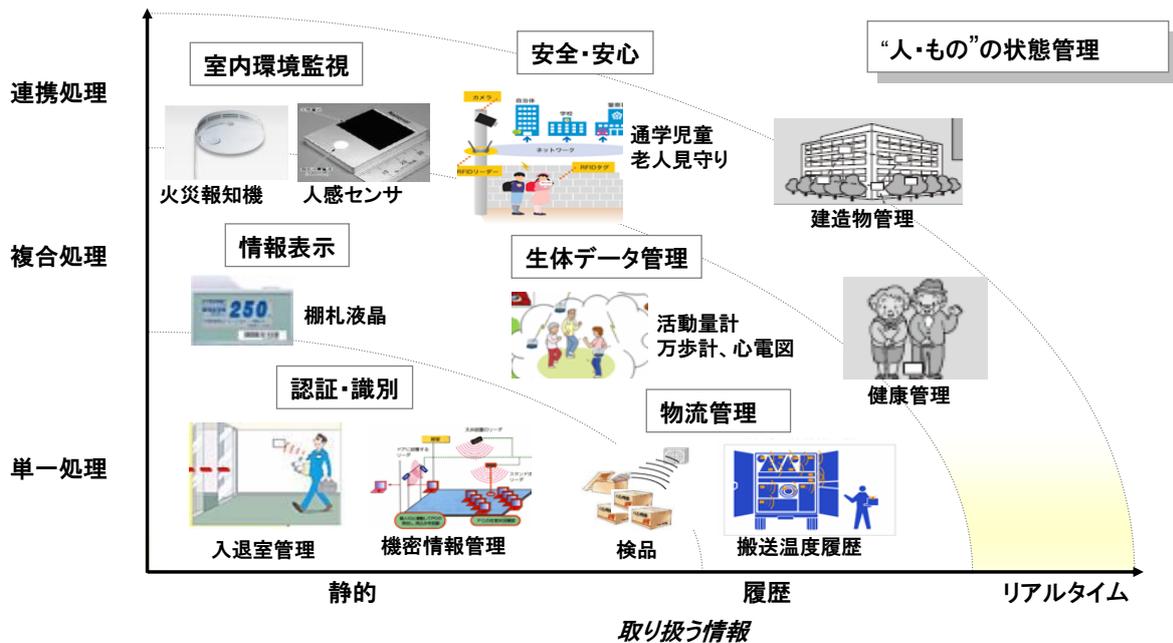
表Ⅲ-2-(ホ)-B-2(2) 開発計画



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
建造物管理	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、エネルギー管理システム、エネルギ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。

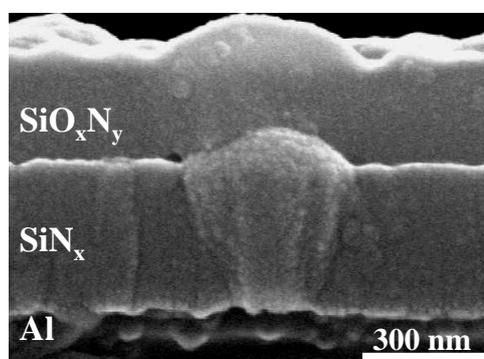
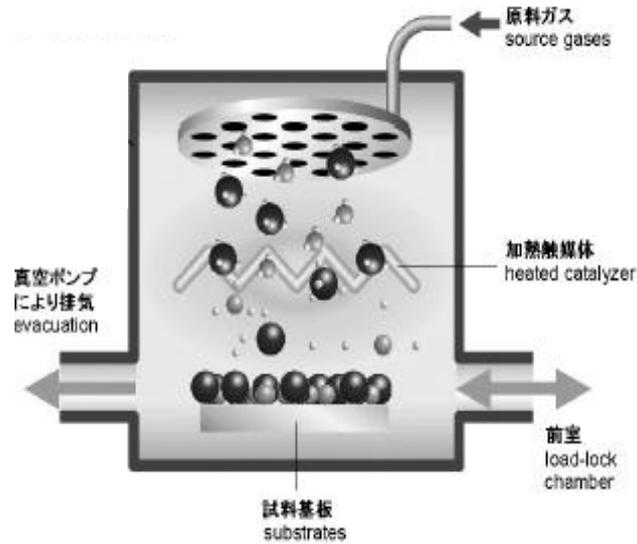


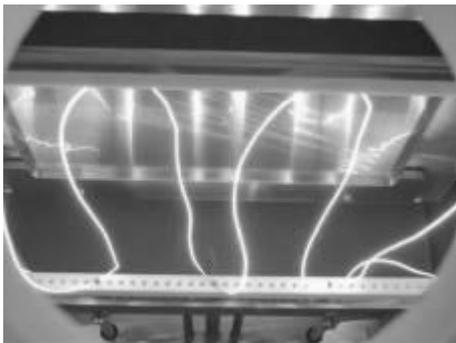
図 III-2-(へ)-A-1(1)

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。

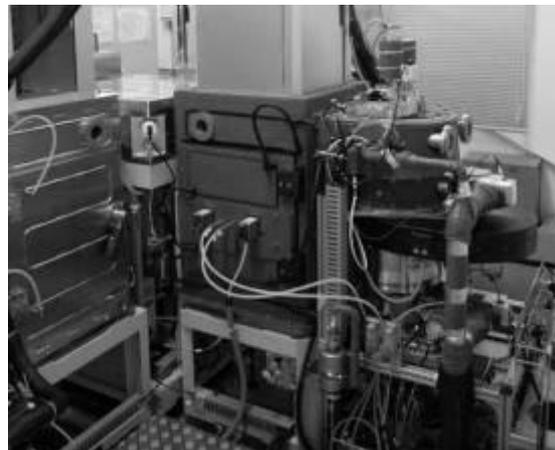
ロードロック式真空マルチチャンバー成膜機は、既設のシリカ蒸着室と、本事業で導入した Cat-CVD 成膜ユニットを持つ Cat-CVD 室を有し、これら二室の間の積層を大気開放することなく真空中に維持したまま実施可能としている。Cat-CVD 法の装置模式図を下図に示す。



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。

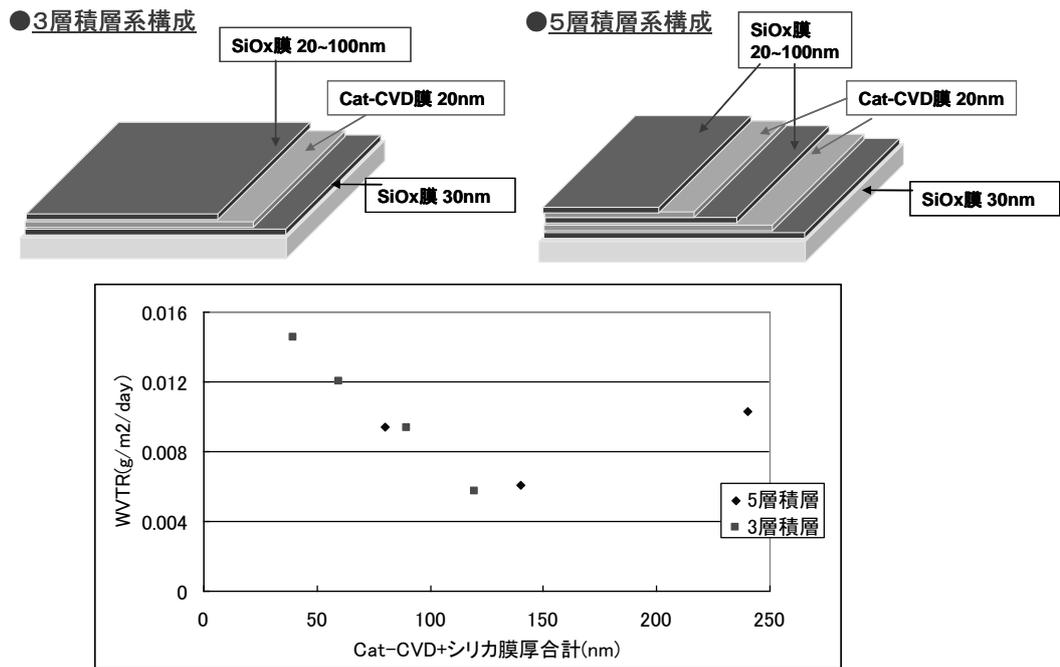


図 III-2-(~)-A-1 (5)

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} g/(m²・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。

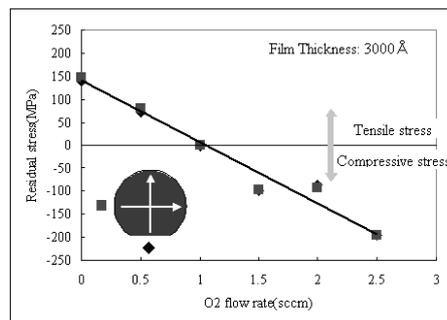
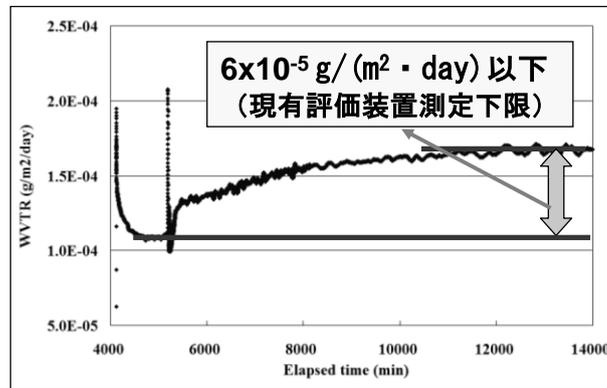


図 III-2-(~)-A-1 (6)

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。



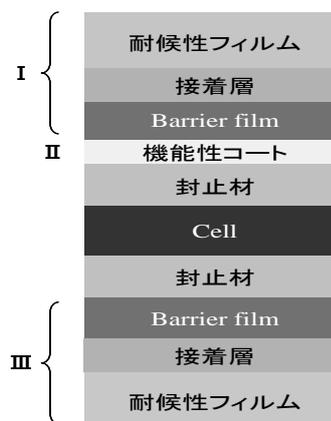
図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (7)

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。



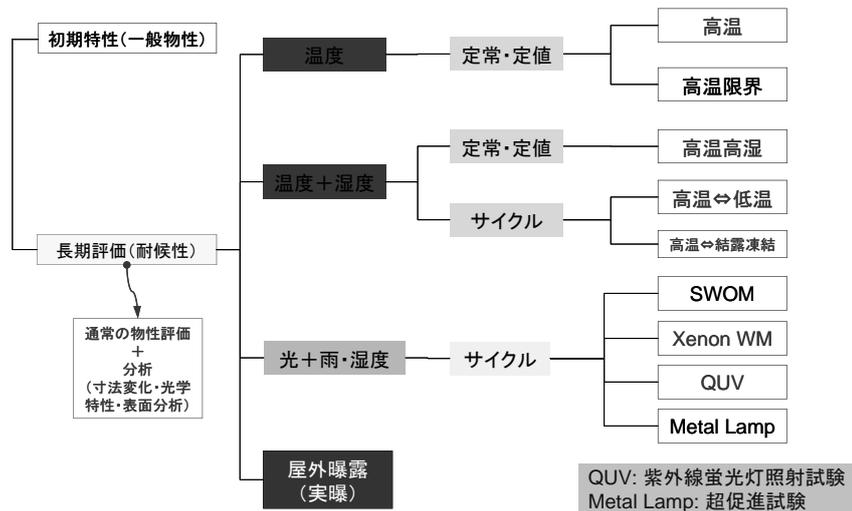
図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (8)

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	

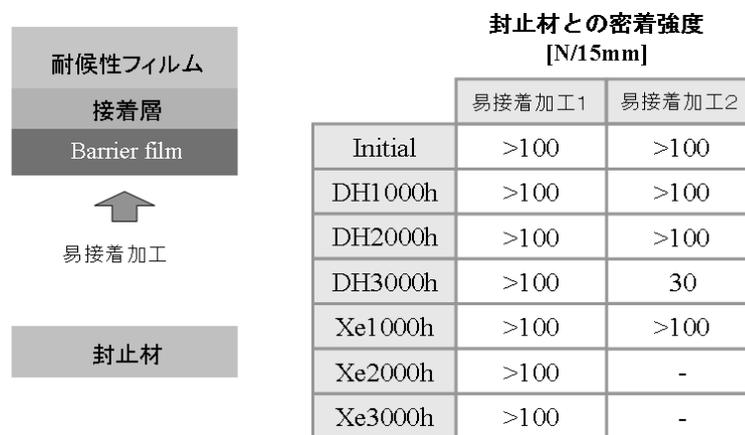
図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (10)

この結果、DH 試験 3000 時間後、及び Xe WM3000 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 30% 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 3000 時間後、及び XeWM 試験 3000 時間後においても密着強度を維持可能な加工条件を見出すには至らなかった。しかしながら、さらに検討を進め、新規の易接着加工技術を開発することにより、DH 試験 3000 時間後、及び XeWM 試験 3000 時間後においても、封止材との十分な密着強度を維持できる技術を確立した。

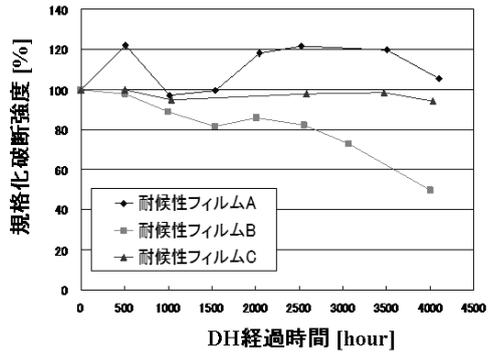
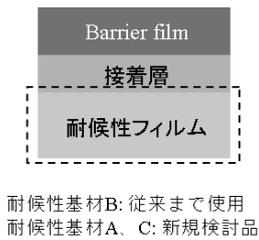
上述のように、封止材との密着性は、PV モジュールの寿命においては、バリア性能とともに重要である。本技術により製造するフロントシートは、各モジュールメーカーにて特段の処理を必要とせず封止材との密着性を維持可能な汎用シートとして供給可能であり、多くの PV モジュールメーカーのモジュール寿命改善に寄与できると思われる。

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 2000 時間後に急激な劣化が見られたものの（耐候性フィルム B）、これを別の耐候性フィルムとすることで、DH 試験 3000 時間後においても、目標である機械物性（破断強度）変化率 30% 以下を達成した。



図Ⅲ-2-(へ)-A-1 (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。

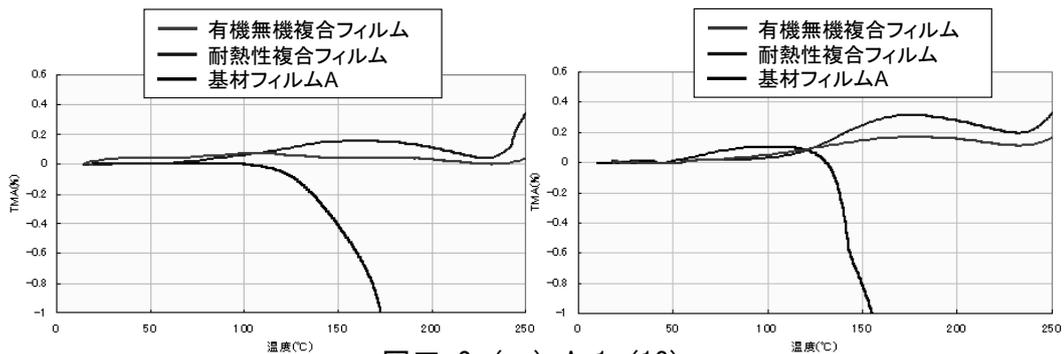
さらなる耐熱性を向上させるためには、この基本構成に無機材料を導入することが有効と考えられるが、高分子材料に無機材料を導入するためには、材料同士の相溶性、分散性、を最適化させることが必要であったためこの検討を実施した。

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。

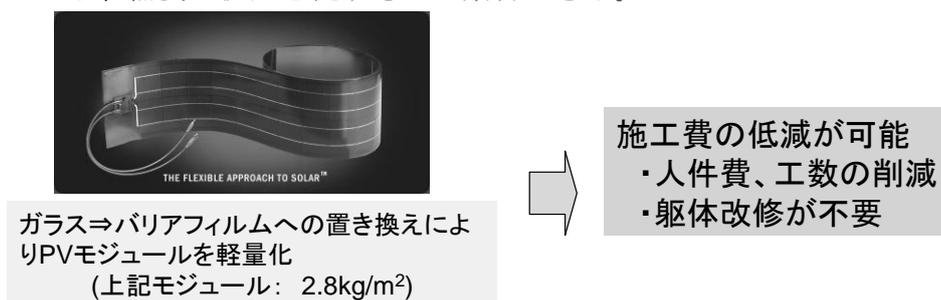
以上、本研究開発項目にて開発の技術を組み合わせることにより、高耐候性超ハイガスバリアシート、及び高耐熱透明超ハイガスバリアフィルムの製造が可能となる。

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。

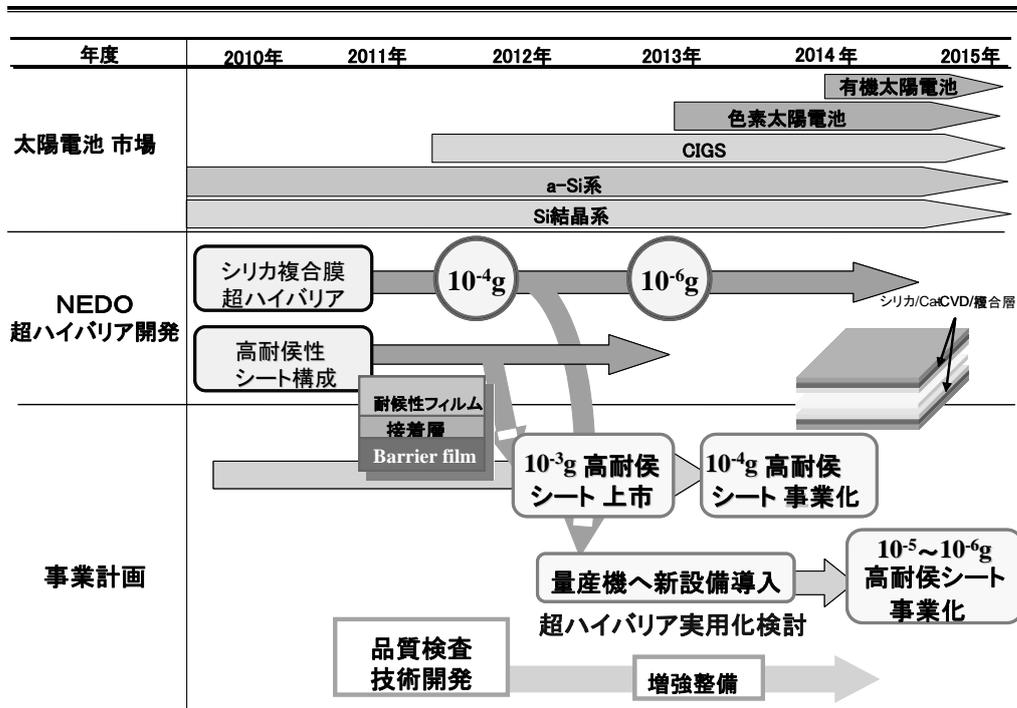
PVシステムの導入費用は、PVモジュールの価格低下により年々減少して行くと予想されている一方、その施工費については大きな低下は見込めないため、最終的には施工費が大きな割合を占めることになる予想されている。PVモジュールを軽量化できることにより、PVモジュールを設置するための施工費を低減できると考えられるため、PVシステムを導入するためのトータルコストを抑え、PVシステムの導入を促す効果が期待できる。三菱樹脂社ですでに販売を行っている $10^{-4}g/(m^2 \cdot day)$ のハイガスバリアシートを用いたGIGS系PVモジュールでは、その重量は $2.8kg/m^2$ 程度であり、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

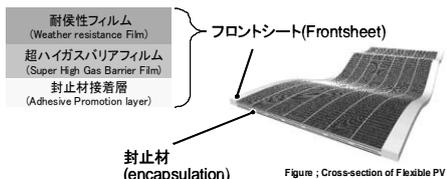


Figure ; Cross-section of Flexible PV

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資料を参照してください。
 ● 封止材の性能値は試験条件に準じて算出されています。
 ● 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, etc. will come with separate the actual items.
 ● 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。

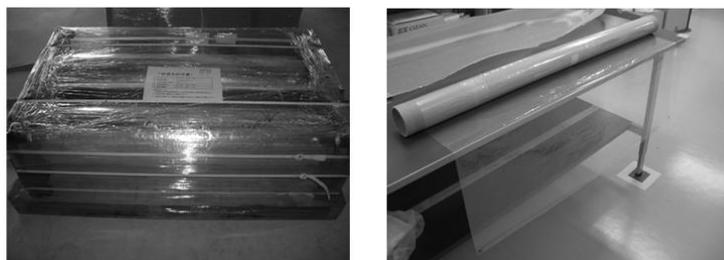
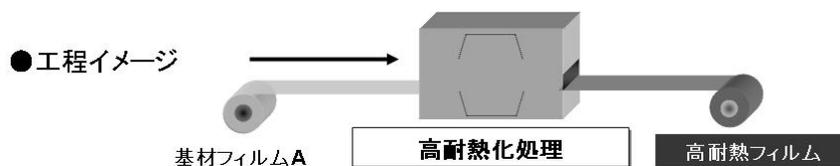


図 III-2-(へ)-A-2 (3)

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	○

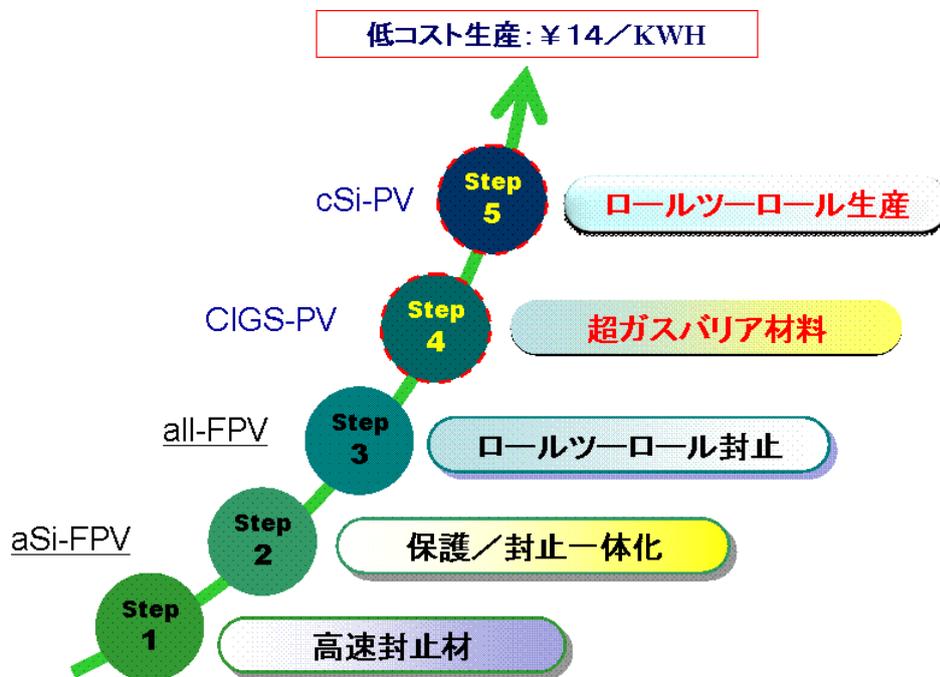
2. リジット太陽電池用封止材品質の達成状況（平成24年度追加目標）

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、

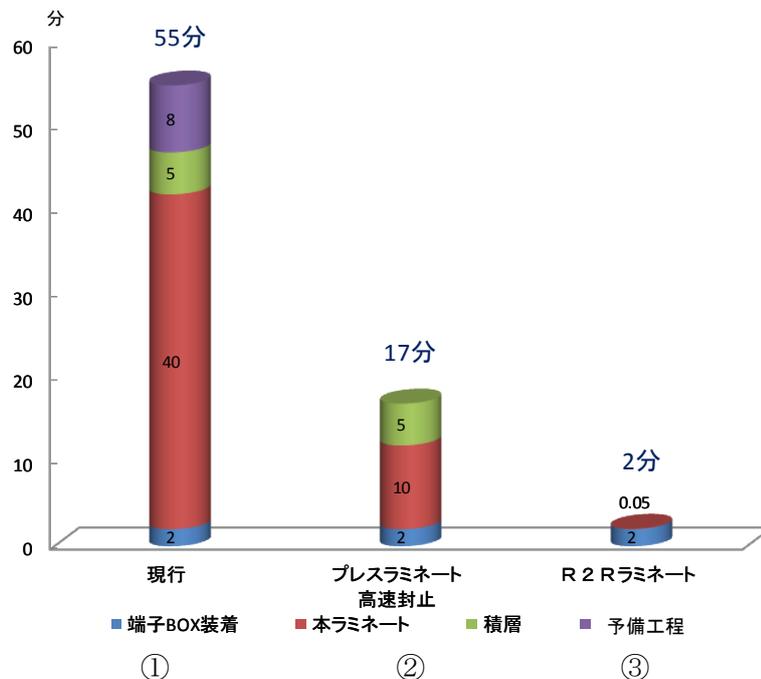
当社が独自に開発したロールツーロールラミネート設備と①で開発した瞬間接着性ポリマーにより、世界初となるロールツーロールプロセスによるモジュールの封止を実現することに成功した。さらに中間目標とする3m/分のロール封止速度を達成しており、生産性を飛躍的に高めることに成功した。

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						

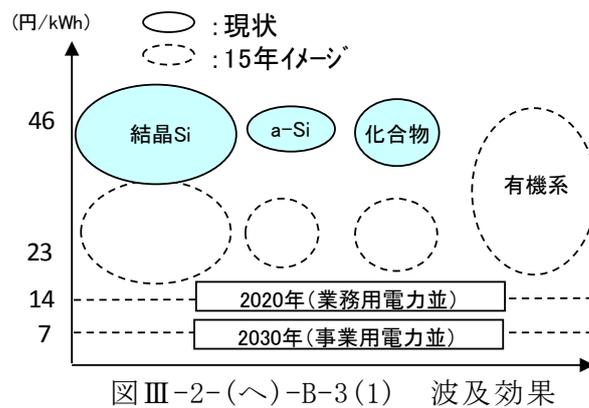
● : 基本技術確立 ▲ : 基本原理確認

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。

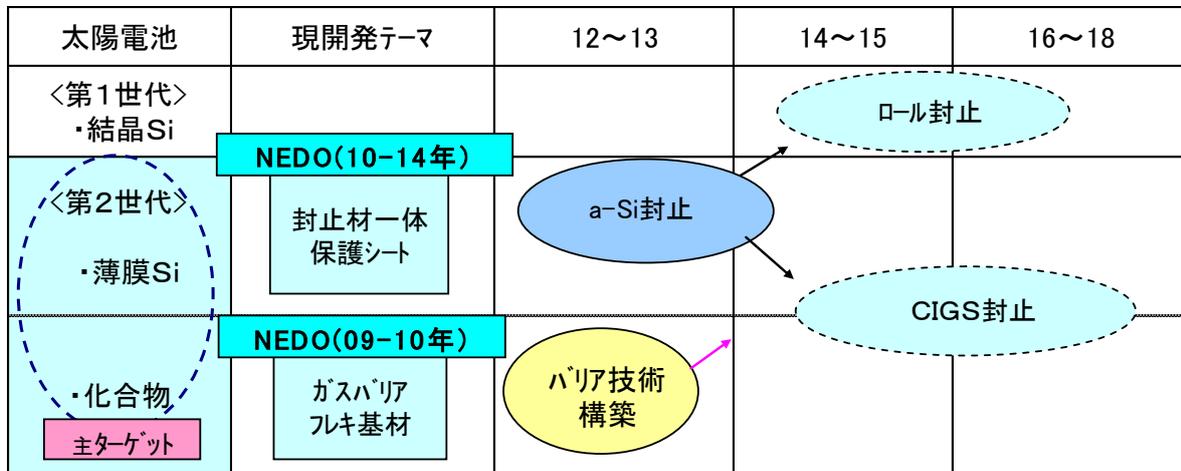
3. 波及効果

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争優位性
		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・創造競争優位性

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。

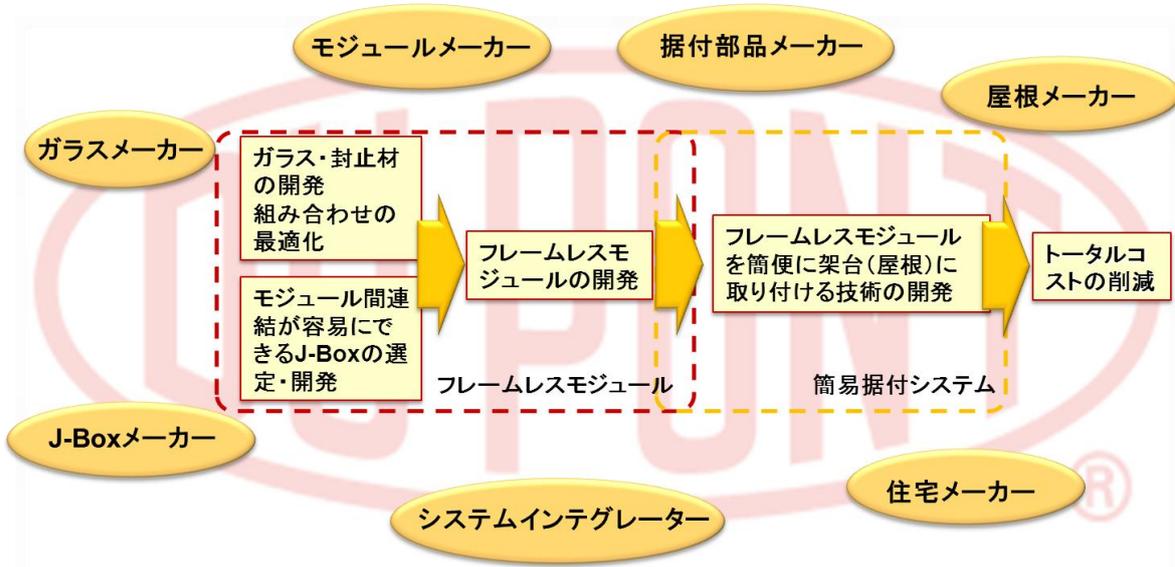
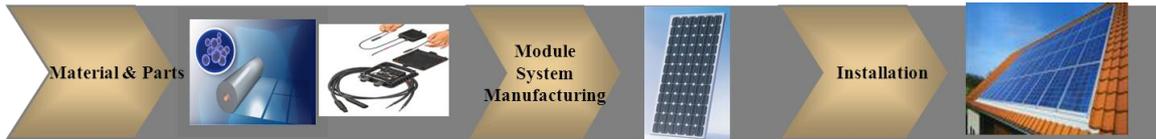
太陽電池取り付け工程の最も手間のかかる部分として、ボルト締め・ナット締めが挙げられる。屋根の上など作業しにくい場所において、細かいボルト・ナット・ワッシャー類を取り扱うのは煩雑であり、締め忘れが発生したりする。

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

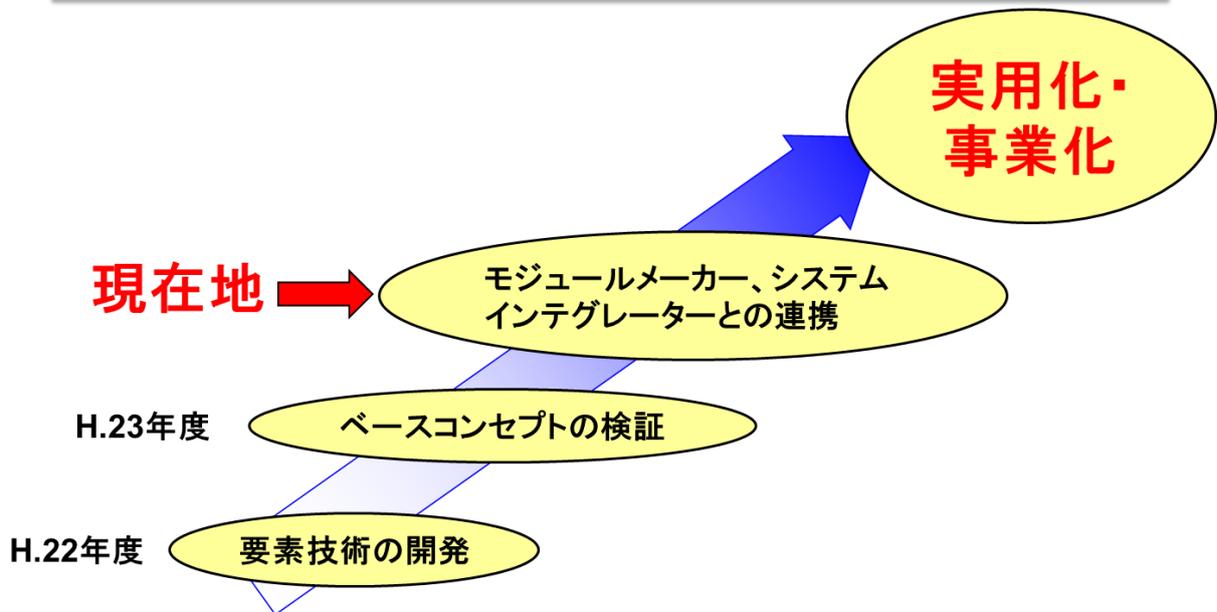
本プロジェクトにおける実用化・事業化の定義は、本プロジェクトで開発した 3つの要素技術をモジュールメーカー、システムインテグレーターにて製品化することとする。

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

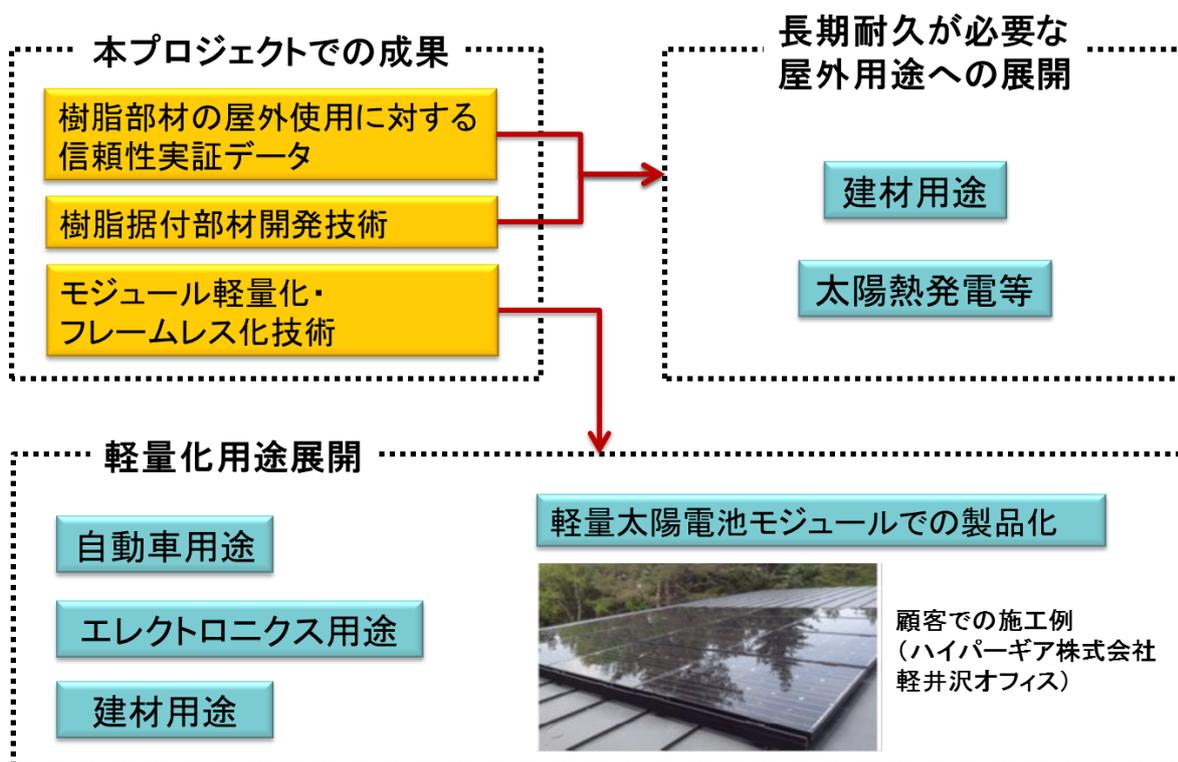
(1) 関連分野での波及効果

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

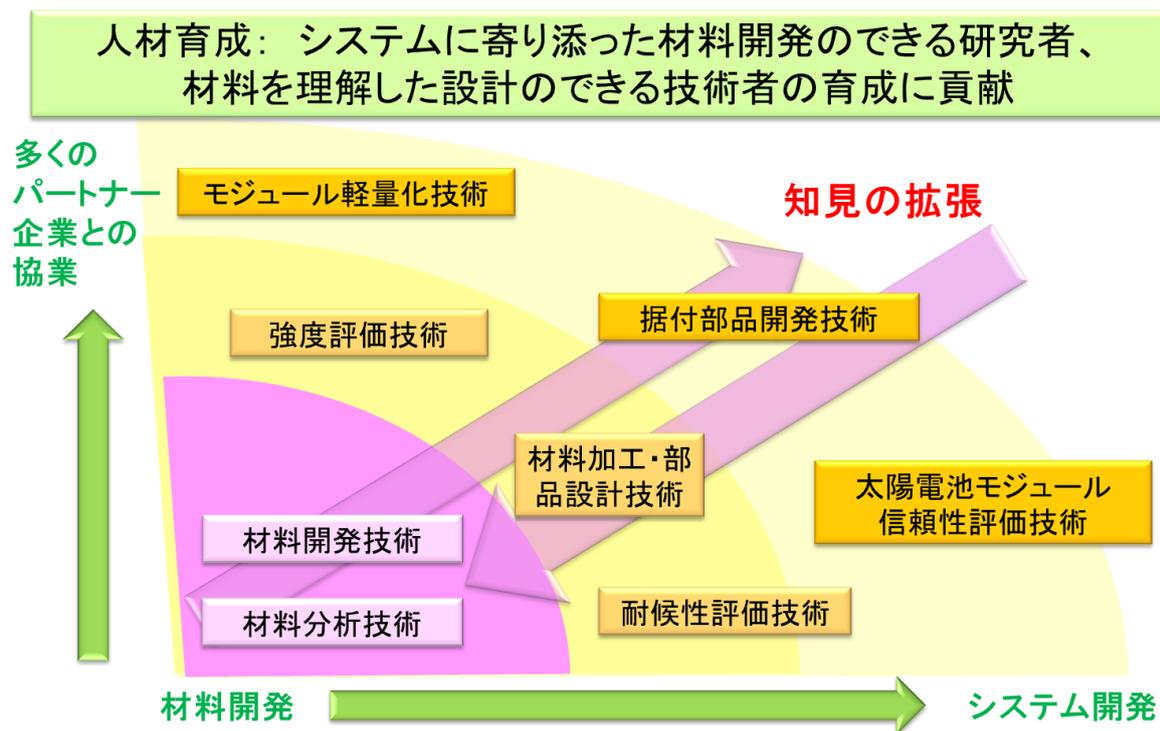
自動車用ガラス軽量化および高信頼性化、ディスプレイ用前面保護ガラス軽量化および高信頼性化への展開が期待されている



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

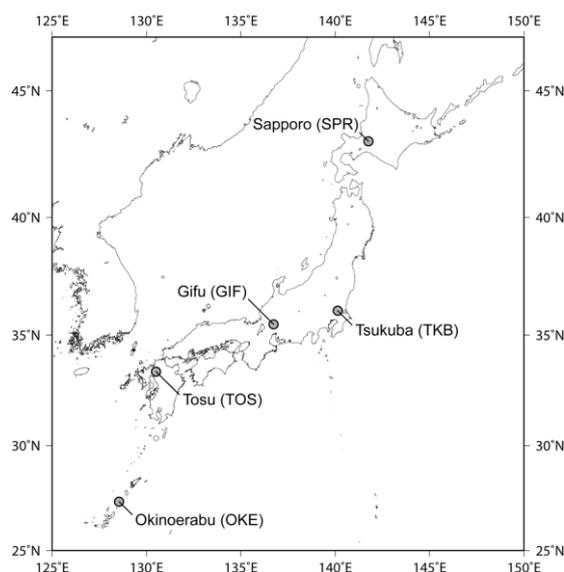
I -イ)-a. 発電量定格技術 (AIST、JWA)

(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

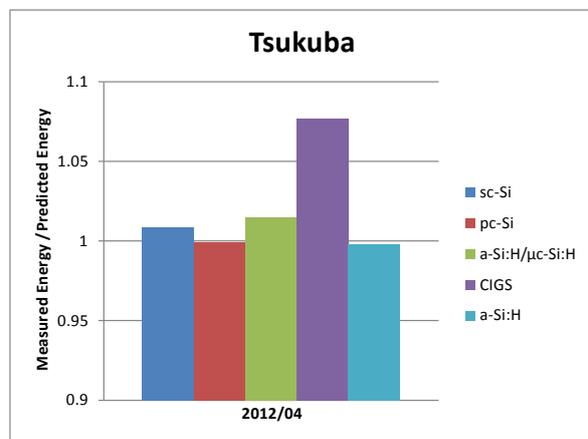
測定した定格出力と気象計測システムで計測されている気象データを用いて、各モジュールの2012年4月の月間発電量を算出した。算出式は

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

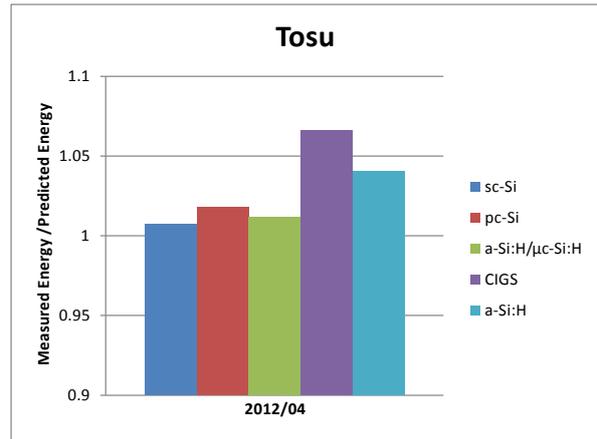
ここで、E は算出發電量[Wh]、P は算出出力[W]であり u (日射強度[W/m²])、v (モジュール温度[°C])、w (日射スペクトル[mW/m²/nm]) の換算式から構成される関数である。本研究では出力を算出する関数 P は以下の式で与えた。

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

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。



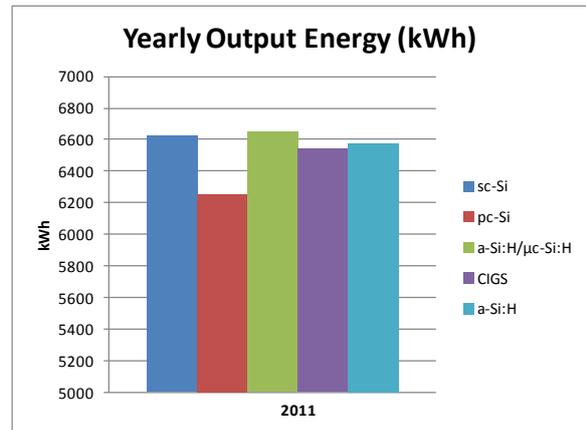
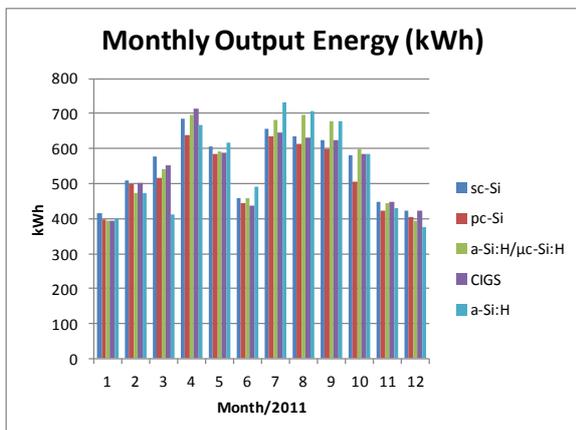
図Ⅲ-2-(へ)-D-1(2) つくばサイトの写真 図Ⅲ-2-(へ)-D-1(3)つくばサイトにおける発電量比較



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。

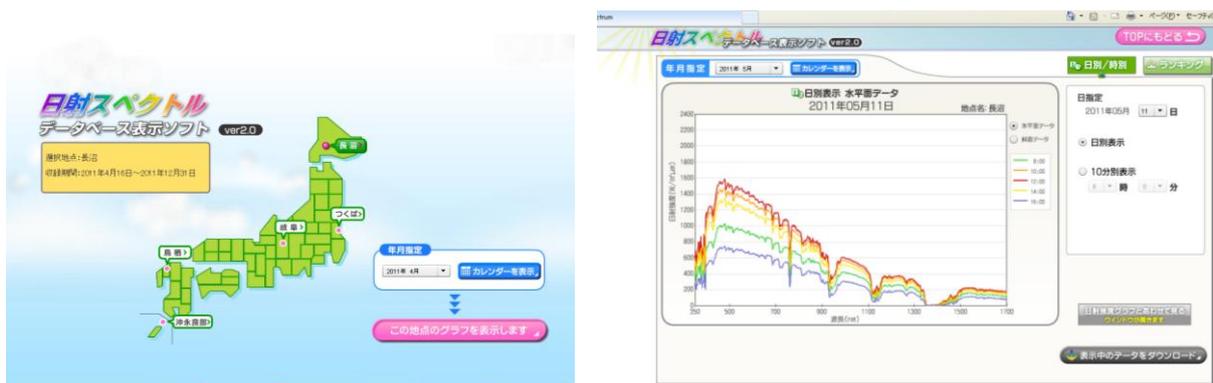
本研究では、2011 年の各種類の太陽電池アレイ単位の年間発電量を行った。図Ⅲ-2-(へ)-D-1(6) に月発電量が示されている。一般的に知られているように、薄膜シリコン太陽電池の発電量は、日射スペクトルや熱アニール効果の影響のために、夏季に結晶シリコン系太陽電池より大きくなり冬季に小さくなる傾向を示す。図Ⅲ-2-(へ)-D-1(7) に年発電量が示されている。多結晶シリコン太陽電池がやや小さい傾向を示したが、各種太陽電池アレイの年発電量はほぼ等しくおよそ定格出力 1[W]あたり 1300[Wh]の発電量が得られることが示された。



(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

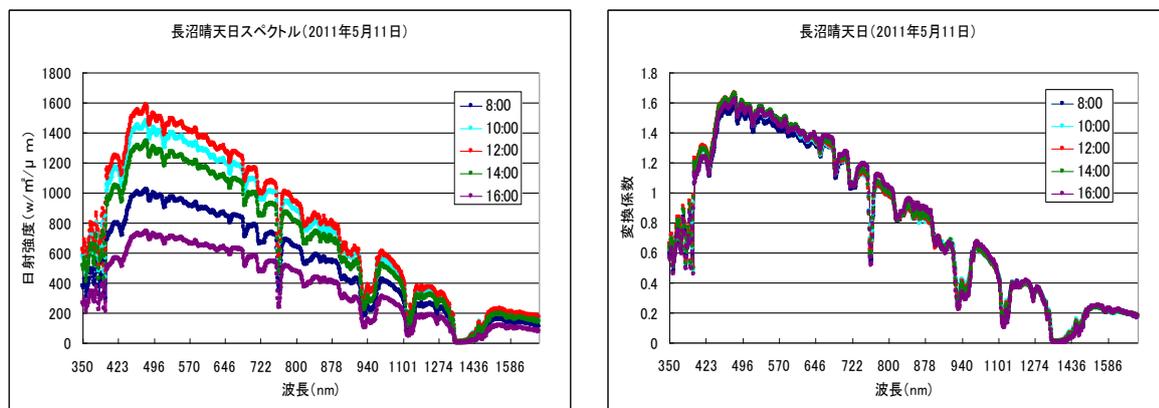
分光日射計等を用いた精密観測地点として、図Ⅲ-2-(へ)-D-1(1)に示した5地点で水平面における日射スペクトルの計測を開始した。日常的なデータの監視、定期的な清掃作業を実施した。計測データについては表示ソフトを含めた「日射スペクトルデータベース」として整備中である。表示ソフトのサンプル画面を図Ⅲ-2-(へ)-D-1(8)に示す。



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

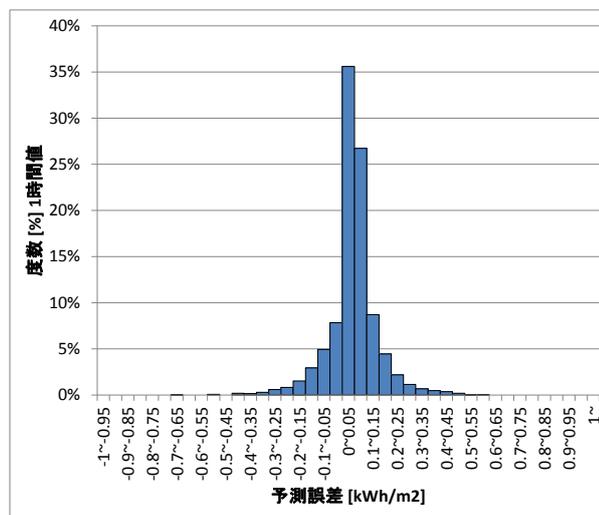
$$I(\lambda) = I \cdot P(\lambda)$$

I (λ) : 波長 (λ) の日射強度 ($W/m^2/\mu m$) ; I: 全天日射強度 (W/m^2)

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。



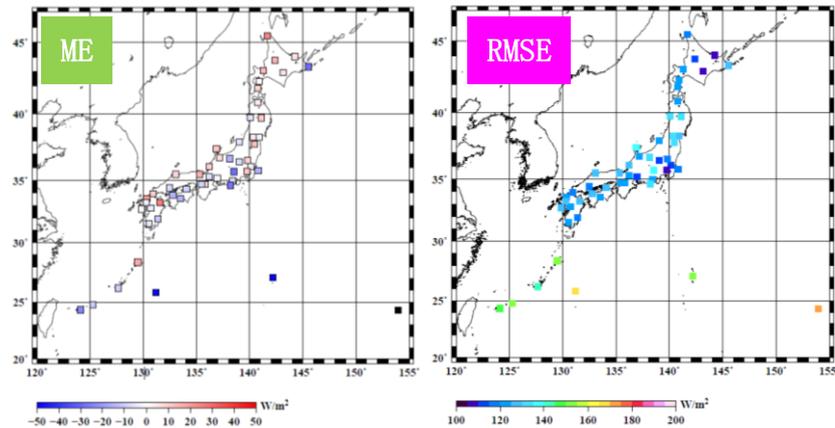
図Ⅲ-2-(へ)-D-1(10) 開発した発電予測による誤差分布(つくば、2010年)

