

「太陽光発電システム未来技術研究開発」

事後評価報告書（案）概要

目 次

分科会委員名簿	1
プロジェクト概要	2
評価概要（案）	1 1
評点結果	2 0

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 研究評価委員会

「太陽光発電システム未来技術研究開発」(事後評価)

分科会委員名簿

(平成21年12月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	にわの 庭野 みちお 道夫*	東北大学 電気通信研究所 ナノ・スピン実験施設 教授 (副所長)
分科会長 代理	はんな 半那 じゅんいち 純一*	東京工業大学大学院 理工学研究科 附属像情報工学研究施設 教授
委員	かきうち 垣内 ひろあき 弘章*	大阪大学大学院 工学研究科 精密科学・応用物理学専攻 精密科学コース 准教授
	くどう 工藤 かずひろ 一浩	千葉大学大学院 工学研究科 教授
	ふじおか 藤岡 ひろし 洋*	東京大学 生産技術研究所 教授
	やお 八百 たかふみ 隆文*	東北大学 学際科学国際高等研究センター 客員教授
	やまか 山家 きみお 公雄	エネルギー戦略研究所株式会社 取締役 研究所長

敬称略、五十音順

注*：実施者の一部と同一大学であるが、所属部署が異なるため（実施者：東京工業大学 理工学研究科 電子物理工学専攻、東京工業大学大学院 理工学研究科 量子ナノエレクトロニクス研究センター、大阪大学大学院 基礎工学研究科、大阪大学 太陽エネルギー化学研究センター、大阪大学 先端科学イノベーションセンター、東北大学 流体科学研究所、東北大学 金属材料研究所、東京大学 先端科学技術研究センター）「NEDO 技術委員・技術評価委員規程(平成21年7月15日改正)」第34条（評価における利害関係者の排除）により、利害関係はないとする。

プロジェクト概要

		作成日	平成 21 年 11 月 20 日			
制度・施策 (プログラム) 名	H19fy-H21fy: 新エネルギー技術開発プログラム H18fy: 太陽光発電システム未来技術研究開発					
事業(プロジェクト)名	新エネルギー技術研究開発 太陽光発電システム未来技術研究開発	プロジェクト番号	P07015 (H18fy: P06006)			
担当推進部	新エネルギー技術開発部					
0. 事業の概要	<p>太陽光発電が将来、エネルギーの一翼を担えるようになるためには、太陽光発電の経済性、性能、機能、適用性、利便性等の抜本的な改善を図り、太陽光発電の普及拡大を促進することが必要不可欠である。こうした観点から、現状技術の延長にない技術革新を目指した中・長期的視野での技術研究開発を実施する。具体的には下記のテーマを実施する。</p> <p>(1) CIS 系薄膜太陽電池の高効率化技術、軽量基板上への太陽電池の形成プロセス要素技術 (2) 薄膜シリコン太陽電池の高生産性技術、高効率化技術 (3) 色素増感太陽電池の高効率化技術、モジュール化技術・耐久性向上技術 (4) 次世代超薄型シリコン太陽電池の高効率化技術及び関連プロセス技術 (5) 有機薄膜太陽電池の高効率化技術、耐久性向上技術 (6) 太陽光発電システムの大幅な低コスト化・高性能化・長寿命化が実現可能と考えられる次世代技術の探索</p>					
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>太陽光発電については、エネルギー安定供給と地球環境問題等への対応の観点から、技術の早期実用化および急速な導入普及が求められている。</p> <p>これまでの各種施策効果により、その発電コストは従来よりも大幅に低減されているものの、現時点では家庭用電力料金の約 2 倍、業務用電力料金の約 4 倍と、依然割高である。2004 年に策定した「2030 年に向けた太陽光発電ロードマップ」においては、2030 年までの期間を太陽光発電システムが主要エネルギー源の一つとなるための認知と信頼獲得の期間と位置づけており、このためには発電コストを汎用電力並にまで低減することが必要であり、そのために変換効率向上、生産性向上、長寿命化のような技術開発を必要としている。</p> <p>このため、電力供給源としての太陽光発電の経済性と信頼性を確立し、太陽光発電の本格的な普及促進に資すべく、低コスト太陽電池の研究開発等を実施し、太陽電池産業・市場の早期自立化に貢献することを目的に本事業を実施する。</p>					
II. 研究開発マネジメントについて						
事業の目標	2020 年における発電コスト 14 円/kWh、2030 年における発電コスト 7 円/kWh を達成するために、本研究開発終了時点における目標は、2020 年における発電コスト目標達成に必要な要素技術の確立、2030 年における発電コスト目標達成に資する要素技術の選択である。					
事業の計画内容	主な実施事項	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	
	CIS 系薄膜太陽電池	←			→	
	薄膜シリコン太陽電池	←			→	
	色素増感太陽電池	←			→	

	次世代超薄型シリコン太陽電池	←				→	
	有機薄膜太陽電池	←				→	
	次世代技術の探索	←				→	
開発予算 (会計・勘定別に 事業費の 実績額を 記載) (単位: 百万円)	会計・勘定	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	総額	
	一般会計	—	—	—	—		
	特別会計(石特高度化勘定)	4,600					
	特別会計(需給勘定)		2,830	1,270	1,080		
	総予算額	4,600	2,830	1,270	1,080	9,780	
開発体制	経産省担当原課	資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギー対策課					
	プロジェクトリーダー	当初、近藤道雄(産総研 太陽光発電研究センター長) H20.8月より 山口真史(豊田工業大学大学院工学研究科教授)					
	委託先 <>内は中間評価までの委託先	(独)産業技術総合研究所、鹿児島大学、筑波大学、<昭和シェル石油(株)>、青山学院大学、三菱重工業(株)、(株)カネカ、<富士電機アドバンステクノロジー(株)>、<三洋電機(株)>、<名古屋大学>、シャープ(株)、九州工業大学、東京理科大学、(株)フジクラ、(株)ケミクレア、新日鐵化学(株)、東洋製罐(株)、岐阜大学、(株)積水樹脂技術研究所、<(財)電力中央研究所>、<大阪大学>、<信州大学>、<コア(株)>、<保土谷化学工業(株)>、<関西パイプ工業(株)>、三菱電機(株)、東北大学、京セラ(株)、<(株)日平トヤマ>、<九州大学>、<(株)第一機電>、<岡山大学>、<トーヨーエイテック(株)>、<豊田工業大学>、<明治大学>、京都大学、松下電工(株)、新日本石油(株)、<小松精練(株)>、<金沢大学>、<名古屋工業大学>、<大同特殊鋼(株)>、<大同メタル工業(株)>、東京大学、龍谷大学、<ペクセル・テクノロジー(株)>、<北陸先端科学技術大学院大学>、<藤森工業(株)>、<長岡高専>、<福井大学>					
情勢変化への対応	<p>本事業は、日本がトップレベルを走っている太陽光発電システム技術について、従来技術とは異なる CIS 系、色素増感型、薄膜系などの新技術の開発を促進するものであるが、ここ 2 年間ほどの間に深刻化するとされた原料シリコン不足問題に対応するとともに、近年の欧米、中国等のライバル企業の投資加速化に対応し、日本の優位性を確保するために不可欠な、次世代技術の探索も含めた。公募に対し、非常に優良な案件が多数提案されてきたことを踏まえ、加速資金を活用することにより、必要な優良案件(37件)を採択した。</p> <p>H19 には、材料技術、デバイス技術等を基盤的かつ基礎的見地から開発するテーマを「次世代技術の探索」において、追加公募を実施し、2020 年以降のテーマ策定に資する優良案件(2件)を採択した。</p> <p>また、H19 には、H18 年度採択テーマの中間年度にあたり、ステージゲート方式のテーマの絞り込みを行った。社会情勢は、さらに厳しさを増し、実用化を急ぐ必要から、早期に実用化望める課題については、H20 年度の新規プロジェクトに移行し、本事業の課題から除外した(継続18件)。</p> <p>更に H20 には、H19 年度採択テーマの中間年度となり、ステージゲート方式のテーマの絞り込みを行って、最終目標達成に必要な技術レベルに至っていないと判断された課題を除外した(継続1件)。</p>						

