

平成22年度経済産業省委託調査

平成22年度産業技術調査事業
（太陽光発電研究開発の
追跡評価のための調査）

報告書

平成23年3月

株式会社三菱総合研究所

はじめに

我が国の公的資金による太陽光発電研究開発は、石油代替エネルギーを開発するため「サンシャイン計画」が始まったことに端を発する。サンシャイン計画は、1973年に起こった第一次石油危機を背景とし、それまで石油エネルギー一辺倒であった我が国のエネルギー政策の大転換を図る長期計画であった。その後この計画は、1993年からの「ニューサンシャイン計画」に受け継がれ、太陽光発電が一定の普及を果たした2000年以降は、次世代の太陽光発電システムを開発するための研究開発に注力されるようになってきている。

太陽光発電の研究開発は36年という長期にわたる研究開発の流れがあり、導入量、生産量ともに1990年代前半から2000年代初頭にかけては、我が国が世界の圧倒的なトップを走るという、他の研究開発に類を見ない成果も挙げている。

よって、我が国の公的研究開発の成功事例として、政策の背景や変遷、周辺環境の変化、技術研究がもたらした成果や効果について、体系的な総括を行い、評価を行うことは、国民に対する説明責任を果たすためにも、また今後の太陽光や新エネルギー研究開発の展開、さらに公的研究開発の立案、推進においても非常に重要であると考えられる。

以上の認識のもと、本調査では、1973年度から実施され、これまでに終了している太陽光発電に関する研究開発について、追跡評価を行うための基礎資料として、インパクト報告書を作成した。また、そのインパクト報告書を用いて、追跡評価を実施し、産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会において審議を行うための「追跡評価報告書(案)」を作成した。

平成22年3月

株式会社三菱総合研究所

目 次

はじめに

太陽光発電研究開発追跡評価報告書（案）

産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会委員名簿

太陽光発電研究開発追跡評価 WG 委員名簿委員名簿

太陽光発電研究開発追跡評価審議経過

評価結果の概要.....	i
第 1 章 評価の実施方法.....	1
1. 追跡評価の目的.....	1
2. 評価者.....	1
3. 評価対象.....	1
4. 評価方法.....	2
5. 評価項目・評価基準.....	2
第 2 章 研究開発プロジェクトの概要.....	8
第 3 章 評価.....	53
(施策評価関係).....	53
1. 施策（太陽光発電研究開発）の目的・政策的位置付けの妥当性.....	53
(1) 施策（太陽光発電研究開発）の目的の妥当性.....	53
(2) 施策（太陽光発電研究開発）の政策的位置付けの妥当性.....	54
(3) 国の施策で行われるべき研究開発としての妥当性はあったか。国の関与 が必要とされる研究開発施策であったか。.....	56
2. 施策（太陽光発電研究開発）の構造及び目的実現見通しの妥当性.....	57
(1) 現時点までにおいて得られた成果は妥当か。.....	57
(2) 施策（太陽光発電研究開発）の目的を実現するために研究開発プロジェ クトを含む技術に関する事業が適切に配置されてきたか。それぞれの事 業間での連携は適切に取られてきたか。.....	59
(3) 個々の研究開発プロジェクト終了後のフォローアップの状況.....	61
3. 総合評価.....	63
(事業評価関係).....	67
I. 波及効果に関する評価.....	67
I-1 技術波及効果.....	67
(1) 実用化への進展度合.....	67
(2) 一連のプロジェクト群成果からの技術的な広がり具合.....	68
(3) 国際競争力への影響.....	69

I-2	研究開発力向上効果.....	71
(1)	知的ストックの蓄積度合.....	71
(2)	研究開発組織の改善・技術戦略への影響.....	73
(3)	人材への影響.....	75
I-3	経済効果.....	77
(1)	市場創出への寄与.....	77
(2)	経済的インパクト.....	79
(3)	産業構造転換・活性化の促進.....	80
I-4	国民生活・社会レベルの向上効果.....	82
(1)	エネルギー問題への影響.....	82
(2)	環境問題への影響.....	83
II.	現在の視点からの一連のプロジェクト群の評価.....	84

参考資料

1. 「太陽光発電研究開発の技術・産業・社会へのインパクトに関する追跡調査」報告書
2. 「太陽光発電研究開発の技術・産業・社会へのインパクトに関する追跡調査」報告書の概要

太陽光発電研究開発
追跡評価報告書（案）

平成23年4月

産業構造審議会産業技術分科会

評価小委員会

はじめに

研究開発の評価は、研究開発活動の効率化・活性化、優れた成果の獲得や社会・経済への還元等を図るとともに、国民に対して説明責任を果たすために、極めて重要な活動であり、このため、経済産業省では、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成20年10月31日、内閣総理大臣決定）等に沿った適切な評価を実施すべく「経済産業省技術評価指針」（平成21年3月31日改正）を定め、これに基づいて研究開発の評価を実施している。

太陽光発電に関する研究開発は、1974年のサンシャイン計画から国のプロジェクトとして開始され、現在にまで、太陽電池の種類、システム化技術、系統連系技術など、広範な技術開発が行われている。

今回の太陽光発電研究開発追跡評価は、サンシャイン計画以降に、経済産業省で実施した太陽電池関係の主要研究開発プロジェクト（今回対象は9プロジェクト）を対象とした、太陽光発電分野の追跡評価であり、対象とした一連の研究開発プロジェクトが産業や社会に与えたインパクトについて明らかにするとともに、太陽光発電分野の施策の在り方の妥当性を評価することによって、今後実施される研究開発プロジェクトや研究開発施策の戦略性を持った企画、運営方法、フォローアップ体制等の改善に資することを目的として行ったものである。

評価は、評価小委員会の下に当該分野の専門家や有識者から成る「太陽光発電研究開発追跡評価WG」（座長：菊池 純一 青山学院大学教授。以下、「追跡評価WG」という。）を設置し、審議する体制で行った。

追跡評価WGでは、太陽光発電研究開発の参加者や当該技術分野の動向に詳しい専門家へのインタビュー調査、更に文献調査等で得られた最新の情報も参考にして審議を行い評価報告書案を作成した。

本書は、これらの評価結果を取りまとめたものである。

平成23年4月

産業構造審議会 産業技術分科会 評価小委員会

産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会
委員名簿

委員長	平澤 冷	東京大学 名誉教授
委員	池村 淑道	長浜バイオ大学バイオサイエンス学部 教授
委員	大島 まり	東京大学大学院情報学環 教授 東京大学生産技術研究所 教授
委員	太田 健一郎	横浜国立大学大学院工学研究院教授
委員	菊池 純一	青山学院大学法学部長・大学院法学研究科長
委員	小林 直人	早稲田大学研究戦略センター教授
委員	鈴木 潤	政策研究大学院大学 教授
委員	辻 智子	日本水産株式会社 生活機能科学研究所長
委員	富田 房男	北海道大学名誉教授
委員	中小路 久美代	株式会社SRA先端技術研究所 リサーチディレクター
委員	森 俊介	東京理科大学理工学部経営工学科教授
委員	吉本 陽子	三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社 経済・社会政策部 主任研究員

(敬称略、五十音順)

事務局：経済産業省 産業技術環境局 技術評価室

産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会
太陽光発電研究開発追跡評価 WG 委員名簿委員名簿

座 長 菊池 純一 青山学院大学 法学部・大学院法学研究科 教授
法学部長・法学研究科長

委 員 荒井 和雄 産業技術総合研究所 イノベーション推進本部
イノベーション推進企画部 招聘研究員

委 員 浦島 邦子 文部科学省 科学技術政策研究所 上席研究官
国立大学法人名古屋大学 客員教授

委 員 神本 正行 国立大学法人弘前大学 教授
北日本新エネルギー研究所長

委 員 町田 智弘 シヤープ株式会社 ソーラーシステム開発本部
次世代要素技術開発センター 所長

(敬称略、五十音順)

太陽光発電研究開発追跡評価 審議経過

- 第1回太陽光発電研究開発追跡評価WG（平成23年2月9日）
 - ・ 追跡評価WGの公開について
 - ・ 追跡評価の実施について
 - ・ 評価対象研究開発プロジェクトについて
 - ・ 評価項目の設定について
 - ・ 追跡調査結果の報告について
 - ・ 追跡評価の検討について
 - ・ 評価コメント票の検討について
 - ・ 評価報告書の構成について
 - ・ 今後の予定について
 - ・ 質疑応答
- 第2回太陽光発電研究開発追跡評価WG（平成23年3月4日）
 - ・ 追跡評価報告書（案）について
 - ・ 質疑応答
- 産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会（平成23年4月27日）
 - ・ 追跡評価報告書（案）について
 - ・ 質疑応答