(ii)気象パラメータ予測技術の研究開発(AIST、気象研)

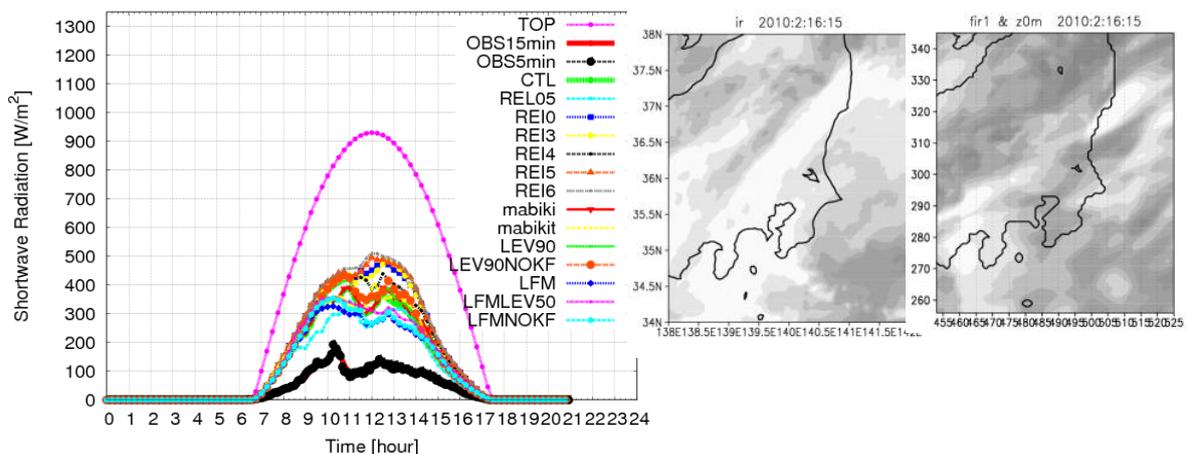
気象庁が現業運用しているメソ数値予報モデル(水平解像度 5km)で予測される日射量に関する検証ツール及びデータベースを構築し、予測日射量について日本全国を対象として主として2008年から2010年までの3年間について通年評価を実施し、地域特性や季節依存性などの特徴を明らかにした。

- 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)

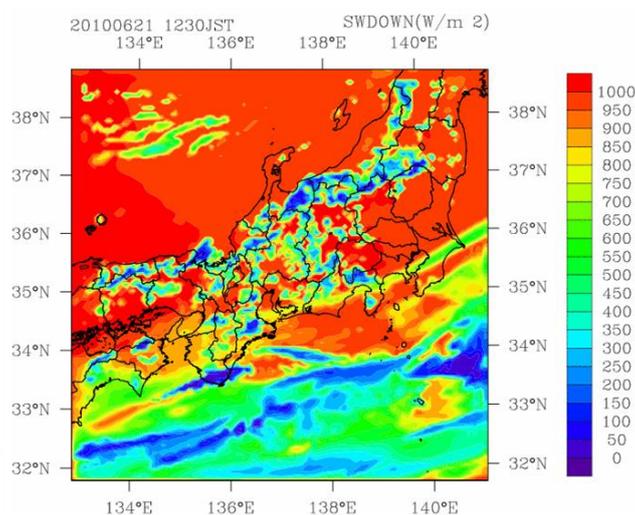
(iii)分散日射量予測技術の研究開発(GU)

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

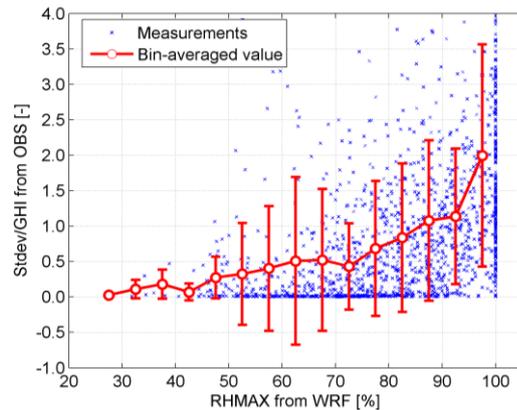
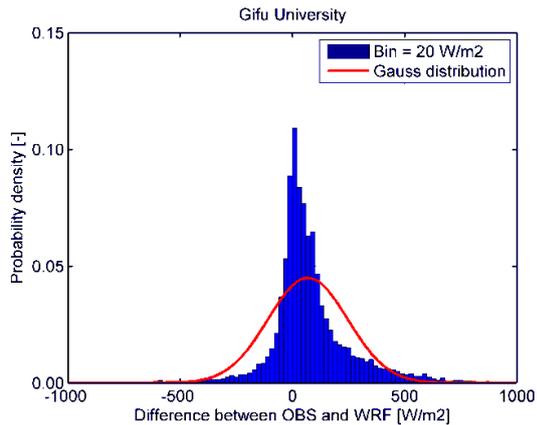
領域は中部地域とした。その日射計算結果の一例を図Ⅲ-2-(へ)-D-1(13)に示す。この計算では、気象庁から提供される水平解像度 5km のデータを元に気象予報を行っており、気象庁のデータには含まれない日射強度を始めとする気象データを、水平解像度 2km で解析しており、ほぼピンポイントでの気象予報・日射強度予報が提供できる。本年度は水平解像度 1km での気象予測も実施しその可能性も示している。ただし、研究の効率性・便宜上、継続的な研究では水平解像度 2km にて行っている。

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。

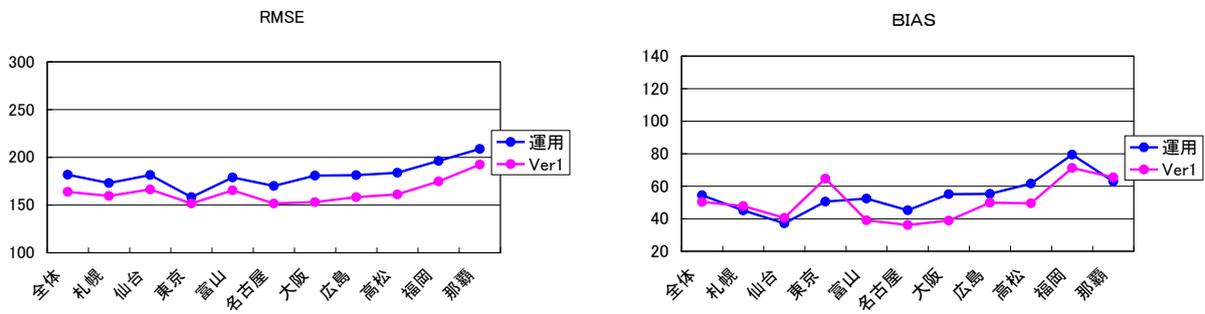


図 III-2-(へ)-D-1(16) 各気象官署での相関係数、RMSE

(v)分散・広域発電量応用評価技術の研究開発(UT)

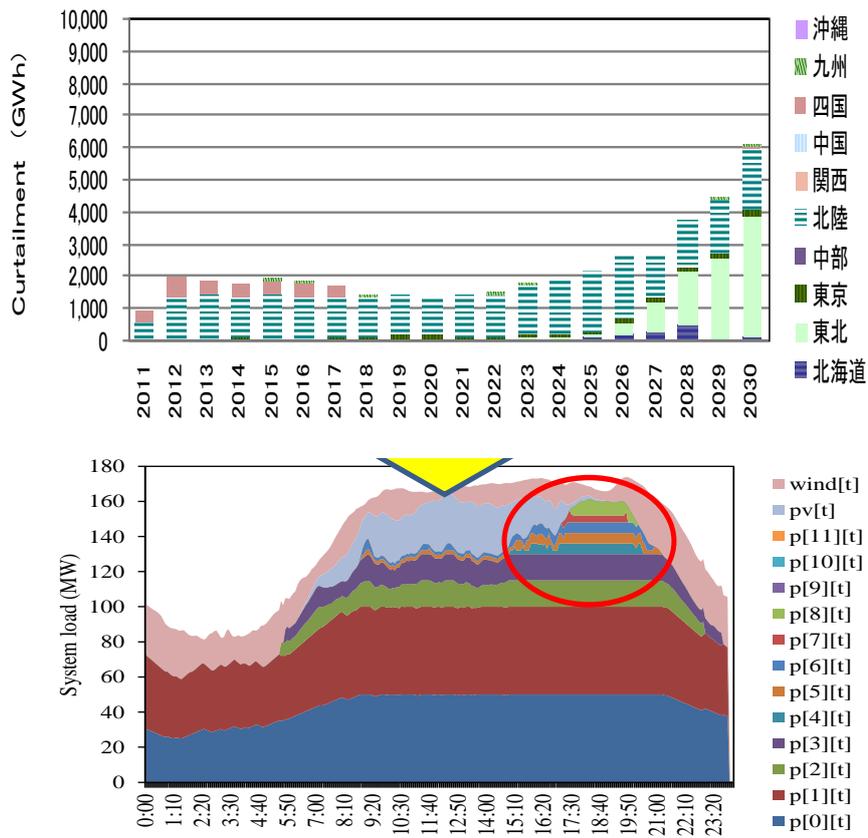
(1)データ整備と基礎評価

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。

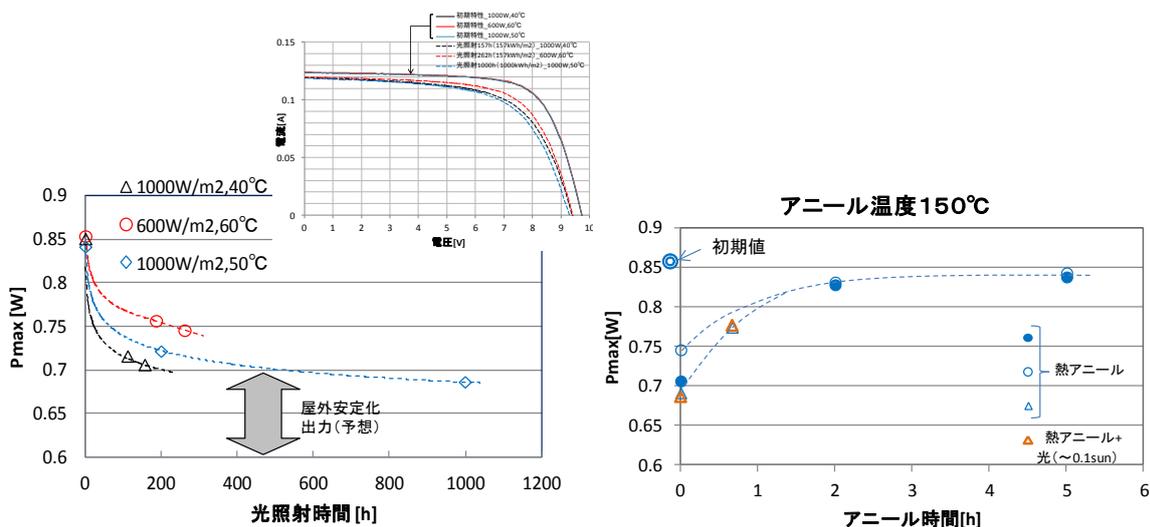
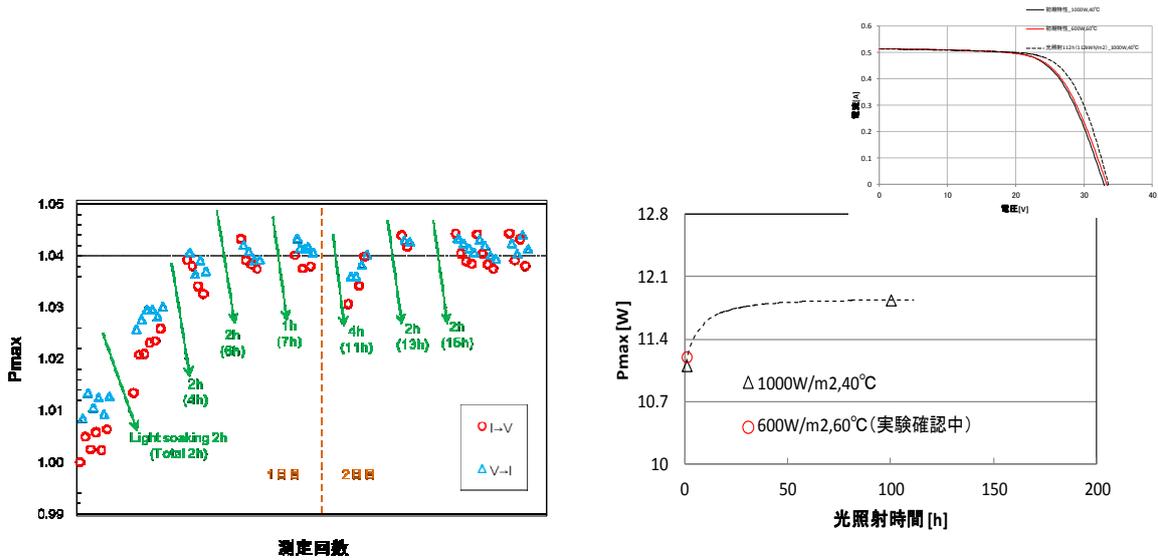
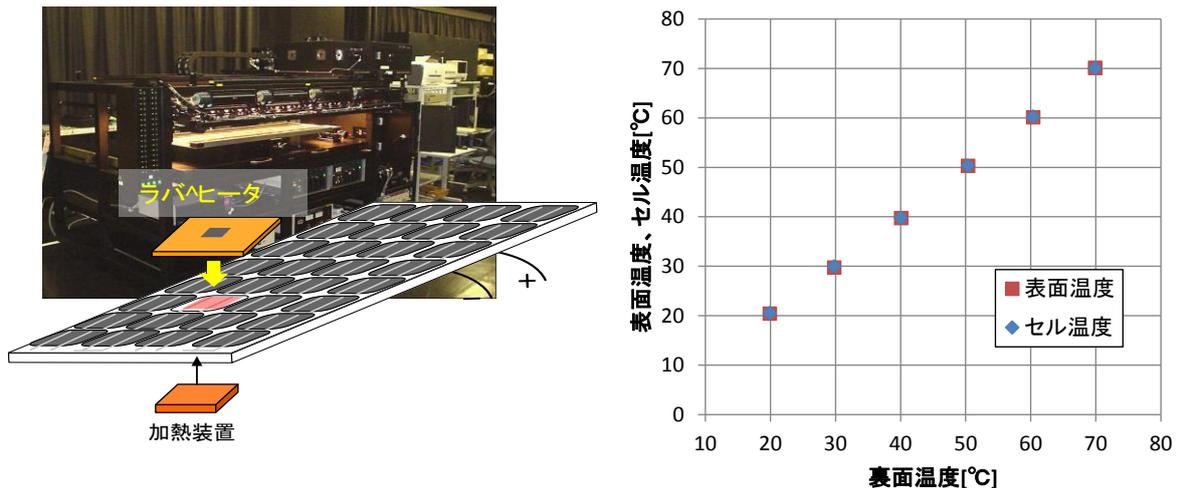


図 III-2-(へ)-D-1 (18) アモルファス Si 太陽電池における光照射効果, アニール効果

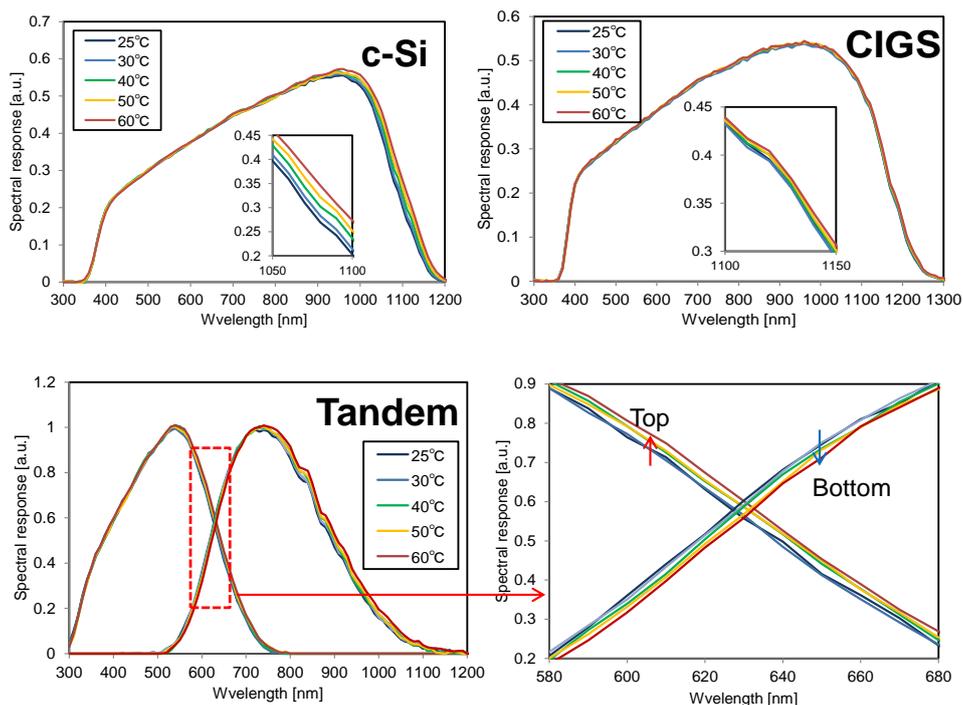


図Ⅲ-2-(へ)-D-1(19) アモルファス Si 太陽電池における光照射効果、アニール効果

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。



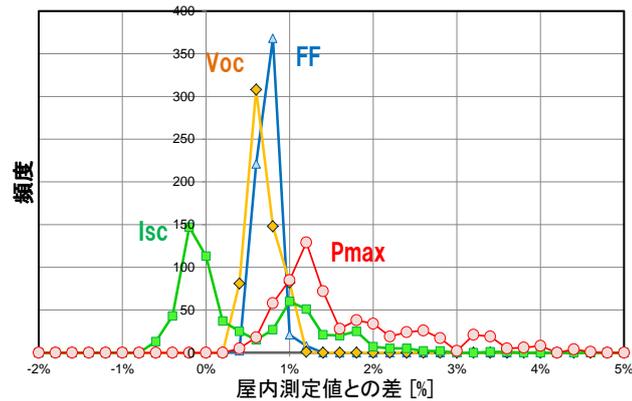
図Ⅲ-2-(へ)-D-1(21) 単結晶、CIGS、多接合太陽電池モジュールの分光感度の温度依存性測定結果の一例

(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。



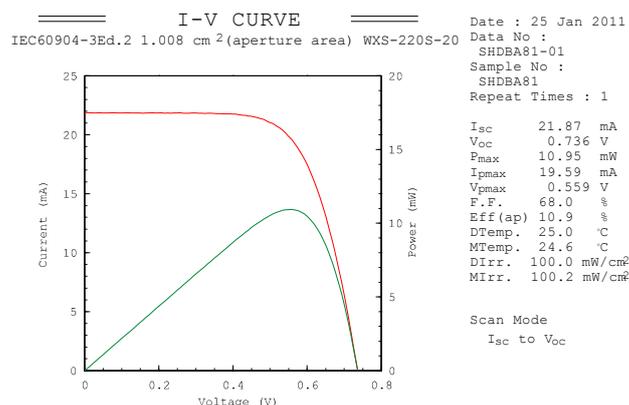
計測日:2012/02/21



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

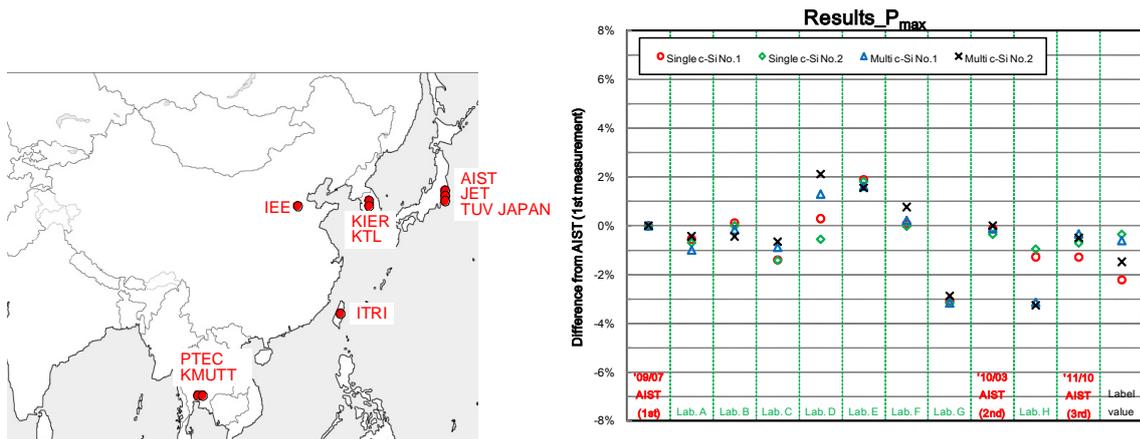
NEDO プロジェクト開発品を始めとして、様々な新型太陽電池や、多接合太陽電池、大型サブモジュールを高精度に評価する技術を検討し、実証・測定を行い、これらの最新の太陽電池の高精度な性能評価技術を検証するとともに、中立で高精度な測定結果を提供し、デバイス開発・高性能化にも貢献した。これらの測定は、今後の高精度化のためのニーズや要素技術の把握にも重要である。新型高性能結晶 Si、有機薄膜、色素増感、CIGS、Si 薄膜、III V 族等を材料とした太陽電池や、それらの積層構造(タンデム、トリプル)等について、H22 年は 45 サンプル、H23 年は 65 サンプル、平成 24 年は約 80 サンプル(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Pmaxで±2~3%のばらつきを示し、その主な原因はIsc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。

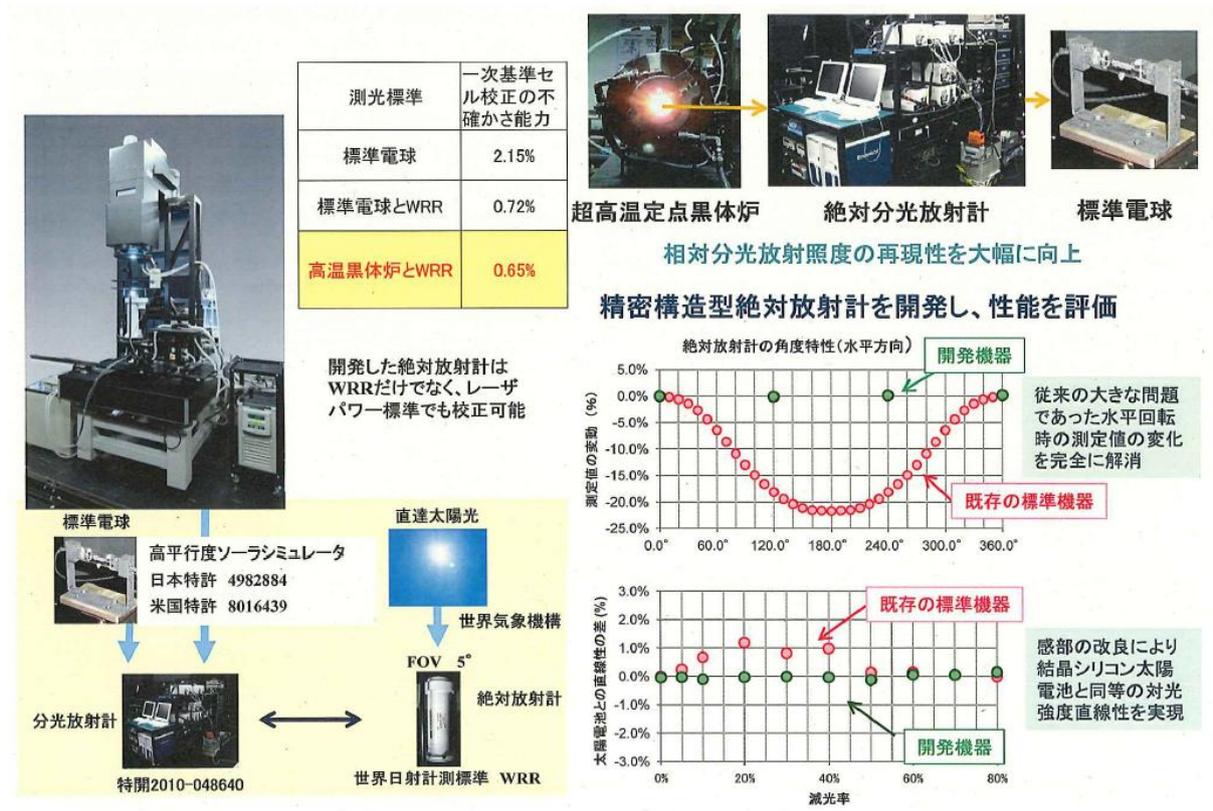
I -ロ)-b.基準太陽電池校正技術(AIST)

(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））。



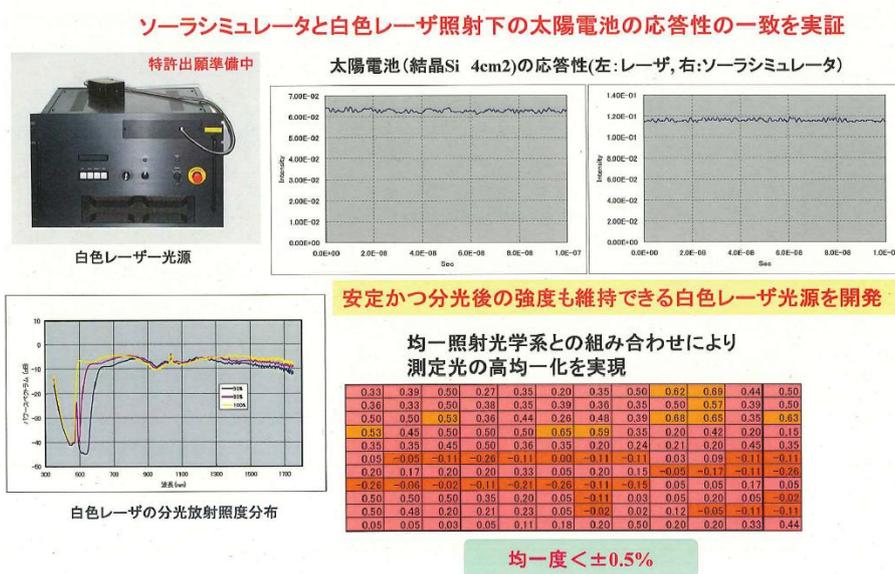
図Ⅲ-2-(へ)-D-1(25) 一次基準セル屋内校正の抜本的な高精度化

(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

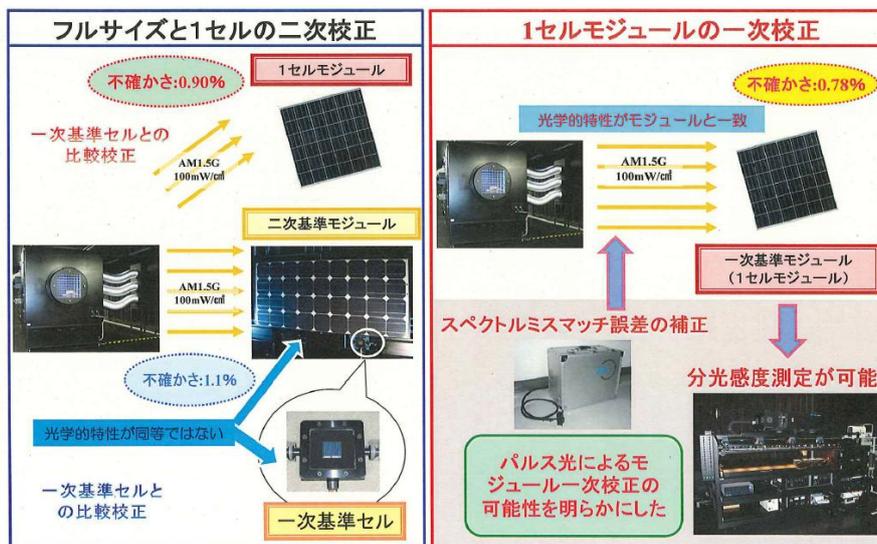
ソーラシミュレータと白色レーザ光源のそれぞれの照射下における基準太陽電池の応答特性を評価し、白色レーザ光源のからのパルス照射の光源としての適合性を実証した。これを受け、絶対分光感度法の実現のための光源として、波長範囲 460nm~2000nm、全出力パワー6.5W、繰り返し周波数 65Mhz、スペクトル平坦性 55dB の性能をもつ白光レーザ光源を開発し、所期の性能を達成した。また、この白色レーザ光源からの照射を基準太陽電池に均一に照射するため、ソーラシミュレータで実績が多いインテグレートレンズ方式の光学系を開発した。光線追跡によって最適化を行い、460nm~2,000nm の波長範囲に亘って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

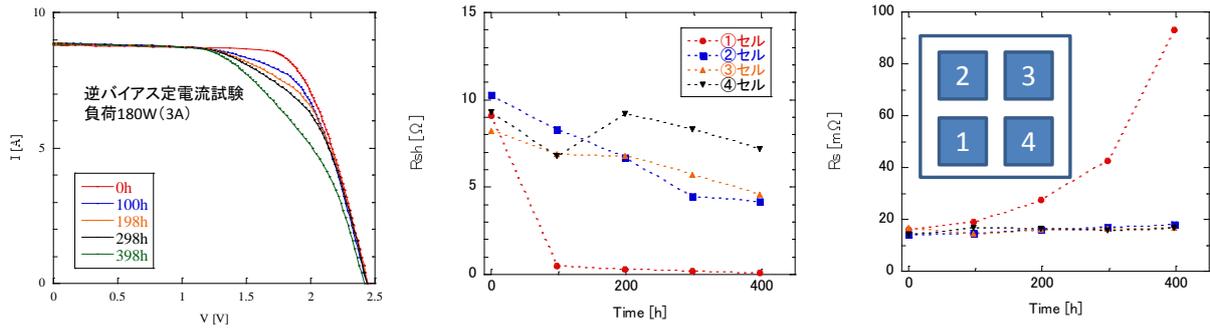
新規に導入した試験装置は単セル用試験装置の時に見られたような、逆バイアス時の発信現象も起こらず、順調に試験を行えることを確認した。今後、フルサイズへ拡張する場合は電源容量を対応するサイズに変更するだけで可能と考える。

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。

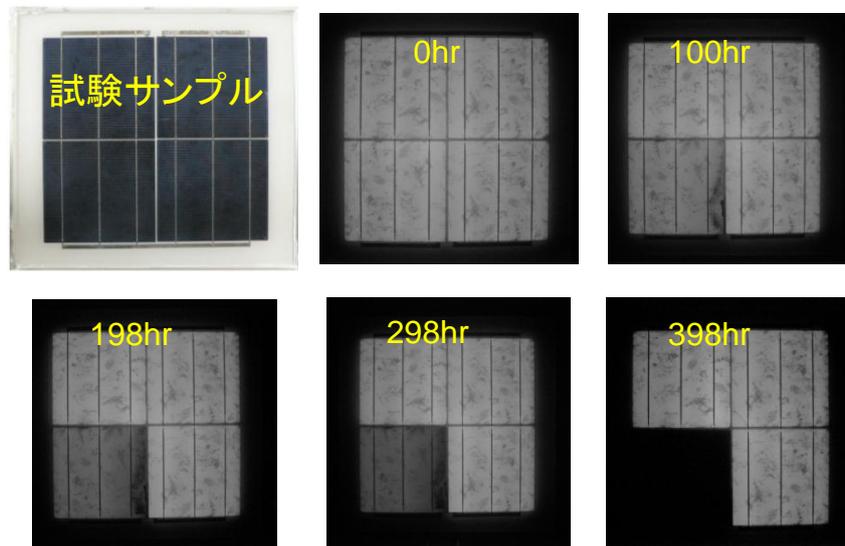
図Ⅲ-2-(へ)-D-1(29)は上記 I-V 特性の測定と同じタイミングで EL 撮影を行った結果を示す。左下（1 番）セルの右側（4 番セル側）から暗部が発生し、その後、徐々に 1 番セルが暗くなり、最後には真っ暗となり、発電特性が大きく劣化する様子を見て取れる。

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。



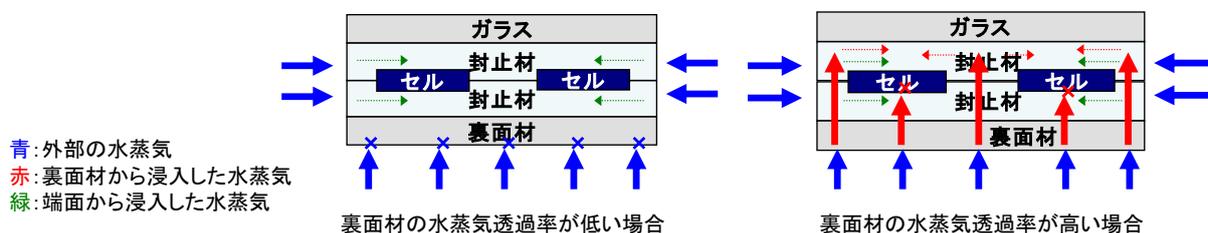
図Ⅲ-2-(へ)-D-1(29) 試験時間とEL画像の変化。左上は初期(0hr)の可視画像。そのほかは初期および100時間毎のEL画像の変化を示す。

(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。

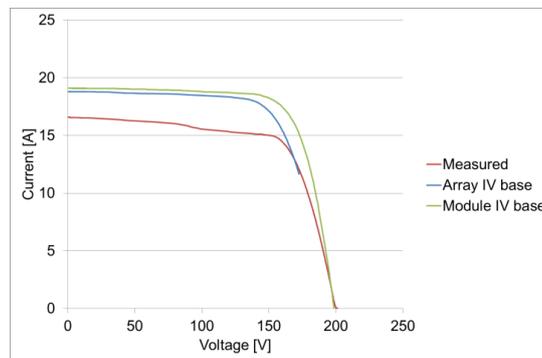
註) : 有機や薄膜太陽電池では、水分自体が問題となるため、それぞれ、 $10^{-5} \sim 10^{-6} \text{g/m}^2 \text{day}$ 台、

$10^{-3}\sim 10^{-4}\text{g/m}^2\text{day}$ 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)

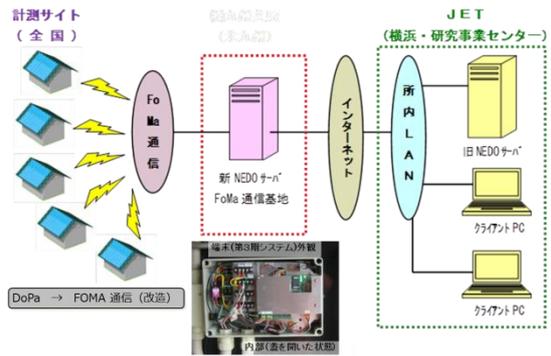
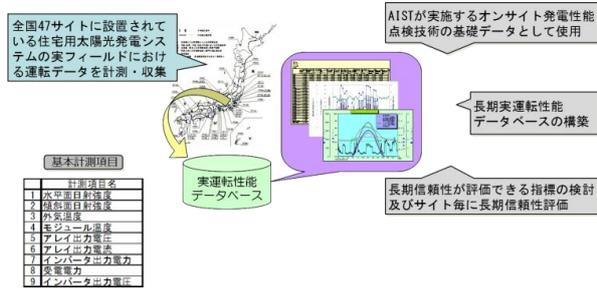
システム点検技術に関して、約10年程度経過した約200サイトの住宅用システムを対象に発電量のデータの経年特性の評価を行った。また、日射量等のデータを利用した場合のオンサイト発電性能点検技術として、線形内挿法の適用について検討を行った。屋内モジュールI-Vデータを利用したケースおよび、実アレイI-Vカーブを利用したケースについて検討を行った。実証設備を利用して、模擬的な不具合を発生して、日射計ベースにて短絡電流低下モードにおける10%出力低下について発見可能である見通しを得た(図III-2-(へ)-D-1(31))。



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)

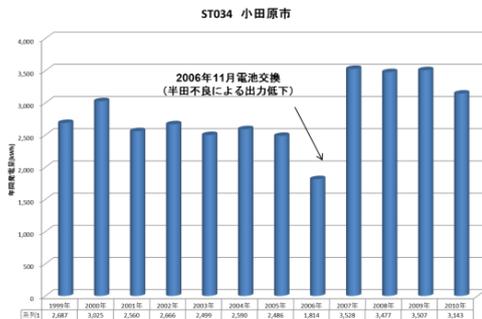
- 住宅用PVシステムの詳細計測：平成21年度までNEDOが実施していた住宅用太陽光発電システム47サイトの実フィールドにおける運転データ計測を受継ぎ、実運転データを計測・収集し、長期的な実運転性能データベースを構築した。(図III-2-(へ)-D-1(32)参照)
- 計測システムの改造：データ計測システムにおけるデータ収集の通信手段として利用していたNTTドコモが提供している無線電話回線DoPa通信サービスが平成24年3月末に終了し、その代替えとして、同社が提供しているFoMa通信サービスへ移行するにあたり、必要最低限(ホスト及びサイト端末29サイト分の通信機能部分)の改造を完了した。なお、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)

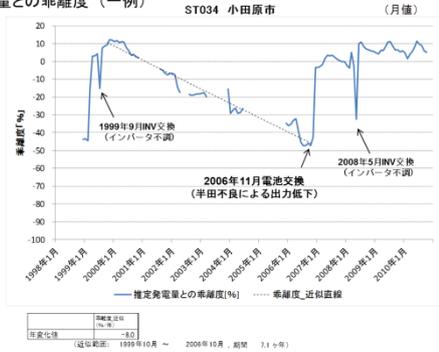
図Ⅲ-2-(へ)-D-1(33) 計測システムの改造 (右)

年間発電量の推移 (一例)

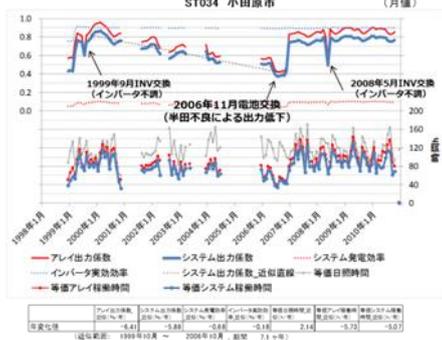


・欠測日は、年間発電量を有効計測日で割って算出した1日換算値を365日(閏年については366日)で乗じて補完した。

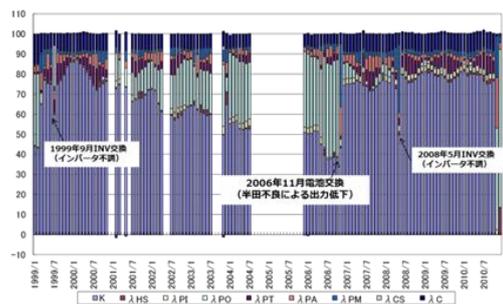
推定発電量との乖離度 (一例)



各種性能指標の推移 (一例)



各種損失の推移 (一例)

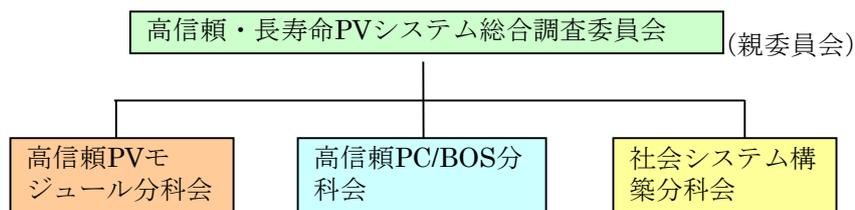


図Ⅲ-2-(へ)-D-1(34) 発電データ分析

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。

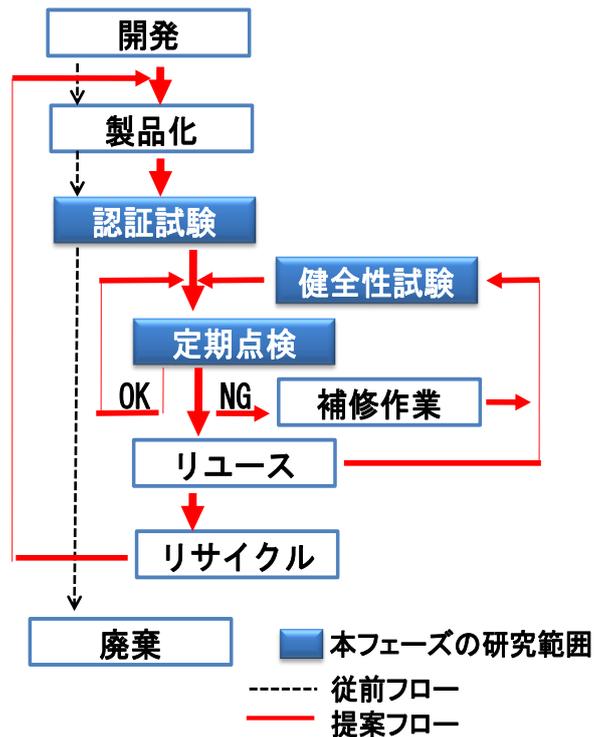
現在、新品のモジュールを販売するためには、各国認証機関での試験を受け適合する必要がある。この試験方法である IEC61215 (JISC8990) 「地上設置の結晶シリコン太陽電池モジュール—設計適格性確認及び形式認証のための要求事項」等には、多くの「機械的作用又は環境の影響で発生する感電、火災及び人的傷害を査定するための具体的な項目」がある。しかし、この項目をすべて、中古モジュールの再販業者に求めることは難しい。そこで、ガイドラインとして必要な最低限の①外観状態の判断方法、②絶縁性能の要求値、③出力測定方法の提案、③バイパスダイオードの機能の確認方法に対するデータ（情報）の提供を目指すことと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

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。

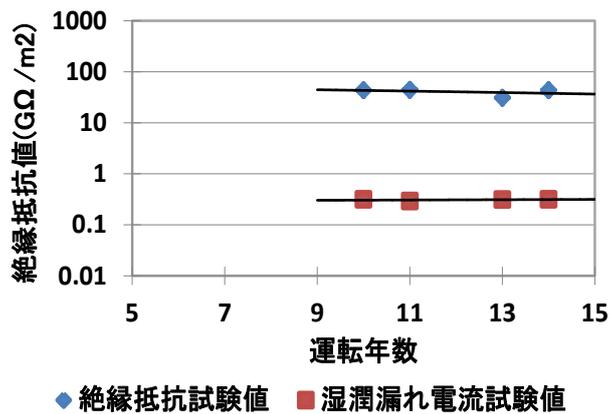
当該、目標に対する成果は、サンプル数が十分とは言えないが、目標を達成した。 運転場所の相違：絶縁抵抗値（乾燥時）は、比較を実施した北見市、鳥栖市、宮古島の内、宮古島のモジュールに低い値が集中した。一方、湿潤漏れ電流試験の値（湿潤時）は、特定サイトへの集中を認めなかった。

- 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。

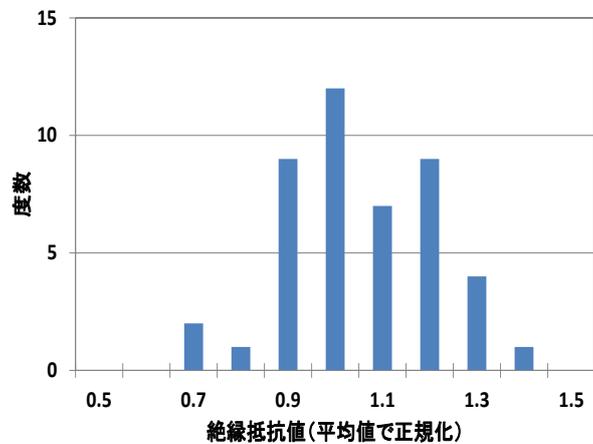
これらの結果から、運転期間10年程度のモジュールであれば、新品モジュールに対する要求値を満たすことを確認した。よって、運転期間10年程度のモジュールであれば、新品モジュールと同程度の絶縁性能を保持すべきとの結論を得ることができた。また、一方で、湿潤漏れ電流試験は、乾燥時に比べ102程度の差を示すとともに、乾燥時の絶縁抵抗試験では発見できないバックシートの傷等を発見できる優れた試験であることを確認した。



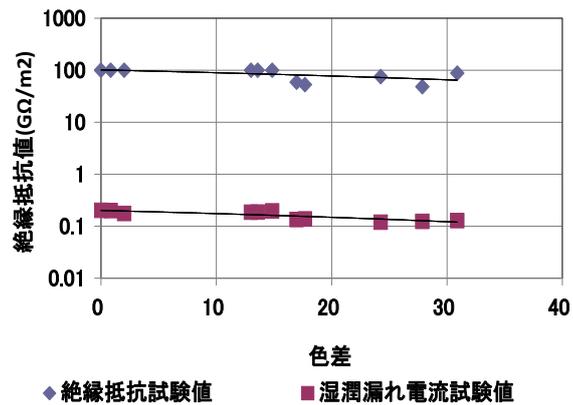
図Ⅲ-2-(へ)-D-1(36) 高信頼性モジュール実現に向けたフロー



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られる。

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

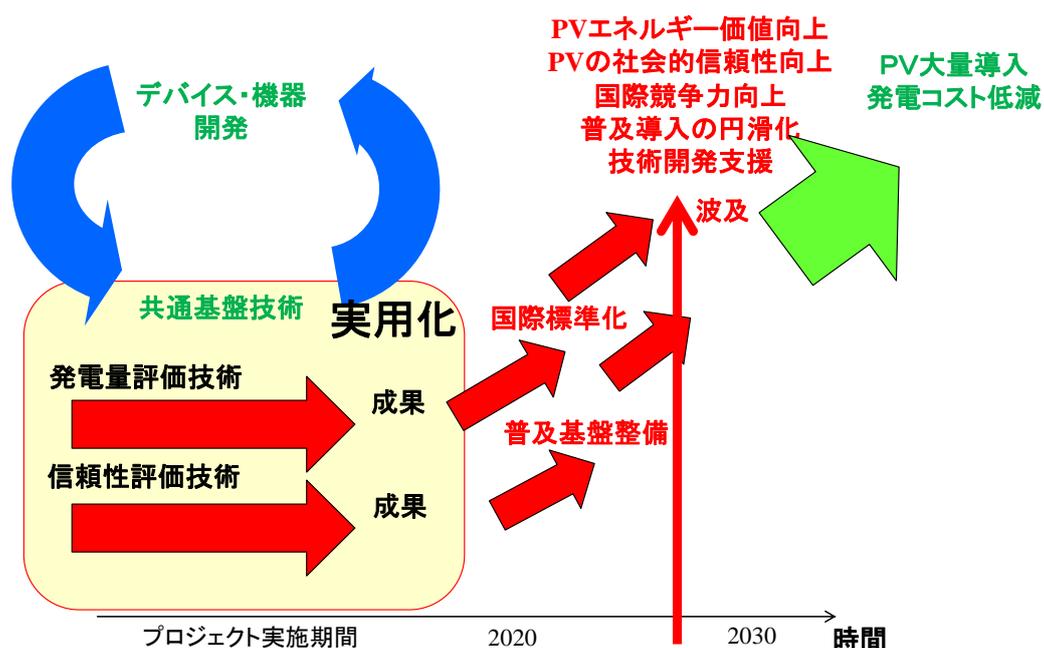
本研究の実用化・事業化は、本研究で得られたデータが、ガイドラインとして発行された時点と考えるが、このガイドライン作成には、研究以外に多くの手続きがある。そこで、本研究の実用化・事業化は、当該ガイドラインに必要なデータを業界に提出した時と定義する。