<p>Ⅲ. 研究開発成果について</p>	<p>豊田工業大学 大学院工学研究科教授 山口 真史氏をプロジェクトリーダーとし、その下で各研究開発の効率化を図りながら、以下の研究開発を実施した。</p> <p>基本計画の研究項目ごとに設定した課題に対し、平成21年度は、平成18年度から継続している18件、さらに平成19年度採択の2件のうち中間テーマ評価で残った1件の計19件の研究開発を実施した。</p> <p>基本計画に基づき、平成21年1月に、平成19年度に追加公募によって採択した2件について、中間テーマ評価を行って継続又は中止の判断を行い、平成21年度以降の研究体制を見直した。</p> <p>また、太陽電池の種類ごとに研究分科会（後に進捗報告会に名称変更）を設け、プロジェクトリーダー及び実施者間での情報交換等により進捗状況の把握、研究方針のチェックと指導を行った。分野別に、成果概要を以下に示す。</p> <p>(イ) CIS系薄膜太陽電池</p> <p>CIS系薄膜太陽電池の高効率化技術及び軽量基板上への太陽電池の形成技術の開発を目的として2件のテーマについて継続して研究開発を行った。この中で、「CIGS太陽電池の高性能化技術の研究開発」（委託先：独立行政法人産業技術総合研究所、国立大学法人鹿児島大学、国立大学法人筑波大学）においては蒸着技術の大面积化、パターニング技術、透明導電膜の性能向上など集積型サブモジュールのプロセス技術を開発し、10cm角サブモジュールで世界最高効率16.8%を達成した。フレキシブル太陽電池ではMo裏面電極の下に青板ガラスの薄膜をスパッタ法で形成するNa導入法（AIST法）を開発し、これと他の技術を併用して、10cm角集積型サブモジュールで世界最高効率15.2%を達成した。また、「光励起プロセスを応用した高効率CIGS薄膜太陽電池」（委託先：学校法人青山学院大学）においては、レーザーアシスト製膜法の最適化により、軽量チタン箔上のCdフリーフレキシブルセル（0.5cm²）において、真性変換効率で世界最高レベルの18.8%を達成した。</p> <p>(ロ) 薄膜シリコン太陽電池</p> <p>薄膜シリコン太陽電池について、生産性向上技術又は高効率化技術の開発を目的として2件のテーマについて継続して研究開発を行った。「高電圧型高効率薄膜シリコン太陽電池の研究開発」（委託先：株式会社カネカ）においては、超屈折率中間層によりトップ層感度を中間層無しで29%向上させるなど特性向上に成功した。また安定化効率15%を達成可能な新規光閉じ込め構造を提案し、新規開発TCOを用いた実証実験に成功した。「高電流型高効率薄膜シリコン太陽電池の研究開発」（委託先：三菱重工業株式会社、独立行政法人産業技術総合研究所）においては、再委託先成果の適用により目標であるトップセル安定化効率：10%達成の目処を得た。ミドルセルについては、目標の開放電圧：560mVを達成した。二接合で効率：11.6%を達成し、ボトムセルの長波長感度向上対策と</p>
----------------------	--

併せて目標達成の目処を得た。

(ハ)色素増感太陽電池

色素増感太陽電池の高効率化技術、耐久性向上技術、モジュール化技術の開発を目的として5件のテーマについて継続して研究開発を行った。この中では、「高効率・集積型色素増感太陽電池モジュールの研究開発」(委託先: シャープ株式会社、独立行政法人産業技術総合研究所)において、効率11.5%(5mm角)を達成。 V_{oc} と J_{sc} のトレードオフを打開し、効率15%への指針を示した。また、「高耐久性色素増感太陽電池モジュールの研究開発」(委託先: 学校法人東京理科大学、株式会社フジクラ)においては、30cm角相当のサブモジュールにおいて変換効率7.2%を達成した。

(ニ)次世代超薄型シリコン太陽電池

次世代超薄型シリコン太陽電池の高効率化技術及び関連プロセス技術の開発を目的として4件のテーマについて継続して研究開発を行った。平成21年度は、高効率化技術開発の最終年度であり、最終目標の厚み $100\mu\text{m}$ 、15cm角の多結晶シリコン太陽電池において、変換効率18%を達成した。この中では、「次世代超薄型多結晶シリコン太陽電池の研究開発」(委託先: シャープ株式会社、国立大学法人東北大学)において、多結晶シリコン太陽電池の高効率化に重要な多結晶シリコンインゴットの高品位化について、 dendrite 多結晶の成長メカニズム・高品質化要因を解明した。また、複数のメーカーで dendrite 多結晶基板からセルを試作し、その有効性を確認した。

(ホ)有機薄膜太陽電池

有機薄膜太陽電池の高効率化技術及び耐久性向上技術の開発を目的として2件のテーマについて継続して研究開発を行った。この中では、「タンデム型高効率・高耐久性有機薄膜太陽電池の研究開発」(委託先: パナソニック電気株式会社、独立行政法人産業技術総合研究所)において、新規ドナーポリマー材料の開発により5mm角単セルで変換効率5.5%、 6mm^2 タンデムセルで変換効率6.2%が得られ、変換効率7%達成の目処をつけた。

(ハ)次世代技術の探索

太陽光発電システムの大幅な低コスト化・高性能化・長寿命化が実現可能と考えられる次世代技術の探索を目的として5件のテーマについて継続して研究開発を行った。この中では、「スクリーン印刷/焼結法を用いた非真空 CIS 太陽電池の製造技術開発」(委託先: 学校法人龍谷大学、国立大学法人東京工業大学)において CIS 膜組成の改善に取り組み、焼結プロセスを工夫して空孔を殆ど含まない緻密な CIGS 薄膜を得ることに成功した。

