

「高性能・高信頼性太陽光発電の 発電コスト低減技術開発」(事後評価) (2015～2019年度 5年間)

プロジェクトの概要 (公開)

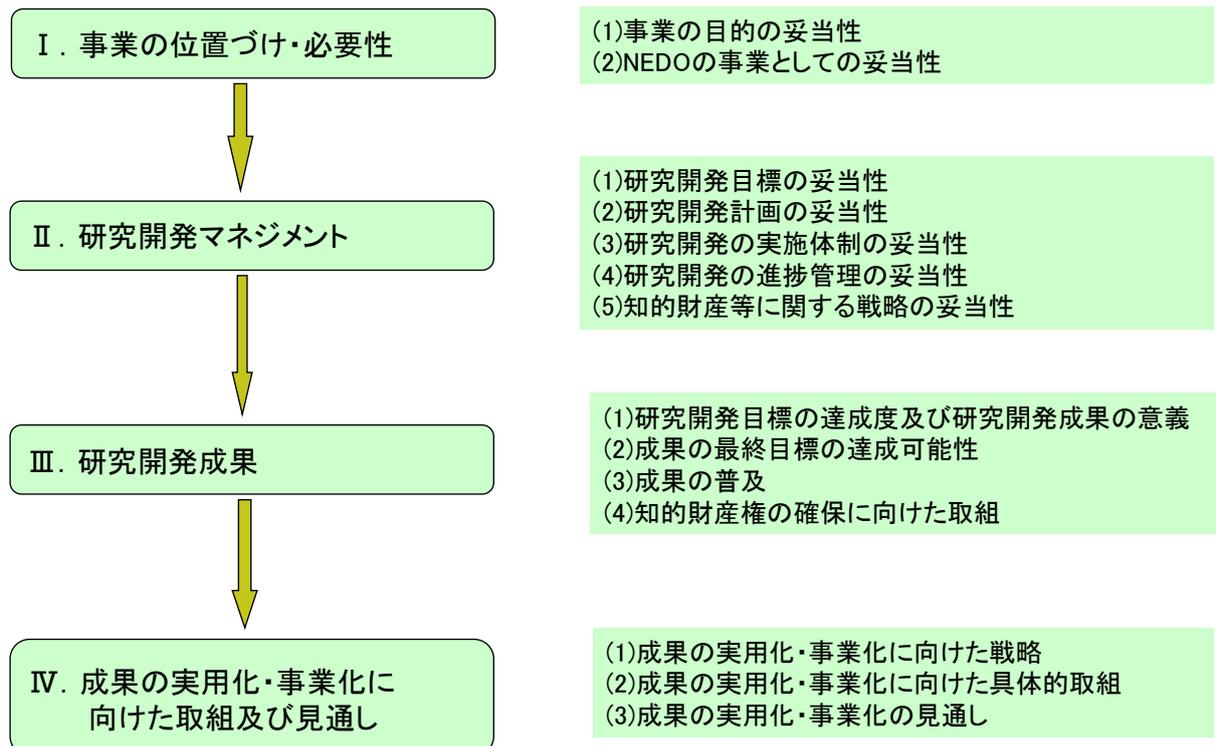
NEDO

新エネルギー一部

2020年11月27日

0

発表内容

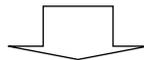


1

◆事業実施の背景と事業の目的

【社会的背景】(2014年当時)

- 2009年の太陽光発電ロードマップ(PV2030+)策定から5年が経過。この間、太陽光発電をめぐる環境も大きく変化した。
- 国内においては、固定価格買取制度の効果で大量導入社会の実現は目前となり、従来の「普及させるための戦略」から、「**普及後の社会を支える戦略**」の検討が必要となってきた。
- 世界に目を向ければ、「太陽電池」の価格競争は激化し、産業構造も変化しつつあった。



- 太陽光発電の大量導入社会における、**1)太陽光発電の安定的拡大、2)産業基盤の強化、3)新たな価値創造の実現**の3つの視点から、現状分析、課題抽出を包括的に行い、その課題解決の方策を検討。そこから今後の技術開発の指針を得ることを目的として、2014年に「**太陽光発電開発戦略**」を策定。この開発戦略を実現するための新しいプロジェクトが必要となった。

2

◆事業実施の背景と事業の目的

【事業の目的】

2030年までに公的支援に頼らず自立して普及する「普通のエネルギー」にするための発電コスト目標を設定(2014年当時)。

- (1)2020年には、すでに拡大した住宅用、メガソーラーだけでなく、ポテンシャルの大きい業務部門、産業部門で自家消費向けに、系統電力に代わって選択される発電コストを実現し、エネルギー消費を支える。

業務用電力価格並の発電コスト14円/kWh を目指す。(グリッドパリティ)

- (2)2030年までには、発電事業あるいは自家発電向け電源として、選択される発電コストを実現し、エネルギー供給を支える。

従来型火力発電並の発電コスト 7円/kWh を目指す。

(ジェネレーションパリティ)

- (3)これらを実現する「信頼性」も確保。



目標を達成するため、**高性能・高信頼性・低コストをあわせもつ太陽電池及び共通基盤技術を開発**

3

◆政策的位置付け

■第4次エネルギー基本計画(2014年4月)

再生可能エネルギーを「現時点では、安定供給面、コスト面で様々な課題が存在するが、温室効果ガスを排出せず、国内で生産できることから、エネルギー安全保障にも寄与できる有望かつ多様で、重要な低炭素の国産エネルギー源である。」と位置付け、これまでのエネルギー基本計画で示した水準を更に上回る水準の導入を目指すこととしている。

■「2017年度以降の調達価格等に関する意見(2016年12月、調達価格等算定委員会)」において、非住宅用太陽光発電の価格目標を(発電コストで)2020年に14円/kWh、2030年に7円/kWhとの方向で設定すべきとされており、また、「科学技術イノベーション総合戦略2016(2016年5月閣議決定)」においても、2020年までを目途に太陽光発電の発電コスト14円/kWhを達成、2030年に発電コスト7円/kWhを達成、とされている。

◆国内外の研究開発の動向と比較(2014年当時)

太陽電池の分野では国内においては1974年のサンシャイン計画開始以降、NEDOが主導して技術開発を推進してきた。日本以外の主要地域における開発状況をみると、現在では世界各国で国を挙げた研究開発が行われている。

欧州:戦略的研究計画(Strategic Research Agenda:SRA)を策定し、発電コスト低減に取り組んでいた。欧州フレームワーク計画FP7(2007~2013)では、製造装置プロセス、集光型太陽電池、次世代太陽電池、薄膜系太陽電池、結晶シリコン太陽電池等、国家横断的な技術開発を行っており、その後はFP7の後継プログラムHorizon 2020(2014~2020)を策定し、更なる研究開発に取り組んでいる。

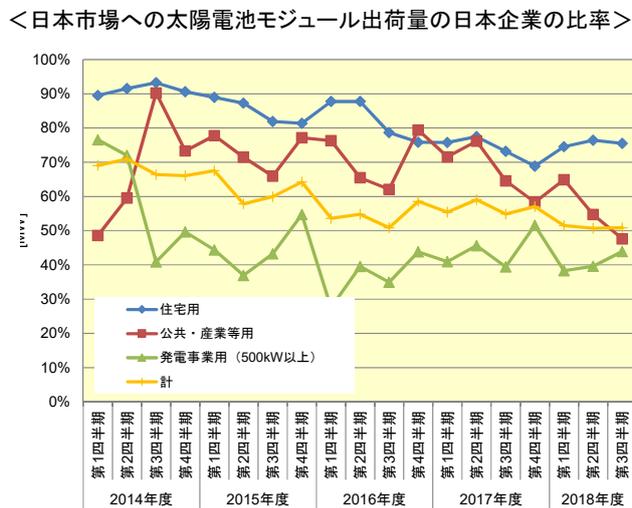
米国:2011年2月に新たな技術開発戦略として「Sunshot イニシアティブ」を策定し、太陽光発電技術に係るコスト削減、太陽光発電の系統連系に係るコスト削減、太陽光発電の設置・運用に係るコスト削減等の開発を行っている。

中国:第12次5ヵ年計画(2011~2015年)で、変換効率単結晶シリコン太陽電池で21%、多結晶シリコン太陽電池19%、太陽電池のモジュール製造コスト2020年7元/W等の目標を設定し、研究開発を推進していた。

2013年時点で、中国メーカーが太陽電池の販売量として出力ベースで6割のシェアを占めるに至ったが、**研究開発推進の結果、中国製モジュールの効率、品質とも大きく改善し、さらなるシェアの拡大を実現している。**

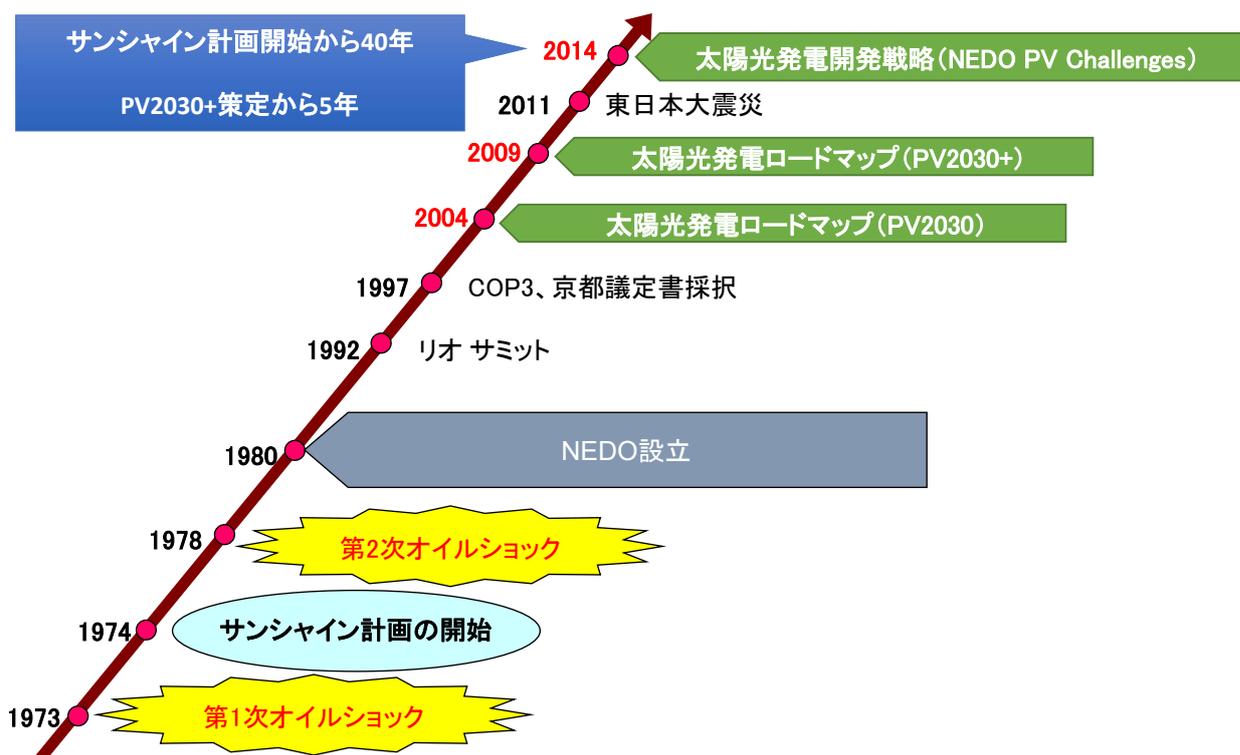
◆国内外の研究開発の動向と比較(市場動向)

FIT制度が開始された2012年から導入量は急増。累積導入量は50GWに到達。
 地上設置等では低価格の海外製モジュールのシェアが増えているが、信頼性が重要な住宅用とでは日系企業のシェアは依然として高い。⇒用途を見極めた上で、高効率低コストモジュールの開発を支援する意義はある。



出典：経済産業省および太陽光発電協会の統計をもとにNEDO作成

◆技術戦略上の位置付け



◆技術戦略上の位置付け

「太陽光発電開発戦略（2014年）」の課題認識
太陽光発電大量導入社会における5つの課題

国民負担の増大

- 固定価格買取制度の再エネ賦課金の増加を抑制し、国民負担を軽減する必要。

長期に安定した発電量確保の要求

- 事業性の追求が進み、信頼性の確保に対する要求も高まっている。
- 発電コスト低減のためにも信頼性の高い発電システムが必要。
- 安全性の確保も重要。

廃棄物大量発生への対応

- 大量導入は、将来の大量廃棄を招く。リサイクルシステムの構築が必要。

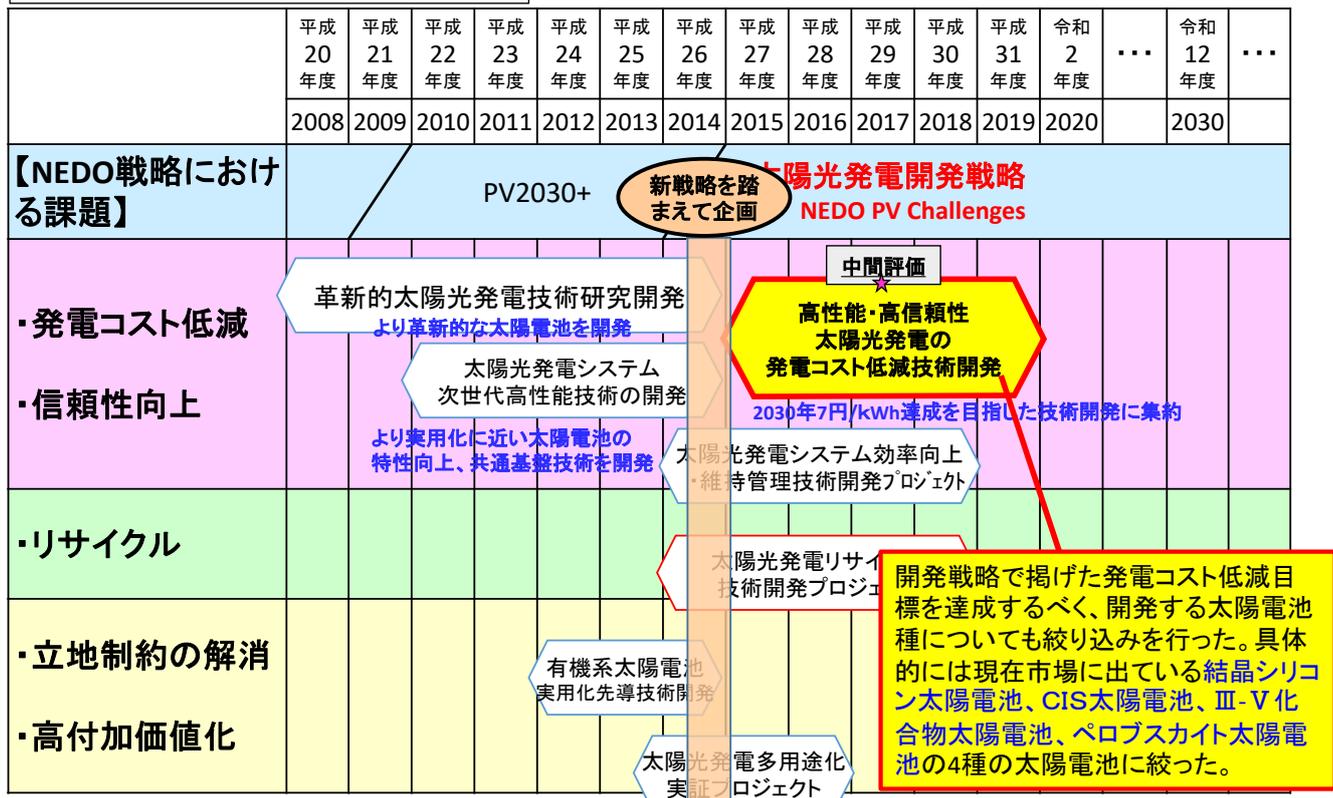
立地制約の顕在化

- 導入ポテンシャルの限界
- 土地コストの上昇。
- 系統制約の顕在化

グローバル競争の激化

- 太陽電池モジュールの価格競争が激化。国内市場でも海外企業のシェアが増。

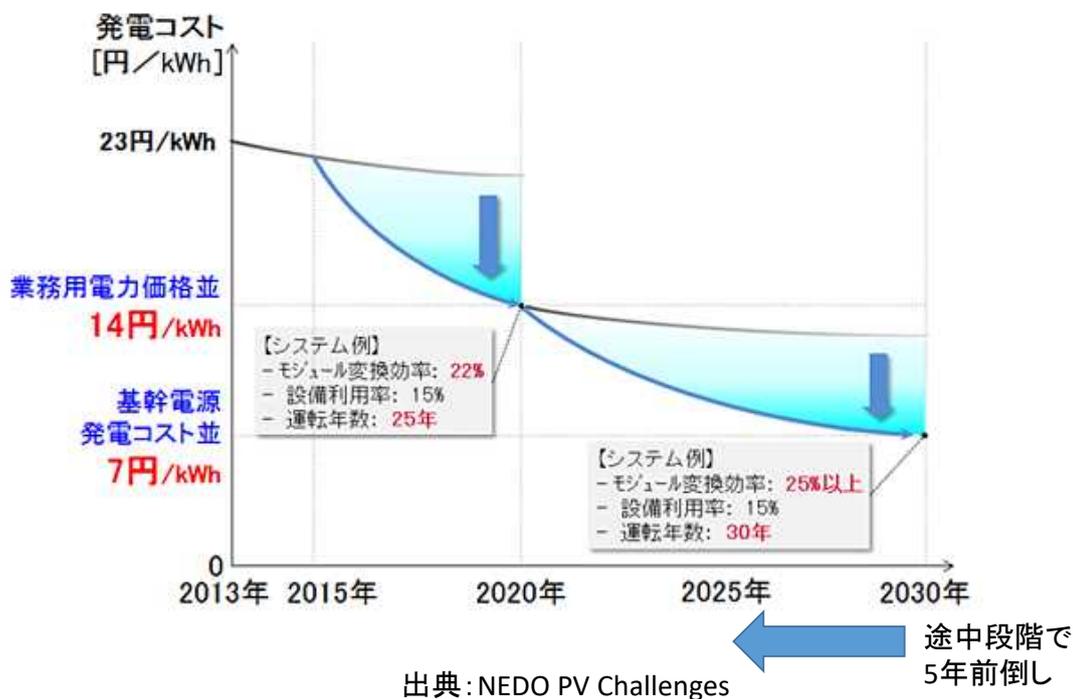
◆技術戦略上の位置付け



➢ 太陽光発電設備導入に係る支援事業は都道府県等が実施しているが、太陽光発電セル、モジュール関連に特化した技術開発については、本事業のみである。

○コスト低減については以下の「太陽光発電開発戦略(2014年)」のロードマップの下で実施。

＜非住宅用システムの発電コスト目標と低減シナリオ＞



—NEDO関与の意義—

マネジメント
プロセス

企画・立案

体制構築

事業推進

NEDOの
強み

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

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

- ✓公的機関としての中立性
- ✓運営費交付金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
- ✓開発戦略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

◆実施の効果 (費用対効果)

●インプット

➢プロジェクト費用の総額 **211.1億円**(2015～2019年)

- FIT賦課金：FIT制度の賦課金の負担額は**毎年2兆円**を超えており、今後の賦課金総額を抑制させていくためには、調達価格の低減が必要、シリコン、CIS系電池のコスト低減の技術開発は将来の賦課金の抑制に対して、波及効果を持つ。
- また、ペロブスカイト(PSC)、ヒ化ガリウム(GsAs)等の新型・次世代太陽電池の世界市場規模は現時点では6億円だが、**2030年には4563億円**にまで拡大すると予測(富士経済)、将来の市場のポテンシャルは大きい。

FIT制度に伴い、再エネ賦課金は増加している(出典:経済産業省)



12

2. 研究開発マネジメント (1)研究開発目標の妥当性

◆事業の目標

- ・本プロジェクトでは、開発戦略で掲げる発電コスト低減目標達成のため、**2025年までに7円/kWh(※)**の実現に資する高性能と高信頼性を両立した太陽電池の開発を目指す。
- ・具体的には、実用化が進んでいる結晶シリコン太陽電池とCIS太陽電池については、**14円/kWhを実現する太陽電池モジュール**を2020年までに実用化するとともに、**2025年までに7円/kWh(※)**を実現する要素技術の確立を目指す。
- ・また、結晶シリコン太陽電池やCIS太陽電池とは異なり、圧倒的な高効率や低コストで発電コスト7円/kWhを目指す革新的太陽電池については、**2030年までに7円/kWhを実現する要素技術の確立**を目指す。
- ・上記開発と並行して、太陽光発電の信頼性を高め、着実に社会に定着するための**評価技術等の共通基盤技術の開発**と、**国内外の開発動向等**を把握するための動向調査を行う。

※当初、2030年を目標としたが、国内外の市場動向を踏まえて前倒しした。

13

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

◆事業の目標

開発項目	ねらい	主な目標									
結晶Si / CIS 太陽電池	<ul style="list-style-type: none"> ・発電コスト低減を着実に実現 ・日本で7円/kWh実現の性能で競争力を確保 ・実用化が進んでいる結晶Si/CIS太陽電池で、高性能化、低コスト化を追求 	2025年7円/kWh 2020年14円/kWh									
高効率太陽電池 低コスト太陽電池	<ul style="list-style-type: none"> ・結晶Si/CISと異なるアプローチで7円/kWh実現 ・圧倒的な特性の違いで差別化 ・特性を生かして新市場を創出 ・30%超Ⅲ-V族太陽電池を低コスト化 ・低製造コストのペロブスカイト太陽電池を開発 	2030年7円/kWh 【差別化の指標】 <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th></th> <th>モジュール効率</th> <th>モジュール製造コスト</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>高効率</td> <td>30%</td> <td>システム価格125円/Wを実現するコスト</td> </tr> <tr> <td>低コスト</td> <td>20%</td> <td>15円/W</td> </tr> </tbody> </table>		モジュール効率	モジュール製造コスト	高効率	30%	システム価格125円/Wを実現するコスト	低コスト	20%	15円/W
	モジュール効率	モジュール製造コスト									
高効率	30%	システム価格125円/Wを実現するコスト									
低コスト	20%	15円/W									
高信頼性評価技術等	<ul style="list-style-type: none"> ・太陽光発電の信頼性を高め、確実に社会定着を実現 ・「長期信頼性」を実現、評価する技術を開発 	劣化機構解明、新たな加速試験方法の開発等									
動向調査	・情勢変化を把握し、マネージメントに反映	開発戦略の見直しの可否検討 必要に応じ見直し案作成									

14

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

◆研究開発目標と根拠

研究開発項目	研究開発目標(最終目標)	根拠
研究開発項目① 「先端複合技術型シリコン太陽電池、高性能CIS太陽電池の技術開発」	(1) 試作モジュールで、発電コスト14円/kWh相当の性能を確認する。 (2) 2025年までに発電コスト7円/kWhを実現するための開発計画を提示する。	<ul style="list-style-type: none"> ・発電コスト低減を着実に実現。 ・日本で7円/kWh実現の性能で競争力を確保。 ・実用化が進んでいる結晶Si/CIS太陽電池で、高性能化、低コスト化を追求。
研究開発項目② 「革新的新構造太陽電池の研究開発」	(1) 30%超Ⅲ-V族太陽電池を低コスト化。モジュール変換効率30%以上、且つ、想定する使用環境で、システム価格125円/Wを実現するセルモジュール構造と達成手段を明確化する。 (2) 低製造コストのペロブスカイト太陽電池を開発。量産時にモジュール製造コスト15円/Wを実現しうる、太陽電池モジュール材料・構造・生産プロセスに関する要素技術の開発。実験室レベルの小型太陽電池モジュールでの変換効率20%達成。	<ul style="list-style-type: none"> ・結晶Si/CISと異なるアプローチで7円/kWh実現。 ・圧倒的な特性の違いで差別化。 ・特性を生かして新市場を創出。
研究開発項目③ 「太陽電池セル、モジュールの共通基盤技術開発」	a) 先端複合技術型シリコン太陽電池 (1) p型、n型それぞれの基板のキャリアライフタイムを現状の3倍以上にする。 (2)、各要素技術(成膜、電極、パッシベーション等)がセル性能に与える影響を明らかにし、セル、モジュールプロセスにおける技術開発指針を得る。 b) 高性能CIS太陽電池の開発 ① 小面積セル(1cm角程度)で変換効率23%以上。 ② 欠陥密度の低減化技術の開発。 ③ CIS太陽電池の理想的な材料設計技術の提案。	<ul style="list-style-type: none"> ・結晶シリコン太陽電池セルにおけるキャリアライフタイム及び各要素技術、CIS太陽電池におけるセル高効率化のための共通基盤技術を開発することで14円/kWh達成に貢献。 ・研究開発項目①に対し、大学、研究機関において基盤技術を開発(①の2/3NEDO負担に対し負担率100%)。

15

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

◆ 研究開発目標と根拠

研究開発項目	研究開発目標(最終目標)	根拠
研究開発項目④ 「共通基盤技術の開発」	<p>a) 出力測定技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・新型の太陽電池等については、海外における主要研究機関による測定技術との整合性も考慮しつつ、室内測定においては精度±0.5%(1σ)以内を目指す。 ・薄膜系を含む市販されている太陽電池モジュールの屋外での測定においては精度±1.0%(1σ)以内を目指す。 <p>b) 発電量評価技術</p> <ul style="list-style-type: none"> ・気候区による気象データやスペクトルデータ等を整理し、ユーザーにとって利便性の高い日射量データベースを構築し、NEDOホームページ等のWebサイトに掲載する。 <p>c) 信頼性・寿命評価技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・低コストで劣化対策を施した太陽電池モジュールの有効性について実証する。 ・太陽電池モジュールの性能30年を予測できる加速試験方法を開発する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・太陽電池の高効率化、信頼性向上のためには精度の高い評価方法や、劣化機構等の解明が必要。 ・30年の加速試験についても、低コスト化達成のための方策の一つ。
研究開発項目⑤ 「動向調査等」	<p>a) 動向調査</p> <ul style="list-style-type: none"> ・発電コスト7円/kWh実現に向け、開発戦略の見直しの要否を検討するとともに、必要に応じ、見直し案を作成する。 <p>b) IEA国際協力事業</p> <ul style="list-style-type: none"> PVPSの動向及び展開を踏まえた、定期的な情報発信を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> ・情勢変化に対応するためには動向調査が不可欠。
研究開発項目⑥ 「高性能太陽電池製造技術実証」	<p>ヘテロジャンクションバックコンタクト太陽電池セルを用い2025年に発電コスト7円/kWhを達成するための製造技術を試作レベルで実証する。</p>	<p>高効率太陽電池の低コスト化に資する製造技術の実証が必要</p>

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆ 研究開発のスケジュール

	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度
研究開発項目① 「先端複合技術型シリコン太陽電池、高性能CIS太陽電池の技術開発」	結晶シリコン、CISモジュール製造技術	14円/kWh達成技術	中間評価で開発内容絞り込み	14円、7円/kWh達成技術	7円/kWh開発計画提示
研究開発項目③ 「太陽電池セル、モジュールの共通基盤技術開発」	結晶シリコン、CISセル、モジュール高性能化技術	結晶シリコン、CIS基盤技術開発	▲	開発継続、高効率低コスト化技術	最終目標
研究開発項目② 「革新的新構造太陽電池の研究開発」	III-V化合物太陽電池低コスト化技術開発	適宜各太陽電池開発に反映	▲	開発継続、車載への適用検討	
	ペロブスカイト太陽電池基礎技術開発		▲	開発継続、大型モジュール実証	
研究開発項目④ 「共通基盤技術の開発」	評価方法、発電量評価、寿命評価技術開発		▲	開発継続、標準化への展開	
研究開発項目⑤ 「動向調査等」	調査	プロジェクトの運営、開発戦略等へ反映	▲	調査継続	
			▲	次期開発戦略へ反映	
研究開発項目⑥ 「高性能太陽電池製造技術実証」				高効率低コスト化製造技術の実証	研究開発項目①の成果を受け

◆プロジェクト費用

- 当初公募(2015年度)
 - ✓ 30件の応募に対し、22件のテーマを採択。
- 追加公募(2018年度)
 - ✓ 研究開発項目①③で各1件、新たに実証事業(研究開発項目⑥)で1件採択

－研究開発予算の推移(単位:億円)－

年度	2015	2016	2017	2018	2019	総額
研究開発項目①(結晶Si)	7.5	8.7	7.4	7.1	2.3	33.1
〃 (CIS)	2.0	2.4	3.0	3.1	1.1	11.2
研究開発項目②(Ⅲ-V)	9.7	11.4	10.6	11.7	9.2	52.5
〃 (ペロブスカイト)	9.0	8.4	9.9	7.9	7.2	42.3
研究開発項目③(結晶Si)	8.9	8.7	5.3	6.9	4.3	34.1
〃 (CIS)	3.3	2.4	1.8	1.8	1.0	10.3
研究開発項目④(共通基盤)	4.8	6.1	4.8	3.2	2.4	21.3
研究開発項目⑤(動向調査)	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	2.9
研究開発項目⑥(実証)	—	—	—	1.9	1.0	2.9
計 特別会計(需給勘定)	45.7	48.5	43.5	44.3	29.1	211.1

18

◆研究開発の進捗管理

外部有識者で構成する技術検討委員会を組織し、知財管理や標準化等の重要事項について検討する他、定期的に技術的評価を受け、目標達成の見通しを常に把握することに努めた。

年度	2015	2016	2017	2018	2019
技術検討委員会 (5テーマそれぞれ開催)	0	2	2 (中間評価)	3	3
成果報告会	1	1	1	1	1