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。

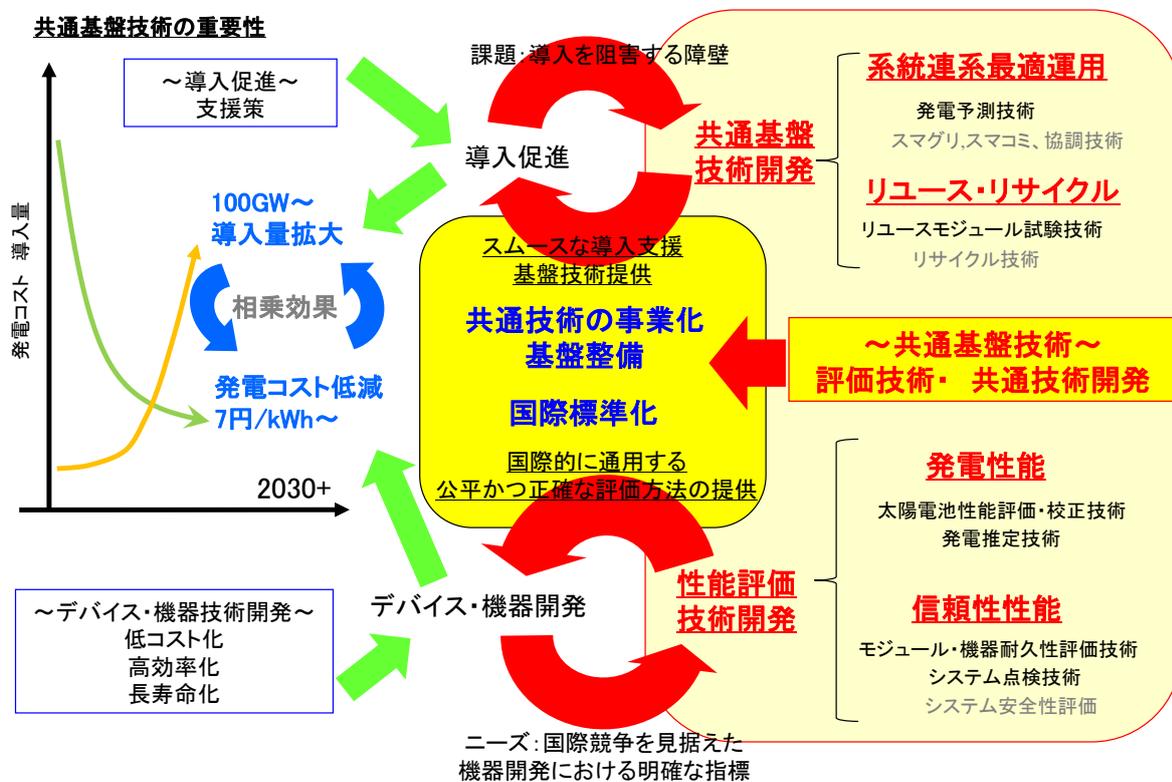


図Ⅲ-2-(へ)-D-2(1) 本事業の実用化・事業化のイメージ

3. 波及効果

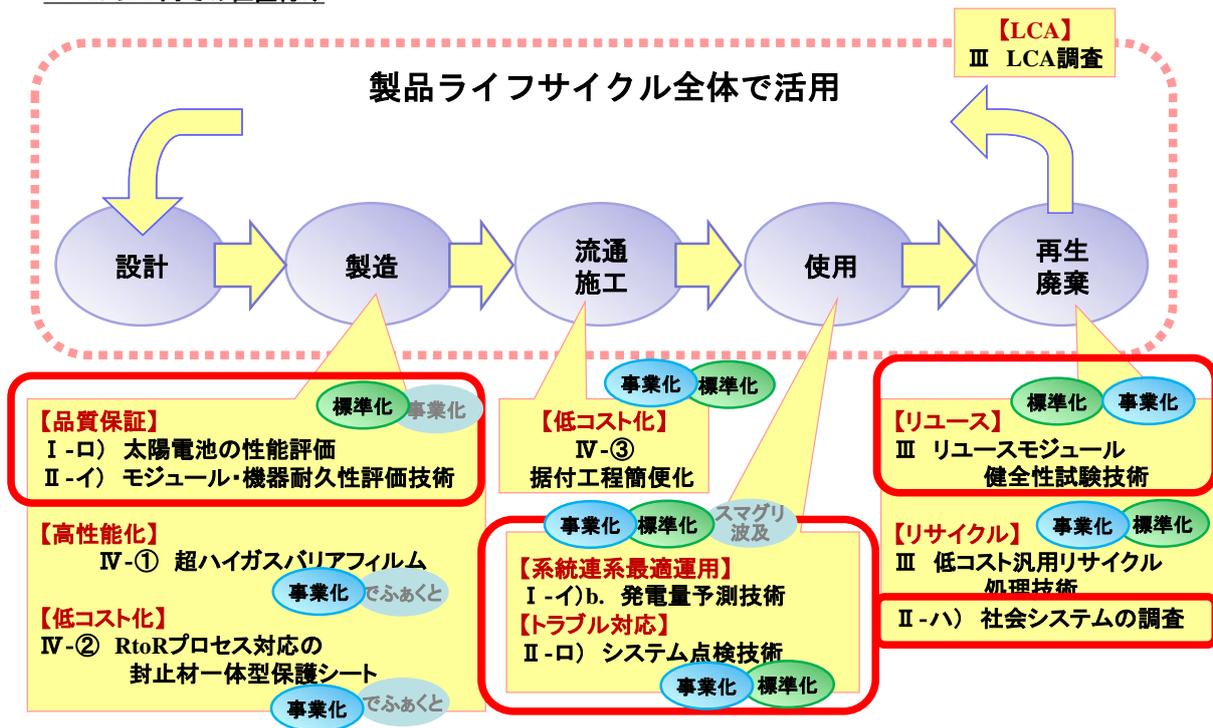
本事業では、図Ⅲ-2-(へ)-D-3(1)に示す通り、共通技術の事業化および基盤整備、また国際標準化などを目的に技術開発を行っている。100GWの導入に向けた導入促進の面では、発電予測やリサイクルリユースなど基盤的に利用可能な技術開発により、系統連系や廃棄物処理等、将来的に導入を阻害する障壁を取り除く効果があり、導入促進策と相まって導入量拡大の波及効果が期待できる。

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

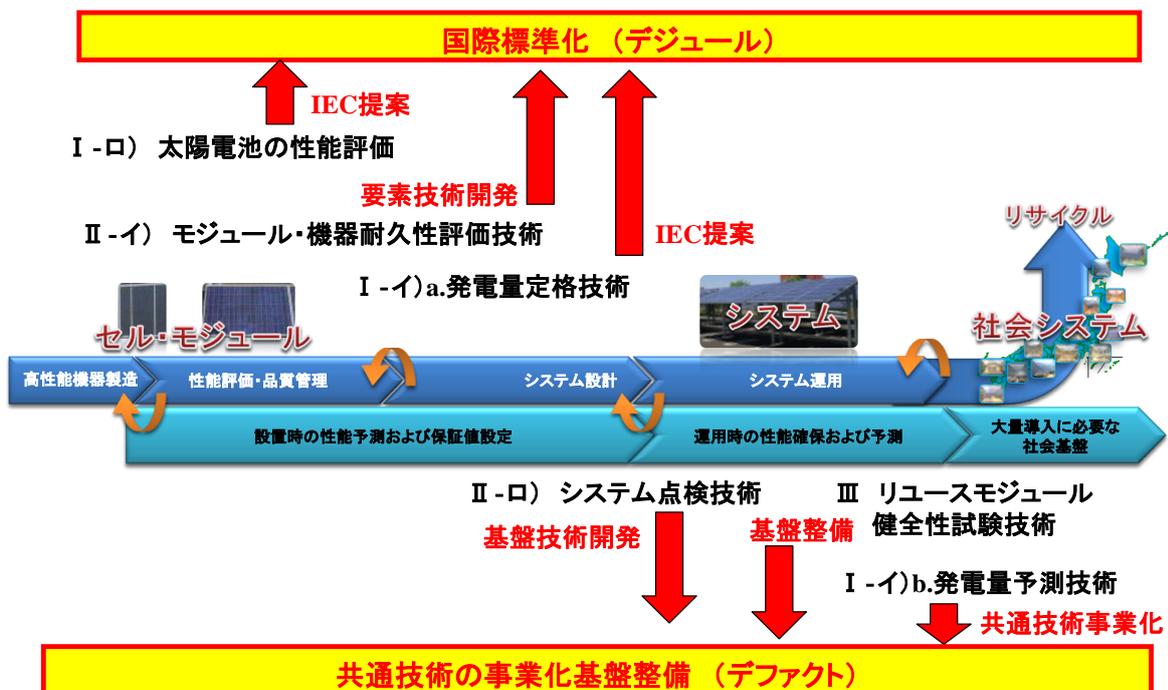


図Ⅲ-2-(へ)-D-3(2) PV 製品ライフサイクルにおける本事業の位置づけ

4. 今後の展開

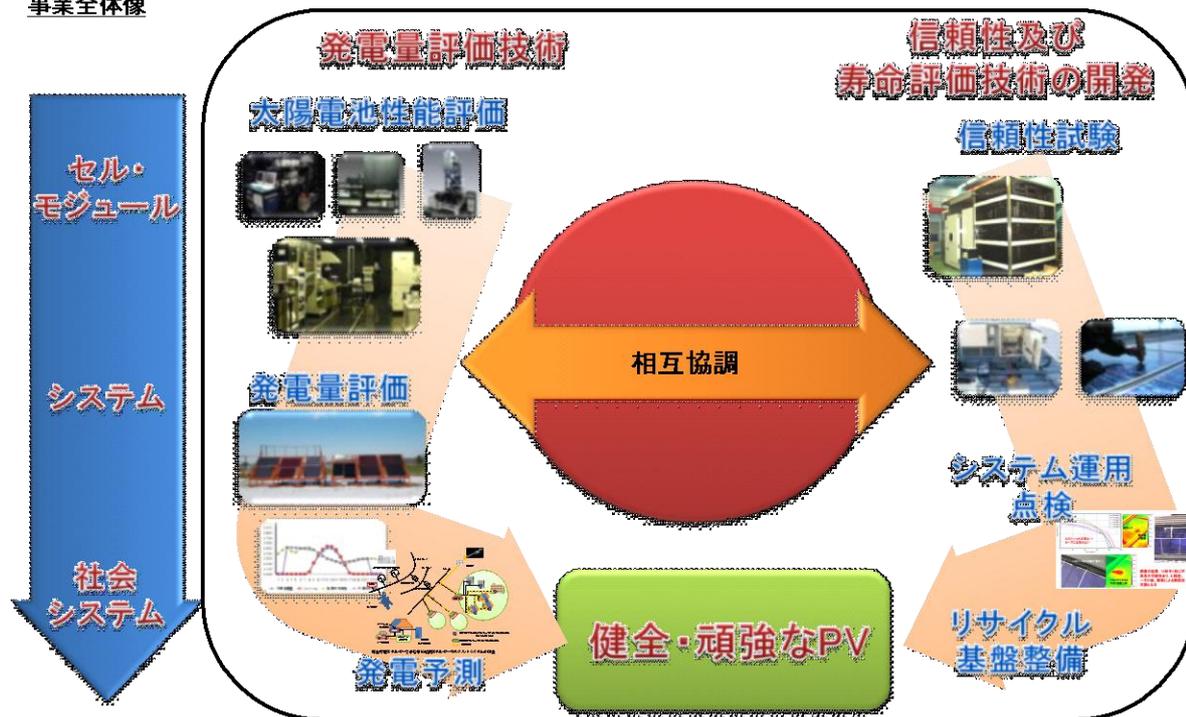
本事業の今後の展開としては、図Ⅲ-2-(へ)-D-4(1)に示す通り、IECのような国際標準化としてデジュールスタンダード化を出口とする項目および、共通技術の事業化や基盤整備によりデファクトスタンダード化を出口とする技術開発に分類できる。太陽電池の校正や性能評価手法、また発電量定格技術はIECにすでに提案している項目であり、技術開発を含めたデータ提示により国際標準化を推進する。また、モジュール機器・耐久性など信頼性評価技術は、要素技術開発の段階であるため、妥当性、有効性を確認し、順次国際標準化を見据えた活動を行っていく。

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-(~)-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-(~)-E-1(2)及び図Ⅲ-2-(~)-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。

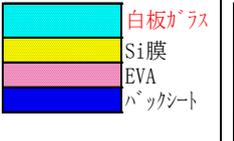


図Ⅲ-2-(へ)-E-1(2) 加熱式バックシート剥離装置（構成図）



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。



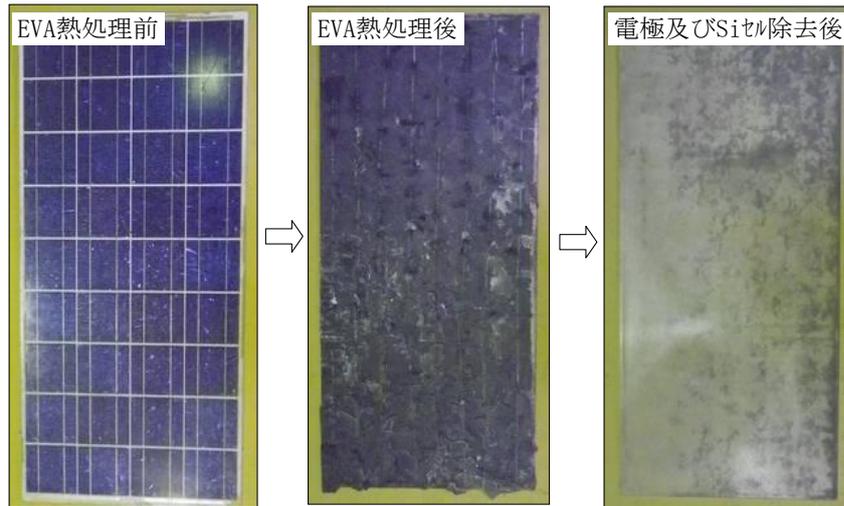
図Ⅲ-2-(へ)-E-1(4) EVA 熱処理装置 (全体図)

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。

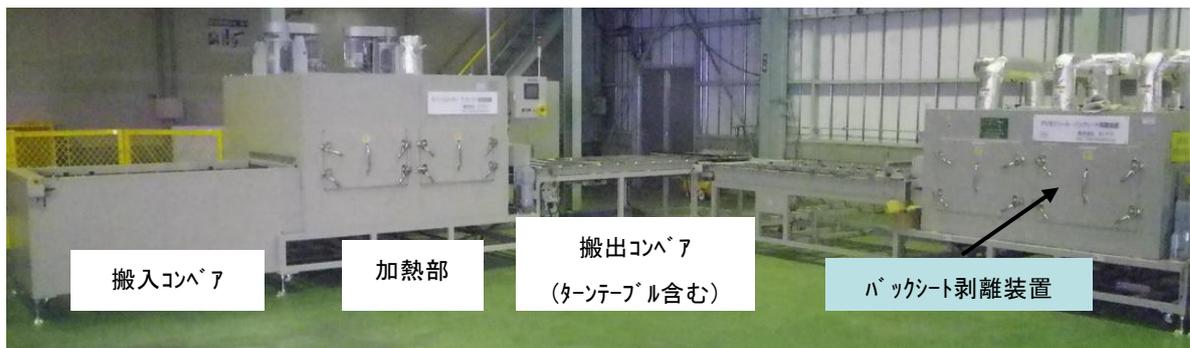
(2) モジュールローダー・アンローダー後処理装置の開発

(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。

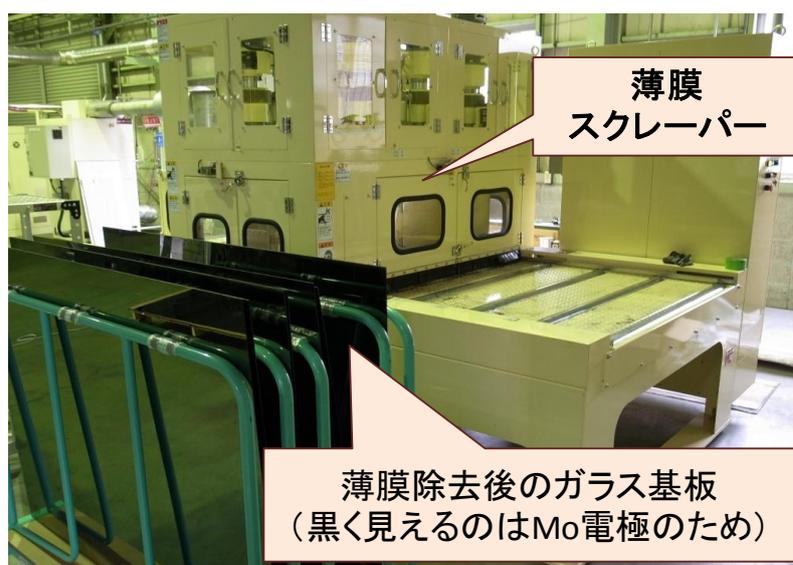
上記の検討結果を基に薄膜スクレーパーを試作した。ワークの最大寸法を 1250mm×950mm とし、厚さ 0.7mm～3mm までの処理を可能とした。また、作業員 1 人でサーキット・ガラス基板の当装置へのロード及びアンロードができるように設計した。主な仕様を次に掲げる。

- 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。

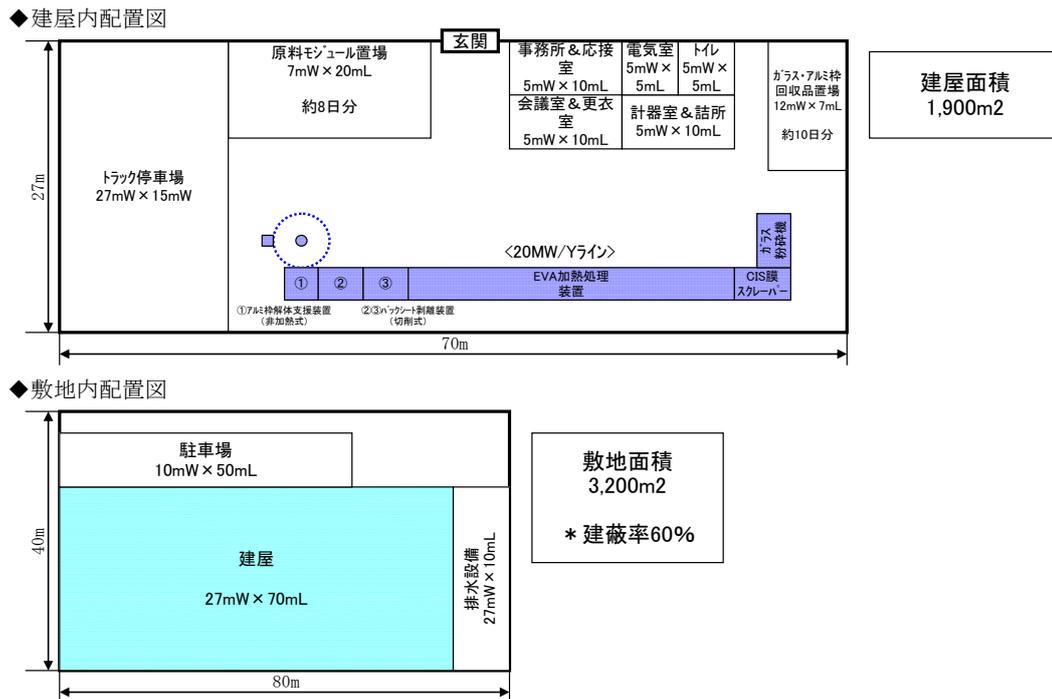
a-6) パイロットプラント仕様検討及びコスト評価

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働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、1,900m²程度が必要である。
- ・建屋を設置する敷地面積としては、3,200m²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 : アルミ棒単体として回収し、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。

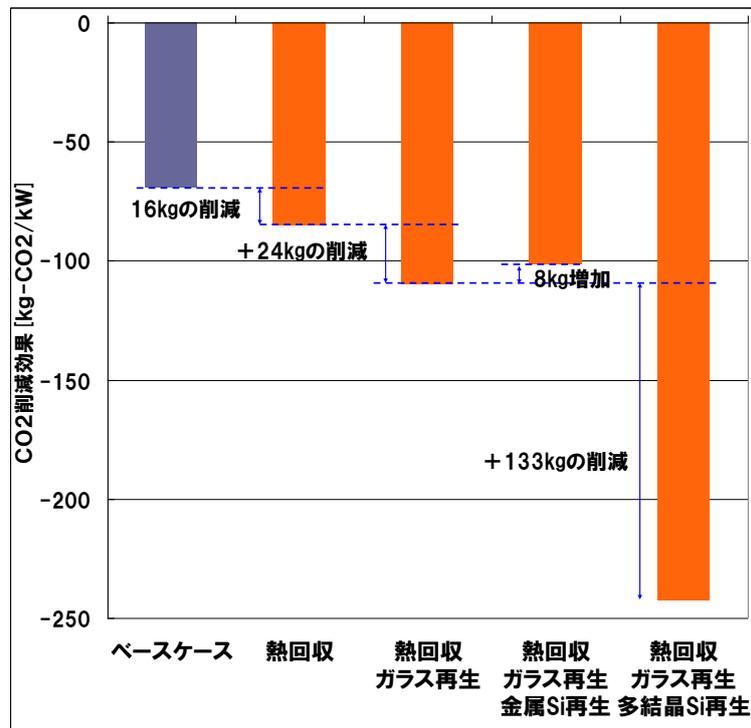
今回の算定では、再生された材料による削減効果を見ている (削減効果分はマイナスで示している) ため、ベースケースであっても、アルミ、銅、鉄、プラスチック類の一部はリサイクル可能なため、再生処理をしない場合と比べれば、削減の効果になる。

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。



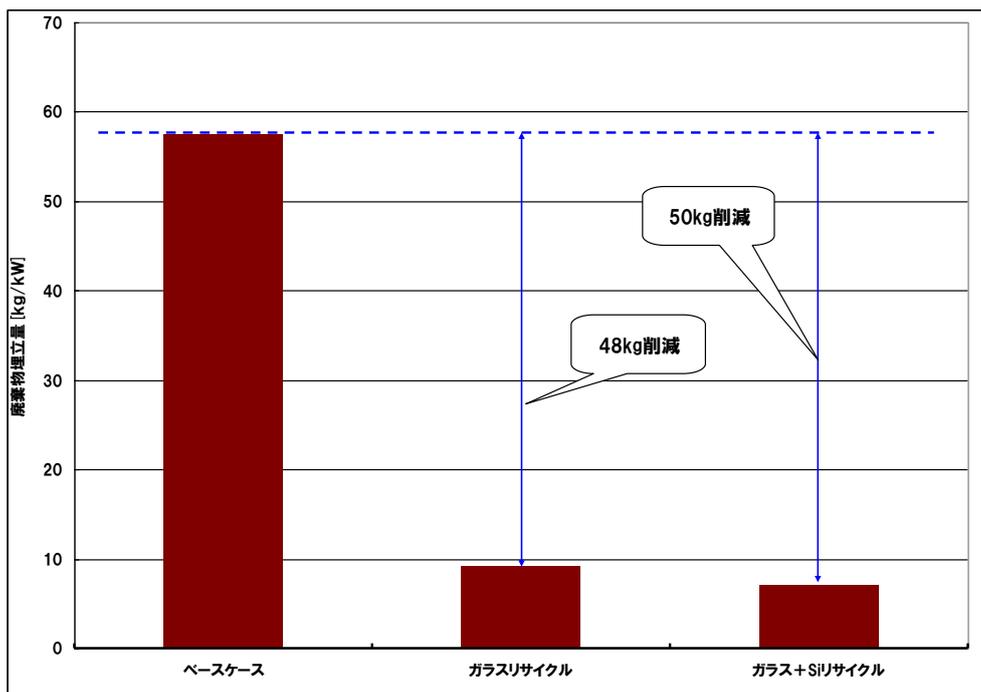
図Ⅲ-2-(へ)-E-1(11) 1kWあたり再生・廃棄処理時のCO₂排出量の合計値

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。

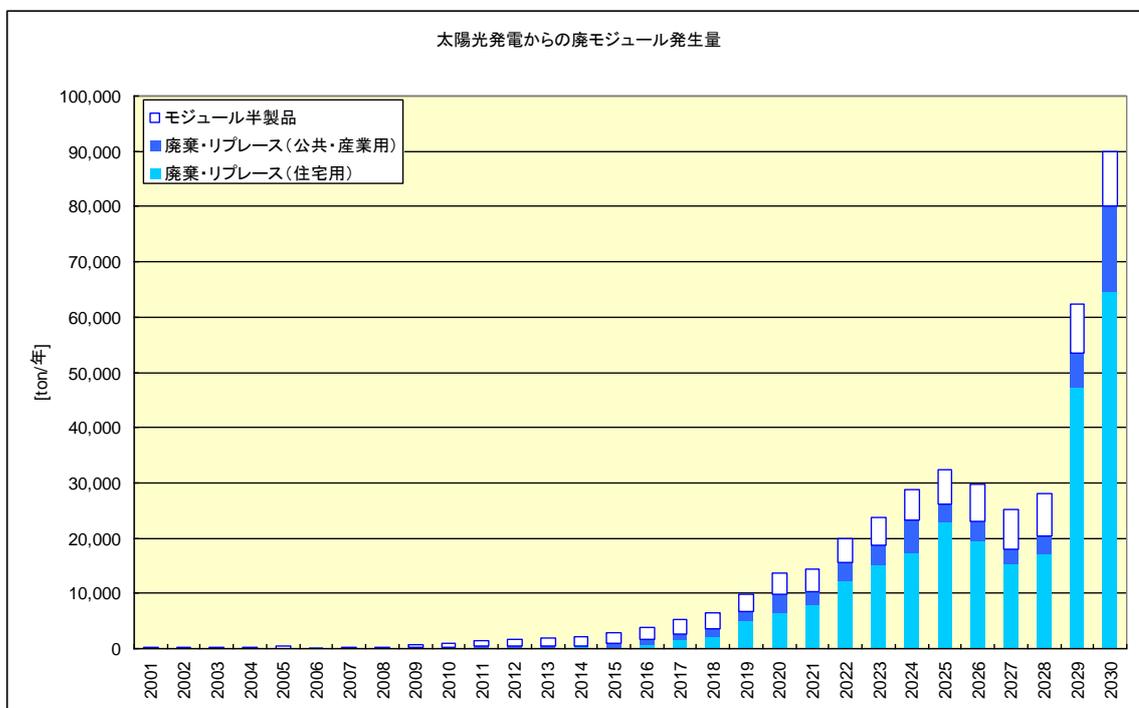
ヒアリングを通じて、費用負担のあり方、使用済み太陽光発電モジュールのリサイクルプラントまでの輸送のあり方などの情報を以下の通り整理した。

- ・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

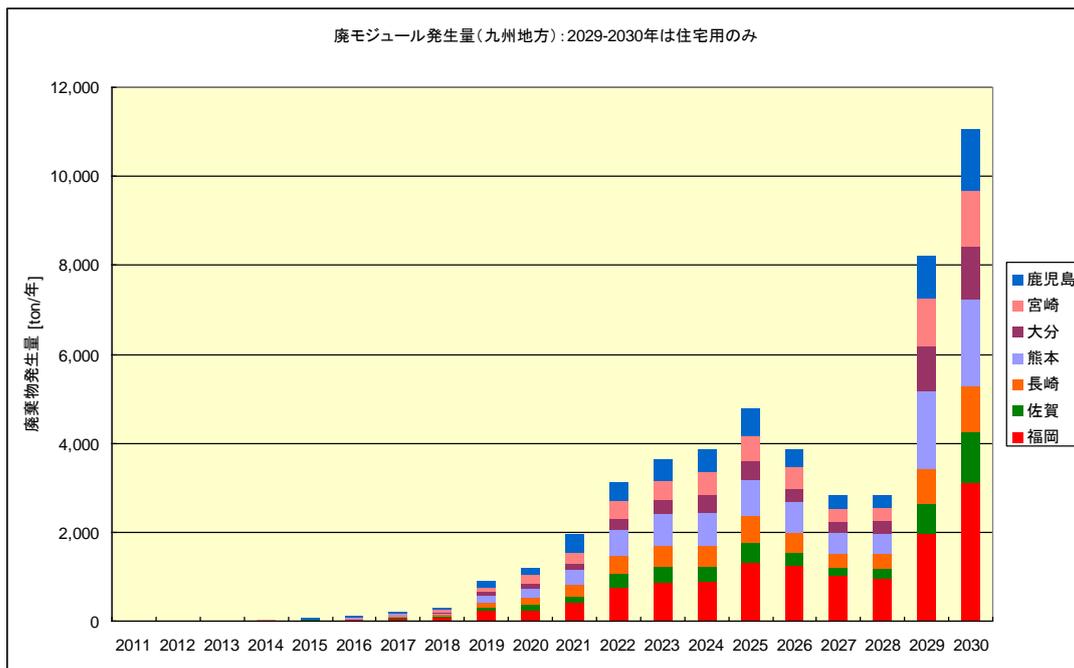
【太陽光発電廃棄物発生量の予測】

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。



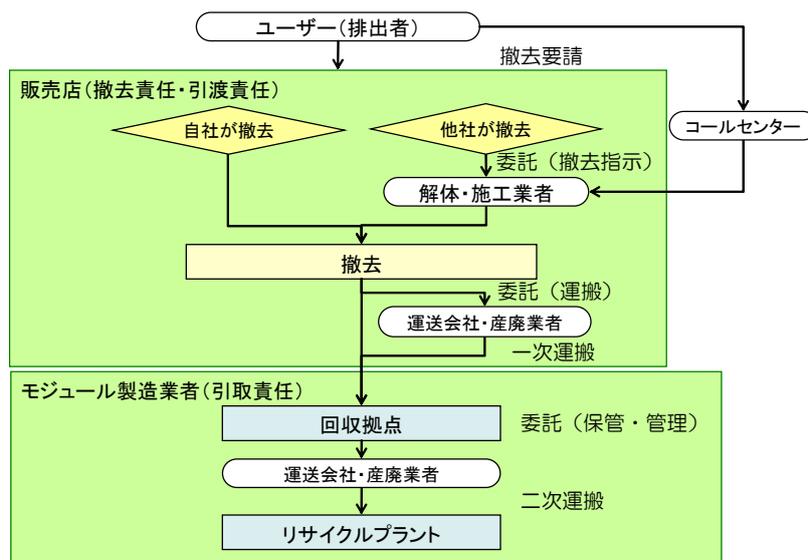
図Ⅲ-2-(へ)-E-1(13) PVモジュール廃棄物発生量（日本全体）



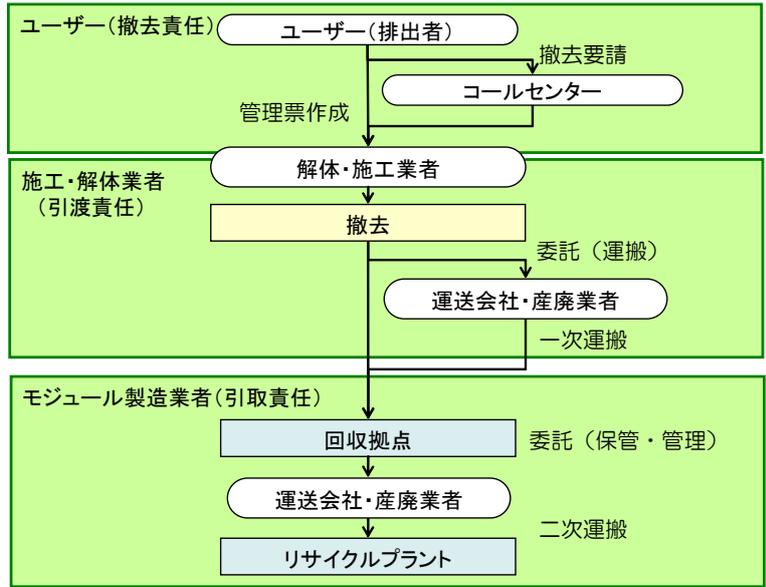
図Ⅲ-2-(へ)-E-1(14) PV モジュール廃棄物発生量 (九州地域)

【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。



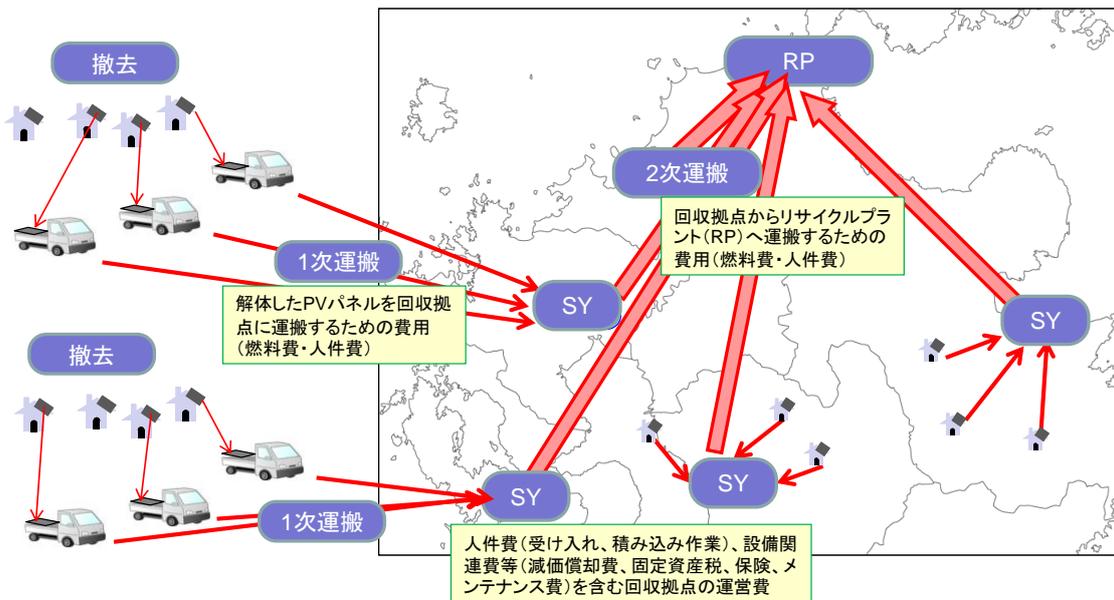
図Ⅲ-2-(へ)-E-1(15) リサイクルスキーム (販売店が撤去責任を持つケース)



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。

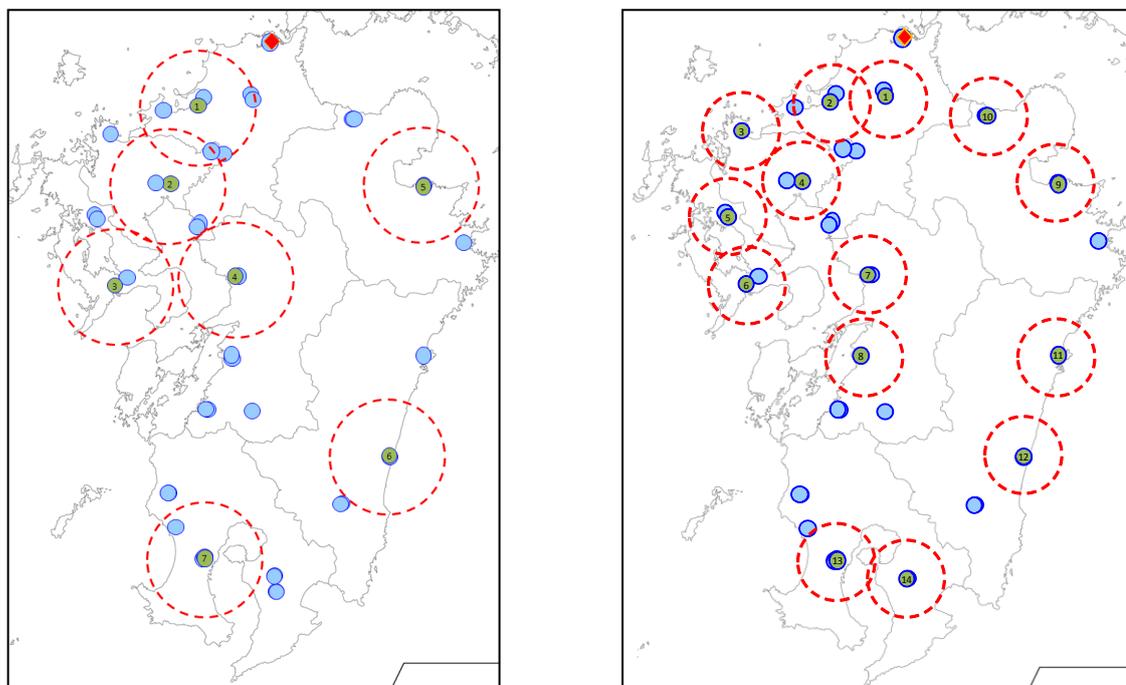
一次運搬は、2トントラックで、1回の運搬で1件分(3.6kWと想定)のPVモジュールを運ぶものとして、その際の人件費、燃料費を推計した。一次運搬の距離は、回収拠点の数によって異なってくるものと考えられる。本試算では、各県に回収拠点を1つとするケースと2つにするケースを想定し、各県に1つの場合は、一次運搬の距離を30km、各県に2つの場合は、20kmとした。図Ⅲ-2-(へ)-E-1(18)に回収拠点の設置モデル(点線の丸が一次運搬距離のエリア)を示す。

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。

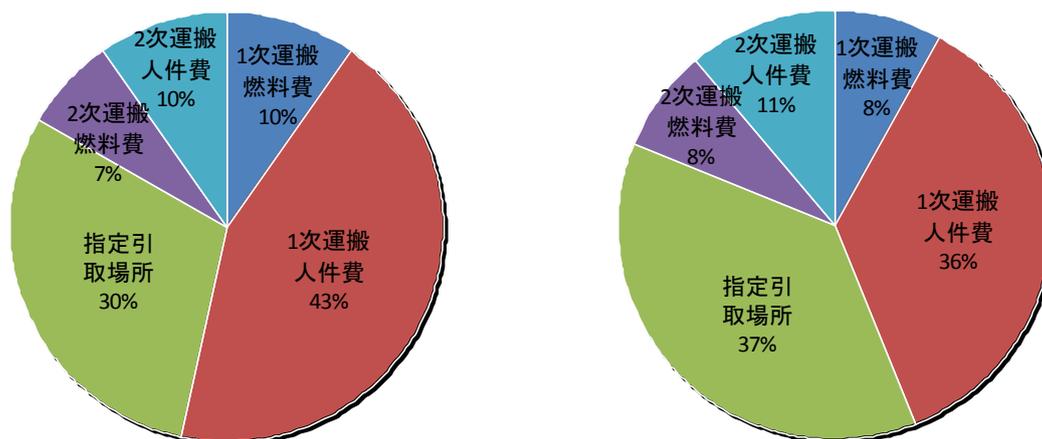
二次運搬は、10トントラックを想定し、これに60kW分(家電リサイクルの輸送用トラックを想定し、これに最大荷重まで搭載して運搬する)を載せて運搬することとし、その際の人件費と燃料費を推計した。二次運搬の距離は、それぞれの家電の回収拠点から北九州のプラントまでの実際の距離を用いて推計した。

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。

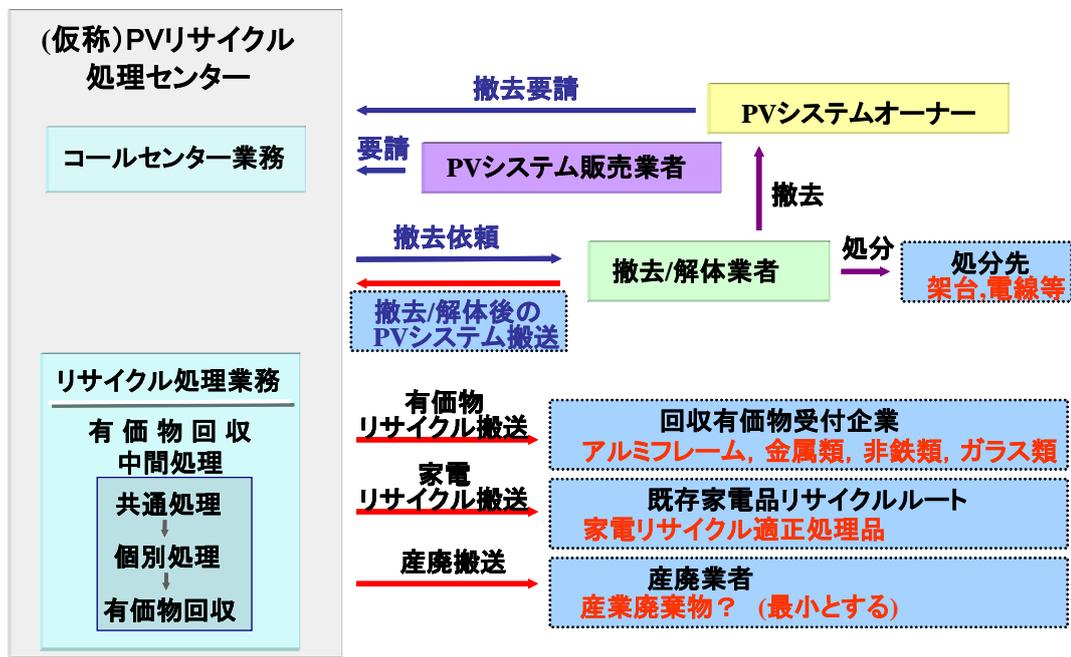
広域認定制度では、使用済PVが産業廃棄物として排出された場合、腐敗、揮発等の性状が変化することによって生活環境の保全上支障がない等の要件を満たす場合は、当該制度の活用が可能と想定される。

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。

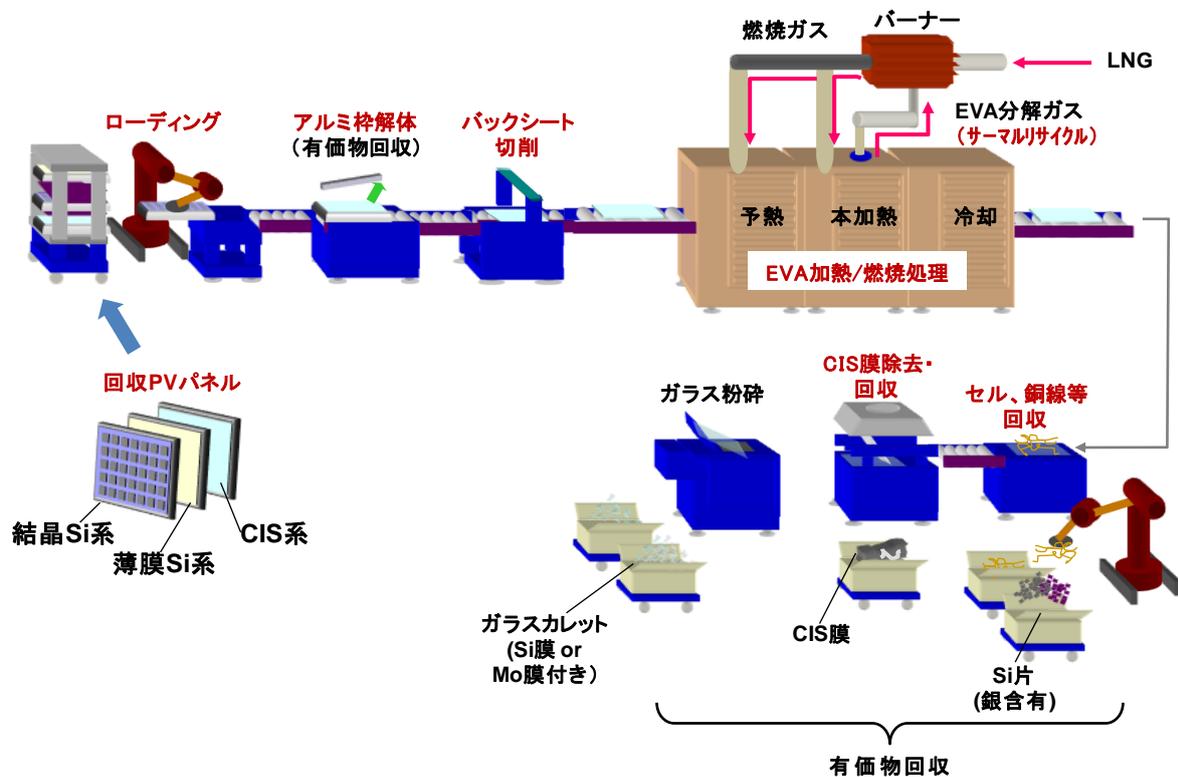
c-3) 処理センター設置構想の提案

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

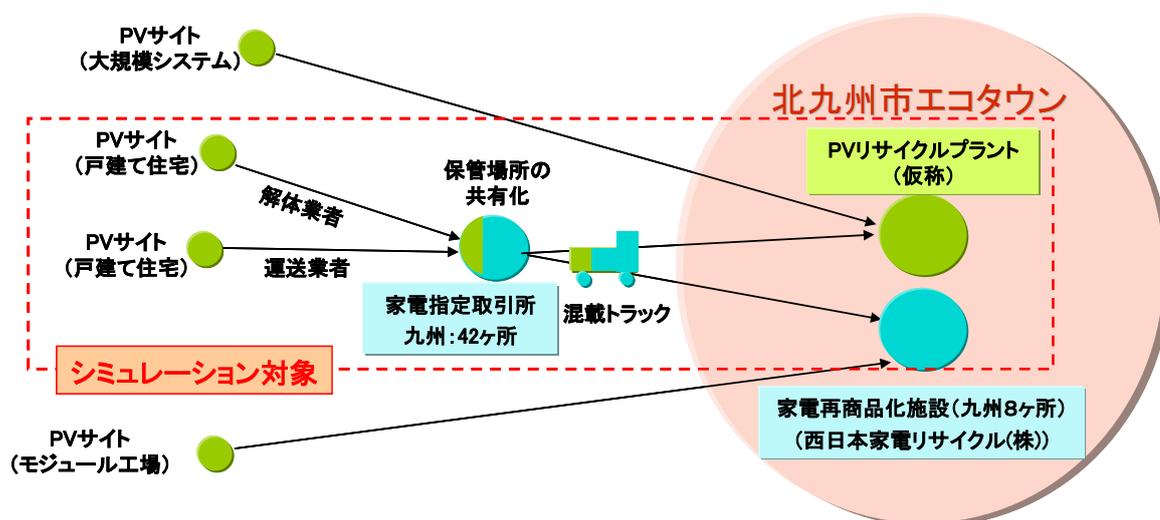
リサイクル処理業務は a-1) ~a-5)に記載の通りであるが、一貫した処理フローを図Ⅲ-2-(へ)-E-1(21)に示す。



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。

$40\text{kg-CO}_2/\text{kW} \times 6\text{MW} = 240 \text{ トン-CO}_2/\text{年}$

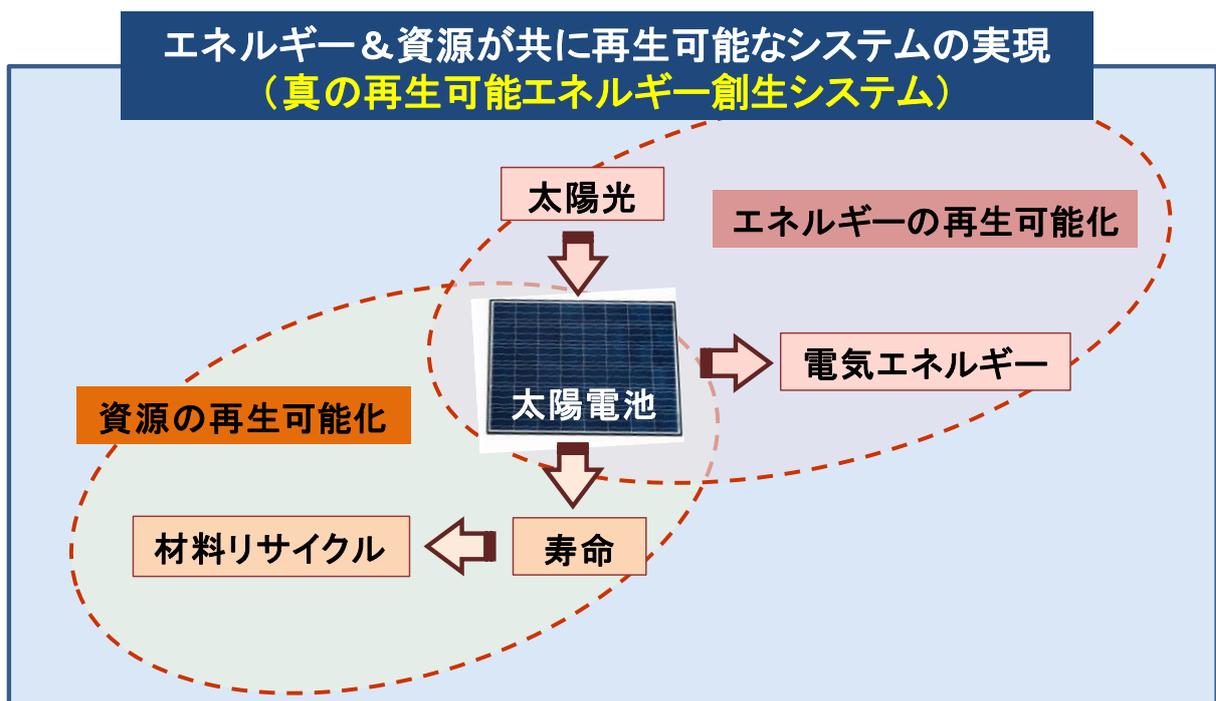
④海外不良品流入防止効果

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

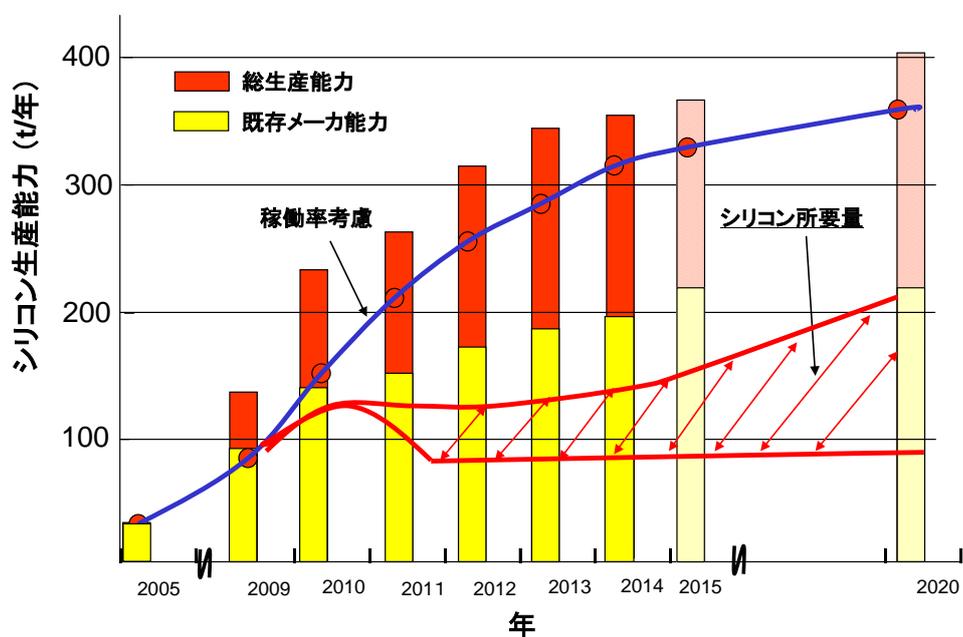
	1980年	現在	2020年	2030年	長期可能性
標準ターンキー太陽光発電100kWシステム価格（€/Wp（2011年）、VAT除く）	>30€/Wp	2.5€/Wp	1.5€/Wp	1€/Wp	0.5€/Wp
標準太陽光発電コスト（€/kWh（2011年）、南欧）	>2€/kWh	0.19€/kWh	0.10€/kWh	0.06€/kWh	0.03€/kWh
標準システム・エネルギー回収期間（南欧）	>10年	0.5-1.5年	<0.5年	<0.5年	0.25年