(特許・論文等について件数を記載)	H18-H21年度（10月まで）において、 特許出願347件、論文449件、学会発表1718件
IV. 実用化の見通しについて	本事業で確立した要素技術は、漸次 担当企業で実用化されている。また要素技術として確立しても、実用化までにもう一段の研究が必要とされるものは2010年からの研究につなげ、2015年以降に実用化を行い、2020年における発電コスト14円/kWh目標、2030年における発電コスト7円/kWh目標を目指す。一部の高生産性技術については、本事業途中から、技術開発ステージをアップして2015年までに実用化を目指す。
V. 評価に関する事項	事前評価 平成17年度 担当部 新エネルギー技術開発部 中間評価(平成18年度採択分) 平成19年度 担当部 新エネルギー技術開発部 中間評価(平成19年度採択分) 平成20年度 担当部 新エネルギー技術開発部 事後評価 平成21年度予定 担当部 研究評価部、新エネルギー技術開発部
VI. 基本計画に関する事項	作成時期 平成18年3月制定 変更履歴1 平成19年3月、6事業を統合して新たに制定 変更履歴2 平成20年3月 変更履歴3 平成21年3月

根拠法

本事業は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法15条第1項第1号イの規定に基づき実施する。

技術分野全体での位置づけ

(分科会資料6-1より抜粋)

I. 事業の位置付け・必要性について

公開



— 上位施策の概要 —

新エネルギー技術開発プログラム (経済産業省 2005年3月制定)

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

エネルギーイノベーションプログラム (経済産業省 2008年4月制定)

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

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

環境安心イノベーションプログラム (経済産業省 2008年4月制定)

目的：資源制約を克服し、環境と調和した持続的な経済・社会の実現と、安全・安心な国民生活を実現するため、革新的な技術開発や低炭素社会の構築等を通じた地球全体での温室効果ガスの排出削減、廃棄物の発生抑制(リデュース)、(リユース)、(リサイクル)推進による循環型社会の形成、バイオテクノロジーを活用した環境に優しい製造プロセスや循環型産業システムの創造、化学物質のリスクの総合的な評価及びリスクを適切に管理する社会システムの構築を推進する。

4/51

All right reserved by New Energy and Industrial Technology Development Organization

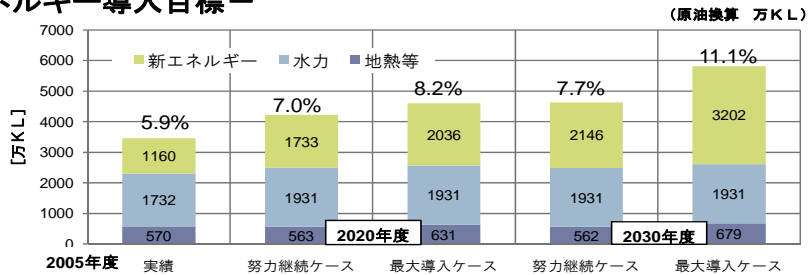
I. 事業の位置付け・必要性について

公開



— 背景/新エネルギー導入目標 —

水力・地熱発電を加えた再生可能エネルギーは、2030年度の最大導入ケースでは、一次エネルギー国内供給の11%を占める。



	2005年度	2020年度		2030年度	
	実績	努力継続ケース	最大導入ケース	努力継続ケース	最大導入ケース
太陽光発電	35	140	350	669	1300
風力発電	44	164	200	243	269
廃棄物発電+バイオマス発電	252	476	393	338	494
バイオマス熱利用	142	290	330	300	423
その他	687	663	763	596	716
合計	1160	1733	2036	2146	3202

(出典：2008/5月 総合資源エネルギー調査会「長期エネルギー需給見通し」)

5/51

All right reserved by New Energy and Industrial Technology Development Organization

I. 事業の位置付け・必要性について — 関与の意義 —

公開



関与する事の意義

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

太陽光発電はエネルギー・環境政策にとって重要な新エネルギー技術普及に向けた早期の低コスト化技術が必要

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

『太陽光発電システム未来技術研究開発』

事業の目標

2020年における発電コスト14円/kWh(モジュール製造コスト換算 75円/W)、2030年における発電コスト7円/kWh(モジュール製造コスト換算 50円/W)を達成するために、本研究開発終了時点における目標は、2020年における発電コスト目標達成に必要な要素技術の確立、2030年における発電コスト目標達成に資する要素技術の選択である。

6/51

All rights reserved by NEDO Energy and Industrial Technology Development Organization

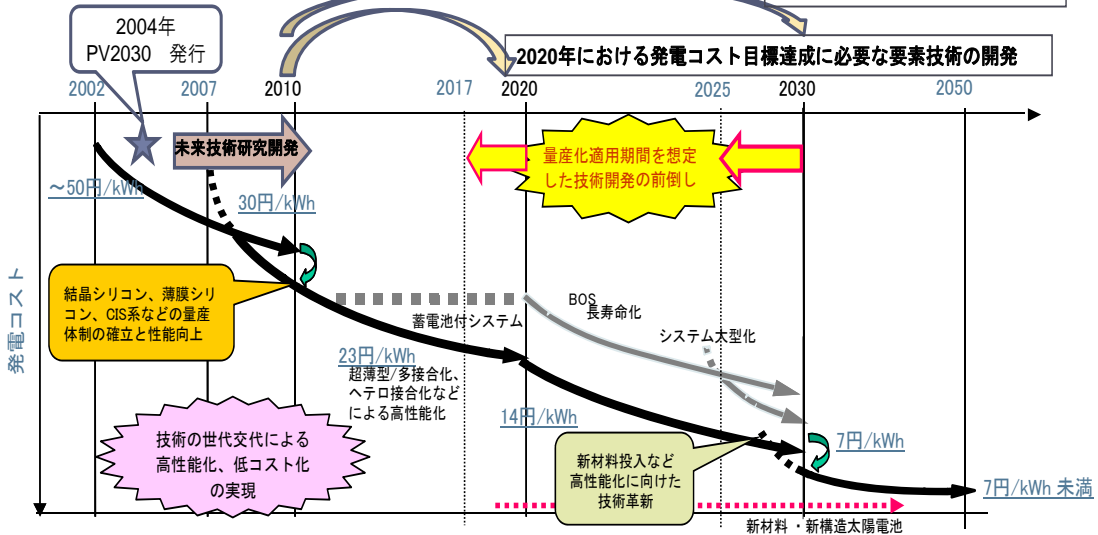
I. 事業の位置付け・必要性について

公開



— 背景/PV2030(+)