進捗報告会	主な指導内容(中間評価以降)
結晶シリコン太陽電池①、③	(2018年1月) 実用化に向けた開発スケジュールをより明確にしていきたい。 (2018年10月) オリジナル技術の出口イメージを出してほしい。企業との連携を進めてほしい。 (2020年2月) 企業は実用化・事業化を見据えた技術開発、大学・国研は開発した技術の出口イメージができる成果につながる研究開発をお願いしたい。
CIS太陽電池①、③	(2018年2月) 小面積でEfficiency Tableに掲載できるデータなど、良い成果が得られている。研究レベルは高いが、各機関の横のつながりが見えない点については改善を求む。 (2020年2月) 今回のプロジェクトのアウトカムをより明確に打ち出してほしい。軽量化、軽量を生かした展開への取り組みとアピールもあると望ましい。
Ⅲ-V族②	(2018年10月) HVPEの高速成膜やELO基板再生などの低コスト化プロセスについて、実用化に向けコスト計算を絶対値で示すべき。車載やZEBなどⅢ-V太陽電池を使うストーリーを用意すべき。 (2020年2月) モジュール効率30%以上の達成やELO剥離技術、高速成膜技術など多くの進捗が見られた。展開できるものから適用して早期の実用化、事業化につなげていただきたい。
ペロブスカイト②	(2018年1月) 高効率化への寄与が期待できるカリウムドーピングの汎用性について明確にすべき。 (2020年1月) 小面積セルの変換効率24.4%は非常に評価できる。大面積セル、モジュールでの高効率化、光劣化現象要因の明確化が課題であると考え。
共通基盤④	(2018年2月) 寿命予測ならびに試験法の開発で得られた知見をもとにPID劣化が起きないモジュール開発に向けた提案を検討して欲しい。

◆ 動向・情勢の把握と対応

研究開発項目⑤の動向調査を通して研究開発動向、市場動向における情勢変化を把握し、マネジメントに反映させた。

情勢	対応
世界で予想以上に発電コスト低減が実現。 発電コスト14円/kWh、7円/kWhは調達価格等算定委員会でも価格目標として設定され、太陽光発電の固定価格買取制度からの早期自立が明確に求められるようになった。	7円/kWhの早期達成(2030年から2025年) そのための高効率セルの小規模設備製造実証 など、量産への架け橋となる技術開発を計画。 また、一部テーマについては途中終了として 絞り込んだ(13件) 。
海外モジュールとの競争激化や国内外において、自家消費等の新たなビジネスモデルが出てきた。	新たなアプリケーションの創出のため、導入ポテンシャルの議論を開始。 BIPV(ZEB)、車載太陽電池などのFSを開始。プロジェクトへの発展を計画。
2018年の行政事業レビューにおいて、コスト低減、効率向上以外に新たな価値の確立を行うべきとの指摘。	それ以前から取り組んでいた車載やZEB等の検討を加速するとともに、 企業ヒアリングや動向調査において、太陽光発電がこれまで導入されていなかった分野への導入可能性を検討。

20

◆ 開発促進(加速)財源投入実績

事業の進捗(計画の具体化に伴う予算精査、開発成果等)に応じて、予算の再配分を実施。そのうち主な拡充は以下の通り。**特に量産化技術や新分野への展開等に加速を行い、一部はプレスリリースにつながる成果を出した。**

研究開発項目	年度	金額 (百万円)	目的、内容	効果
研究開発項目① (結晶シリコン)	2017年	286	パターニング層形成装置等を導入し、低コストパターニングの実用化技術開発を加速。	モジュール変換効率の最終目標値向上、達成の前倒し、運転年数延長につなげた。
研究開発項目② (超高効率: III-V族化合物)	2017年	36	HVPE、MOCVD装置の製膜高速化要素技術の設計及び改造。	量産化装置の設計指針を早期に取得することができる。
	2017年	120	車載用太陽電池 の開発及び化合物太陽電池量産化検討。	化合物の低コスト化 目標達成に向けた見通しを明確にすることができる。
	2018年	108	基板剥離プロセス高速化のためのELO装置改造、格子整合系4接合実現のための成膜装置、及び評価装置の改良	低コストプロセス開発 の加速、超高効率化技術開発の推進を実施。

21

2. 研究開発マネジメント (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

研究開発項目	年度	金額(百万円)	目的、内容	効果
研究開発項目② (超低コスト: ペロブスカイト)	2017年	27	バリア膜、電極膜用スパッタ装置のR2R化。R2R付帯設備前倒し導入及び試験研究材料の追加。	量産に向けたR2Rプロセス全体の開発を加速できるとともに、 太陽電池モジュール の早期実証が可能となった。
	2017年	12	基板への塗布液の被覆性の向上のための塗布液循環機構と塗布液供給制御機構を追加及び透明電極のパターニング用のレーザーの変更。	30cm角サイズの大面積モジュール での効率向上につながった。
	2017年	57	雰囲気制御機能付き蒸着装置、成膜装置一式および材料秤量装置の導入。	膜質向上 に向けた雰囲気管理および膜厚管理に求められる水準を把握できた。
	2018年	15	SEM(リース)の手配。	耐久性向上 に向けた劣化機構分析が可能となった。
	2019年	11	大面積(30cm角)モジュール変換効率測定頻度の向上。	大面積モジュール 研究開発の促進につながった。
研究開発項目④ (共通基盤技術の開発)	2018年	12	特定の市街地を対象に秋季および冬季における日射の移動観測を行い、建物等の影や積雪の反射の影響等について調査・検討を行う。	市街地での日射 の移動観測の要件、課題等が明らかになった。
研究開発項目⑤ (調査)	2015~2017年	22	「太陽光発電システム搭載自動車」 に関する調査。	「高効率太陽電池」の特長を生かした「面積制約」を受ける環境での活用例に関する情報収集、課題の抽出等を行った。

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

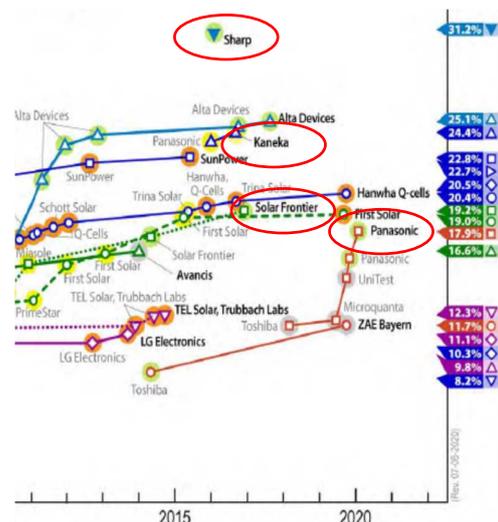
◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

変換効率向上: 各太陽電池で世界最高効率を達成するなど、大きな成果をあげた。

低コスト化: 高い変換効率を維持しながらコストを低減させる技術を開発しており、各太陽電池において発電コスト目標を達成できるコスト試算を行いながら、**最終目標として研究開発項目①、③は14円/kWh相当を達成した。**

研究開発項目②(Ⅲ-V系、ペロブスカイト)は量産化につながる要素技術の確立を行った。

NRELのモジュールチャートにはシャープ(Ⅲ-V)、カネカ(シリコン)、ソーラーフロンティア(CIS)、パナソニック(ペロブスカイト)が記載されている。(出展:NREL)

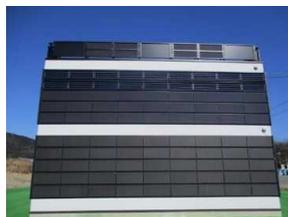


◆研究開発項目毎の目標と達成状況

耐久性向上: 材料、製造プロセスなど太陽電池セル／モジュール開発のアプローチに加え、共通基盤技術として**太陽電池特性評価、発電量評価や劣化要因解析、寿命試験方法**の開発など、耐久性向上につなげる技術についても大きな進展があった。

新市場への展開: 開発を行ったモジュールは**太陽光発電の新分野(建物壁面、重量制限のある屋根、車載等)**への展開可能性が見えてきた。

動向調査: 調達価格等算定委員会の議論から、発電コスト算定方法を最新のものに見直すとともに、最新の発電コストの分析を行うとともに**車載太陽光**の可能性についても調査を行った。



◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

ー本プロジェクトにおける主な成果ー 下記成果を達成し、更にコスト低減等の技術開発を進めた。

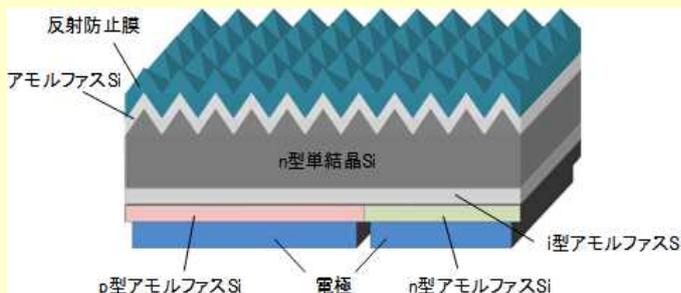
種別	委託者	成果
シリコン(ヘテロ接合バックコンタクト)太陽電池	カネカ	<ul style="list-style-type: none"> ・実用面積セル(180cm²)で変換効率26.6% 結晶シリコン太陽電池で世界最高(2020年11月時点) ・実用面積モジュール(1.3m²)で変換効率24.4% 結晶シリコン太陽電池で世界最高(2020年11月時点) ・製造技術実証等に加えて、更に車載、壁面へ展開を実施。
CIS系薄膜太陽電池	ソーラーフロンティア	<ul style="list-style-type: none"> ・小面積セル(約1cm角)で変換効率23.3% (2019年1月) ・30cm角サブモジュールで変換効率19.2%(その後19.8%) 薄膜系太陽電池では世界最高(2020年11月時点) ・軽量モジュールを含めて事業化に向けた開発を実施。
Ⅲ-V化合物太陽電池	シャープ	<ul style="list-style-type: none"> ・31cm角モジュールで変換効率31.17% 太陽電池モジュールの中で世界最高(2020年11月時点) ・低コスト化に向けた開発とともに、車載モジュールを試作。
ペロブスカイト太陽電池	東京大学 パナソニック	<ul style="list-style-type: none"> ・ミニセル(0.18cm²)で変換効率24.92%(2019年12月) ・30cm角モジュールで16.09%。世界最高(2020年1月) (その後、17.93%に記録を更新) ・大面積化や耐久性向上に向けた技術開発も実施。

先端複合技術型シリコン太陽電池(研究開発項目①、③)

2019年度最終目標

- (1) 試作モジュールで、発電コスト14円/kWh相当の性能を確認する。
14円/kWhの目安(モジュール変換効率22%、モジュール出力劣化25年で20%相当)
- (2) 2025年までに発電コスト7円/KWhを実現するための開発計画を提示する。

結晶シリコン太陽電池の原料メーカー、装置メーカー、セル・モジュールメーカーが大学等と連携し、ヘテロ接合バックコンタクト等、先端技術を複合した、高効率かつ高信頼性を両立したシリコン太陽電池とその低コスト製造技術を開発する。



開発するヘテロ接合バックコンタクト型太陽電池の一例

- ① 太陽電池用ポリシリコンおよび単結晶の開発
トクヤマ NEDO負担2/3
- ② 高品質低コストシリコン単結晶の開発
クリスタルシステム
- ③ 薄型ウエハ用低ダメージスライス技術開発
コマツNTC
- ④ 結晶Si太陽電池用新規電極の開発
ナミックス
- ⑤ 高効率長寿命結晶Si太陽電池セル・モジュール開発
シャープ、京セラ、カネカ(産総研、京大、東工大)



- ① 低ダメージ成膜技術開発
北陸先端科学技術大学院大学
- ② 薄型セルおよび高効率・高信頼性モジュール開発
産業技術総合研究所
- ③ 先端複合技術型シリコン太陽電池の共通基盤技術開発
豊田工業大学、明治大学、九州大学、名古屋大学
東京工業大学、兵庫県立大学

開発内容 先端複合技術型シリコン太陽電池(研究開発項目①、③)

バックコンタクトヘテロ構造や積層型太陽電池など、新型の結晶シリコン太陽電池について、原料、ウエハ、パッシベーション、電極までのセル形成プロセスを産学連携のもとで総合的に開発。

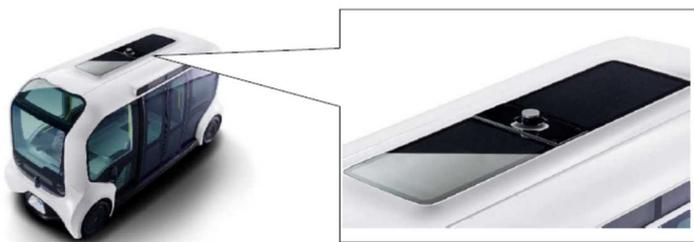


開発成果 先端複合技術型シリコン太陽電池(研究開発項目①、③)

ヘテロ接合技術とバックコンタクト技術を組み合わせた新構造の結晶シリコン太陽電池で**世界最高記録(セル変換効率26.7%、モジュール変換効率24.5%)達成変換効率を達成(2017年2月)、屋根用途以外に壁面や車載への展開を目指す。**
(株式会社カネカ)



ヘテロ接合バックコンタクト太陽電池モジュール



トヨタの低速自動運転EV「e-Palette」
(トヨタ自動車株式会社提供)



導入イメージ
(中・小規模ビルの外装)



結晶シリコン太陽電池モジュールでも、**世界最高となる変換効率24.37%を達成(モジュール面積×13,177cm²)**

開発成果 先端複合技術型シリコン太陽電池(研究開発項目①、③)

各社異なる手法で高効率化、低コスト化、高信頼性を追求。

シャープ(株):「高効率バックコンタクト型太陽電池の量産技術開発」

- ①モジュール変換効率22.1%を42直の試作モジュールで確認
- ② 2025年発電コスト目標 7円/kWhの定量的なシナリオを提示 (株式会社シャープ)

京セラ(株):「低コスト高効率セル及び高信頼性モジュールの実用化技術開発」

- ・シードキャスト基板を用いた両面受光PERC仕様
- ・セル効率22.0%、モジュール効率20.1%を確認
- ・PERC60直モジュールにて非住宅市場で予測寿命35年以上であることを確認

パナソニック(株):「低コスト・高信頼性・高効率Super Si Hetero-Junction (SSHJ)太陽電池の開発」

- ・量産化試作ラインを用いた、6インチ基板太陽電池の開発
- ・新構造セル(SBF, SBC-SHJ)の要素技術の開発
- ・ヘテロ接合形成プロセス技術の開発において産総研、北陸先端科学技術大学院大学と連携することで開発効率を向上

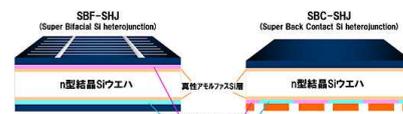
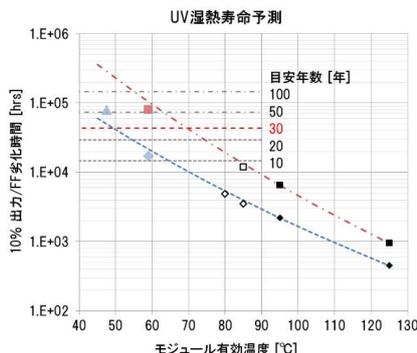


図 新構造(SBF, SBC)セル

高性能CIS太陽電池の技術開発(研究開発項目①、③)

2019年度最終目標

- (1) 試作モジュールで、発電コスト14円/kWh相当の性能を確認する。
14円/kWhの目安(モジュール変換効率16%)
- (2) 2025年までに発電コスト7円/KWhを実現するための開発計画を提示する。

CIS太陽電池モジュール高性能化技術の研究開発

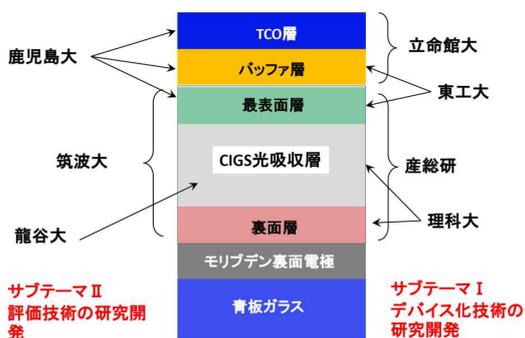
ソーラーフロンティア NEDO負担2/3



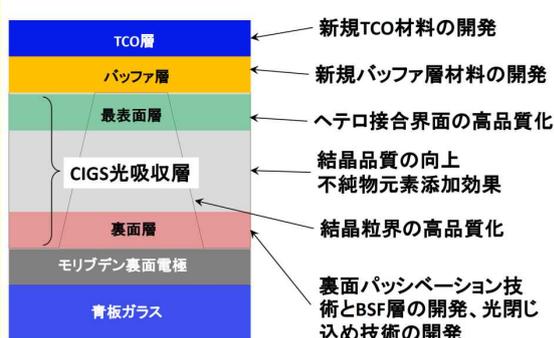
CIS太陽電池高性能化技術の研究開発

産業技術総合研究所、東京工業大学、学校法人立命館、東京理科大学、筑波大学、鹿児島大学、龍谷大学

共同提案者の主な研究役割分担



CIGS太陽電池の研究課題



開発成果 高性能CIS太陽電池の技術開発(研究開発項目①、③)

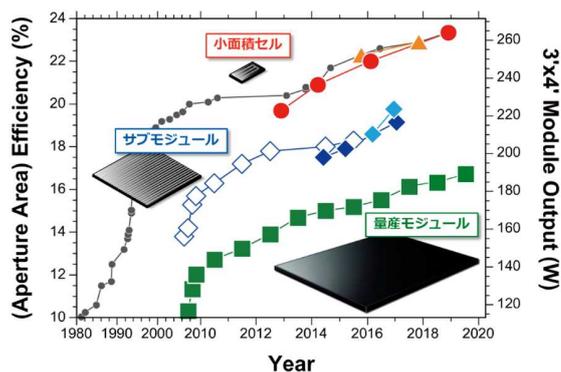
【成果のポイント】出光興産株式会社 (ソーラーフロンティア株式会社)

- ・発電コスト(試算) 13.3円/kWh (事業開始前:19円/kWh)
- ・製品サイズ試作モジュール変換効率 16.1% (事業開始前:13.8%)
- ・サブモジュール変換効率 19.8% (事業開始前:18%)
- ・小面積セル変換効率 23.4% (事業開始前:20.9%)

【効率向上のポイント】

- ① CIS光吸収層の品質改善
- ② 太陽電池内部の界面形成技術の改良

開発した軽量 CISモジュール



CIS太陽電池の変換効率の推移



世界最高変換効率19.2%を達成したCIS系薄膜太陽電池サブモジュール(30cm角)

III-V族化合物太陽電池(研究開発項目②:革新的高効率太陽電池)

2019年度最終目標

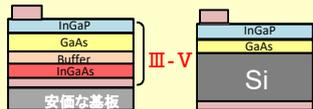
(1) モジュール変換効率30%以上、且つ、想定する使用環境で、システム価格125円/Wを実現するセルモジュール構造と達成手段を明確化する。

超高効率・低コストIII-V化合物太陽電池モジュールの研究開発

超高効率化技術、成膜速度の高速化技術、安価基板上への成膜や接着技術、高価な基板の再利用技術等、従来の延長線上にない革新的高効率太陽電池をセル・モジュールメーカー、成膜装置メーカー、大学等が連携し開発を進める。

I. 低コスト化技術開発

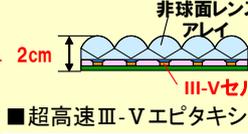
■ 薄膜III-Vセル, on-Siセル



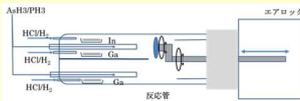
■ エピタキシャルリフトオフ(ELO)



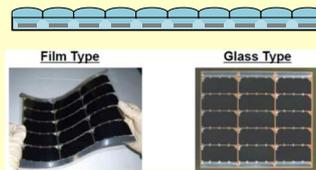
■ プラスチックレンズ一体型セル



■ 超高速III-Vエピタキシャル成長

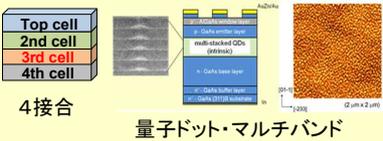


II. 低コストモジュール開発



2030年
LCOE
7円/kWh

III. 超高効率セル開発

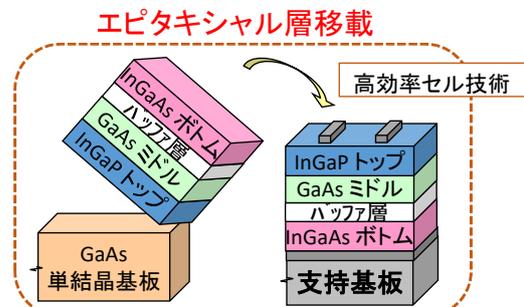
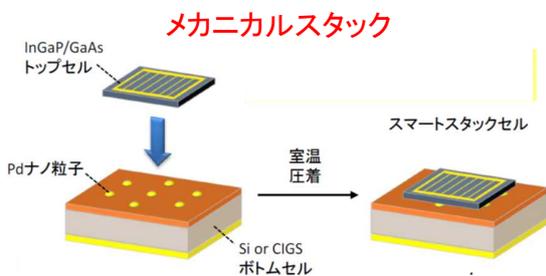


- ① 超高効率セルおよび低コスト化技術開発
 - ② 多接合セル・モジュールの低コスト化技術開発
 - ③ プラスチックレンズ一体型セル・モジュール
 - ④ 低コスト化技術・量子ドット成長技術
 - ⑤ 高効率・低コストIII-V/Siタンデム
 - ⑥ 低コスト化製膜技術開発
 - ⑦ 高密度ドット成長技術
 - ⑧ 量子ドットセル評価
 - ⑨ 窒化物ハイブリッド
 - ⑩ III-Vセル・モジュール開発・評価
 - ⑪ メカニカルスタック
- 東京大学(埼玉大、タカノ)
シャープ(株)
パナソニック(株)
産総研
豊田工大(九州大、大阪市大)
大陽日酸(株)
電気通信大学
神戸大学
名古屋大学/名城大学
宮崎大学
東京農工大学
- ※ 括弧内は再委託先

開発内容 III-V族化合物太陽電池(研究開発項目②:革新的高効率太陽電池)

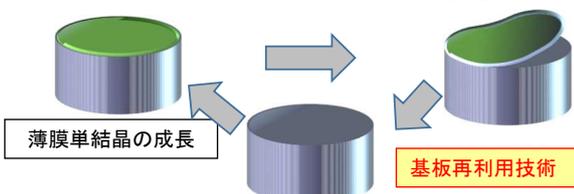
高速で太陽電池を製造する技術や高コストな基板を用いない技術の開発により高効率なIII-V化合物太陽電池を低コストで製造できる技術を開発する。

- ・発電層成膜速度の高速化技術(ハイドライド気相成長法など)
- ・高価なGaAs基板を再利用することで原料費を低減する技術
- ・シリコンや樹脂基板など、安価な基板上への成膜や接着技術



・高価なGaAs基板を再利用する技術

エピタキシャルリフトオフ(薄膜太陽電池層の剥離)



・量子ドットや超格子構造を用いた超高効率化技術



開発成果 III-V族化合物太陽電池(研究開発項目②:革新的高効率太陽電池)

太陽電池モジュールで**世界最高変換効率31.17%**を達成。軽量・フレキシブルも実現、その後低コスト化に向けた開発を実施。(シャープ株式会社)



【セルサイズの大型化への技術開発のポイント】

- ①太陽電池製造基板サイズの大径化
- ②製造条件最適化による基板面内の均一性の向上
- ③基板サイズの大径化に適したセル製造プロセスの開発

太陽光発電システム搭載自動車走行実証試験

トヨタ自動車、NEDO、シャープの3社は協力して太陽光発電システム搭載自動車を作製。2019年7月のRE展のNEDOブースで展示した。その後公道走行での実証試験を実施中。



太陽電池モジュールを搭載した「プリウスPHV」

(日産実証車)

ボンネット、ルーフ、リアゲートに太陽電池を搭載(発電量1,150W以上)

NEDO事業でシャープが開発した世界最高の変換効率31.17%のIII-V族化合物太陽電池モジュール製造技術を活用し、トヨタ自動車を実施する走行実証の仕様に基づき、新たにモジュール化した。自動車のフード(ボンネット)やルーフ、バックドア(リアハッチ)など、曲面部分に沿って搭載。「プリウスPHV」に搭載することにより、860Wの発電容量を実現、一日の充電で30km以上走行可能を実証できた。日産でも同様のモジュール(発電量1150kw)を組み込んだ実証車を作製し、実証走行を開始した。

表1 「プリウスPHV」の市販モデルと実証車の性能比較

性能項目	車両	「プリウスPHV」 (ソーラー充電システム装着車)	実証車
太陽電池セルの変換効率		22.5%	34%以上
定格発電電力		180W	約860W
駐車時の駆動用バッテリーへの最大充電電力量(日当たり) ^{※注}		EV航続距離6.1km相当	EV航続距離44.5km相当
走行時の駆動用・補機バッテリーシステムへの最大充電・給電電力量(日当たり) ^{※注}		カーナビなどに使用する補機バッテリーシステムにのみ電力を供給	EV航続距離56.3km相当

ペロブスカイト太陽電池(研究開発項目②: 革新的低コスト太陽電池)

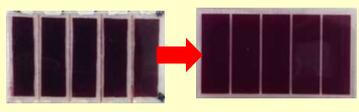
2019年度最終目標

(1) 量産時にモジュール製造コスト15円/Wを実現しうる、太陽電池モジュール材料・構造・生産プロセスに関する要素技術の開発。実験室レベルの小型太陽電池モジュールでの変換効率20%達成。

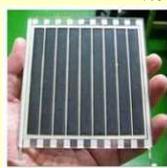
ペロブスカイト系革新的低製造コスト太陽電池の研究開発

新コンセプトの製造装置、信頼性確保技術、発電原理の検証と信頼性の高い性能評価技術の確立、さらなる性能向上を目指す新構造、新材料の基礎研究を産官学連携による集中研体制で進める。

A. 塗布製造技術の開発 パナソニック



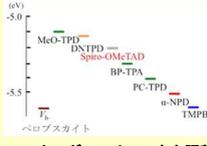
D. 高性能・高信頼性 確保製造技術の開発
アイシン精機 (アイシンコスモス研究所)



E. 高性能材料 合成技術の開発
富士フィルム(2017年度まで)
(1)ペロブスカイト材料
(2)正孔輸送材料

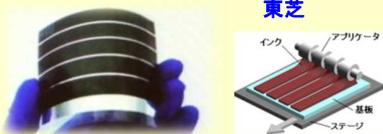


F. 基盤材料技術と 性能評価技術の開発
早稲田大学 (物材機構、KISTEC)

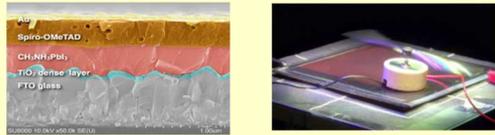


エネルギーレベルの自在調整
構造に依存するヒステシス
問題の解決で性能評価方法
の確立

B. 超軽量太陽電池モジュール技術の開発
東芝



G. 新素材と新構造による高性能化技術の開発
東京大学(産総研、九州工業大、東工大、兵庫県立大、京大、熊本大)
ペロブスカイト太陽電池構造制御 大型ペロブスカイト太陽電池セル



C. 低コストR2R太陽電池製造技術の開発
積水化学工業



※ 括弧内は再委託先

開発成果 ペロブスカイト太陽電池 (研究開発項目②: 革新的低コスト太陽電池)

ペロブスカイト層の高品質化や太陽電池構造の最適化を行い、新規ペロブスカイト材料を用いた**小面積セル(0.18cm²)**で**変換効率24.92%**、**3直列ミニモジュール(面積2.76cm²)**で**変換効率20.7%**を達成(東京大学)。

このような技術開発と連携して、各企業において**大面積モジュール**や**量産技術**を開発。併せて**耐久性向上**にも取り組む。



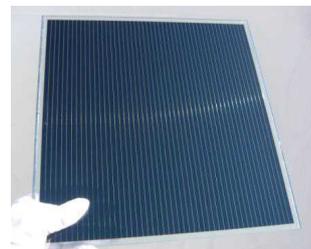
東芝: **世界最大面積のフィルム型**ペロブスカイト太陽電池モジュール (24.15cm × 29.10cm、面積703cm²)



パナソニック: インクジェットを用いた大面積塗布法を開発し、太陽電池モジュール(802cm²)で**世界最高のエネルギー変換効率16.09%**を達成。(その後17.93%)



積水化学: **ロールtoロール法**による量産化技術を検討。



アイシン精機: **スプレー塗布工法**による大面積モジュール製造技術の開発(30cm角)。

共通基盤技術の開発(研究開発項目④)

PVの出力等を正しく評価するための測定技術開発

太陽電池性能高度評価技術の開発

産業技術総合研究所、電気安全環境研究所、岐阜大学、
宮崎大学、東京理科大学、立命館大学

PVの発電量を推定するための技術開発

太陽光発電システムの高精度発電量評価技術の開発

産業技術総合研究所、日本気象協会、東京理科大学、佐賀大学

PVの寿命を予測する試験方法の開発

ZEB適用型太陽電池モジュールの長期信頼性評価技術の開発

カネカ NEDO負担2/3

レーザー技術を用いた太陽電池モジュールの寿命予測検査技術の開発とその標準化

日清紡メカトロニクス、
奈良先端科学技術大学院大学

太陽光発電の寿命予測ならびに試験法の開発

産業技術総合研究所、デュボン、東レ、石川県工業試験場、
岐阜大学、東京農工大学、北陸先端科学技術大学院大学、電力中央研究所

動向調査等(研究開発項目⑤)