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。



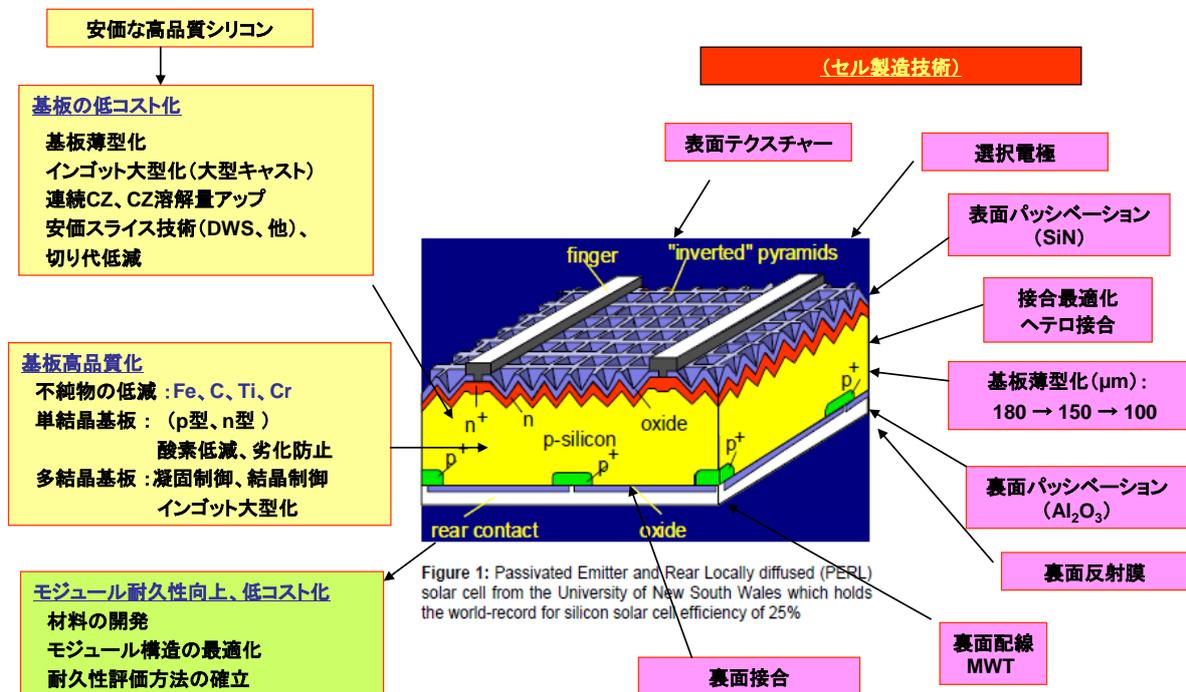
図III-2-(へ)F-1(1) シリコンの需給見通し

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）や製品工程での粉砕・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 μm)、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」</p> <p>(1) 太陽光発電技術開発に関する基礎的動向の調査</p> <p>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</p> <p>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</p> <p>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</p> <p>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 cm²）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 cm²）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 cm²）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 nm/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 nm/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 μ sec 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

2. 分科会における説明資料

次ページより、プロジェクト推進・実施者が、分科会においてプロジェクトを説明する際に使用した資料を示す。

太陽エネルギー技術開発
『太陽光発電システム次世代高性能技術の開発』
(平成22年度～平成26年度 5年間)
中間評価説明資料

議題4 プロジェクトの概要説明 (公開)
議題4-1 事業の位置付け・必要性、
研究開発マネジメントについて

NEDO
新エネルギー部

2012 (H24)年8月23日-24日

1

報告内容

I. 事業の位置付け・必要性について (NEDO 山田)

II. 研究開発マネジメントについて (NEDO 山田)

III. 研究開発成果について (豊田工大 山口教授)
(東京工大 黒川教授)

IV. 実用化の見通しについて (豊田工大 山口教授)
(東京工大 黒川教授)

2

I. 事業の位置付け・必要性について

I. 事業の位置付け・必要性について

II. 研究開発マネジメントについて

III. 研究開発成果について

IV. 実用化の見通しについて

I. 事業の位置付け・必要性について

－上位施策の概要 1－

「麻生内閣総理大臣スピーチ（新たな成長に向けて）」（2009年4月9日）
太陽電池の導入量を2020年までに20倍、2030年までに40倍とする目標が示された。

新成長戦略（基本方針）～輝きのある日本へ～（2009年12月30日閣議決定）
（グリーン・イノベーションによる成長とそれを支える資源確保の推進）
電力の固定価格買取制度の拡充等による再生可能エネルギー（太陽光、風力、小水力、バイオマス、地熱等）の普及拡大支援策や、低炭素投融資の促進、情報通信技術の活用等を通じて日本の経済社会を低炭素型に革新する。

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

エネルギー基本計画（2010年6月18日閣議決定）
基本的視点と目標：第1章、第2章
・エネルギーの安定供給確保（energy security）、環境への適合（environment）、市場機能（economic efficiency）の3Eの実現を図ることである。
・2030年に向け中長期的な視点で、エネルギー自給率を大幅向上（約18%→約4割）、エネルギー起源のCO2の30%削減を目指す。
・エネルギー製品等の国際市場で、我が国企業群がトップクラスのシェアを獲得する。

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

I. 事業の位置付け・必要性について

－上位施策の概要2－

エネルギーイノベーションプログラム（経済産業省 2008年4月制定）

目的

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

1-III 新エネルギー等の開発・導入促進

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

エネルギー技術戦略（技術戦略マップ2009）

③ 新エネルギーの開発・導入促進

太陽光、風力などの再生可能エネルギーの利用は、例えば、わが国の太陽光発電の導入量が世界のトップレベルとなるなど一定の実績を上げてきた。しかしながら、一次エネルギー供給に占める割合は依然として低い状況である。

太陽光発電については、わが国の太陽電池生産量、導入累積量は既に世界のトップレベルであるが、一層の導入拡大のためには、経済性の改善、変換効率の向上、原材料の供給安定化等、様々な課題がある。これらの課題解決のためには、シリコン系太陽電池としては、薄膜化によるシリコン使用量の低減や多接合などの高効率化が重要であり、非シリコン系太陽電池としては、化合物（CIS）系薄膜太陽電池、色素増感太陽電池等の高効率化、耐久性向上等に向けた技術開発が重要である。

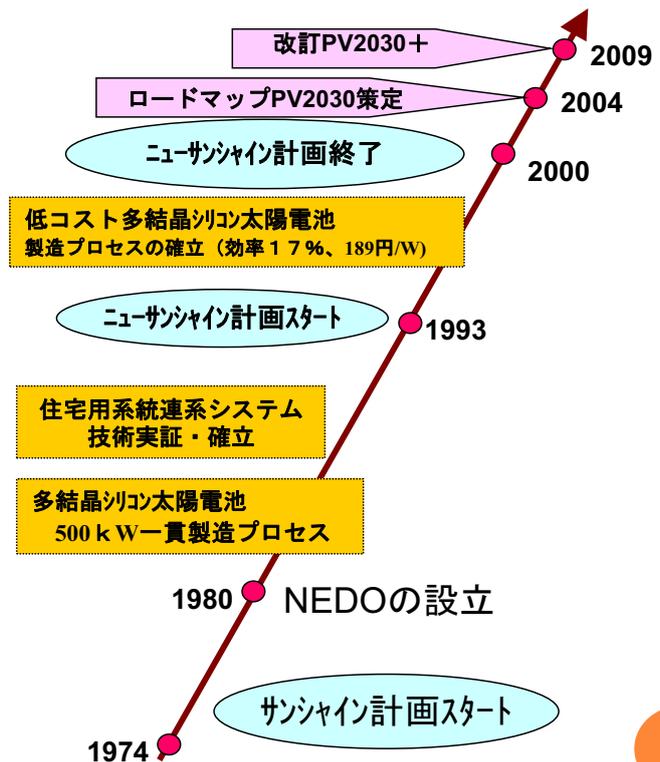
I. 事業の位置付け・必要性について

－公的関与の意義－

エネルギー技術開発は長期間を要するとともに大規模投資を伴う一方で将来の不確実性が大きいことから、民間企業が持続的な取組を行うことは必ずしも容易ではない。

このため政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となる。
(エネルギーイノベーションプログラムより)

太陽光発電はエネルギー・環境政策にとって重要な新エネルギー技術普及に向けた早期の低コスト化技術が必要



I. 事業の位置付け・必要性について

公開

—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経験

- ✓公的機関としての中立性
- ✓独法制度を最大限に活かして柔軟に推進

長期間に亘る太陽電池の技術開発を牽引しているNEDOが関与するのが適切

マネジメントの
ポイント

- ✓業界全体のニーズを把握するために産学官のヒアリングを実施
- ✓PV2030+を踏まえた目標設定

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

- ✓大学及び公的研究機関の基礎研究成果を企業の事業化に活かせるように調整
- ✓必要に応じて加速資金を投入
- ✓事業環境の変化に即して追加公募を実施

7

事業原簿 I-1

I. 事業の位置付け・必要性について

公開

—PV2030+の改訂—

太陽光発電ロードマップ「PV2030」（NEDOが策定）

「太陽光発電を2030年までに主要なエネルギーの一つに発展させること」を目標に2004年にロードマップ（PV2030）を策定。

PV2030策定後の事業環境の変化

1. エネルギー資源問題の顕在化と対応
2. 地球温暖化問題の顕在化と太陽光発電の普及拡大政策
3. 欧州を中心とした爆発的な市場拡大と新興国の台頭

太陽光発電ロードマップ「PV2030+」（NEDOが改訂）

国際的な競争力を高めるために、太陽電池の更なる高効率化・低コスト化に加え、太陽電池に係る新たな部材の開発等に取り組む必要が生じた。そこで2009年にロードマップを改訂した。

8

事業原簿 I-1

I. 事業の位置付け・必要性について

－PV2030策定後の事業環境の変化－

1. エネルギー資源問題の顕在化と対応

- ・世界人口増加や新興国の経済発展から世界のエネルギー消費が増大している。
- ・2008年には原油価格が1バレル当たり140ドルを超えた。

2. 地球温暖化問題の顕在化と太陽光発電の普及拡大政策

- ・「Cool Earth－エネルギー革新技術計画」（2008年3月）
- ・「福田ビジョン（低炭素社会・日本を目指して）」（2008年6月）
- ・「麻生内閣総理大臣スピーチ（新たな成長に向けて）」（2009年4月）

3. 欧州を中心とした爆発的な市場拡大と新興国の台頭

- ・2003年から2007年の間に、国内導入量は約2倍に拡大したが、世界市場はドイツを中心に4倍の水準となった。
- ・国内生産量は2倍に増大したが、中国を中心とした生産量の増大によって、世界の生産量は5倍となり、日本のシェアが減少している。

(2003年)

(2007年)

PV累積導入量: 世界1,809MW・国内860MW
 PV年間導入量: 世界 488MW・国内223MW
 年間生産量 : 世界744MW
 日364・米103・欧193・ほか84MW
 年間生産能力: 世界1,280MW
 日520・米299・欧367・ほか95MW

PV累積導入量: 世界7,841MW・国内1,919MW
 PV年間導入量: 世界2,251MW・国内 210MW
 年間生産量 : 世界3,733MW
 日920・米266・欧1,063・ほか1,484MW
 年間生産能力: 世界7,093MW
 日1,555・米433・欧2,042・ほか3,063MW



事業原簿 I-1
 事業原簿 I-2

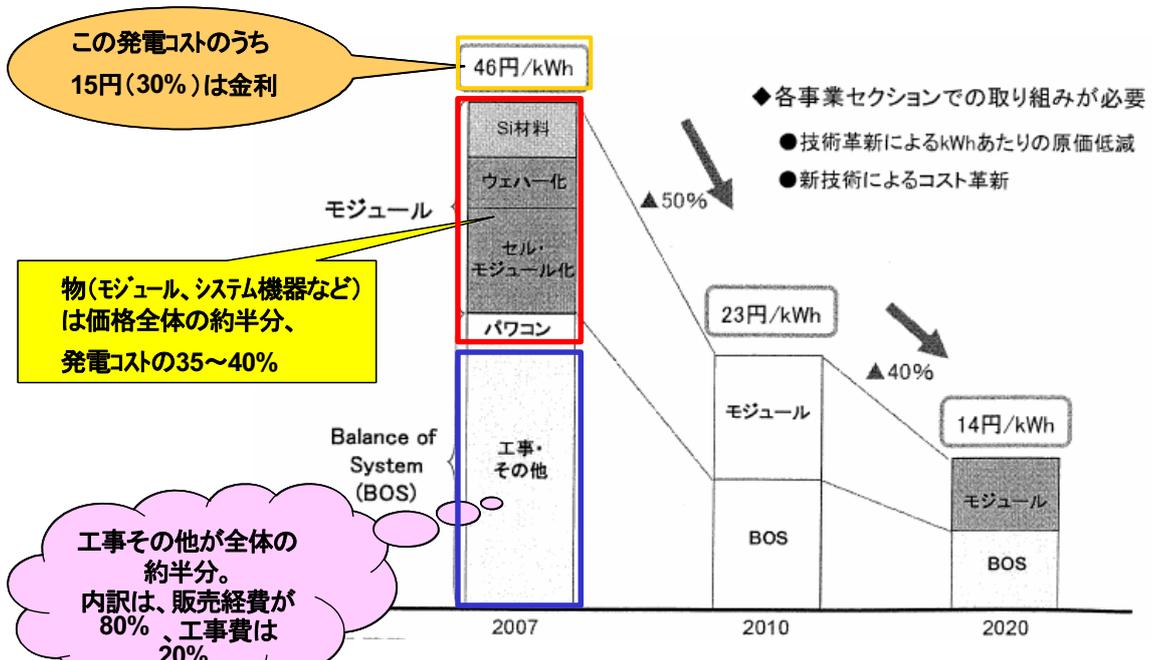
I. 事業の位置付け・必要性について

－太陽光発電システムの価格とこれによる発電コストの構成要因の概観－

<太陽光発電システム価格の内訳例> 2007年(日本)

Sharp 浜野稔重: PV EXPO2008の基調講演を基に
 (樹資源総合システムにて作成)

(金利は各要素の費用に含まれる。販売経費、手数料はその他の項目に、架台・工事費は全体の10%と想定)

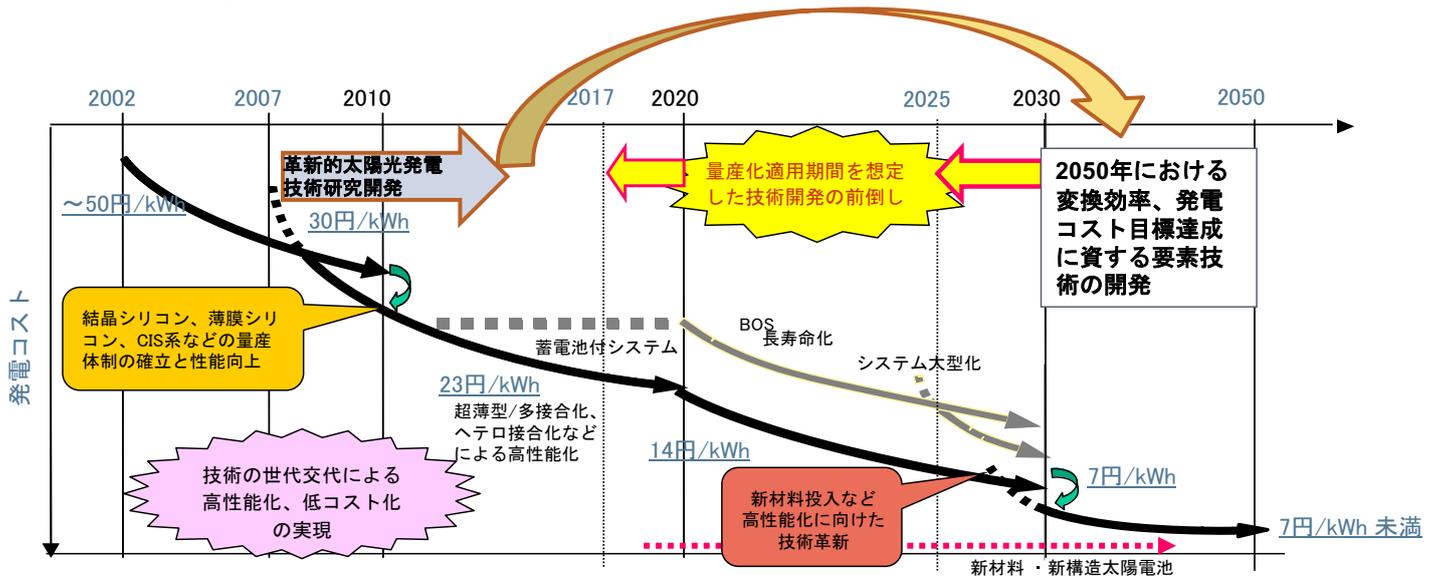


太陽光発電コストの低減には、システム価格の低減が不可欠である

I. 事業の位置付け・必要性について

公開

－背景／PV2030(+)－



実現時期（開発完了）	2010年～2020年	2020年（2017年）	2030年（2025年）	2050年
発電コスト	家庭用電力並 23円/kWh程度	業務用電力並 14円/kWh程度	汎用電源並み 7円/kWh程度	汎用電源未済 7円/kWh未済
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

11

I. 事業の位置付け・必要性について

公開

－背景／PV2030(+)－

個別技術の開発目標	太陽電池 ¹⁾	現状（2009年度）		2017年		2025年		2050年
		モジュール（%）	セル ⁵⁾ （%）	モジュール（%）	セル ⁵⁾ （%）	モジュール（%）	セル ⁵⁾ （%）	モジュール（%）
	結晶Si ²⁾	～16	25	20	25	25	(30)	40%の 超高効率 太陽電池 （追加開発）
	薄膜Si	～11	15	14	18	18	20	
	CIS系	～11	20	18	25	25	30	
	化合物系 ³⁾	～25	41	35	45	40	50	
	色素増感	—	11	10	15	15	18	
	有機系 ⁴⁾		5	10	12	15	15	

- 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。
- 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。
- 集光時の変換効率。
- 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。
- 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。

12

I. 事業の位置付け・必要性について

—基本計画内容と次世代高性能プロジェクトの位置づけ1—

基本計画の[研究開発計画]

研究開発項目①「革新的太陽光発電技術研究開発」（革新型太陽電池国際研究拠点整備事業）

- (1) ポストシリコン超高効率太陽電池の研究開発
- (2) 高度秩序構造を有する薄膜多接合太陽電池の研究開発
- (3) 低倍率集光型薄膜フルスペクトル太陽電池の研究開発
- (4) 革新的太陽電池評価技術の研究開発
- (5) 高効率集光型太陽電池セル、モジュール及びシステムの開発（日EU共同開発）

研究開発項目②「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」

〔委託事業、（共同研究事業（NEDO負担率：2/3））〕

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

← 中間評価の対象となる
研究開発テーマ

研究開発項目③「有機系太陽電池実用化先導技術開発」

有機系太陽光発電システムを設計・試作・設置、実使用環境下で発電量・耐久性等を実証・評価

I. 事業の位置付け・必要性について

—基本計画内容と次世代高性能プロジェクトの位置づけ2—

【基本計画の内容】

(1) 研究開発の目的

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。

(2) 研究開発の目標

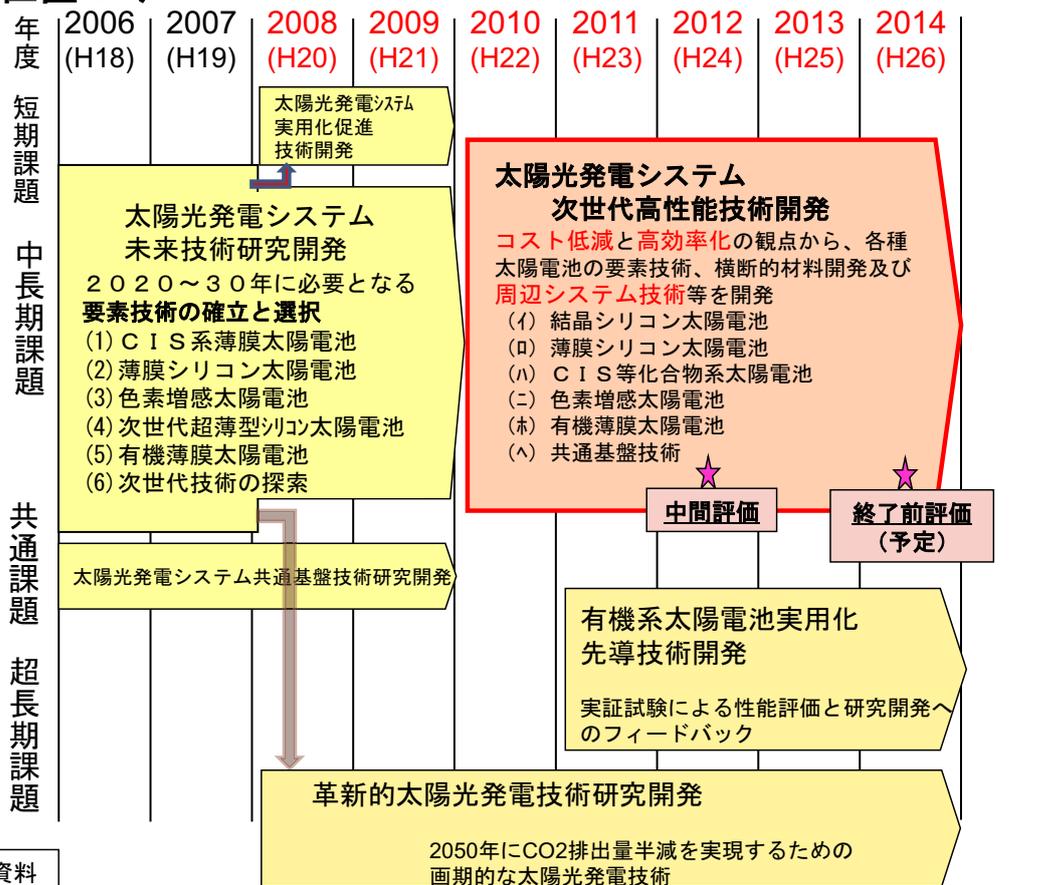
太陽光発電ロードマップに示された2020年の発電コスト14円/kWh、2030年の7円/kWh、2050年の7円/kWh未満達成に資する技術の開発を目標とする。

【次世代高性能プロジェクトの位置づけ】

太陽光発電の導入規模を2020年に現状の20倍（28GW）、発電コスト14円/kWhを達成するため、モジュール高効率化及びコスト低減の観点から、各種太陽電池の変換効率の向上、原材料・各種部材の高機能化、モジュール長寿命化、評価技術等の共通基盤技術等の開発を行う。

I. 事業の位置付け・必要性について

－位置づけ－



I. 事業の位置付け・必要性について

－「太陽光発電システム未来技術研究開発」の事後評価コメントへの対応－

【事後評価のコメント】

「太陽光発電システム未来技術研究開発」の事後評価コメントにおいては、「民間会社間の連携を強め、オールジャパン的な取り組みがあっても良いのではないかと考える。次に続くプロジェクトについては、企業チームと大学・国立研究所との有機的連携が強められれば、基礎研究成果を目こぼれなく知財化が可能となり、基礎研究成果の実用デバイスへの展開も円滑に進むものと考えられる」

【対応内容】

「結晶シリコン太陽電池」「薄膜シリコン太陽電池」「CIS・化合物系太陽電池」「色素増感太陽電池」「有機薄膜太陽電池」の各研究分野において、企業チームと大学・国立研究所との連携を強めた、オールジャパン体制を構築した。

【例】

- 「結晶シリコン太陽電池」では、豊田工業大学に太陽電池試作ラインを構築する事で、オールジャパン体制で参画している各機関が新規プロセスや材料を評価出来るようにした。
- 「薄膜シリコン太陽電池」では、国内の主要な薄膜シリコン太陽電池メーカー全てが技術研究組合に参画することで、技術的な情報を共有しつつ競争的に研究開発を推進している。

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

I. 事業の位置付け・必要性について

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

Ⅲ. 研究開発成果について

Ⅳ. 実用化の見通しについて

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

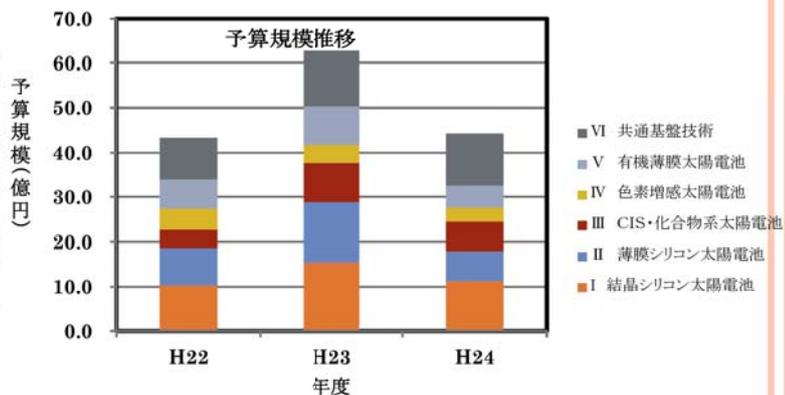
—太陽光発電システム次世代高性能技術開発PJ立ち上げと予算規模—

✓プロジェクトの企画に際して、110事業者に対するヒアリングを行い、プロジェクトの基本計画を策定した。

✓公募の結果、41件（175事業者（再委託事業者含む））に及ぶ提案が寄せられた。基本計画にある必須課題の開発を行うため、21件のテーマを採択することにした。

研究開発予算(実績)の推移(単位:億円)

年度	H22	H23	H24	総額
I 結晶シリコン太陽電池	10.3	15.4	11.3	37.0
II 薄膜シリコン太陽電池	8.3	13.4	6.6	28.3
III CIS・化合物系太陽電池	4.1	8.9	6.6	19.6
IV 色素増感太陽電池	4.7	4.0	3.1	11.8
V 有機薄膜太陽電池	6.6	8.6	5.0	20.2
VI 共通基盤技術	9.2	12.4	11.6	33.2
計 特別会計(需給勘定)	43.2	62.7	44.2	150.1



Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

—実施体制（全体） 1—

NEDO

プロジェクトリーダー：豊田工業大学 山口教授

実用化PVのコスト競争力強化を図る低コスト化等 次世代の低コスト太陽電池の実用化に目処

プロジェクトリーダー：豊田工業大学 山口教授

(イ) 結晶シリコン太陽電池
→低コストシリコン製造プロセス、効率向上等

プロジェクトリーダー：豊田工業大学 山口教授

(ニ) 色素増感太陽電池
(ホ) 有機薄膜太陽電池
→効率・寿命向上、コスト低減、システム化

プロジェクトリーダー：豊田工業大学 山口教授

(ロ) 薄膜シリコン太陽電池
→All-Japanでの薄膜製造プロセスの共同開発

評価技術の国際標準、材料・構造革新等

プロジェクトリーダー：東京工業大学 黒川教授
共通基盤(評価技術・リサイクル技術等)

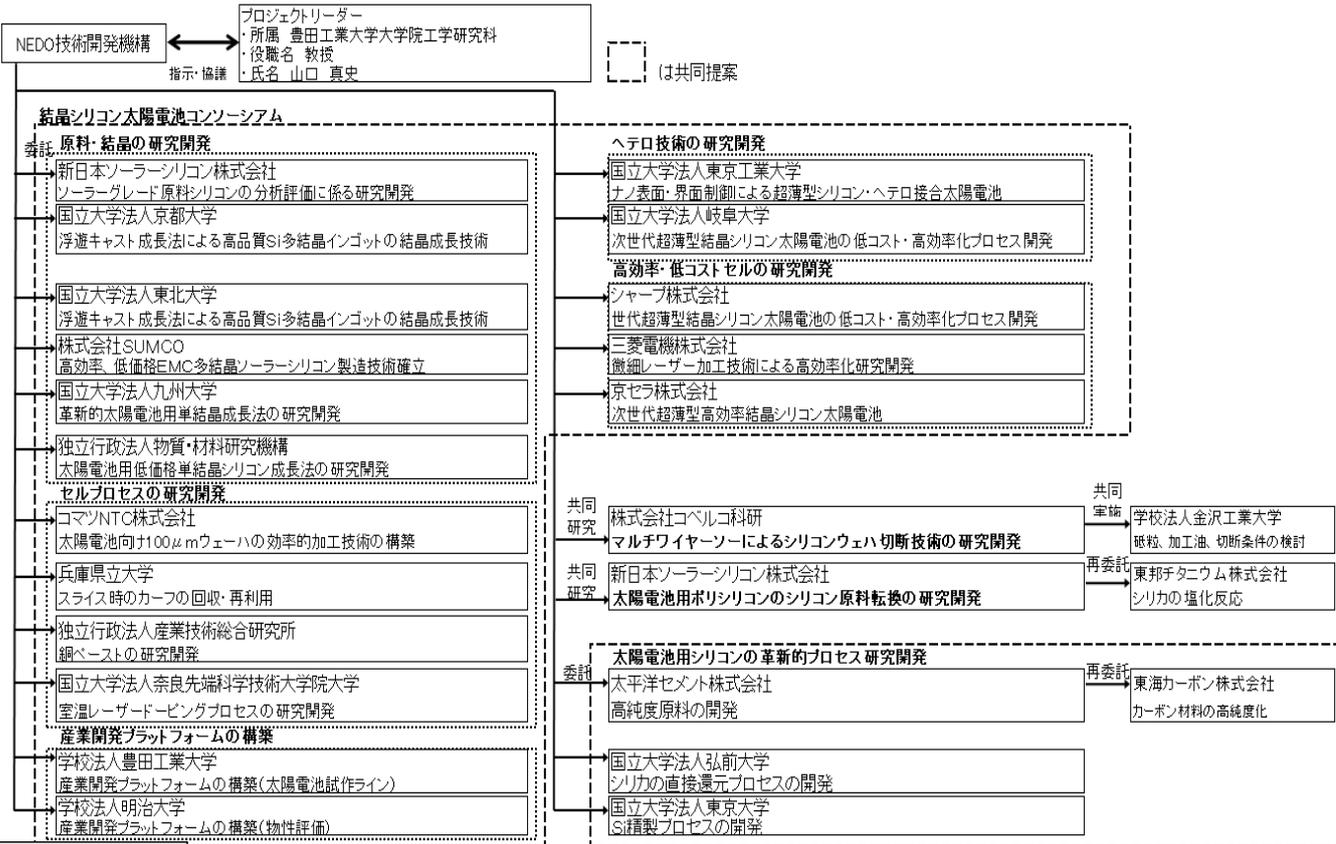
プロジェクトリーダー：豊田工業大学 山口教授

(ハ) CIS等化合物太陽電池
→CIS薄膜の低コスト化、集光型PV対応

プロジェクトリーダー：豊田工業大学 山口教授
共通基盤(共通材料・部材・機器システム等)

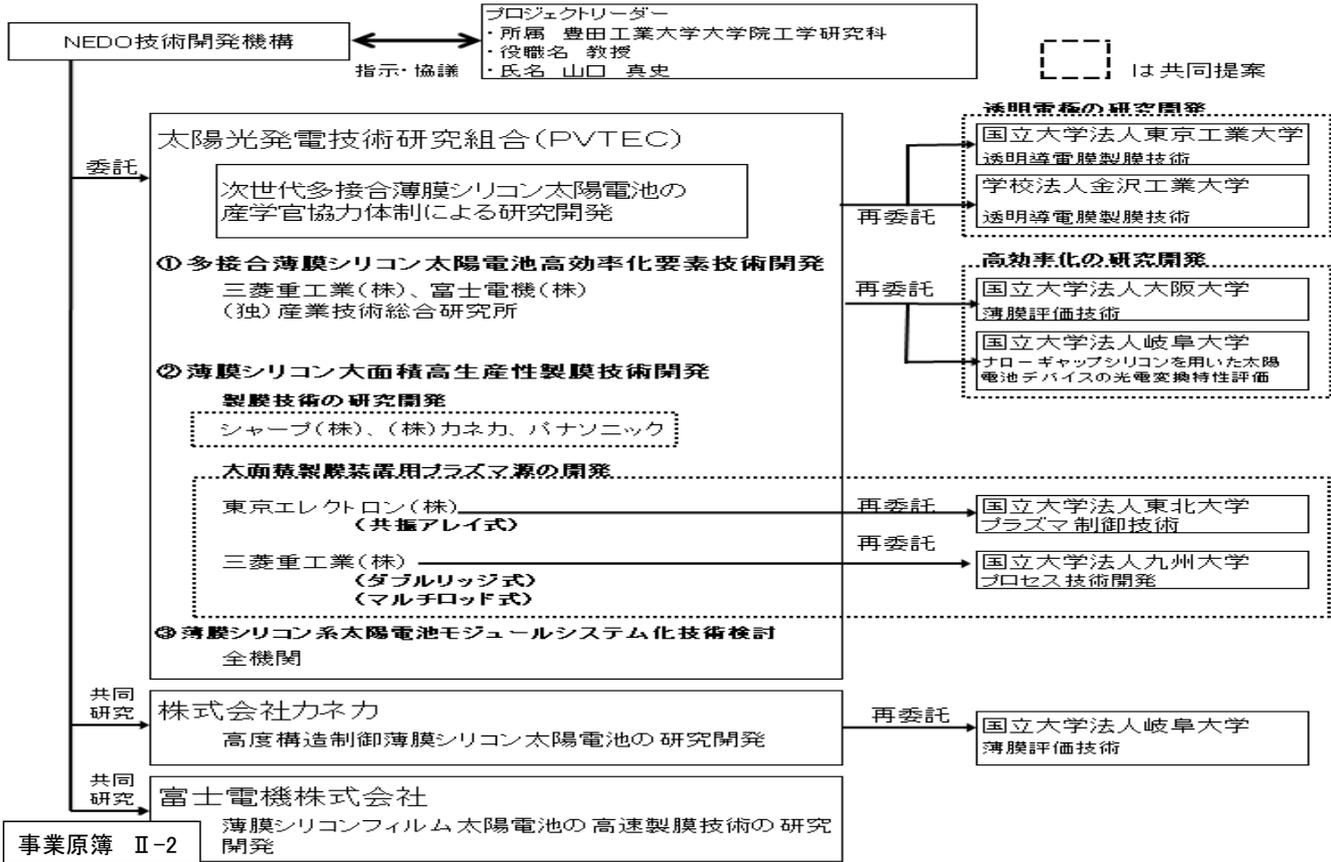
Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

—実施体制 結晶シリコン太陽電池—



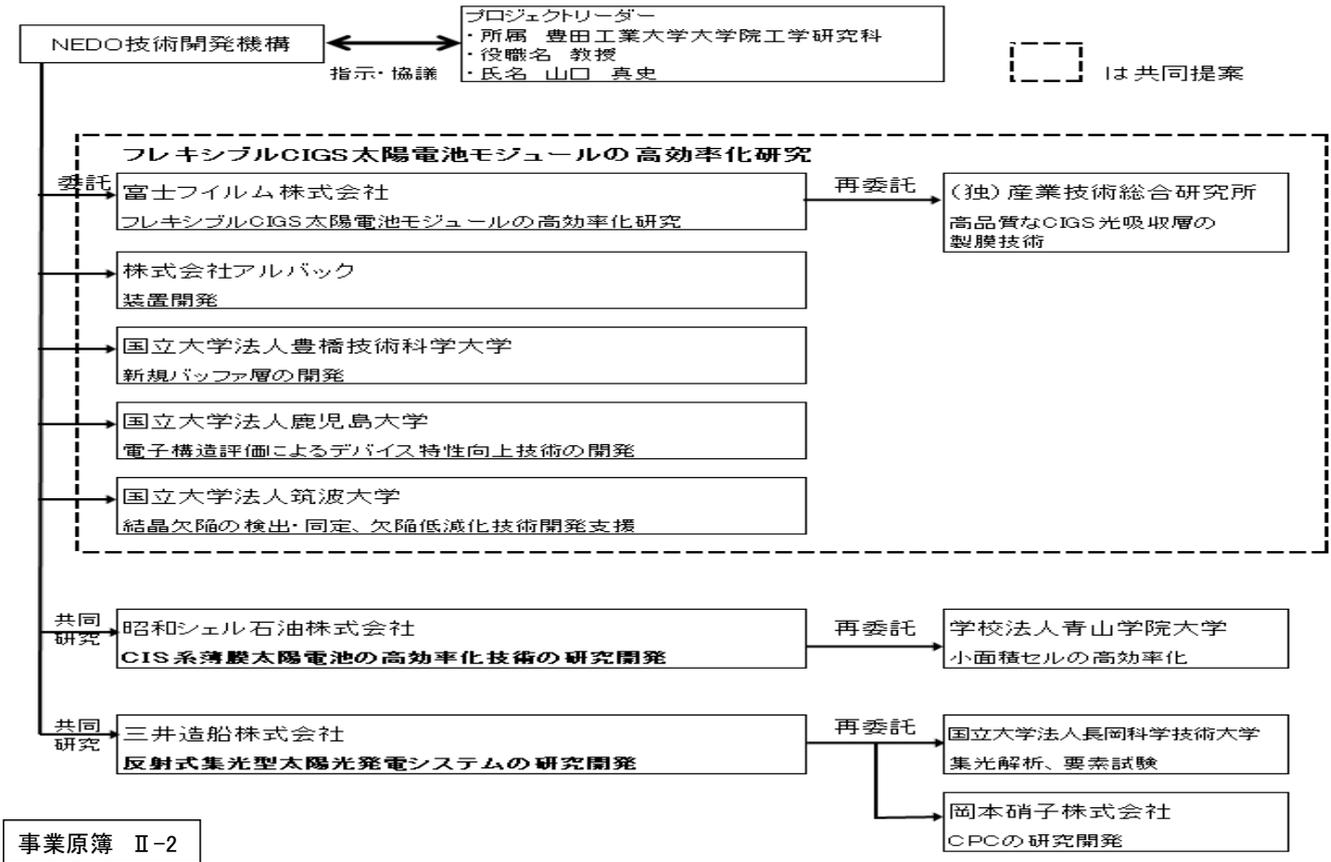
Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

—実施体制 薄膜シリコン太陽電池—



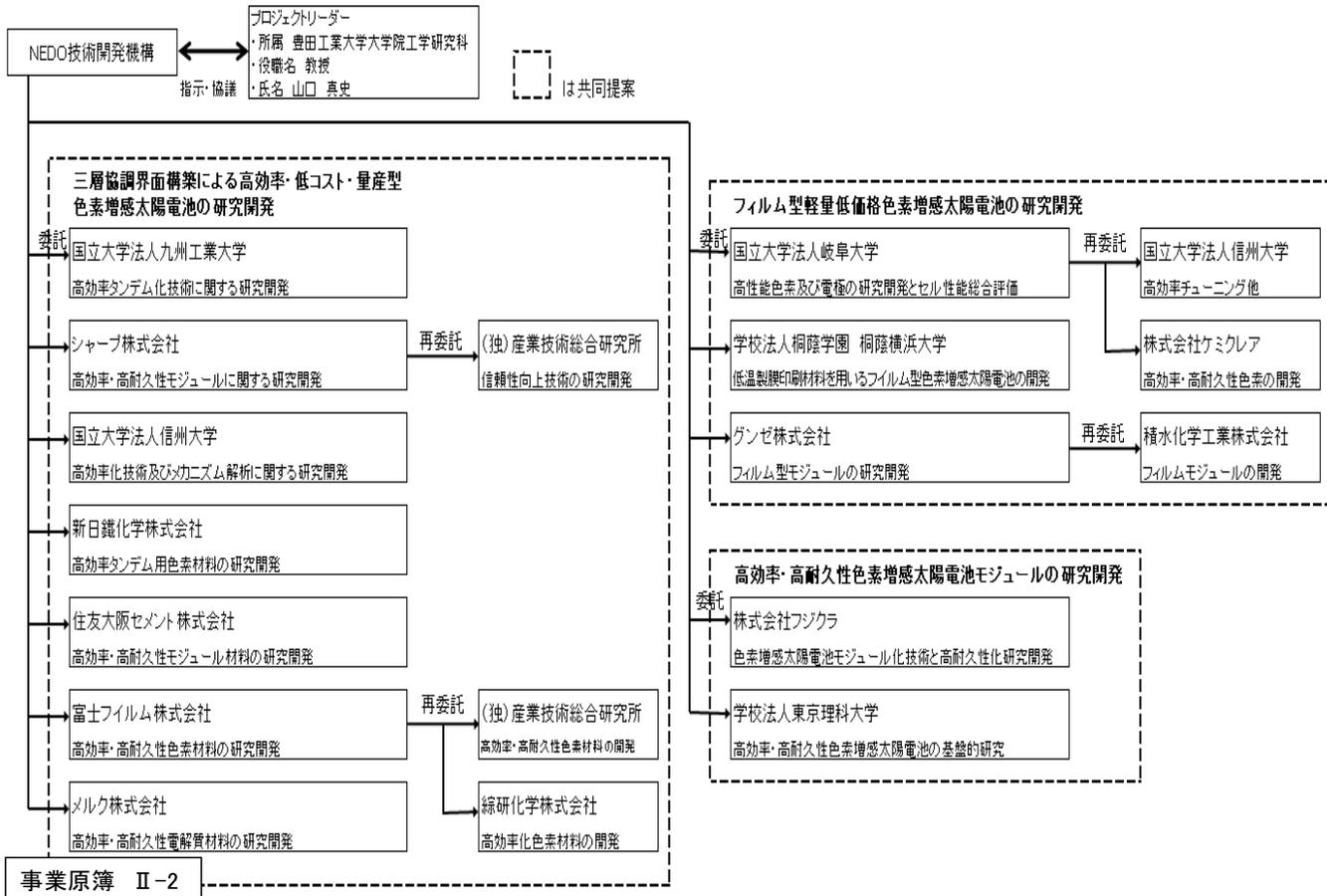
Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

—実施体制 C I S等化合物系太陽電池—



Ⅱ. 研究開発マネジメントについて —実施体制 色素増感太陽電池—

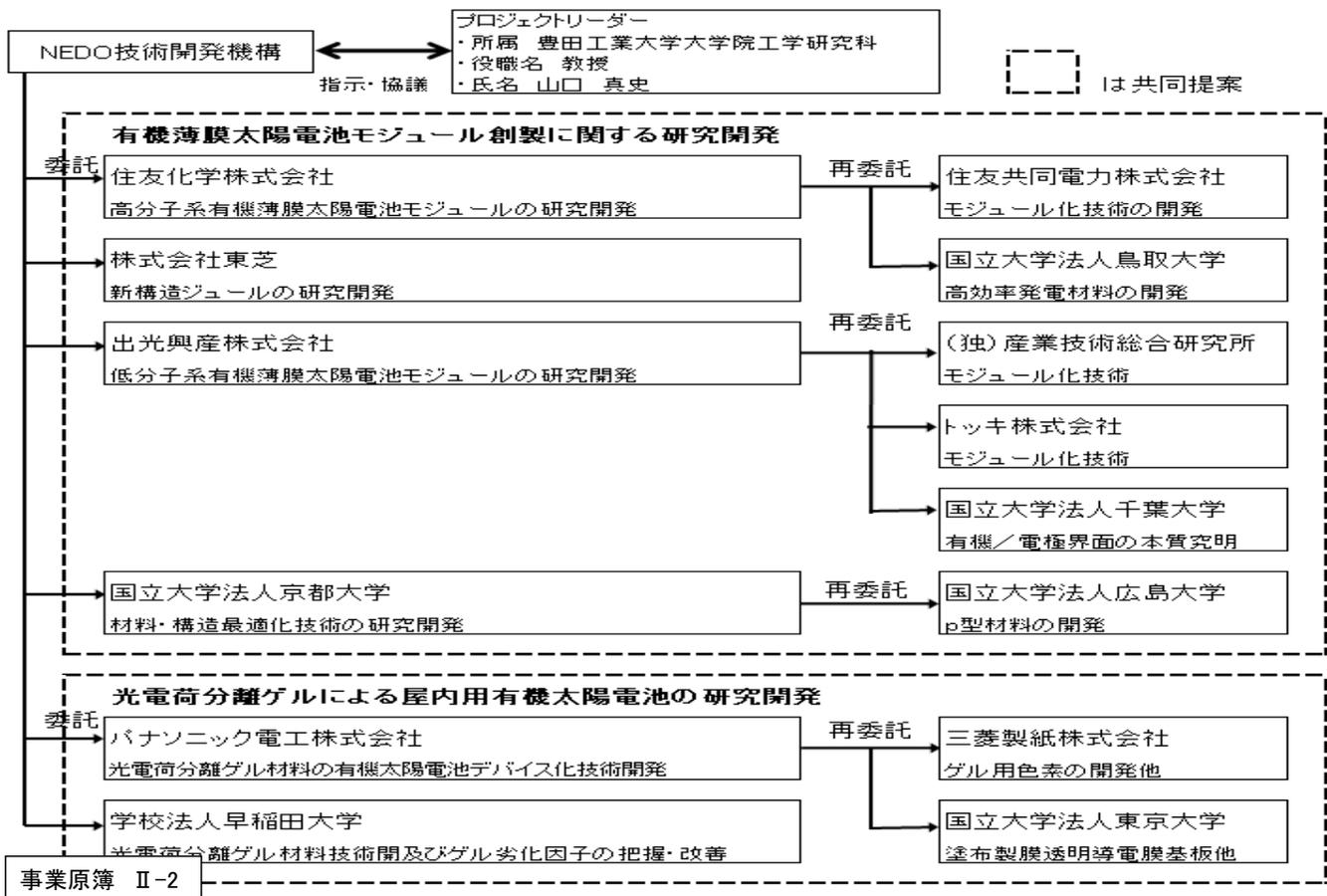
公開



23

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて —実施体制 有機薄膜太陽電池—

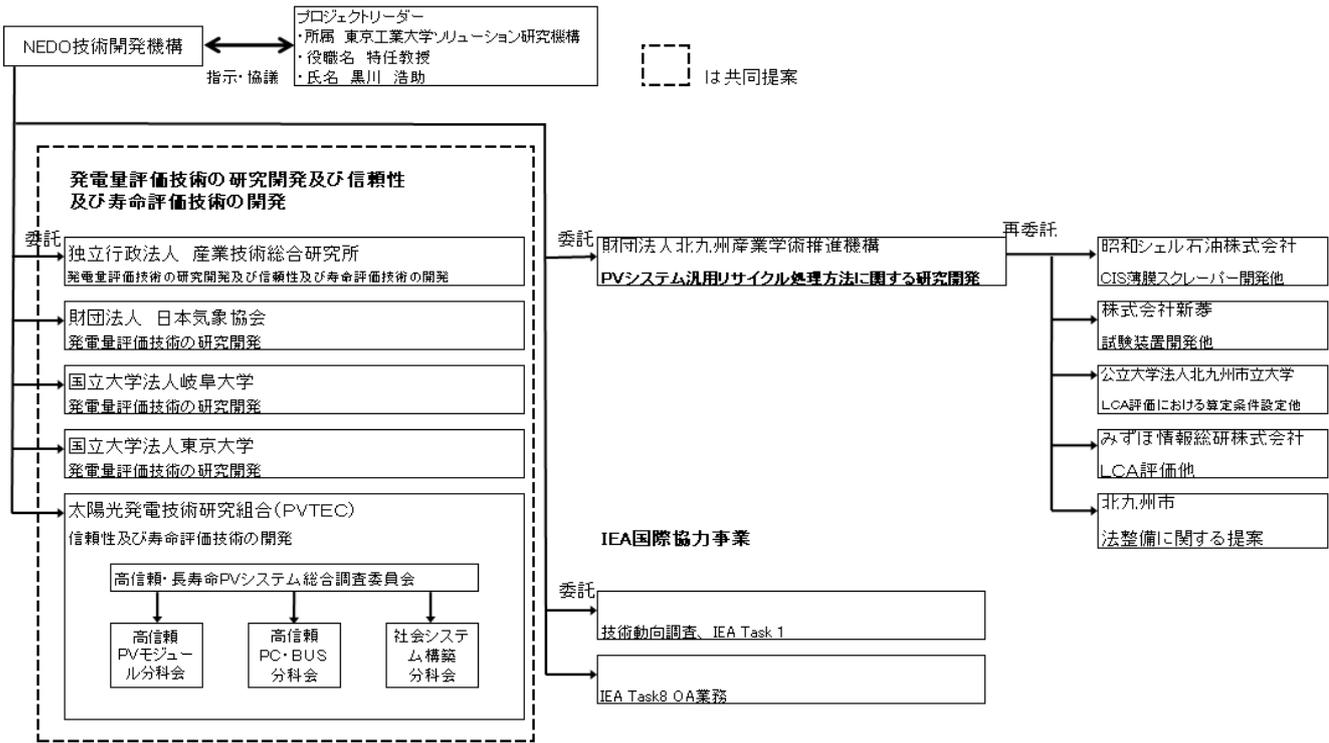
公開



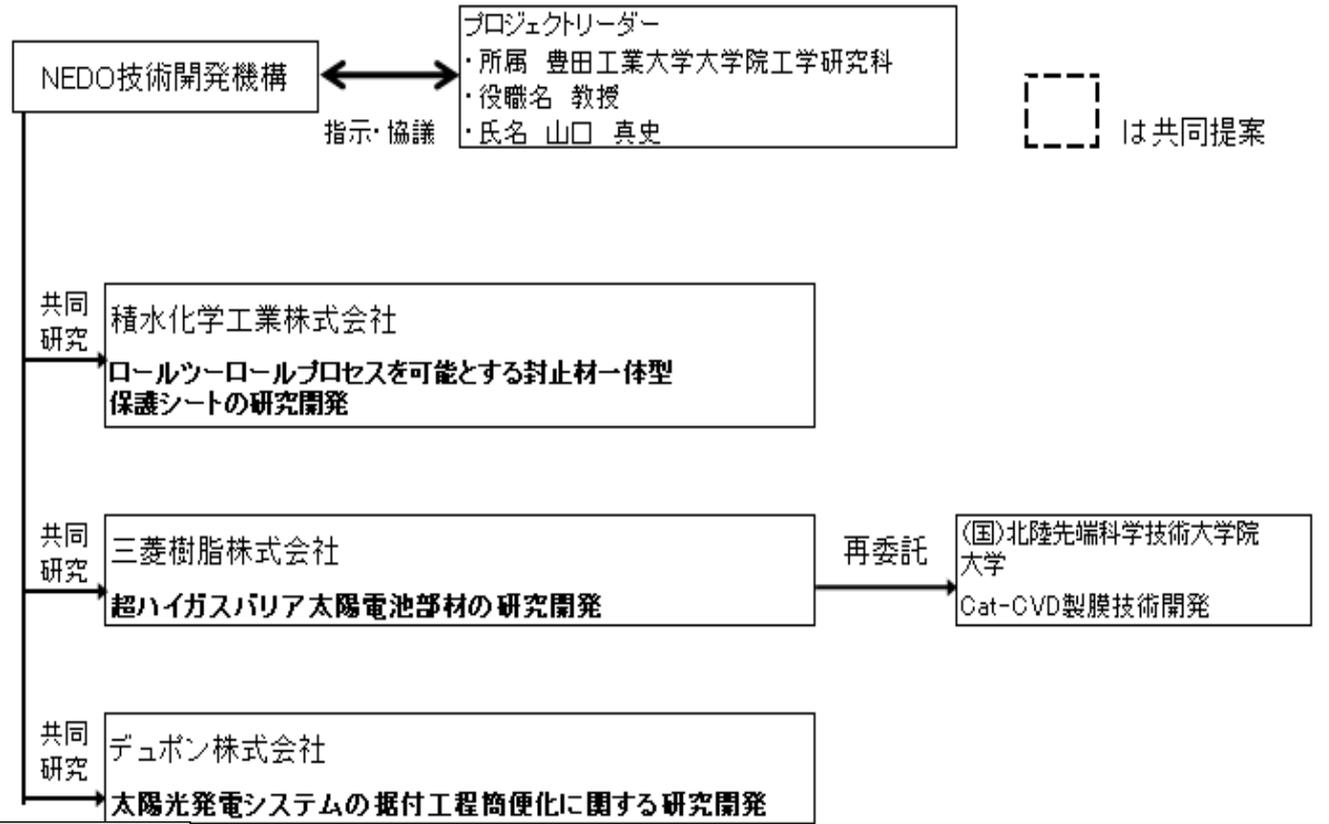
24

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて —実施体制 共通基盤技術（その1）—

研究開発項目（へ）共通基盤技術 1



Ⅱ. 研究開発マネジメントについて —実施体制 共通基盤技術（その2）—



Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

—事業の主な目標—

事業の目標

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

開発目標 (抜粋)	研究開発項目	中間年度における開発目標(平成24年度末)	最終年度における開発目標(平成26年度末)
	結晶シリコン太陽電池	・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。	・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。
	薄膜シリコン太陽電池	・30 \times 40cm程度の基板に製膜した2接合以上の多接合薄膜シリコン太陽電池においてモジュール変換効率13%以上(安定化効率)を達成する。 ・装置の設計・作製と条件出しを完了し、任意サイズの基板において製膜速度1.0nm/sec以上を達成する。	・30 \times 40cm基板に製膜した2接合以上の多接合薄膜シリコン太陽電池においてモジュール変換効率14%以上(安定化効率)を達成する。 ・幅1m以上の基板において製膜速度2.5nm/sec以上、膜厚分布 \pm 5%以下を達成する。
	CIS等化合物系太陽電池	・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。	・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。