目 次

はじめに

産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会委員名簿

太陽光発電研究開発追跡評価 WG 委員名簿委員名簿

太陽光発電研究開発追跡評価審議経過

評価結果の概要

第1章	評価の実施方法	1
1.	追跡評価の目的	1
2.	評価者	1
3.	評価対象	1
4.	評価方法	2
5.	評価項目・評価基準	2
第2章	研究開発プロジェクトの概要	8
第3章	評価	53
	(施策評価関係)	53
1.	施策(太陽光発電研究開発)の目的・政策的位置付けの妥当性	53
(1)	施策(太陽光発電研究開発)の目的の妥当性	53
(2)	施策(太陽光発電研究開発)の政策的位置付けの妥当性	54
(3)	国の施策で行われるべき研究開発としての妥当性はあったか。国の関与が必要とされる研究開発施策であったか。	56
2.	施策(太陽光発電研究開発)の構造及び目的実現見通しの妥当性	57
(1)	現時点までにおいて得られた成果は妥当か。	57
(2)	施策(太陽光発電研究開発)の目的を実現するために研究開発プロジェクトを含む技術に関する事業が適切に配置されてきたか。それぞれの事業間での連携は適切に取られてきたか。	59
(3)	個々の研究開発プロジェクト終了後のフォローアップの状況	61
3.	総合評価	63
	(事業評価関係)	67
I.	波及効果に関する評価	67
I-1	技術波及効果	67
(1)	実用化への進展度合	67
(2)	一連のプロジェクト群成果からの技術的な広がり具合	68
(3)	国際競争力への影響	69

I-2	研究開発力向上効果.....	71
(1)	知的ストックの蓄積度合.....	71
(2)	研究開発組織の改善・技術戦略への影響.....	73
(3)	人材への影響.....	75
I-3	経済効果.....	77
(1)	市場創出への寄与.....	77
(2)	経済的インパクト.....	79
(3)	産業構造転換・活性化の促進.....	80
I-4	国民生活・社会レベルの向上効果.....	82
(1)	エネルギー問題への影響.....	82
(2)	環境問題への影響.....	83
II.	現在の視点からの一連のプロジェクト群の評価.....	84

参考資料

1. 「太陽光発電研究開発の技術・産業・社会へのインパクトに関する追跡調査」報告書
2. 「太陽光発電研究開発の技術・産業・社会へのインパクトに関する追跡調査」報告書の概要

評価結果の概要

(施策評価関係)

1. 施策（太陽光発電研究開発）の目的・政策的位置付けの妥当性

(1) 施策（太陽光発電研究開発）の目的の妥当性

第1次石油危機前の時期に、1974年～2000年までという長期的な視点で目標設定を行った点は高く評価できる。エネルギー問題の解決、環境問題の解決に対して、経済性を踏まえた先駆的かつ包括的な目標設定は妥当であった。プロジェクトの移行時における課題の取捨選択、具体的な目標の設定は適切に行われたと考えられ、系統連系のためのシステム研究に早期に取り組むなど、ニーズを見据えた取り組みを進めてきたと捉えることができる。また、プロジェクトに参画した企業、研究機関は現在も世界の太陽光発電産業、太陽光発電研究の先端で活躍しており、当時の選定が妥当であったことを示している。

しかし、1970年代から持続して研究成果が積み上げられたことにより、2000年時点では既に、技術の全体概要が見えていたと考えられるにもかかわらず、技術ロードマップに基づく政策展開は2004年からであった。応用開発の推進さらには産業振興の要請から判断しても、技術ロードマップに基づく更なる施策の展開が遅れたのではないかと考えられる。

なお、技術開発が進むにつれ、さらなる性能向上と低コスト化のバリアは高くなっている。このため挑戦的課題の重要性が増し、課題ごとの目標設定を一律に行うことは難しくなっている。この傾向は強まると思うので、今後、より適切な研究開発マネジメントが求められるという意見もあった。

(2) 施策（太陽光発電研究開発）の政策的位置付けの妥当性

地熱や石炭ガス化、水素エネルギーなどとともに、サンシャイン計画の一つのテーマとして実施された、太陽光発電研究開発は、代替エネルギー開発と環境問題への対応という2つの政策的意義があり、地球温暖化がクローズアップされた近年はいつそう政策的位置づけは高まったと言える。

太陽光発電は、当初に設定された直接的技術開発の目標から出発し、日本の産業活性化の「主力」にまで成長した。超長期の研究開発であったが、フェーズごとに各プロジェクトの位置付けや目標設定は見直されており、時代の進行とともに弾力的な政策展開がなされたと評価できる。当初から、現在のエネルギー政策につながる先駆的研究開発が設定されており、「エネルギー導入大綱」の大きな基盤となる研究開発として位置づけられる。世界を先導する我が国の太陽光発電に関する研究開発、一連の施策は海外からも高い評価を得ている。

なお、様々な再生可能エネルギーの中でわが国が太陽光発電に力を入れてきたのは、技術による性能や経済性の改善余地が大きく、わが国の強い半導体分野の技術であることか

ら適切であったとの意見もあった。

(3) 国の施策で行われるべき研究開発としての妥当性はあったか。国の関与が必要とされる研究開発施策であったか。

1970年初頭に掲げられた「将来予想されるエネルギー危機回避に資する技術開発」という目標に対して、「太陽エネルギー」の研究開発を選択したことは極めて妥当であり、その後の地球環境保全という時代の要請に対しても即応が可能な選択であったといえる。

太陽電池のコストは開発の初期段階では特に高価であり、目標とするコスト水準との乖離が極めて大きく、超長期の研究開発が必要であった。そのような超長期の研究開発を私企業単独で継続することは、市況などの外的要因などの影響もあり、難しかったと考えられ、国が先導するプロジェクトで実施したことは有意義であった。また、材料、モジュール、システム、導入にわたる協調的研究開発や、系統連系等のインフラ事業にかかわる研究開発は、国が率先して実施しなければならなかったと考えられる。

短期的課題と長期的課題（基礎研究）がバランスよくプログラムの中に組み込まれていたと思うが、今後は特に基礎研究に関して文部科学省等との省庁間連携を推進することが求められる。

2. 施策（太陽光発電研究開発）の構造及び目的実現見通しの妥当性

（1）現時点までにおいて得られた成果は妥当か。

公的な研究開発により、企業の事業化への意欲が鼓舞され、産業化が進められたと判断できる。太陽電池セルの製造技術や高効率化など、プロジェクトで実施した成果は企業において、現在でも基本的な技術として活用されている。また、太陽光発電システムの研究開発や実証実験の成果は、変動する電源の系統への連系を可能とした。さらに、太陽光発電システム導入補助金制度、余剰電力の買取制度は普及に大きな役割を果たしたと評価できる。

アモルファス太陽電池など、目標が高すぎたり、実用化の設定が時期尚早のものがあつたことは否めないが、そのプロジェクトで生まれた技術的な成果を適切に評価し、TFT 液晶技術などの他分野に応用し、実用化に結び付けた点は高く評価できる。

ただし、2000年以降の発電コストの低減動向をみる限り、技術革新による発電コストの低減効果は顕在化していない。実際にコストを低減するためには何が必要かを十分に検討した上で、規模の経済が実現するような研究開発目標の設定が必要であつたと考えられる。

なお、実用化に至っていないプロジェクトについては、その理由を明らかにするとともに、技術的にどのような効果(例えば特許的活用)があつたかを明確にしておくことが必要との意見もあつた。

（2）施策（太陽光発電研究開発）の目的を実現するために研究開発プロジェクトを含む技術に関する事業が適切に配置されてきたか。それぞれの事業間での連携は適切に取られてきたか。

製品開発に直結する以前の基礎的な研究開発から段階的に、課題の絞り込みがなされてきた点は妥当であつた。企業を中心に、製造ラインの構築及び事業用システムの実用化に向けた研究開発が早い段階から展開されたことは事業化に結び付けるためには、適切な判断であつたと評価できる。ただし、サンシャイン計画内で実施された「500kw/年太陽光発電製造ライン」構築と実証の試みはプロジェクト運営の一つの方向として適切と考えられるものの、公的機関に集約して、試作ラインとして存続・活用させる方式を取つた方が、その後の開発に役立ったのではないかと考えられる。