2030年における発電コスト目標達成に資する要素技術の選択



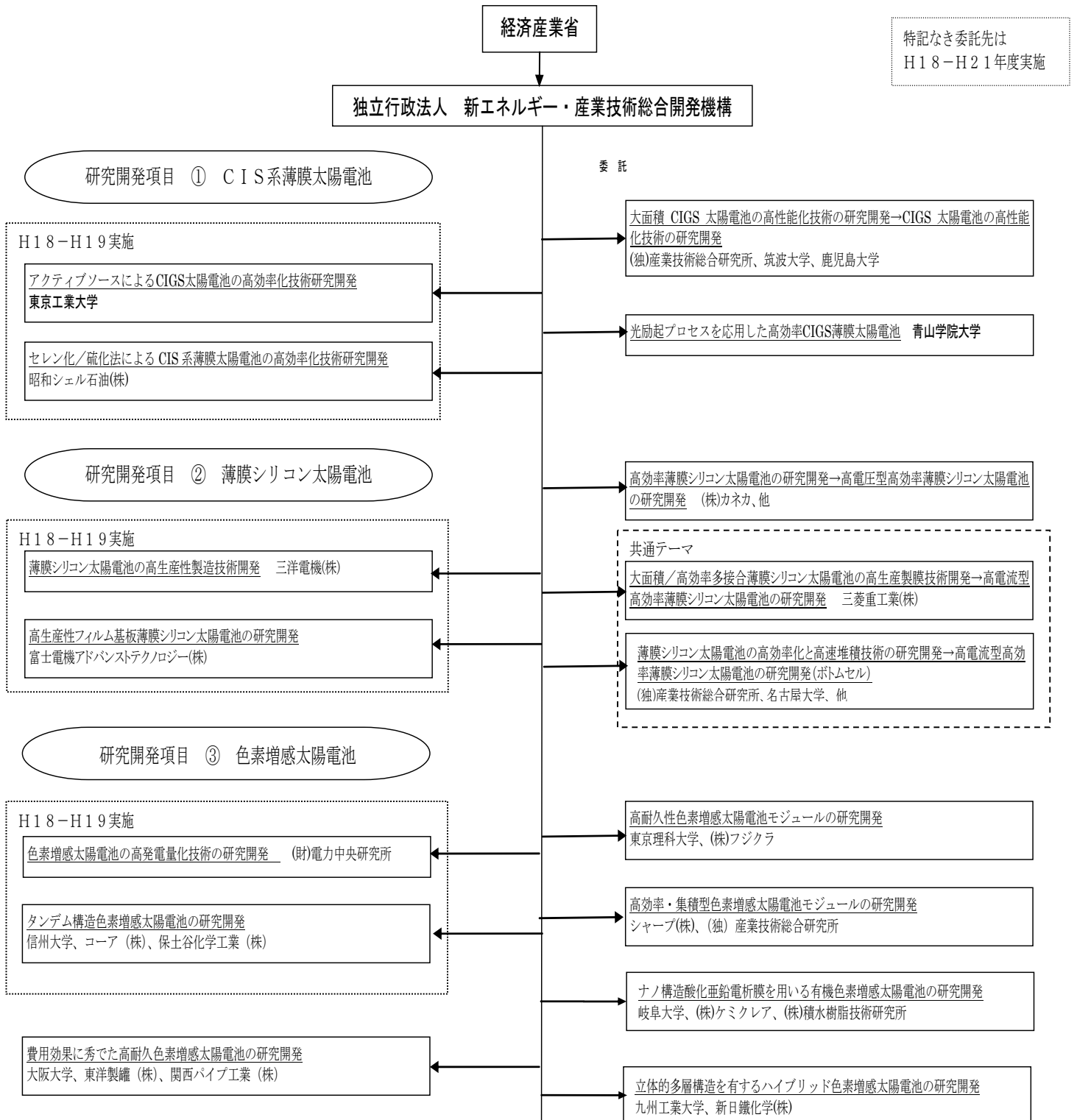
実現時期(開発完了)	2010年~2020年	2020年(2017年)	2030年(2025年)	2050年
発電コスト	家庭用電力並 23円/kWh程度	業務用電力並 14円/kWh程度	汎用電源並み 7円/kWh程度	汎用電源未 7円/kWh未
モジュール変換効率 (研究レベル)	実用モジュール16% (研究セル20%)	実用モジュール20% (研究セル25%)	実用モジュール25% (研究セル30%)	超高効率モジュール 40%
国内向生産量(GW/年)	0.5~1	2~3	6~12	25~35
国内向生産量(GW/年)	~1	~3	30~35	~300
市場規模(億円/年) (太陽電池製造価格のみ)	2000億円/年	4500億円/年	2兆3500億円/年	16兆7500億円/年

7/51

All rights reserved by NEDO Energy and Industrial Technology Development Organization

「太陽光発電システム未来技術研究開発」

全体の研究開発実施体制



研究開発項目 ④ 次世代超薄型シリコン太陽電池

H18-H19実施

n型多結晶シリコン製造技術の研究開発 (株)第一機電

低コスト原料を使用したロバスト多結晶シリコン製造技術の研究開発
豊田工業大学、九州大学、明治大学

H18-H20実施

超薄型ヘテロ構造シリコン太陽電池の研究開発
(独)産業技術総合研究所、トーヨーエイテック (株)

新構造超薄型多結晶シリコン太陽電池の研究開発 京セラ (株)

未来型超薄型多結晶シリコン太陽電池の研究開発
三菱電機 (株)、東京工業大学

次世代超薄型多結晶シリコン太陽電池の研究開発
シャープ (株)、東北大学、(株)日平トヤマ、岡山大学、PVTEC

研究開発項目 ⑤ 有機薄膜太陽電池

H18-H19実施

高耐久性を有する大面積有機薄膜太陽電池の研究開発
金沢大学、小松精練 (株)

ネットワーク構造を有する高性能有機薄膜太陽電池の研究開発
名古屋工業大学

タンデム型高効率・高耐久性有機薄膜太陽電池の研究開発
(独) 産業技術総合研究所、松下電工 (株)

超階層ナノ構造を有する高効率有機薄膜太陽電池の研究開発
京都大学、新日本石油 (株)

研究開発項目 ⑥ 次世代技術の探索

H18-H19実施

超高効率多接合型太陽電池の研究開発
シャープ(株)、大同特殊鋼(株)、大同メタル工業(株)

超高効率太陽電池の研究開発 (窒化インジウム系)
福井大学、筑波大学、豊田工業大学

同時蒸着法による超高品質 CZTS 光吸収層の研究開発
長岡工業高等専門学校

ナノ構造光閉じ込め基板を用いた薄膜シリコン太陽電池の研究開発
大阪大学

H18-H19実施

瞬間熱処理法で作製した多結晶シリコン薄膜太陽電池の研究開発
北陸先端科学技術大学院大学

高耐久性プラスチック色素増感太陽電池の研究開発
ベクセル・テクノロジーズ(株)、藤森工業 (株)

Si 融液からの LPE 成長法を用いた高効率太陽電池の研究開発
東北大学

スクリーン印刷/焼結法を用いた非真空 CIS 太陽電池の製造技術開発
龍谷大学、東京工業大学

革新的光吸収層を有する未来型薄膜シリコン太陽電池の研究開発→未来型
薄膜シリコン太陽電池の研究開発

微結晶 3C-SiC 薄膜を用いたヘテロ接合薄膜シリコン系太陽電池の研究
開発→微結晶 3C-SiC 薄膜を用いた薄膜シリコン系太陽電池の研究

アモルファスシリコン/有機系タンデム太陽電池の研究開発 京セラ
(株)、東京大学

H19-H21実施

省資源・低環境負荷型太陽光発電システムの開発
(独) 産業技術総合研究所

H19-H20実施

触媒反応を利用したシリコンのスライシングおよび表面処理技術の研究開
発 大阪大学

「太陽光発電システム未来技術研究開発」

評価概要（案）

1. 総論

1) 総合評価

本事業は太陽光発電の基盤的技術から実用化技術まで、シリコン系薄膜太陽電池から化合物系、薄型結晶シリコン系、有機薄膜系の異なる材料技術に基づく太陽光電池技術の開発が取り上げられ、産学連携も含めて、系統的に研究開発を進めて、世界最高水準の成果を達成されている。それらの成果は日本の太陽電池技術のレベルの高さを示すものであり、日本の産業力を高める点で評価できる。事業化および実用化につながる開発では、期中で実用化に向けたステップを踏むものもあり、基礎研究面では、学問的に興味ある成果が得られている。