事業原簿 II-2

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

—事業の主な目標—

開発目標 (抜粋)	研究開発項目	中間年度における開発目標(平成24年度末)	最終年度における開発目標(平成26年度末)
	色素増感太陽電池	・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	・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
	有機薄膜太陽電池	・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	・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
	共通基盤技術	・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。 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。 ・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。	

事業原簿 II-2

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

— 加速・拡充 —

太陽電池種類	主な予算増額
結晶シリコン太陽電池	増額金額： 91百万円（平成22年11月） 内容： より実的な太陽電池試作ラインを構築するため必要な装置を導入した。 効果： コンソで開発した要素技術が、セルの変換効率向上にどの程度寄与するか確認可能となった。
薄膜シリコン太陽電池	増額金額： 250百万円（平成24年4月） 内容： 競合企業（シャープ、パナソニック、カネカ）が共同で活用している製膜装置（G5サイズ）を改造した。 効果： 製膜装置の改造が今年度中に実現することで、研究開発の加速が期待できる。
CIS等化合物系太陽電池	増額金額： 31百万円（平成23年9月） 内容： フレキシブルCIGS太陽電池の量産試作装置を改造した。 効果： フレキシブルCIGS太陽電池の基板の加熱時間を短縮でき、基板搬送が安定化した。
	増額金額： 28百万円（平成24年3月） 内容： CIGS太陽電池のライフタイムやバンドギャップなどの正確な評価が可能な測定装置を導入した。 効果： サブモジュールの変換効率の更なる向上が期待できる。
色素増感太陽電池	増額金額： 52百万円（平成23年9月） 内容： 均一性のある大面積モジュールの作製を可能とする装置を導入した。 効果： 世界で初めて50cm角モジュールを実現するとともに、変換効率6.7%を達成した。
有機薄膜太陽電池	増額金額： 65百万円（平成23年9月） 内容： 均一性のある大面積モジュールの作製を可能とする装置を導入した。 効果： 20cm角モジュールで世界最高となる変換効率6.6%を達成した。

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

— 追加公募 —

世界の太陽光発電市場の急拡大に伴い、世界規模で熾烈な開発競争が繰り広げられている。世界競争に打ち勝っていくための競争力を高めるため太陽電池の更なる高効率化・低コスト化に加え、太陽電池に係る新たな部材の開発等に取り組む必要が生じた。そこで、2012年6月に13.8億円（契約予定額[平成24年度分]）の追加公募を実施し、重要課題の7件を採択した。追加公募では、特に下記の研究開発に重点を置いた。

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

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

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

—各種太陽電池 及び 共通基盤技術 の「実用化」と「事業化」の定義—

- ・「**実用化**」とは、下表の変換効率と同等以上のモジュールやセルを**少量生産**することであり、2017年の実現を目標とする。
- ・「**事業化**」とは、下表の変換効率と同等以上のモジュールやセルを**量産**することであり、2020年の実現を目標とする。

表 各種太陽電池の実用化の基準

太陽電池	2017年	
	モジュール(%)	セル(%)
結晶Si	20	25
薄膜Si	14	18
CIS系	18	25
化合物系 ^(※)	35	45
色素増感	10	15
有機系	10	12

(※)集光時の変換効率



Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

—研究開発の運営管理—

研究開発全体の管理・執行に責任と決定権をもつNEDOは、プロジェクトリーダーと密接な関係を維持しつつ、研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施した。具体的には、プロジェクト開始の平成22年度から現在に至るため継続して、年3回の進捗報告会を開催した（開催日：平成23年3月、7月、11月、平成24年2月）。

進捗報告会	主な指導内容
結晶シリコン太陽電池	（平成23年7月）研究開発に参画している大学、独法は企業が使いたくなる技術開発に注力し、常に産業界にフィードバックすることを念頭に開発に取り組むように指示した。 （平成24年2月）Rワイヤーの開発についてはウェハの切断速度は生産性に直結するので、目標の切断速度の達成に向け解決法を最優先で検討するように指示した。
薄膜シリコン太陽電池	（平成23年7月）コンソーシアムにおける大学の役割が不明確なので、企業が担当するプロジェクトへの貢献を可視化するように指示した。 （平成24年2月）薄膜シリコン材料だけでなく、変換効率に影響を与える透明導電膜の開発にも注力するよう、指示した。
CIS等化合物系太陽電池	（平成23年11月）フレキシブル太陽電池の市場規模や製品ニーズについて調査を行い、フレキシブル太陽電池の必要性を明確にするように指示した。 （平成24年2月）CIS薄膜の構造評価等が不十分なので、大学や産総研からバックアップを受けるよう、実施者（企業）へ指示した。
色素増感太陽電池	（平成22年7月）コンソーシアムの枠を超えて、相互の意見交換を活性化させ、全体として研究開発をスピードアップさせることを指示した。 （平成23年11月）製品のターゲットと事業化時期を明確にした上で、ユーザー開拓を進めるとともに、性能を上げるための原理を早急に明確化することを指示した。
有機薄膜太陽電池	（平成23年11月）光電変換材料の基本特性からセル特性を推定する評価手法を検討すること。 （平成24年2月）アモルファスに対する優位性を明確にすると共に、コスト試算と市場性の評価を進めること。
共通基盤技術	（平成23年3月）ロールツーロールプロセスを可能とする封止材一体型保護シートの展開として、結晶シリコンについても検討するよう指示した。 （平成24年3月）発電量予測技術に関して、予測技術のユーザーとして、電力事業者に加え、地域のエネルギーマネジメント業者や事業プランナー等への展開も視野に入れるよう、指示した。

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

公開

—情勢変化への対応—

○昨今の太陽光発電への期待や全量買い取り制度の施行に伴い、発電量予測に対する需要が急増している。

→平成23年度までに、結晶シリコン太陽電池モジュールの発電量を、日射量をベースに5%以内の精度で予測可能とするなどの成果が得られた。そこで、産業技術総合研究所の予算を31百万円増額し、膨大なデータ処理を必要とする気象パラメータを高速に分析する装置を導入することで発電量予測モデル構築のための研究開発を加速させた。

○世界の太陽光発電市場の急拡大に伴い、世界規模で熾烈な開発競争が繰り広げられている。

→世界の開発競争に打ち勝っていくためには、太陽電池の更なる高効率化・低コスト化に加え、太陽電池に係る新たな部材の開発等に取り組む必要が生じた。そこで、2012年6月に13.8億円（契約予定額[平成24年度分]）の追加公募を実施し、重要課題の7件を採択した。

33

事業原簿 II-3

太陽光発電システム次世代高性能技術の開発
(中間評価) 分科会
資料6-2

公開

太陽エネルギー技術開発 『太陽光発電システム次世代高性能技術の開発』 (平成22年度～平成26年度 5年間) 中間評価説明資料

議題4 プロジェクトの概要説明 (公開)
議題4-2 研究開発成果、事業の見通しについて
(セル/モジュール開発)

豊田工業大学
山口 真史 教授
太陽光発電システム次世代高性能技術の開発プロジェクトリーダー

2012 (H24)年8月23日-24日

1

Ⅲ. 研究開発成果について

I. 事業の位置付け・必要性について

II. 研究開発マネジメントについて

Ⅲ. 研究開発成果について

IV. 実用化の見通しについて

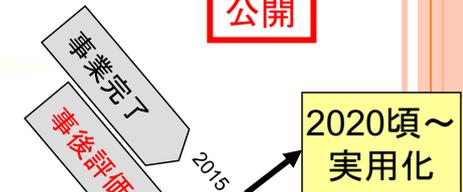
II. 研究開発マネジメントについて（補足）

《実施方針》
NEDO主催による進捗報告会（テーマ全体会議）を3回／年に開催し、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、PLが指導、推進する。

太陽光発電システム普及委員会にて、日本企業の優位性確保の方策、今後の技術開発の重点化、震災復興への貢献等を審議

H23年度末のPLの指導「中間目標で見極めがあるため、最終目標の明確化、早期中間目標達成と実用化時期を明確化のこと」

中間評価 委員	
庭野 道夫	東北大学 教授
工藤 一浩	千葉大学 教授
垣内 弘章	大阪大学 准教授
白井 肇	埼玉大学 教授
瀬川 浩司	東京大学 教授
高木 晋也	㈱NTTフシリテーズ 課長
高橋 光信	金沢大学 教授
富田 孝司	スマートソーラーインターナショナル㈱社長
廣瀬 文彦	山形大学 教授



H22 採択審査委員会	
山本 高勇	福井大学 教授
石原 好之	同志社大学 教授
勝本 信吾	東京大学 教授
工藤 一浩	千葉大学 教授
瀬川 浩司	東京大学 教授

進捗報告会		
プロジェクトリーダー	山口 真史	豊田工業大学
結晶Si系	大下 祥雄	豊田工業大学
薄膜Si系	近藤 道雄	産業技術研究所
CIS・集光系		
色素・有機系		
プロジェクトリーダー	黒川 浩助	東京工業大学
リサイクル・システム評価		
モジュール部材	両PL、共同で指導	

H24 採択審査委員会	
山本 高勇	福井大学 教授
工藤 一浩	千葉大学 教授
小野塚	
渡辺	

名称	報告会 開催数		
	2010 (H22FY)	2011 (H23FY)	2012 (H24FY)
技術分科会→進捗報告会 (各6分野それぞれで開催)	1	3	3 (予定)
成果報告会	1	1	1

太陽光発電ロードマップPV2030+策定（今後の太陽光発電の技術開発の方向性を明示）
事業原簿 II-2

太陽光発電技術委員会にてH22基本計画・実施方針について審議

未来技術開発プロジェクトの反省点

(事後評価委員会コメントを踏まえて)

ーコンセプト：結晶シリコン太陽電池ー

この分野は世界の技術開発情勢が大きく変化していることを考えると、例えば、薄型結晶シリコン系など、研究開発強化をすべきであったし、状況の変化に機動的に対応した計画の見直し等も図られるべきであった。

⇒各企業独立の技術開発ではなく、大学、国研、企業が連携して、アイデアを出し合う、オールジャパンで研究開発を推進することとした。
また、コンソーシアムリーダーのリーダーシップを期待。

未来技術開発プロジェクトの反省点

(事後評価委員会コメントを踏まえて)

ーコンセプト：薄膜シリコン太陽電池ー

バルク系より低コストで製造できなければ意味がないことから、どの程度の厳密さで成膜条件を制御する必要があるのか、また、超薄型シリコン太陽電池に比べて、コスト競争力はどの程度見込めるのか検討するべきである。

⇒薄膜製造装置開発を含めて、オールジャパンで研究開発を推進することとした。
また、コンソーシアムリーダーのリーダーシップを期待。

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて（補足）

公開

未来技術開発プロジェクトの反省点

（事後評価委員会コメントを踏まえて）

ーコンセプト：CIS等化合物系太陽電池ー

目標設定について、高効率と軽量基板の目標が発電コストにどのような貢献をするのかが不明であり、合理性を説得できていない。

また、主流のシリコン系に対して、In資源枯渇・高騰の懸念もあるCIS系を開発する位置づけについて具体性が欠ける。

⇒ソーラーフロンティアが、CIS系の大量生産に着手しており、年産10GWレベルまでは、資源問題はないとの試算もあり、当面、その様子を見ることとした。

但し、CIS系代替材料の研究開発も支援することとした（JST-CREST、NEDOプロ）。

6

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて（補足）

公開

未来技術開発プロジェクトの反省点

（事後評価委員会コメントを踏まえて）

ーコンセプト：色素増感太陽電池ー

本プロジェクトでは、変換効率向上の開発研究を展開しているが、新規色素の開発から新規パッシベーションまで、いずれも基礎的レベルであり、再現性や信頼性などの点を考えると、実用化レベルにまで高めるためには、解決すべき課題が山積している。各々の取り組みで優位性を主張するだけの際立った成果は得られておらず、本プロジェクトの成果から次の展開につながる方向性を見いだせていない。

⇒実用化のためには、高性能化と長寿命化が必須であり、そのように指導している。

また、常に、参画機関の連携を指示している。

平成24年度スタートの「有機系太陽電池事業化先導技術開発」による実用化の加速を期待している。

7

未来技術開発プロジェクトの反省点
（事後評価委員会コメントを踏まえて）

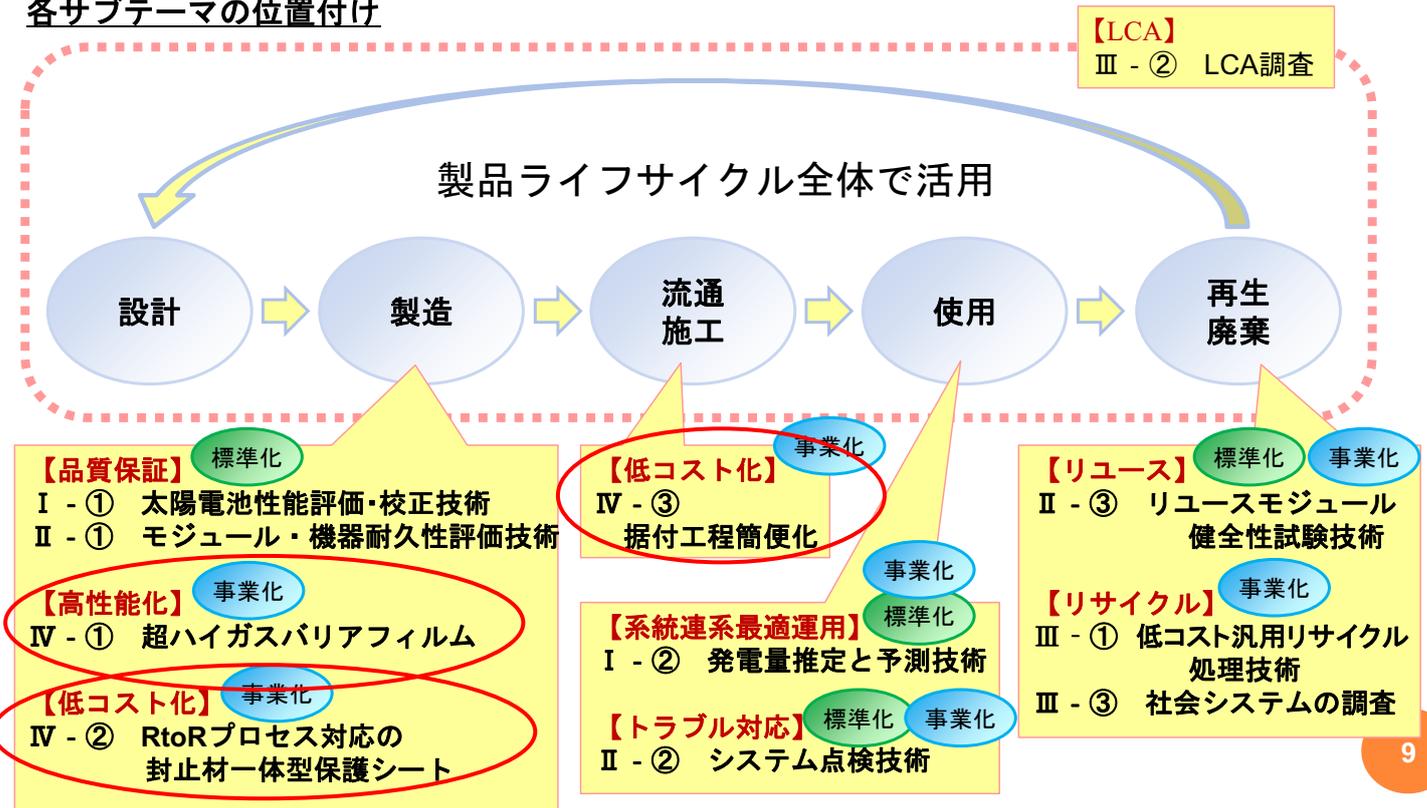
ーコンセプト：有機薄膜太陽電池ー

「本プロジェクトで得られた成果が次の展開や研究開発の方向性を明らかにできたか」という点から見ると、その成果ははなはだ疑問である。複数の研究グループの研究開発の成果が、総合された最終的な成果として活かされておらず、各研究機関の有機的／実質的な連携が進められたのか不明である。また、現状の技術水準や材料技術、研究内容から考えて、他のプロジェクトに要する研究開発費用と比べて経費がかかり過ぎである。

⇒実用化のためには、高性能化と長寿命化が必須であり、そのように指導している。
また、常に、参画機関の連携を指示している。
平成24年度スタートの「有機系太陽電池事業化先導技術開発」による実用化の加速を期待している。

ーコンセプト：共通基盤太陽電池ー

各サブテーマの位置付け



Ⅲ. 研究開発成果について

(イ) 結晶シリコン太陽電池-1 (豊田工業大学コンソ) 中間目標の達成度

公開

研究課題	目標	成果	達成度	中間目標を達成するための今後の課題
1) 低コスト原料技術	・評価技術の確立 ・原料評価	純度99%以下の国産原料を99.5%以上に精製	◎	
2) 低コスト単結晶・高品質多結晶技術	・炭素濃度 $< 5 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ ・キャリアライフタイム $> 100 \mu \text{sec}$	・炭素濃度 $< 2 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ ・キャリアライフタイム $> 200 \mu \text{sec}$	○ ○	
3) 薄型スライス技術	・ウェハ厚 $< 120 \mu \text{m}$ ・カーフロス $< 120 \mu \text{m}$	・ウェハ厚 $120 \mu \text{m}$ ・カーフロス $100 \mu \text{m}$	◎ ◎	
4) 高効率・低コスト太陽電池技術	・100 μm 太陽電池 ・セル効率 20% ・モジュール効率 18%	・プロセス確立 ・セル効率 22.1% ・モジュール効率 17.3%	○ ○ (△)	現在開発中の要素技術の統合

事業原簿 Ⅲ-2-(イ)-A-1

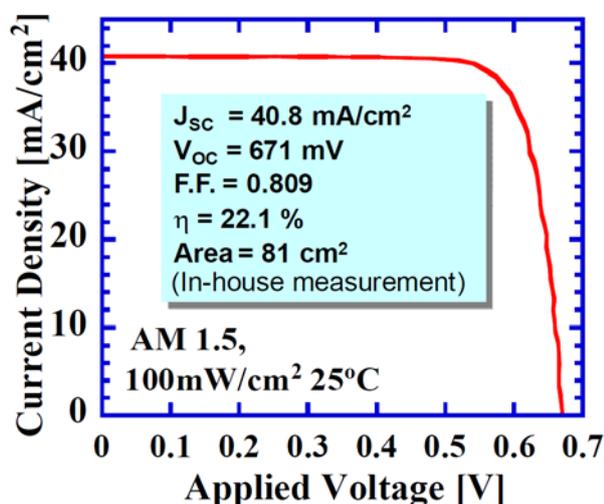
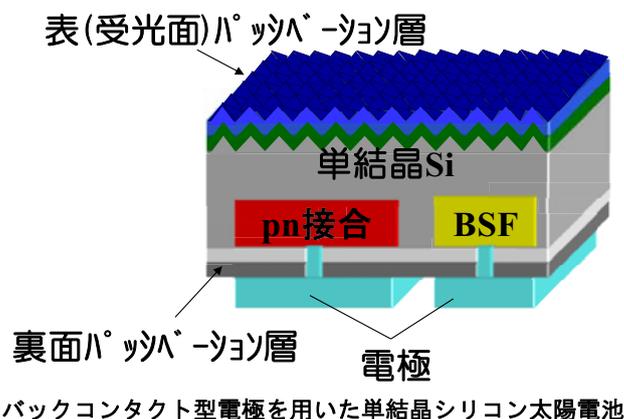
◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み(今年度中)、×未達

これまでの主な成果 (結晶シリコン太陽電池)

公開

セル変換効率22.1%*1を単結晶シリコンバックコンタクト型で達成 (豊田工業大学コンソ)

二次元デバイス・シミュレーションの結果、裏面p+・n+層間にn-層を挿入することによってBSF効果が高まり、特性が向上する可能性が得られた。これに基づいてセルを試作し、90mm角(81cm²、220 μm 厚)で変換効率22.1%を達成した。



試作したバックコンタクト型セルのIVデータ

*1 90mm角(81cm²、220 μm 厚)セルでのシャープ自社測定結果。

事業原簿 Ⅲ-2-(イ)-A-1

Ⅲ. 研究開発成果について

(イ) 結晶シリコン太陽電池-2 中間目標の達成度

公開

研究課題		目標	成果	達成度	中間目標を達成するための今後の課題
コベルコ 科研 (金沢工 大)	マルチワイ ヤーソーによ るシリコンウエ ハ切断技術の 研究開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ウエハ厚130μ m ・カーフロス<120μ m ・表面粗さ≤0.5μ m ・切断速度≥0.3mm/min 	<ul style="list-style-type: none"> ・ウエハ厚130μ m ・カーフロス<120μ m ・表面粗さ0.4~1.0μ m ・切断速度0.2mm/min 	<ul style="list-style-type: none"> ○ ○ △ △ 	<ul style="list-style-type: none"> ・切断サイクル数 の最適化 ・低粘度加工油 の最適化
新日本 ソーラー シリコン (東邦チタ ニウム)	太陽電池用ポ リシリコンのシ リコン原料転 換の研究開発	<ul style="list-style-type: none"> ・シリカ塩化の生産性 0.7トン/m²/h ・四塩化珪素の品質 純度6N ・シリコン単結晶の品質 10Ω・cm 	<ul style="list-style-type: none"> ・0.88トン/m²/h ・純度6N 	<ul style="list-style-type: none"> ◎ ○ △ 	12年8月 達成見込
太平洋セ メント (弘大、東 大)	シリコンの革 新的精製技術 の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・高純度原料の開発 B, P<1ppm ・シリカの直接還元プロ セスの開発 ・Si精製プロセスの開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・シリカ:B<0.05, P<1 カーボン:B<1, P<0.1 ・ハイブリッド加熱法の 開発 ・目標脱P率に近い96% 達成。脱B50%を確認 	<ul style="list-style-type: none"> ○ × △ 	<ul style="list-style-type: none"> ・生産量が課題 (10gオーダー)

事業原簿 III-2-(イ)-B-1
事業原簿 III-2-(イ)-C-1
事業原簿 III-2-(イ)-D-1

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み（今年度中）、×未達

12

Ⅲ. 研究開発成果について

(ロ) 薄膜シリコン太陽電池-1 (PVTECコンソ) 中間目標の達成度

公開

	目標	成果	達成度	中間目標を達成するための今後の課題
多接合薄 膜シリ コン太 陽電 池の高 効率化	・アモルファスシリコントップセルで 安定化効率 11%以上	・トライオード成膜法より、i層250nmにお いて、初期効率10.7%、安定化効率9.6%、 エッチングガラス基板によるダブルテキ スチャTCOにより、i層300nmにおいて、 初期効率11.7%、安定化効率9.6%	△	・①トライオード成膜光安定化膜 技術とダブルテキスチャTCO技術 の融合による高電流・高安定効率 化、②p/i界面バッファ層の光安 定化。
	・微結晶シリコン或いは微結晶シリ コンゲルマニウム単接合で短絡電 流32mA/cm ² 以上	・微結晶SiGeセルで、酸素添加によりJsc を5mA/cm ² 改善、厚さ3.4μ m、Ge濃度 10%セルで27.5 mA/cm ² 、新規開発ハニ カムテクスチャ型反射基板を用いたサブ ストレート型μ c-Si単接合セル(膜厚 2μ m)で、Jsc27.7mA/cm ²	△	・①ハニカムテクスチャ基板およ びダブルテキスチャTCOへの微結 晶SiGe膜適用、②表面TCO、裏面 電極、ドーピング層の寄生吸収ロ スを低減、③ハニカムテクスチャ 技術の透明樹脂やバックシート転 写等によるスーパーストレート構 造への展開
薄膜シリ コン 大面積 高生産性 製膜 技術開発	・新規なカソード電極を用い、VHFプラズ マ周波数(60MHz以上)に対応する波長λ に対して長さ1/4λ 以上、幅1/10λ 以上 の電極を用いてμ c-Si薄膜の製膜速度 1.5nm/s以上、±10%以下の膜厚均一性 を達成しうる、±10%以内のプラズマパラ メーターの均一性	・共振電極対アレイ方式を用いた可視化 装置 (2.2m×0.56m電極)で、長辺方向 に定在波が立たない事を目視確認し、H ₂ プラズマのOES計測にて、H _α 強度: ±9.85%以下、電界強度:±8.8%以下達成。 ダブルリッジ導波管方式を用いた装置は、 L方向は、位相変調時にTWCにプラズマ が局在化するため改良中。	○	・ダブルリッジ導波管方式につい ては、①位相変調時にTWCにプラ ズマが局在化しないような導波管 の改良、②高圧力下で均一なプラ ズマ生成をできるような導波管の 改良およびプロセス条件の調整、 ③均一なプラズマを生成可能なプ ロセス条件範囲の把握
	・マルチロッド電極を用いた第5世代(以下、 G5)相当サイズ(1.1m×1.4m)ガラス基板処 理可能な装置において、μ c-Si製膜にお いて±10%以下の膜厚均一性	・従来よりも高度な制御法を適用した位 相変調法により平均製膜速度2nm/sec 以上で膜厚分布±9.9%を達成(検討開始 時の膜厚分布±15%)	○	

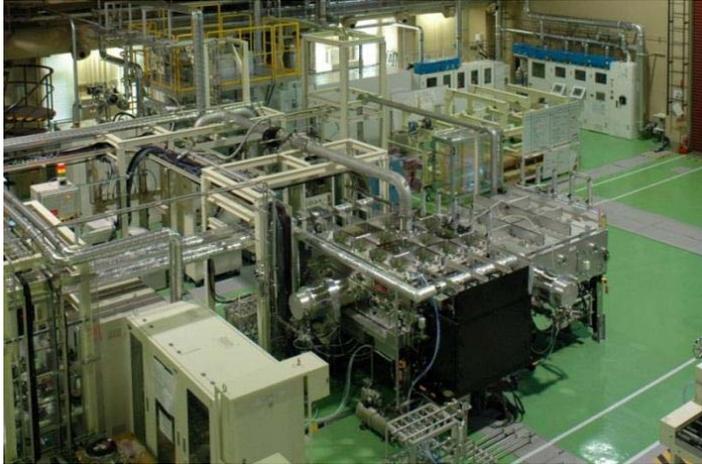
事業原簿 III-2-(ロ)-A-1
事業原簿 III-2-(ロ)-B-1

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み（今年度中）、×未達

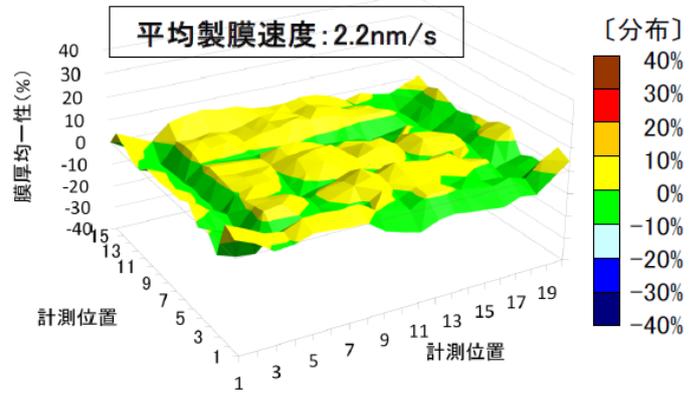
13

大面積高生産性製造装置の開発で、膜厚均一性±10%以内を達成
(太陽光発電技術研究組合コンソ)

マルチロッド電極を用いた第5世代相当サイズ(1.1m×1.4m)のガラス基板を処理できるCVDチャンバーを開発。平均製膜速度2.2nm/sで、膜厚均一性±9.9%※1を達成し、平成24年度中間目標を達成した。



第5世代サイズガラス基板を処理できる開発したCVDチャンバー



高周波数条件で試作したパネルの膜厚分布の様子

※1 膜厚の最も薄い箇所と厚い箇所との数値比較による。

事業原簿 Ⅲ-2-(口)-B-1

Ⅲ. 研究開発成果について

(口) 薄膜シリコン太陽電池-2

中間目標の達成度

研究課題	目標	成果	達成度	中間目標を達成するための今後の課題
カネカ 高度構造制御 薄膜シリコン 太陽電池の開発	<ul style="list-style-type: none"> サブモジュール(サイズ20cm×20cm)にて安定化効率15% 実機サイズモジュール(サイズ980×950mm)にて安定化後120W 	<ul style="list-style-type: none"> 透明電極の凹凸形状の制御によるミドル層、およびボトム層感度向上。2接合セルに適用し、変換効率13.2%。 新規欠陥低減処理により、3接合セルの光安定化後保持率を93%から97%に向上。 世界で初めて大面積3接合モジュール(a-Si/a-SiGe/μc-Si)を作成。 1420×1100mm: 作製 980×950mm: 115W 	<ul style="list-style-type: none"> △ ○ 	<ul style="list-style-type: none"> 透明電極凹凸形状制御技術の3接合への適用。 ミドル層の高品質化 透明電極凹凸形状制御技術ならびに新規欠陥低減処理技術の大面積化
富士電機 薄膜シリコン フィルム太陽電池の 高速製膜技術の研究	<ul style="list-style-type: none"> 結晶質Si系単接合セルの変換効率$\geq 9.5\%$(製膜速度$\geq 2.0\text{nm/s}$) 多接合太陽電池で初期効率$\geq 14\%$、安定化効率$\geq 13\%$(製膜速度、結晶質系$> 2.0\text{nm/s}$、非晶質系$> 0.67\text{nm/s}$) a)直列接続による出力低下$\leq 15\%$ b)湿潤試験での出力低下$\leq 10\%$ 	<ul style="list-style-type: none"> μc-Si:Hセルで変換効率9.5%(製膜速度2.2nm/s) 3接合太陽電池で初期効率12.6%、製膜速度はμc-Si:2.2nm/s、a-Si:0.83nm/s a)直列接続による出力低下:20% b)高温高湿通電試験での出力低下:4% 	<ul style="list-style-type: none"> ○ △ △ 	<ul style="list-style-type: none"> a-Si:Hセルの高効率化 電流マッチング 透明電極やトンネル接合層の改善 a)新型直列接続構造による損失低減

事業原簿 Ⅲ-2-(口)-C-1
事業原簿 Ⅲ-2-(口)-D-1

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み(今年度中)、×未達

Ⅲ. 研究開発成果について

(ハ) CIS等化合物系太陽電池 (CIS系)

中間目標の達成度

公開

研究課題		目標	成果	達成度	中間目標を達成するための今後の課題
昭和シェル石油 (青学大)	CIS系薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発	・30cm角程度のサブモジュールで変換効率17%	・ $V_{oc} \times J_{sc}$ 向上のためのp型CIS系光吸収層の高品質化技術、高品質接合界面形成技術、基板面内分布の改善技術、デバイス設計技術、光学設計技術の開発 ・ 中間目標を大幅に超え、最終目標まであと少しとなる17.8%を達成した。	◎	・禁制帯幅プロフィールの最適化 ・界面および粒界再結合の低減、アルカリ金属添加技術の開発
		・1cm角程度の小面積セルで変換効率22%	・禁制帯プロフィール制御、新規界面制御技術により、CdSバッファセルで18.8% (真性変換効率19.7%)、Cdフリーバッファセルで18.4% (真性変換効率19.3%)を達成した。	×	
富士フィルム、(アルバック、鹿児島大、筑波大、豊橋技科大、産総研)	フレキシブルCIGS太陽電池モジュールの高効率化研究	・フレキシブルCIGS太陽電池の高効率化 10×10cmサイズにて効率17% 30×30cmサイズにて効率16%	・10×10cmサイズで効率15.9% ・フレキシブル基板向け集積プロセスの構築完了 ・30cmライン立ちあげ完了	△	・大面積均一成膜プロセスの構築 ・ガラス基板にて実現した小セル効率19.8%、小面積サブモジュール効率17.1%の技術導入
		・フレキシブルCIGS太陽電池製造技術の構築 CIGS工程までをロールtoロールプロセス化 CIGS光吸収層の高速成膜技術の構築	・CIGS工程までロールtoロールプロセス化完了 ・高速成膜時の電流リークを解消するプロセスを構築	○	

16

事業原簿 Ⅲ-2-(ハ)-A-1
事業原簿 Ⅲ-2-(ハ)-B-1

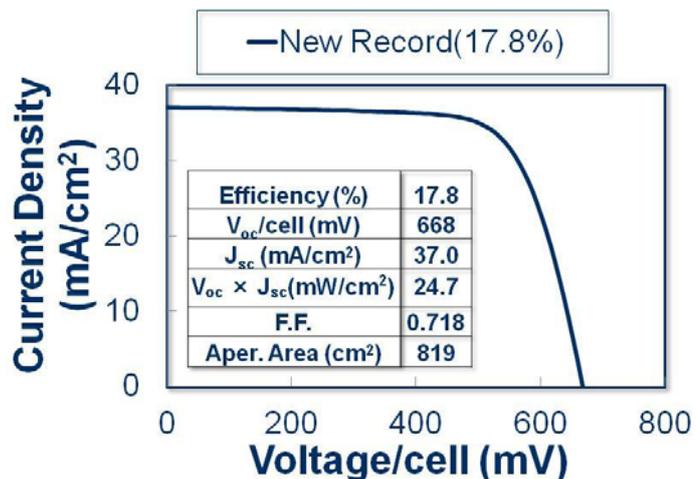
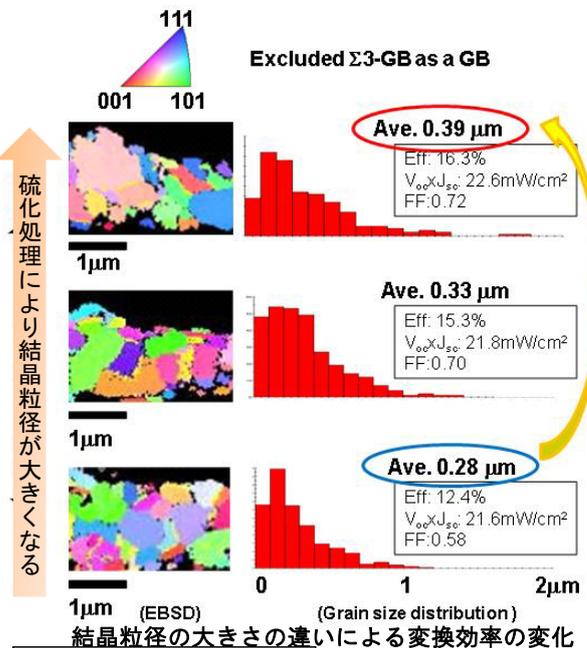
◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み (今年度中)、×未達

これまでの主な成果 (CIS等化合物系太陽電池)

公開

サブモジュール変換効率17.8%※1を光吸収層の改良により達成 (昭和シェル石油)

p型CIS系光吸収層作製プロセスである硫化処理を改良し結晶粒径を大きくすることで、キャリア収集効率を改善。また、デバイス設計を見直し、パターニングを最適化することで、30cm角サブモジュールで世界最高効率17.8% (自社測定)を達成した。



試作したサブモジュールのIVデータ

17

事業原簿 Ⅲ-2-(ハ)-A-1

※1 昭和シェル石油自社測定。サブモジュールサイズでは、CIS系太陽電池として世界最高効率。

Ⅲ. 研究開発成果について

(ハ) CIS等化合物系太陽電池 (集光型)

中間目標の達成度

公開

研究課題		目標	成果	達成度	中間目標を達成するための今後の課題
三井造船 (長岡技 科大、岡 本硝子)	反射式集 光型太陽 光発電シ ステムの 研究開発	<ul style="list-style-type: none"> 集光技術 集光倍率>500倍、 光学効率>70%、 モジュール効率>25%、 許容角>±1° 放熱技術 機構技術 実証データ取得 コスト試算 	<ul style="list-style-type: none"> 集光技術 集光倍率:640倍、光学効率:82%、 モジュール効率:27%、許容角 >±1.33° 放熱技術、機構技術の見通し 	○	<ul style="list-style-type: none"> 実証試験継続 低コスト化
			<ul style="list-style-type: none"> 実証データ未取得 設備コスト試算:4億円/MW (コスト競争力が課題) 	△ △	

18

事業原簿 Ⅲ-2-(ハ)-C-1

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み (今年度中)、×未達

Ⅲ. 研究開発成果について

(二) 色素増感太陽電池 中間目標の達成度

公開

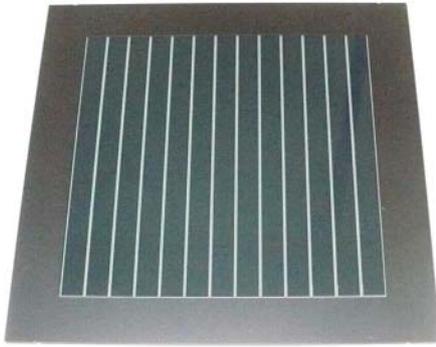
研究課題		目標	成果	達成度	中間目標を達成するための今後の課題
シャープ、九工 大 信州大、新 日鐵、住友大 阪セメント、富 士フィルム、メ ルク、産総研、 綜研化学)	ガラス基板型 色素増感太 陽電池	<ul style="list-style-type: none"> シングルセル効率11% (1cm角) モジュール効率7% (30cm角) JIS C8938試験(A-2,A- 5,B-2)後の相対効率低 下10%以下 	<ul style="list-style-type: none"> セル効率11.0%達成(1cm角 AIST測 定)、セル効率11.1%(新規色素) (1cm角 自社測定)、△ G低減可能材 料の設計指針の確立 モジュール効率9.1%(20cm角 自社測 定)、9.0%達成(15cm角 AIST測定) 7%サブモジュールで低下率10%以 内を達成(見込み) 	○ ○ △	<ul style="list-style-type: none"> 設計指針に添っ た材料開発、セル 変換効率15%の実 証 30cm角相当モ ジュールでの実証
グンゼ(山形大 桐蔭横浜大、 岐阜大、ケミク レア、積水化学 信州大)	プラスチック 基板型色素 増感太陽電 池	<ul style="list-style-type: none"> 100cm²フィルムモジュール で変換効率5% 効率的なモジュール製造 技術の開発 JIS規格C8938試験にお いて、初期効率低下10% 以内 	<ul style="list-style-type: none"> セル効率6.1%(TiO₂型)、5.3%(ZnO) モジュール効率4.0%(TiO₂)、3.1%(ZnO) プリントラミ法によるモジュール製造技 術を構築。 サーマルショック:クリア、耐光試験 500h、高温高湿試験60°C-90°Cクリア、 85°C-85%未達(高信頼度化が課題) 	× ○ ×	<ul style="list-style-type: none"> Jsc、Vocの向上 バリア性の向上 高耐久電解液の 開発
フジクラ(東理 大)	高効率・高耐 久性色素増 感太陽電池 モジュールの 研究開発	<ul style="list-style-type: none"> セル効率11%(1cm角) モジュール効率7% (30cm角) JIS C8938試験後の相 対効率率低下10%以下 	<ul style="list-style-type: none"> 5 mm角セル(自己測定): 11.8%、1 cm 角セル(AIST測定): 10.5% 25cm角のモジュールにてアパー チャー効率7.4% 効率7.2%の25cm角のモジュールで、耐 湿性試験(85°C、85%RH、1000時間)での 性能低下3%達成。 	△ ○ ○	<ul style="list-style-type: none"> AIST測定を実施 予定 50 cm角を検討中。 現状η (ap) = 6.7%。 現行各試験での 性能低下抑制ほぼ 終了。複合条件、 長期の試験の実施。

事業原簿 Ⅲ-2-(二)-A-1
事業原簿 Ⅲ-2-(二)-B-1
事業原簿 Ⅲ-2-(二)-C-1

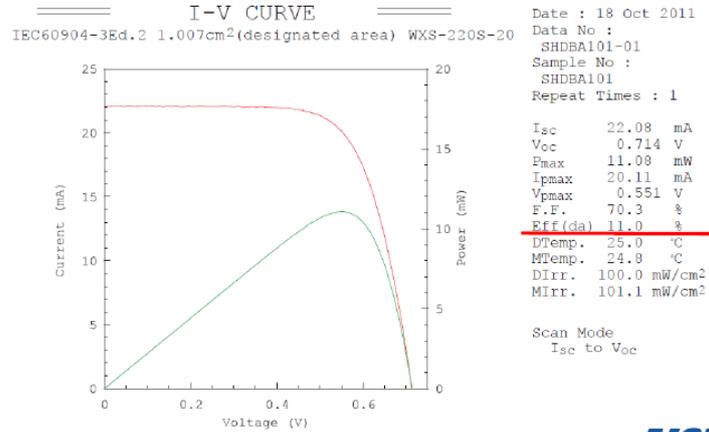
◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み (今年度中)、×未達

セル変換効率11.0%※1（世界最高効率）を成膜方法の改良と基板低抵抗化技術で達成（シャープコンソ）

多孔性絶縁層材料と導電層材料の均一成膜技術を開発するとともに、色素離脱防止技術・イオン拡散抵抗抑制技術を開発することで、1cm角セルで変換効率11.0%を達成。さらに、高密度集積化技術を開発することで、10cm角サブモジュールで変換効率9.2%※2を達成した。



開発した10cm角サブモジュール



試作した1cm角セルのIV測定結果



事業原簿 Ⅲ-2-(二)-A-1

※1 1cm角セルでのAIST測定。1cm角以上のサイズでは、色素増感太陽電池として世界最高効率。
※2 AIST測定。

Ⅲ. 研究開発成果について

(ホ) 有機薄膜太陽電池 中間目標の達成度

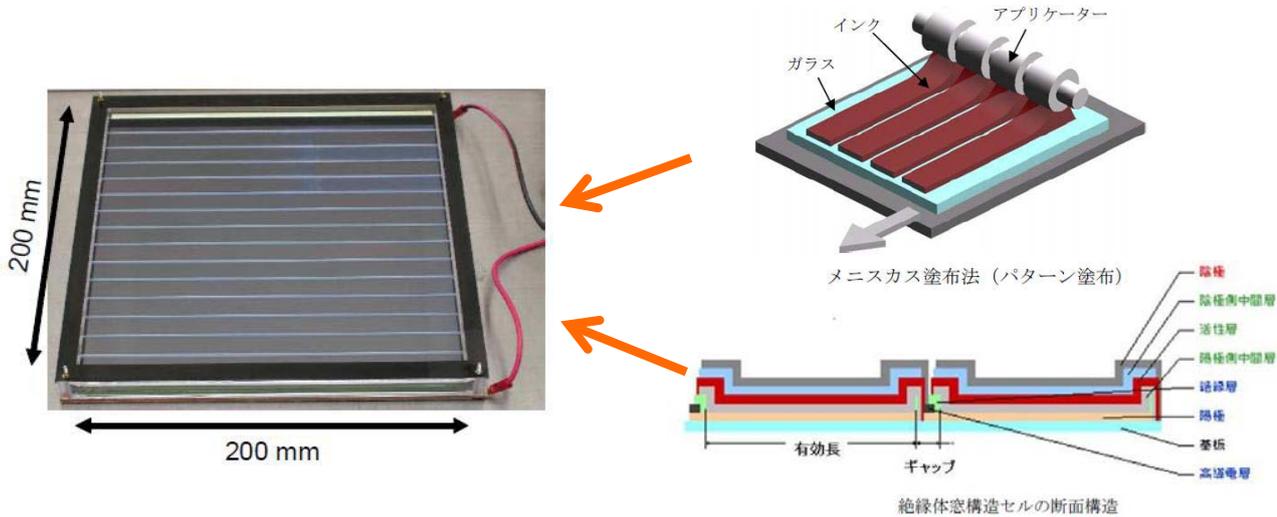
研究課題	目標	成果	達成度	中間目標を達成するための今後の課題
東芝(住友化学、出光興産、京大) 汎用型有機薄膜太陽電池	<ul style="list-style-type: none"> セル効率>8%(1cm角) モジュール効率>6%(30cm角) JIS規格C8938の環境試験耐久性試験において相対効率低下10%以内 	<ul style="list-style-type: none"> 9.05%(1cm角) 6.6%(20cm角) 温度サイクル・温湿度サイクル試験は低下8.5%及び5.5%で達成。他は低下19~30%で未達。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ △ △ 	<ul style="list-style-type: none"> 今年度中に30cm角の試作に着手する予定。 ①封止技術の改善、②耐熱材料の導入、③プロセス雰囲気制御に取り組み、24年度内に目標達成を目指す。
パナソニック(早大、東大、三菱製紙) 光電荷分離ゲルによる屋内用有機太陽電池の研究開発	<ul style="list-style-type: none"> 変換効率向上:可視光下で20%(12μW/cm²)の実現 耐久性向上:加速試験での相対効率低下10%以内 低コスト化:①透明導電膜基板(80%T10Ω/□)、②多孔質集電電極(空隙率80%以上) 蓄電機能付与:1.26mWhの蓄電機能実現 	<ul style="list-style-type: none"> 変換効率10.5%(6.1μW/cm²)実現 高Voc相対効率低下10%以内実現、電解液保持率95%@500hrの実現 ①40%T10Ω/□実現、②89%空隙率実現。孔径分布と素子特性との相関把握。 ラジカルポリマーで1.32mWh実現、急速放電(100mA)に優れた蓄電機能確認 	<ul style="list-style-type: none"> △ △ △ ○ 	<ul style="list-style-type: none"> 色素光学損失排除、高分子ゲル構造制御 電解液組成、色素固定官能基改良評価中 ①SiO₂配列技術確立、②孔径分布制御 (・デモ品にて機能検証)

事業原簿 Ⅲ-2-(ホ)-A-1
事業原簿 Ⅲ-2-(ホ)-B-1

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み（今年度中）、×未達

サブモジュール変換効率6.2%※1（世界最高効率）を有機半導体材料と成膜技術の開発で達成（東芝・住化・出光コンソ）

長波長吸収に優れた縮環構造を有するドナー・アクセプター型有機半導体ポリマーを開発するとともに、ナノ層分離構造の最適化・電荷輸送層の改善を図り、1cm角セルで変換効率8.03%※2を達成。さらに、メニスカス塗布、開口率を大きくする絶縁体窓構造セルの設計をはじめとする高密度集積化技術を開発することで、20cm角サブモジュールで変換効率6.2%を達成した。



事業原簿 Ⅲ-2-(ホ)-A-1

※1 東芝自社測定。サブモジュールサイズでは、有機薄膜太陽電池として世界最高効率。
 ※2 東芝自社測定。

Ⅲ. 研究開発成果について

(ハ) 共通基盤技術-モジュール部材 中間目標の達成度

研究課題	目標	成果	達成度	中間目標を達成するための今後の課題
積水化学 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	<ul style="list-style-type: none"> 高速封止材 保護層 封止材／保護層一体化 ロール封止技術 リジッドPVへ展開 	<ul style="list-style-type: none"> タクトタイム削減に成功 高バリア(≤10⁻²g/m²/day)保護層達成 封止材／保護層一体化 世界初となるロール封止に成功(市場検証が課題) 封止速度高速化は20倍を達成 長期信頼性1000時間合格。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ ○ ○ ○ ○ 	<ul style="list-style-type: none"> 長期信頼性継続確認 実用化へ向けたロール封止機構確立
三菱樹脂 超ハイガスバリア太陽電池部材の研究開発	<ul style="list-style-type: none"> Cat-CVD複合膜による超ハイガスバリアフィルム 耐候性バックシート、フロントシート 耐熱性耐候性基材 	<ul style="list-style-type: none"> 積層構造検討により現時点で水蒸気透過度10⁻⁵g/m²/day台を達成 選定耐候性基材とバリア材の組合せによって長期信頼性の高いバックシート構成とすることが可能。 中間目標線膨張係数<20ppm/°C(～200°C)、熱収縮率<0.1%(200°C)を達成 	<ul style="list-style-type: none"> △ ○ ○ 	<ul style="list-style-type: none"> 低コスト化、量産化 長期信頼性確保 市場検証
デュポン 据付工程簡便化に関する研究開発	<ul style="list-style-type: none"> 部品点数削減>50%、据付作業に必要な人員・時間の低減>20% 耐久性10～20年相当 軽量化 モジュールの耐久性高温高湿試験(85°Cx85%RH、1000時間)後に出力低下5%以下 	<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 IEC61730準拠の火炎伝播試験クラスCに合格。高温高湿試験3000hで91%の引張強度を維持することを確認 従来構造比約50%の軽量化を達成。 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) 	<ul style="list-style-type: none"> ◎ ○ ○ ○ 	<ul style="list-style-type: none"> 長期信頼性確保 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

事業原簿 Ⅲ-2-(ハ)-A-1
 事業原簿 Ⅲ-2-(ハ)-B-1
 事業原簿 Ⅲ-2-(ハ)-C-1

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み（今年度中）、×未達

ボルトレス・ナットレス



PVモジュールをファスナーのように取り付け可能なゴム・樹脂フレーム

樹脂ならではの自由な形状を利用し、フレームを屋根にはめ込む樹脂据付部材

軽量・フレームレス



アイオノマー樹脂封止材



軽量化・フレームレスモジュール

アイオノマー樹脂封止材によりフレームレス化・軽量化されたPVモジュール

Ⅲ. 研究開発成果について

研究開発成果のまとめ

(数値目標に対して)

- (1) 結晶シリコン太陽電池
- (2) 薄膜シリコン太陽電池
- (3) C I S 等化合物系太陽電池
- (4) 色素増感太陽電池
- (5) 有機薄膜太陽電池
- (6) 共通基盤一モジュール部材

	コスト低減	高効率化
(1) 結晶シリコン太陽電池	△	○
(2) 薄膜シリコン太陽電池	○	△
(3) C I S 等化合物系太陽電池	○	◎
(4) 色素増感太陽電池	△	△
(5) 有機薄膜太陽電池	△	△
(6) 共通基盤一モジュール部材	適用性 △	性能、機能 ○

色素、有機系の電力コスト低減のためには、長寿命化が必須

(H24年度末見込み)
◎：大幅達成 ○：達成
△：達成見込み（今年度中）
×：未達

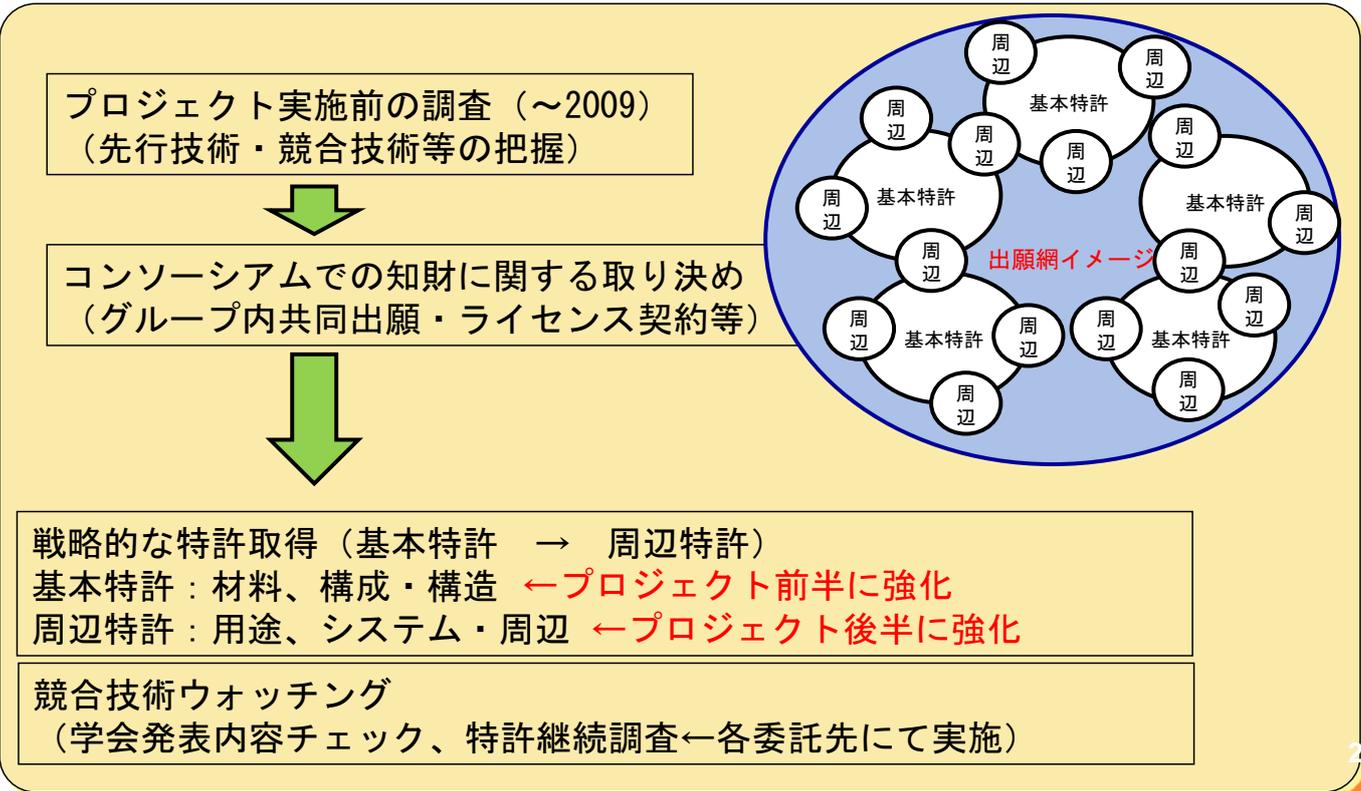
◆積極的な特許出願や学会発表等の実施（実施者）

（2012年6月末時点）

テーマ	特許出願		論文 (査読付)	研究発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	受賞実績	展示会への出展
	国内	外国					
結晶シリコン太陽電池	31	0	54	236	3	7	9
薄膜シリコン太陽電池	15	4	34	160	4	5	7
C I S等化合物系太陽電池	8	0	26	102	6	5	0
色素増感太陽電池	52	3	45	173	13	10	18
有機薄膜太陽電池	57	20	70	243	12	9	6
共通基盤技術（共通部材のみ）	65	12	0	5	1	0	3
計	228	39	229	919	39	36	43

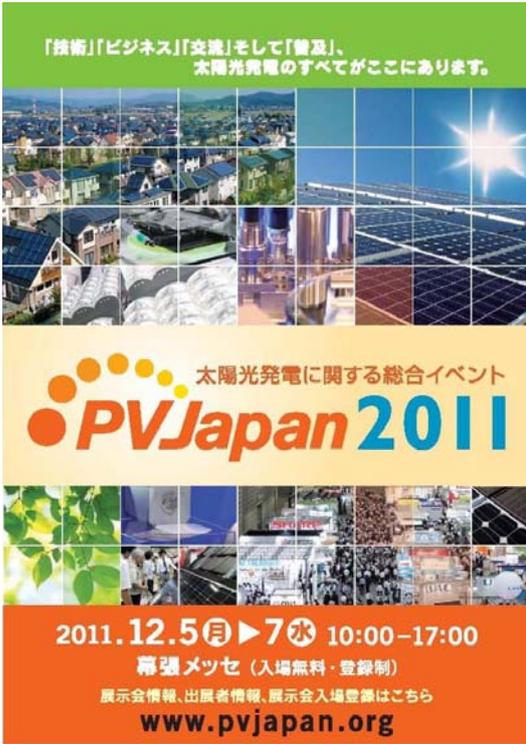
◆公表チャンネルを利用した事業の広報（推進者NEDO）

- ・ NEDOホームページ
- ・ 事業紹介パンフレット
- ・ 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



各種主要な展示会への積極的な参加

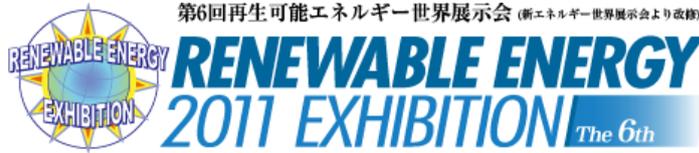
「技術」「ビジネス」「交流」そして「普及」、
太陽光発電のすべてがここにあります。



太陽光発電に関する総合イベント
PVJapan 2011

2011.12.5日▶7日 10:00-17:00
幕張メッセ (入場無料・登録制)
展示会情報、出展者情報、展示会入場登録はこちら
www.pvjapan.org

日本国内最大級の各種展示会 “PVJapan ” , ” PV EXPO” , “RE2011” に積極的に出展。パネル展示以外にも、プロジェクト参加の研究者が講演者として選抜され、研究内容を積極的に発信。



数々の受賞： (例) PVSEC AWARD、PVSEC SPECIAL AWARD
(ヒルトンシーホーク、福岡、2011年11月28日)

The 21st Photovoltaic Science and Engineering Conference
The PVSEC AWARD RECIPIENT



Dr. Makoto TANAKA
SANYO Electric Co., Ltd

- Outstanding research achievements on HIT solar cell.
- World Record: Voc > 740 mV and conversion efficiency > 23 %.
- Brought up his team and reputable and worldwide-known unique technology.