事業間の連携に関しての評価は難しいが、実務者は複数のプロジェクトを同時並行で携わっており、また、産総研（電総研）等の公的研究機関との交流も活発に行っているため、技術的交流は適切かつ有効に行われていたと判断される。

今後は、分散型の住宅用システムによる市場推進力に期待しつつ、10GW 等の大規模システムにより発電市場を牽引する施策が必要不可欠である。さらに、国内基準にとどまらず国外の環境に適合したユニバーサルなシステム開発を展開することは業界の多様な連携関係を強めることになる。

(3) 個々の研究開発プロジェクト終了後のフォローアップの状況

フィールド事業や様々な導入・普及策によりフォローアップはほぼ適切に行われており、プロジェクト間の引き継ぎも適切であったと考えられる。研究開発から事業化フェーズへの移行に際しても、プロジェクトの主体者間での情報交換が密に行なわれることにより、研究開発成果の移転やそのフォローは適切に行われていた。

しかし、現在の太陽電池市場のほとんどが結晶系シリコンであり、その大量生産技術のコストダウン競争で、海外企業の後塵を拝しているという実情を鑑みるに、結晶系シリコン技術課題の分析が十分に行われたかどうかを検討する必要がある。NEDO5カ年計画以降は、新型太陽電池など、研究開発課題が基礎研究よりとなっている点は、国が支援するプロジェクトという性質上、理解できる方向性であるが、国の産業競争力の強化と言う点で、実用化・製品化に近く、産業競争力に直結する段階の研究開発に対する、国の関与の在り方については、検討する必要がある。

2005年ごろからの国際競争力低下に関連しては、2003年以降の市場活性化施策の展開に問題があったと考えられる。2002年までは研究開発に係るプロジェクト・ポートフォリオが適正になされ、プロジェクトのフォローアップも良好であったといえるが、市場活性化に係る施策が2002年をピークに2003年から急速に減退するにつれ、日本国内の太陽光発電の導入量は頭打ちとなり、日本企業の国際的な生産シェアも低下することとなった。

2009年以降は、導入に対する補助金が復活し、エネルギー政策やグリーンイノベーションの施策により、太陽光発電についての注目は再び高まっている。政策のプラスの影響を受けて、現在も技術の進歩や導入拡大が進んでいると考えられる。

今後も様々な状況変化に柔軟に対応し、早め早めに適切な政策を講じる必要がある。

3. 総合評価

本プロジェクトは大きな成果が生み出され、活用された長期プロジェクトとして大いに評価できる。施策の目的・政策的位置づけ、施策の構造及び目的実現見通しのいずれをとっても、国の実施すべき施策として極めて妥当であった。しかし、今後さらなる成果を生み出すため、各委員より以下の様な改善の方向が提示された。

【プロジェクトの運営について】

- ◆ 多くの公的研究開発プロジェクトにおいては、プロジェクトリーダー（PL）が全体をコーディネートしているようではあるが、メンバーである研究者同士が逐次密に連絡を取り合っていないようである。メンバー各自の研究結果を活かし、研究開発のスピードを上げるためには、例えば、実験とモデル、それぞれ別の研究者が逐次情報交換し、検討しながら進めていくのが効率的であり、そうしたことをコーディネートする役割が PL に求められる。プロジェクトにおいて、現在の縦のつながりは当然であるが、横のつながりを強化すべきである。

【施策の在り方について】

- ◆ 研究開発のプロジェクトは、単に「研究開発」への直接的施策にとどまらず、「実証・フィールドテスト」、「市場活性化」までも含む一連の政策パッケージとして組み立てられるべきである。市場活性化の施策の軸足が「産業育成」にあるとすれば、持続性のある自立的な発展の姿が見えるまでその施策を続けるべきである。そのような頼もしい市場活性化の施策と創造力を発揮する研究開発の施策がシンクロナイズすることが必要である。
- ◆ 日本版バイドール条項¹導入以降、国家プロジェクトによって創成された特許発明の取り扱いが、民間企業の短期的な経営判断にゆだねられている。それゆえ、国家プロジェクトから創成された特定の特許権が短期的な経営判断によって放棄される（公知技術化される）、あるいは、特許マップ上の系統的な特許群が他社に売却されるという事態が生じている。それによって、市場競争の関係が大きく変容することも生じている。国としての知財パッケージを最適に保つ政策を再検討することが必要である。
- ◆ ニューサンシャイン以降の NEDO プロジェクトにおいて、課題を細分化したためにニューサンシャインのような有機的つながりが充分でなかったという指摘があったが、制度上の問題なのか、運用上の問題なのか、研究フェーズ的な問題なのか、などを整

¹ 産業活力再生特別措置法第 30 条の通称。同条項の導入(1999 年)によって、それまでは国の帰属となっていた、政府資金を供与して行う委託研究開発に係る知的財産権について、一定の条件を受託者が約する場合に、100%受託企業に帰属させることを可能とする制度。バイドール法は、米国で 1980 年に制定された法律で、連邦資金を使って得られた発明を大学等の研究者が特許権を取得することを認めたもの。

理して今後のプロジェクトに生かすことが必要。

- ◆ 今後実施する研究開発プロジェクトのあり方として、研究開発と並行して適切な導入・普及策を実施すること、ニーズ志向で目標設定を行うこと、海外の市場を視野に入れた研究開発テーマを設定することが求められる。

【研究開発評価のインフラについて】

- ◆ プロジェクトの推進には、市場、コスト、効率、技術開発課題などについて、常に俯瞰的議論を共有することが重要であり、評価に用いた各種データや技術情報、企業や評価者の声のデータベース化が必要である。例えば、太陽光発電産業における各レイヤー（応用産業、モジュール、材料など）に関して、技術動向やレイヤー間の技術相関をたどれるデータベースを構築することが有効である。これらのデータベースが構築されることにより、プロジェクトのブラッシュアップや次の技術開発に資する評価ポイントの明確化ができるように役立てたい。例えば、プロジェクト当初に想定していなかった課題などについても、適宜、プレイヤーを後から加えるなど柔軟・迅速な対応が可能になるようにしたい。

(事業評価関係)

I. 波及効果に関する評価

I-1 技術波及効果

(1) 実用化への進展度合

太陽光発電については、世界でもトップレベルの効率をもつ太陽電池を生み出し、2005年以前はわが国が太陽電池導入量の世界トップであったことから、プロジェクトの成果が実用化に大きく貢献したと言え、販売普及できた実績は評価に値する。現在までの日本企業の太陽光発電に関する技術や商品、更には電力系統との連系技術やその指針など、サンシャイン計画から連綿と続いているプロジェクトの成果の賜物とも言える。

技術的には、太陽電池セルからシステムまで、一気通貫で研究開発を行った点や、技術の発展系譜が確立し、シリコン系（結晶シリコン型、薄膜シリコン型）、化合物半導体系、有機系（有機半導体系、色素増感型）にまで波及し、さらに、システム技術及び評価技術の発展があった点は評価できる。国籍別特許出願数はわが国が圧倒的多数を占め、いくつかの基本・重要特許も出願されている。

しかし、住宅用の用途が大半を占めており、技術的発展に偏りが生じている点や、海外の低コストメーカーへの台頭に対し、特許の実施料収入を生み出すように工夫すべきであった点などは課題として挙げられる。

(2) 一連のプロジェクト群成果からの技術的な広がり具合

アモルファス太陽電池で開発された薄膜作製技術など、太陽電池を含む半導体技術は、現在の TFT 液晶や LED の技術や商品へ寄与していると考えられる。太陽電池という変動電源の系統連系に関わる技術は、風力等の他の変動電源の導入、さらにはスマートグリッド技術などに寄与している。一連のプロジェクトは産学官連携のプロトタイプとなり、太陽光発電に関する川上から川下までの産業に研究主体群を形成したといえる。また、太陽光に関する会議への参加者は年々増加しており、派生技術の広がりをも意味すると判断される。

(3) 国際競争力への影響

太陽電池の 1980 年代から 2007 年までの生産量世界一は、公的な施策によるところが大きかったと言える。研究開発プロジェクトにより、太陽電池や太陽光発電の技術レベルは世界最先端となり、導入助成金は量産効果によるコスト削減と価格低下によるさらなる市場拡大をもたらした。特に補助金の重要性に関しては海外での評価が高い。

太陽電池セル・モジュールの国内外の出荷比率 (JPEA) によれば、2010 年で国内：輸出は 4:6 であり、輸出産業としても利益をもたらしていると考えられる。パワーコンディショナー関連の国際規格等、わが国がリーダーシップをとれるようになったものがある。しかし、外国企業との技術提携は活性化しておらず、日本の生産量シェアは、2005 年以降