PVに係る情報の収集と発信

①動向調査

みずほ情報総研、資源総合システム

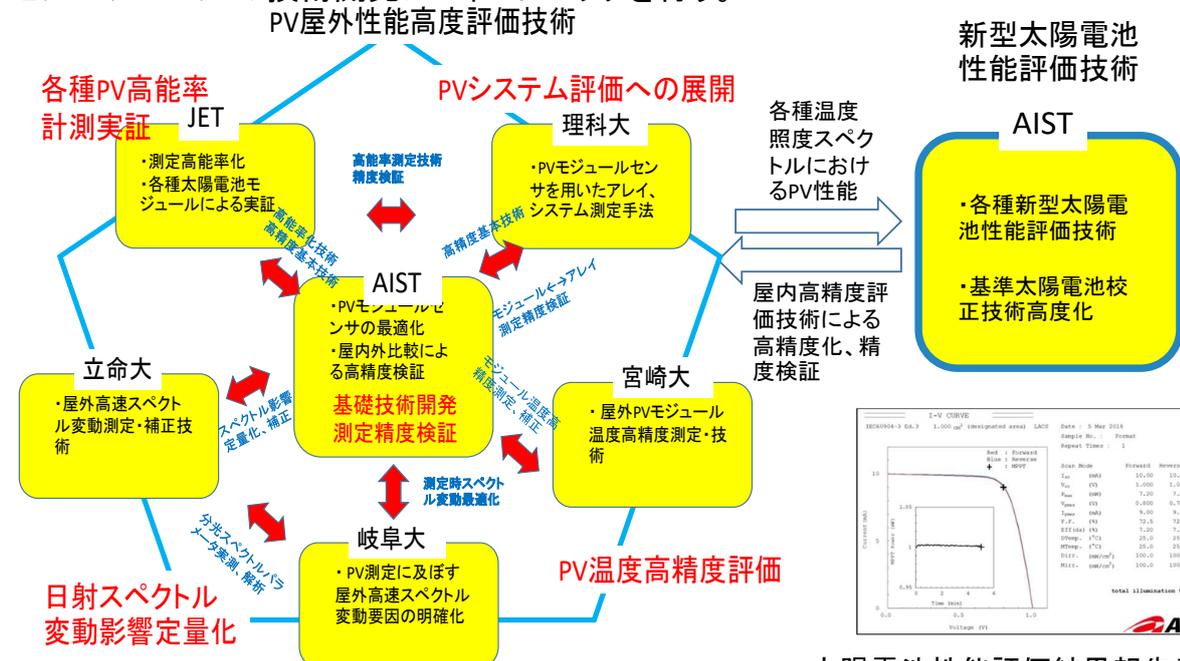
②IEA国際協力事業

資源総合システム

開発内容 共通基盤技術の開発(研究開発項目④)

PVの出力等を正しく評価するための測定技術開発

屋内の高精度測定技術及び屋外の高精度、高速、低コスト評価技術を開発し、セルモジュールの技術開発にフィードバックを行う。

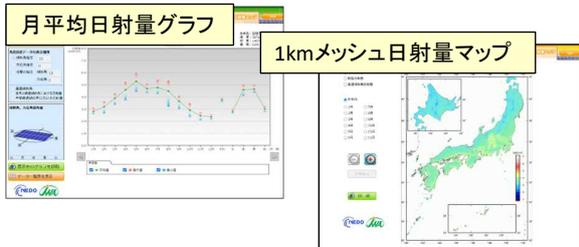


太陽電池性能評価結果報告書(例)

開発内容 共通基盤技術の開発(研究開発項目④)

太陽光モジュールの発電量を推定するための技術開発

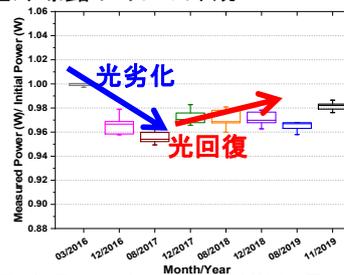
日射量データベースを構築し、メガソーラーの発電データからメガソーラーの発電量及び信頼性評価技術を開発する。



開発した日射量データベースの画面の例



発電量推定のためのデータを取得した屋外曝露サイトの外観

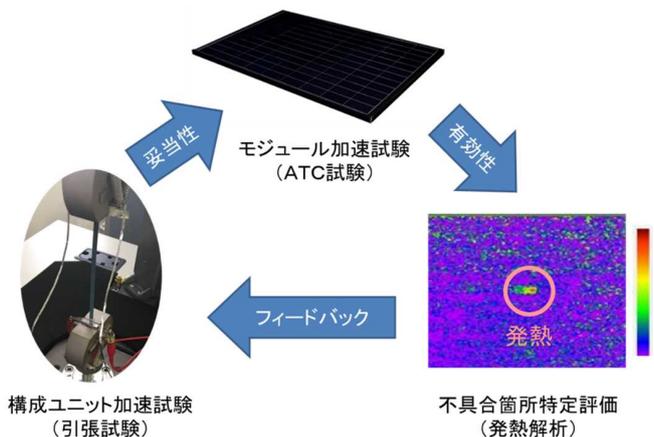
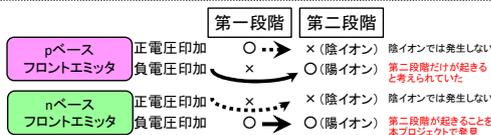
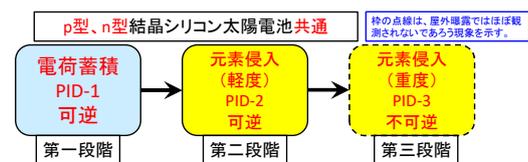


屋外曝露にともなうp型単結晶シリコン PERC太陽電池の出力の推移

開発内容 共通基盤技術の開発(研究開発項目④)

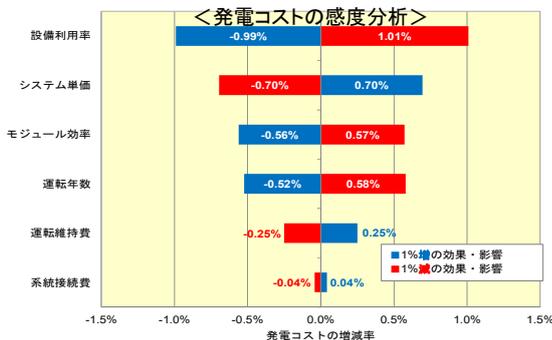
太陽電池モジュールの劣化要因の解明と加速試験方法の開発

太陽電池モジュールの劣化要因(PID現象等)を究明した。また、建材一体型太陽電池モジュール特有の加速試験の開発を行った。



成果 動向調査等 (研究開発項目⑤)

- ・セルモジュールを中心とした海外技術市場動向を調査した。
- ・今後実施すべき太陽光発電技術の戦略の検討として、**発電コストの感度分析**、**新市場の導入ポテンシャル**の試算を行った。
- ・新しい価値としての太陽光発電車載自動車の検討、シュミレーション、海外動向の情報収集等を実施した。
- ・**IEA PVPSタスク17「PV and Transport」**を初めとしてIEAにおける各種情報収集の支援を実施した。



NEDOウェブサイト：太陽光発電におけるNEDOの取り組み

・Snapshot Report日本語版、Trends Report日本語版、主要国の国内調査報告書日本語版（ダウンロード可能）。PVPS関連刊行物へのリンクもあります。



Snapshot Report (市場に関する速報報告書)
<http://www.iea-pvps.org/?id=266>
 日本語版：<https://www.nedo.go.jp/content/100785821.pdf>



Trends Report (太陽光発電に関する動向報告書)
<http://www.iea-pvps.org/index.php?id=trends>
 日本語版：<https://www.nedo.go.jp/content/100778293.pdf>



主要国の動向調査報告書日本語版
<https://www.nedo.go.jp/content/100780924.pdf>
 最新の報告書はIEA PVPSウェブサイト
<http://www.iea-pvps.org/index.php?id=93>



Annual Report (IEA PVPS及び加盟国/機関の年次報告)
http://www.iea-pvps.org/index.php?id=6&elD=dam_frontend_push&docID=4412



成果 動向調査等 (研究開発項目⑤)

IEA PVPS Members



Australia



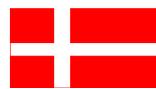
Austria



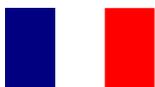
Canada



China



Denmark



France



Germany



Israel



Italy



Japan



Korea



Malaysia



Mexico



The Netherlands



Norway



Portugal



Spain



Switzerland



Sweden



Turkey



USA



Belgium



Thailand



Finland



EC



South Africa



Chile

◆ 成果の普及

◆ 特許出願件数と学会発表等

(2020年8月末時点)

項 目	特許出願		論文 (査読付)	研究発表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への掲載	受賞 実績	展示会 への出 展
	国内	外国					
研究開発項目①(結晶Si)	134	119	14	99	36	0	11
〃 (CIS)	18	9	6	41	488	1	7
研究開発項目②(Ⅲ-V)	11	4	248	1085	37	18	18
〃 (ペロブスカイト)	50	60	238	797	136	62	21
研究開発項目③(結晶Si)	15	3	155	778	14	14	13
〃 (CIS)	6	0	88	216	0	1	7
研究開発項目④	10	1	112	686	53	15	15
研究開発項目⑤	0	0	0	35	1	0	0
研究開発項目⑥	0	0	0	0	1	0	0
計	244	196	861	3,737	766	111	92

44

◆ 成果の普及

- ◆ 開発成果の普及については、NEDO自らも毎年「成果報告会」を開催したほか、国際会議、展示会等で広報に努めた。**2019年のRE展では太陽光発電搭載の実証車を展示**。数々の報道記事で紹介された。
- ◆ また、プレスリリースについては**セル・モジュールの効率達成に加えて、太陽光発電の新分野への展開等**についても発行した。



◆ 成果の普及

以下はNEDOが行ったプレスリリースの実績。

掲載	件名
2020年7月6日	世界最高水準の高出力な太陽電池セルを活用し、電気自動車用太陽電池パネルを製作(シャープ株式会社と共同)
2020年1月20日	ペロブスカイト太陽電池大面積モジュールで世界最高変換効率16.09%を達成(パナソニック株式会社と共同)
2019年7月4日	世界最高水準の高出力太陽電池を搭載した電動車の公道走行実証を開始(シャープ株式会社と共同)
2019年5月13日	「太陽光発電システム搭載自動車検討委員会」中間報告書第2報を公表
2019年1月17日	CIS系薄膜太陽電池セルで世界最高変換効率23.35%を達成(ソーラーフロンティア株式会社)

ペロブスカイト太陽電池大面積モジュールで世界最高変換効率16.09%を達成
—世界、設置面積の大きい高効率太陽光発電が可能に—

2020年1月20日
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
パナソニック株式会社

NEDOは、太陽光発電の導入促進を目的に「高性能・高信頼性太陽電池の発電コスト低減技術開発」に取り組んでおり、今後、同事業でパナソニック（株）と共同で世界最高水準となる変換効率16.09%を達成し、さらなる効率向上を目指して開発したペロブスカイト太陽電池モジュール（開口面積30cm²、厚さ0.6mm、重量2.9mm）で世界最高変換効率16.09%を達成しました。

本モジュールの製造工程にインクジェットを用いた印刷製造技術を採用したことにより、製造コストを従来より低減できると、本モジュールの大面積、軽量、高変換効率の特性が期待できるとして、社会実用化に向けた技術開発が期待されています。

今後、ペロブスカイト材料の改良により結晶シリコン太陽電池並みの高効率化を達成し、軽便車での実用化に向けた技術開発を目指します。



図1 世界最高水準となる変換効率16.09%を達成したペロブスカイト太陽電池モジュール

世界最高水準の高出力太陽電池を搭載した電動車の公道走行実証を開始
—運輸分野におけるCO₂排出削減に向け、太陽電池活用可能性を検証—

2019年7月4日
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
シャープ株式会社
トヨタ自動車株式会社

NEDO、シャープ（株）（以下、シャープ）、トヨタ自動車（株）（以下、トヨタ）は、高出力太陽電池を搭載した電気自動車による、EV駆動距離や消費電力の検証を目的とした、公道走行実証を2019年7月下旬から開始します。

本実証を行うにあたり、シャープはNEDO事業の一環として開発した高出力太陽電池セル（変換効率14%以上）を専用車にモジュール化して太陽電池パネルを製作しました。トヨタは、「アリアスPHV」のルーフラック、バックドアなどに同パネルを装着し、定格発電電力を約800Wまで高める公道走行用電気自動車（以下、実証車）を製作しました。大塚に高出力太陽電池を応用させたことに加え、「アリアスPHV」では駐車中にのみ行っていた駆動用バッテリーへの充電を、実証車で公道走行中に実行するシステムを採用しており、EV駆動距離や消費電力の検証を想定しています。

トヨタは、実証車製造所や営業所などにおいて、さまざまな走行条件下で走行実証を行い、本搭載セルからの発電量や駆動用バッテリーへの充電量などのデータの検証を通じて、今後の車載ソーラー充電システムの開発に活かすことを目的としています。また、実証車の一部は3車で行われ、NEDOが主催する「太陽光発電システム搭載自動車検討委員会」などで、CO₂削減効果をはじめ、充電効率向上などの利便性向上効果などを検証し、運輸部門を主とした太陽電池パネルの新規市場創出とエネルギー・環境問題解決へのさらなる貢献を目指します。



図1 太陽電池パネルを装着した「アリアスPHV」実証車

◆ 成果の普及

掲載日	件名
2018年10月25日	太陽光発電の輸送分野における普及に向けた国際調査活動を開始
2018年6月18日	面積世界最大のフィルム型ペロブスカイト太陽電池モジュールを開発(株式会社東芝と共同)
2018年6月1日	新たに機能拡充した「日射スペクトルデータベース」を公開
2018年5月28日	太陽光発電の発電コスト低減を目指した2事業で新たにテーマを採択
2018年1月31日	「太陽光発電システム搭載自動車検討委員会」中間報告書を公表

面積世界最大のフィルム型ペロブスカイト太陽電池モジュールを開発
—モジュール面積703cm²で変換効率11.7%を実現—

2018年6月18日
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
株式会社東芝

NEDOと（株）東芝は、（株）東芝が保有するメソスコプスケール技術に加えて新たなプロセス開発などにより、従来両立の困難であったセルの大面積化と高効率化を実現する、モジュール面積703cm²（面積世界最大）、変換効率11.7%のフィルム型ペロブスカイト太陽電池モジュールを開発しました。開発の応用に加え、さらなる高信頼性を併せ持つことで、今後の太陽電池の設置場所が広がることを期待されます。

今後、さらなる大面積化を達成し、材料選択・印刷技術の開発やペロブスカイト層の材料改良などにより、結晶シリコン太陽電池並みの高効率を目指すとともに、最終的にはプロジェクト目標である2030年に発電コスト1円/ kWhの削減に向けて、さらに技術開発を進めます。



図1 面積世界最大のフィルム型ペロブスカイト太陽電池モジュール
(24.13cm×29.10cm、変換11.7%)

「太陽光発電システム搭載自動車検討委員会」中間報告書第2報を公表
—太陽光発電システム搭載自動車走行時に取得可能な日射量を計測—

2019年5月13日
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
理事長 石川英郎

NEDOは、太陽光発電システム搭載自動車検討委員会の中間報告書第2報を本日公表しました。この中間報告書は、自動車に日射計を搭載して走行時に取得する日射量を計測した実証結果をまとめたもので、「太陽光発電システム搭載自動車の取得日射量は、道路沿いの建物や樹木、電柱などの影により低下することがあるが、建物などからの反射により、自動車取得する日射量が建物の影や、屋上などよりも大きくなる可能性もある」とを指摘しました。

なお、今回の中間報告書は、太陽光発電システム搭載自動車の実用による効果の試算結果を2018年1月に公開したものに続く第2報です。



図1 太陽光発電システム搭載自動車イメージ

◆ 成果の普及

掲載日	件名
2017年12月20日	CIS系薄膜太陽電池セルで世界最高変換効率22.9%を達成 (ソーラーフロンティア株式会社と共同)
2017年2月27日	CIS系薄膜太陽電池サブモジュールで世界最高変換効率19.2%を達成 (ソーラーフロンティア株式会社と共同)
2016年10月27日	結晶シリコン太陽電池モジュールで世界最高変換効率24.37%を達成 (株式会社カネカと共同)
2016年9月14日	結晶シリコン太陽電池で世界最高変換効率26.33% (株式会社カネカと共同)
2016年5月19日	太陽電池モジュールで世界最高変換効率31.17%を達成 (シャープ株式会社と共同)
2016年3月28日	ペロブスカイト太陽電池で変換効率18%超を達成 (物質・材料研究機構(NIMS)と共同)
2015年10月23日	実用サイズの太陽電池セルで変換効率25.1%を達成 (シャープ株式会社と共同)
2015年6月4日	太陽光発電の発電コスト低減に向けた新たなプロジェクトを始動

48

◆ 知的財産権の確保に向けた取組

各テーマ毎の取り組みは個別のプロジェクトの詳細説明および実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みにて説明。

特許出願(うち外国出願)	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	計
研究開発項目①(結晶Si)	16(0)	41(16)	58(30)	76(40)	62(33)	253(119)
〃 (CIS)	1(0)	5(1)	6(0)	5(3)	10(5)	27(9)
研究開発項目②(Ⅲ-V)	1(1)	1(0)	4(0)	6(1)	3(2)	15(4)
〃 (ペロブスカイト)	7(0)	32(12)	37(17)	40(31)	4(0)	110(60)
研究開発項目③(結晶Si)	0(0)	3(1)	3(0)	2(0)	10(2)	18(3)
〃 (CIS)	0(0)	2(0)	4(0)	0(0)	0(0)	6(0)
研究開発項目④	1(0)	2(0)	3(0)	3(1)	2(0)	11(1)
研究開発項目⑤	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)
研究開発項目⑥	-	-	-	0(0)	0(0)	0(0)
計	26(1)	86(30)	115(47)	132(76)	91(42)	440(196)

※2020年8月31日現在

49

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

研究開発項目①、③

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることであり、さらに、当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動(売り上げ等)に貢献することを言う。

研究開発項目②

Ⅲ-Vやペロブスカイト等の次世代太陽電池については、コスト低減、効率向上、量産技術の開発等を行い、将来の事業化計画に反映すること。

研究開発項目④

太陽電池の評価や日射量データベースについては、技術確立を行うとともに、それが活用できる環境整備を行うこと。

◆実用化・事業化に向けた戦略と具体的取組み

- NEDOは実施期間中に各事業者を訪問し、幹部や研究開発のキーパーソンとディスカッションを行うことにより各機関の戦略、事業化の予定について議論を行い、マネジメント(体制変更や加速資金の配賦)に反映を行った。
- また、上記の議論や研究開発項目⑤(動向調査)を通して、研究開発項目⑥(高性能太陽電池製造技術実証)の追加や車載、ビル壁面等、これまで太陽光発電が導入されていなかった領域へ向けた検討を行い、例えば、車載については実証車の作製、実証走行を行った。

※実用化・事業化に向けての「取組み及び見通し」は「個別テーマの詳細説明および実用化・事業化に向けての見通し及び取組み」にて説明。

◆成果の実用化に対する課題と今後の方針

- 研究開発項目①、③については、シリコンとCISという既に海外企業との競争が激しい分野であり、競争優位性が出せるよう、企業の事業化状況を確認する。
- 研究開発項目②については、Ⅲ-V、ペロブスカイトの次世代電池については、コスト低減、効率のみならず、**量産技術、耐久性等の向上**が不可欠。また、シリコン、CIS等の既存太陽電池との棲み分けが可能な新規用途開拓が必要。
- 研究開発項目④については、電池の評価や日射量データベースといった共通基盤技術については、それが活用できる**環境整備**につなげる。



- 高性能高信頼性プロジェクトの成果については、企業が事業化への検討を進めるとともに、新市場等、今後の展開可能性については2020年度から開始した**「太陽光主力電源化推進技術開発」**において、事業化に向けた技術開発について引き続き支援を行う。

◆波及効果

- 研究開発項目①、②、③については、日本の太陽光発電モジュールを中心とした関連の産業力強化、国内シェア増加につなげる。また、新規分野への展開により、市場規模の拡大が見込める。
- 研究開発項目④については、太陽光モジュール企業のみならず、太陽光発電システム、事業者にとっても裨益するものである。

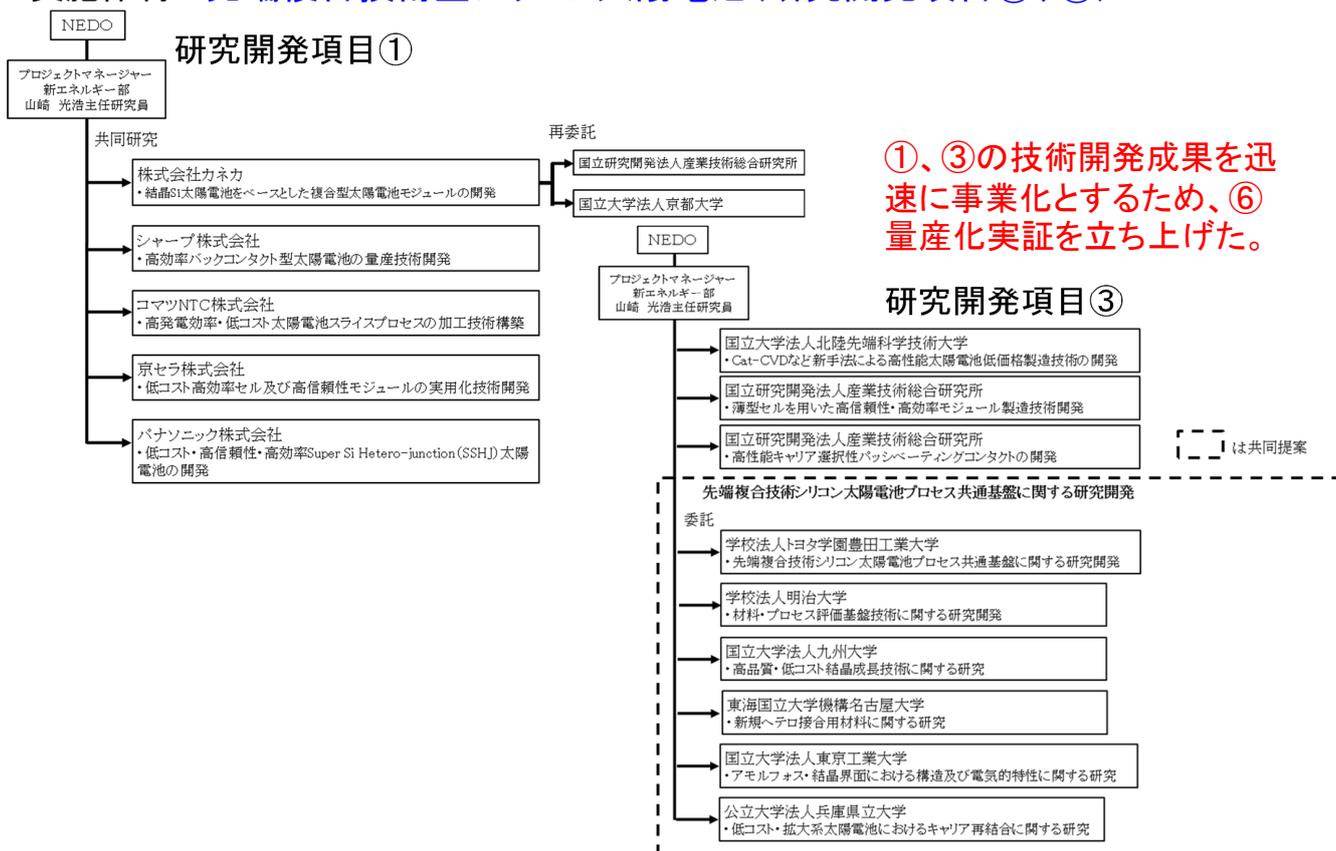


- 上記を通じて、日系企業モジュールの産業競争力強化や国内導入量の増加、更にはCO2削減等につなげる。

補足資料

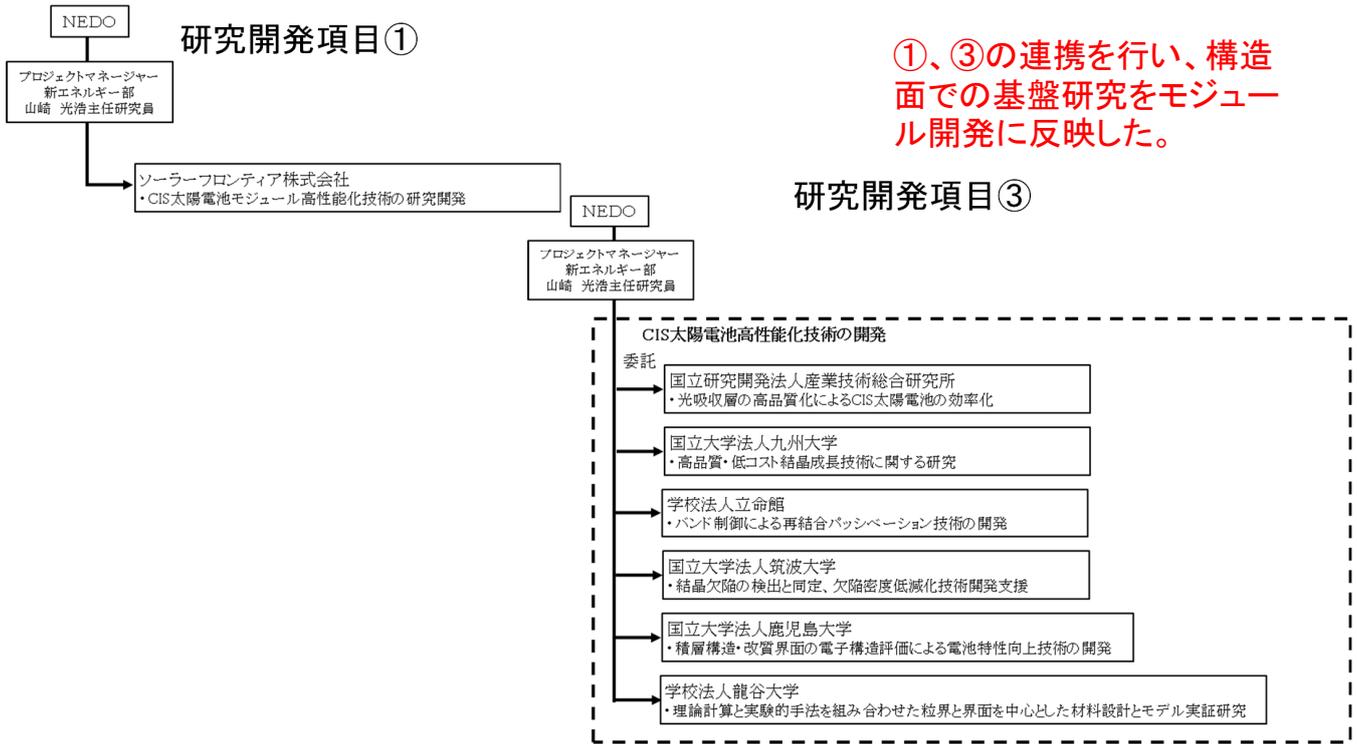
2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

実施体制 先端複合技術型シリコン太陽電池(研究開発項目①、③)



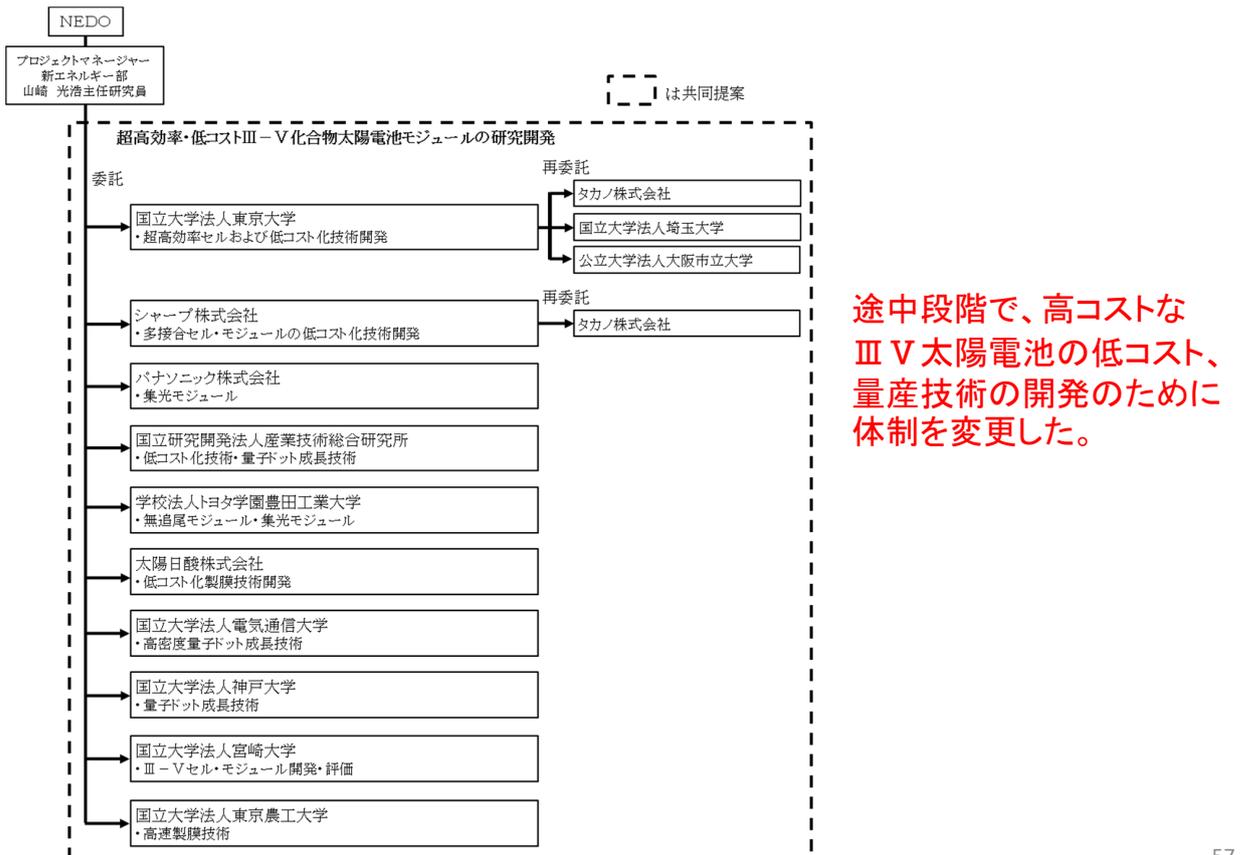
2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