結晶Si分野

The 21st Photovoltaic Science and Engineering Conference
The PVSEC SPECIAL AWARD RECIPIENTS



Mr. Jun ARAI
Showa Shell Sekiyu K.K.

Mr. Shigeaki KAMEDA
Solar Frontier K.K.

Dr. Katsumi KUSHIYA

- Outstanding effort for realizing World-leading Industry by CIGS solar cell.
- High efficiency and low-cost CIGS production line.
- 1 GW annum CIGS production plant in Miyazaki.
- Global business promotion at a speed and scale as the energy enterprise toward EU, Middle East, India, US, etc.

CIS分野

The 21st Photovoltaic Science and Engineering Conference
The PVSEC SPECIAL AWARD RECIPIENT



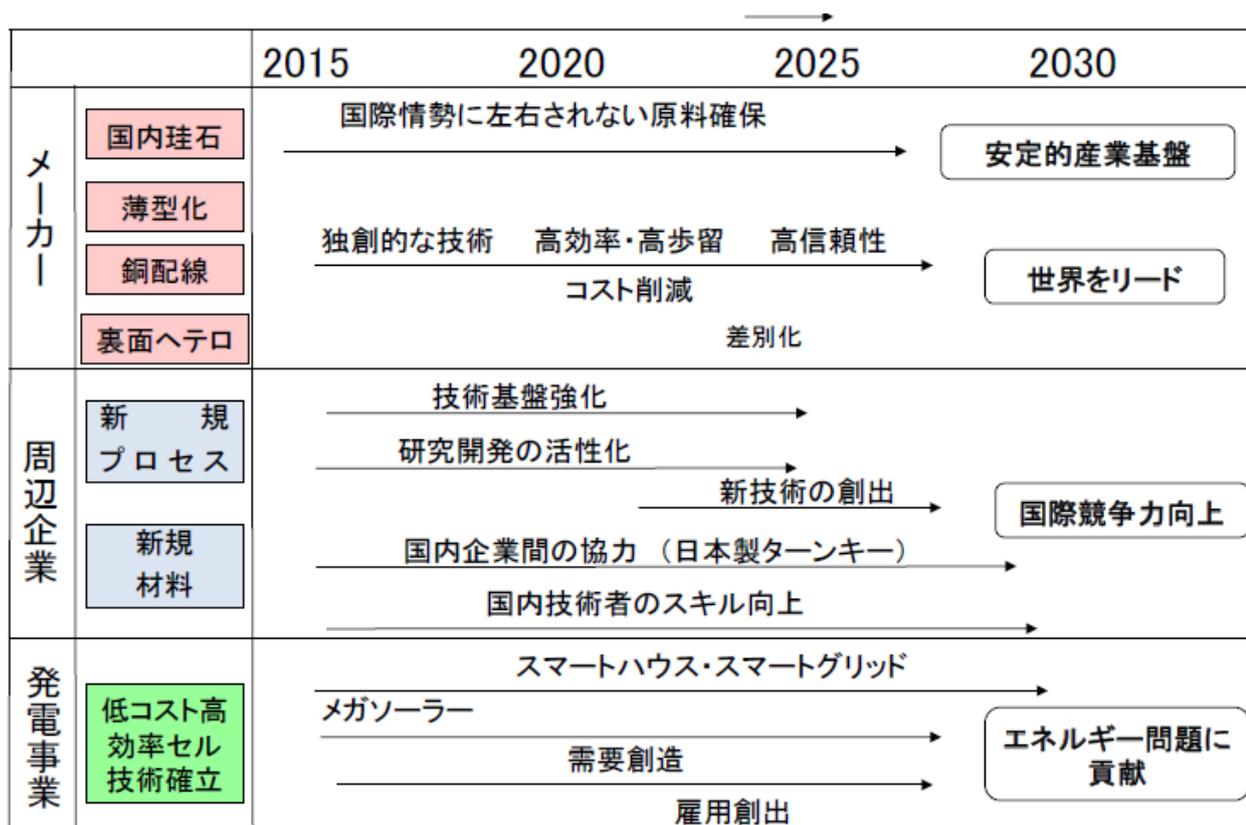
Dr. Yoshihisa TAWADA
Kaneka Corporation

- Outstanding contribution on industrial evolution by the technology of Amorphous Si on Poly-silicon Tandem Modules with 12 % efficiency.
- Early work on a-SiC/a-Si hetero-junction solar cell.
- New entry from a different field of industry to Solar PV business

薄膜Si分野

Ⅲ. 研究開発成果について
 ー波及効果ー（結晶シリコン分野）

公開



30

Ⅲ. 研究開発成果について
 ー成果の最終目標の達成可能性ー 1 ー

公開

テーマ	最終目標(平成26年度末)	達成見通し
結晶シリコン太陽電池	<ul style="list-style-type: none"> ・低コスト原料技術 ・低コスト単結晶・高品質多結晶技術 ・薄型スライス技術 ・セル効率25%、モジュール効率20% 	<ul style="list-style-type: none"> ・目標達成済み、更なる低コスト化に注力 ・小型結晶で達成済み、大型結晶での達成 ・一部達成済み、更なる薄型化と高品質化 ・各先端材料・プロセスの統合
薄膜太陽電池	<ul style="list-style-type: none"> ・アモルファスシリコントップセルで安定化効率12%以上 ・微結晶シリコン或いは微結晶シリコンゲルマニウム単接合で短絡電流35mA/cm²以上 ・新規カソード電極を用い、VHFプラズマ周波数(60MHz以上)に対応する波長λに対して、第8.5世代(G8.5)サイズ(2.2m×2.5m)の長さに対応可能となる長さ1/2λ以上、幅1/4λ以上の電極を用いてμc-Si薄膜の製膜速度2nm/s以上、±10%以下の膜厚均一性 ・サブモジュール(20cm角)で安定化効率17% ・実用化サイズモジュール(142cm×110cm)で安定化後200W ・多接合太陽電池サブモジュール安定化効率≥12%、製膜速度:結晶質系>2.0nm/s、非晶質系>0.67nm/s、面積≥100cm² 	<ul style="list-style-type: none"> ・世界トップの光劣化を抑制する製膜技術を有することより、その原理追求と合金系への展開や、光マネジメント技術の更なる向上により、目標達成が可能。 ・エッチングガラス基板を用いたダブルテクスチャTCO基板といった革新的技術やハニカムテクスチャといった世界最高レベルの光閉じ込め基板を有することより、更なる寄生吸収ロスの低減や微結晶シリコンゲルマニウムの膜質向上により目標達成が可能。 ・微結晶シリコン膜の高速製膜と高デバイス性能の実証を優先的に実施することにより、本方式の実用性を実証。 ※ 処理面積速度を向上するという観点より、大面積化ではない他の方法による可能性も検討する。 ・3段タンデムをベースに、本成果を適用する事で、安定化後効率16%は達成可能。 ・事業競争力の向上のため、今後は実用化モジュールに注力。安定化後200W(13.6%)の達成見込み。 ・μc-Siセル効率改善、直列接続構造損失低減により、多接合セルで安定化効率13%の達成見込み。

31

Ⅲ. 研究開発成果について
 - 成果の最終目標の達成可能性 - 2 -

公開

テーマ	最終目標(平成26年度末)	達成見通し
CIS等化合物太陽電池	<ul style="list-style-type: none"> ・30cm角サブモジュール変換効率18% ・1cm角の小面積セルで変換効率25% ・30×30cmのサブモジュールで、効率18% ・事業化に必要な製造タクト、歩留まりを有するロールtoロールプロセスの実現 ・CPV発電コスト<22円/kWh ・平均発電効率25%の安定稼働 	<ul style="list-style-type: none"> ・既に17.8%を達成しており、デバイス設計を見直すことで、18%超の目標は、確実に達成可能である。 ・達成は極めて困難であり、現実的目標22%としたい。 ・ワイドギャップCIGS太陽電池の高効率化技術を導入することで目標達成を見込む。 ・最も難易度が高いCIGS光吸収層については要素検討が完了。前半プロセスまでの製造タクト短縮技術は目標達成見込み。 ・設備コスト3億円/MWの達成の見通し。米国サンベルト地帯で、最終目標達成可能。 ・不具合を潰し、米国での実証試験で、最終目標を達成可能
色素増感太陽電池	<ul style="list-style-type: none"> ・シングルセル効率15% (1cm角) ・モジュール効率10% (30cm角) ・JIS C8938試験(A-2,A-5,B-2)後の相対効率低下10%以下 	<ul style="list-style-type: none"> ・数値目標: J_{sc} 22mA, V_{oc} 0.98V, FF 0.70, $\eta = 15\%$ ・バルキールテニウム(又は鉛体長波長化バルキー有機色素) + コバルト鉛体レドックス対 + 高結晶酸化チタン ・モジュール効率9%を達成しているため、ユニットセル効率を約1%向上させることにより、目標達成可能。 ・大面積モジュールとして50 cm角を検討。 ・劣化メカニズム等の解明、高効率・高耐久性色素材料開発により、劣化防止対策の見通しをつけることは可能。 今後、複合条件やより長期の試験も検討。

32

Ⅲ. 研究開発成果について
 - 成果の最終目標の達成可能性 - 3 -

公開

テーマ	最終目標(平成26年度末)	達成見通し
有機薄膜太陽電池	<ul style="list-style-type: none"> ・セル効率12%以上(1cm角) ・モジュール効率10%以上(30cm角) ・JIS規格C8938環境試験、耐久性試験において相対効率低下10%以内 ・屋内有機太陽電池性能向上 ・耐久性向上 ・低コスト化 	<ul style="list-style-type: none"> ・V_{oc}, J_{sc}, FF向上と、タンデム開発で達成する。 ・セル12%の高効率材料と開口率極大化、最適素子設計、光マネジメントにより、10%達成。 ・封止技術、デバイス構造、耐光性、耐熱性の方策と基礎的劣化解析により、相対効率低下10%以内を達成。 ・屋内有機太陽電池 <ul style="list-style-type: none"> ・色素光学損失排除、高分子ゲルイータ構造制御 ・電解液組成、色素固定官能基改良評価中 ・①SiO₂配列技術確立、②孔径分布制御
共通基盤技術 (モジュール部材)	<ul style="list-style-type: none"> ・RtoRプロセス対応の封止材一体型保護シート保護層の量産、接着信頼性確認、ロール封止 ・超ハイガスバリアフィルム ・Cat-CVD複合膜による超ハイガスバリアフィルム、耐熱性耐候性基材、の基本構成確立 ・据付工程簡便化 ・モジュール取り付け工程(20%削減)簡便化、開発据付部品、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の達成 	<ul style="list-style-type: none"> ・高バリア性保護層の安定生産、接着信頼性の長期耐久試験合格、ロール封止高速化の達成、を目指す。 ・大型量産機導入への新規性膜ユニット導入、高耐候性シートに応用により、目標性能達成見込み。RtoRプロセスでの量産化条件最適化により達成見込み。 ・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を通しての最適化で、目標達成が可能。10年以上の屋外使用実績のある樹脂の分析、加速劣化試験と屋外耐用年数の相関を取ることで、目標達成が可能。

33

IV. 実用化の見通しについて

I. 事業の位置付け・必要性について

II. 研究開発マネジメントについて

III. 研究開発成果について

IV. 実用化の見通しについて

34

IV. 実用化の見通しについて —実用化の可能性—

(1) 結晶シリコン太陽電池

- ・高効率・低コスト・高信頼性太陽電池による差別化が可能(世界技術ロードマップに対する前倒しによる製造コストの半減、創造的技術による高性能化(25%))
- ・逐次実用化(各社既存品の高度化、ならびに次世代製品へのフィードバック)
- ・2030年 >3兆円産業への貢献

(2) 薄膜シリコン太陽電池

- ・逐次実用化(各社既存品の高度化、ならびに次世代製品へのフィードバック)
- ・大型薄膜堆積装置の実用化
- ・他の薄膜系太陽電池、オプトエレクトロニクス、ディスプレイ分野等への適用可能。
- ・フレキシブル薄膜太陽電池の実用化(300MWの市場、2015年)

(3) CIS 等化合物系太陽電池

- ・本成果の量産技術開発後、逐次実用化
- ・フレキシブル薄膜太陽電池の実用化(300MWの市場、2015年)
- ・2015年度から、定格32kWのCPV機を月産12台の事業を開始予定(米国市場が主)

(4) 色素増感太陽電池

- ・色素増感太陽電池の実用化には、長期安定性の実証が不可欠で、時間を要する。
- ・有機エレクトロニクス分野への波及効果
- ・フィルム型を屋内用途としての量産化検討を進める(2015年～、100億円市場)

(5) 有機薄膜太陽電池

- ・電子機器組込型、屋内設置型、屋外設置型を含め、2014年度から、製品化検討を開始し、2016年度からの事業展開を目指す。
- ・有機エレクトロニクス分野への波及効果

(6) 共通基盤 —モジュール部材

- ・RtoRプロセス対応の封止材一体型保護シートは、2015年頃より、a-Si、CIGSへ適用
- ・超ハイバリアシートは、2015年度、100億円販売を目指す。薄膜Si、CIGS系への貢献
- ・モジュールメーカー、システムインテグレーターと連携して、簡便据付システムを製品化する。

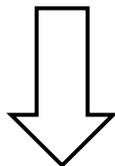
プラットフォームを通じた開発機関の協力に基づく先進技術の統合

高効率・低コスト・高信頼性太陽電池の実現

製品目標コスト 54円/W

原料コスト:1/2、基板厚:100μ m、変換効率:25%

各社既存品の高度化、ならびに次世代製品へのフィードバック

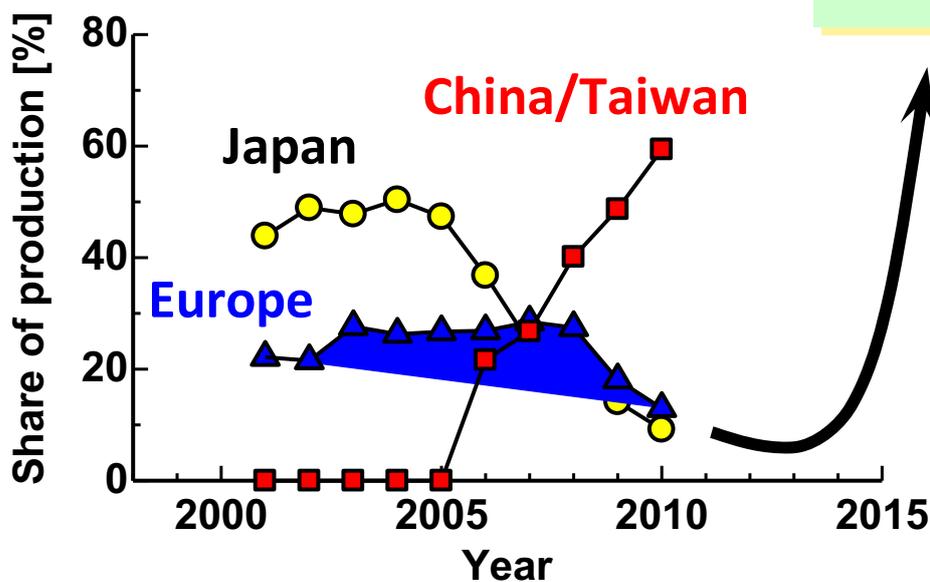


<NEDOのミッション>

- ・ 産業技術の国際競争力強化
- ・ エネルギー・地球環境問題の解決

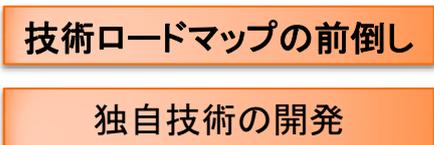
1. 高効率・低コスト・高信頼性太陽電池による差別化
2. 2030年 >3兆円産業への貢献
3. 開発技術の既存品製造ラインへの投入、ならびに次世代製品製造技術の立ち上げ ⇒ 速やかな波及効果
4. 世界技術ロードマップに対する前倒しによる製造コストの半減、および創制的技術による高性能化(25%) ⇒ 国際競争力向上

太陽電池産業のV字回復への貢献



奪われたシェアの
奪還・V字回復

- 低コスト化 65円/Wp
- 高効率化 25%
- 高信頼性 30年
- ⋮
- ⋮

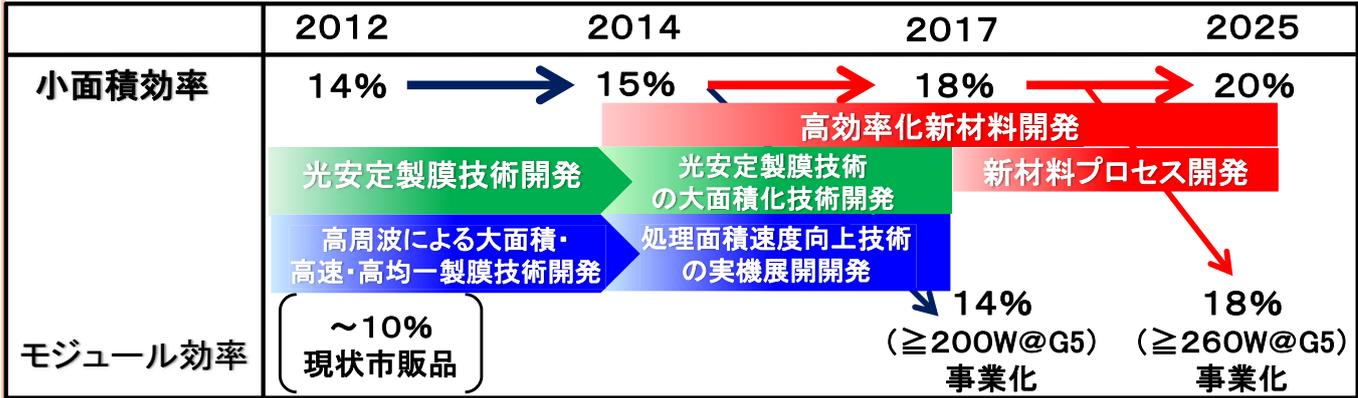


順次実用化

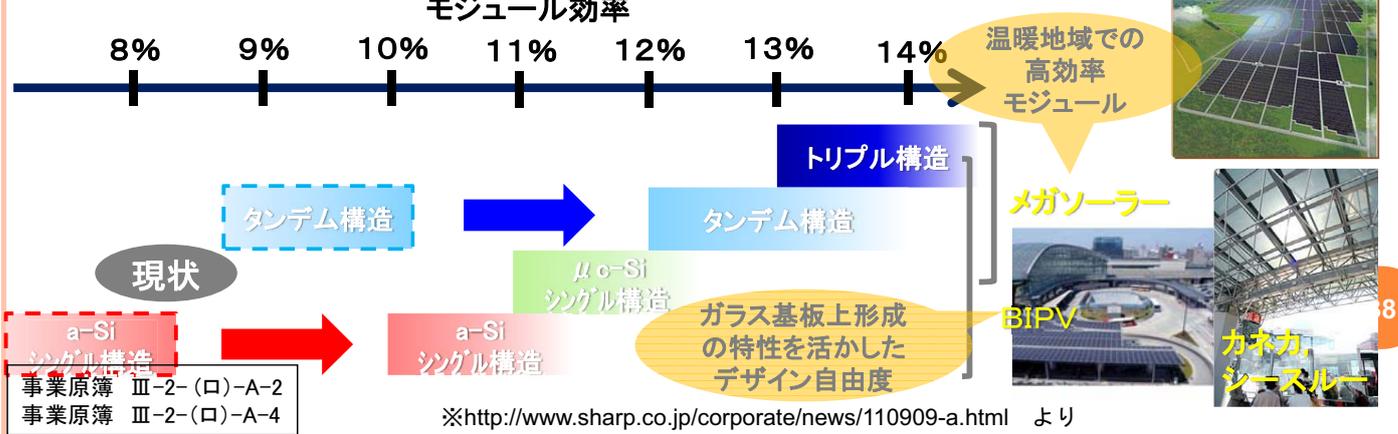
IV. 実用化の見通しについて
 - 薄膜シリコン太陽電池の例に -

公開

■ 技術ロードマップ(PV2030+)に基づく事業化までのシナリオ

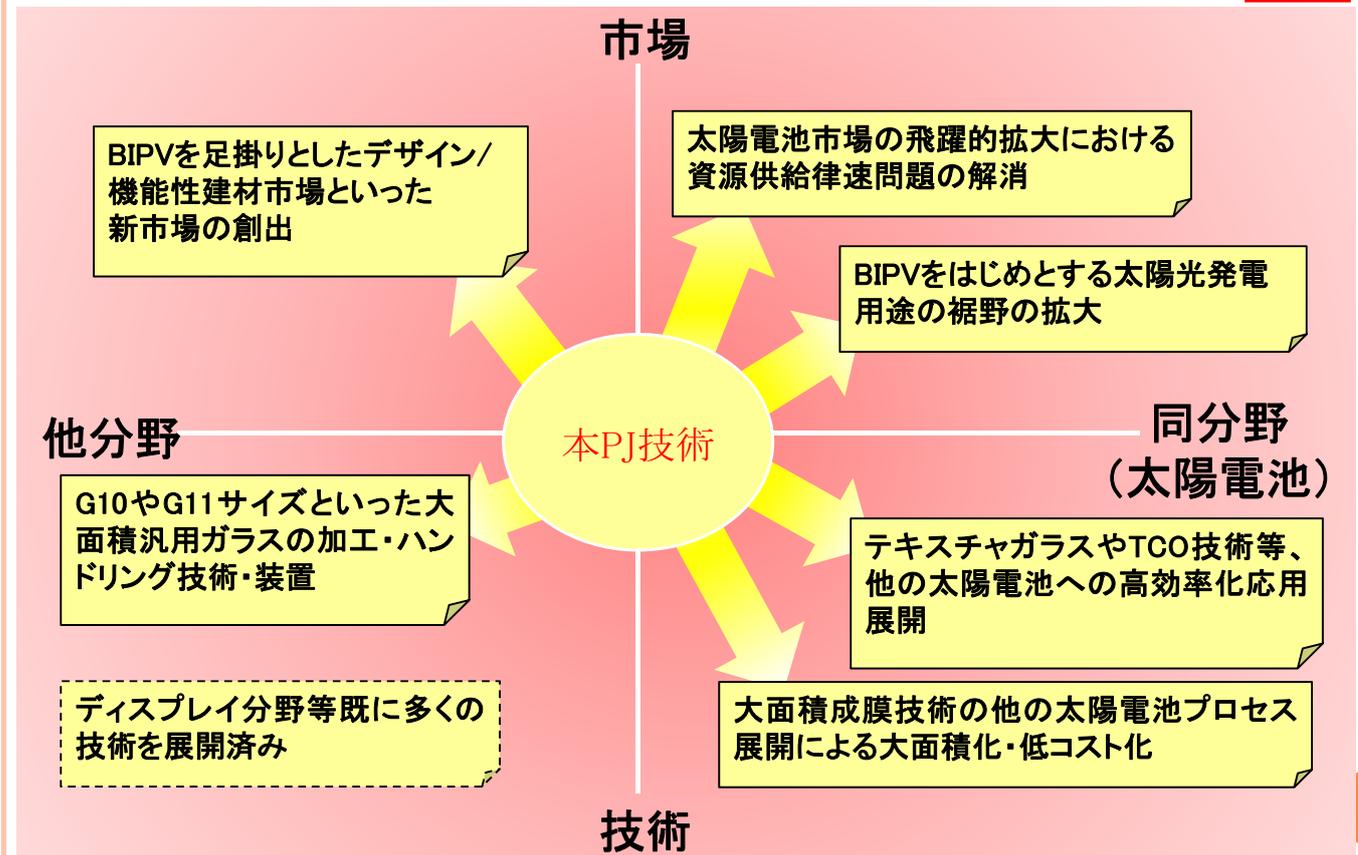


■ 事業化イメージ(2017)



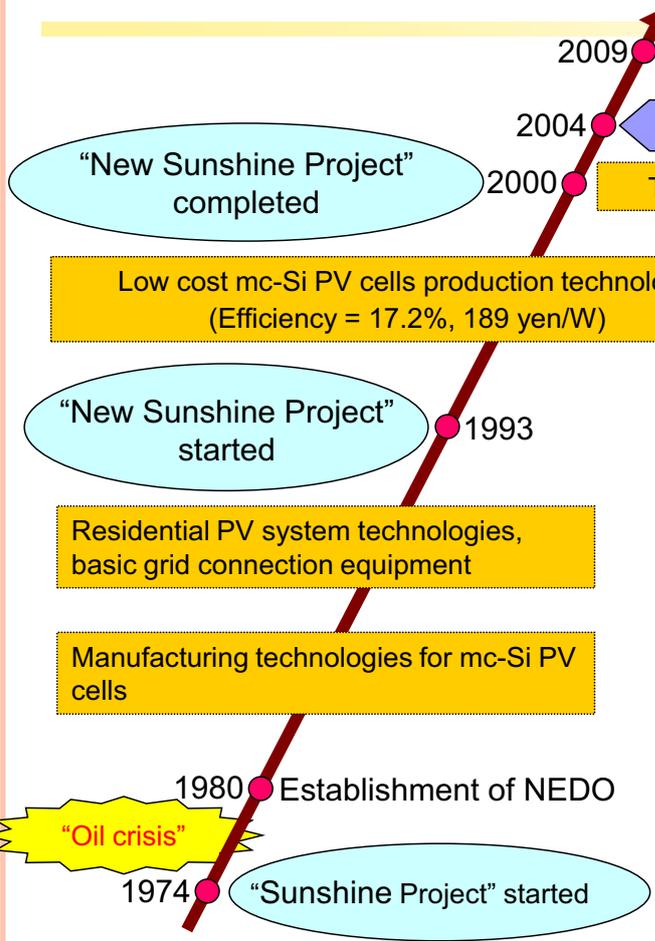
IV. 実用化の見通しについて 波及効果：薄膜シリコン太陽電池の例

公開



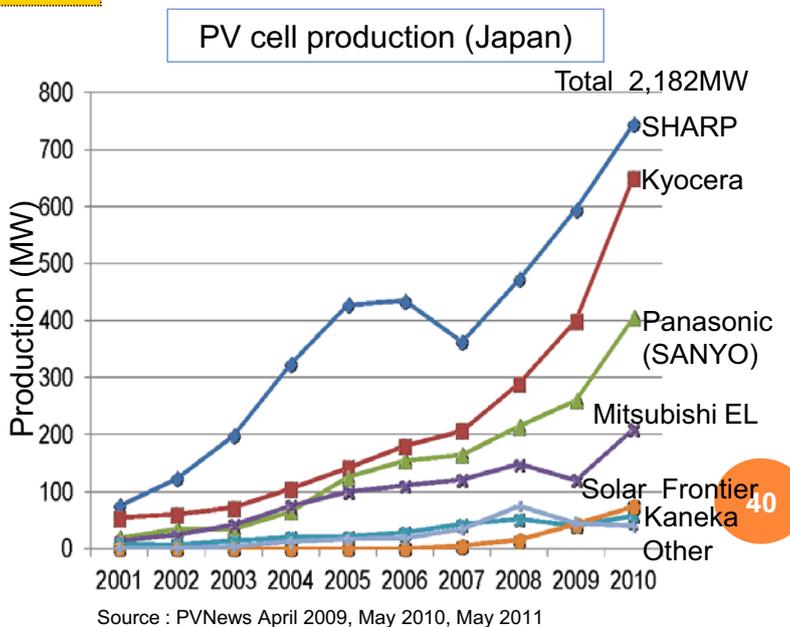
Progress of PV R&D in Japan

公開



2009 Roadmap "PV2030+"
 2004 Roadmap "PV2030"

Thin-film Si PV cells (140 yen/W), CIS PV cells

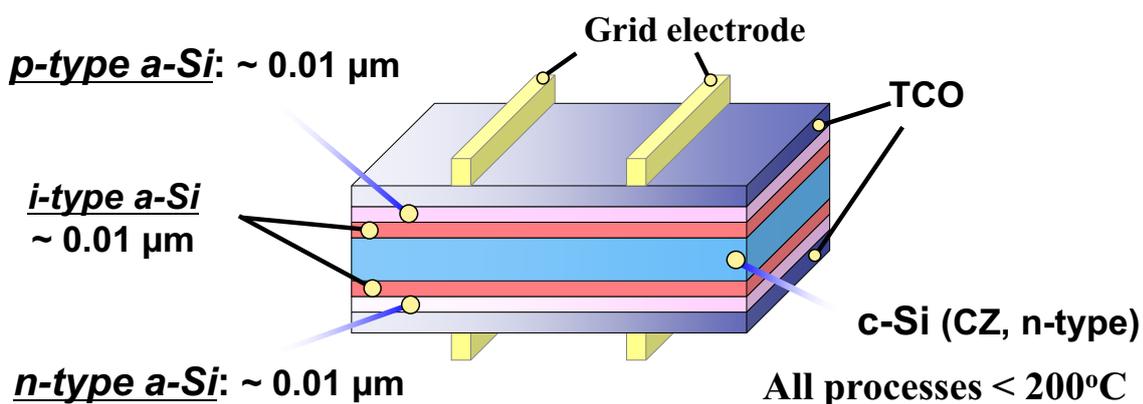


Structure of a HIT solar cell



公開

HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin-Layer)



Features

- High conversion efficiency** (R&D: 23%, Products: 20.2%)
- Excellent temperature coefficient**
(Good power-generating performance in summer)
- Suitable for thinner c-Si wafer**
(One of the solutions for the Si shortage problem)



Recent Success of R&D in Japan

February 2011

World's Largest CIS PV Production Capacity Realized

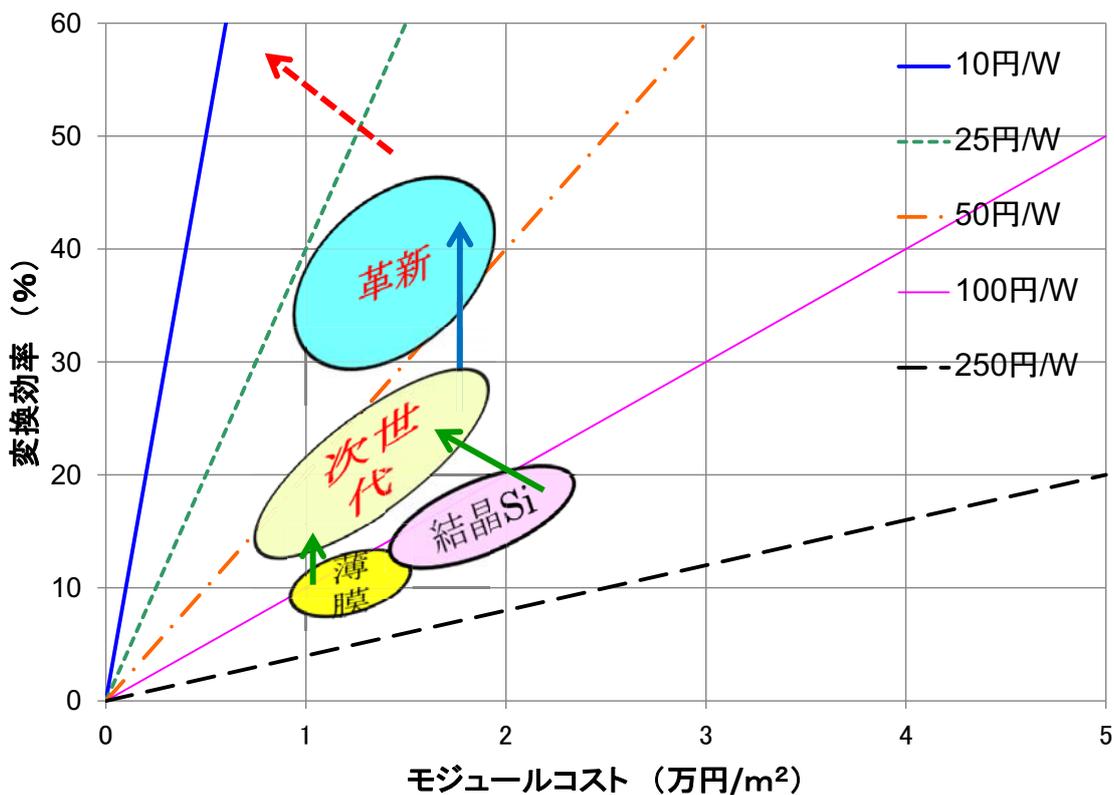


<http://www.solar-frontier.com/>

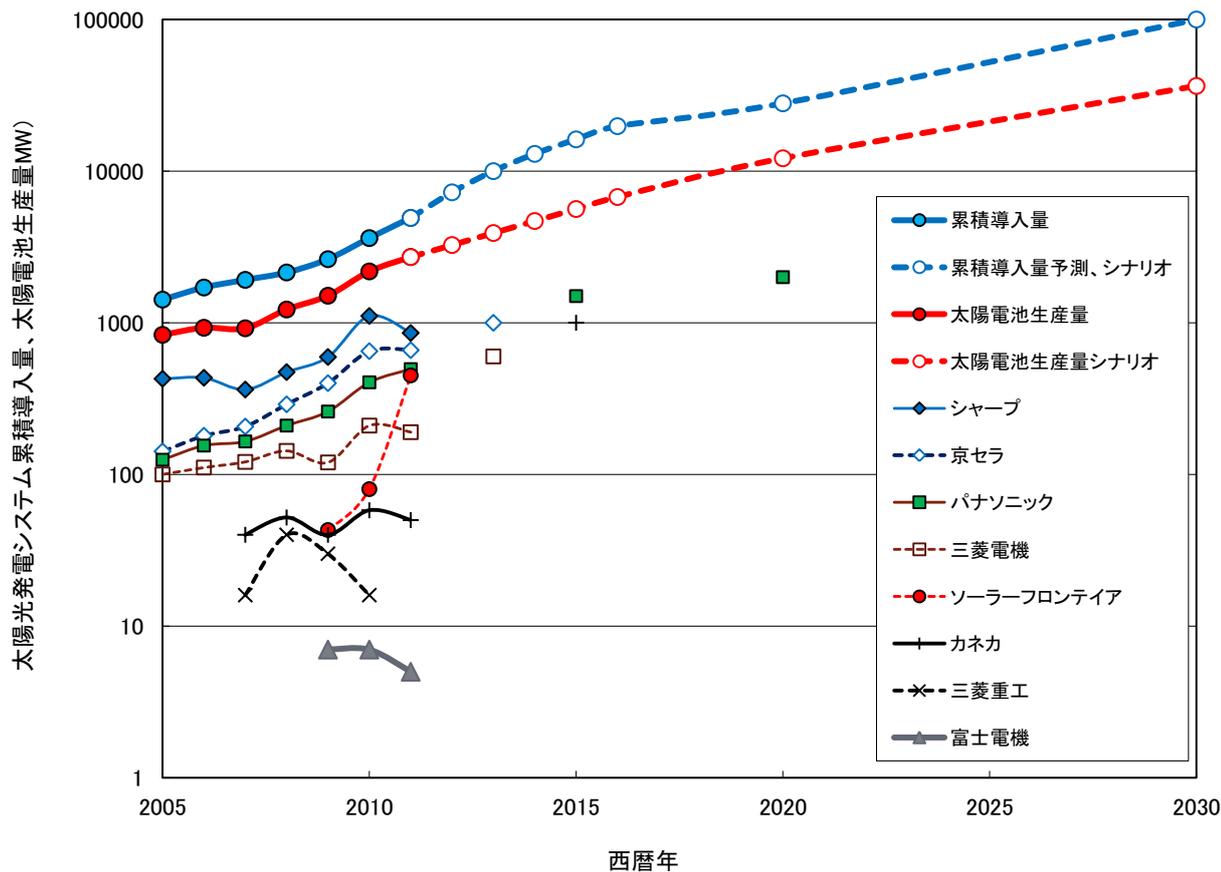


Solar Frontier has constructed a factory with a production capacity of 900 MW per year in Kunitomi, Miyazaki Prefecture, Japan.

Solar modules produced at this factory include the results of NEDO's long-term CIS PV technology R&D that has been entrusted to the Showa Shell Sekiyu group since 1993.