下降している。その原因の一つとしては、関係業界団体を介して国際標準へのアプローチが粘り強く続けられてきものの、主導権を握るほどの組織力は発揮できなかったことが挙げられる。国内で創成された先端技術をグローバルな基準に基づいて評価するための体制作りが必要であったと考えられる。また、新たな太陽電池の性能・安全性、太陽電池モジュールの出力、長期信頼性等の評価手法の確立は国際競争力確保のために必須であり、国際標準の協議においてさらにリーダーシップを取れるようにする必要がある。

太陽電池セル・モジュールのビジネスは、「ターンキービジネス」により、価格的な主導権が日本から中国や台湾等へ移行しつつある。DRAM など、他産業と同じ轍を踏まないためにも、技術力をより昇華させ、国による一層のリーダーシップと関係者への配慮と連携へのバックアップが期待される。国内においては、導入補助金の復活、電力の買取制度による需要増加が期待される。結晶シリコン太陽電池のような成熟した技術とされているものでも生産技術を精査して、コスト競争力の源泉となる必要な技術を育てていく必要がある。

I-2 研究開発力向上効果

(1) 知的ストックの蓄積度合

太陽電池関連企業の 2000～2006 年の日米欧中韓への特許出願において日本国籍が圧倒的であり、企業の多くは公的資金を得て研究開発を進めている。その意味で、プロジェクトにより、十分な知的ストックを持つことができたといえる。また、基礎物理的な見地のみならず、製造技術に関してもノウハウが得られたと考えられる。これらの知的ストックに加え、共同研究等による知的ストックの共有、特に基礎的な知見の共有は、各社が技術を実用化する上で効果的だったのではないかと推察される。

一方、プロジェクトへの非参加企業の特許出願は出願件数の上位企業には入っていない。日本版バイドール制度により、研究開発力のスピルオーバー効果が減速したのではないかと推察される。また、太陽光発電関連技術に限ったことではないが、海外の特許出願数は年々減少しており、今後も増加は望めないであろう点は課題である。さらに、日本の持つ大量の特許が、海外の低コスト攻勢にどのような役割を持ったのか、持たなかったのかについては今後の検証が必要である。

太陽光発電に関する研究開発は現在も進行中であり、知的ストックも蓄えられ続けている。太陽光発電システムは、国産エネルギー、スタンドアローン・小規模～大規模までカバーできるユニット発電機器等、多くの特長を有しているため、今後のアプリケーションの発展が大いに期待できる。

(2) 研究開発組織の改善・技術戦略への影響

太陽電池・太陽光発電の事業化の経緯から見ても、国内の企業間の連携や業界団体については有効に機能していると考えている。

研究開発体制、知的財産戦略など公的研究開発で実施してきたことは、企業にとって概ねプラスに働いていると考えられる。

一連のプロジェクト群を通じ、専門家間の人的ネットワークが形成され、国内外の様々な学会・会議の形成につながった。国際会議などを通じて研究成果を発表し、関係者間で情報交換を積極的に行ってきたことが世界トップレベルの技術力、産業競争力につながった。また、公的資金の継続的な投下によって、官民の研究開発部門の近代化が進んだとも評価できる。さらに、産学間連携組織の構築も有効に機能した。

なお、太陽光発電に関係する学術団体（学会）や業界団体は、経済的な基盤が強いとは言えず、今後、太陽光発電を日本の代表的産業として継続する際には、何らかの挺入れ（バックアップ）が必要であるとの意見もあった。

（3）人材への影響

2005年までは世界でもトップの生産量シェア、技術レベルを保持しており、太陽電池、太陽光発電の業界内では、第一人者と言われる人材を多数輩出していると言える。特に、アモルファス太陽電池分野では、国際的にリードする研究機関が官学に育った。

産総研に太陽光発電研究センターが設置されるなど、国内のいくつかの研究機関・大学で拠点が形成された。これらの拠点では多くの博士号取得とポスドク育成が行われた。

しかし、(財)光産業技術振興協会調査によれば、太陽光発電産業を含む光産業の研究開発従事者数は、近年の10年間で約2倍に増えているが、業界内部での再編成も進行し、かつ、研究者の高齢化の問題も抱えている。国内外から高く評価される研究開発の成果を持続的に創成できる組織的な対応が必要になると考える。また、人材育成は上記のように進んだが、システム系の人材は依然として少ない。特に、スマートグリッド向けにもシステム系の人材が必要である。

I-3 経済効果

（1）市場創出への寄与

太陽電池の性能とコストが実用化レベルに達していない時期に国家プロジェクトが企業の研究継続と人材育成を支え、それが新しい市場の創造と拡大に寄与した。

産官学の連携により、住宅用太陽光発電市場を日本が独自に創出した点、太陽電池セル・モジュールの約6割は輸出されている点、それにより、生産額の対GDP比率も大きく増加している点などは大きな経済効果であり、高く評価される。

しかし、2000年代後半からドイツ、中国、米国の新興メーカーに追い越されたことは、単純に企業だけの責任ではないと考えられる。産業としてテイクオフの時期（1000億円規模）を2001年前後であるとすれば、それに先立つ研究開発投資は25年にわたって行われたことになる。特許制度は20年の特許権を認めているので、プロジェクトの成果であった特許発明については、そのテイクオフの時期には、公知技術化が進行していたものと考え

られる。市場活性化への公的資金の投入も 1994 年ごろから開始されているが、特許発明をより一層早期に実施するための政策的判断が必要であったと考える。

なお、企業トップの決断が大きかったと思うが、国家プロジェクトが大きな支えとなったことも事実。再生可能エネルギーの分野はぶれない政策が求められるとの意見もあった。

(2) 経済的インパクト

国内生産規模も 1 兆円を超え、累計 5.5 兆円、2009 年には 2.7 万人の雇用を生み出す規模になり、2009 年で生産の約 6 割を輸出する産業に成長している。JPEA が 2010 年 11 月に発表した将来ビジョン (JPEA PV OUTLOOK) では、日本ブランドの太陽光発電出荷量は 2030 年に 10 兆円と予想しており、経済的インパクトは大きいといえる。市場開拓へ多くの人材が投入され、非常に裾野の広い産業を形成した。

しかし、近年の国際競争の中で各社のシェア争いは激化している現状を鑑みると、グローバルな視点に基づいて経済的インパクトを評価し、政策に反映させることが必要であると考える。

なお、経済的インパクトは研究開発による性能向上やコスト低減だけでは決まらない。規制緩和、余剰電力買取、補助金等の政策も並行して実施する必要があるとの意見もあった。

(3) 産業構造転換・活性化の促進

プロジェクトによる太陽電池の性能の向上と民間企業の産業化、逆潮流ありの系統連系と余剰電力の買取制度、導入補助金など一連の施策により、裾野の広い産業群を形成できた。新規参入企業の成長を見ても、活性化の牽引力は大きいと評価できる。

太陽電池そのものだけでなく、PV ハウス、ゼロエネルギーハウスといった住宅産業の新たな展開に結び付き、販売も含めると市場と雇用は大いに創出されたと考えられる。建材一体化太陽電池モジュール等、ニーズを踏まえたプロジェクト運営がこれらに貢献した。需要拡大に伴い、多くの新規企業の参加も見られる

太陽光発電に関する需要は今後も拡大すると見られており、それに伴い雇用も拡大していくと考えられる (JPEA の将来ビジョン (2010 年版) では、2030 年時点での太陽光発電産業による直接的雇用 40 万人になる見込み)。

ただし、補助金が打ち切られたことにより、国内市場は減少してしまったため、今後は補助金がない状態でも、市場が広がるような施策が必要である。

なお、太陽電池等、再生可能エネルギーの電力系統への連系は、日本版スマートグリッドのコア技術で、今後の展開が期待されるとの意見があった。

I-4 国民生活・社会レベルの向上効果

(1) エネルギー問題への影響

太陽光発電システムは導入量や稼働率により、エネルギー供給量の面では現状では少ないが、国際エネルギー機関（IEA）のロードマップによれば、2050年には電力の10%以上が太陽光発電由来の電力になると予想されている。現時点においても、エネルギー資源の分散化をある程度実現しており、国としてのリスク分散に貢献したと考えられる。

なお、導入拡大を図るうえで規格化や設置場所の多様なニーズに合わせたデザイン、デバイス特性、システムの最適化等が求められるとの意見もあった。

また、自然エネルギーを利用した発電方法として、太陽光・風力は小学生や一般市民にも理解しやすい。このような装置・施設が全国に普及したことによって、教育効果が向上したことは、間接的に問題解決につながるとの意見もあった。