実施体制 高性能CIS太陽電池の技術開発(研究開発項目①、③)



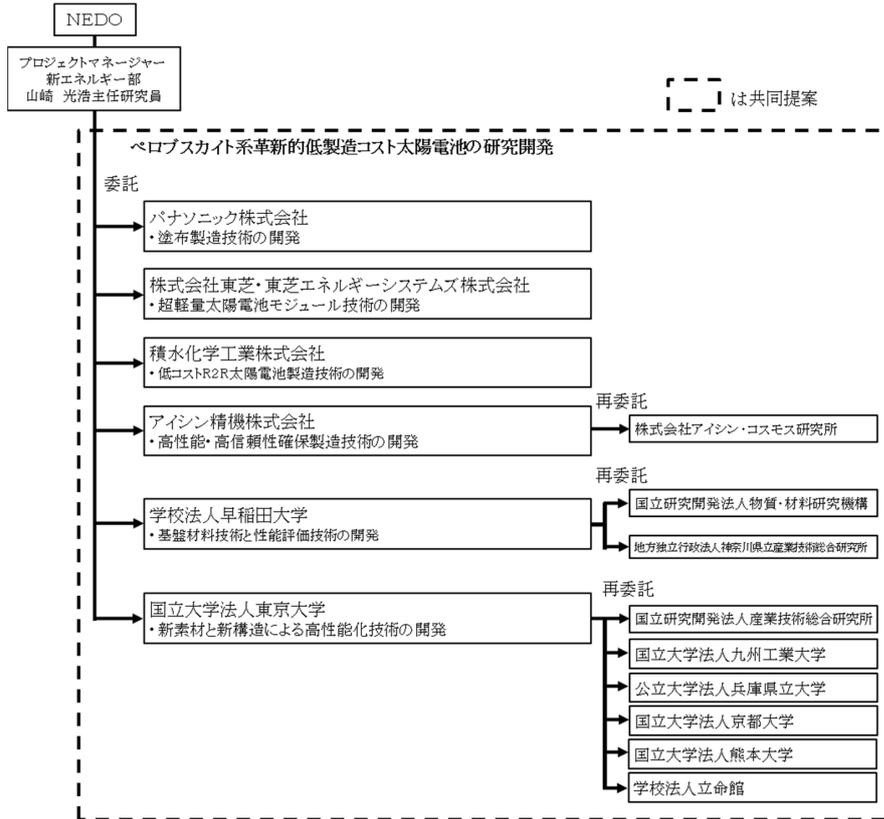
2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

実施体制 III-V族化合物太陽電池(研究開発項目②: 革新的高効率太陽電池)



2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

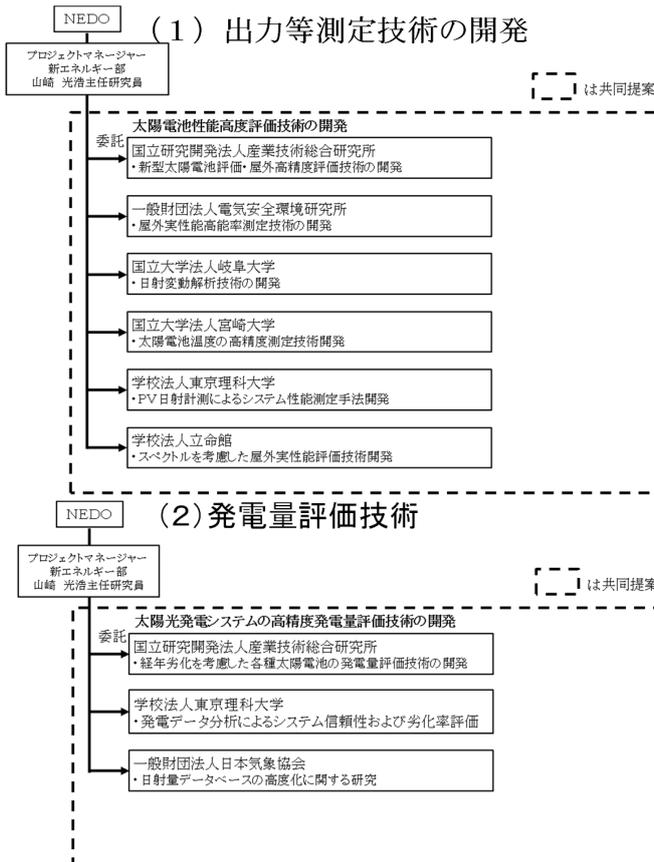
実施体制 ペロブスカイト太陽電池(研究開発項目②): 革新的低コスト太陽電池



大学の基盤研究と用途毎のモジュール開発を連携し、一体的な開発体制にて実施。

2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

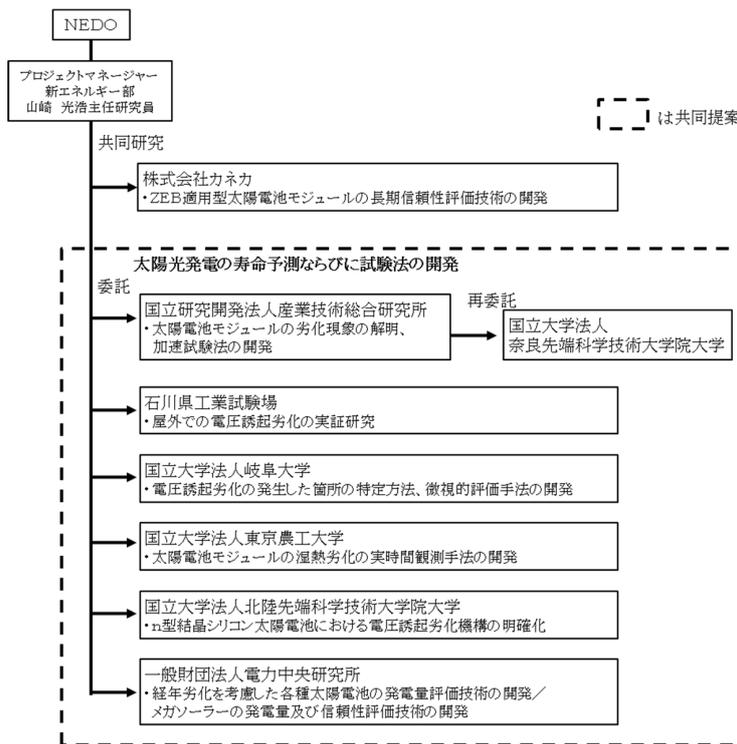
実施体制 共通基盤技術の開発(研究開発項目④)



産総研を中核として、各大学が強みを持つ技術開発と連携。

実施体制 共通基盤技術の開発(研究開発項目④)

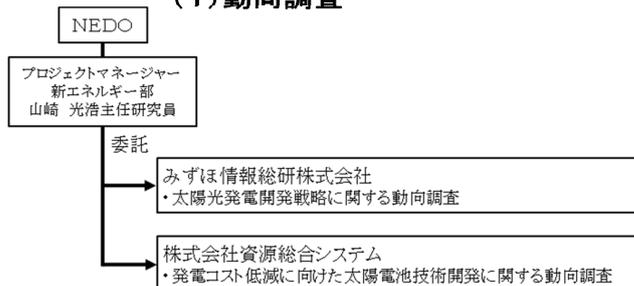
(3) 信頼性・寿命評価技術の開発



産総研を中核とした劣化、加速試験の開発と壁面設置のモジュールの長期信頼性評価を連携。

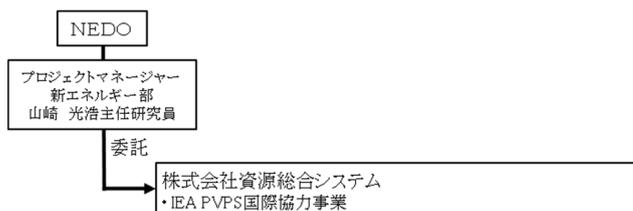
実施体制 動向調査等(研究開発項目⑤)

(1) 動向調査

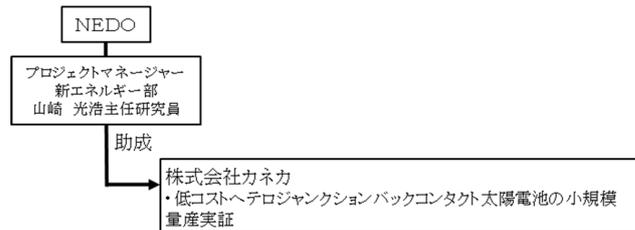


途中段階で、動向調査において、車載太陽光の項目を追加。

(2) IEA国際協力事業



実施体制 高性能太陽電池製造技術実証(研究開発項目⑥)



Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

研究開発項目①

先端複合技術型シリコン太陽電池、高性能CIS太陽電池の技術開発

【結晶シリコン】

- ・結晶Si太陽電池をベースとした複合型太陽電池モジュールの開発(株式会社カネカ)
- ・高効率バックコンタクト型太陽電池の量産技術開発(シャープ株式会社)
- ・低コスト高効率セル及び高信頼性モジュールの実用化技術開発(京セラ株式会社)
- ・基盤技術開発による先端複合技術セルのための低再結合電極の研究開発(ナミックス株式会社)
- ・赤外線FZ法による高品質低コストシリコン単結晶の開発(株式会社クリスタルシステム)
- ・高発電効率・低コスト太陽電池スライスプロセスの加工技術構築(コマツNTC株式会社)
- ・太陽電池用原料品質の最適化及び結晶欠陥の評価技術の開発・制御(株式会社トクヤマ)
- ・低コスト・高信頼性・高効率 Super Si Hetero—junction(SSHJ)太陽電池の開発(パナソニック株式会社)

【CIS】

- ・CIS太陽電池モジュール高性能化技術の研究開発(ソーラーフロンティア株式会社)

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	結晶Si太陽電池をベースとした複合型太陽電池モジュールの開発
実施者	株式会社カネカ、国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人京都大学
期間・予算	2015年7月～2020年2月末 5年間、総額：約1,332.5百万円
目標	(1) モジュール変換効率：24%（実用サイズモジュールにて）(2) 発電コスト 14円/kWh
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ヘテロ接合バックコンタクト結晶Si太陽電池により、Si太陽電池の世界最高記録(セル変換効率26.7%、モジュール変換効率24.5%)達成（産総研測定） ・住宅用建材一体型モジュールにおける発電コスト14円/kWh以下
ポイント	<ol style="list-style-type: none"> ① 高品位ヘテロ接合形成技術、パターン形成技術、セル高性能化技術を開発。 ② 高出力、高信頼性モジュール技術を開発。 ③ 実用化技術(特に高効率技術、低コストパターン形成技術)を開発し、発電コストを低減。



結晶Si太陽電池における世界最高変換効率モジュール（ヘテロ接合バックコンタクト太陽電池）

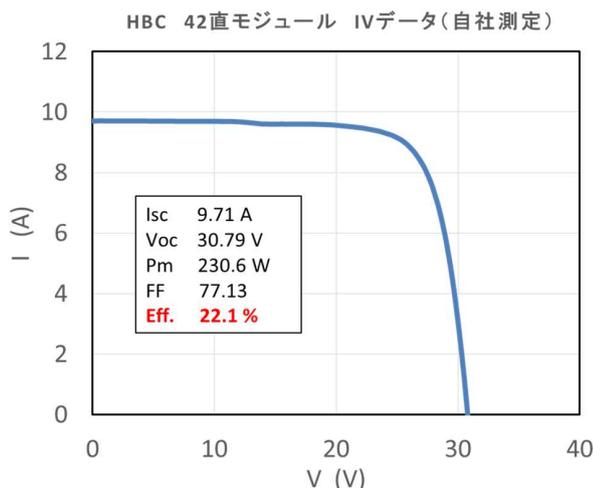
64

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発 先端複合技術型シリコン太陽電池、高性能CIS太陽電池の技術開発 高効率バックコンタクト型太陽電池の量産技術開発
実施者	シャープ株式会社
期間・予算	2015年5月22日～2020年2月29日 5年間 1,511百万円(税込)
目標	<ul style="list-style-type: none"> ・モジュール変換効率22%を試作モジュールで確認する。 ・7円/kWhの定量的なシナリオの作成
概要	<ol style="list-style-type: none"> ①モジュール変換効率22.1%を42直の試作モジュールで確認 ② 2025年発電コスト目標 7円/kWhの定量的なシナリオを提示
ポイント	



42直モジュール



65

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	低コスト高効率セル及び高信頼性モジュールの実用化技術開発
実施者	京セラ株式会社
期間・予算	2015年5月～2020年2月末 5年間、総額:605.3百万円
目標	発電コスト14円/kWhを実現する太陽電池モジュールの製造技術導入
概要	高効率・高信頼性モジュール技術を製造導入し、発電コスト14円/kWh以下を実現した。

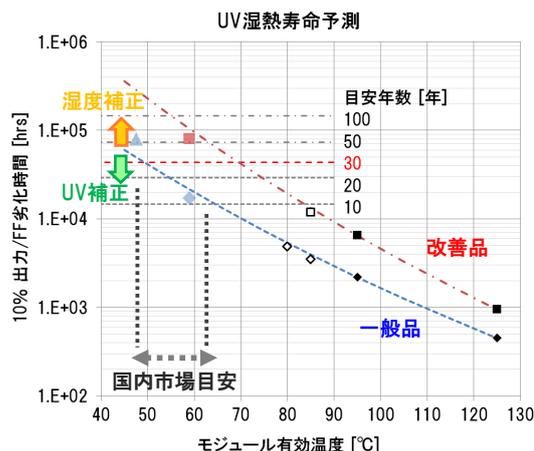
ポイント

【高効率、低コストセル/モジュール技術開発】

- ・シードキャスト基板を用いた両面受光PERC仕様セル効率22.0%(AIST測定)
- ・モジュール効率20.1%(社内測定)を確認

【高信頼性モジュール開発】

- ・信頼性加速試験、市場回収品追加加速試験、及び劣化原理解析に基づく寿命予測技術を開発
- ・PERC60直モジュールにて非住宅市場で予測寿命35年以上であることを確認



Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	1.n-PERT用低再結合電極の開発
実施者	ナミックス株式会社
期間・予算	2015年7月21日～2018年3月31日
目標	①低表面濃度のn+層に対する接触抵抗低減 $2\text{m}\Omega\text{cm}^2$ 以下 (基板表面濃度 $1 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$) ②p+層に対する接触抵抗低減 $5\text{m}\Omega\text{cm}^2$ 以下 (基板表面濃度 $1 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$) ③電極形成による再結合 ($j_0\text{-met}$)抑制 500fAcm^{-2} 以下

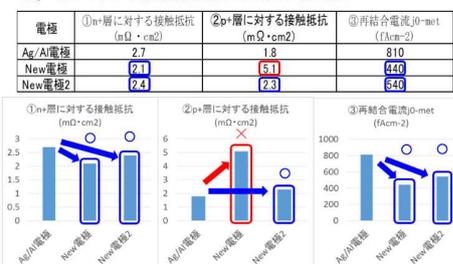
概要

n-PERT型のp+エミッター、n+エミッター用に使用される電極ペーストにおいて、焼成後の電極直下での再結合に起因する開放電圧低下を抑制する電極開発を行った。

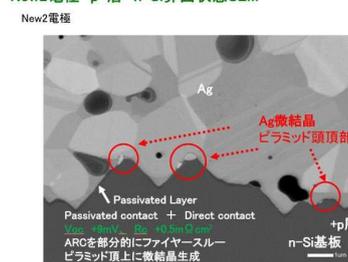
ポイント

アルミ金属を使用せずガラスフリットの反射防止膜への反応性を調整することで、目標値も達成し、適切にパッシベーション膜を残したまま基板との接続性を確保することに成功した。この結果、電極-シリコン基板間の再結合電流密度を小さく抑えることができるようになり高い変換効率が得られる電極ペーストの開発に成功した。

n+, p+層に対する接触抵抗値と再結合電流値



New2電極 p+層 n-Si界面状態SEM

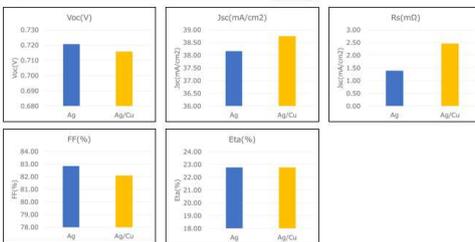


Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	2.ヘテロジャンクション用卑金属電極の開発
実施者	ナミックス株式会社
期間・予算	2015年4月1日～2017年3月31日
目標	①電極コスト削減率(%) -30%(銀ペースト対比) ②変換効率(%) -0.05%以内(銀ペースト対比) ③接触抵抗 8.0mΩ cm ² 以内(銀ペースト対比)
概要	ヘテロジャンクション型の太陽電池用の銀ペーストのコスト削減のために非金属を使用した電極を開発する
ポイント	銀粉末と銀コート粉末を混合使用したペーストにより目標値を達成する電極が出来た。変換効率、信頼性ともに銀ペーストと同等であり実用レベルであることがわかった。

4BB セル 太陽電池特性結果

ペースト	Voc(V)	Jsc(mA/cm ²)	Rs(mΩ)	FF(%)	Eta(%)
Ag	0.721	38.16	1.39	82.04	22.78
Ag/Cu	0.716	38.75	2.46	82.08	22.76

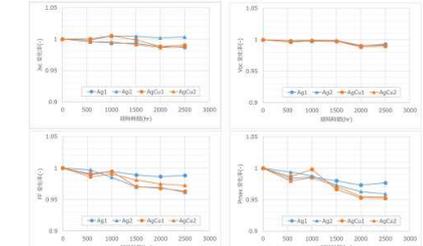


Ag/Cu 変換効率Eta -0.02%差 (Ag対比)
→ 目標値変換効率Eta -0.05%以内達成

1セルモジュール信頼性結果

DH 85°C/85% 2500hr結果

IV測定結果 (n面)



-DH85%/85°C2500hrまでは0.5%以内の変化にとどまっている。OK。

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	赤外線FZ法による高品質低コストシリコン単結晶の開発
実施者	株式会社クリスタルシステム
期間・予算	2015年7月～2018年2月末 3年間、 総額299.9百万円
目標	①直径:220mm ②長さ:300mm以上 ③導電型:N型リンドープ ④ライフタイム:5000 usec以上 ⑤結晶欠陥: ≤0.1個/cm ³ (大きさ100nm以上) ⑥転位:0 個/cm ² ⑦抵抗面内分布:12%以下 (100Ω cm, N型) ⑧酸素成分濃度: ≤2 × 10 ¹⁶ atoms/cm ³ ⑨炭素成分濃度: ≤2 × 10 ¹⁶ atoms/cm ³
概要	赤外線FZ法技術の確立により、N型シリコン単結晶基板の安価な製造を実用し、2020年における14円/kWh、及び2030年における7円/kWhの発電コスト低減の実現に寄与する。
ポイント	①直径130mm/長さ105mmの単結晶、及び厚さ525umのウェーハの製造を実現 ②結晶成長方向比抵抗分布 ≤15%による歩留改善による低コスト化の実現 ③ネッキング法の導入による無転位化の達成 ④高ライフタイム化、低Oi・Csによる品質向上(表1)



左: 赤外線FZ法により育成されたシリコン単結晶
右: 得られた単結晶より加工したシリコンウェーハ

表1.赤外線FZシリコン単結晶の比抵抗別の特性評価結果

NO.	比抵抗 (Ωcm)	ライフタイム (μsec)	酸素成分濃度 (Oi) (atoms/cm ³)	炭素成分濃度 (Cs) (atoms/cm ³)
目標		5000	≤2.0 × 10 ¹⁶	≤2.0 × 10 ¹⁶
条件1	1	7397	1.6 × 10 ¹⁴	6.9 × 10 ¹⁵
条件2	5	7962	6.9 × 10 ¹³	1.2 × 10 ¹⁵

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

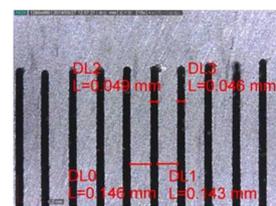
テーマ名	高発電効率・低コスト太陽電池スライスプロセスの加工技術構築
実施者	コマツNTC株式会社
期間・予算	2015年5月～2020年2月 5年間、総額:100.9百万円(うちNEDO負担 2/3)
目標	①14円/kWhを実現する太陽電池モジュールを2020年までに実用化 ②2025年までに7円/kWhを実現する要素技術確立 に資するスライス技術の構築
概要	発電効率への影響把握と改善、シリコン材料歩留向上およびスライスコスト削減を開発 ⇒1.33円/kWhの発電コスト低減に寄与し、7円/kWh達成シナリオを提示した
ポイント	

*達成度
◎:数値目標クリア+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

開発内容	最終目標	研究開発成果	達成度*
結晶シリコン太陽電池の発電効率向上	太陽電池性能影響把握	・影響明確化/改善技術構築 ・低ダメージ加工優位性確認済	○
	大学試作セル効率 $\geq 25\%$	・薄板PV発電効率22.4% ・薄板PV製作の課題抽出済	○ *スライス品質問題し
結晶シリコン太陽電池の製造コスト低減	切断ピッチ0.11mm	・ピッチ0.15mm加工技術構築 ・t80 μm までのPV試作完了	△
	カーフロス60 μm 以下	・カーフ60 μm 加工技術構築 ・カーフ50 μm 加工確認済	◎
	スライスコスト18円/枚以下	・12.5円/枚を達成	◎



極薄N型bifacial PERTセル外観

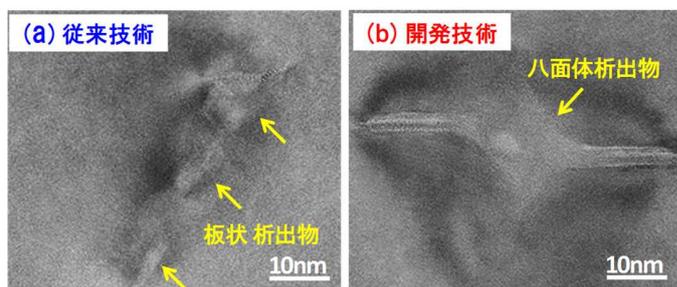


カーフ50 μm 切断面

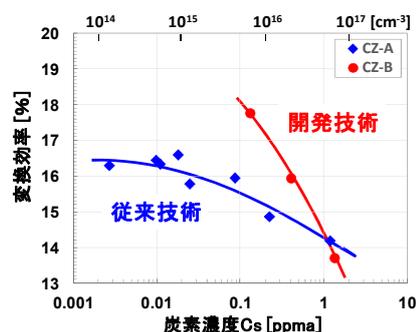
70

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	太陽電池用原料品質の最適化及び結晶欠陥の評価技術の開発・制御
実施者	株式会社トクヤマ
期間・予算	2015年5月～2017年3月末 2年間、総額:60.0百万円
目標	① 不純物および欠陥の影響把握と制御化 ② ライフタイム目標値は1000 μsec とし、ライフタイム下限値は300 μsec 以上
概要	① 炭素不純物を核に成長する酸素析出物がキラ欠陥となり、ライフタイムや変換効率に悪影響を及ぼす。炭素濃度と結晶成長条件により、酸素析出物の形態と数密度が変化し、ライフタイムが変化することを明らかにした。 ② 酸素析出物の形態と数密度を制御して、高ライフタイムの単結晶インゴットを得るCZ法結晶成長技術を開発した。直径8～9インチの実用サイズのn型インゴット全長で、ライフタイム2000 μsec 以上が得られ、目標を達成した。



(a)従来技術と(b)開発技術の結晶中に成長した酸素析出物



インゴットトップの変換効率と炭素濃度の関係

71

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	低コスト・高信頼性・高効率Super Si Hetero-Junction (SSHJ)太陽電池の開発
実施者	パナソニック株式会社
期間・予算	2018年6月～2019年9月末 1年3カ月 総額: 117.8百万円
目標	<ul style="list-style-type: none"> 太陽電池の高効率化と高信頼性の両立やその低コスト製造技術を開発。 2020年に発電コスト14円/kWhを実現 2025年に発電コスト7円/kWhを目指す 目標を達成するためには、6インチサイズの太陽電池として下記目標値が必要と試算。自社量産化試作ラインを用いて開発を実施。

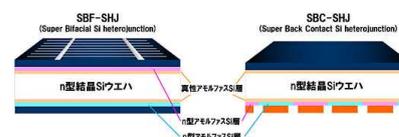


図 新構造(SBF, SBC)セル

構造	コスト見込み	達成時期	モジュール効率	セル効率
SBF-SHJ	<14 円/kWh	2020年	20.5%	23.7%
SBF-SHJ	<7円/kWh	2024年	20.8%	24.0%
SBC-SHJ	<7円/kWh	2024年	22.0%	25.0%

概要	<ul style="list-style-type: none"> 量産化試作ラインを用いた、6インチ基板太陽電池の開発 新構造セル(SBF, SBC-SHJ)の要素技術の開発 基板サイズの拡大+プロセス技術, ヘテロ接合技術の高度化技術, テクスチャ形状, リソレス電極などの新規技術 ヘテロ接合形成プロセス技術の開発において産総研、北陸先端科学技術大学院大学と連携することで開発効率を向上
----	--

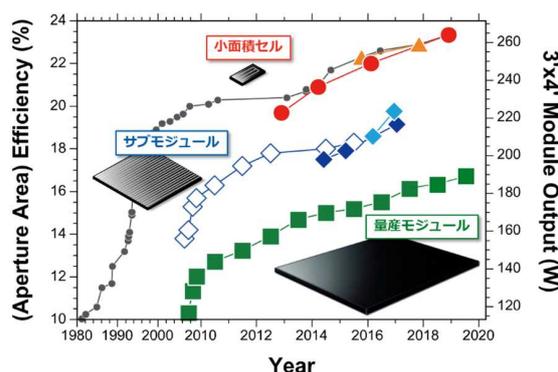
ポイント	太陽電池の高効率化と高信頼性の両立やその低コスト製造技術の開発に成功 発電コスト達成の見込み、モジュール効率・セル効率を短期間で達成
------	---

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	CIS太陽電池モジュール高性能化技術の研究開発
実施者	出光興産株式会社(ソーラーフロンティア株式会社、昭和シェル石油株式会社)
期間・予算	2015～2019年度(NEDO負担額計1,112百万円)
目標	発電コスト14円/kWh(製品サイズ試作モジュール変換効率16%)

概要	発電コスト低減に資するCIS太陽電池モジュール出力向上のための技術開発を行った
----	---

ポイント	<ul style="list-style-type: none"> 発電コスト 13.3円/kWh (事業開始前:19円/kWh) 製品サイズ試作モジュール変換効率 16.1% (事業開始前:13.8%) サブモジュール変換効率 19.8% (事業開始前:18%) 小面積セル変換効率 23.4% (事業開始前:20.9%)
------	---



CIS太陽電池の変換効率の推移

研究開発項目②

革新的新構造太陽電池の研究開発／

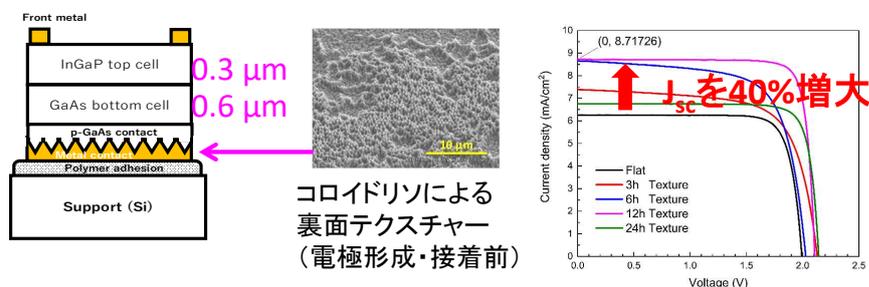
超高効率・低コストⅢ-V化合物太陽電池モジュールの研究開発

- ・低コストセル技術開発(東京大学、シャープ株式会社、産業技術総合研究所、大阪市立大学(再))
- ・低コスト化プロセス技術開発(産業技術総合研究所、東京農工大学、東京大学、タカノ(再)、シャープ株式会社、豊田工業大学、大陽日酸株式会社)
- ・低コストモジュール開発(シャープ株式会社、パナソニック株式会社、宮崎大学、豊田工業大学)
- ・超高効率セル開発(東京大学、埼玉大学(再)、シャープ株式会社、宮崎大学、産業技術総合研究所、電気通信大学、神戸大学)

74

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

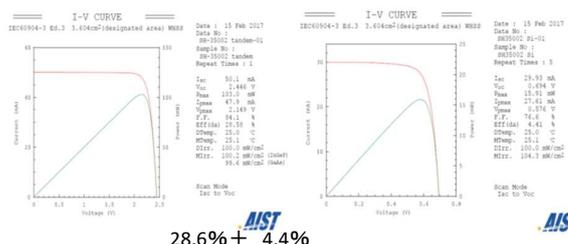
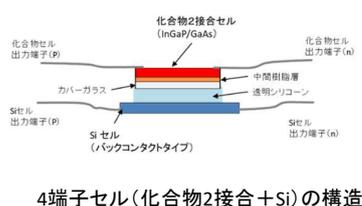
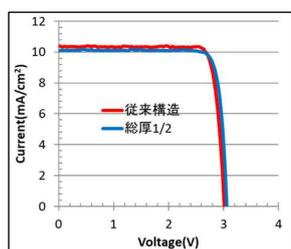
テーマ名	高効率Ⅲ-V薄膜セル開発(光閉じ込め)
実施者	東京大学
期間・予算	2015～2019年度(5年間) 1498百万円(他テーマとの合算額)
目標	量子井戸を含むⅢ-V薄膜3接合セルおよびⅢ-V薄膜2接合+シリコンセルに光閉じ込め構造を実装し、光閉じ込め効果を有効に用いることで変換効率33%の達成に資する
概要	サブセルの総厚を3.5 μmから1.0 μmまで約7割削減しても、効率は33.2%から30.2%まで約1割しか低下しないことをシミュレーションで示した。 コロイドリソグラフィー+ドライエッチングによる裏面テクスチャ形成を、薄膜2接合セル(InGaP 300 nm/GaAs 600 nm)に適用。裏面ミラーの場合に比べて主にGaAsの光吸収を増大してJ _{sc} を40%増大。
ポイント	裏面テクスチャつき薄膜2接合セル →裏面ミラーの場合に比べて主にGaAsの光吸収を増大してJ _{sc} を40%増大。