ただし、ロードマップ PV2030 では発電コストを目標としているが、本事業における実際の研究開発では変換効率を具体的な目標として掲げている一方で、量産性やコスト面の目標設定が曖昧であり、実際にどの程度ロードマップに沿った目標が達成されているのかが判断できない。非常に高い変換効率が実現されても、量産性やコストの面で問題があれば、実用化されないことには十分留意すべきである。

研究開発費の配分については、対象となる技術レベルや研究の進展状況をよく把握した上での配分が重要であるが、その点の配慮が十分でなく、例えば、色素や有機はまだ、基礎研究段階であり、手厚い研究開発費配分は時期尚早であり、経費の効率的活用という点ではやや問題がある。また、この分野は世界の技術開発情勢が大きく変化していることを考えると、例えば、薄型結晶シリコン系など、研究開発強化をすべきであったし、状況の変化に機動的に対応した計画の見直し等も図られるべきであった。

2) 今後に対する提言

太陽光発電技術の研究開発は単なる産業技術の育成という観点ではなく、わが国のエネルギー資源や地球環境の問題を踏まえた長期的な観点に立った取り組みが必要である。本プロジェクトで取り上げた個々の課題には技術レベルの大きな開きがあり、その点を十分に認識した上で研究テーマの仕分けを行い、経時的な目標設定、成果の評価を考える必要がある。

国際競争が激化する中で、世界にリードして技術を発展するために、短期的

な成果が求められているテーマと中長期的なテーマをより明確に区別して、メリハリの利いた経費配分や研究テーマの選択が必要である。

将来どの技術が実用化に近いかについて十分な評価を行った上での、研究課題や研究支援の絞り込み、実用化に近い課題については、産学連携や民間会社間の連携も促進する仕組みを構築した上で実用化を加速する支援を行い、一方、基礎的研究の段階にある研究課題については、NEDO 以外も含めた、別な事業を企画することも必要である。世界の研究動向や世界の開発レベルとの比較の考察を行い、信頼性やコストを考慮して、どのタイプの太陽電池が本当に将来有望なのか吟味すべきである。研究連携については、多々の困難があるにせよ、民間会社間の連携も強め、オールジャパン的な取り組みがあっても良いのではないかと考える。次に続くプロジェクトについては、企業チームと大学・国立研究所との有機的連携が強められれば、基礎研究成果を目こぼれ無く知財化が可能となり、基礎研究成果の実用デバイスへの展開も円滑に進むものとする。

NEDO の研究開発プロジェクトとは何かという原点に立ち返って、プロジェクトの推進を行うべきである。NEDO は文科省と異なる視点でのプロジェクト推進と成果が要求されており、本プロジェクトのように総額 100 億円のプロジェクトにはそれ相応の成果を出すこと（実用化の可能性を明確に示すこと）が求められていることに十分留意すべきである。

2. 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

太陽光発電技術は次世代産業の新たな柱としての大きく発展する可能性を秘めており、わが国におけるエネルギー及び地球環境問題の取り組みの一環としても、先進の技術開発を行い、国際競争力を保ちつつ一層の産業の育成を図る上で、本事業は有効かつ重要である。また、太陽光発電は総合的技術であるために、産学連携も含めた研究連携が必要不可欠であり、大規模な普及と市場の早期自立化には民間活動のみでは実現できない製造コスト低減・性能向上へ向けた多額の技術開発投資が必須であるため、国・NEDO の関与が必要とされる事業と位置づけられる。

ただし、このプロジェクトを実用開発研究として評価すると、色素、有機など基礎研究段階の研究テーマが多く、テーマの選定および予算配分については、必ずしも妥当とはいえない。太陽電池市場を牽引している、結晶シリコン太陽電池分野で、わが国の国際競争力が低下している現在の状況では、危機意識が反映されたプロジェクト運営が求められ、技術的・資源的に見て現実的なタイプの太陽電池に集中投資し、早い事業化を支援すべきである。費用対効果を上げるためには、実用化の点についての評価と対策が必要であり、特に変換効率

の向上だけでなく、生産コストの見積もりについての客観的な評価を行うべきである。また、国際競争力を高めるためには、技術レベルが世界的に見てどの辺にあるかについての自己評価が必要であろう。

国際競争力の状況、国際貢献の可能性等に対して、本事業で我が国の特色が明確に打ち出されたかどうかについてはやや不明瞭であり、今後の事業発足には重要な課題点である。また、太陽光発電の R&D のどの部分を（つまり材料か、デバイスか、システム化か）ターゲットにするかを明確にしたプロジェクト設計が必要である。

2) 研究開発マネジメントについて

シリコン系薄膜太陽電池から化合物系、薄型結晶シリコン系、有機薄膜系まで、各タイプの太陽電池ごとの研究成果や技術レベルを考慮して、変換効率に関し高からず低からず適切な目標値に設定されていると認められる。実施機関・企業の技術力や事業化能力も十分高いと考える。採択された技術課題の中間評価を踏まえた取捨選択や新規事業への移行が行われており、実際に即したマネジメントが行われたと判断できる。特に、実用化促進を目的とした事業への早期移行や生産を前提にした新規技術開発の取り組みが行われるなど、成果が見て取れる。

ただし、プロジェクト終了 10 年後、20 年後の発電コストの目標数値を掲げており、プロジェクト終了時点の目標を掲げるべきである。コストを下げるためには、最も多く使用されているシリコン系とならざるを得ないが、投下資金は、シリコン系が 45%以下であり、目標に掲げた発電コストを意識したプロジェクト設計／推進となっていない。

大学、国研、企業は独立しており、研究機関間で有機的に連携して効率的な研究推進を図るとか、大学・国研での研究成果を知財化するあるいは企業開発研究につなげていくと言う連携は無い。研究機関や企業の垣根を越えた共同研究は、個々の企業に任せておいては不可能なので、NEDO がリーダーシップを発揮すべきである。

6つの個別テーマは技術レベルが大きく異なっている。実用化という実質的な成果をより多く出すためには、それぞれのレベルに応じた実質的な技術目標を立てるべきであったと思われる。

太陽光発電の研究開発動向はここ数年大きく変化している。これまで、ナンバー1 の地位を保っていた日本の技術も、もはやその地位を脅かされるような事態も起きている。このような状況の中で、当初の目標や研究体制も含めて、ある程度の研究計画の変更や修正も必要であった。

3) 研究開発成果について

早期に目標を達成し、別の事業プロジェクトに移行した技術課題もあり、また、各テーマ、掲げた技術課題ごとに達成度の違いはあるものの、概ね目標は達成されている。研究の成果は、世界初あるいは世界最高水準と言えるものが多く、論文、学会発表による成果の普及に関しても努力が払われており、プロジェクト全体としては、十分評価できる。

ただし、100 億円の投下資金を考慮して、本プロジェクトを実用開発研究として評価すると、実用化を切り開いて目標に近づいた成果は少ない。また、プロジェクト全体の目標として掲げている発電コストについては、ロードマップ PV2030 に沿った成果が得られているかどうかは不明である。