太陽電池の高効率化、低コスト化の今後の方向



太陽光発電システム次世代高性能技術の開発
 (中間評価) 分科会
 資料6-3

太陽エネルギー技術開発
『太陽光発電システム次世代高性能技術の開発』
 (平成22年度～平成26年度 5年間)
中間評価説明資料

議題4 プロジェクトの概要説明 (公開)
 議題4-3 研究開発成果、事業の見通しについて
 (共通基盤技術)

東京工業大学
 黒川 浩助 特任教授
 2012 (H24)年8月23日-24日

Ⅲ. 研究開発成果について

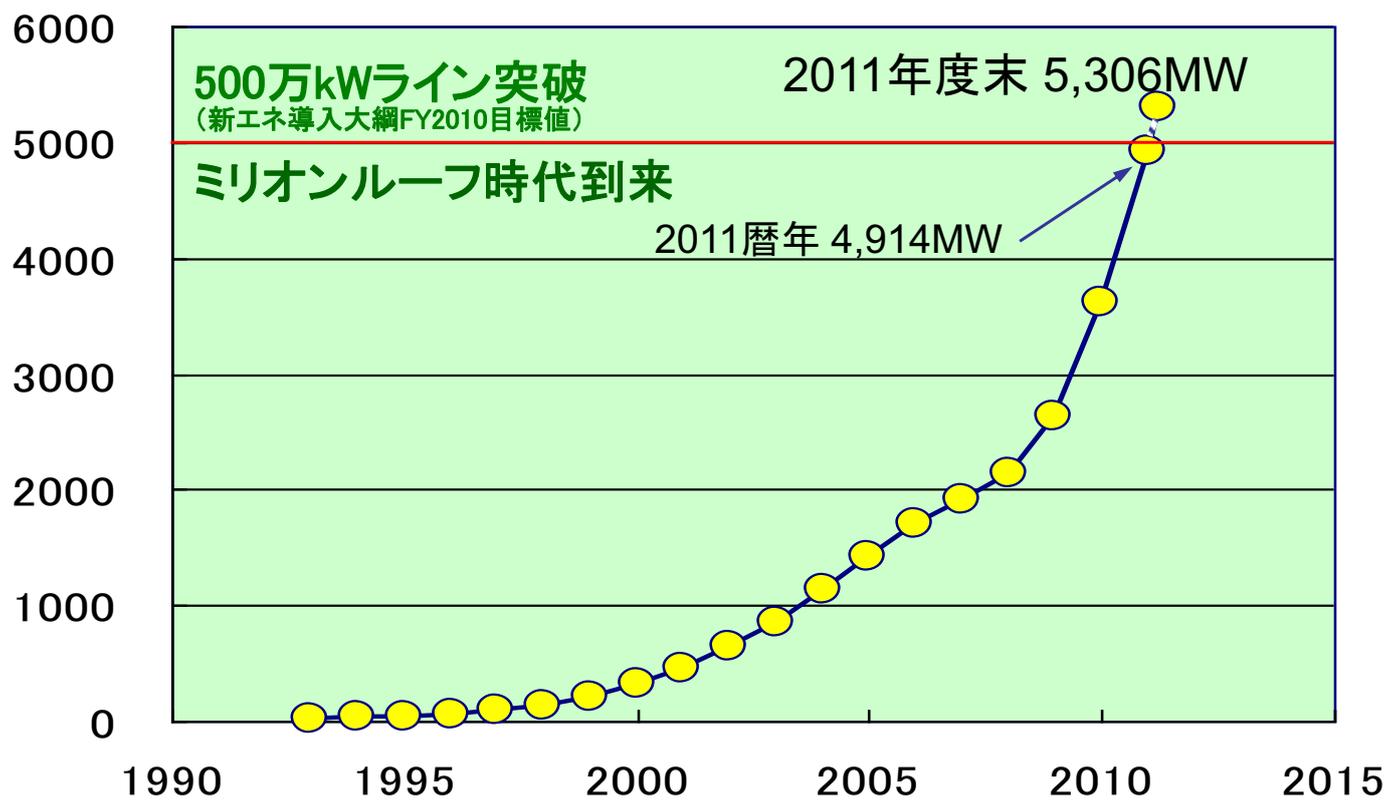
I. 事業の位置付け・必要性について

II. 研究開発マネジメントについて

Ⅲ. 研究開発成果について

IV. 実用化の見通しについて

日本累積導入量 (MW)



[データ] IEA PVPSによる2011年(暦年)までの累積値に、
JPEAIによる2011年度4Q実績の国内導入値を加えたもの
© kurochans-net 2012, Tokyo

太陽電池の性能・発電量・寿命・モジュール健全性評価技術開発

- ①発電量評価技術
- ②信頼性・高耐久性評価技術
- ③基盤技術開発戦略の研究

- ①産総研, 岐阜大, 東京大, 気象協会
- ②産総研, PVTEC
- ③PVTEC

・PVシステムの利用拡大、技術発展に必要な基本データの整備・リユース技術を開発

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低コスト汎用リサイクル処理技術
- ②パイロットプラント仕様作成、LCA評価

- ①北九州産業学術推進機構
- ②(再委託)昭和シェル石油, 新菱, 北九州市立大, 北九州市環境局, みずほ総研

・将来のPVシステム大量廃棄を控え、リサイクル技術を開発

IEA国際協力事業及び標準化支援事業等

- ①技術動向調査 (※今回評価対象外)
- ②IEA国際協力事業 (※今回評価対象外)
- ③標準化支援事業 (※今回評価対象外)

- ①資源総合システム
- ②資源総合システム, みずほ総研, NEDO
- ③JEMA, 光産業技術振興協会

・PVに係る情報の収集と発信

Roll-to-Roll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

- 新規ポリマーによる封止材開発
- ナノコンジット技術による保護シート
- 封止材・保護層の一体化

積水化学

・Roll-to-Rollプロセスを実現可能とする材料の開発

超ハイガスバリア太陽電池部材の研究開発

- ①超ハイガスバリアバックシート、フロントシートの開発
- ②Cat-CVDによる超ハイガスバリア技術

- ①三菱樹脂
- ②北陸先端大(再委託)

・PV以外にも応用が期待できるハイガスバリア部材の開発

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

- 据付部品の機能複合化
- 耐久性、据付作業延べ時間削減効果の検証

デュポン

・据付に係るコストの大幅削減に寄与する

事業の位置づけ・必要性

各テーマの出口イメージ

国家標準・国際標準化 (デジュール)

JIS・IEC提案

JIS・IEC提案

共通技術の事業化基盤整備 (デファクト)・民間認証

I - ロ) 太陽電池性能評価・校正技術

II - イ) モジュール・機器耐久性評価技術

II - ロ) システム点検技術

I - イ) 発電量推定と予測技術

III-① リユースモジュール健全性試験技術

III-② システム汎用リサイクル処理手法

再生エネ利用促進・21世紀持続可能性

社会システム

共通技術事業化

セル・モジュール

システム

リサイクル

高性能機器製造

性能評価・品質管理

システム設計

システム運用

大量導入への社会基盤

設置時の性能予測および保証値設定

運用時の性能確保・予測

大量導入への社会基盤

要素技術開発

基盤技術開発

基盤整備

利用者の視点: kWからkWhへ

社会インフラニーズとの融合

雇用創造・国際競争力の強化

環境親和性・資源有効利用

Ⅲ. 研究開発成果について

公開

(へ) 共通基盤技術 中間目標の達成度

I. 発電量評価技術の開発	目標	成果	達成度
I - 口) 太陽電池性能評価技術 (AIST)		<ul style="list-style-type: none"> ・太陽電池実効性能評価(kW): IEC規格等現行規定条件の実効性能影響定量化; 屋外高精度測定結果の補正技術開発; 絶対放射計・絶対分光感度法一次校正技術; 二次基準モジュール相対分光感度測定 ・発電量推定(kWh): モード発電量を5%未満精度の測定算出法開発; 日射スペクトルデータ全国整備のための測定法を開発 ・予測技術: 数値予報気象データから出発し, 分散発電量予測・広域予測モデルを適用して, 太陽光発電電力量を予測するとともに予測結果を電力システム運用計画へ反映する手法を開発 	○
I - イ) 発電量推定と予測技術	(次ページに記載)		○

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

6

Ⅲ. 研究開発成果について

公開

(へ) 共通基盤技術 中間目標の達成度

I. 発電量評価技術の開発 (つづき)	目標	成果	達成度
I - イ)-a. 発電量定格技術 AIST, JWA		<ul style="list-style-type: none"> ・太陽電池実効性能評価: IEC規格等現行規定条件の実効性能影響定量化; 屋外高精度測定結果の補正技術開発; 絶対放射計・絶対分光感度法一次校正技術; 二次基準モジュール相対分光感度測定 ・発電量推定: モード発電量を5%未満精度の測定算出法開発; 日射スペクトルデータ全国整備のための測定法を開発 ・予測技術: 数値予報気象データから出発し, 分散発電量予測・広域予測モデルを適用して, 太陽光発電電力量を予測するとともに予測結果を電力システム運用計画へ反映する手法を開発 	○
I - イ)-b. 発電量予測技術 AIST, GU, JWA, UT, MRI		<ul style="list-style-type: none"> ・分散・広域発電量予測(AIST): 試作モデルの分散予測誤差0.15kWh/kW、広域予測誤差約0.07kWh/kW ・気象パラメータ予測技術(MRI): 数値予報モデルパラメータに基づく日射量予測誤差の大きな日について詳細分析・各パラメータ影響度評価 ・分散日射量予測技術(GU): 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可能 ・広域日射量予測技術(JWA): 衛星日射量メッシュを作成・精度向上中 ・分散・広域発電量応用評価技術(UT): 電力システム解析・評価モデル開発完了し国内一部地域分析可能に; システム安定性・経済性なども考慮した発電予測要求仕様を検討・設定中 	○

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

7

Ⅲ. 研究開発成果について

(へ) 共通基盤技術 中間目標の達成度

Ⅱ. 信頼性および寿命評価技術の開発	目標	成果	達成度
		<ul style="list-style-type: none"> ・モジュール機器・耐久性評価: 屋外曝露試験データ劣化要因分析; 劣化メカニズム解明; 部材を含む屋内寿命評価試験法開発; システム長寿命化高機能材料の寿命試験方法確立; 関連規格化推進 ・システム点検技術: システム発電データ収集; オンサイト気象センサ点検で発電性能10%低下検出可能手法開発; 次世代モジュール・システム高信頼性実現のための基盤技術開発調査 	
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認証試験技術(PVTEC) II-イ)-b 新規信頼性試験方法の開発(AIST)		<ul style="list-style-type: none"> ・高信頼性モジュール認証試験技術: PVシステム文献調査を実施, 26サイト事例収集; 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)の関係分析; 劣化事象発生要因を推定 ・新加速試験技術の研究開発: サイクリック試験・逆バイアス定電流試験による実使用条件下外観劣化(焦げ、膨らみ)・IV特性劣化対応性; 加速試験としての有効性確認; フルサイズモジュール確認・要件抽出; 加重抜重方式の実験評価。 ・モジュール内水蒸気浸入経路調査方法: 透過率10-2g/m²dayまでの浸入経路調査; テストモジュールの作製法確立; 信頼性改善に有用な新知見 	○
II-ロ) システム点検技術(AIST, PVTEC) II-ハ) 次世代基盤技術開発調査(PVTEC)		<ul style="list-style-type: none"> ・限られた屋外IVカーブ測定データから標準条件への換算法として, AISTオリジナルの線形内挿法を適用・体系化を実施 ・モジュール・BOS, 社会システムの各々: 劣化要因評価・劣化実態, 解決のための開発コスト算定, 社会シス改良による優位性向上分析 	○

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

8

Ⅲ. 研究開発成果について

(へ) 共通基盤技術 中間目標の達成度

Ⅲ. PVシステム汎用リサイクル処理手法に関する研究開発	目標	成果	達成度
		<ul style="list-style-type: none"> ・ H28に寿命を迎えるEoLモジュール大量廃棄(推定量: 18MW)その後年々増大; リサイクル市場の整備は必須 ・ リユースモジュールに要求される性能:: 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 ・ 低コスト汎用リサイクル処理関連基本技術を確立: 新型太陽電池にも対応したリサイクル ・ LCA調査: LCA評価の見直し; 新型太陽電池・廃棄を含めたLCA評価 ・ 社会システムの調査・提案: 広域対象のリサイクル処理に必要な社会システムの提案 	
III-① リユースモジュール健全性試験技術(PVTEC)		<ul style="list-style-type: none"> ・ 絶縁性能の要求値の決定に必要なデータを収集 ・ 世界に先駆けモジュールのリユースに関する検討を開始 	△
III-②a 低コスト汎用リサイクル処理技術の基本技術開発(北九州産業学術推進機構)		<ul style="list-style-type: none"> ・ 共通処理部(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)、個別処理部(GS膜スクレーパー)を試作、初期目標達成見通し ・ 年間処理量2MW相当試作装置による試験結果をベースに、200MW処理ケースを試算し、処理コスト約4.9円/W、さらに回収金属売却費用を考慮すれば4円/W以下となる見込みを得た 	○
III-②b LCA調査(再委託)みずほ総研		<ul style="list-style-type: none"> ・ 従前に実施されたエネルギー原単位・CO₂排出係数に関するLCA評価を最新データで見直し; 結晶シリコン太陽電池のLCA評価を実施 	△
III-②c 社会システムの調査・提案(再委託)昭和シェル石油, 新菱, 北九州市立大, 北九州市環境局, みずほ総研		<ul style="list-style-type: none"> ・ 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の基本モデルの構築; 現行法規制の緩和等の法整備に関する提案など専門委員会で審議済み ・ 家電リサイクルシステムを参考に、回収ロジスティクス基本モデルを構築 ・ また、回収に関わる廃棄法を調査し、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 	○

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

9

Ⅲ. 研究開発成果について

－ 成果発表 －

◆ 積極的な特許出願や学会発表等の実施（実施者） （2012年7月末時点）

テーマ	特許出願		論文 (査読付)	研究発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	受賞実績	展示会への出展
	国内	外国					
I) 発電量評価技術の開発 II) 信頼性及び寿命評価技術の開発	1	0	16	55	2	5	1
III) PVシステム汎用リサイクル 処理手法に関する研究評価	1	0	0	0	1	0	3
計	2	0	16	55	3	5	4

◆ 公表チャンネルを利用した事業の広報（推進者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

Ⅳ. 実用化の見通しについて

I. 事業の位置付け・必要性について

II. 研究開発マネジメントについて

III. 研究開発成果について

IV. 実用化の見通しについて

IV. 実用化の見通しについて

『I) 発電量評価技術の開発』

- ・太陽電池性能評価技術および発電量推定技術：規格審議，国内・アジア地域内および欧米との国際比較測定等進行中
JIS・IEC規格による実用化，国際整合性検証によるPV導入への貢献
- ・基準太陽電池校正技術：基準セル校正に適用済み，校正技術の高度化，校正技術および基準セルの国際的普及が見込まれる
- ・発電量予測技術：気象パラメータ予測モデルの気象庁モデルへの展開，
様々なレベル(分散/広域)での予測と電力システム解析評価モデルの社会インフラ化

『II) 信頼性及び寿命評価技術の開発』

- ・高信頼性モジュールの認証試験技術：長期信頼性に関する要求を付加した規格・モジュールの認証制度の確立が見込まれる
- ・新規信頼性試験方法の開発：実使用下で起こる劣化現象を屋内試験する加速試験の手法を提供，
JIS, IEC規格(61215,61646,61730等)への標準化
- ・システム点検技術：ガイドライン公開，信頼性向上によるPV導入への貢献

テーマ	NEDO開発品 新型太陽電池等測定	規格化		基準セル校正
		JIS	IEC	
I) 発電量評価技術の開発	190	5	1	111
II) 信頼性及び寿命評価技術の開発				

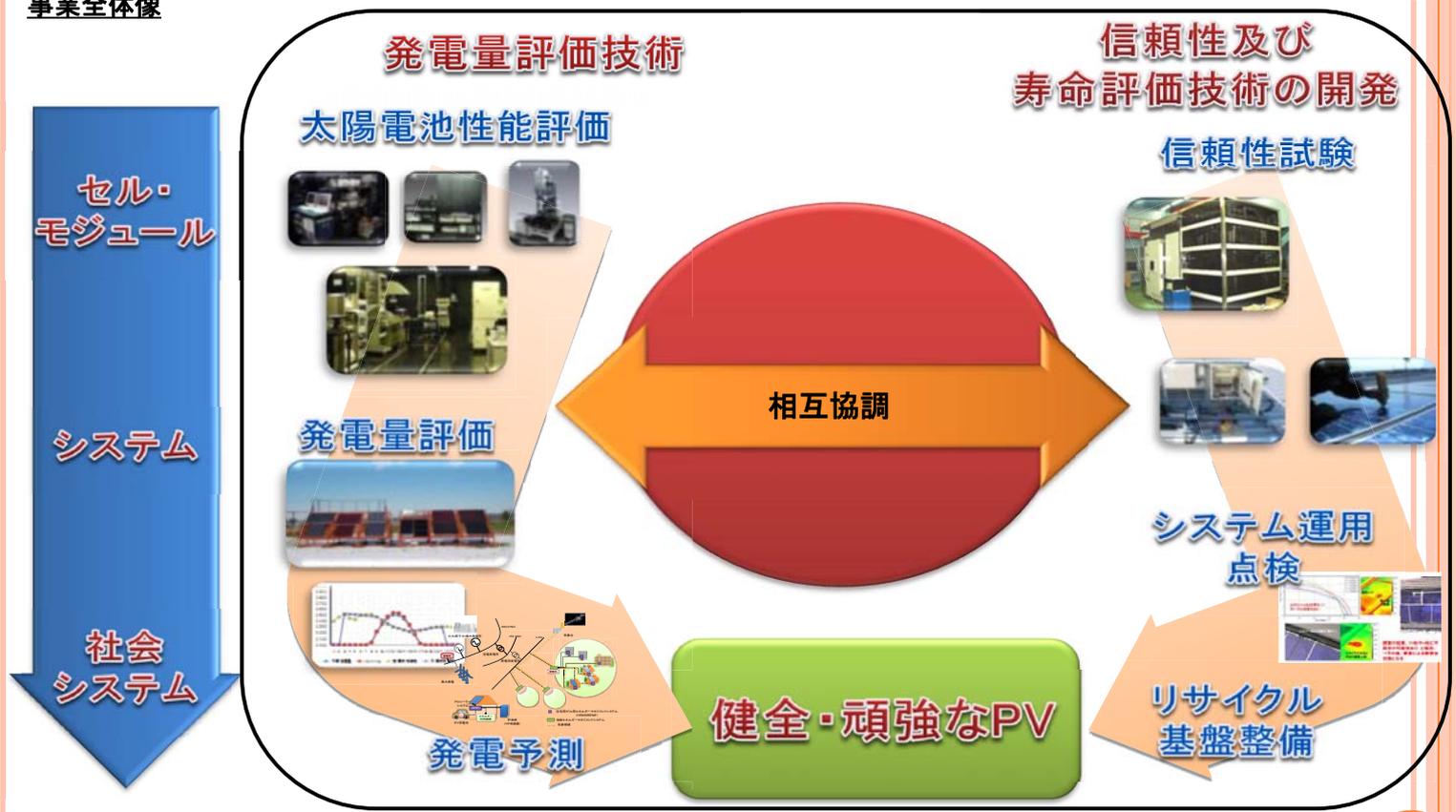
(2012年7月末時点)

『III) PVシステム汎用リサイクル処理手法に関する研究評価』

- ・PVシステム汎用リサイクル処理手法：2017年に技術研究組合を運営母体としたリサイクル処理センターを設立
九州/中国地方を主対象に，EoLのPVシステムのリサイクル処理を行う年間処理量最大6MWラインを導入し，社会実験を実施
(2018年の国内廃棄パネルの推定量18MWの1/3に相当する規模)
国内全国への展開，EUや米国，発展途上国など海外への展開
- ・リユースモジュールの健全性試験技術：ガイドライン公開，信頼性向上によるPV導入への貢献

事業の位置づけ・必要性

事業全体像

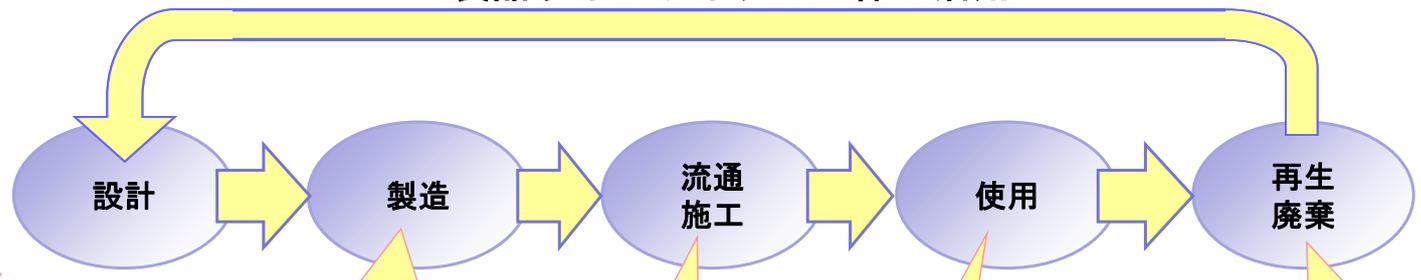


NEDOプロ内での位置付け

－ コンセプト：共通基盤太陽電池 －

製品ライフサイクル全体で活用

【LCA】
Ⅲ LCA調査



【品質保証】 (標準化 事業化)

- I -ロ) 太陽電池の性能評価
- II -イ) モジュール・機器耐久性評価技術

【高性能化】

- IV -① 超ハイガスバリアフィルム (事業化 でふあく)

【低コスト化】 (事業化 でふあく)

- IV -② RtoRプロセス対応の封止材一体型保護シート (事業化 でふあく)

【低コスト化】 (事業化 標準化)

- IV -③ 据付工程簡便化

(事業化 標準化 スマグリ波及)

【系統連系最適運用】

- I -イ)b. 発電量予測技術

【トラブル対応】

- II -ロ) システム点検技術 (事業化 標準化)

(標準化 事業化)

【リユース】

- Ⅲ リユースモジュール健全性試験技術

(事業化 標準化)

【リサイクル】

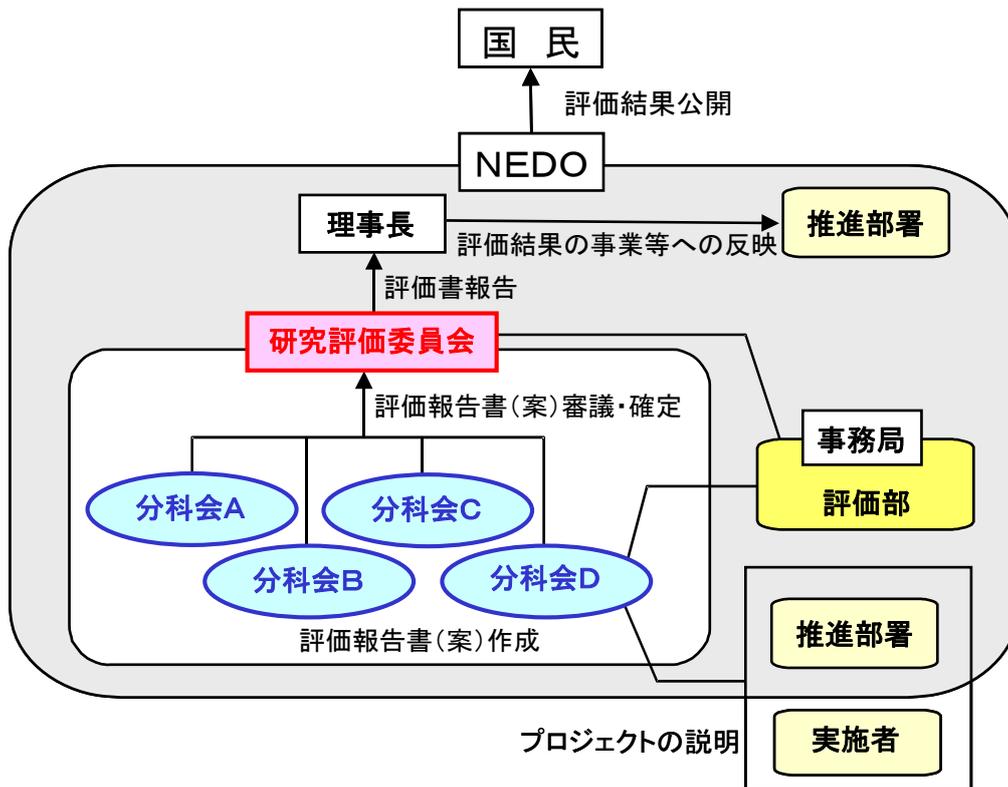
- Ⅲ 低コスト汎用リサイクル処理技術
- Ⅱ -ハ) 社会システムの調査

参考資料 1 評価の実施方法

本評価は、「技術評価実施規程」（平成 15 年 10 月制定）に基づいて研究評価を実施する。

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）における研究評価の手順は、以下のように被評価プロジェクトごとに分科会を設置し、同分科会にて研究評価を行い、評価報告書（案）を策定の上、研究評価委員会において確定している。

- 「NEDO 技術委員・技術委員会等規程」に基づき研究評価委員会を設置
- 研究評価委員会はその下に分科会を設置



1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において。

- 業務の高度化等の自己改革を促進する
- 社会に対する説明責任を履行するとともに、
経済・社会ニーズを取り込む
- 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を
促進する

としている。

本評価においては、この趣旨を踏まえ、本事業の意義、研究開発目標・計画の妥当性、計画を比較した達成度、成果の意義、成果の実用化の可能性等について検討・評価した。

2. 評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員選定に当たっては以下の事項に配慮して行う。

- 科学技術全般に知見のある専門家、有識者
- 当該研究開発の分野の知見を有する専門家
- 研究開発マネジメントの専門家、経済学、環境問題、国際標準、その他社会的ニーズ関連の専門家、有識者
- 産業界の専門家、有識者
- ジャーナリスト

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外し、また、事前評価の妥当性を判断するとの側面にかんがみ、事前評価に関与していない者を主体とする。

これらに基づき、分科会委員名簿にある9名を選任した。

なお、本分科会の事務局については、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構評価部が担当した。

3. 評価対象

平成22年度に開始された「太陽エネルギー技術開発／太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」プロジェクトを評価対象とした。

なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プ

プロジェクトの内容、成果に関する資料をもって評価した。

4. 評価方法

分科会においては、当該事業の推進部署及び研究実施者からのヒアリングと、それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価及び実施者側等との議論等により評価作業を進めた。

なお、評価の透明性確保の観点から、知的財産保護の上で支障が生じると認められる場合等を除き、原則として分科会は公開とし、研究実施者と意見を交換する形で審議を行うこととした。

5. 評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、研究評価委員会による『各分科会における評価項目・評価基準は、被評価プロジェクトの性格、中間・事後評価の別等に応じて、各分科会において判断すべきものである。』との考え方に従い、第1回分科会において、事務局が、研究評価委員会により示された「標準的評価項目・評価基準」（参考資料 1-10 頁参照）をもとに改定案を提示し、承認されたものである。

プロジェクト全体に係わる評価においては、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義や実用化への見通し等について評価した。各個別テーマに係る評価については、主にその目標に対する達成度等について評価した。

「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」プロジェクトに係る

評価項目・評価基準

1. 事業の位置付け・必要性について

(1)NEDOの事業としての妥当性

- ・ エネルギーイノベーションプログラムの目標達成のために寄与しているか。
- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること、又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

(2)事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

2. 研究開発マネジメントについて

(1)研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

(2)研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

(3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備

されているか。

- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携または競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

(4) 研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化、事業化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化、事業化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

(5) 情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

3. 研究開発成果について

(1) 中間目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

(2) 成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながる事が期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

(3) 知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適

切に行われているか。

- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

(4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

(5)成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見込みか。
- ・ 最終目標に向け、課題とその解決の道筋が明確に示され、かつ妥当なものか。

4. 実用化、事業化の見通しについて

(1)成果の実用化可能性

- ・ 産業技術としての見極め（適用可能性の明確化）ができているか。
- ・ 実用化に向けて課題が明確になっているか。課題解決の方針が明確になっているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。

(2)事業化までのシナリオ

- ・ 成果は市場やユーザーのニーズに合致しているか。
- ・ 市場の規模や成長性、コストダウン、競合技術との比較、導入普及、事業化までの期間、事業化とそれに伴う経済効果等の見通しは立っているか。

(3)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

- ★ 個別テーマ [共通基盤技術]・・・研究項目(へ)については、下記の「基礎的・基盤的研究開発」の評価基準を採用する。

2. 研究開発マネジメントについて

(1)研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

(2)研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

(3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携または競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

(4) 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

(5)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。

- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

3. 研究開発成果について

(1)目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

(2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながる事が期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

(3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

(4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

4. 実用化の見通しについて

(1)成果の実用化可能性

- ・ 実用化イメージ・出口イメージが明確になっているか。

- ・ 実用化イメージ・出口イメージに基づき、開発の各段階でマイルストーンを明確にしているか。それを踏まえ、引き続き研究開発が行われる見通しは立っているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。

(2)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

標準的評価項目・評価基準（中間評価）

2010. 3. 26

【中間評価 標準的評価項目・評価基準の位置付け（基本的考え方）】

標準的評価項目・評価基準は、第25回研究評価委員会（平成22年3月26日付）において以下のとおり定められている。（本文中の記載例による1・・・、2・・・、3・・・、4・・・が標準的評価項目、それぞれの項目中の(1)・・・、(2)・・・が標準的評価基準、それぞれの基準中の・・・が視点）

ただし、これらの標準的評価項目・評価基準は、研究開発プロジェクトの中間評価における標準的な評価の視点であり、各分科会における評価項目・評価基準は、被評価プロジェクトの性格等に応じて、各分科会において判断すべきものである。

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 特定の施策（プログラム）、制度の下で実施する事業の場合、当該施策・制度の目標達成のために寄与しているか。
- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること、又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

(2) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

(2)研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

(3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 研究管理法をを経由する場合、研究管理法が真に必要な役割を担っているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

(4)研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化、事業化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化、事業化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

(5)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

3. 研究開発成果について

(1)中間目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。

- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

(2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながる事が期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓する事が期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

(3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

(4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

(5)成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見込みか。
- ・ 最終目標に向け、課題とその解決の道筋が明確に示され、かつ妥当なものか。

4. 実用化、事業化の見通しについて

(1)成果の実用化可能性

- ・ 産業技術としての見極め（適用可能性の明確化）ができているか。
- ・ 実用化に向けて課題が明確になっているか。課題解決の方針が明確になっているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備

に向けた見通しが得られているか。

(2)事業化までのシナリオ

- ・ 成果は市場やユーザーのニーズに合致しているか。
- ・ 市場の規模や成長性、コストダウン、競合技術との比較、導入普及、事業化までの期間、事業化とそれに伴う経済効果等の見通しは立っているか。

(3)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

※基礎的・基盤的研究及び知的基盤・標準整備等の研究開発の場合は、以下の項目・基準による。

*基礎的・基盤的研究開発の場合

2. 研究開発マネジメントについて

(1)研究開発目標の妥当性

- ・内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

(2)研究開発計画の妥当性

- ・目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

(3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・研究管理法を經由する場合、研究管理法が真に必要な役割を担っているか。
- ・全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

(4)研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

- ・成果の実用化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・成果の実用化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

(5)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

3. 研究開発成果について

(1)中間目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

(2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながることを期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

(3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

(4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

(5)成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見込みか。
- ・ 最終目標に向け、課題とその解決の道筋が明確に示され、かつ妥当なものか。

4. 実用化の見通しについて

(1)成果の実用化可能性

- ・ 実用化イメージ・出口イメージが明確になっているか。
- ・ 実用化イメージ・出口イメージに基づき、開発の各段階でマイルストーンを明確にしているか。それを踏まえ、引き続き研究開発が行われる見通しは立っているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。

(2)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

* 知的基盤・標準整備等の研究開発の場合

2. 研究開発マネジメントについて

(1)研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

(2)研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

(3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 研究管理法人を経由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

(4)研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

(5)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

3. 研究開発成果について

(1)中間目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

(2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながる事が期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。

- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は公開性が確保されているか。

(3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 研究内容に新規性がある場合、知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

(4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

(5)成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見込みか。
- ・ 最終目標に向け、課題とその解決の道筋が明確に示され、かつ妥当なものか。

4. 実用化の見通しについて

(1)成果の実用化可能性

- ・ 整備した知的基盤についての利用は実際にあるか、その見通しが得られているか。
- ・ 公共財として知的基盤を供給、維持するための体制は整備されているか、その見込みはあるか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。
- ・ J I S 化、標準整備に向けた見通しが得られているか。注) 国内標準に限る
- ・ 一般向け広報は積極的になされているか。

(2)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。

- ・プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

参考資料 2 分科会議事録

研究評価委員会
「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」(中間評価)分科会
議事録

日 時：平成24年8月23日(木) 10:30～17:50

平成24年8月24日(金) 9:30～17:50

場 所：大手町サンスカイルームA会議室(朝日生命大手町ビル27階)

出席者(敬称略、順不同)

<分科会委員>

分科会長	庭野 道夫	東北大学 電気通信研究所	教授
分科会長代理	工藤 一浩	千葉大学 大学院工学研究科	教授
評価委員	垣内 弘章	大阪大学 大学院工学研究科 精密科学・応用物理学専攻	准教授
評価委員	白井 肇	埼玉大学 大学院理工学研究科 物質科学部門	教授
評価委員	瀬川 浩司	東京大学 先端科学技術研究センター 附属産学連携新エネルギー研究施設長	教授
評価委員	高木 晋也	株式会社NTTファシリティーズ ソーラープロジェクト本部 実証研究担当	課長
評価委員	高橋 光信	金沢大学 理工研究域物質化学系 応用化学コース 理工研究域サステナブルエネルギー研究センターセンター長	教授
評価委員	富田 孝司	東京大学 先端科学技術研究センター 超高効率太陽電池分野	特任教授
評価委員	廣瀬 文彦	山形大学 大学院理工学研究科	教授

<推進者>

橋本 道雄	NEDO 新エネルギー部	部長
山田 宏之	NEDO 新エネルギー部	主任研究員
魚住 学司	NEDO 新エネルギー部	主査
松野 繁	NEDO 新エネルギー部	主査
山田 成英	NEDO 新エネルギー部	主査
山本 厚行	NEDO 新エネルギー部	主査
木場 篤彦	NEDO 新エネルギー部	職員
徳岡 麻比古	NEDO 新エネルギー部	統括主幹
内田 高史	NEDO 新エネルギー部	主任

<オブザーバー>

今村 真教	資源エネルギー庁	課長補佐
是安 俊宏	資源エネルギー庁	

<実施者>

山口 真史	豊田工業大学	特任教授
黒川 浩助	東京工業大学	特任教授

大下 祥雄	豊田工業大学	教授
吉川 一男	株式会社コベルコ科研	技監
山口 雅嗣	新日本ソーラーシリコン株式会社	プロジェクト室長
大久保 秀一	新日本ソーラーシリコン株式会社	プロジェクト室長/執行役員
斉藤 公彦	太陽光発電技術研究組合	担当部長
高塚 汎	太陽光発電技術研究組合	専務理事
善里 順信	太陽光発電技術研究組合	事務局長
近藤 道雄	独立行政法人産業技術総合研究所	センター長
山本 憲治	株式会社カネカ	所長
吉田 功	パナソニック株式会社	グループチームリーダー
松山 秀昭	富士電機株式会社	グループマネージャー
牛島 満	東京エレクトロン株式会社	参事
竹内 良昭	三菱重工業株式会社	次長
岡本 昌也	シャープ株式会社	副所長 兼 スマート開発部長
原 潤一	シャープ株式会社	
白谷 正治	九州大学大学院	教授
河合 良信	九州大学	特任教授
岡本 博明	大阪大学	教授
吉田 憲充	岐阜大学	准教授
宮田 俊弘	金沢工業大学	教授
平山 昌樹	東北大学	准教授
目黒 智巳	株式会社カネカ	主任
中田 時夫	青山学院大学	教授
前村 敏彦	三井造船株式会社	部長
鈴木 隆男	三井造船株式会社	主管
山中 良亮	シャープ株式会社	室長
福井 篤	シャープ株式会社	主事
早瀬 修二	九州工業大学	教授
森 正悟	信州大学	准教授
山口 能弘	新日鐵化学株式会社	主幹研究員
中別府 哲也	住友大阪セメント株式会社	担当部長
小林 克	富士フイルム株式会社	主任研究員
飯島 正行	株式会社アルバック F P D ・ P V 事業部	部長
川田 健太郎	メルク株式会社	マネージャー
甲村 長利	独立行政法人産業技術総合研究所	主任研究員
羽田 英樹	綜研化学株式会社	研究員
広瀬 貞一	ゲンゼ株式会社	研究員
山口 岳志	株式会社フジクラ	主査
松井 浩志	株式会社フジクラ	主任研究員
荒川 裕則	東京理科大学	教授
細矢 雅弘	株式会社東芝	首席技監
斉藤 三長	株式会社東芝	主任研究員

土居 秀二	住友化学株式会社	上席研究員
北野 真	住友化学株式会社	主任研究員
楠本 正	出光興産株式会社	上席主幹研究員
和田 有弘	出光興産株式会社	主任部員
吉川 暹	京都大学	特任教授
吉田 郵司	独立行政法人産業技術総合研究所	研究チーム長
関口 隆史	パナソニック株式会社	チームリーダー
山木 健之	パナソニック株式会社	チームリーダー
西出 宏之	早稲田大学	教授
天内 英隆	三菱樹脂株式会社	
飛鳥 政宏	積水化学工業株式会社	主任研究員
下木 有生	デュポン株式会社	
菱川 善博	独立行政法人産業技術総合研究所	チーム長
増田 淳	独立行政法人産業技術総合研究所	研究体長
猪狩 真一	独立行政法人産業技術総合研究所	主任研究員
大関 崇	独立行政法人産業技術総合研究所	研究員
小林 智尚	岐阜大学	教授
伊藤 健司	太陽光発電技術研究組合	主幹研究員
板垣 昭彦	一般財団法人日本気象協会	技師
荻本 和彦	東京大学	特任教授
山田 芳則	気象研究所	室長
野田 松平	財団法人北九州産業学術推進機構	参与(チーフコーディネーター)
松川 洋	株式会社 資源総合システム	グループリーダー主任研究員

<企画調整>

中谷 充良	NEDO 総務企画部	課長代理
-------	------------	------

<事務局>

竹下 満	NEDO 評価部	部長
三上 強	NEDO 評価部	主幹
上田 尚郎	NEDO 評価部	主査
松下 智子	NEDO 評価部	職員

<一般傍聴者> 5名

議事次第

- 分科会 1日目 -

(公開セッション)

1. 開会、分科会の設置、資料の確認
2. 分科会の公開について
3. 評価の実施方法と評価報告書の構成について
4. プロジェクトの概要説明
 - 4-1 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメントについて
 - 4-2 研究開発の成果、実用化・事業化の見通しについて(セル/モジュール開発)
 - 4-3 研究開発の成果、実用化・事業化の見通しについて(共通基盤技術)
 - 4-4 質疑

(非公開セッション)

非公開資料の取扱いの説明

5. プロジェクトの詳細説明
 - 5-1 結晶シリコン太陽電池
 - ・極限シリコン結晶太陽電池の研究開発(豊田工業大学)
 - ・マルチワイヤーソーによるシリコンウエハ切断技術の研究開発(コベルコ科研)
 - ・太陽電池用ポリシリコンのシリコン原料転換の研究開発(新日本ソーラーシリコン)
 - ・太陽電池用シリコンの革新的プロセス研究開発(太平洋セメント)
 - 5-2 薄膜シリコン太陽電池
 - ・次世代多接合薄膜シリコン太陽電池の産学官協力体制による研究開発(太陽光発電技術研究組合)
 - ・高度構造制御薄膜シリコン太陽電池の研究開発(カネカ)
 - ・薄膜シリコンフィルム太陽電池の高速製膜技術の研究開発(富士電機)
6. 全体を通しての質疑(初日分)

(公開セッション)

7. 初日を終えての「まとめ・講評」
8. 事務連絡等

(非公開セッション)

9 . プロジェクト詳細説明

9-1 有機薄膜太陽電池

- ・有機薄膜太陽電池モジュール創製に関する研究開発 (東芝)
- ・光電荷分離ゲルによる屋内用有機太陽電池の研究開発 (パナソニック)

9-2 色素増感太陽電池

- ・三層協調界面構築による高効率・低コスト・量産型色素増感太陽電池の研究開発 (シャープ)
- ・高効率・高耐久性色素増感太陽電池モジュールの研究開発 (フジクラ)
- ・フィルム型軽量低価格色素増感太陽電池の研究開発 (ゲンゼ)

9-3 CIS 等化合物系太陽電池

- ・C I S 系薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発 (昭和シェル石油)
- ・フレキシブルC I G S 太陽電池モジュールの高効率化研究 (富士フイルム)
- ・反射式集光型太陽光発電システムの研究開発 (三井造船)

9-4 共通基盤 14:40 ~ 16:05 (140 分)

- ・超ハイガスバリア太陽電池部材の研究開発 (三菱樹脂)
- ・ロールツーロールプロセスを可能とする封止材一体型保護シートの研究開発 (積水化学工業)
- ・太陽光発電システムの据付簡便化に関する研究開発 (デュポン)
- ・発電量評価技術等の開発および信頼性及び寿命評価技術の開発 (産業技術総合研究所)
- ・P V システム汎用リサイクル処理手法に関する研究開発 (北九州産業学術推進機構)

10 . 全体を通しての質疑

(公開セッション)

11 . まとめ・講評

12 . 今後の予定、その他

13 . 閉会

議事録

(公開セッション)

1. 開会、分科会の設置について、資料の確認

- ・開会宣言(事務局)
- ・事務局上田主査より、分科会の設置について資料1-1及び1-2に基づき説明があった。
- ・堀越分科会長挨拶
- ・出席者(委員、推進者、実施者、事務局)の紹介(事務局、推進者)
- ・配布資料の確認(事務局)

2. 分科会の公開について

事務局より資料2-1に基づき説明し、今回の議題のうち議題5「プロジェクトの詳細説明」、議題6「全体を通しての質疑(初日分)」、議題9「プロジェクトの詳細説明」、議題10「全体を通しての質疑」を非公開とすることが了承された。

3. 評価の実施方法と評価報告書の構成について

評価の手順を事務局より資料3-1～3-5、資料4に基づき説明し、了承された。

4. プロジェクトの概要説明

推進者(NEDO 新エネルギー部 山田主任研究員)、山口PLおよび黒川PLより資料6-1、資料6-2、資料6-3に基づき説明が行われた。

- 4-1 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメントについて 山田主任研究員
- 4-2 研究開発の成果、実用化・事業化の見通しについて(セル/モジュール開発) 山口PL
- 4-3 研究開発の成果、実用化・事業化の見通しについて(共通基盤技術) 黒川PL

説明に対し以下の質疑応答が行われた。

(庭野分科会長) ただいま、プロジェクト全体の説明をしていただきました。技術の詳細につきましてはこれから午後と明日とで議論いたしますので、ここではプロジェクトの位置付け・必要性、マネジメントを中心にご意見、ご質問をいただきたいと思います。

(工藤分科会長代理) 最後の黒川先生の説明に関連してですが、やはり日本の素子は良いし、良い評価方法があるけれど、欧米とうまくいなくて結局は国際標準で負けるということが多いわけですが、この太陽電池ではどの点で問題がありそうに見えてくるのでしょうか。私の勝手な想像でいうと、小さいシステムを作っているうちはいいのですが、大型になって電力を各国へ売るときにどのような支障が予測出来るのか、現状としてはまったく問題がなさそうなのか、その辺りはいかがでしょうか。

(東工大・黒川 PL) まず、過去を遡ってみれば、NEDO が 1980 年に出来たわけですから、国際標準化の活動はおそらく 5 年遅れぐらいでスタートして、それは IEC/TC82 というものでした。その初期からわりと最近まで、例えば先ほど線形内挿外挿法というものが評価されたという話をしましたが、その基礎的なモジュールやセルの評価技術ではむしろ日本はリードしてきたとっております。特に薄膜関係、アモルファス関係は日本がほとんど規格書の体系としては提案してきました。そういったように、きちりと几帳面にやっていくというのは国民性が合っているのかと思っていて、そこは評価されるべきだと思っています。むしろ、いまご指摘があったように、大きなシステムなどは、日本は国内市

場としてはようやくこの7月からスタートしているという段階であります。欧州ではあれだけ大量のスーパーメガソーラーが普及しているわけでありまして、その辺りのスタンダードを、日本は後を追いかける形になってしまっているのかなと思います。その中で活きるのが、先ほどのシステムの色々な評価方法であるとか、メガソーラー自体へのパワコンなどの標準品ですが、そういう標準規格というのがどうしても日本は後追いになっているのではないかと思われ、そういうところをテコ入れしていかなければいけないと考えます。しかし、ここがまたアジア諸国がかなり大量に人材を投入して頑張っているところもあって、標準化も専門家の人をどれだけそこに投入出来るかと、そういう時代なのかなと思っています。ですから、ここのところを、地道なだけでなく、そういった気持ちで国際活動をやっていかなければいけないと考えております。答えではなく、私の希望はそういうことになります。

(庭野分科会長) この前の山口先生がやられていたプロジェクトには、黒川先生の共通基盤技術というテーマはなかったと思います。今回こういうテーマが新しく設けられたというのは、日本に何か問題があったというか、こういう課題があったということで、その1つがいま言われた標準化とか、国際標準とかをしっかりとやっておかないと世界に勝てないという認識の下にこの課題が設定されたと理解してよろしいでしょうか。

(東工大・黒川 PL) 必ずしもそうではありません。わりと地道にやっているのでも共通基盤はあまり目立たない感じではありましたが、過去のプロジェクトにだいたいありました。計測技術として、IECの規格、あるいはJISの規格書というものは全部NEDOに面倒をみていただいて、基礎的な技術的なところはやってきました。ただ、いまフェーズが変わりつつあるのかなというのが私の先ほどの話であります。山口先生とは仕分けしながらやっているつもりですが、特にいますぐここでポッと現れたわけではありません。実際に売る物についての標準化というのは、日本の製品はどうも標準化のところでは負けている感じがありますが、太陽光もうっかりするとそうなりますよということがありまして、これは欧米の先進国だけではなく、アジア諸国などもかなりある意味うまくやってきていて、日本がいちばん出遅れたという、そういうタイミングです。NEDOだけのお話をしていると若干アンバランスなのですが、例えば周りに共通認識を持たれた方がおられて、産総研なども中心になって、QA(Quality Assurance)フォーラムという海外の先進的な研究所とのフォーラムですが、そういった芽が出てきていますので、次のフェーズがこういうもので立てていただければいいのであったら、そういう活動ともしっかりリンクすべきだと思います。

(豊田工大・山口 PL) 庭野先生がお話しされた「未来技術開発」は、資料6-1の15枚目のスライドのように、前のプロジェクトの未来技術開発と、黒川先生が委員長だった共通基盤技術が別のプロジェクトで進行しておりまして、今回はそれがドッキングして1つのプロジェクトになっています。やっていたことは確かだと思います。

(庭野分科会長) なるほど。

(瀬川委員) 山口先生がいちばん最後に出された44ページ目の資料はかなりショッキングな資料だと思います。世界の太陽光発電の生産量が増えているにもかかわらず、日本の各メーカーは非常に苦戦をしています。ところが、これは技術の問題ではないと思います。日本の技術はNEDOプロをはじめとして最先端を走ってきたにもかかわらず、色々な状況の中で、戦略的に負けて、落ち込んでいるというところがあると思います。いちばん衝撃的だったのは、ついに日本の太陽電池の全部の生産量のシェアが5%を切りそうだという最近のニュースです。ついこのあいだ1割切って大騒ぎしましたが、もう5%を切りそうだというのは相当なことだと思います。NEDOプロの中でも、特にこの太陽光発電が一番大事ではないかと私は思っています。シリコンであれば結晶、薄膜、そして化合物、半導体と色々な状況はそれぞれ違うと思います。ちょうど44ページ目の資料では日本のメーカーの今後の伸びのラインが

なかなか描けないようですが、これは技術開発をやっているプロジェクトですから、その技術開発の視点で、プロジェクトリーダーとしてどういう方向性で引っ張って行って、これを引き上げていく方向を考えているのかお答えください。

(豊田工大・山口 PL) 非常に厳しいご指摘ですが、実は悩んでおりまして、たぶん技術開発をやらないと各社すべて手を引いて、枯れ野原になってしまうのではないかと非常に危惧しています。せめて技術開発をやって、維持して行って、良き時代になってほしいと思います。1つは震災復興事業で何かそういった国営会社を作ってくれば一番良かったのですが、開発センターや研究センターにシフトしています。私は国営会社を作ってほしかったかなと思います。もう1つ、海外へ出ていくということが方向性かなと思います。個人的には石油産油国に乗り出して行って、あちらにインフラを整備するという方向で、向こうとの合弁会社を作っていく方向を模索してみたいとは思っています。答えになっていませんが、あとは、アジア諸国では政府の多額の融資を受けている企業もあり、最初から人件費が安い、材料費が安いというのに加え、政府が融資をしているわけですから勝てるわけは本当にないので、技術開発だけではどうしようもないと思います。ただ、やはり海外に出ていくとか、あるいは国営会社をつくるといった抜本的なことをしないと、なかなか立ち行かないかなと思います。最低限、技術開発をやっけないと誰もいなくなってしまうという危惧を持っています。

(瀬川委員) ありがとうございます。私も技術開発は肝だと思っております、そこをなくしたら日本の存在価値がなくなるくらいのものでありますから、そこは当然に強化しないといけないのですが、先ほどの標準化の話も含め、少しその技術開発だけということではなく、その周辺にまで延ばして、戦略を立て、世界と戦っていくことをやらないといけないと思います。先ほどの中国の話ですが、これは有機太陽電池でも同じで、まるで国が全部お金を出して工場まで建てさせて、ほとんどコスト計算を度外視するような形で製品を出しています。これでは勝てないシナリオになってしまいます。そのところを工夫して克服する必要があると思います。先ほどの研究所の話も、あるいは国営工場の話も少し出しましたが、ぜひプロジェクトリーダーとしてはもう1歩踏み出して、このプロジェクトの技術を核にして、そういう道にもつなげていくようにしていただきたいと思います。必ずしも100パーセント国がお金を出さなければいけないというわけではないと思いますが、国際競争に打ち勝つための戦略を立てていただければと思います。

(豊田工大・山口 PL) システム関係の人材が手薄な印象を持っています。やはりモジュールやセルではなく、システム売りしたほうがもっとマーケットで海外勢には勝てるチャンスはあると思います。あるいは全体としてそういうものを作っていけば、勝てる脈はあるのでしょうかけれども、残念ながらシステム関係の人材が少ないような印象です。

(東工大・黒川 PL) NEDOのこの「太陽光発電システム次世代高性能技術開発」には「太陽光発電システム」と書いてあります。ところがNEDOの組織上の問題だと思っておりますが、太陽光発電という傘の下にシステム系をリンクさせるようなプロジェクトがありません。実は全然ないわけではないのですが、マイクログリッドでやっているところに、探せばモノとしてはくっついていきます。ただし常にシステム側から見るようなプロジェクトにNEDO側は組織化されています。太陽光というものをどれだけ普及させるかということ、社会インフラとして大事ですから、NEDOの中で体系をもう少し変えて、それを太陽光側から問い掛けるようなプロジェクトを作っていただきたいなというのはかなり前から申し上げております。

(庭野分科会長) NEDOからコメントをお願いいたします。

(NEDO・山田主研) ご指摘はごもっともです。私どもからいくつかご紹介したいことがあります。事業環境の変化があるということは私どもも承知しております、44枚目のシートも含め、我々は非常に危機感を持っています。先ほど私からご説明した中に、ロードマップは永久に使えるものではなく、メ

メンテナンスが必要だということに簡単に触れましたが、実は現在、PV2030+を見直そうということできざまな情報収集をしているところです。いずれこの中にいらっしゃる有識者の皆さまにもご意見を伺う機会が出てくるのではないかと思います。まずそういうアクションを始めたところでございます。もう1点ですが、システムのほうへというところは私どももその重要性を認識しております。そして、黒川先生からご指摘があったように、このプロジェクトの中でシステムの部分が少し弱いのではないかとするのは我々も感じておりますし、「スマートコミュニティ」というプロジェクトとの連携も1つ課題だと思っております。決して壁があって断絶しているわけではなく、隣にいますものですから、毎日のように話はしています。産業の流れでいうと、川上・川中・川下とあれば、その川下のシステムのインテグレートはもちろんのこと、メンテナンス、オペレーションといったところの川下まで踏み込んで、太陽電池産業の戦略というものを考えていきたいと思っております。また、別の場になるかもしれませんが、ご指導のほどお願いします。

(白井委員) 埼玉大学の白井と申します。いま瀬川先生がおっしゃっていましたが、私自身も薄膜系をずっとやっていましたものですから、44ページの表を見るとかなりショックな結果です。25ページは、結晶シリコン、薄膜、CISという各種太陽電池のカテゴリーでの成果ということですが、この場で質問させていただくのが有効かどうかは分かりませんが、色々な組み合わせがあると思います。私が言うまでもありませんが、東南アジアでは色々な系の組み合わせで、色々なことをやって、効率においてはそこそこの成果が出てきているかと思えます。そういう意味では、どうしてもプロセス技術の簡素化、低コスト化につながるのだと思えます。そういった意味での「入れ子的」と言いますか、そういった観点ではいまはどういうように先生はお考えでしょうか。要するに、色々な技術があって、当然のことながらそれが材料においても色々な組み合わせがあると思います。一般論として低コスト化に向けて、各部材系による太陽電池性能・プロセス技術の組み合わせについては今後どうあるべきか、プロジェクトリーダーのお立場からそういうことに関してはどうのお考えをお持ちなのかご意見を伺いたいと思えます。

(豊田工大・山口PL) 例えばモジュール部材と太陽電池とか色々あると思います。では、技術開発をする方向性、例えば水を通さない超バリアフィルムなどを開発する方向性はいいのですが、実際のマーケットがいちばん大きいのは結晶シリコンですから、そこで結晶シリコンを使わないと売れるものがなかなかないのではないかと、そういうのが1つあります。その辺は、本当はセルメーカーやモジュールメーカーと連携してやっていくべきだと思います。たぶんシャープに限っても、結晶シリコンをやっている人はアイデアを持って、例えば有機系の特許を出すとかが、そういう人もいますから、潜在的にはあると思います。もう1つは、優秀な技術を持った中小の企業で埋もれているところは結構あります。大下先生等がコンソーシアムをやっていますが、そういったところで優れた中小企業を見出して、その技術を活用しているという方向性を取っていると思います。逆に言うと、NEDOにそういったプロジェクト、中小企業を活用するような仕組みも作っていただいたほうがいいと思います。実際にはあるのしょうけれども、地方でも同様の助成制度はありますが、1~2年、2~3年で終わりになって継続性がありません。そうしますと、せっかく中小企業が2年ぐらやってても次のプロジェクトがないと、そこでその技術開発自身をやめてしまうということなので、長期的な中小企業を活用する、逆に言うと目利きが出来るような先生の活用も必要ではないかと思えます。アイデアがあったらNEDOに色々入れてもらいたいと個人的には思っています。各コンソではいろいろ中小企業を活用したいということはあると思います。

(高木委員) NTTファシリティーズの高木と申します。いまの皆さまのお話を聞いて、私どもはシステムインテグレーターとして色々な太陽電池メーカーから太陽電池を調達しているわけですが、特に海外メーカーに限って言えば、いまはワット80円を切るような勢いでお見積をいただけるわけですが、国内メ

メーカーとしてそれに勝つために皆様努力をされている中で、どうしても国内で製造しているものは価格の折り合いがつかず、外国メーカーを使って、仕様を指示して、ODMの形で安い価格で提供して、なんとかいま日本のメガソーラーにも我々も適用している状況です。山口先生の資料6-2の43ページの中で、効率を40%ぐらいまで上げて「革新」というエリアがありますが、いまの効率が倍以上になればモジュールコストがワット50円ぐらいになるという絵が描かれています。これは効率がこれぐらいまで上がればこの価格というのは、いまの日本の製造体制の中では実現出来る可能性が相当高いのでしょうか。

*OEMとODMについて

OEM (Original Equipment Manufacturing) は相手先ブランドによる生産のことで、相手先(顧客)ブランドによる委託生産を受託する生産方式を言い、販売提携や技術提携と並ぶ戦略的提携の一つであり、経営効率を高める為に採用されます。OEM企業はEMS企業と違い、受託生産専業ではないため、自らのブランドも持っています。

ODM (Original Design Manufacturer) は相手先ブランドによる設計・生産のことで、基本的にはOEMと同じ考え方なのですが、相手先(顧客)の要求する商品を自ら設計し、相手先(顧客)ブランドで製造、供給します。

(豊田工大・山口 PL) ひとつは設置面積が半分、3分の1になるので、そういう面でシステムコストとしてはトータルでは安くなる可能性があります。モジュール部材的なものが安いものを使えば、セル素材自身高くて安くなるのではないかということで、これは集光型太陽光発電を意図しています。現状では結晶シリコンと同じようなシステムコスト200円/Wで、モジュールコスト100円/Wを切るぐらいのレベルなので、結局安くしないと集光についても売れないという状況です。ですから中小の企業は閉じてしまうというフェーズで、やはり外国製品に勝つような方策をとらないと中小企業では維持できないフェーズになっています。あとは国内のシステムインテグレーターに言いたいのは、メガソーラーというとき必ず外国製品を買いたいというようになってきますが、信頼性が保証できるのかという感じがしています。システムとして、モジュールとして抜き取り検査的なものをやれないかという感じがしています。特に震災復興ということで、「太陽光よ、お前もか!」と言われないうちに、例えば、5年に限って信頼性を抜き取りでチェックできるような体制があれば一番良いと思います。