75

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	低コストセル技術開発／高効率Ⅲ-V薄膜セル開発(光閉じ込め)、シリコン上Ⅲ-V多接合セル
実施者	シャープ株式会社
期間・予算	2015年6月～2020年2月末 5年間、総額:1234.2百万円
目標	・化合物太陽電池層の膜厚を従来の1/4に低減した構造で、変換効率33%を達成する。 ・Ⅲ-V族2接合セルとSiセルとの接合を行ったセルで、変換効率33%を達成する。
概要	高効率を維持しながらⅢ-V化合物エピタキシャル膜の膜厚を低減し、低コスト化を目指す。 ①Ⅲ-V族化合物セルのみと、②Ⅲ-V族セルとSiセルのスタック構造の2構造を開発
ポイント	・①の構造は従来比1/2は達成、目標の1/4には達せず。 ・②の構造は、非導電性接着剤を用いたメカニカルスタックの4端子構造で33%を達成

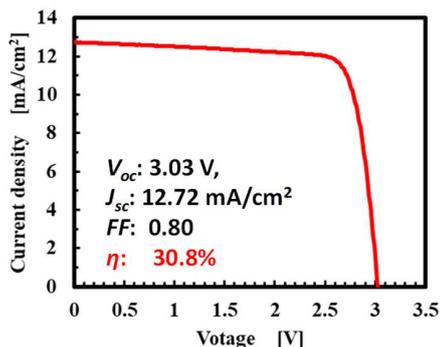


薄型化したⅢ-V化合物セルの電気特性

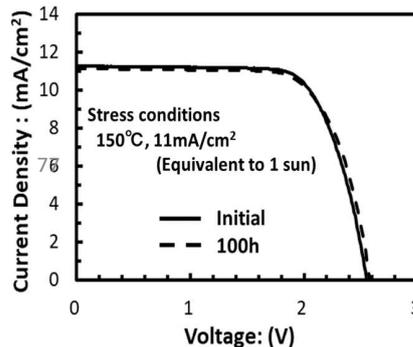
電気特性：化合物2接合(左)28.6% Si(右)4.4%

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	低コスト化技術・量子ドット成長技術 (スマートスタックセル)
実施者	産業技術総合研究所
期間・予算	2015年6月～2020年2月末 5年間、総額：446.7百万円
目標	・GaAs/Si多接合太陽電池で効率30% ・素子寿命30年以上の高信頼性化技術指針確立 ・システム価格125円/W実現のためのスタック技術確立の指針獲得
概要	・Pdナノ粒子配列を利用したスマートスタック技術により、発電効率30%以上を有しかつコストミナムなセル構造および実用化技術を検討する。
ポイント	・InGaP/GaAs//Si 3接合太陽電池で効率30/8%達成。 スマートスタック、HVPEによる低コスト化・高効率化によりシステムコスト125円/Wが実現できることを示した。



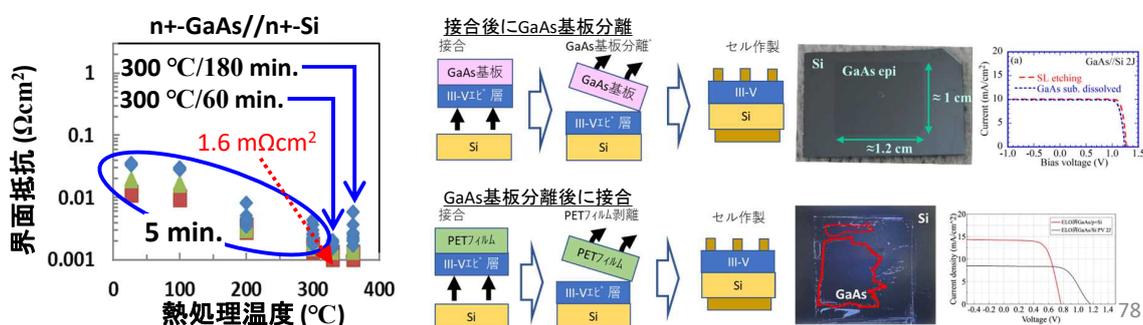
InGaP/AlGaAs//Si 3接合セルのJ-V特性: 効率30.8%で最終目標達成



Ⅲ-V//Siセルの加速劣化試験結果: アレニウスプロットにより素子寿命30年以上確認: 最終目標達成

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	低コストセル技術開発／シリコン上Ⅲ-Vセル(直接接合)
実施者	公立大学法人大阪 大阪市立大学
期間・予算	2015年4月～2020年3月末 5年間、40百万円
目標	ウエハ接合によるシリコン上Ⅲ-V多接合セルにおいて、非集光下でセル効率33%を実現する。
概要	低抵抗直接接合界面を実現する。 Siボトムセルに接合と両立するパッシベーション層を導入する。 GaAs基板の再利用を可能とする直接接合プロセスを探索する。
ポイント	低界面抵抗(1.6 mΩcm ²)、高プロセス耐性のGaAs//Si接合を実現し、手法を他材料系の検討にフィードバックした。 ITO、グリッドメタルを介した接合を導入し、セル動作を実証した。 GaAs基板の分離・再利用に向けたプロセスの有効性実証、技術課題の明確化を行った。



Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	「高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発(大項目)革新的新構造太陽電池の研究開発(中項目)超高効率・低コストⅢ-V化合物太陽電池モジュールの研究開発(メカニカルスタック)(小項目)」
実施者	国立大学法人東京農工大学
期間・予算	期間:2015年6月1日～2020年2月29日 予算:52,505,000円
目標	1. 高度光利用技術開発:メカニカルスタック層の光の伝達効率94%(光反射ロス6%) 2. 大面積低抵抗接合技術開発: 4インチレベルにおいてメカニカルスタック層の接合抵抗率0.5 Ω cm ² 3. 高効率多接合セル用低コスト化スタック技術開発: 効率30%セルの実現とシステムコスト125円/Wを見込むスタック技術確立
概要	1. IGZO無反射導電薄膜導入により光の伝達効率95%を達成した。 2. 40 nm程度の表面ラフネス導入により0.12 Ω cm ² の低抵抗率を達成した。 3. Ⅲ-V トップセルとシリコンボトムセルの2接合メカニカルスタックソーラーセルを作製し、変換効率= 24.9%を得た。

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

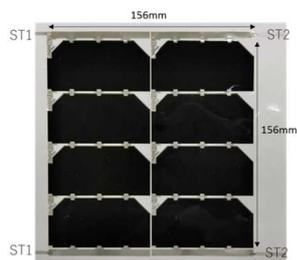
テーマ名	低コスト化プロセス技術開発／低コスト実装プロセス:エピ層移載・低コストⅢ-V化合物半導体製膜技術:MOCVD	
実施者	東京大学・タカノ株式会社(再委託)	
期間・予算	2015～2019年度(5年間) 1,498百万円(他テーマとの合算額)	
目標	4インチウエハ対応のELO, 10回以上の再利用基板上へのⅢ-V化合物セル作製 高速MOVPEによりGaAsセル効率20%(100 μm/h成長), InGaPセル効率12%(20 μm/h成長)	
概要	チップサイズ試料で50mm/h、4インチ基板で20mm/hの速度でのELOを実証 高速成長GaAsセル: 120 μm/hの成長速度でAIST認証効率24.5%を達成(世界最高記録) 高速成長InGaPセル: 30 μm/hの成長速度で効率15.3%を達成.	
ポイント	4インチ対応のELO自動機を開発 再生処置後の4インチウエハについて 1時間以内の全面観察技術の確立	大陽日酸と共同して高速MOCVD装置を開発 高速成長でもセル効率を劣化させない 成長条件とセル構造を開発.



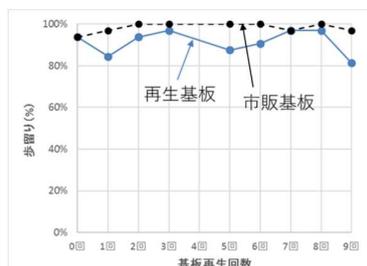
80

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

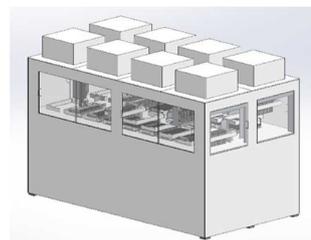
テーマ名	低コスト化プロセス技術開発／低コスト実装プロセス:エピ層移載・ウエハ再利用	
実施者	シャープ株式会社	
期間・予算	2015年6月～2020年2月末 5年間、総額:1,234.2百万円	
目標	基板の再利用可能回数を10回まで向上させる.	
概要	エピタキシャル層を基板から剥離し再利用可能なプロセス、および剥離膜の太陽電池セル化プロセスを確立する	
ポイント	<ul style="list-style-type: none"> エピ層剥離装置の開発により安定したエピ剥離が可能、かつ、低コストの技術を確立 剥離後基板を低コストで再利用可能にする技術を開発し、開発した技術を用いて基板の再利用が10回以上可能であることを実証 量産装置の設計および価格見積を行い、開発したプロセスのコスト試算を実施 	



基板剥離で剥離した太陽電池層を用いて作製したモジュール



太陽電池歩留と基板再生回数との相関



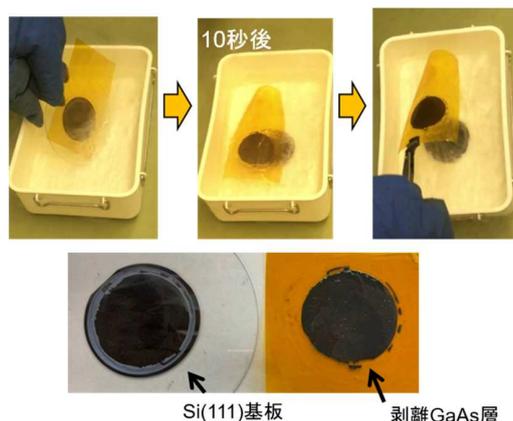
基板剥離量産装置(イメージ)

81

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	低コスト化プロセス技術開発／低コスト実装プロセス: エピ層移載・シリコン上III-Vエピ成長
実施者	豊田工業大学
期間・予算	2015年6月～2020年2月末 5年間、総額:368.7百万円
目標	<ul style="list-style-type: none"> ・3インチウエハサイズの高速リフトオフ ・10回以上の再利用基板上へのIII-V化合物セル作製
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・Si上III-Vセルのヘテロエピ成膜技術を開発する。 ・層状化合物の劈開性を利用してIII-Vセル層を基板から高速リフトオフし、安価な支持基板上に移載する技術を開発する。
ポイント	

- ・Si上のGaAsヘテロエピ成膜において、GaAs層の転位密度を $3 \times 10^5 \text{cm}^{-2}$ に低減した。
- ・GaAs、およびSi基板上に層状化合物GaSe/In₂Se₃をバッファ層で挿入してGaAs層をエピ成長し、GaAsエピ層を基板から**高速リフトオフする手法を開発**した。液体窒素冷却による熱応力を利用し、3インチSi基板から**約10秒でGaAsエピ層剥離を実現**した。(最終目標:3インチウエハサイズの高速リフトオフ、達成 :10回以上の再利用基板上へのIII-V化合物セル作製、未達)



82

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	低コスト化プロセス技術開発／低コストIII-V化合物半導体製膜技術
実施者	大陽日酸株式会社
期間・予算	2015年6月～2020年2月末 5年間、総額:393.8百万円
目標	HVPE装置、MOCVD装置によるGaAs、InGaP高速成長技術開発
概要	化合物太陽電池普及に必要な低コスト化製膜装置の要素技術の獲得を目的としたHVPE装置、MOCVD装置の開発。
ポイント	

- ・GaAs、InGaP薄膜などの化合物太陽電池の製造に適したHVPE装置、MOCVD装置を開発した。
- ・いずれも開発目標であるGaAs成長速度 $100 \mu\text{m/h}$ を大きく上回る成果を得た。
- ・今後、得られた知見をもとに量産対応の化合物太陽電池向け製膜装置を開発し、市場投入する。



開発したHVPE装置 H260外観

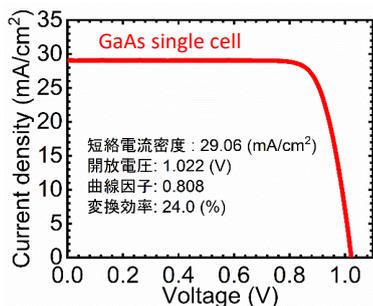


開発したMOCVD装置 HR3335外観

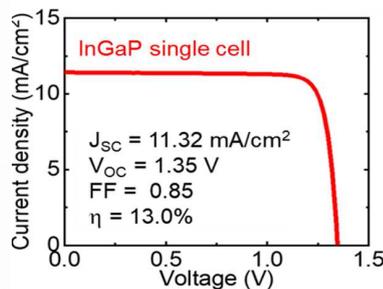
83

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

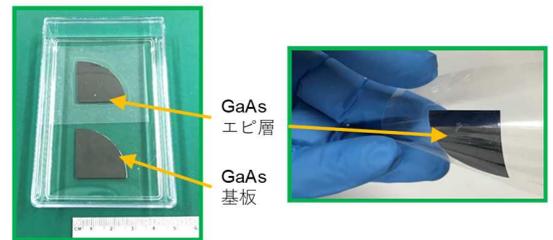
テーマ名	低コスト化プロセス技術開発／低コストⅢ-V化合物半導体製膜技術：HVPE
実施者	産業技術総合研究所
期間・予算	2015年6月～2020年2月末 5年間、総額：446.7百万円
目標	<ul style="list-style-type: none"> ・単セル効率24% (GaAs)、12% (InGaP) の達成、成長速度100 $\mu\text{m}/\text{h}$以上の達成。 ・AlAs層の成長によるELO技術の実証
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・HVPE法によるⅢ-V族化合物半導体太陽電池作製技術の研究開発。超高速成長及び高効率化により成膜コストを1/10以下に削減する革新的成膜技術の開発を目指す。
ポイント	<ul style="list-style-type: none"> ・GaAs効率24%、InGaPセル効率13%で最終目標達成。成長速度はGaAs170 $\mu\text{m}/\text{h}$、InGaPで140 $\mu\text{m}/\text{h}$達成。HVPEによるGaAs膜のELOに世界で初めて成功。



HVPE成長GaAsセルのJ-V特性：
効率24.0%で最終目標達成



HVPE成長InGaPセルのJ-V特性：
効率13.0%で最終目標達成



HVPE成長AlAsによりELOで剥離したGaAs膜：世界初

84

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

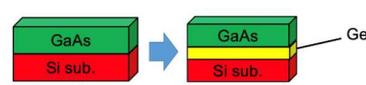
テーマ名	低コスト化プロセス技術開発／低コストⅢ-V化合物半導体製膜技術：HVPE
実施者	国立大学法人東京農工大学
期間・予算	期間：2015年6月1日～2020年2月29日 予算：52,505,000円
目標	<ol style="list-style-type: none"> 1. GaAs結晶に対して成長速度100 $\mu\text{m}/\text{h}$、効率20%、InGaP三元混晶に対して成長速度20 $\mu\text{m}/\text{h}$、効率12% 2. Al元素を含む二元結晶および三元混晶の成長
概要	<ol style="list-style-type: none"> 1. GaAsおよびInGaP成長ともに140mm/h以上の高速成長を達成、さらにセル効率も24.0% (GaAs)、13.0% (InGaP)を得た。 2. Al元素を含む化合物半導体のHVPE成長の可能性の熱力学解析結果を応用し、AlAsのHVPE成長に世界で初めて成功した。

85

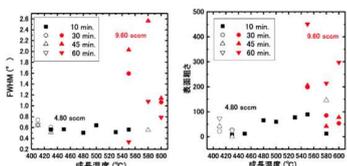
Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	低コスト化プロセス技術開発／シリコン上III-Vエピ成長
実施者	宮崎大学
期間・予算	2015年6月～2018年2月末 3年間、総額:20.0百万円
目標	シリコン上III-Vエピ成長シリコン上III-V層において、転位密度 10^5 cm^{-2} 以下
概要	新規Ge原料を用いたSi基板上Geバッファ層の作製条件を確認 低温成長Si基板上GaAs薄膜に対するレーザーアニールで結晶性向上を確認

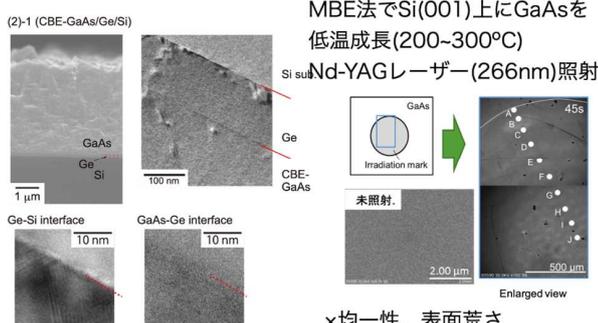
ポイント



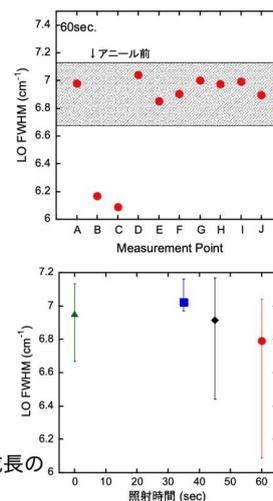
- ・t-C₄H₉GeH₃ (tBGe)
→比較的安全に使用可能
- ・ALE法との組み合わせで初期層制御



○基礎的成長条件と結晶性・荒さの関係取得



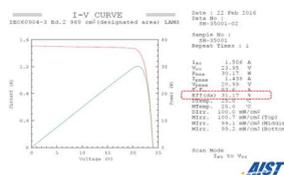
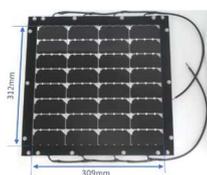
- ×均一性、表面荒さ
- 結晶性向上
- MBEによるGaAs on Siエピ成長の基礎データを取得
- 転位密度
- 平坦な初期層/界面実現
- 初期層改善で欠陥低減の可能性



86

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	低コストセル技術開発／低コストモジュール開発、低コストモジュール発電量試算、屋外評価
実施者	シャープ株式会社
期間・予算	2015年6月～2020年2月末 5年間、総額:1,234.2百万円
目標	・開発テーマIおよびIIの成果を利用して作製したセルで、モジュール変換効率30%以上を達成する。 ・フィールドテストを実施し、発電量や設備稼働率の実測結果から、発電コスト7円/kWhの達成に向けた見通しを得る。
概要	・実車両に搭載した場合の化合物太陽電池の発電性能の検証を行い、車載用途の実現可能性について見極めを行う。 ・低コストプロセスで作製したセルを用いたモジュールの作製実証、および、このモジュールの発電量測定 ・新規応用先の開拓
ポイント	・高効率モジュールの実証、屋外発電量測定 ・低コストプロセスセルを用いたモジュール(化合物2接合+Si)の実証、屋外発電量測定 ・車載用途の可能性検証



高効率モジュール(31.2%)の外観と電気特性



各種モジュールの屋外測定



化合物太陽電池搭載車両

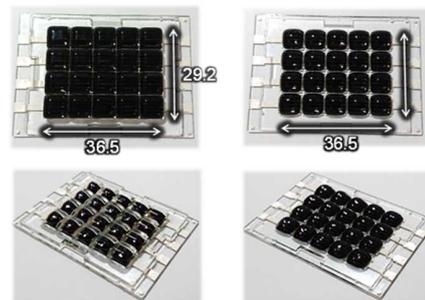
87

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	低コストモジュール開発／ 低コストモジュール開発・低コストモジュール発電量試算、屋外評価
実施者	豊田工業大学
期間・予算	2015年6月～2020年2月末 5年間、総額:368.7百万円
目標	非集光下で効率33%のセルを用い、モジュール効率30%を達成
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ III-Vセルを用い、モジュールの固定設置(追尾なし)あるいは簡易追尾架台でモジュール効率30%以上を達成できる低倍集光モジュールを開発する。 ・ 日本の気象条件での発電量試算およびモジュール設計技術を確立する。
ポイント	

- ・30分に1回の追尾でも追尾誤差による発電量損失を1%に抑制できる**広角集光光学系**を開発した。
- ・広角集光光学系を用いた**無追尾集光モジュールでモジュール効率32.8%**(産総研測定)を達成した。(最終目標達成)
- ・上記広角集光モジュール技術はトヨタ自動車(車載モジュール製品開発)、パナソニック(プラスチック型集光発電システム製品開発)に技術移転した。

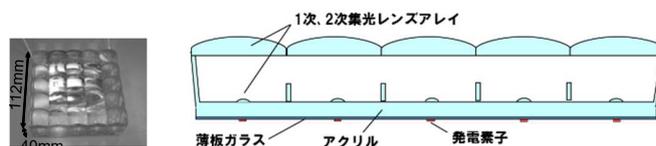
効率志向タイプ 許容角 55° 効率 32.8%	広角・曲面对応タイプ 許容角 77° 効率 27.4%
--------------------------------	-----------------------------------



試作した無追尾集光モジュール

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	低コストモジュール開発／ 低コストモジュール開発・低コストモジュール発電量試算、屋外評価
実施者	パナソニック株式会社
期間・予算	2015年6月～2020年2月末 5年間、総額:841.9百万円
目標	<ul style="list-style-type: none"> ・1m角PICパネルの実現 ・PICシステムコスト\leq125円/W 発電コスト\leq7円/kWhの2030年実現の見通しを得る
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・長期信頼性を確保したPIC構造にて、1m角パネルを完成し、屋外効率32.2%を確認した。 ・システムコスト試算(2030年)を行い、119円/W及び7円/kWh実現の見通しを得た。
ポイント	<ul style="list-style-type: none"> ・超高効率発電素子の大きさを最適化し、構成部品のほとんどを低価格で軽量のプラスチック材料にすることで、材料コスト、重量、および体積を従来型CPVよりも約1桁低い、高効率なプラスチックレンズ一体型セル・モジュール(Plastic lens integrated III-V compound semiconductor cell module、略称PIC)を実現した。

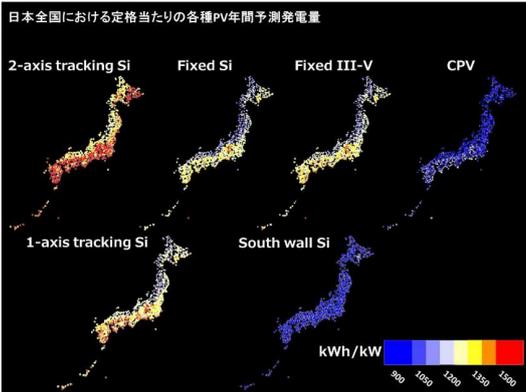


11cm角PICモジュール(左)と断面模式図(右)



1m角PICパネル

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

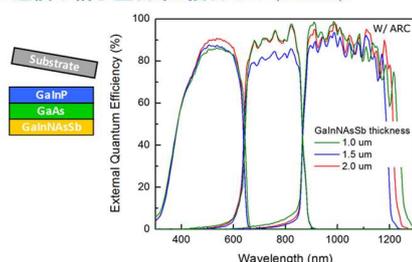
テーマ名	低コストモジュール開発／ 低コストモジュール開発・低コストモジュール発電量試算、屋外評価
実施者	国立大学法人 宮崎大学
期間・予算	2015年6月～2020年2月末 5年間、総額126.5百万円
目標	<ul style="list-style-type: none"> モジュール表面コート技術の開発により、非集光下での効率33%セルを使用して、モジュール効率30%を達成する。 低コストモジュールの発電量や設備利用率の試算を実施し、7円/kWhの検証に必要なデータを取得する。
概要	<ul style="list-style-type: none"> シリカベースの反射防止コートがモジュール構造に採用され、変換効率30%を超えるモジュールが開発された。(目標達成) 宮崎大学に設置している各種太陽電池の実動作データをもとに、発電量シミュレーションモデルを構築し、日本全国における各種太陽電池の定格出力あたりの年間発電量予測が可能となった。(目標達成)
ポイント	 <p>日本全国における定格出力あたりの各種PV年間予測発電量</p> <p>スペクトル等の気象条件が各種PVIにおよぼす影響を調査 ↓ 発電特性の高精度モデル化 ↓ METPV11データベースをモデルに入力 ↓ 日本全国における定格出力あたりの年間発電量予測 7円/kWhの検証に必要なデータの取得</p>

90

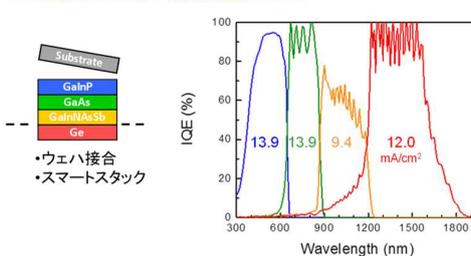
Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	超高効率セル開発／多接合希釈窒化物(MBE)
実施者	国立大学法人 東京大学
期間・予算	2015年6月～2020年2月末 5年間、総額:1498百万円(他テーマとの合算額)
目標	希釈窒化物サブセルの高品質化と4接合セルへの実装技術を確立し、変換効率50%を目指す。
概要	<ul style="list-style-type: none"> 逆積み型GaInP/GaAs/GaInNAs:Sb格子整合型3接合セルにおいて、非集光効率～30%を達成。 GaInP/GaAs/GaInNAs:Sb/Ge 4接合セル化の実現(ウエハ接合)。
ポイント	<ul style="list-style-type: none"> 電流整合条件を満足するGaInNAs:Sb 1.0 eVセル開発 多接合セルへの実装に向けたMOCVD/MBEハイブリッド成長、ウエハ接合の最適化

▶逆積み格子整合系3接合セル(ILM3J)



▶4接合セル試作(直接接合3J+1J)

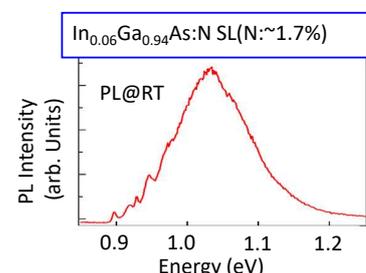


91

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	超高効率セル開発／多接合希釈窒化物
実施者	国立大学法人 東京大学、埼玉大学(再委託)
期間・予算	2015年6月～2020年2月末 5年間、総額:40.0百万円
目標	GaAs基板上GaInNAsヘテロ接合セルの構造設計及び試作を行い、GaAsフィルタ下で短絡電流密度14 mA/cm ² 以上を得る。
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・InGaAs中へのN δドーピング層導入による歪・バンドギャップ制御の実証 ・1 eV帯InGaAs:N δドーピング超格子成長条件の確立 ・試作セルの発電動作実証
ポイント	

- ・窒素δドーピングを利用した1 eV InGaAs:N超格子の結晶成長条件を確立
- ・成長条件とアニール条件の最適化で約300 cm²/Vsの電子移動度を達成
- ・試作セルで1 eVまでのスペクトル感度を実証

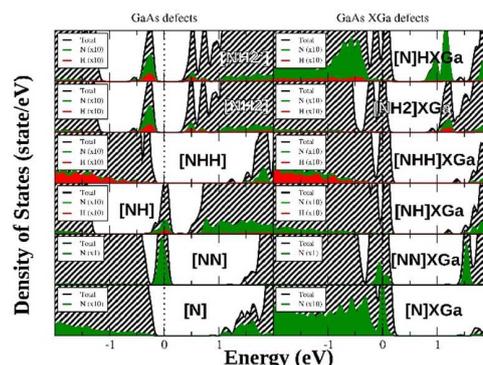


92

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	超高効率セル開発／多接合希釈窒化物(CBE)
実施者	豊田工業大学、九州大学(再委託)
期間・予算	2015年6月～2017年3月末 2年間、総額:176.8百万円
目標	4接合セルで集光時のセル効率50%を目指す。(中間評価前に終了)
概要	GaInNAsセルの高效率化に必要な欠陥評価・解析を実施した。
ポイント	

- ・GaInNAs材料の欠陥解析を行い、残留アクセプタの起源がNH複合欠陥であり、ダブルアクセプタである可能性を示した。
- ・GaAsN薄膜における欠陥構造と電子物性についての理論解析を行い、高品質化のためには、これらのN起因欠陥の低減が必要であることを示した。



第一原理計算による複合欠陥を含むGaAsN材料の電子状態密度

93

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名 低コストセル技術開発／エピタキシャル多接合:既存構造

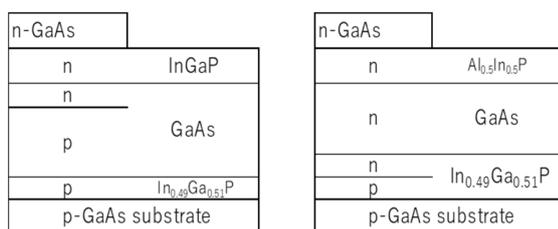
実施者 シャープ株式会社

期間・予算 2015年6月～2020年2月末 5年間、総額:1234.2百万円

目標 他機関と共同で4接合もしくは5接合型太陽電池を開発し、50%(集光時)の変換効率を目指す。

概要 他機関と共同で化合物太陽電池の高効率化に取り組み当社はInGaPおよびGaAsセルの高効率化を担当

ポイント ・pn接合部の改良(リアヘテロ構造)により開放電圧の向上を得た。
・他機関(東京大学)での高効率検証のためにセルの提供を行った。



構造比較(GaAs) : 従来構造(左)、リアヘテロ構造(右)