基礎研究の観点からは、「有機薄膜太陽電池開発」や「次世代技術の探索」では、研究開発の内容から考えて、本来、新技術の創出や基本特許となりうる発明が期待されるが、実際は、特許の出願件数は必ずしも多いとはいえ、研究開発体制、目標設定の見直しが必要である。

今後、成果をどのように活用し、さらに発展させるかについての展望を「実用化」という観点から明確にする必要があるとともに、その成果が世界の研究開発動向からみてどのような意義があるかについての自己評価や説明が必要である。また、研究参加者間の役割分担で得られた成果が総合的にプロジェクトの成果として活かされるような取り組みが必要である。

4) 実用化、事業化の見通しについて

現状の技術レベルの異なる個別テーマで構成されているため、実用化、事業化の見通し、事業化までのシナリオや波及効果については一通りの評価は困難であるが、既に工業化されている CIS 系、薄膜シリコンの現行の技術に関連した採択課題については、すでに一部事業化されている、あるいは今後の事業化に向けた道筋がかなり明確に示されており、十分な実用化・事業化の見通しが得られている。

基礎研究については、シリコン系での新しい結晶成長技術の開発、CIS 系での注目すべき成果が得られており、知財を確立できれば、新しい技術展開の糸口がつかめる可能性があり、うまく企業の生産技術に移転できるかどうか、フィージビリティの検討が重要である。一方、「色素増感太陽電池」及び「有機薄膜太陽電池」については、技術開発の方向性を見定めることができたかどうかというレベルにあり、実用化・事業化について具体的に考える段階になく、手厚い予算配分は、見直すべきであろう。

コストダウンや事業化また経済効果等の見通しについては、全体的に状況の把握が不足している。今後、国際競争力がある実用化技術を育成させるために

は、社会環境や経済環境などの状況把握が不可欠である。また、研究機関間で有機的に連携して効率的な研究推進を図るとか、大学・国研での研究成果を知財化するあるいは企業開発研究につなげていく幅の広い研究連携も必要である。このような研究連携が、若手の研究者や技術者の育成にもつながり、この分野の今後の発展にも大きく寄与するであろう。

個別テーマに関する評価

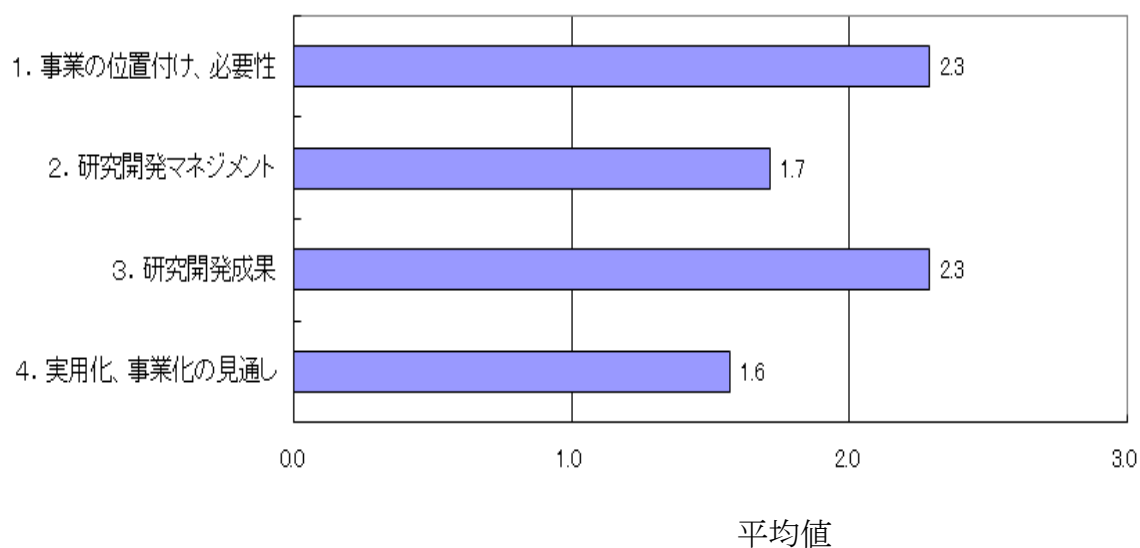
成果に関する評価、実用化の見通しに関する評価、今後に対する提言	
CIS 系薄膜 太陽電池	<p>高効率化については目標未達ながらも、大面積セルにおいて従来に比べて最高の変換効率が得られ、目標として掲げていた要素技術の開発や変換効率をほぼ達成している。さらなる低コスト化を念頭に置くと、基板をガラスから安価でロール・ツー・ロール成膜が可能なフレキシブル材料に変更することが必須と考えられるが、その意味で、成膜法の改良や Na 導入法等の新しい技術の適用により、10cm 角フレキシブル基板上で世界最高の 15.2% の変換効率達成は高く評価できる。</p> <p>ただし、高効率化の成果の多くはセル作製の条件の最適化によるところが大きく、今後の更なる高効率化の道筋が見えにくい。界面構造についての有用性の高い知見が得られているので、この成果を具体的にどのような形で高効率化につなげていくかの方策を今後検討する必要がある。</p> <p>目標設定について、高効率と軽量基板の目標が発電コストにどのような貢献をするのかが不明であり、合理性を説得できていない。また、主流のシリコン系に対して、In（インジウム）資源枯渇・高騰の懸念もある CIS 系を開発する位置づけについて具体性に欠け、研究開発の優先順位は、見直すべきであろう。</p> <p>研究発表リストを見ると、太陽電池関連で高インパクトファクターの雑誌は 5 件の発表、特許は 4 件程度に対して、CIS 系への研究開発資金は 4 年間で 13 億円以上であり、対費用での研究成果の評価は低い。</p>
薄膜シリコン 太陽電池	<p>プロジェクトにおける変換効率（安定化効率）に対する目標値は未達であるが、有効な手段である多接合化と光閉じ込めの両面から総合的に研究開発を進め、変換効率（安定化効率）を向上できることを示し、デバイス化技術、大面積薄膜の高速製膜技術、製膜装置のクリーン化技術等について基盤を築き、全体としては評価できる。企業を中心として推進され、実用化への道筋、今後の事業化に向けた見通しについて明確に示されている。50 件以上の多数の特許が出願されて知財化も着実に進められている。</p> <p>a-Si の材料面での現状を是認しつつ、低コストでの太陽電池の工業化を目指すアプローチとして、ナノ下地形</p>