(2) 環境問題への影響

太陽光発電システムは、製造時も含め、主要な既存電源と比較して、CO₂排出は極めて低い。導入が促進されれば、システム運用における技術的習熟効果も累積すると考えられるので、その環境問題への貢献はさらに増幅すると考えられる。

自然の力を積極的に利用してエネルギーを起こすということを、小学生や一般市民にも容易に理解されるようになった点や、太陽光発電システムのエネルギーペイバックタイムや創エネルギー総量、発電システムの排出量など環境問題への寄与の定量的評価が国民に浸透しつつある点も効果としては大きいと評価できる。

なお、リサイクルモジュール等の成果の実用化に期待したいとの意見もあった。

II. 現在の視点からの一連のプロジェクト群の評価

II-1 国家プロジェクトとしての妥当性

太陽光発電はようやく普及し始めた段階であるが、このような状況に至るまでに本プロジェクト群の果たした役割は極めて大きかった。1970年代中盤から現在に至るまで、国が一貫してリーダーシップを発揮し、企業や研究機関等の太陽電池や太陽光発電の研究開発と導入促進の支援を継続したことは評価できる。企業の自主性に任せた場合、市場原理に基づくインセンティブが期待できず、諸般の事情で継続性が失われる危惧は容易に想像でき、市場が明らかでなかった太陽光発電技術において、産官学の連携による材料、セル、製造技術、システムにわたる研究開発の推進、市場の形成のために必要な環境の整備などの一連の施策は国の関与なくしてはできなかつた。明確なコスト目標と導入目標を定めて国として研究開発を進めてきた結果、地球温暖化対策のキーテクノロジーとして期待されるまでになった。

2000年代半ばから、日本国内の太陽光発電導入量が頭打ちとなり、日本企業の生産量シェアが低下した事実を鑑みるに、政策パッケージとして、「研究開発」、「実証・フィールドテスト」、「市場活性化」の諸施策において、特に、「市場活性化」の施策判断に不備があったのではないかと考える。また、国際標準の推進体制についても再検討の必要があると考える。

今後は、技術開発の推進のみではなく、まずは将来の社会ニーズをきちんととらえ、それに必要な技術を推進する体制を整備することが望ましいと考えられる。なお、世界でトップレベルになれるチャンスがある技術に関しては、積極的に予算を投入して取り組むべきという意見もあった。

II-2 目標設定

コストと導入量は強く関係しており、開発の初期から一貫してこの2つに対し明確な目標設定をしてきたことは、評価できる。目標レベルはニーズ側から設定されており、極めて挑戦的な高いレベル設定となっている。研究開発や導入促進の各フェーズの節目ごとに、その時点での外的要因や技術レベル等を考慮した弾力的な目標設定が行われており、方向性や方法は妥当であったと考える。そのような、長期的な目標設定のもとに一連の施策が実施されてきたことは、他国からも評価が高い。

また、太陽光発電の導入・普及が進んだという結果から判断しても、目標設定は妥当であったと考えられる。

II-3 プロジェクト実施方法

長期間にわたるプログラムのため、その間国の予算の枠組み等の変更があったが、技術の進展状況や市場動向に合わせ、柔軟にプロジェクトを実施してきている。1980年以降、国が計画策定やマネジメント能力を有する機関へ、太陽電池・太陽光発電の研究開発や導入促進の事業を委託したことにより、事業の公平性は保たれていたと考えられる。また、産官学の有識者による委員会等を立ち上げ、プロジェクトの進捗や技術的課題の議論を行っていたので、マネジメントについても妥当と考えられる。

複数の技術シーズを探索することにより、実用化に向けたニーズの体系化・明確化が行われてきたことは、プロジェクト実施方法として、良策であった。

しかし、技術ロードマップの策定は遅かったと判断する。また、データベースに基づく俯瞰的な技術精査等により、開発コミュニティ外の新技术をも取り込む工夫も必要である。シリコン結晶系太陽電池のような成熟分野でもブレークスルー技術は必要であり、コンペティティブなフェーズでの競争力強化の工夫が求められる。

さらに、研究開発成果が生み出すアウトカムをグローバルな視座から再点検することによって、研究開発の現場にフィードバックすることも必要であったと考える。研究開発を取り巻く社会情勢が激しく変化する今後においては、技術のみならず、社会及び経済学者も交えた体制でのプロジェクトの推進が望まれる。

今後、長期的・挑戦的課題の重要性が増すと思われるので、目標設定、実施体制、運営方法等のあり方について再検討が必要である。さらに文部科学省のプロジェクトとの連携も重要という意見もあった。

II-4 II-1～II-3の評価を踏まえ、プロジェクト終了時の事後評価の妥当性

研究開発や導入促進の各フェーズの節目ごとに、評価を実施しており、事後評価の結果は、概ね妥当であったといえる。設定された研究開発目標の到達等を基軸に事後評価が行われているが、後継プロジェクトあるいは次のステップにつながるような知見等を記録として残し、評価を加えることも必要であると考えられる。

追跡評価においては、プロジェクトの終了後、成果を得られなかった要因も情報収集すべきである。また、プロジェクト成果の波及効果の評価は、技術的側面のみならず、経済的側面（市況、景気など）や社会的側面（法制度、インフラなど）等の有機的な関係を注意しつつ評価を行うことが重要と考える。

第1章 評価の実施方法

追跡評価は、「経済産業省技術評価指針」(平成14年4月1日経済産業省告示第167号、平成21年3月31日改正。以下、「評価指針」という。)に基づいて以下のとおり行われた。

1. 追跡評価の目的

経済産業省では、経済産業省技術評価指針(平成21年3月31日改正)に基づき、終了して数年経過した技術に関する事業や類似の目的の研究開発プロジェクトをまとめた特定の研究分野の技術に関する施策を対象に追跡評価を実施している。

追跡評価は、技術に関する事業や特定の研究分野での技術に関する施策の研究開発活動や研究開発成果が産業・社会に及ぼした効果について調査し、その調査結果を基に現在の視点から総合的に評価を行うものである。これは、研究開発プロジェクトに対する国民への説明責任を果たす観点並びに今後実施される研究開発プロジェクトにおける戦略的なテーマ設定等のプロジェクトフォーメーション、予算、運営方法、フォローアップ体制等の検討において参考情報を提供する観点から極めて重要である。

2. 評価者

本追跡評価WGは、産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会において、同評価小委員会の下に新たに設置することが了承された。評価指針で評価者は、分野の専門性をバックグラウンドに持つ専門家、経済社会のニーズ、研究開発の波及等について指摘できる有識者等の外部評価者と定められている。これに基づき、5名が選任された。なお、本追跡評価WGの事務局については技術評価指針に基づき、経済産業省産業技術環境局産業技術政策課技術評価室が担当した。

3. 評価対象

本調査は、昭和49年度からこれまでに実施され終了した太陽光発電に関する研究開発についての追跡評価をより効率的かつ効果的に行うために実施するものである。

具体的には以下を対象とする。

対象研究開発プロジェクト

- ①サンシャイン計画(新エネルギー技術研究開発計画)(昭和49年度～平成4年度)で実施された太陽光発電に関する研究開発
- ②ニューサンシャイン計画(エネルギー・環境領域総合技術開発推進計画)(平成5年度～平成12年度)で実施された太陽光発電に関する研究開発
- ③即効型高効率太陽電池技術開発(平成11年度～平成12年度)(平成13年度から、

- ④「先進太陽電池技術研究開発」に統合、平成 14 年度まで実施)
- ④先進太陽電池技術研究開発 (平成 13 年度～平成 17 年度)
- ⑤革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発 (平成 13 年度～平成 17 年度)
- ⑥太陽光発電システム共通基盤技術研究開発 (平成 13 年度～平成 17 年度)
- ⑦太陽光発電技術研究開発 (平成 13 年度～平成 17 年度)
- ⑧太陽光発電システム普及加速型技術開発 (平成 12 年度～平成 17 年度) (平成 12 年度～平成 14 年度は「太陽光発電システム普及促進型技術開発」として実施)
- ⑨太陽光発電システム実用化加速技術開発 (平成 17 年度～平成 19 年度)