	従来構造		裏面ヘテロ構造		
	(順積み)	(順積み)	上昇幅	(逆積み)	上昇幅
InGaP	1.440	1.486	0.046	1.445	0.005
GaAs	1.020	1.064	0.044	1.087	0.067
InGaP/GaAs	2.460	2.527	0.067	2.488	0.028

プロジェクト前後での開放電圧の比較

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名 超高効率セル開発／多接合量子構造・多接合ウエハ接合

実施者 国立大学法人 東京大学

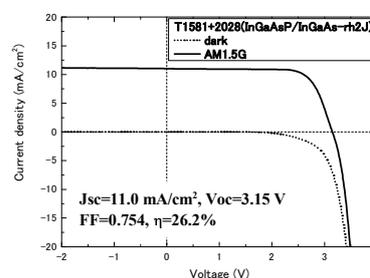
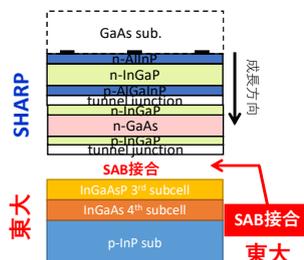
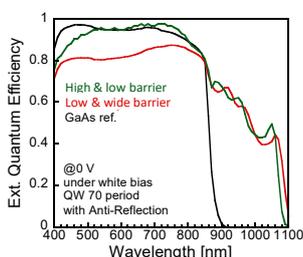
期間・予算 2015年6月～2020年2月末 5年間、総額:1,498百万円(他テーマとの合算額)

目標 4接合セルにより集光下効率50%を目指す。

概要 ・量子井戸挿入第3セルにより4接合セルの電流整合を達成。
・表面活性化ウエハ接合により、GaAs基板上のトップ2セルとInP基板上のボトム2セルを低抵抗トンネル接合で接合し、4接合セルを実現。

ポイント 量子井戸構造の最適化により、第3セルの電流整合条件を達成。

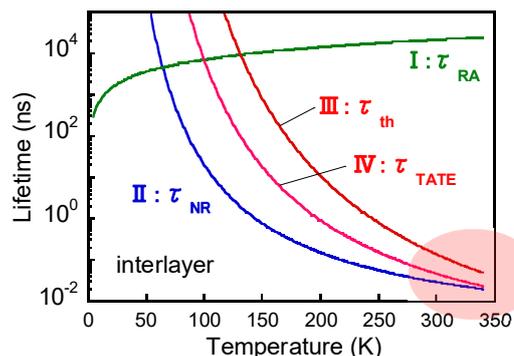
p型およびn型高ドーピング表面同士の接合により低抵抗トンネル接合を実現し、4接合動作を実証。更なるサブセル特性の向上により効率50%が視野に入る。



Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	超高効率セル開発／多接合動作解析
実施者	国立大学法人 宮崎大学
期間・予算	2015年6月～2020年2月末 5年間、総額:126.5百万円
目標	集光下効率50%以上の多接合セル実現のための動作解析
概要	太陽電池光吸収層に多重量子井戸や超格子あるいは量子ドット構造を挿入したエピタキシャル多接合セルにおけるキャリア回収過程について、内部電界およびセル温度の影響を明確にする。

- ポイント**
- 歪緩和層を挿入したInGaAs/GaAsP超格子太陽電池におけるキャリア緩和過程を3つの非破壊評価法で解析した。
 - 光吸収によって超格子内に励起された電子の4つの緩和過程の寿命を算出できた(右図)。
 - 全温度領域でII:非発光損失が最短つまり支配的であるが、温度上昇でIII:熱脱出やIV:トンネリング脱出が短くなることが分かった。
- ⇒ キャリア回収効率向上が期待できる構造



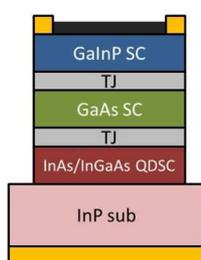
4つの緩和過程:
 I:発光損失 τ_{RA} , II:非発光損失 τ_{NR} ,
 III:トンネリング脱出 τ_{TATE} , IV:熱脱出 τ_{th}

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

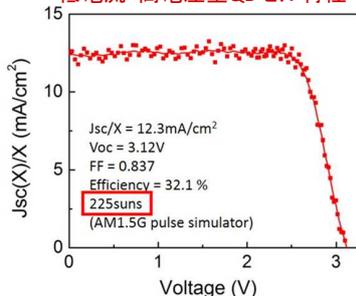
テーマ名	超高効率セル開発／量子ドット・マルチバンド
実施者	国立大学法人 東京大学
期間・予算	2015年6月～2020年2月末 5年間、総額:1,498百万円(他テーマとの合算額)
目標	タイプII超格子セル、及び低電流・高電圧型低倍集光セルにより、効率45%を目指す。
概要	<ul style="list-style-type: none"> 低電流・高電圧型量子ドットセルの開発 量子ドット超格子太陽電池の高効率化と構造設計 量子ドットセル集光特性解析:開放電圧の向上

- ポイント**
- 低電流・高電圧型量子ドットセルにおいて効率32.1%(225 sun)を確認→最適化で向上見込み。
 - 2段階光吸収の設計指針解明と室温動作、集光での電圧向上効果を確認→実用化に資する。

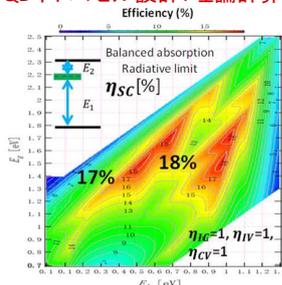
低電流・高電圧型QDセル



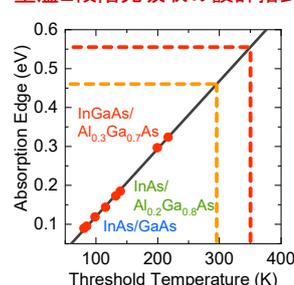
低電流・高電圧型QDセル特性



QDボトムセル設計:理論計算



室温2段階光吸収の設計指針



Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	超高効率セル開発／量子ドット・マルチバンド(ナローギャップ)
実施者	国立大学法人 東京大学
期間・予算	2015年6月～2020年2月末 5年間、総額:1,498百万円(他テーマとの合算額)
目標	プラズモン金属ナノ粒子層を組み込んだPbS QD/ZnO NW太陽電池のNIR領域(0.9 μm以上)で、 $\eta=4\%$ 以上(14 mA/cm ²)を達成し、接合層を実装した多接合太陽電池を実現
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・Ⅲ-V化合物トップ・ミドルセル(InGaP/GaAs)との組み合わせに資する ・低コストボトムセルを開発
ポイント	

・赤外吸収コロイド量子ドットにより、Ge太陽電池と同等の波長域での分光感度と開放電圧を実現し、多接合太陽電池のボトムセルとして有効性を実証

- ①簡便な低温・溶液プロセスで、先行事例のない高効率赤外エネルギー変換(図1)
- ②Ⅲ-V 2Jセル(InGaP/GaAs)との分光多接合動作で、世界初となる30%超(1-sun)を実現(図2)

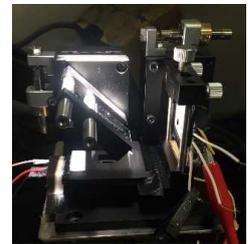
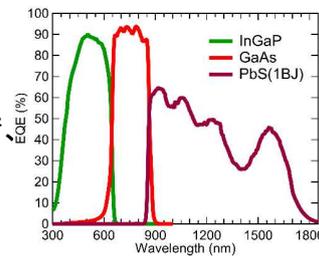
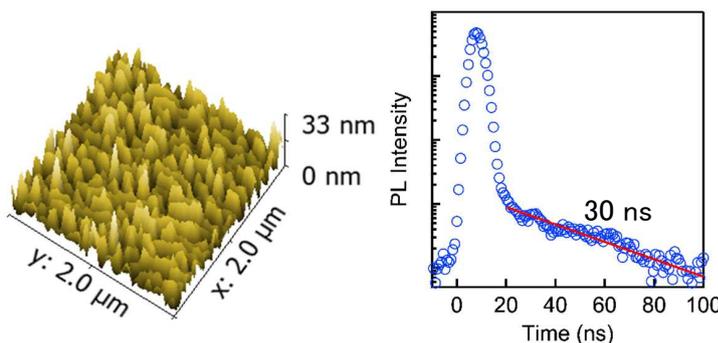


図1. Geセルと同等な波長域で光電変換 図2. 分光多接合動作 98

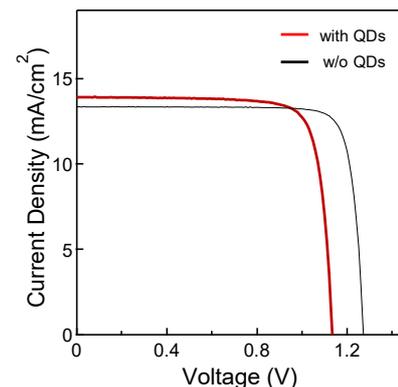
Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

公開資料

テーマ名	超高効率セル開発／量子ドット・マルチバンド
実施者	産業技術総合研究所
期間・予算	2015年6月～2020年2月末 5年間、総額:446.7百万円
目標	・量子ドット構造による低倍集光セルでの変換効率45%を目指す。
概要	・ワイドギャップホストを用いたバンド構造の最適化、タイプⅡ構造によるマルチバンドの長寿命化を実装したセルを作製し、マルチバンドセルの超高効率化を実現する。
ポイント	・InGaP系ワイドギャップ半導体中にタイプⅡ型InP量子ドットを作製し、長キャリア寿命(30ナノ秒以上)を達成。



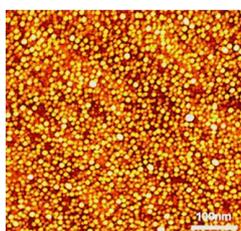
InGaPホストInP量子ドットのAFM像と発光強度時間変化特性



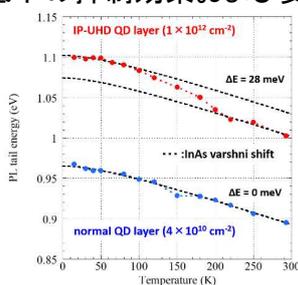
InGaPホストInP量子ドット太陽電池の電流電圧曲線

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

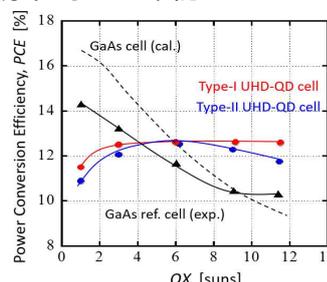
テーマ名	超高効率セル開発／量子ドット・マルチバンド(高密度量子ドット成長技術)
実施者	国立大学法人 電気通信大学
期間・予算	2015年6月～2020年2月末 5年間、総額:106.4百万
目標	東大グループとの共同により集光下での変換効率45%以上を目指す。
概要	超高密度InAs量子ドット(QD)の成長技術を確認し、中間バンド光物性の測定評価および理論計算によるQD太陽電池構造を設計する。その成果を基に超高密度QD太陽電池を試作し、その集光特性を調べ、高効率化についてまとめる。
ポイント	<ol style="list-style-type: none"> ① 世界最高の面内密度$1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$の超高密度InAs QDの成長技術の確立 ② 面内超高密度QDにおける3次元量子閉じ込め効果および面内ミニバンド化の検証 ③ Type-II型による蛍光寿命10 ns以上および熱処理による結晶性改善効果の確認 ④ ドリフト拡散モデル計算によるQDセル構造の最適設計 ⑤ 集光下におけるFF低下の抑制効果および変換効率向上の確認



① 面内超高密度InAs QDs



② 面内ミニバンド形成(赤)



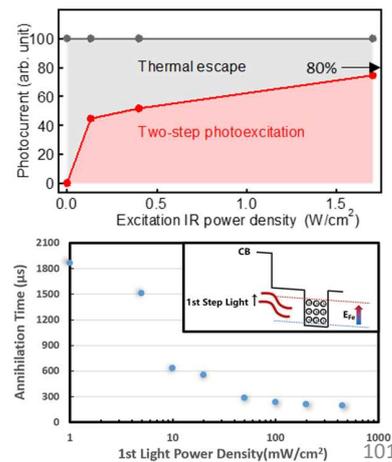
③ 変換効率の集光度依存性

100

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	超高効率セル開発／量子ドット・マルチバンド(キャリア取り出し)
実施者	国立大学法人 神戸大学
期間・予算	2015年6月～2020年2月末 5年間、総額:93.6百万円
目標	<ol style="list-style-type: none"> ① 室温におけるキャリア寿命として100 nsを超える長寿命化。 ② キャリア取出し効率は80%以上まで引き上げ。
概要	ラチェット機構を量子ドットで実現し、100 nsを超えるキャリア寿命を実現するとともに、それによって2段階光励起過程で生成されたキャリアの80%の引き出しに成功した。
ポイント	

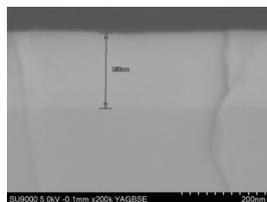
- 量子ドット超格子ミニバンド内のキャリア輸送を実現し、キャリア分離によるラチェット効果を確認。AlGaAs/GaAs/InAs Dot-in-Well (DWELL) 構造において電子の長寿命化を実現し、室温でサブバンドギャップ光励起強度によって約80%のキャリア引出効率を達成。
- 中間バンド電子寿命は中間バンド電子濃度に大きく依存することを明らかにした。特に、中間バンド電子濃度が低いとき(弱励起の時)1 msを大きく超える長い電子寿命を実現。
- 中間バンド動作(サブバンドギャップ光照射)によって電流増加と電圧増加(電圧維持性)を確認。
- サブバンドギャップ光照射で電圧・電流ともに上昇することを確認し、世界で初めてサブバンドギャップ光のみによる中間バンド型太陽電池発電の実証に成功。



101

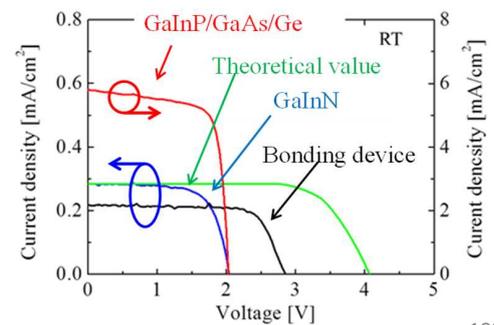
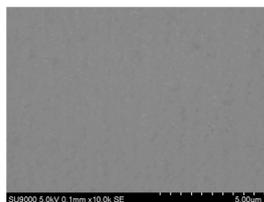
テーマ名	超高効率セル開発／窒化物セル
実施者	名古屋大学／名城大学
期間・予算	2015年6月～2018年3月末 3年間、総額:25.0百万円／22.0百万円
目標	<ul style="list-style-type: none"> ・各成長面に成長する厚膜InGaNを用いたセルの最適構造設計 ・窒化物半導体太陽電池の接合技術を確立し、4接合セルを作製する技術を確立
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・半極性面を用いた窒化物半導体太陽電池の高効率化 ・半極性面InGaN厚膜を用いた太陽電池の試作とウエハ接合4接合セルの試作
ポイント	<ul style="list-style-type: none"> ・半極性面を用いて極性面の1桁以上の効率向上をシミュレーションによって予測 ・半極性面を用いることで、高品質InGaN厚膜の成膜に成功 ・ウエハ接合4接合太陽電池の試作とデバイス動作を確認

断面SEM



InGaN
(180 nm)
GaN

表面SEM



102

研究開発項目②

革新的新構造太陽電池の研究開発／

ペロブスカイト系革新的低製造コスト太陽電池の研究開発

- ・塗布製造技術の開発(パナソニック株式会社)
- ・超軽量太陽電池モジュール技術の開発(株式会社東芝)
- ・低コストR2R太陽電池製造技術の開発(積水化学株式会社)
- ・高性能・高信頼性確保製造技術の開発(アイシン精機株式会社)
- ・高性能材料合成技術の開発(富士フイルム株式会社)
- ・基盤材料技術と性能評価技術の開発(早稲田大学、物質・材料研究開発機構(再)、神奈川県立産業技術総合研究所(再))
- ・新素材と新構造による高性能化技術の開発(東京大学、産業技術総合研究所(再)、九州工業大学(再)、東京工業大学(再)、京都大学(再)、兵庫県立大学(再)、熊本大学(再))

103

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	塗布法によるペロブスカイト太陽電池の開発
実施者	パナソニック株式会社
期間・予算	2015年5月～2020年2月末 5年間、総額:520.0百万円
目標	①30cm角モジュールで効率20% ②高温高湿試験、光照射試験の要求事項の到達 ③製造コスト15円/Wの指針となる技術仕様の確定
概要	ペロブスカイト膜の組成制御技術および界面制御技術でセル高効率化と高温高湿、光照射安定の高耐久化を達成。インクジェットによる大面積均一塗布法で30cm角で世界最高の効率を達成し、製造コスト15円/W実現の見通しを得た。

ポイント

- ペロブスカイト膜へのCs, Rb添加で高温高湿(85°C, 85%RH)試験1000時間で効率低下5%内の合格基準達成
- インクジェットによる大面積均一塗布とコンタクト抵抗低減のモジュール設計で30cm角モジュールで世界最高の効率17.9%(AIST測定)達成

ペロブスカイト材料(ABX3)
有機AサイトにCs,Rb添加

高温高湿試験後 効率低下5%内

	Voc (V)	Jsc (mA/cm²)	FF (%)	Eff. (%)
Initial	1.078	23.8	0.780	20.0
1000h	1.053	23.3	0.745	19.0

インクジェット塗布

30cm角モジュール

世界最高のモジュール効率

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	ペロブスカイト系革新的低製造コスト太陽電池の研究開発(超軽量太陽電池モジュール技術の開発)
実施者	株式会社東芝、東芝エネルギーシステムズ株式会社
期間・予算	2015年7月～2020年2月 5年間・総額507.8百万円
目標	・ 30cm角程度の超軽量モジュールで変換効率15% ・ 耐熱試験1000時間、光照射試験500時間で、5cm角程度の超軽量モジュールの相対低下率10%以下
概要	塗布成膜プロセス、スクライブプロセス、及び低抵抗透明電極を開発して、ポリマー製フィルム基板に約24×27cmサイズの軽量・フレキシブルなペロブスカイト太陽電池モジュールを作製し、エネルギー変換効率は14.1%を達成した。また、軽量・フレキシブルな5cm角モジュールの耐久性では、光照射で400時間における相対変換効率低下10%、耐熱試験で550時間における相対効率低下10%を達成した。

ポイント

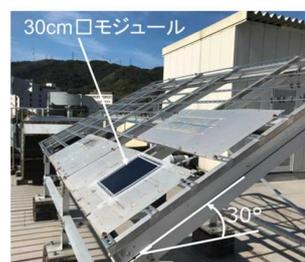
- 30cm角程度のフィルムモジュールは、目標15%に対して14.1%で達成度94%であった。劣化現象は試験時間の対数に対する現象のため、10%減となる試験時間の対数での達成度は、光照射は96%、耐熱試験は92%となった。
- 2025年度の実用化を目指し、新たに「太陽光発電主力電源化推進技術開発」プロジェクトに参画することとなった。

30cm角モジュールのI-V特性

超軽量モジュール写真

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

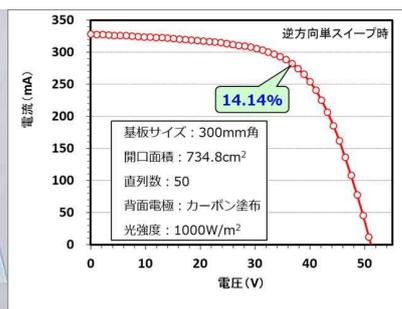
テーマ名	高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発/革新的新構造太陽電池の研究開発/ペロブスカイト系革新的低製造コスト太陽電池の研究開発(低コストR2R太陽電池製造技術の開発)
実施者	積水化学工業株式会社
期間・予算	2015年8月～2020年2月末 5年間、総額:429.2百万円
目標	<ul style="list-style-type: none"> ・超軽量基板小面積セルで変換効率18.8%(2mm角)を達成する。 ・30cm角程度の超軽量モジュールで15%を達成する。 ・JIS規格C8938準拠の耐久性試験5項目について、相対低下率10%以下を達成する。
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・超軽量基板小面積セルで変換効率18.8%(2mm角)を達成 ・30cm角程度の超軽量モジュールで11.4%を達成 ・変換効率13%(受光面積3cm角)の超軽量太陽電池モジュールを用いて、耐久性試験5項目について相対低下率10%以下を達成 ・屋外暴露試験開始(1.5年程度性能維持継続中)
ポイント	<ul style="list-style-type: none"> ・低温成膜プロセス開発 ・R2R製造技術構築 ・高耐久ペロブスカイト、ホール輸送層の開発 ・屋外実証暴露試験スタート



106

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	高性能・高信頼性確保製造技術の開発
実施者	アイシン精機株式会社 (再委託先:株式会社アイシン・コスモス研究所)
期間・予算	2015年7月～2020年2月 5年間、総額:229.3百万円
目標	<ol style="list-style-type: none"> ①同じ膜構造を持つ小面積セルに対し、その80%以上の変換効率を有する300mm角のペロブスカイト太陽電池モジュールの材料技術ならびに製造技術の確立 ②発電コスト7円/kWh,モジュール製造コスト15円/Wが可能となる具体的方策を提示
概要	低コスト・大面積化両立可能な構成材料と塗工技術を提案し、精錬化を進めることで 高い性能を有する300mm角のペロブスカイト太陽電池モジュール を実現する。併せて、発電コスト低減に向けた、 電池長寿命化 の方策を明らかにする。
ポイント	<ol style="list-style-type: none"> ①スプレー塗布工法による大面積モジュール製造技術の開発 ②塗布型カーボン電極適用による貴金属(Au等)蒸着膜の削減 ③低コスト・ホール輸送材料の開発 ④電池長寿命化に向けた検討



300mm角モジュールと発電性能

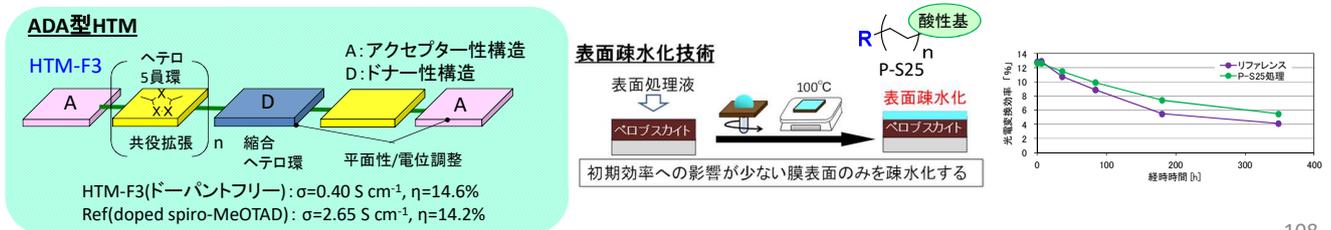
107

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	E.高性能材料合成技術の開発
実施者	富士フイルム株式会社
期間・予算	2015年7月末～2018年3月末 3年間、総額:92.3百万円
目標	①spiro-MeOTAD同等以上の効率および耐湿性が可能な正孔輸送材料設計を導出する。 ②CH ₃ NH ₃ PbI ₃ 同等以上の効率および耐湿性が可能なペロブスカイト材料設計を導出する。 ③モジュール効率20%以上、またはセル効率25%以上
概要	耐湿性低下の原因となるドーパントを必要としない正孔輸送材料骨格を見出し、新規正孔輸送材料を用いたセルでspiro-MeOTADを用いたセル(14.2%)と同等以上の変換効率(14.6%)に到達した。また、変換効率を低下させることなくペロブスカイト膜の耐湿性を向上させるペロブスカイト表面処理技術を見出した。これらの成果は自社15%台のセルによるものであり、高効率セル、モジュールへの適応が今後の課題となる。

ポイント

- ・平面性の高い骨格の開発およびエネルギーレベル制御による正孔輸送材料の電荷輸送性向上
- ・ペロブスカイト膜にダメージを与えることなく耐湿性向上が可能な表面処理材料技術の開発

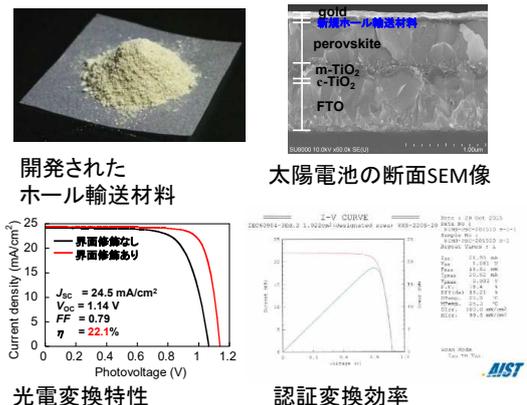


Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	基盤材料技術と性能評価技術の開発
実施者	早稲田大学(再委託先:物質材料研究機構、神奈川県立産業技術総合研究所)
期間・予算	2015年5月～2020年2月末 5年間、総額: 514百万円
目標	7円/kWhを実現するペロブスカイト太陽電池の基盤材料・計測技術の確立
概要	高効率で80円/m ² 以下のホール輸送材料と簡便なセル塗布工程(150円/m ² 以下)を開発した。小面積セルで変換効率22%、認証値19.2%を実現するとともに、性能計測・評価技術を提示した。

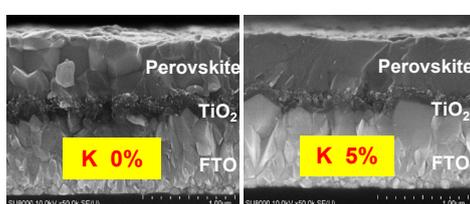
ポイント

- (コスト低減)
 - ・安価でロバスタなホール輸送材料を量合成
 - ・簡便な塗布工程などの開発
- (変換効率向上)
 - ・ペロブスカイト界面の修飾により実現
 - ・逆型構造セル開発での世界認証値
- (計測技術)
 - ・各種セルでの最適計測モードの提示

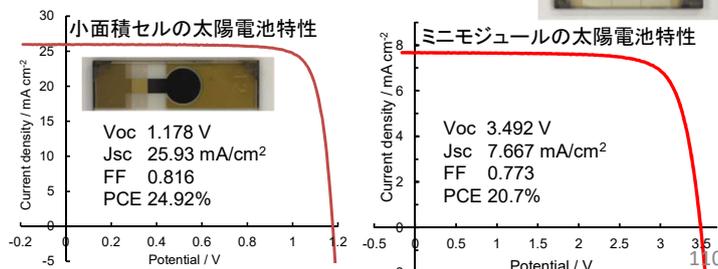


Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発／革新的新構造太陽電池の研究開発 ／ペロブスカイト系革新的低製造コスト太陽電池の研究開発(新素材と新構造による高性能化技術の開発)
実施者	(国)東京大学、(国研)産業技術総合研究所、(国)九州工業大学、(国)電気通信大学、 (国)東京工業大学、(公)兵庫県立大学、(国)京都大学、(国)熊本大学、(学)立命館
期間・予算	2015年5月～2020年2月 (5年) 1,938百万円
目標	ペロブスカイト太陽電池小面積セルで変換効率25%、モジュールで変換効率20%
概要	新規ペロブスカイト材料を用いた小面積セルで変換効率24.9%、 3直列ミニモジュール(面積2.76cm ²)で変換効率20.7%を達成。
ポイント	<ul style="list-style-type: none"> ・カリウム添加ペロブスカイト、臭素系ペロブスカイト、Sn系ペロブスカイト、MAフリーペロブスカイト等、バンドギャップの異なる、高電圧型や高電流型の多様な材料を開発 ・CIGS、CdTe等の化合物薄膜系や多結晶Siを上回るセル変換効率を達成 ・世界に先駆けてモジュール変換効率で20%を突破 ・高電流セルでJsc 33mA/cm²超の世界最高レベル達成 ・無機正孔輸送材料や高分子ドーパント等、耐久性向上に資する材料も開発 ・界面制御やデバイスシミュレーションにより、更なる性能向上に資する知見も蓄積 ・グループ各社に高性能デバイス作製技術を直接伝授し、事業化に貢献



カリウム添加による膜質改善



Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

研究開発項目③

太陽電池セル、モジュールの共通基盤技術開発

【結晶シリコン】

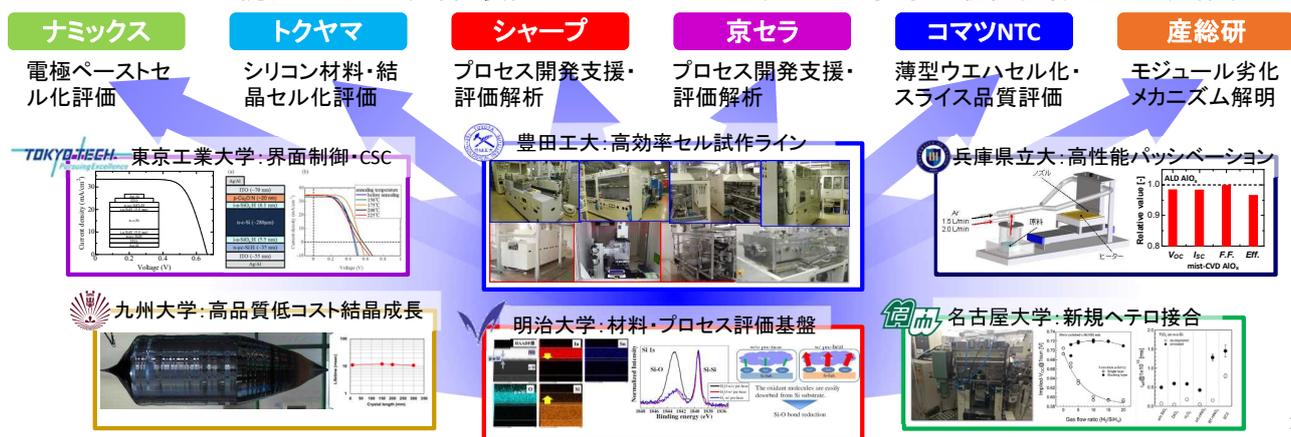
- ・先端複合技術シリコン太陽電池プロセス共通基盤に関する研究開発
(豊田工業大学、明治大学、九州大学、名古屋大学、東京工業大学、兵庫県立大学)
- ・薄型セルを用いた高信頼性・高効率モジュール製造技術開発(産業技術総合研究所)
- ・Cat-CVDなど新手法による高性能太陽電池低価格製造技術の開発
(北陸先端科学技術大学院大学)
- ・高性能キャリア選択性パッシベーションコンタクトの開発(産業技術総合研究所)