	<p>成技術で中面積、大面積での効率向上を図ることを今後の実用化・量産化の課題としているが、コストの検討を含めて、具体的な方策を検討する必要がある。次の大きな発展につながる方向性が見えておらず、残念ながら、大きな飛躍を目指す取組に乏しい。更なる高効率化を目指す上で、新たなブレークスルー技術は何なのか明確にして欲しい。バルク系より低コストで製造できなければ意味がないことから、どの程度の厳密さで成膜条件を制御する必要があるのか、また、超薄型シリコン太陽電池に比べて、コスト競争力はどの程度見込めるのか検討するべきである。</p>
色素増感太陽電池	<p>色素増感太陽電池には、電解質溶液を用いるなど他の材料技術とは異なるセル化技術が求められており、セル特性、特に、長期安定性や信頼性の評価は重要であり、この問題に関して、初めて、本プロジェクトで実証的に評価が行われたことは意義がある。TiO₂ パッシベーション技術、及び新規開発色素の導入によって、世界の色素増感太陽電池の研究の中では高レベルな変換効率（小面積セルで10%以上）を達成しており、評価できる。</p> <p>ただし、本プロジェクトでは、変換効率向上および、長期信頼性評価の開発研究を展開しているが、新規色素の開発から新規パッシベーションまで、いずれも基礎的レベルであり、再現性や信頼性などの点を考えると、実用化レベルにまで高めるためには、解決すべき課題が山積している。各々の取り組みで優位性を主張するだけの際立った成果は得られておらず、本プロジェクトの成果から次の展開につながる方向性を見いだせていない。また、色素増感太陽電池の実用化が見えない段階で、10 研究機関にも委託を出す理由が不明であり、4 年間で 17 億円の研究資金が投下されているが、特許件数 10 件以下の研究機関が多い。費用対成果という点では、十分に成果が得られたとは言いがたい。</p> <p>色素増感太陽電池は、まだ、実際的な技術の展望を占う段階にあり、工業化を議論するレベルになく、基礎的課題を着実に解決していくことに注力すべきである。産学連携で推し進めるべき典型的なテーマであり、大学の基礎的な研究をさらに活発化させ、民間との連携を徐々に強めながら、実用化に押し上げる新しい研究プロジェクト、研究組織の再構築を考えるべきである。</p>

次世代超薄型シリコン太陽電池	<p>目標とした変換効率を達成しており、実用化を見据えた企業研究、次の結晶成長技術を実用の観点から目指した大学での研究がバランス良く進められている。レーザパターニングと湿式エッチングを応用し、量産適用を前提とした表面加工技術や、デンドライト利用キャスト法によるシリコン多結晶の育成技術など、古い枯れた分野と思われがちな Si において新しい着眼点で世界レベルの研究成果を達成しており、将来有望な太陽電池製造技術を開発した点は高く評価できる。技術的にすぐに実用化・事業化を進めるべき段階にあり、特許や論文・研究発表の件数も多く、高く評価できる。</p> <p>デンドライト結晶の成長メカニズムの解明など、学術的にも素晴らしい成果を上げており、将来的には単結晶シリコンを凌駕する性能・コストパフォーマンスを発揮する可能性が十分ある。得られた成果を太陽電池の高性能化に具体的にどのように活用していくか、また、この手法が低コスト化にどの程度貢献するかも、現在のシリコン結晶の市場動向なども見据えながら再検討する必要がある。</p> <p>資源の制約や信頼性を考えると、現実的には、シリコン太陽電池は極めて重要であり、産業化の支援を目的とする NEDO プロジェクトとしては、もっと大きな予算をつけるべきではなかったのかと考える。デンドライト多結晶シリコンを用いた超薄型太陽電池が早期に実用化されるように、今後、集中的な資金援助により、開発研究を加速すべきである。</p>
有機薄膜太陽電池	<p>有機薄膜太陽電池は、低コストで簡便なプロセスで製造できる太陽電池であるため、将来的には実用化に至る電池として、継続的に研究開発を進めなければならない、その意味で本テーマ遂行の意義は認められる。現時点で目標性能まで未達部分も多いが、個別の解決すべき課題は明確になりつつある。新規半導体の開発やタンデム化等の工夫を重ね、特性や耐久性に与える材料純度の影響や改善の可能性を実証的に明らかにするなど、研究開発は着実に進展している。新規材料の開発とともに、電荷分離効率を高められる超格子構造等新しいデバイス構造の開発を行ってきている。今後も新材料に対応した新デバイス構造の開発という観点で継続的な探索が必要である。</p> <p>「本プロジェクトで得られた成果が次の展開や研究開発の方向性を明らかにできたか」という点から見ると、その成果ははなはだ疑問である。分担された複数の研究グループの研究開発の成果が、総合された最終的な成果とし</p>

	<p>て活かされておらず、研究グループ内の各研究機関の有機的／実質的な連携が進められたのか事後評価分科会のヒアリングでは、不明であった。新規デバイス分野の多岐に亘る研究であるため、分担された複数の研究グループの研究開発の成果を総合された最終的な成果として活かすための、より強固な研究グループ内の各研究機関の有機的／実質的な連携を図る必要がある。また、現状の技術水準や材料技術、研究内容から考えて、他のテーマに要する研究開発費用と比べて経費がかかり過ぎである。</p> <p>有機薄膜太陽電池は、実用化の見通しの立っていない技術であり、NEDO プロジェクトのなかでの位置づけの明確化が望まれる。現段階での早期実用化を目指すよりも、オールジャパンの体制で、この電池の特徴を活かした応用法の探索も含めた基礎研究に特化したプロジェクトを推進すべきである。</p>
次世代技術の探索	<p>これまでにない高効率太陽電池を実現するための新技術を開発する意欲は認められ、新材料や新規デバイス構造を探索するこの種の基礎研究は今後も大いに進めるべきものとする。アモルファスシリコン／有機系のタンデムのようなアモルファスと有機の持ち味を生かした研究が展開され、各要素技術に対して、新しい展開と有益な成果が得られている。特に、省資源型 CIGS 太陽電池は、早期の実用化を図るべきである。</p> <p>次世代技術の探索課題として、Ⅲ-V 族集光型多接合太陽電池は、中間評価以降、革新太陽電池プロジェクトに移行し、世界最高効率が得られたことは評価できるが、目標に達していない個別課題がやや多い。</p> <p>「次世代技術の探索」という括りで様々な基礎研究的な課題が選定されているが、本プロジェクトで取り上げている太陽電池技術との関連において研究成果の意義が明白となるよう研究の実施内容が計画されるべきである。</p> <p>基本的には基礎研究段階の研究テーマであるが、特許等の知財に関する成果に乏しい。また、発表論文のうちインパクトファクターが 3 以上の国際的に高い評価を受けている学術誌に発表されている論文は 4 件だけであり、このテーマだけで総額 14 億円の資金が投入されている点を考えると、費用対効果は極めて低いと評価せざるを得ない。</p> <p>太陽電池の次世代技術には今回採択された分野以外にも候補が考えられ、今後、従来技術にない将来性、他の競合技術に対して抜本的改善が望める探索的課題抽出を期待する。</p>

評点結果〔プロジェクト全体〕



評価項目	平均値	素点 (注)							
		B	A	B	A	A	C	B	
1. 事業の位置付け・必要性について	2.3	B	A	B	A	A	C	B	
2. 研究開発マネジメントについて	1.7	B	B	B	B	A	D	C	
3. 研究開発成果について	2.3	B	B	A	A	A	C	B	
4. 実用化、事業化の見通しについて	1.6	C	B	B	B	A	D	C	