(高木委員) たしかにおっしゃるとおりで、我々もシステムを売るだけ、構築するだけではなく、やはりその後20年なり長い間面倒をみるという必要性が出てきていますので、やはり自分たちでも診断システムを作って、お客さまにご提供させていただいております。外国製品などは最初から品質が担保されているかどうかについては、自分たちでも色々なサイトを作って評価をしている最中です。やはり今後はそういう課題はクリアすべき点だとは思っております。ありがとうございます。

(豊田工大・山口 PL) 北杜サイトのデータでも普通は結晶シリコンであれば0.5とか0.6%/年で落ちるわけですが、それが6%とか7%落ちるといふこともありますし、産総研の加藤氏のデータではさらに急激に落ちるものもあります。ですから、非常に問題だと思います。むしろNEDOのプロジェクトとして、長寿命モジュールの研究開発があってもいいのかなと思います。50年保証しますということがあると、初期の値段ではなく、50年通したトータルのコストについての保証があるといいのかなと思います。

(高木委員) そうですね、ぜひともその辺りは国のプロジェクトで検討いただくと助かります。

(東工大・黒川 PL) 私もいまのお話について参加したいと思います。先ほど言ったプロジェクトの体系が変だといういい例ですが、NTTファシリティーズは北杜サイトで素晴らしい成果を上げられたわけですが、あれはネットワークの研究の中で、若干もぐりこんでやっているという類の研究だったのかなと思っています。非常に素晴らしい結果を出されていますし、なおかつファシリティーズはあの近所に新しいサイトを作って、また同じように、例えば工法の研究をされるという話も聞いています。ファシリティーズはたしかに国に近い組織なのかもしれませんが、もっともこの危機感を1つに糾合するためには、NEDOが声をかけていただいて、太陽光発電システムサイドでそういった色々な知見を

もっともっと伸ばしていただくような、そういうきっかけを作っていただくと非常に嬉しいと思っています。ファシリティーズ自身は非常に良い成果を上げておられるので、これをオールジャパン体制に組み込んでいただきたいというのが私の希望でございます。

(高橋委員) 金沢大学の高橋です。いまの皆様のお話を聞いていますと、やはりどうしてもメガソーラーとか、効率重視、あるいはすぐにでも役に立つというような方向の話になってきていて、それは当然のことだと思います。ただ、このプロジェクトは5つのタイプの太陽電池が動いていますので、そういうことを考えると有機太陽電池、色素増感太陽電池の位置付けが見えてこなくなるというようにも感じます。1974年からサンシャイン計画が始まってシリコン系太陽電池開発の国プロが始まり、一方、有機薄膜系、色素増感系というのは2000年辺りから国プロが開始されたわけですから、かなりフェーズが違っています。しかし世界全体を見ても、有機系太陽電池においても開発競争が起こっており、研究開発の必要性があるということも間違いはないわけです。ですから、マネジメントのところできちんとその辺りの位置付けを明確化していただきたいと思います。予算配分になるとなおさらで、どう考えて予算配分をしているのかが全然見えてこないところがあると感じています。

(豊田工大・山口 PL) おっしゃるとおりです。結局薄膜シリコンが苦勞しているのは、性能をある程度出さないと生産性も含め、周辺部材の値段がバカにならないと思います。ということは、キロワットアワーの単価もそうだと思いますので高性能化と、そして長寿命化が低コスト化につながっていくと思います。企業によっては屋内使用を目指しています。しかし統計によるといわゆる結晶シリコン等が30ギガワットの年産に対して、屋内用は30メガワットぐらいの市場しかありません。そうすると、それを各社が奪い合うとたいしたマーケットではないと思いますので、パナソニックとか東芝とかが屋内系をやっていますが、結局は自社でそういうマーケットを作るくらいではいとなかなか難しいのかなと思います。むしろエコハウスなど自社でマーケットを拡大するようなコンポーネントなりシステムを作ってほしいなと思います。そうすれば徐々に展開していくというふうに思っています。

(富田委員) 先ほどシェアについての話がございましたが、OEMで例えば外国でモジュールを組み立てる時にブランドを日本の会社の名前で付けると日本製になります。そこはトリッキーなところです。したがって個別の要素技術、付加価値のところでは日本の産業がどの程度貢献しているのか、その辺りのところは細かく見る必要があるのではないかと思います。そういう意味ではこの45ページのデータは出し方として問題があるのではないかと指摘しておきたいです。もう1つ私自身が指摘したいのは、最近海外の研究所を回る機会も多いし、色々な大学にも訪問していますが、個別技術で見ますと決して日本の技術は高くはないと思います。非常にレベルは高い、技術が進んでいるというように誤解しないほうがいいと思っています。それはセルだけの問題ではなく、システム技術においても非常によくデータを取ってしまっていて、日本は例えば気象庁も含めてのデータですが、それだけの準備が出来ているのかというと、実はあまり出来ていないということも認識する必要があると思います。もう1つは、マネジメント全体のことですが、これはNEDOや国だけの問題ではないと思いますが、こういう計画を4年単位などで作って、そして効率を何パーセントに上げていきたいと思います数字を出して目標を決め、その目標に向かってまっしぐら進んでいるというのはいいと思いますが、実際に先ほどの44ページのデータもあります。モジュールのコストというのは既に50セントを切っているところにまで来ていますので、こういう表が存在すること自体が異常な事態で、これはシステムコストとして読み換えないといけない時代になっています。そういう意味で、何年前に作ったその数字を守っていく、あるいは研究資金を管理していくというやり方が既に時代遅れではないかと、そういう点も指摘したいです。これはNEDOのマネジメントも含めて見直さないといけないのではないかと思います。例えばアメリカの場合、NRELの辺りは非常に有力な技術と見るとドンとお金を投じてきます。失敗、成功はあるとは思いますが、数十ミリオン単位のお金がある企業に投じられると

いうことはざらにあるわけですし、そういうことは日本では実際にあまり行われていません。こういう意味での予算の管理の仕方、資源配分の仕方ということ自体が、やり方として時代にマッチしていないのではないかと思います。いまのソーラーの事情から言いますと、利益を出しているところはほとんどありませんし、相当の大手も潰れるような状況ではないかと思います。したがって、そういうことが起こってきたらどうなるのかということはぜひ考えていただきたい。最後に黒川先生にもちょっとお願いしたいところですが、ご承知のように霞が関デモがありまして、原発がどうのこうので昨日も出ておりますが、そういう国家のエネルギー戦略に対する研究といったところは実はあまりありません。フラウンホーファーの研究所に行きますと、やはりかなりの人数をかけてエネルギーの供給体系がどうしたら国家的にメリットがあるのか、どういう付加価値がその国家に残るのか、そういう事も合わせて研究しています。フィードインタリフが登場したというのはそういう中の1つです。日本はそれをフォローしているだけで、その想定した結果を持たずにそれを導入しているということ自体も問題ではないかと思います。従いまして、そういうふうなエネルギーの供給システムをどうするかということ、もう少し真剣に研究しなければいけないのではないかと思います。以上でございます。

(庭野分科会長) ありがとうございます。非常に重いコメントではないかと思います。あまり短時間では答えられないかもしれませんが、まだ議論の時間がありますので、ちょっとしたお答えであればお願いします。

(NEDO・山田主研) 長時間でも答えられないのではないかと思います。ご指摘ももっともでございます。その前の委員の先生方のコメントも含めていくつかコメントをしたいと思います。エネルギー全体を見てちゃんと考えるべきではないかと、最後に富田先生からもお話がありましたが、ここは先ほど申し上げましたが、国のエネルギー基本計画の見直しがございますので、まずは必然的にいまの技術開発戦略は見直さなければいけないと考えています。また、それがなくても前回作ってから年数がたっていますので、これは毎年でも見直さなければいけないものですから、そこは見直していきたいと考えています。知恵が足りない部分もありますし、富田先生からもご指摘があったようにフランフォアやNRELのように十分な検討が出来ているかという、若干自信がないところもありますが、そこは皆さまのお知恵を借りながらいいものを作りたいと考えています。一度決めた目標に対して固定的なマネジメントをしているのではないかとのご指摘ですが、ここも反省すべき点は多々あるのですが、言い訳っぽくなりますが、我々もその問題は感じていまして、それに対するアクションとして1つは戦略の見直し、また今回の中間評価でいただいたコメントなどに基づいて見直し、来年度以降の体制を考え直さなければいけないと思っています。もう1つですが、今年度も追加公募を行いました。やはり新しい実施体制で取り組みたい、あるいはアイデアがあればそこも応援したいという考えを持って追加公募を行い、7テーマを採択しました。ここにつきましては、もう少しNEDO側からの産業界に対するアプローチや働きかけ、メッセージの発信といったものがもっと強く、広く行えればよかったのかなという反省はありますが、それはそれとして、そういう取り組みは今年度もやっているということで、少しそういう努力もご評価いただければなと思っています。また、エネルギー戦略という意味で、1つ我々が反省しておりますのは、有機タイプの太陽電池のお話ございましたが、まず技術開発のフェーズとしてまだそれぞれフェーズが違うのだからという援護もいただいたところですが、これまでNEDOの技術開発の考え方が系統につなぐというところに少し偏りすぎていたかなという反省は持っております。これはこれで非常に大事と、エネルギー政策としてやっていくというのが根本にございますので、系統につなぐためにどうあるべしというメッセージを全面に押し出すということは大事だと思っていますし、いまのエネルギー政策の見直しの観点からもここは守っていくつもりです。そんなに技術は進んでいないというご指摘もありましたが、もう1つ産業の観点、新しい

技術を生み出し続けていくという、日本の競争力の源泉として技術開発を進めていくという立場からすると、高付加価値産業の創出という点でそれぞれの太陽電池の持った特性や特色、「売り」ですが、いいところを伸ばすというアプローチも引き続き行っていきたいと思ひますし、次の技術開発ロードマップの中では系統につなぐというだけではなく、そういったアプローチについても触れてまいりたいと思ひます。それに伴って新しい事業の設計も考へて参りたいと考へております。これは十分に議論が煮詰まっているわけではありませんが、そのようなディスカッションを内部でもしているところではあります。この点だけご紹介させていただきます。

(庭野分科会長) ありがとうございます。先生方はそのほかにもコメントがあるかと思ひます。そういうコメントはこれから色々評価書の中に書いていただきまして、少しきついコメントでも結構だと思ひます。やはりこういう太陽光発電であるとか、このプロジェクトをいいものにして、世界に勝てるような技術を作つて、売るといふことは非常に大事ですので、そういう意味でこういうようなところが問題だ、こうすべきだといふのは評価書の中にも書いていただきたいと思ひます。

【非公開セッション】(非公開のため省略)

詳細説明に先立ち、非公開資料の取扱について評価部より説明があつた。

5. プロジェクトの詳細説明

5-1 結晶シリコン太陽電池

- ・極限シリコン結晶太陽電池の研究開発(豊田工業大学)
- ・マルチワイヤーソーによるシリコンウエハ切断技術の研究開発(コベルコ科研)
- ・太陽電池用ポリシリコンのシリコン原料転換の研究開発(新日本ソーラーシリコン)
- ・太陽電池用シリコンの革新的プロセス研究開発(太平洋セメント)

5-2 薄膜シリコン太陽電池

- ・次世代多接合薄膜シリコン太陽電池の産学官協力体制による研究開発(太陽光発電技術研究組合)
- ・高度構造制御薄膜シリコン太陽電池の研究開発(カネカ)
- ・薄膜シリコンフィルム太陽電池の高速製膜技術の研究開発(富士電機)

6. 全体を通しての質疑(初日分)

【公開セッション】

7. 初日を終えての「まとめ・講評」

各評価委員から以下の講評があつた。

(廣瀬委員) 山形大の廣瀬でございます。非常に努力されている姿を拝見して感銘いたしました。私は薄膜シリコンから見させていただきましたので、そこだけのコメントで大変恐縮ですが、色々なグループが連携し合いながら一生懸命目標を達成しようという意気込みを感じました。ただ、目標が非常に高いということ、また光劣化をどう取り扱うかという大きな問題に対して、どれぐらいリスクを上げて、それに対して対応策を具体的にどのように考へられているかという、その努力というのが表現として見えてこなかったというのがありますので、出来るだけ大きな努力をせず、乱戦にならないように開発の方向性を示していただきたいと思ひました。

(富田委員) 私もずっと聞かせていただきまして、皆様の研究者の方のご努力というものをよく感じました。その点では大変感謝申し上げたいと思います。1つ気付いたことを申し上げますと、やはり最近日本は技術開発のスピードが遅くなっています。これはコンプライアンスだ、リスクだという問題がありまして、スピードアップが出来ていないというのがちょっと心配です。もう1つは、コンソーシアムなど色々出来ていますが、イノベーションを起こすためには集めた技術と資金力というのは必要でございまして、この辺りのバランスをどうするのかということがあります。いろいろ研究された技術は各会社にはあるけれども、その会社に大量に資金を投入する方法はいま日本にはございせんので、全体に集めた技術が飛散してしまうという危険性をどう考えるのかということがあると思います。それからスピードアップの問題でもう1つ続きがありますが、いったん書類を書いて、4年計画とか、5年計画とか、これは会社に所属している時に良くやっていたのですが、いささかこれはその計画が承認されれば惰性になる恐れがあります。それをこういう評価という形で見直しているのでしょうけれども、その評価そのものが惰性になっている可能性もあると、そういうふうに思いますので、やはりもう少し有機的な予算の使い方、あるいはプロジェクトの編成の仕方というものを考えていただきたいと思います。それから、先ほどのその書類等に関連して、17%とか15%というのがありましたが、その数字を追いかけることによってかえって非効率になっている件もあると、そういう意味では先ほどの惰性の悪影響が出ているのかしれません。そういう意味ではもっと弾力的な目標設定というものも必要ではないでしょうか。

(高橋委員) 最初に山口先生から、前のプロジェクトの反省からオールジャパンでやる体制を作った、という発言がありました。そういうことに対して、果たしていままで独立にやっておられたところが本当の意味でコンソーシアムを組めるのかなと思って、結晶シリコンと薄膜シリコンのお話を聞かせていただきましたが、非常にうまくやっておられるなと感じました。特に結晶シリコンは原料から最後の生産性、コストまで一貫したそれぞれの役割を明確にされてやっておられましたし、個々にも非常に努力されてきました。いっそうそれを推進していただきたいと思います。薄膜シリコンについても非常に個々に一生懸命やっておられて、それなりの協力関係はあるということを確認いたしました。しかしながら、成果はこれからということで、いっそうのご努力をお願いしたいと思います。以上です。

(高木委員) 本日、皆さまのお話を聞かせていただきまして、オールジャパン、コンソーシアムということで、たくさんの世界最高レベルの技術が本事業の中で開発されているということがよく分かりました。ただ、今のメガソーラーの事情を見ると、海外メーカーがコストを含めて台頭している中、ぜひとも今回のプロジェクトを通じた開発が数年先に実用化されるのではなく、1年でも2年でも早く実用化に結び付けられて、日本メーカーが量産化にうまく結び付けて、そして市場を取れるように製品化につなげていっていただきたいと考えております。以上です。

(白井委員) 今日は各社から成果を発表いただきまして本当にありがとうございます。非常に勉強させていただきました。結晶シリコンは着実に、分かりやすい形で山口先生にご紹介いただきまして非常にためになりました。私自身は薄膜ですが、薄膜に関しては、なかなか見えにくいところがあると思いますが、個人的には、色々な要素技術など基盤になる技術はけっこう薄膜シリコンから出ているのではないかと考えています。従いまして、今日のカネカのモールドの話も含めまして、とにかくあの様な技術をどんどん取り入れて、今後は薄膜シリコンのみならず、化合物、有機シリコンに、派生的に、エクステンションした形で、従来のこれが横割りとするれば、縦割りのなアプローチというものが何かこれから生まれてもいいのではないかと感じました。

(垣内委員) 結晶シリコンにしましても、薄膜シリコンにしましても、個々の技術レベルは非常に高いと感じました。こういう分野は日本が世界の中で技術的には優位に立っていてほしいと思います。今日の発表を聞いていて、目標の数値、目標レベルは明記されていますが、それが世界の中でどれくらいのレベルにいるかというのが知りたかったというのが個人的な感想です。もちろん分からないところもあると思いますが、日本が明らかに優位に立っている点、逆に日本のほうが足りない点、その辺りを可能な限り明らかにしていただけるともう少し分かりやすかったのではないかと感じました。以上です。

(工藤分科会長代理) 皆様が言われているように、個々の話を聞いて、その技術力はけっこう進んでいる感触は受けました。ただ、いま言われているところは私も感じていて、ややもすると一度トップをつかんだ技術、今日はシリコン系でしたが、そういう技術は少しあぐらをかいてしまうと、世界のスピード感というのを感じられなくなるということがあるので、特に今回の発表の中でも一部は出ていましたが、それぞれの世界の中での位置付けが少し足りなかったかなという気がしました。そういうことは往々にして鈍感になりがちですから、常にその分析、抽出というものをやっていかないと日本は負けてしまいますよ、意外と世界は速いですよということが気になったところです。もう一つは、世界のほうは意外と結束力が強いので、どうも日本は「粘り」ぐらいしか残っていないのかなというのが危機感を感じるところです。昨日の世論調査でもありましたが、いまのタイミングにおいてエネルギー問題は国民も非常に興味を持っている分野で、次のエネルギーとして第1に挙がるのが太陽電池であるし、それを引っ張って行くのは、ほかの技術がたくさんあってもどうしてもシリコン系が引っ張って行く技術だと思うので、本日に関してはそこで粘り以上のプラスのところのオールジャパンを期待したいということを感じました。以上でございます。

(庭野分科会長) ありがとうございます。だいたい皆様の意見と私も同じですが、ただ個人的なことでは昨年震災がありまして、仙台で大震災を経験いたしました。何がいちばん大変だったかということそれはエネルギーです。やはりこれをどうするか。その後に原発がありました。ある意味では震災以上にあの原発というのは大変でした。その原発の事故で、いまは大きな問題としてエネルギーをどうするかという状況になっていまして、そういう意味ではこの太陽電池をはじめとする再生可能エネルギー、これを早くなんとかしないといけないという思いを私の中に非常に強くしているところです。今日いろいろとご説明いただきまして、非常によく頑張っておられるということですが、その中で何人かの先生方も言われましたが、コンソーシアムを作ったということで、いままでやっていなかったような企業間の連携も出来るようになったことは高く評価できるのではないかと考えています。それで何が出来たというところをこれから一緒になって、こういうのが出来たということ、これで世界と戦えるという具体的なものが出てくると、この事業をやっていた価値がより高まるのではないかと思います。それから、目標のところですが、非常に簡単に達成したものと、いろいろ頑張っておられると思いますが、その目標設定もあまり高くしない、あるいはあまり低くしないというところを常にちゃんと考えながらやっていくことも大事なかなと思います。工藤先生がおっしゃったと思いますが、あまり高い目標を設定してしまうと逆に遅くなってしまいうということが十分にあり得ることですので、その辺りの目標設定を、このプロジェクトが走っている間でもいいと思いますが、柔軟に見直していくということが大切だと思います。また、世界の情勢はだいぶ変わっています。日本も変わっています。午前中の議論の中にもありましたが、このような情勢の変化に対し、このプロジェクトがどのように対応していくのかということも、いま一度考え直してみるということも大事ではないかなというのが本日感じたところです。だいたい皆さまの意見はこのようなことだったと思います。今日、

我々委員は色々なことを申し上げましたが、推進部、プロジェクトリーダーの山口先生、黒川先生のほうで何かひと言ございましたらお願いいたします。

(豊田工大・山口 PL) 色々ご意見ありがとうございました。オールジャパンにつきましては、前の未来技術開発のときの庭野先生や皆様のご意見で、オールジャパンでやるべきだという意見を私は持って、NEDO も承認してくれて、各企業は正直言って渋々ついてきてくれたという感じですが、結晶シリコンでも薄膜シリコンでもようやくみんなで一緒にやろうという雰囲気になったのは、逆にあのときのコメントのお陰でありまして、ありがとうございましたと言いたいと思います。個別に先生方のご意見にコメントしたいのですが、なかなか難しいところです。再生可能エネルギーのほうはおそらく黒川先生がされると思いますので、薄膜シリコンに関してですが、個人的には先程の PVTEC の報告の 22 ページにありますように、2025 年に 18% のモジュール効率で 260W のモジュールとなっていますが、目標設定は高いかもしれませんが、あまり目標が達成出来なくても努力するようなテーマがあってもいいのかなという感じがあります。これを 5 年ぐらい前倒しにしたような研究開発を知恵を出し合っただけでオールジャパンでやってもらってもいいのかなと思います。次のフェーズかもしれませんが、そのように個人的には思いました。それに関して、最初に廣瀬先生からあったお話で、薄膜シリコンの方向性がよく分からないということでしたが、個人的にはアモルファスシリコンのトップセルの光劣化の完全抑制が出来れば、何とかなるし、生産性も上がるのではないかと思います。JST の CREST ではカネカの山本様や、阪大の岡本先生にアモルファスシリコンのセルの光劣化の完全抑制のテーマをやってもらっています。これも JST ですから、結果は努力をしてほしいということを出しています。それが本当に達成できればブレークスルーになるかもしれないという思いがあります。歴史的には産総研も松田様や近藤様たちはそういう知見を持っているので、オールジャパンで NEDO プロでもやれるテーマだと思っています。たしかに世界レベルでの位置付け、スピード感は私どもも認識しています。それからプロジェクトの柔軟性についてですが、例えばカネカの話で言うと、効率よりも実機モジュールでの高出力化でして、そういった方向性はそれなりに個人的にはいいと思っていますので、そういう目標設定の見直しみたいなものはあってもいいのかなと思っています。とりとめないお答えになってしまいました。

(東工大・黒川 PL) 私が直接いろいろお話を聞かせていただいている各プロジェクトについては明日の課題として予定されています。今日の午前中からの議論のところと思うところを 1 つ、2 つ述べさせていただきます。まず先程お話があった再生可能エネルギーに対する期待感ですが、エネルギー基本計画の見直しが進んでいて、色々な方の意見としては体制として再生可能エネルギーに対するニーズ、世の中の期待は非常に膨らんでいて、原発をどう扱うかは別として、いままで実績としては 1.1% しかなかったわけですから、そこはケタの違う話になっていくのかなと感じています。私はだいぶ昔、2006 年に再生可能エネルギー国際会議というものをスタートしまして、次回の 2014 年に国内で 3 回目の会議をやります。明日、そのオーガナイズングコミッティのキックオフミーティングが実は午前中にございまして、明日の午前中は失礼させていただきます。そのときに、皆様にお話をしようと思っていることを先にお話しします。私が 2006 年にスタートしたときは、非常にロングスパンで見れば再生可能エネルギーは、人間は捨てることはできないと、長い目で見たらやはり必要ですというのを政府の部会でしゃべったことがあります。そういう精神で再生可能エネルギー協議会というものを作り、スタートしました。ただしそのときに独走していたのは住宅を中心とした太陽光発電でした。風力なんかでもなかなか苦しくて、地熱なんていうものは勢力がバラバラになってしまったという状況でしたが、スタートのときに 10 分野、その後 12 分野まで膨らませて、いまは再生可能エネルギー

ーの色々なものを並べるような、そういう国際会議に育っていると思っています。そういう中で、それまで経済産業省は再生可能エネルギーとは言っていられなかったのですが、2010年に「再生可能エネルギー白書」をNEDOから出されています。そこにありとあらゆる再生可能エネルギーが書いてあって、こういう時代がそういうふう運動したのかなと思っています。明日の挨拶で言おうと思っていることは、フランスでツールドソルというのがあって、自転車競技で風よけに前に1人ずついて、順番に風除けで交代していくというレースです。昔は太陽光が中心でした。再生可能エネルギーはそういうレースがしばらく続きますよ、というのが第1回の再生可能エネルギー国際会議のときの私の挨拶でした。しかしその12分野が今や手を横に広げて、お互いに手をつなぎながら並んでまっすぐに揃って行きましょと、いよいよそういう号令をかけようと思っています。そういう時代が来ているので、その中のいちばん重要なコンテンツが太陽光ですから、これからもよりいっそうやっていきたいと思っています。きょうの午前中の最初の討論でありましたように、太陽電池のプロジェクトは、かなりしっかりとした充実した体系で、ある程度ロングレンジの視点で出来ていますが、肝心のシステム系が私の不満の種でありまして、ぜひともその太陽にリンクした、あるいは再生可能エネルギーにリンクした社会インフラシステムという、そういう立場のプロジェクトがぜひとも欲しいと思います。本日お見えになっている経済産業省の方は、あのお二人は太陽光がご専門ですが、いまのところは太陽電池のプロジェクトしかおやりになっていないと思いますが、システムのことにも触れてもらいたいという希望があります。

ちょっと話が長くなりましたが、目標の設定ですが、PV2030やPV2030+をどうやって作ったかという、これはやはり新エネルギーというところのプロジェクトとして立てていたわけなので、国のエネルギー政策にどれだけ寄与するかという観点で作らせていただきました。そうしますと、現実がいま流通しているエネルギーコストはどうかというと、家庭用が23円、工場などで14円、事業用で7円です。そこからスタートすると、先ほど皆様をご指摘されたような、非常に高い目標数値をあげないとコスト計算に乗らないこととなります。そういう中、例えば有機などのまだ非常に初期の段階のものがいきなりそういうところで使えるわけではないのですし、結晶は過去ずっとニッチなマーケットで育ってきました。日本の多くの太陽電池メーカーもそういうところから順番に育ってきているわけでありまして、やはりそういう産業環境がないと新しい技術は入ってきません。ですから、私は最近、NEDOには申し上げていますが、ぜひともこのプロジェクトの基本計画をもう1回見直していただいて、そういうところはもう少しニッチなものにも向かえるような書き方があるのではないかと申し上げます。薄膜は明日審議されると思いますが、よく調べていくと、それぞれのテーマの持っている認識と基本計画を比べるとそこはかなりギャップがあります。そういう問題を改良すべきのかなと皆さまのコメントをいただいて思いました。どうも大変長くなりました。ありがとうございました。

(庭野分科会長) 山口先生、黒川先生、明日の最後にまたありまして、また別の方も参加されていますので、委員の先生方も再度でも結構だと思います。では、最後に山田主研からお願いいたします。

(NEDO・山田主研) 今日は長時間にわたりどうもありがとうございました。いま委員長からお話がありましたように、まだ明日もございますし、中締めだと思っておりますのであまりコメントは差し控えたいと思います。今日ご指摘があったように環境が変わったわけですから、目標や計画、実施体制も含めて柔軟に見直したらどうかというご意見については、私どももそのように思っております。評価のコメントの中で前向きなご指導をいただければ、それを参考にして改善してまいりたいと考えておりますのでどうぞよろしくをお願いいたします。明日も引き続きよろしくをお願いいたします。

(庭野分科会長) では、どうもありがとうございました。これで本日の分科会を終わらせていただきます。
長い時間、委員の皆さま、関係の皆さまどうもありがとうございました。

8. 事務連絡等

分科会 2日目

【非公開セッション】(非公開のため省略)

詳細説明に先立ち、非公開資料の取扱について評価部より説明があった。

9. プロジェクト詳細説明(2日目)

9-1 有機薄膜太陽電池

- ・有機薄膜太陽電池モジュール創製に関する研究開発(東芝)
- ・光電荷分離ゲルによる屋内用有機太陽電池の研究開発(パナソニック)

9-2 色素増感太陽電池

- ・三層協調界面構築による高効率・低コスト・量産型色素増感太陽電池の研究開発(シャープ)
- ・高効率・高耐久性色素増感太陽電池モジュールの研究開発(フジクラ)
- ・フィルム型軽量低価格色素増感太陽電池の研究開発(ゲンゼ)

9-3 CIS等化合物系太陽電池

- ・CIS系薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発(昭和シェル石油)
- ・フレキシブルCIGS太陽電池モジュールの高効率化研究(富士フィルム)
- ・反射式集光型太陽光発電システムの研究開発(三井造船)

9-4 共通基盤 14:40~16:05(140分)

- ・超ハイガスバリア太陽電池部材の研究開発(三菱樹脂)
- ・ロールツーロールプロセスを可能とする封止材一体型保護シートの研究開発(積水化学工業)
- ・太陽光発電システムの据付簡便化に関する研究開発(デュボン)
- ・発電量評価技術等の開発および信頼性及び寿命評価技術の開発(産業技術総合研究所)
- ・PVシステム汎用リサイクル処理手法に関する研究開発(北九州産業学術推進機構)

10. 全体を通しての質疑

(公開セッション)

11. まとめ・講評

各評価委員から以下の講評があった。

(廣瀬委員) 私は今回の評価から初めて参加ということで、空気を読めていないところがあるかもしれませんが、どうしても役目柄、中間目標の達成度、現状に対して最終目標をどれくらい達成出来る見込みがあるのか、そういったところを評価する立場上、目標が達成出来ないものに対してどのような道筋で達成するのかという戦略が分からないものを中心に、だいぶ質問をさせていただきました。よく頑張っているものもありますが、ちょっとどんぶり勘定で、ここまできているからこれを組み合わせればこうなるだろうとか、非常に感覚的に説明されている部分がいくつか見受けられました。これは国民の税金を使ってのプロジェクトですので、将棋や囲碁という打ち手、戦略というものを出来るだけ分かりやすい形で提示して表現してほしいと、素直に思いました。それから各個の努力は大変なものだと思いましたが、やはり各々で足りない技術が比較的共通して見えるわけです。例えば信頼性の部分ではガスバリア性とか、そういったものはかなり共通した悩みとして皆様お持ちである。そこはやはりプロジェクトリーダーの先生のマネジメントに期待して、相互に加速するような姿を最終目標で私は見たいと思いました。これは率直なコメントです。

(高橋委員) 昨日から始めて、こういう場に評価委員の1人として臨席させていただいたわけですが、総じて皆様非常によく頑張っているというのが率直な感想であります。その中で、いまの廣瀬先生の話ともダブるのですが、このプロジェクトからオールジャパン体制ということでいくつものコンソーシアムがそれぞれのプロジェクトに登場し、現実そういう取り組みがなされたということでこの2年半きている。それなりの組み合わせの成果も出ていますが、こことここを組み合わせると出るでしょうと、そういうどんぶり勘定的なところ、期待感も当然持ち合わせていらっしゃるのですが、その辺り、あとの2年間でどのようにマネジメントしてもっていくか、そこはこのオールジャパン体制を成功させる上でも非常に重要なところですので、是が非でもつなげていただきたい。それと、昨日の午前中に私が発言したことにつながりますが、5つのタイプの太陽電池があって、すべて通して聞きますと、系統電力につながるものもあれば、出口を見て、出口もたぶん省エネ技術につながるのだと思うのですが、その辺り、いままでのNEDOと違って一辺倒ではないなという感想でございます。となれば、それぞれの太陽電池に対する特徴をもっともっと明確にして生かしていく、その辺りがまだ昔のNEDOのプロジェクトを引きずっている感があって、発表者の方もまたご遠慮なさっていたのかもしれませんが、十分伝わってこない部分がありました。その辺りを事後評価としては書面コメントでやらせていただきたいと思えます。以上です。

(高木委員) 本事業はシリコン系の短期的なテーマから有機系の長期的なテーマまで非常に多岐にわたっているわけですが、本当に各テーマで世界最高レベルの成果を上げられているということがよく分かりました。あとは早期に実用化出来る技術開発も数多く達成されておりますので、本事業の意義が深いことがよく分かりました。ただやはり世界の技術動向というものは大きく進展していると思いますので、開発した技術をコスト、効率の点でバランスよく実用化技術に盛り込んでいただけるよう、今後も体制の強化、費用の投入も鑑みながら、実用化技術に結びつけていただきたいと考えております。以上です。

(瀬川委員) 2日間いろいろ研究の成果をおうかがいいたしまして、どのグループもそれぞれ与えられた環境の中で最大限の努力をして研究を進められている状況は非常によく分かりました。一方、日本は昨

年の震災以降エネルギー事情がかなり厳しい中で、太陽光発電に対する期待は過去にないくらいものすごく高まっているわけです。再生可能エネルギーの中ではもちろん風力、地熱、色々ありますがその中でもやはり日本の場合は、太陽光が非常に期待されていて、かつ、NEDO も長年にわたってその研究を後押しして進めてきたということもあるわけですが、一方今度は見方を変え「では国際的に日本の太陽電池がいまどういう位置にあるか？」というと、かつて世界一だったものがいまは10%から場合によっては5%を切るくらいの世界シェアになっているという非常に危機的な状況です。もちろんこのプロジェクトがNEDOの中核プロジェクトであるのは当然のことですが、その上でNEDO全体の評価を考えたときに研究開発促進へのNEDOの寄与がいまのような状況で本当にいいのか、そここのところをもう少し強気に後押ししていなければいけなかったのではないかとということが、今度はNEDO全体の評価としてどうしても出てくるところだと思うわけです。そこまで考えて今の研究を振り返ると、がんばっていただいているのはよく分かるのですが、もっと緊張感を持ってやっていかないと、いまはグリーンイノベーションということでかなり予算的な優遇はしていただいているわけですが、そのうち、今度は逆に国民から見放されてしまう。ぜひ、本当に真の意味のオールジャパンでこの研究を推進し、緊張感を持って進めていただくということをぜひお願いしたいと思います。

(白井委員) 2日間、私も初めて参加させていただきましたが非常にホットなといいますか、最先端のお話を聞くことが出来て非常に感謝しております。皆様お話しされたように成果ということに関していえば皆様非常に優れた成果を出されているので私がどうのこうのと言うことはないのですが、1つ2つ感じたことは、今回かなりオールジャパンということが出ていたのですが、構成されているメンバーは私なんかから見ると大きなメーカーと大学という形がほとんどだと思います。特に、例えばある会社が昔からある、ゼロからやって初めてうまくいったような、そういうことを実際に経験されているような会社が入っている場合というのは、やはりその会社の売りといいますか、独自の技術とのリンクで何か、その会社だからそういうところに貢献出来るという、もう少し見やすい位置づけがあっても良かったのかなと思いました。それとこれは私自身が色々なところで少しお話ししたときに思ったことですが、そういう意味ではどうしても組織が大きくなってしまいますので、これは別のプログラムでNEDOであるのかもしれませんが、やはり中小企業は参入したいのだけれどもどうしてもこの時期からやるのはなかなか難しいということをよく耳にします。そういった意味で、これはどちらかというと各地域の経済産業省の管轄なのかもしれませんが、そういったところにも、特に材料系なんていうのは正直いうといまのカテゴリーを打破するということからするともっといい、何かホットコンダクターが出てきたり、そういうところがポンと出てきたときに何かブレークスルーが出てくるのだと思うわけですね。確かにいま有機系とかというのは段階としては確かにそうなのですが、私はやはり次の、例えばアモルファスシリコンに代わるフォトコンダクターが出てくるとか、そういうブレークスルーをどうしても何か求めたい。そのときに日本はいまどういう段階なのかということを考えると、やはりこの2日間を見ても、どちらかという短期的な成果を求めているような感じがして、これは私個人の感想かもしれませんが、そここのバランスをこれから、ちょうどいいというのはなかなか難しいのですが、組織していただければありがたいなと、個人的には思いました。どうもありがとうございました。

(垣内委員) 似たようなことになりましたが、昨日のシリコン系の太陽電池の場合と同じように今日の有機太陽電池、色素増大太陽電池、CIS にしましても、各グループが非常に優れた成果をたくさんだされているというように、率直に感じました。私、前のプロジェクトに続いて2回目なのですが、今回のプロジェクトに関してはやはりグループごとにコンソーシアムを組んで、お互いに役割分担して有機

的に連携してうまく研究を加速させているというような印象を、前回に比べると受けました。ですが、やはりまだ同じ分野の太陽電池にしましても複数のグループが似たような研究の要素で実際に開発されていますので、プロジェクト全体としてはもう少しその辺りもうまくやればさらに研究が加速するかなというような印象です。個人的に去年の原発のあの様なことを受けて、原発をやめて太陽電池にしたらという声を普段よく耳にするのですが、そういう質問をされたときに答えに窮するのですが、なぜすぐに太陽電池に置き換えられないのという。ですから太陽電池の研究開発はもっともっと加速していく必要があると思いますので、その辺りを期待しております。よろしくをお願いします。

(工藤分科会長代理) もう皆様が言われたことで私が言おうと思ったことがすべて出ているので、あえて昨日も言ったことを繰り返させてもらうことから言うと、やはりいまの世論からいってもいちばん期待感のある分野ということを強く自覚して、決して順風が吹いてきたという研究実施者にならないということで、気を引き締めてやっていただきたいと思います。NEDO というのは限られた時間と予算で、特に先ほども出ましたように、ある期間の中で実用化に向かっていくというのはいたしかたないと思うのですが、その中でも将来の芽があるものに対しては決して摘まないというようなものを示すためにも、たしか廣瀬先生が言われたように、やはりその道筋をしっかりと立ててもらいたいなということも私印象に残りましたので、その辺りをしっかりと、それに向けて着実に出ているという、そういうところは評価者から思うと、今後とも続けていただきたいということで、皆様の今後の進展を期待しております。

(庭野分科会長) ありがとうございます。私はますます話すことがなくなってきたのですが、私は前回のプロジェクトの評価にも参加させていただきまして、オールジャパンは大事というような評価結果を出させていただいて、今回はその後継のプロジェクトで、そういう意味ではコンソーシアム、色々な研究課題についてコンソーシアムを作ってやってきたということで、一部非常にうまくいっているところもあるというところが見受けられました。ただこれから、これが本当にうまく機能したというようなことをもう少し明確に出していく、先ほど廣瀬先生、工藤先生も言われたように、これからそれをさらに進めていくためには、こういうコンソーシアムで色々なグループが一緒になってやるときに、こういうふうな形でやっていけばこういうふうな目標が達成出来るのだというその道筋をしっかりと立てていかなければいけないのではないかと思います。それから、今回は基盤技術という新しいグループも入りました。以前は別々にやっていたものを1つに纏めてやったということで、それに対する成果を纏めたことによって何がよくなったのかということをもっと明確に出していったらいいのではないかと思います。残りの2年間で基盤技術でもいくつかすばらしい成果が上がっていた、それを太陽電池にうまくフィードバックしていくことも大事ではないかと思いました。それから、前回の評価では有機系の太陽電池はかなり厳しい評価であったと山口先生も言われました。たしかにあのときは3年か4年前でしょうか、あの段階ではやはり厳しかった。例えば他の太陽電池に比べて変換効率とかもろもろの点で、そういう評価にならざるを得なかったというところがあるのですが、今回の成果を色々おうかがいしまして、そういう意味では急激に進展したところがあると私は思っております。いままではシリコン化合物だけだったのが、有機も何とか産業化につながるのではないかなというような、そういう徴候も見えてきたところがありますので、ぜひ有機のほうもこれからさらに進展してもらいたいと思っております。私のほうはだいたいそんなところですが、委員の皆さま方から色々な有意義なコメントをいただきましたので、ぜひそのコメントを生かして、先ほど工藤先生が言われたように、これは国民の税金をいただいている、再生可能エネルギーが脚光を浴びているという期待されていますので、ある意味でお金もきていると思うのですが、次は、このようなお金を

もらったからには成果ということ、これもまた厳しく、いまの日本の状況を見ると経済的にも厳しいわけです。そういう中で厳しい目というのもその次にあるということもしっかりと頭の中に入れて、瀬川先生もおっしゃいましたが、これからも気を引き締めて研究を進めていただきたいと思います。以上です。最後になりますが、プロジェクトリーダーの山口先生、黒川先生のほうから何かご意見がありましたら。あと推進部のほうから何かコメントがありましたらお願いいたします。

(豊田工大・山口 PL) 2日間にわたってどうもありがとうございました。前の未来技術のときにも、むしろ評価結果を踏まえて色々な私どもの思いをオールジャパンでやるということで展開させてもらった経緯があります。最初にプロジェクトリーダーの指導力を期待するというで非常に責任を感じているのですが、もう1つやはり技術開発だけではなくクリア出来ない部分もあるので、システムとして何か手を打っていかねばいけないということを非常に強く感じています。先程黒川先生がりサイクル等のところでおっしゃいましたが、そういう点を感じています。あと有機系では、結晶シリコンと競合するのでは、瀬川先生がおっしゃったようにやはりいまのところ高いものについてしまします。性能と信頼性を考えると、やはり国内使用のニッチなものが最初の大きなマーケットのかなと思って、そうすると材料や部材構成、モジュール構成もがらっと変わって安いものが出る可能性もあるので、NEDOとしてはその切り口というか技術開発を展開する方向になるかもしれません。あと中小企業の手当てというか、ご意見があったのですが、たぶん結晶シリコンとか薄膜シリコンの分野ではそういった、有機系もそうかもしれませんが、けっこう優れた技術とか部材を持っている中小企業もあるので、そういう発掘に努めているはずですが、それだけではまだ不十分なので、今後もNEDOとしてはそういった手を打ったほうがいいのかもありません。あとは、共通基盤技術については非公開の部分でも申し上げましたように、モジュールメーカー、システムインテグレーターと一部協業で事業の展開も考えていますので、今後もそういう方向でNEDOとして指導していくのだと思います。以上です。

(東工大・黒川 PL) 2日間いろいろ有意義なご議論いただきまして、普段抜けていたポイントもいくつか感じた次第です。昨日の最後のところで少ししゃべりすぎたので今日は簡単なお話にしておきます。昨日はシステム系が太陽電池の研究に欠けているという観点をお話ししたと思いますが、皆様に端的なお土産情報みたいなものが1つあります。それは「ソーラースーパーステイト」というウェブサイトがありまして、スイスに本部のある、どれくらいの大きさの組織が分かりませんが、そこで発表しているデータがあります。1位がドイツ301、2位がバチカンシティ267、3位がイタリー210、そのあと4位がリヒテンシュタイン195、5位がチェッコリパブリック185。これは何か分かりますか。

(瀬川委員) 1人当たりの。

(東工大・黒川 PL) そう。瀬川先生がもしかしたらおっしゃったことがあるかもしれませんが、人口1人当たりの各国の太陽電池の量です。これはワットベースです。ドイツは1人当たり301ワットです。日本は何位かという、ずっと下のほうにいきまして、フランスが12位で40です。13位がスロベニアで40。日本は14位で38になります。その下にスイスが27ということで、昨日実は500万キロワットを達成したと喜びの声を上げましたが、まったく小市民的な喜びであって、実は現実はこのことなのです。日本はまだまだ太陽電池が入っても全然おかしくないわけです。特に日本のような状況で、色々な議論はあるけれども、とにかく、村上課長が昨日、別の場所で話されたときに、少なくとも太陽光はまだまだどんなことがあっても入っていくという見通しを述べられていましたが、私もそう思います。昨日今日の議論を聞いていて、いままで太陽光のロードマップはエネルギーの価格に注目して非常に単一観念で作ってきたわけですが、この2日間の議論で、やはり色々なレベルの太陽

電池があってフェーズが違うわけですので、いまみたいな設置量も膨らんでほしいわけですから、産業政策的な観点が少し中に入ってくるべきであると思います。これは時点も考えながらシナリオを作っていくわけですが、いまの「フィードインタリフ」、日本の法律にははっきりと太陽光の再生可能エネルギーを産業としても育成していく、雇用を確保していくと第1条にはっきり書いてあるわけです。その点をやはりビジョン作り、シナリオ作りでもやっていく必要があると思います。経済産業省の産業政策で、本来なら原課のほうにいくわけですが、現実にはいま太陽電池の原課というのは新エネ課そのものでありまして、そちらでやはりNEDOを通してあるいは直接でも、太陽光のプロジェクトの体系をもう少し見直していただきたい。もっと違う方向に展開しなければいけないと、そういうことを皆様と一緒に働きかけられたらいいなという感想をもちました。大変2日間ありがとうございました。

(NEDO・山田主研) どうもありがとうございました。もう両先生が言ってくださったのであまりないのですが、1点だけ。黒川先生もおっしゃいましたが、ロードマップはNEDOで見直すべく準備をしております。プロジェクト開始時、あるいはいまのロードマップ策定時と環境が変わり、また反省すべき点も色々ご指摘いただいていますので、これを見直すことはお約束いたします。これから徐々に皆様にご意見をうかがうような機会を設けていきたいと思っておりますので、ご指導方、よろしくお願いたします。また、そのロードマップの見直しあるいは今日の評価でいただくコメントを踏まえまして、PLの先生方ともご相談しながらこの事業自体のやり方も考えていきたいと思っておりますので、引き続きよろしくお願いたします。最後に徳岡のほうから。

(NEDO・徳岡統括主幹) NEDO 新エネルギー部の徳岡と申します。今日は部長の橋本が出席する予定でしたが急用が出来て出席出来ませんでしたので、代わって御礼を申し上げます。評価委員の皆さま、分科会長はじめ委員の皆さまには2日間にわたってご審議いただきどうもありがとうございました。またご審議だけではなく大変貴重なご意見、アドバイス、叱咤激励をいただきまして大変心強く思いました。ありがとうございます。それから、山口先生、黒川先生をはじめ、実施者の皆さま、日ごろの技術開発、研究開発に対するご努力もそうですが、今回の中間評価のご対応ということで大変ご努力をされたことと思います。どうもありがとうございます。それと、先ほど瀬川先生もおっしゃっていましたが、この分科会においては評価者と被評価者という立場ではありますが、この分科会において何度も何度も出てきます言葉がオールジャパンという言葉でございます。私どもも日本の産業競争力の強化という意味において、また、何かしら産業界、学会のサポートをさせていただきたいと思っておりますので、ぜひ皆さまのお知恵を拝借したいと思っておりますので、今後も引き続きよろしくお願いいたします。どうもありがとうございました。

(庭野分科会長) どうもありがとうございました。これで一応分科会を終わらせていただきますが、事務局から今後の予定等について事務連絡をお願いいたします。

12. 今後の予定、その他

13. 閉会

配布資料

- 資料 1-1 研究評価委員会分科会の設置について
- 資料 1-2 N E D O 技術委員・技術委員会等規程
- 資料 2-1 研究評価委員会分科会の公開について（案）
- 資料 2-2 研究評価委員会関係の公開について
- 資料 2-3 研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘について
- 資料 2-4 研究評価委員会分科会における非公開資料の取り扱いについて
- 資料 3-1 N E D O における研究評価について
- 資料 3-2 技術評価実施規程
- 資料 3-3 評価項目・評価基準
- 資料 3-4 評点法の実施について（案）
- 資料 3-5 評価コメント及び評点票（案）
- 資料 4 評価報告書の構成について（案）
- 資料 5-1 事業原簿（公開）
- 資料 5-2 事業原簿（非公開）
- 資料 6 プロジェクトの概要（公開）
 - 資料 6-1 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント
 - 資料 6-2 研究開発成果について、実用化・事業化の見通しについて（セル/モジュール開発）
 - 資料 6-3 研究開発成果について、実用化・事業化の見通しについて（共通基盤技術）
- 資料 7 プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
 - シリコン太陽電池・・・研究項目(イ)
 - 資料 7-1-1 ・極限シリコン結晶太陽電池の研究開発
 - 資料 7-1-2 ・マルチワイヤ-ソーよるシリコンウエハ切断技術の研究開発
 - 資料 7-1-3 ・太陽電池用ポリシリコンのシリコン原料転換の研究開発
 - 資料 7-1-4 ・太陽電池用シリコンの革新的プロセス研究開発
 - 薄膜シリコン太陽電池・・・研究項目(ロ)
 - 資料 7-2-1 ・次世代多接合薄膜シリコン太陽電池の産学官協力体制による研究開発
 - 資料 7-2-2 ・高度構造制御薄膜シリコン太陽電池の研究開発
 - 資料 7-2-3 ・薄膜シリコンフィルム太陽電池の高速製膜技術の研究開発
 - C I S ・化合物系太陽電池・・・研究項目(ハ)
 - 資料 7-3-1 ・C I S 系薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発
 - 資料 7-3-2 ・フレキシブルC I G S 太陽電池モジュールの高効率化研究
 - 資料 7-3-3 ・反射式集光型太陽光発電システムの研究開発
 - 色素増感太陽電池・・・研究項目(ニ)
 - 資料 7-4-1 ・三層協調界面構築による高効率・低コスト・量産型色素増感太陽電池の研究開発
 - 資料 7-4-2 ・高効率・高耐久性色素増感太陽電池モジュールの研究開発
 - 資料 7-4-3 ・フィルム型軽量低価格色素増感太陽電池の研究開発
 - 有機薄膜太陽電池・・・研究項目(ホ)
 - 資料 7-5-1 ・有機薄膜太陽電池モジュール創製に関する研究開発
 - 資料 7-5-2 ・光電荷分離ゲルによる屋内用有機太陽電池の研究開発

共通基盤技術・・・研究項目(へ)

資料 7-6-1 ・超ハイガスバリア太陽電池部材の研究開発

資料 7-6-2 ・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

資料 7-6-3 ・太陽光発電システムの据付簡便化に関する研究開発

資料 7-6-4 ・発電量評価技術等の開発および信頼性及び寿命評価技術の開発

資料 7-6-5 ・P Vシステム汎用リサイクル処理手法に関する研究開発

資料 8 今後の予定

参考資料 3 評価結果の反映について

「太陽エネルギー技術研究開発／太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」（中間評価）の評価結果の反映について

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<ul style="list-style-type: none"> ・再生可能エネルギーに対する期待が大きく高まっている中、太陽光発電について、基盤的技術から実用化技術まで、産学官連携の下に系統的に研究開発を進めている点は、日本の産業競争力を高める点で、また、今後のエネルギー問題を解決する点で高く評価できる。 ・中間時期として概ね中間目標を達成し、優れた技術的進展も多く見られる。 ・本事業は、実用化研究が大きな目標の一つである。ロードマップではコスト目標が明示されているにも関わらず、コストに関する説明が少なく、本来の意味で目標が達成されているかどうか判断できない。太陽光発電を実用化するためには、変換効率の向上もさることながら、コスト面での評価もより積極的に行う必要がある。 ・太陽光発電技術の研究動向は世界的にも大きく変化している。また、日本の社会的状況もこれまでに経験したことのない変化があった。このような状況の中では、開発目標の設定や研究の進め方は柔軟に変えていくことが必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・コストに関する事業実施者との情報交換、議論をこれまで以上に密に行い、各開発目標がコスト低減に及ぼす効果を精査し、実用化への道筋を再確認しながら開発を推進する。 → H25 年度実施方針、H25 年度以降の実施計画書に反映する。 ・国内外の研究開発動向や市場の急速な変化に合わせ開発目標の変更、追加を行う。 →平成 25 年度以降の実施計画書に反映する。

本研究評価委員会報告は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）評価部が委員会の事務局として編集しています。

平成24年11月

NEDO 評価部

部長 竹下 満

主幹 三上 強

担当 上田 尚郎

* 研究評価委員会に関する情報は NEDO のホームページに掲載しています。

(http://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu_index.html)

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地

ミュージア川崎セントラルタワー20F

TEL 044-520-5161 FAX 044-520-5162