【CIS】

- ・CIS太陽電池高性能化技術の研究開発(産業技術総合研究所、東京工業大学、
学校法人立命館、東京理科大学、筑波大学、鹿児島大学、龍谷大学)

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

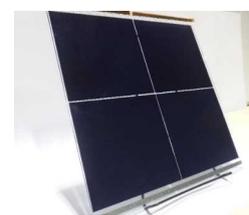
テーマ名	先端複合技術シリコン太陽電池プロセス共通基盤に関する研究開発
実施者	豊田工業大学・明治大学・九州大学・名古屋大学・東京工業大学・兵庫県立大学
期間・予算	2015年5月～2020年2月末(5年間)、総額:1,756.4百万円
目標	セル変換効率25%の太陽電池標準プロセスを確立し、その試作ラインを構築する。その基盤技術をもとに各研究機関ならびに各企業の目標達成に貢献する。
概要	六大学で コンソーシアム を構成。各々の学識経験・ノウハウ・リソースを最大限に有効活用して 結晶シリコン太陽電池共通基盤技術 を網羅的に研究開発。その成果を 連携先企業群・研究機関 等に提供して、これらの研究開発を支援する。
ポイント	・大学内に拡散系およびヘテロ系結晶Siセル試作ラインを構築。P-PERCセル η 20.0% 、N-PERTセル η 21.0% 、SHJセル η 23.2% 、p-Eff. 24.3% を達成。 η 25%の目途付け完了。 ・連携先のセル・材料・装置メーカーおよび産総研・大学等の最終目標達成に貢献。



112

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	薄型セルを用いた高信頼性・高効率モジュール製造技術開発
実施者	国立研究開発法人 産業技術総合研究所
期間・予算	2015年5月22日～2020年2月29日 予算額 1,184百万円
目標	① 極薄ウエハ(50 μ m)の品質指針及び高効率セルプロセス技術開発指針の明確化 ② 長寿命(35年)のための高信頼性モジュール化技術開発指針を得る。 ③ BCセル(厚さ80 μ m)でセル効率25%及びモジュール効率22%の達成
概要	連携先企業がマルチワイヤー装置及び高信頼性・高効率モジュールを実用化するために、本事業で得られた技術開発指針を共有化し各企業での量産化に貢献する。また、開発する共通基盤技術に関連する企業に提案し、事業化に貢献する。
ポイント	① 平均厚さ56.5 μ mのSHJ太陽電池で世界トップレベルの効率22.7%を達成し技術指針を確立した。連携先企業(ワイヤソーメーカー)の薄型スライス技術開発に貢献した。 ② 連携先企業のUV+湿熱ストレスに基づいたモジュールの寿命予測手法の確立に貢献し、長寿命(35年)のための高信頼性モジュール化技術指針を得た。湿熱劣化の評価手法から劣化メカニズムとその対策までを明確化した。 ③ 低コスト量産プロセス(スクリーン印刷電極など)を用いて作製した両面受光型のBCセルで効率22.3%、開発したセルを用いた4セルモジュールで効率19.4%を達成した。 ④ 従来よりも拡散層の細線パターンの形成が可能なイオン注入用ステンシルマスクを新規に開発し、装置メーカーに提案した。

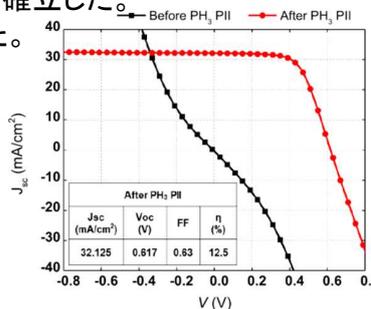
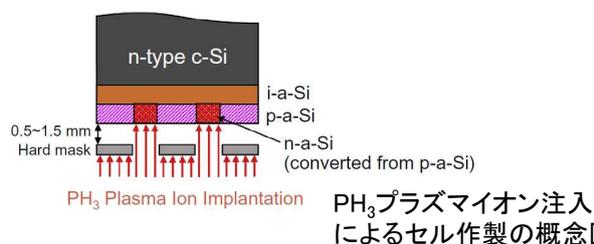


113

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	Cat-CVDなど新手法による高性能太陽電池低価格製造技術の開発
実施者	国立大学法人 北陸先端科学技術大学院大学
期間・予算	2015年5月～2020年2月 5年間、総額:396.0百万円
目標	触媒化学気相堆積(Cat-CVD)およびその派生技術であるCatドーピングに関し、高性能裏面電極型および両面型Siヘテロ接合セル製造の基盤技術を確立する。
概要	①70 μm厚結晶Siに適用できる テクスチャ化技術 , ②窒化Siの 化学耐性 (5%HFで <5 nm/min), ③安価な 裏面電極形成技術 , ④Catドーピングでの両面型Siヘテロ接合セルの 開放電圧 >750 mVの基盤技術, ⑤60日の 触媒体連続使用 を可能とする技術を開発する。
ポイント	

- ・ガラス微粒子添加アルカリ溶液での、薄板Siに適用できる~1 μmの微小凹凸形成技術を確立した。
- ・化学耐性とパッシベーション性能を兼備する窒化Si膜を開発した。
- ・量産サイズの両面型Siヘテロ接合セルで、P Catドーピングによる開放電圧向上効果を実証した。
- ・PH₃プラズマイオン注入でp型からn型に反転した非晶質Siを有する両面型Siヘテロ接合セルの動作を確認し、裏面電極型セル製造のための基盤技術を確立した。
- ・事前炭化によるTa触媒体の変性抑止技術を確立した。



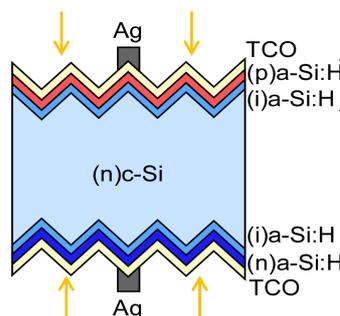
PH₃プラズマイオン注入でn型化した非晶質Si膜を用いたセルのJ-V特性 114

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	高性能キャリア選択性パッシベーションコンタクトの開発
実施者	国立研究開発法人産業技術総合研究所
期間・予算	2018年6月～2020年2月末 2年間、総額:76.6百万円
目標	①シリコン系: J _{sc} を2%向上、V _{oc} ・FF維持、効率向上 (変換効率>22%) ②非シリコン系: J _{sc} を3%向上、ライムタイム評価によるiV _{oc} > 700 mV
概要	従来のヘテロ接合結晶系(SHJ)太陽電池に用いるアモルファスシリコンに比べ透明性に優れた新規キャリア選択性パッシベーションコンタクトを実現する。これによりSHJ太陽電池の変換効率を向上させ、発電コスト低減に貢献する。
ポイント	

①シリコン系: 従来のSHJ太陽電池の効率を改善するp型ナノ結晶シリコン((p)nc-Si:H)を開発し、目標を達成した。開発した(p)nc-Si:Hは現在のSHJ太陽電池と同じ製膜手法で作製できることから事業化の障壁は比較的低いものと考えられる。

②非シリコン系: シリコン系材料に替わる透明な新規パッシベーションコンタクト(TiO_x)を開発し、目標を上回るJ_{sc}やパッシベーション性能を実証することができた。更なる高性能化・耐久性実証を行うことで、高効率・低コストセルの実用化に繋がることが期待される。



従来のアモルファスシリコンに代わる新規パッシベーションコンタクトを開発

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	CIS太陽電池高性能化技術の研究開発	
実施者	サブテーマI, デバイス技術の研究開発 ・産業技術総合研究所 光吸収層の高品質化によるCIS太陽電池の高効率化 ・東京工業大学 界面制御によるカルコゲナイド系薄膜太陽電池の高効率化 ・立命館大学 バンド制御による再結合パッシベーション技術の開発 ・東京理科大学 エピタキシャル成長を利用したCIS太陽電池の高効率化指針の解明 サブテーマII, 評価技術の研究開発 ・筑波大学 結晶欠陥の検出と同定、欠陥密度低減化技術開発支援 ・鹿児島大学 積層構造・改質界面の電子構造評価による電池特性向上技術の開発 ・龍谷大学 理論計算と実験的手法を組み合わせた粒界と界面を中心とした材料設計とモデル実証研究	
期間・予算	2015年度～2019年度 5年間、総額：1,030.2百万円	
目標	CIS太陽電池を用いた発電コストで、2020年に14円/kWh, 2030年に7円/kWhを達成するために必要な、共通基盤技術の開発を行う。(各個別テーマごとに目標設定)	
概要	高効率化技術開発および評価・分析による高性能化指針を総合し、変換効率22.2%を達成した。	
ポイント	① 出光興産/SFとの密接な連携により、出光興産のCdフリーCIS太陽電池における変換効率23.4%の達成に貢献 ② Ag添加, アルカリ処理, 表面 Δ Ev形成, ZnMgOバッファ層などの高効率化技術開発 ③ CISの欠陥評価, バッファ層から裏面Moまでのバンド接続解明, CIGSSeの電子構造解析による高性能化指針の導出	

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

研究開発項目④

共通基盤技術の開発(太陽光発電システムの信頼性評価技術等)

- ・太陽電池性能高度評価技術の開発(産業技術総合研究所、電気安全環境研究所、岐阜大学、宮崎大学、東京理科大学、学校法人立命館)
- ・太陽光発電の寿命予測ならびに試験法の開発(産業技術総合研究所、デュポン・スペシャルティ・プロダクツ株式会社、東レ株式会社、石川県工業試験場、岐阜大学、東京農工大学、北陸先端科学技術大学院大学、電力中央研究所)
- ・太陽光発電システムの高精度発電量評価技術の開発(産業技術総合研究所、日本気象協会、東京理科大学、佐賀大学)
- ・ZEB適用型太陽電池モジュールの長期信頼性評価技術の開発(株式会社カネカ)
- ・レーザー技術を用いた太陽電池モジュールの寿命予測検査技術の開発(日清紡メカトロニクス株式会社、奈良先端科学技術大学院大学)

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	新型太陽電池評価・屋外高精度評価技術の開発
実施者	国立研究開発法人 産業技術総合研究所
期間・予算	2015年度～2019年度・555百万円
目標	<ul style="list-style-type: none"> ・新たに開発される新型太陽電池の性能評価再現性$\pm 0.5\%$(1σ)以内を達成する ・WPVS根幹ラボ以外との間で国際比較校正実施。国際的不整合解決 ・薄膜系を含む市販太陽電池モジュールの屋外測定再現性$\pm 1.0\%$(1σ)以内を実証
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・(新型太陽電池評価技術の開発)NEDO開発品等の性能評価測定を実施してデバイス特有の性質を考慮した測定手順を開発し、最終目標である新型太陽電池の性能評価再現性$\pm 0.5\%$(1σ)以内を達成した。また、国際比較測定や標準化への貢献を行った。開発した性能評価技術を共通基盤として、より広く普及・実施可能な太陽電池性能評価手順を明確化した。 ・(一次基準太陽電池セル校正技術)超高温定点黒体炉を標準光源として利用するための技術、並びに分光放射計高精度化技術開発により、一次基準太陽電池の最高校正能力を向上できた。WPVS基幹ラボ及びアジアの校正機関を対象とした比較校正を実施し、開発技術に基づく一次校正値の妥当性検証と国際的な不整合の是正ができた。 ・(屋外高精度評価技術の開発)PVMSによる日射計測や高精度モジュール温度測定、新温度補正式の技術開発により、高精度な屋外性能評価が様々な照度・温度条件下で実現可能であることを実証し、測定再現性$\pm 1\%$の最終目標を達成した。開発成果のO&M等への実用化に重要な新STC補正技術を開発した。更に業界ガイドライン採用やIEC規格に提案等、開発技術実用化を推進した。

118

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	屋外実性能高度評価技術の開発 (屋外実性能高能率測定技術の開発)
実施者	一般財団法人 電気安全環境研究所
期間・予算	2015年度～2019年度・181百万円
目標	<ul style="list-style-type: none"> ・オンサイトで測定再現性精度$\pm 2\%$(1σ)以内を確認するとともに、それを実現する装置仕様並びに測定解析手順を明確化する。 ・得られた結果をもとに、測定手順のガイドライン案を産総研と共同で策定する。
概要	



(オンサイドでの測定再現性精度確認)

・AISTにて開発された技術を、JET屋上(横浜)、岡山実験サイト、実フィールド(千葉)で実証、測定再現性精度 $\pm 2\%$ (1σ)以内の達成を確認。
 ・本技術の適用により、屋外測定の照度適用条件を「300W/m²以上」変更でき、測定可能時間が倍増し高能率化が図れることを確認。

(測定手順のガイドライン化)

・手順書「PVMSを用いた屋外環境下における高能率I-V特性測定方法」を作成。
 ・本手順書のO&Mガイドラインへの適用を今後検討する予定。

	1	2	3	4
モジュール温度 (°C)	26.5 ± 0.2	28.8 ± 0.2	37.2 ± 0.2	42.0 ± 0.2
照度 (W/m ²)	314 ± 1	460 ± 1.5	660 ± 2.0	946 ± 3
N数	11	8	12	10
Isc (A) (平均)	2.72	3.96	5.69	8.19
Isc偏差	0.27%	0.32%	0.36%	0.08%
Voc (V) (平均)	34.60	34.94	34.60	34.67
Voc偏差	0.11%	0.05%	0.09%	0.02%
Pma (W) (平均)	73.22	105.6	147.9	206.9
Pmax偏差	0.52%	0.43%	0.32%	0.10%

同一照度－モジュール温度の測定値の抽出結果(岡山実測)

119

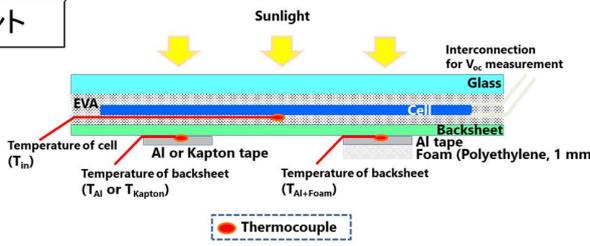
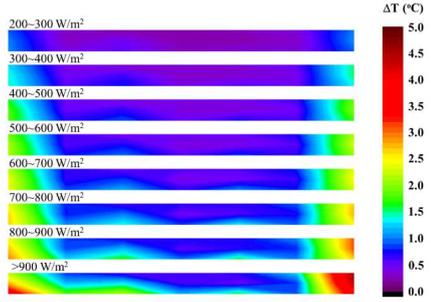
Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	日射変動解析技術の開発
実施者	国立大学法人 東海国立大学機構 岐阜大学
期間・予算	2015年度～2019年度・39.4百万円
目標	<ul style="list-style-type: none"> ・気象状態, 特に雲の形態などから, 屋外太陽電池性能評価実施者が入手しやすい気象情報で実施可否判断が可能な手法を確立する. ・屋外太陽電池性能評価において, 高速IV計測で$\pm 1.0\%$ (1σ) 以内の計測精度を保証しうる気象条件を提示する. ・観測データおよび数値モデルを用いて日射強度急変時の日射スペクトル強度変化を推定し, 性能評価制度に及ぼす影響を示す.
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・複数のPVMSによる秒スケール以下の日射強度変化の計測と上空カメラによる雲の動的観測をもとに, 雲の形態・動態と日射強度とその変動との関係を求め, 日射強度およびその変動を3種類に分類した. そして雲の形態・動態から屋外太陽電池性能評価の評価精度に係る日射強度変動を推定するための関係を示した. ・日射強度の時間変動と空間不均一性の関係を定量的に求め, 計測に複数のPVMSを必要とする空間不均一性を単一のPVMSによる時間変動の計測で評価することを可能にした. これを用いて, 屋外太陽電池性能評価に不適切な計測中の日射強度時間変動や空間不均一性を排除する手法として, 単一のPVMSで日射強度時間変動をモニタリングのみで日射強度の空間不均一性も規定値外の状態を検出・排除するフィルター法を開発した. ・日射スペクトル強度の観測値, および局地気象予報モデルと大気放射モデルによる日射スペクトル強度推定値から, 日射強度急変時のスペクトルミスマッチを評価した. その結果, ミスマッチ変化率は1%以下と小さい値であった.

120

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	太陽電池温度の高精度測定技術開発
実施者	国立大学法人 宮崎大学
期間・予算	2015年度～2019年度・39.0百万円
目標	<ul style="list-style-type: none"> ・開放端電圧と測定温度を整合させる. ・太陽電池モジュールの実温度測定精度$\pm 1^\circ\text{C}$以内を達成する.
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・EVAやバックシートの熱抵抗を考慮した熱流束計算により, 簡便に得ることのできるバックシート温度からモジュール内部のセル温度を精度$\pm 0.5^\circ\text{C}$程度の高精度で導出することに成功した(最終目標達成). ・モジュールやシステムの中央位置における温度は屋外環境において常に平均温度に近い値となるのが定量的に明らかとなった.

ポイント		
	<p>バックシート温度からセル温度 (T_{in}) を精度$\pm 0.5^\circ\text{C}$で予測可能に</p> <p>低日射強度時にシステム中央位置においてシステム平均温度に最も近い温度が計測可能 (ΔT: 平均温度との差)</p>	

屋外におけるPVモジュールおよびシステムの高精度温度測定技術として, モジュールやシステムの中央位置における温度を計測し, さらに, その位置のバックシート温度を計測することにより内部のセル温度を高精度に計測することが可能となった。PV評価には温度を正確に把握する必要があり, 簡便に太陽電池温度を高精度測定できる本成果はその実用化・事業化に資するものとなる。

121

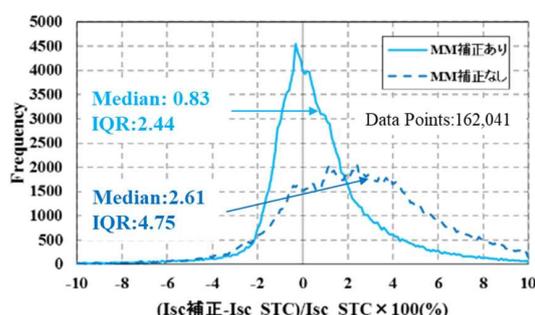
Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	PV日射計測によるシステム性能測定手法開発
実施者	学校法人 東京理科大学
期間・予算	2015年度～2019年度・5,865千円
目標	小規模なPVアレイまたはシステムにおけるオンサイト屋外高精度測定を実施し、アレイ面内照度ムラ、アレイ面内温度分布把握、スペクトル補正等を行い、必要な日射、温度、電流-電圧特性等計測法および測定精度を検証することで、市販タイプ結晶Si太陽電池モジュールを用いた太陽電池アレイの屋外測定精度 $\pm 1.0\%$ (1σ)を達成する。
概要	<ul style="list-style-type: none"> 太陽電池モジュールの屋外高精度測定を共通基盤技術として普及実用化するために必要不可欠な技術の開発として、太陽電池が直並列に接続されたシステムに対し、屋外において太陽電池アレイ面内に照度ムラ、温度ムラがある場合の発電性能を高精度に測定するための環境条件および電流-電圧(I-V)特性の測定条件を明らかにするとともに、システムのアレイ構成・ストリング構成を考慮して高精度に発電性能を測定・評価する手法として、日射測定機器にPVモジュール日射センサ(PVMS)を用いた発電性能測定手法を開発し、そのシステムへの適用可能性を実証した。 1ダイオードモデルと銘板値から算出したSTCおよびダークI-Vカーブにより、照度方向を線形補間によって、温度方向をAIST提案手法によって補正する手法を開発し、各種屋外測定データを用いて精度評価を行った。 開発した銘板値を基準とした屋外測定条件における参照基準I-Vカーブの作成と発電性能測定・評価において、$\pm 3.0\%$以内(中間目標にて達成)の誤差で、$\pm 1.0\%$(1σ)以内の再現性を得たことにより、最終目標を達成した。 本技術を用いることで、屋外における性能評価を高精度に行うことが可能となった。

122

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

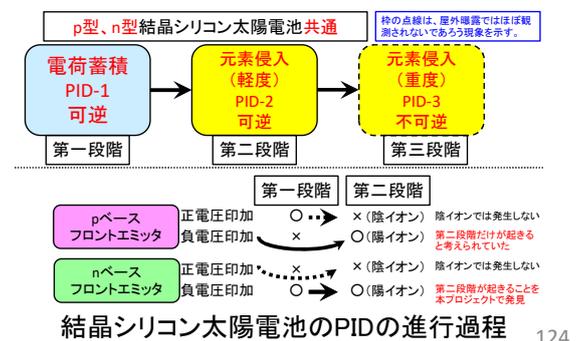
テーマ名	スペクトルを考慮した屋外実性能評価技術開発
実施者	学校法人立命館 立命館大学
期間・予算	2015年度～2019年度・¥42.0百万円
目標	屋外測定スペクトルミスマッチによる出力電流測定誤差を補正無しの場合の3分の1に高精度化
概要	<p>スペクトルを考慮した屋外実性能評価技術の開発を行った。太陽光スペクトル指標であるAverage Photon Energy (APE)を用いて統計的な数値解析を行った。PVモジュールの屋外で測定された短絡電流(I_{sc})を基準状態(STC)へ補正する際の照度補正に、AISTが開発した太陽電池モジュール日射センサー(PVMS)を用いた。補正対象のPVモジュールがPVMSと類似する分光感度を有する結晶Si系の場合には、大きなスペクトルミスマッチが生じないために、PVMSによる照度補正のみで高精度にI_{sc}補正が可能であることを統計的に明示した。一方、PVMSと分光感度が大きく異なるワイドギャップ太陽電池の場合には、スペクトルミスマッチ(MM)補性が必</p> <p>であり、その例としてCdTeモジュールの解析を行い、I_{sc}測定誤差を補正無しの場合に対して1/3以下に高精度化することに成功した。</p> <p>本開発技術は、今後市場への登場が大きく期待されるペロブスカイト太陽電池やワイドギャップ化されたCIS太陽電池のI_{sc}測定の高精度化に貢献できる。</p>



123

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

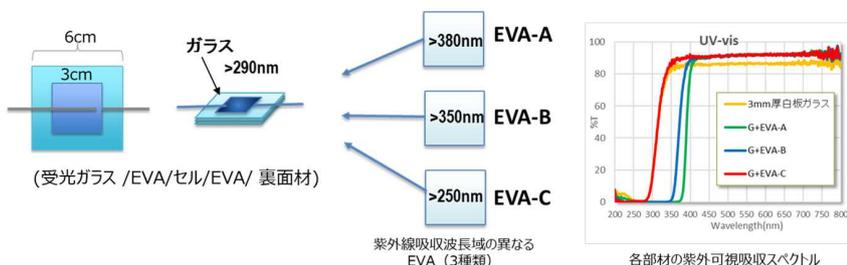
テーマ名	太陽光発電の寿命予測ならびに試験法の開発(太陽電池モジュールの劣化現象の解明、加速試験法の開発)
実施者	国立研究開発法人産業技術総合研究所 国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学(再委託先)
期間・予算	2015年5月～2020年2月 5年間、総額：188.2百万円
目標	・モジュール寿命30年(出力低下率20%以内)を実証する。 ・新規開発加速試験法において、屋外曝露に対して100倍以上の加速係数を実現する。
概要	・p型とn型の結晶シリコン太陽電池の電圧誘起劣化(PID)メカニズムを統一的に説明した。この知見をもとに、反射防止膜にかかる電界を遮蔽するセル構造を用いることでPIDをほぼ完全に抑止できることを実証し、モジュール寿命30年の実現可能性を示した。 ・セルを酢酸蒸気に曝露する新規加速試験法を開発し、屋外曝露に対して目標値の100倍を大幅に上回る4500倍以上の加速係数を有することを明らかにした。この手法は、セル電極の酢酸耐性評価法にも適用でき、国際標準SEMI PV79-0817として発行された。
ポイント	セルを含めた改善がモジュールの信頼性向上に結び付くとの指針を得ることで、セル・モジュールを一体として研究を推進することの重要性を明確化するとともに、信頼性向上のための各種対策をメーカーに提示した。さらに、国際ワークショップ開催、国際標準発行、IEA PVPS Task13のレポート発行を通じて、当該分野の国際連携に貢献した。



Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	太陽光発電の寿命予測ならびに試験法の開発(紫外線を含んだ環境因子による複合劣化現象の解析と屋外曝露劣化との相関性検証)
実施者	デュポン・スペシャルティ・プロダクツ株式会社
期間・予算	2015年5月～2018年3月末 3年間、総額：33.2百万円
目標	加速係数が70倍以上の試験法の開発
概要	紫外線透過率の異なる封止材EVAを用いたモジュール構造サンプルを用い、高温高湿ストレス(DH)単独試験、紫外線照射(UV)単独試験、UV+DH複合試験を実施した結果、DHとUVストレスで異なるメカニズムで封止材EVAを劣化させる可能性を見出した。紫外線吸収剤を含まない高透過率封止材EVAは、実曝露環境では紫外線による劣化が進み、酢酸発生による出力劣化を加速させる可能性を示唆する結果を得た。
ポイント	出力劣化の加速因子として紫外線による材料劣化の因子が極めて重要であることを実証し、酢酸発生量の観点において加速係数が70倍以上の試験法の開発に貢献した。

紫外線透過率の異なるEVAを用いたモジュールを作製し、単独/複合加速試験を実施

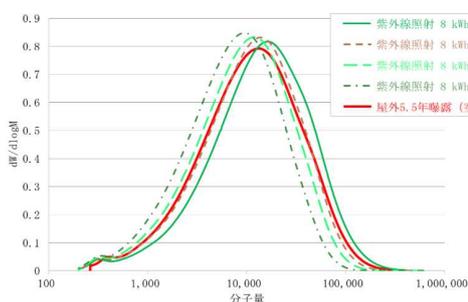


酢酸発生量の観点より：

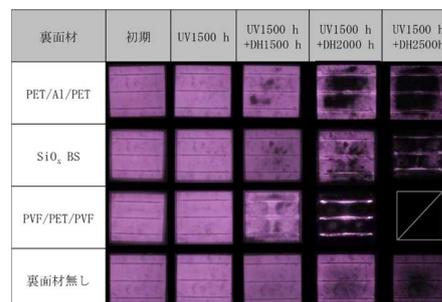
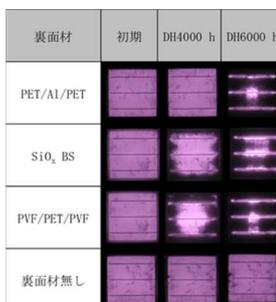
- DH(単独)試験：実曝露環境を再現せず
- UV(単独)試験：出力劣化を起こさず、実曝露環境も再現せず
- UV→DH連続(複合)試験：実曝露環境を再現

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	太陽光発電の寿命予測ならびに試験法の開発(屋外曝露モジュールの分析による加速試験法の開発)
実施者	東レ株式会社
期間・予算	2015年5月～2018年3月末 3年間、総額28.8百万円
目標	太陽光発電の寿命予測ならびに試験法の開発
概要	①曝露環境の検討 ②屋外曝露モジュールの分析 ③複合加速試験の開発 ④国際標準化への取り組み
ポイント	①裏面材の劣化要因となった環境ストレスを定量化 ②環境ストレスにより劣化した裏面材パラメータ特定 ③25年の耐久性を判断できる加速試験法の開発 ④得られた知見、成果を基礎とした国際標準化会議等で意見・提案



加速試験サンプルおよび屋外曝露モジュール裏面材(空側)の分子量分布DH試験のみを行った際のEL画像



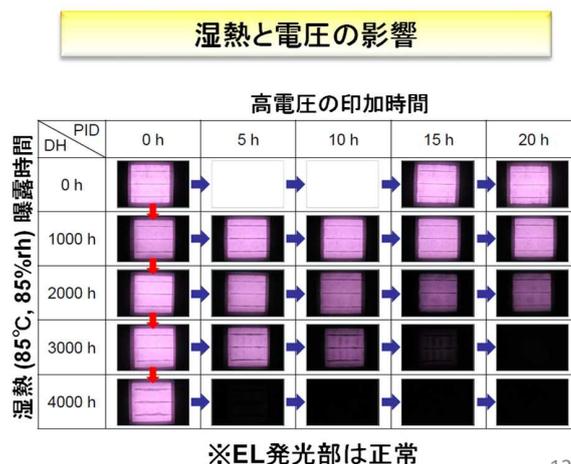
UV試験後にDH試験を行った際のEL画像

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	太陽光発電の寿命予測ならびに試験法の開発(屋外での電圧誘起劣化の実証研究)
実施者	石川県工業試験場
期間・予算	2015年5月～2020年2月末 5年間、総額:40.9百万円
目標	電圧誘起劣化の挙動を1件以上見出し、耐性が2倍になる対策条件を導出する。
概要	高システム電圧で稼働する太陽電池モジュールの屋外性能を観測するとともに、電圧誘起劣化(PID)の屋内実証試験を実施した。シミュレーションを用いてPID耐性の高いモジュール内部の電界および電流分布を可視化し、PID対策の妥当性を明らかにした。