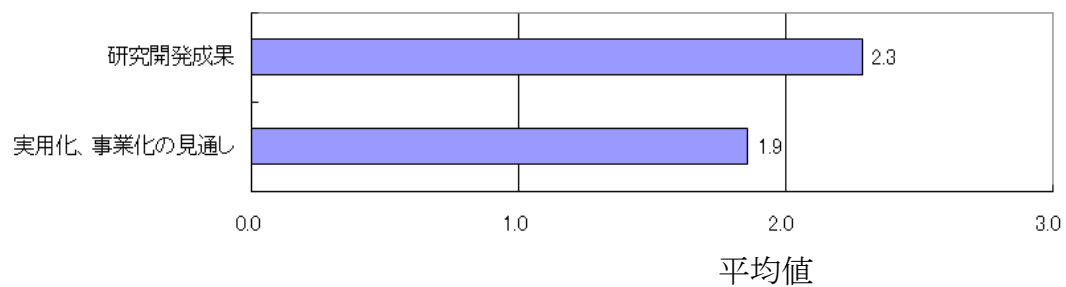
(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

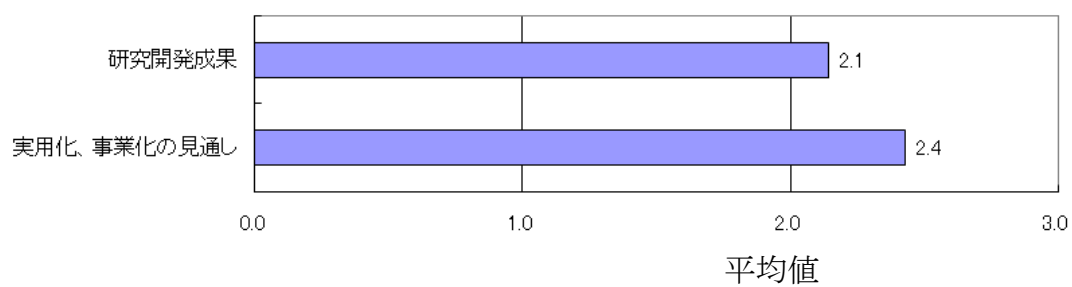
1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない、又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 実用化、事業化の見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当であるが、課題あり →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

評点結果〔個別テーマ〕

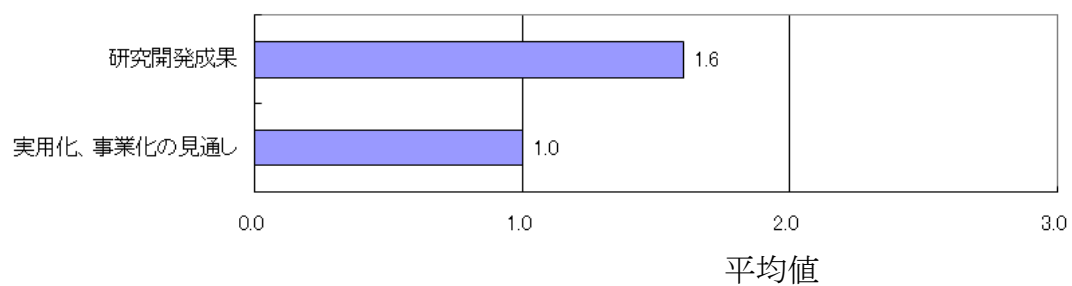
(1) CIS系薄膜太陽電池



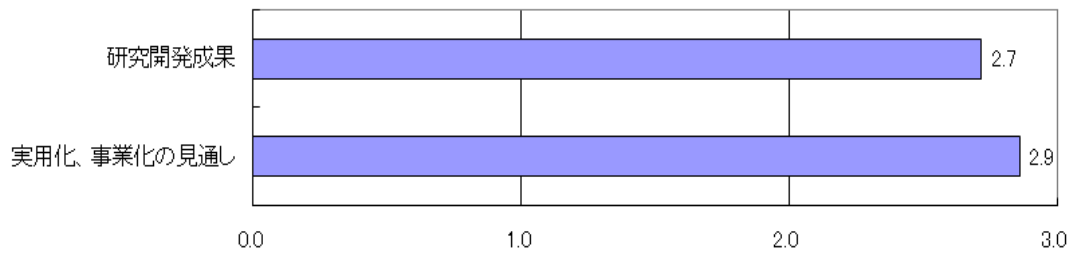
(2) 薄膜シリコン太陽電池



(3) 色素増感太陽電池

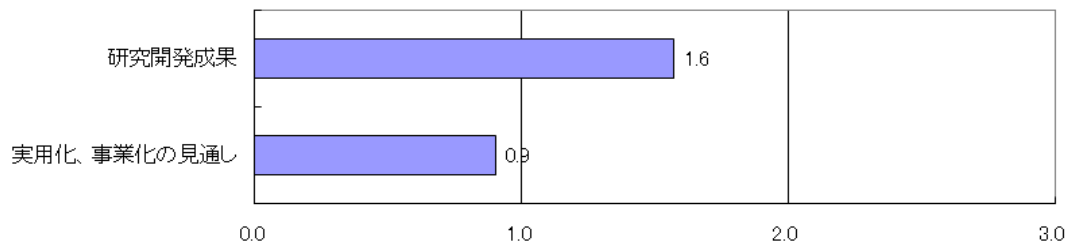


(4) 次世代超薄型シリコン太陽電池



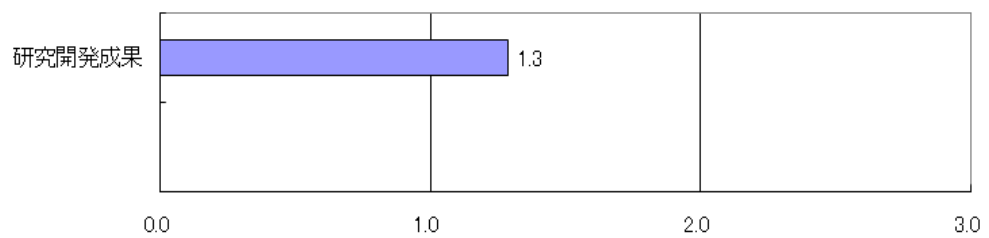
平均値

(5) 有機薄膜太陽電池



平均値

(6) 次世代技術の探索



平均値

個別テーマ名と評価項目	平均値	素点（注）							
（１） CIS 系薄膜太陽電池									
1. 研究開発成果について	2.3	B	B	A	A	A	C	B	
2. 実用化、事業化の見通しについて	1.9	B	B	B	B	A	D	B	
（２） 薄膜シリコン太陽電池									
1. 研究開発成果について	2.1	B	B	A	B	B	B	B	
2. 実用化、事業化の見通しについて	2.4	B	B	B	A	A	A	B	
（３） 色素増感太陽電池									
1. 研究開発成果について	1.6	C	C	B	B	B	C	B	
2. 実用化、事業化の見通しについて	1.0	D	C	C	B	B	D	C	
（４） 次世代超薄型シリコン太陽電池									
1. 研究開発成果について	2.7	A	A	A	A	A	B	B	
2. 実用化、事業化の見通しについて	2.9	A	A	A	A	A	A	B	
（５） 有機薄膜太陽電池									
1. 研究開発成果について	1.6	C	C	B	B	B	C	B	
2. 実用化、事業化の見通しについて	0.9	D	C	C	B	B	D	D	
（６） 次世代技術の探索									
1. 研究開発成果について	1.3	C	C	B	B	B	D	C	

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

〈判定基準〉

1. 研究開発成果について

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

2. 実用化、事業化の見通しについて

- ・ 明確 →A
- ・ 妥当 →B
- ・ 概ね妥当であるが、課題あり →C
- ・ 見通しが不明 →D