4. 評価方法

対象プロジェクトの評価を実施するに際して、対象プロジェクトに関する文献調査や、実施当時の参加者等へのインタビュー調査を中心に、太陽光発電分野の技術開発施策や研究開発活動・研究開発成果が技術、経済及び社会に及ぼした波及効果を調査・分析・整理し、その追跡調査結果に基づいて、追跡評価項目に沿った評価コメントをとりまとめ、審議を行うといった手順で評価作業を進めた。

当該追跡調査は、中立性・客観性を確保するため、第三者機関である(株)三菱総合研究所に委託し実施された。

5. 評価項目・評価基準

主として、上記の研究開発プロジェクトの研究開発活動や研究開発成果を対象に、現在に至るまでの関連技術等の進歩や発展、さらには産業、社会に及ぼした効果を調査し、研究開発プロジェクトを俯瞰的に見た施策面及び個々の研究開発事業の両面から、太陽光発電研究開発の成果及び効果を明らかにした報告書を作成する。

その際、太陽光発電の実用化に向けた技術開発の流れと現状を整理するとともに、実用化のために必要な課題及びこれらの課題に対してどのような取り組みがなされたかを整理して、太陽光発電の技術開発の萌芽から実用化への進展へ向けた全体像を俯瞰できるマップ等を作成する。また、太陽光発電の実用化に向けて、大きな成果が認められた研究開発成果については、効果をもたらす要因となった研究開発マネジメント、成果活用マネジメント等について調査し、実用化に大きな動きをもたらさなかった研究開発成果については、その要因を調査する。

なお、インパクト調査の調査項目及び調査視点のベースとなる太陽光発電研究開発追跡評価の評価項目・評価基準案は以下の表に示すとおりとし、この評価項目に対応した調査を行う。

本調査では、「経済産業省技術評価指針に基づく標準的評価項目・評価基準」(平成 22 年 7 月改訂)を基本として情報収集・分析を行ったが、多数に渡る対象プロジェクトの目的、

成果、相互関係等に着目し、俯瞰的に評価する必要があると判断されたため、施策評価の観点も追加し、標準的評価項目・評価指針に所要の修正を加えて評価項目を設定し、その視点から対象プロジェクトの追跡評価に必要となる情報の収集・分析等を行ったものである。

図表 1-1 評価項目・評価基準案

<p>(施策評価関係)</p> <p>1. 施策（太陽光発電研究開発）の目的・政策的位置付けの妥当性</p> <p>(1) 施策（太陽光発電研究開発）の目的の妥当性</p> <ul style="list-style-type: none">・太陽光発電研究開発の目的が波及効果、時期、主体等を含め、具体化されているか。・それぞれの太陽光発電研究開発プロジェクト又は後継プロジェクトの移行時において、技術的課題は適切に取舍選択・整理され、目的に至る具体的目標は立てられていたか。・実施された太陽光発電研究開発プロジェクトの目的は、社会的ニーズに適合し、出口（事業化）を見据えた内容になっていたか。また、研究開発プロジェクトの目的は、時代の進行とともに、より具体的な内容が設定されるよう見直されてきたか。 <p>(2) 施策（太陽光発電研究開発）の政策的位置付けの妥当性</p> <ul style="list-style-type: none">・施策（過去に実施されてきた太陽光発電研究開発）の政策的位置意義（上位の政策との関連付け、類似 施策との関係等）は高かったか。また、時代の進行とともに施策の目的が修正されてきた場合には、引き続き施策の目的の政策的妥当性は高かったか。・国際的な太陽光発電研究開発の動向に適合していたか。 <p>(3) 国の施策で行われるべき研究開発としての妥当性はあったか。国の関与が必要とされる研究開発施策であったか。</p> <ul style="list-style-type: none">・国として取り組む必要のある研究開発施策であったか。当省の関与が必要とされる研究開発施策であったか。・必要に応じ、省庁間連携は組まれてきたか。 <p>2. 施策（太陽光発電研究開発）の構造及び目的実現見通しの妥当性</p> <p>(1) 現時点までにおいて得られた成果は妥当か。</p> <ul style="list-style-type: none">・現在実施されている太陽光発電研究開発は、過去の研究開発成果を適切に活用しているか。・過去に終了した研究開発プロジェクトで実用化に至らなかったプロジェクトであっても適切な波及効果が得られているか。 <p>(2) 施策（太陽光発電研究開発）の目的を実現するために研究開発プロジェクトを含む技術に関する事業が適切に配置されてきたか。それぞれの事業間での連携は適切に取られてきたか。</p> <p>(3) 個々の研究開発プロジェクト終了後のフォローアップの状況</p> <ul style="list-style-type: none">・個々の研究開発プロジェクトの成果の実用化や普及に対して、プロジェクト終了後のフォローアップ体制は適切であったか。・後継のプロジェクトに引き継ぐ際には、適切な引き渡しが行われていたか。・個々の研究開発プロジェクトの成果の実用化や研究開発基盤の構築等によって、その後の産業戦略、技術戦略等への影響があったか。
--

3. 総合評価

(事業評価関係)

I. 波及効果に関する評価

I-1. 技術波及効果

(1) 実用化への進展度合

・今回の追跡評価で対象とする一連の太陽光発電研究開発プロジェクト群（以下、「一連のプロジェクト群」という。）の直接的及び間接的な成果は、製品やサービスの実用化にどのように寄与したか、あるいは寄与する可能性があるか。特許取得やその利用の状況、市場環境の変化、競合技術の台頭等を踏まえて評価する。

- ①一連のプロジェクト群の終了後に実用化した製品やサービスは数多くあったか。
- ②一連のプロジェクト群の成果から今後実用化が期待される製品やサービスはあるか。
- ③多額の実施料収入を生み出す等、インパクトのある技術が得られたか。
- ④外国での特許取得が行われたか。
- ⑤基本特許を生み出したか。

(2) 一連のプロジェクト群の成果からの技術的な広がり具合

・一連のプロジェクト群の成果により直接的に生み出された技術は、関連技術分野に技術面でのインパクトを与えたか。派生技術には、一連のプロジェクト群で想定されていたもの、想定されていなかったものを含めてどのようなものがあり、それらはどのように利用されているかを踏まえて評価する。

- ①数多くの派生技術を生み出したか。
- ②派生技術は多くの種類の技術分野にわたっているか。(当該技術分野、他の各種技術分野)
- ③直接的に生み出された技術又は派生技術を利用した研究主体は数多くあるか。
- ④直接的に生み出された技術又は派生技術を利用する研究主体は産業界や学会に広がりを持っているか。(参加企業、大学等、不参加の同業種の企業、その他産業等)
- ⑤参加企業等が自ら実施する研究開発の促進効果や期間短縮効果はあったか。

(3) 国際競争力への影響

・直接的に生み出された技術の成果技術や派生技術により、国際競争力はどのように強化されたか。

- ①我が国における当該分野の技術レベルは向上したか。
- ②外国と技術的な取引が行われ、それが利益を生み出しているか。
- ③一連のプロジェクト群の技術分野に関連した外国での特許取得は積極的になされているか。
- ④国際標準の決定に対し、一連のプロジェクト群はメリットをもたらしたか。
- ⑤国際標準等の協議において、我が国がリーダーシップをとれるようになったか。
- ⑥外国企業との主導的な技術提携は行われたか。
- ⑦一連のプロジェクト群が外国の技術政策に影響を与え、その結果技術交流が促進された

り、当該分野で我が国がイニシアチブをとれるようになったか。

I-2. 研究開発力向上効果

(1) 知的ストックの蓄積度合

・特許や、研究者のノウハウ・センス・知識等の研究成果を生み出す源となる知的ストックはどのような役割を果たしたか。それらは一連のプロジェクト群の終了後も継承され、次の研究の芽になる等、今後の影響を持ち得ることができるか。

- ①当該分野における研究開発は続いているか。
- ②一連のプロジェクト群の終了後も、プロジェクトに参加した研究者が派生技術の研究を行っているか。
- ③一連のプロジェクト群の終了時から現在までの間に、知的ストックが将来的に注目すべき新たな成果（画期的な新製品・新サービス等）を生み出す可能性は高まっているか。

(2) 研究開発組織の改善・技術戦略への影響

・一連のプロジェクト群は、研究開発組織の強化・改善に対してどのように役立ったか。あるいは、実施企業の技術戦略に影響を与えたか。

- ①企業を超える研究開発のインフラとして、学会、フォーラム、研究者間交流等の公式・非公式の研究交流基盤は整備され、活用されているか。
- ②企業間の共同研究の推進等、協力関係、良好な競争的關係が構築されたか。
- ③顧客やビジネスパートナーとの関係の変化が、経済性を向上させたか。
- ④技術の管理組織を再編成する契機となったか。
- ⑤研究開発部門の再構成等、社内の組織改編は積極的に行われたか。
- ⑥研究開発の予算規模が増減する契機となったか。
- ⑦プロパテント等の特許戦略に対する意識が高くなったか。
- ⑧知的ストックは、企業の技術戦略にどのような影響を与えたか。