ポイント

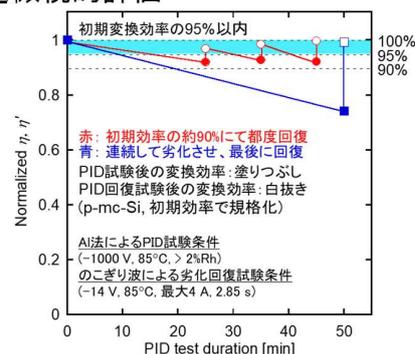
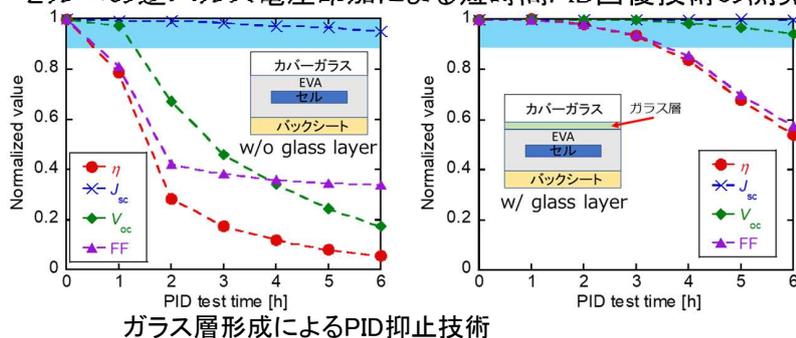
- ①屋外PID実証試験
1,000 VでのPID耐性が示された。
- ②屋内PID加速試験
1,500 Vの太陽電池モジュールのPID挙動は、湿熱環境で加速する。
- ③太陽電池のPID対策条件の解析
耐性が2倍以上となるPID対策案に対して解析を実施し、対策案の妥当性を明らかにした。



Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	太陽光発電の寿命予測ならびに試験法の開発(電圧誘起劣化が発生した箇所の特定方法、微視的評価手法の開発)
実施者	国立大学法人岐阜大学
期間・予算	2015年5月～2020年2月末 5年間、総額:48.1百万円
目標	PID抑止および回復技術により初期変換効率の90%以内に維持
概要	半導体に用いられる微小領域の評価技術を用いて、PIDの発生メカニズムを解明 PID抑止および回復技術を開発し、初期変換効率の90%以内に劣化を抑える手法を提案
ポイント	

- ・フィンガー電極、テクスチャー形状に依存したNa析出分布の特定と微視的評価
- ・ガラス層を形成したカバーガラスによるPID抑止技術の開発
- ・セルへの逆パルス電圧印加による短時間PID回復技術の開発

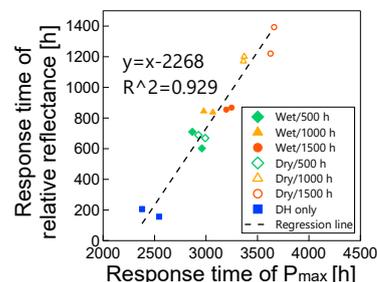
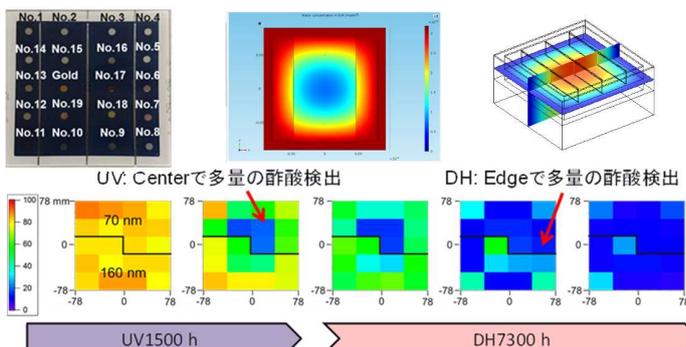


128

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	太陽光発電の寿命予測ならびに試験法の開発(太陽電池モジュールの湿熱劣化の実時間観測手法の開発)
実施者	国立大学法人東京農工大学
期間・予算	2015年5月～2020年2月末 5年間、総額:36.5百万円
目標	小型非接触な酢酸センサを開発し加速試験中の太陽電池モジュール内の酢酸分布を経時計測するとともに酢酸侵入経路を明らかにする。
概要	・過酷試験環境に長時間耐える光学式非接触酢酸センサの開発 ・各種試験条件におけるセンサ応答の測定と酢酸生成メカニズムの理解
ポイント	

- ①直径8 mmの錫薄膜センサをモジュール内に20個配置し酢酸分布を計測
- ②長時間の各種加速試験に耐える錫薄膜センサにより酢酸分布の経時検出を達成
- ③試験条件の違いによる酢酸生成・拡散機構を明確化
- ④試験早期のセンサ応答が各種試験における性能劣化時間と強く相関することを発見

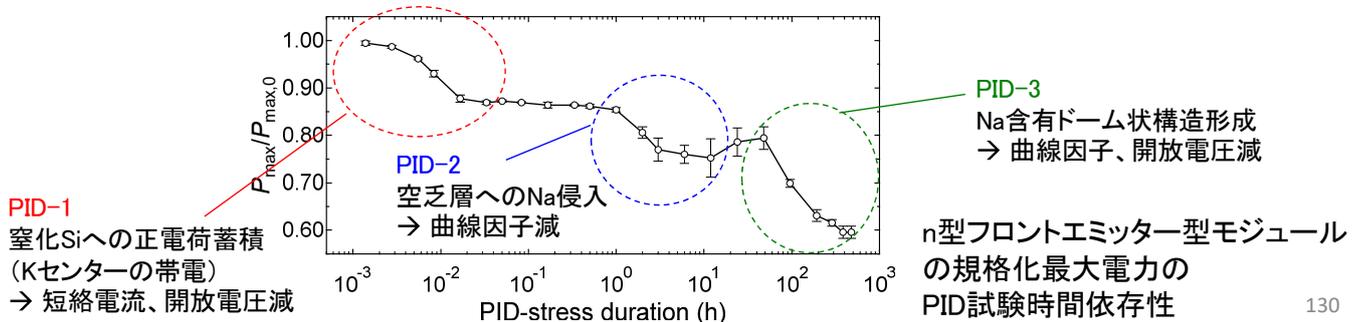


129

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	太陽光発電の寿命予測ならびに試験法の開発 (n型結晶シリコン太陽電池における電圧誘起劣化機構の明確化)
実施者	国立大学法人北陸先端科学技術大学院大学
期間・予算	2015年5月～2020年2月 5年間、総額:40.5百万円
目標	各種n型結晶シリコン太陽電池モジュールの電圧誘起劣化(PID)による劣化率を30年で20%以下に抑える条件の明確化
概要	リアエミッター型、フロントエミッター型、Siヘテロ接合型、裏面電極型の4種の太陽電池を用いたモジュールにおいて、PIDの挙動、機構を明らかにし、目標の劣化率以内に性能低下を抑制する条件を明らかにした。
ポイント	

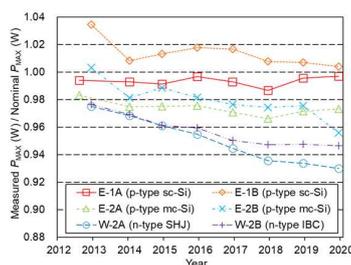
- ・一つのセル構造においても、機構の異なるPIDが異なる時定数で発現することを見出した。
- ・屋外での劣化環境を模した光照射下でのPID挙動も明らかにした。
- ・各種モジュールにおいて、劣化機構および抑制法を明確化し、最終目標を達成した。
- ・n型モジュールのPIDに関して、セル・モジュールメーカーにとって有益な知見を示した。



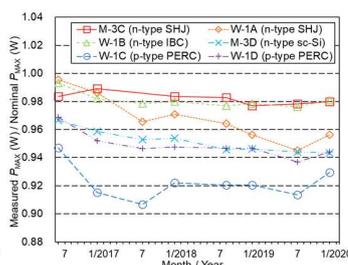
130

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

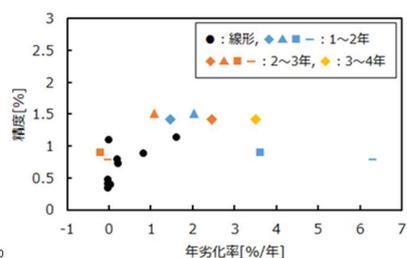
テーマ名	太陽光発電の寿命予測ならびに試験法の開発(経年劣化を考慮した各種太陽電池の発電量評価技術の開発/メガソーラーの発電量及び信頼性評価技術の開発)
実施者	一般財団法人電力中央研究所 (目標①は産業技術総合研究所と共同で実施)
期間・予算	2015年5月～2020年2月末 5年間、総額:41.7百万円
目標	①5つの日射気候区における各種太陽電池の経年劣化を考慮した生涯発電量(25年)を算出する。②メガソーラーの発電性能の経年劣化を1%程度の精度で算出可能な発電量診断技術を開発する。③IEC61853シリーズを国際規格(IS)として成立させる。
概要	新型を含む実使用下の結晶シリコン太陽電池の年劣化率を高精度に算出し、それらの値を用いて経年劣化を考慮した30年間の発電量を算出した。複数年運用されているメガソーラーのシステム出力の年劣化率を高精度に算出した。日本の気象データが採用された国際規格(発電量定格)の成立に貢献した。



2012年に導入した結晶シリコン太陽電池出力の推移



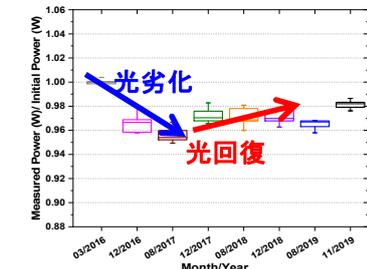
2016年に導入した新型結晶シリコン太陽電池出力の推移



メガソーラーの年劣化率と発電性能の推定精度の関係

131

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	経年劣化を考慮した各種太陽電池の発電量評価技術の開発	
実施者	国立研究開発法人産業技術総合研究所	
期間・予算	2015年5月から2020年2月末まで 5年間、総額:104.0百万円	
目標	ヘテロ接合系等の新型結晶シリコン系太陽電池アレイならびに薄膜系太陽電池アレイにおいて、劣化特性を考慮した定量的な発電量評価手法を開発し、±5%の精度で発電量を推定する技術を開発する。Webサイトに掲載可能な発電量データベースを開発する。	
概要	<p>屋外サイトで曝露中の太陽電池モジュールを定期的に取り外し、標準条件で室内測定を実施した。最長9年間の屋外曝露による発電性能の変化を纏めた。多くの種類の太陽電池において、発電量評価の上で考慮すべき初期劣化は飽和傾向を示し、初期劣化の程度や飽和に要する時間等の諸特性を把握することができた。これらの屋外劣化特性を踏まえて発電量を推定したところ、結晶シリコン系、ヘテロ接合系、薄膜シリコン系のいずれにおいても、±5%以内の精度との最終目標を十分に上回る精度で発電量推定が可能なることを実証した。本技術を用いて精緻に生涯発電量を算出することにより、太陽光発電所のバンカビリティ(投資回収性・融資可能性)を高精度に判断することが可能となる。</p>	 <p>発電量推定のためのデータを取得した屋外曝露サイトの外観</p>  <p>屋外曝露にともなうp型単結晶シリコンPERC太陽電池の出力の推移</p>

132

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	日射量データベースの高度化に関する研究	
実施者	一般財団法人 日本気象協会	
期間・予算	2015年5月から2020年2月末まで 5年間、総額 : 207. 8百万円	
目標	気候区による気象データやスペクトルデータ等を整理し、利便性の高い日射量データベースを構築する。	
概要	(1)日射量データベース、(2)日射スペクトルデータベースの高度化を行う。	
ポイント	<p>(1) 日射量データベースの高度化</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 改良版日照一日射モデルを構築 ② ひまわり8号データを用いた日射量推定モデルを高度化 ③ 高密度・高精度な日射量データベースを整備 <p>(2) 日射量スペクトルデータベースの高度化</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 日射気候区ごとに日射スペクトルの長期観測を実施 ② 日射スペクトル推定モデルを構築 ③ スペクトルミスマッチの影響を定量的に評価 ④ 日射スペクトルデータベースを整備 	



日射量データベースの例

133

(1) 日射量データベースの高度化

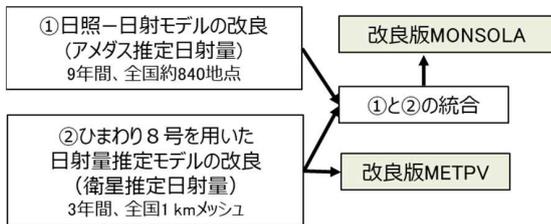
< 研究開発成果 >

- ① 改良版日照-日射モデルを構築
- ② ひまわり8号データを用いた日射量推定モデルを高度化
- ③ 高密度、高精度かつ近年の日射量の傾向を反映した日射量データベースを整備

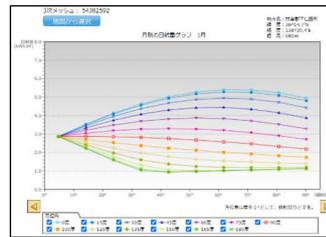
< 研究開発成果の意義 >

- 高密度日射量データベース整備により、未利用地域への太陽光発電の普及・利用が促進される。
- 高精度日射量データベース整備により、期待発電量を精度良く計算できるようになり、より最適な太陽光発電システム導入への投資、高精度な発電量診断等が行われるようになる。

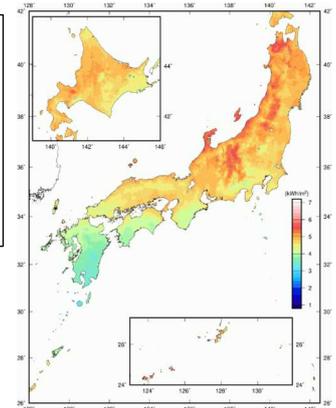
・高密度、高精度かつ近年の日射量の傾向を反映した日射量データベースの整備



< データベースの表示例 >



< 日射量マップの例(6月) >



(2) 日射量スペクトルデータベースの高度化

< 研究開発成果 >

- ① 日射スペクトルの長期観測を実施 (日射気候区ごとの全国5地点)
- ② 日射スペクトル推定モデルを構築
- ③ 太陽電池の種類別に、スペクトルミスマッチの影響を定量的に評価
- ④ 日射スペクトルデータベースを整備 (全国5地点の観測データと全国47地点の日射スペクトルデータを整備)

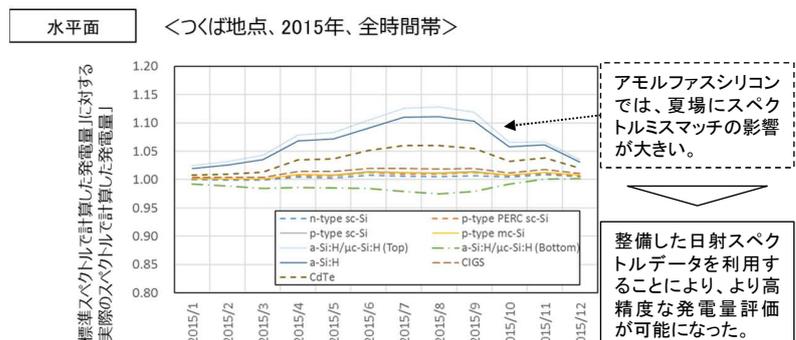
< 研究開発成果の意義 >

- 研究開発により、全国各地の日射スペクトルデータの利用が可能となったことで、以下の波及効果が期待される。
- 日射スペクトルの影響を考慮した、用途に応じた高効率な太陽電池の開発が促進される。
 - (新型太陽電池を含む) 日射スペクトルの影響が大きい太陽電池の、より高精度な評価が可能となり、その利用が促進される。

・日射スペクトルの長期観測の実施



・太陽電池の種類別のスペクトルミスマッチの評価例



Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	発電データ分析によるシステム信頼性および劣化率評価
実施者	学校法人東京理科大学
期間・予算	2015年5月から2020年2月末まで 5年間、総額:34.0百万円
目標	北杜サイトの発電特性分析から得られた劣化率等の知見を発電量の評価支援を行うツールにおいて利用可能とする。本研究において得られた信頼性・劣化に関する知見を発電電力量の算出方法に取り込むことにより、発電量の評価支援を行うツールを用いた北杜メガソーラーの設置後10年間の発電電力量の推定精度として±10%以内(平均)を実現する。
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・屋外曝露モジュール・実運用システムでの劣化現象調査として、山梨県北杜市にて運用されている北杜メガソーラーの発電データを継続的に取得・分析することで、運転開始から10年以上経過したPVシステムにおける様々な発電特性の変化、不具合、劣化の高精度検出を実証するとともに、得られた知見を活かし、発電量の評価支援を行うツールを作成した。 ・開発した発電量の評価支援を行うツールを用いて北杜メガソーラーの設置後10年間の発電電力量を推定し、推定精度として誤差-0.45% (多結晶シリコン 10 kWシステム)を得たことにより、最終目標を達成した。 ・10年以上前に設置された結晶シリコン系の太陽電池モジュールおよびシステムの長期間にわたる劣化特性を明らかにし、開発したツールにより劣化特性を考慮した発電電力量の推定を可能としたことにより、多くの発電事業者が発電所の運用を効率的に行えるようになることが期待できる。

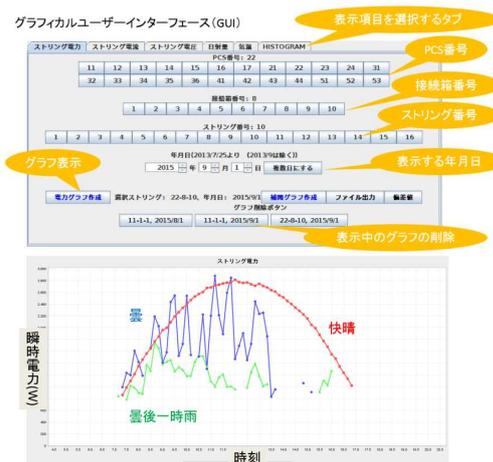
136

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	アクセシブルな太陽光発電データベース構築技術の開発
実施者	国立大学法人 佐賀大学
期間・予算	2015年5月から2019年3月20日まで 4年間、総額:29.3百万円
目標	様々な発電データをとりまとめ、アクセシブルな発電データベースを構築する技術を開発する。
概要	発電量、日射量データの補完アルゴリズムソフトウェアを開発した。

メガソーラー発電所の大規模な測定データを可視化、解析するソフトウェアである「大規模計測データ可視化システム」を開発

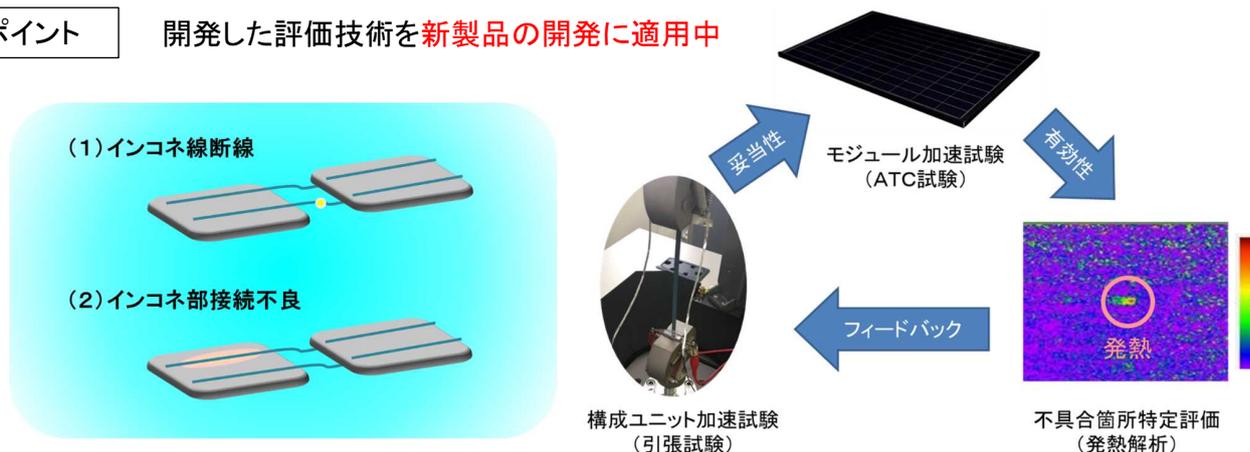
発電量、日射量データの補完アルゴリズムソフトウェアを開発



137

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	ZEB適用型太陽電池モジュールの長期信頼性評価技術開発
実施者	株式会社 カネカ
期間・予算	2015年5月～2020年2月末、総額: 255.6百万円
目標	40年間以上の運転期間にわたる総発電量を推定する評価方法の開発
概要	電気接続および封止構造の40年以上の長期耐久性を評価する評価技術を開発 合わせガラス構造により、30年以上の耐用年数を有することを確認した。
ポイント	開発した評価技術を新製品の開発に適用中



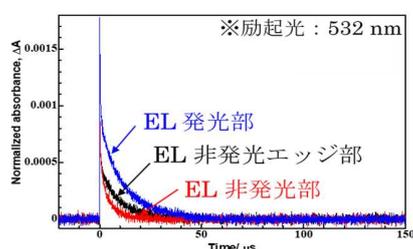
Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	レーザー技術を用いた太陽電池モジュールの寿命予測検査技術の開発 「ケーシング側から見た太陽電池モジュールの寿命予測検査技術の開発」
実施者	日清紡メカトロニクス株式会社
期間・予算	2015年5月～2017年9月末 2年5ヶ月 総額121.29百万円
目標	①発電劣化メカニズムの解明 ②設置される環境を考慮したラボ加速試験方法の開発 ③30年発電性能の寿命予測技術の確立
概要	発電劣化及びPIDメカニズムの解明を行い、レーザーを利用した検査方法による寿命予測方法を提案する。

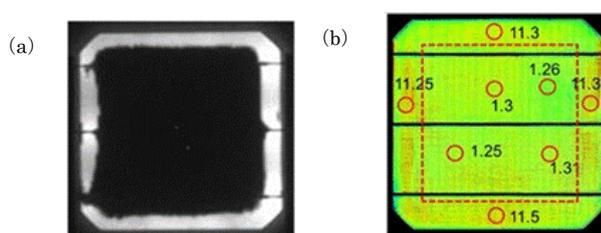
ポイント	目標	成果	達成度
	①	シリコンセルのPIDメカニズムを含めた発電劣化メカニズムを解明。	◎
	②	実フィールド環境を再現する加速試験法として、電圧を加えた状態で、温度と湿度を加える再現性良好なPID試験法を開発。	◎
	③	ラマン分光／蛍光強度比值と発電劣化率の関係から、25、30年寿命予測できる技術を開発。	◎

実用化・事業化の見込み: O&Mビジネスの信頼性向上技術としての検査器

テーマ名	レーザー技術を用いた太陽電池モジュールの寿命予測検査技術の開発 (標準化を目指した寿命予測検査技術の開発)
実施者	国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学
期間・予算	2015年5月～2018年3月末 3年間、総額: 60.28百万円
目標	<ul style="list-style-type: none"> 発電素子の寿命評価技術を確立し、P型、N型、PERC型Si太陽電池におけるモジュール劣化メカニズムモデルを構築 信頼性・寿命予測技術の開発し、評価試験法の特徴をテーマ全体で明らかにする
概要	レーザーを利用した検査方法により電圧誘起劣化現象により特性劣化したセルの検知を行い、その劣化メカニズムの構築、評価方法の確立を行う。
ポイント	<ul style="list-style-type: none"> 過渡吸収分光法による評価から、電圧誘起劣化現象による劣化メカニズム構築 マイクロ波光導電率減衰法で、より簡便に劣化部分の検知に成功 本評価方法が適用できるセル構造・モジュール構造を明確化



過渡吸収分光法による劣化部のスペクトル



マイクロ波光導電率減衰法による劣化部の検知

研究開発項目⑤

動向調査等

- ・太陽光発電開発戦略に関する動向調査(みずほ情報総研株式会社)
- ・発電コスト低減に向けた太陽電池技術開発に関する動向調査(株式会社資源総合システム)
- ・IEA PVPS国際協力事業(株式会社資源総合システム)

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	太陽光発電開発戦略に関する動向調査			
実施者	みずほ情報総研株式会社			
期間・予算	2015年度～2019年度、157.8百万円			
目標	発電コスト7円/kWhの実現に向けた太陽光発電開発戦略の見直しの要否を検討するとともに、必要に応じて見直し案を作成する			
概要	<ul style="list-style-type: none"> 太陽光発電の導入、生産動向の調査 太陽光発電の価格動向と発電コストの分析 太陽電池モジュール性能等に関する基礎情報 太陽光発電の将来ポテンシャル、導入量の検討 太陽光発電産業、市場に関するシナリオ分析 	<p><発電コストの感度分析></p>	<p><将来の発電コスト試算></p>	
ポイント	<ul style="list-style-type: none"> 太陽光発電搭載自動車に関する調査 	<p><新市場技術開発によるCO2排出量削減効果></p>	<p><太陽光発電搭載自動車検討委員会中間報告書></p>	<p><IEA PVPSタスク17: PV and Transportの構造></p>
	<ul style="list-style-type: none"> ● 発電コストの現状分析および発電コストを検討。太陽光発電の新市場における将来導入ポテンシャルおよび導入量やCO2排出量削減に向けて必要な技術開発分野を検討 ● 太陽光発電産業、市場に関するシナリオ分析を実施、太陽光発電の技術開発方向性を検討 ● 太陽光発電搭載自動車の普及推進に資するため、太陽光発電搭載自動車検討委員会を開催、IEA PVPSタスク17の立ち上げ、運営を支援 			

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	発電コスト低減に向けた太陽電池技術開発に関する動向調査			
実施者	株式会社社資源総合システム			
期間・予算	2015年5月～2020年2月末 5年間、総額：55.7百万円			
目標	太陽電池モジュールに関する技術動向及び産業への影響、コスト分析等を継続的に調査し、「太陽光発電開発戦略」へフィードバックする。			
概要	諸外国における太陽電池モジュールの性能レベル、製造技術、製造コスト、研究開発等の各種動向、主要製造企業の産業競争力、今後の太陽電池市場と産業の可能性、諸外国における研究開発施策動向を調査し、情報の収集・整理・分析を行った。			
ポイント	<ul style="list-style-type: none"> ① 太陽電池モジュール性能と発電コストの関係性及び産業競争力に関する動向調査 <ul style="list-style-type: none"> ①-1 発電コスト分析(コスト内訳、モジュール性能のLCOEへの影響) ①-2 太陽電池モジュールの現状技術及び産業競争力に関する調査 ①-3 太陽電池モジュールの長期信頼性調査(研究開発、国際標準化) ② 太陽電池モジュールの製造技術開発と製造コストに関する調査・分析 ③ 太陽電池モジュールの利用動向と今後の市場と産業の可能性に関する調査・分析 ④ 各国の太陽電池研究開発動向(目標・枠組み・予算、対象国:米、欧、独、豪、中、韓、等)及び新たな太陽電池技術(ペロブスカイト等)に関する調査 	<p>①-1 高性能結晶シリコン太陽電池モジュール性能の発電コストへの影響分析</p>	<p>①-2 代表的な太陽電池製造企業における年間研究開発費の推移</p>	<p>② 量産太陽電池モジュールの代表的機種の種類出力比較(結晶シリコン60直列)</p>

テーマ名	IEA PVPS 国際協力事業
実施者	株式会社資源総合システム
期間・予算	2015年5月～2020年2月末 5年間、総額:77.0百万円
目標	<ul style="list-style-type: none"> ・IEA PVPS活動の日本の産業界への発信 ・IEA PVPSの日本のプレゼンスの更なる向上とリーダーシップ
概要	IEA PVPSタスク1専門家として各種活動に参加し国際協力活動への日本代表として貢献すると共に、活動成果を日本の太陽光発電の研究・開発へ活用及び太陽光発電ステークホルダーにフィードバックする。
ポイント	<ol style="list-style-type: none"> ①タスク1専門家として専門家会議に参加して情報交換及び情報収集を行うと共に、我が国の太陽光発電動向の調査と報告書作成を実施した。日本からの報告は各国からの報告と共に、タスク1による世界の動向報告書(Trends Report)に反映された。 ②特別情報活動(国際会議におけるワークショップ・セミナー等)に関して、内容の企画、各国との事前調整及び国内調整を行った。要請に応じて、世界市場における応用の多様化、世界の産業動向等のプレゼンテーションを行った。 ③タスク1定期刊行物編纂にあたり、各種レポートの作成およびPVPS 参加国・加盟機関の報告書の翻訳等を行った。 ④上記①～③の内容およびタスク定期刊行物から編集した統計データを含む成果報告書を年度毎に作成した。



③作成したIEA PVPSタスク1の定期刊行物(各種レポート)

研究開発項目⑥

高性能太陽電池製造技術実証

- ・低コストヘテロジャンクションバックコンタクト太陽電池の小規模量産実証(株式会社カネカ)

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ名	低コストヘテロジャンクションバックコンタクト太陽電池の小規模量産実証
実施者	株式会社カネカ
期間・予算	2018年6月～2020年2月末、交付総額約285百万円
目標	指標①: p領域、n領域、電極パターンを形成するための製造コストにおいて変動費5円/Wが実現可能であることを小規模量産レベルにおいて実証する。 指標②: セル変換効率において、モジュール変換効率22%に資するヘテロジャンクションバックコンタクト太陽電池セルを小規模量産レベルにおいて実現する。(セル変換効率24%相当。ただし、モジュール構造による。)
概要	海外メーカーに対し圧倒的に高効率なヘテロジャンクションバックコンタクト太陽電池の実現とその低コスト化に資する製造技術を小規模生産レベルで実証する
ポイント	<ul style="list-style-type: none">・p/n、電極パターン形成に用いる部材を安価材料で適用可能であることを確認。・既存材料の利用効率を大幅に改善可能な見込みを確認。・上記2つの成果によりパターン形成の変動費5円/Wの実現見込みを確認。・小規模量産実証ラインでの各プロセス改善により、再現性良くセル変換効率24%相当の特性を得た。・事業終了後、実用化にあたって、更なる競争力獲得に向けて研究開発を実施中。・IoT向け用途や、移動体向け用途など、新規のハイエンド用途への展開も開始。