(3) 人材への影響

・一連のプロジェクト群は、研究者の効率的・効果的配置や能力の向上にどのように寄与したか。

- ①国内外において第一人者と評価される研究者が生まれたか。
- ②論文発表、博士号取得は活発に行われたか。
- ③プロジェクト従事者の企業内での価値は高まったか。
- ④研究者の能力向上に結び付くような研究者間の人的交流が行われたか。
- ⑤関連分野の研究者増員が行われたか。
- ⑥国内外から高く評価される研究機関となったか。

I-3. 経済効果

(1) 市場創出への寄与

・新しい市場を創造したか。また、その市場の拡大に寄与したか。

(2) 経済的インパクト

- ・生産波及、付加価値創出、雇用創出への影響は大きかったか。
 - ①直接的に生み出された技術や派生技術の実用化により、製品の売り上げと利益は増進したか。
 - ②直接的に生み出された技術や派生技術の実用化により、雇用促進は積極的に図られたか。

(3) 産業構造転換・活性化の促進

- ・一連のプロジェクト群が産業構造の転換や活性化（市場の拡大や雇用の増加等）にどのような役割を果たしたか。
 - ①一連のプロジェクト群が、各関連産業における市場の拡大や雇用の増加等に寄与したか。
 - ②一連のプロジェクト群が新たな産業の勃興や、既存市場への新規参入、あるいは既存市場からの撤退等をもたらしたか。また、それらが市場全体における雇用に影響したか。
 - ③一連のプロジェクト群が生産業務の改善や更新に結びついたことにより生産性・経済性は向上したか。

I-4. 国民生活・社会レベルの向上効果

- ・一連のプロジェクト群によって新たな製品・サービスが実用化されたこと、プロジェクトの成果の応用による生産性の向上や顕著なコストダウン、デファクトを含めた規格化を促進したこと等の事例がある場合、それらは、例えば下記に挙げる項目にそれぞれどのような影響をもたらしたか。

(1) エネルギー問題への影響

- ・エネルギー問題の解決に寄与した効果としてどのようなものが考えられるか。

(2) 環境問題への影響

- ・環境問題の解決に寄与した効果としてどのようなものが考えられるか。

II. 現在の視点からの一連のプロジェクト群の評価

II-1. 国家プロジェクトとしての妥当性

- ・国のプロジェクトとしてどのような効果があったか。Iに示した各効果を総合的に評価する。
- ・現在（追跡評価時点）から見て、国が関与する必要性があったか。また、関与の方法や程度は妥当であったか
 - ①多額の研究開発費、長期にわたる研究開発期間、高い技術的難度等から、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されない場合。
 - ②環境問題への先進的対応等、民間企業には市場原理に基づく研究開発実施インセンティブが期待できない場合。
 - ③標準の策定、データベース整備等のうち社会的性格が強いもの（知的基盤）の形成に資する研究開発の場合。

④国の関与による異分野連携、産学官連携等の実現によって、研究開発活動に新たな付加価値をもたらすことが見込まれる場合。

⑤その他国が主体的役割を果たすべき特段の理由がある場合。

II-2. 目標設定

- ・当時の技術動向、市場動向、社会環境、政策目的等から見て、目標設定の方向性とそのレベルは妥当であったか。

II-3. プロジェクト実施方法

- ・一連のプロジェクト群の計画策定、スキーム（予算制度）、実施体制、運営方法等の実施方法が現在の視点から見て妥当であったか。

II-4. II-1～II-3の評価結果を踏まえ、プロジェクト終了時の事後評価の妥当性

- ・事後評価で行われた評価結果は、追跡評価の時点から見て妥当であるか。

（現在の事後評価項目の例示）

目的・意義の妥当性、目標の妥当性、計画内容の妥当性、国のプロジェクトであることの妥当性、研究開発体制・運営の妥当性、研究開発成果の計画と比較した達成度、実用化の見通し（成果普及、広報体制、波及効果）、総合評価、今後の提言

- ・今後の最終評価において改善すべき評価方法、考慮すべき要因等を提案。

第2章 研究開発プロジェクトの概要

1. サンシャイン計画「結晶型太陽電池技術開発（シリコン多結晶太陽電池、II-VI族化合物半導体太陽電池、SnO 太陽電池）」

a.実施期間

昭和 49 年度～平成 4 年度

b.研究開発費総額

1,074 億円（太陽熱を含む）

c.研究開発の目的

太陽光発電システム技術開発全体の研究目標としては、他の発電方式と同程度の経済性を有し、わが国のエネルギー源として寄与しうる、太陽光発電システムを開発することである。このために必要な第一課題として、太陽電池の大幅なコストダウンを計り、ワット当たり 100～200 円の価格を可能にする製造技術を開発する。

以下は、第 I フェーズ（昭和 49 年度から昭和 54・55 年度）の研究開発目標である。

- 1) リボン結晶成長基本技術を開発（縦引きリボン結晶、横引リボン結晶）。その後、昭和 55 年度から実用化研究に移行。
- 2) 高純度シリコン原料の使用量が少ない、シリコン薄膜太陽電池作成基本技術の開発（粒子非加速成長型、粒子加速成長型）。その後、昭和 55 年度から実用化研究に移行し、一部 5) の基礎研究レベルに引継ぎ。
- 3) プロセス簡略化、自動化に適した太陽電池及びモジュール開発（新型太陽電池）。その後、S55 実用化研究移行。
- 4) プロセス簡略が可能な、II-VI族化合物半導体太陽電池の作製基本技術の開発。昭和 55 年度以降もそのまま継続。
- 5) 上記以外の新型太陽電池の基礎研究。その後、昭和 55 年度から応用研究へ移行。

第 II フェーズ（昭和 55 年度以降）では、サンシャイン計画の太陽光発電システムの研究開発の研究目標を達成するために、技術的にも経済的にも実用化に耐えうる太陽電池製造技術を開発する。以下は、第 II フェーズの各研究項目目標である。

- 1) シリコン原料を効率良く精製・還元し、太陽電池級純度の多結晶シリコンを得る
 - ・ トリクロロシラン製造技術：省エネルギー化、プロセス短縮
 - ・ クロロシランの水素還元工程：反応速度の増大、反応収率の向上、省エネルギー化
 - ・ 両者を通して：副生物のリサイクルによる原料利用率の向上
- 2) 太陽電池用低コストシリコン基板製造技術を開発する。
 - ・ キャスト基板工程：結晶品質の向上、原料利用率の改善、高速スライス技術の開発、

間接材料使用量の低減

- ・ リボン基板工程：幅広リボンの連続・高速引上技術の開発、結晶品質の向上
- 3) 高効率 PN 接合形成技術及び高能率電極作製技術を開発する。
- 4) 乾式 PN 接合工程：制御性の高い、高速イオン打ち込み技術の開発
- ・ 連続自動化生産技術の開発
 - ・ 湿式 PN 接合工程：接合・反射防止膜同時形成等の工程短縮化技術の開発、連続自動化生産技術の開発、変換効率の向上
- 5) 自動化モジュール組み立て技術を開発する。
- ・ パネル組み立て工程：ストリングの一括ソルダリング技術の開発、自動パッケージ技術の開発、生産管理技術の開発
- 6) 標準となりうる太陽電池評価技術を開発する。
- ・ 太陽電池評価システム：太陽電池セルの高精度性能評価技術の開発、標準太陽電池の開発、太陽電池モジュールの性能評価技術の開発、太陽電池の信頼性評価技術の開発

d. 主な研究開発成果

サンシャイン計画開始当初の昭和 49～55 年度の間、「シリコン縦引きリボン結晶の研究開発」等 6 つのテーマでの研究が行われた。具体的には以下のテーマである。

- ・ シリコン縦引きリボン結晶の研究開発（東京芝浦電気）
- ・ シリコン横引きリボン結晶の研究開発（東洋シリコン）
- ・ 粒子非加速成長形シリコン薄膜結晶の研究（日立製作所）
- ・ 粒子加速成長形シリコン薄膜結晶の研究（日本電気）
- ・ 新形式太陽電池の研究開発（シャープ）
- ・ II-VI 族化合物半導体太陽電池の研究開発（松下電器）

この間、素子生成技術では、結晶半導体を使う太陽電池のうち、リボン型（帯状）太陽電池について一定の成果が得られた。

昭和 55 年度からは、結晶シリコン太陽電池製造技術開発とともにアモルファス太陽電池の研究開発が開始された。昭和 57 年度に設定された昭和 60 年度中間目標は、昭和 59 年度までに 90% 達成され、昭和 60 年度中にはほぼ全て達成され、アモルファスシリコン太陽電池は、一般電力用として利用することが可能との期待が強まった。

昭和 55 年度に開始したテーマ群としては以下のものがある。このうち、アモルファス太陽電池については、昭和 55 年度に 6 テーマが開始された後、昭和 56 年度～昭和 62 年度にかけて大学が実施する研究開発、企業による実用化研究が採択され、研究テーマが急増した。

- ・ 低コストシリコン実験精製検証（低コスト・クロルシラン製造技術開発等）

- ・ 太陽電池パネル実験製作システム（湿式 PN 結合工程の技術開発、パネル組立工程の技術開発等）
- ・ 太陽電池発電デモンストレーションシステムの研究（個人住宅用システム、集合住宅用システム、学校用システム、工場用システム）
- ・ 太陽電池評価システムの研究開発
- ・ 周辺技術の研究開発
- ・ 集中型太陽光発電システムの研究開発
- ・ 大型ソーラーシミュレータの研究開発
- ・ 光熱ハイブリッド型太陽光発電システムの開発
- ・ アモルファス太陽電池の研究開発

昭和 60 年度頃からは、独立分散型等システムの研究開発、周辺技術の研究開発テーマが急増した。

- ・ 独立分散型等システムの研究開発：離島用海水淡水化システム、風力ハイブリッドシステム等
- ・ 周辺技術の研究開発：発電量基礎調査、太陽電池架台の研究開発、太陽光発電用蓄電装置等

この間、結晶シリコン太陽電池製造技術開発、アモルファス太陽電池の研究開発は引き続き行われており、実用化研究まで行われ、昭和 63 年度目標値は、結晶系太陽電池の製造技術開発では既にトップデータにおいて達成された。多結晶シリコン太陽電池については、500 円/W を実現するための技術が完成され、また 100~200 円/W を実現するための技術的見通しがついた。アモルファス太陽電池については要素研究の段階であり、目標値達成の技術的見通しは得られており、技術的課題の着実な解決を図っていくことが確認された。

平成になってからは、薄型太陽電池の実用化研究、超高効率太陽電池の技術開発、太陽光発電システム評価技術の研究開発等が進んだ。

この間、昭和 60 年度~平成 4 年度にかけて行われた新型太陽電池製造技術開発では、ほぼ各技術開発目標を達成したが、高速基板製造技術開発で、シート基板製造に係る基礎物性の克服が困難であり、目標達成には至らず、改めて基礎的研究を行うことが必要とされた。

アモルファス太陽電池製造技術開発では、効率の点では目標を達成した。超高効率太陽電池の技術開発では、結晶系シリコン太陽電池で、電磁鑄造法との組み合わせにより、高品質単結晶シリコンが製造可能と推定され、反転層形成やスルーホールが高効率化に大きく寄与することが確認された。アモルファスシリコン太陽電池では、水素量を極限まで低下させたシリコン膜と多層テクスチド構造の検討により、目標達成の見通しを得た。太陽光

発電システム技術開発では、周辺技術開発で目標がほぼ達成された。太陽光発電システムの実証研究では、一部完成したシステムの運転研究を開始した。光熱ハイブリッド型太陽光発電システムの研究開発では、技術的・経済的観点からみて適用可能との結果を得た。

昭和 49 年度～昭和 59 年度の間に 429 件の特許出願がなされた。また、平成 3～4 年度の間に 81 件の特許出願がなされた。それぞれ年平均 40 件程度の特許出願がなされている（昭和 60 年度～平成 2 年度の間については、当時の資料が少なく不明）。

e.研究開発機関

実施機関：（昭和 49 年度～昭和 54 年度参加機関）

電子技術総合研究所（太陽電池の基礎研究）、東京芝浦電機、東洋シリコン、日立製作所、日本電気、シャープ、松下電器

（昭和 55 年度～昭和 60 年度の新規参加機関）

三鷹電子科学、大阪チタニウム、電気化学、信越化学工業、テクノバ、ほくさん、富士電機、松下電池工業、JQA、電力中央研究所、四国電力、機械電子検査協会、三菱電機、三洋電機、京セラ、富士電機総研、帝人、小松電子金属

（昭和 61 年度～平成 4 年度の新規参加機関）

北陸電力、沖縄電力、昭和シェル、清水建設、電源開発、気象協会、竹中工務店、湯浅電池、東京農工大学、慶應義塾大学、東京大学、広島大学、金沢大学、住友電工、カネカ、新エネルギー財団

f.事後評価結果概要

情報なし

g.追跡評価のためのベース資料

サンシャイン計画 10 周年記念事業工業技術院実行委員会「サンシャイン計画 10 年の歩み」（昭和 59 年 9 月）

太陽光発電技術研究組合「太陽光発電技術研究組合の 10 年ーサンシャイン計画からニューサンシャイン計画（第 I 期）」（平成 14 年 3 月）（平成 3～4 年度の特許出願件数データの根拠）

NEDO「太陽光発電における技術開発とその成果に関する調査報告書」（平成 18 年 1 月）

2. ニューサンシャイン計画のうち太陽光発電に関する研究開発（H5～H12）

2-1 ニューサンシャイン計画「太陽光発電技術研究開発」の全体

注：2-2～2-7はサブテーマである。

a.実施期間

平成5年度～平成12年度（8年間）

b.研究開発費総額

572.35億円

（内訳：平成5年度 65.59億円、平成6年度 68.38億円、平成7年度 68.75億円、平成8年度 71.01億円、平成9年度 70.11億円、平成10年度 74.15億円、平成11年度 81.59億円、平成12年度 72.77億円）

c.研究開発の目的

本プロジェクトは、平成4年度時点での技術水準を基に、2000年（平成12年）に向けた短期目標として、「一般家庭電気料金に相当する発電コスト（製造原価ベース）での電力供給が可能な技術確立」が設定され、研究開発第I期前半（平成5～8年度）と第I期後半（平成9～12年度）に分けて実施している。

一般家庭電気料金と同等程度の発電コスト達成を可能とする技術の確立を目指し、①薄膜太陽電池の低コスト製造技術の開発と、②発電コストの低減や導入量の拡大に資する太陽光発電システム技術の開発、さらに、③同料金を下回る発電コスト達成の可能性のある次世代薄膜太陽電池及び大規模導入を可能とする太陽光発電システム技術に関する要素研究開発を行うとしており、具体的、明確な開発目標を設定している。

d.主な研究開発成果

アモルファスシリコン太陽電池、CdTe太陽電池については、これまでの技術開発の結果、変換効率の向上や大面積セル製造技術の開発等の課題をクリアし、目標である140円/W（100MW/年生産時、製造原価）で製造するために必要な技術を確立した。次世代薄膜太陽電池では薄膜多結晶シリコン太陽電池、CIS太陽電池等において、変換効率向上技術、高速生産技術等の要素技術開発により、140円/Wで製造するための必要な技術を確立するとともに、方式により差はあるものの、今後の開発により更なる低コスト化が期待できる技術が得られた。また、超高効率結晶化合物系太陽電池では、目標の変換効率（30%、5cm角）が得られるⅢ-Ⅳ族化合物系多接合セルを開発でき、更なる発展も期待できる状況になった。

これらの成果は、2010年の導入目標（482万kW）の達成に向けた大きなワンステップ

であり、成果の一部を活用した薄膜太陽電池事業化や、開発技術を工業生産に適用するための生産技術開発と技術改善が行われている。本プロジェクトにおいて今後さらに研究開発を進めることで太陽電池製造コスト 100 円/W (100MW/年生産時) が可能と目される技術も得られた。

超高効率結晶化合物系太陽電池については、Ge 基板等を用いた GaAs 太陽電池については、平成 12 年度目標の変換効率 (30%、5cm 角) を達成した。コスト面等実用化に向けての課題は多いものの、宇宙服等の特殊用途への適用を含め、引き続き検討を行っていくことが期待される。

一方、もう一つの柱である太陽光発電システム技術開発に関しても、今後の太陽光発電システムの普及拡大やトータルコストの低減に資する効果が得られた。

例えば、太陽電池・システム評価技術では、太陽電池の性能評価に関して分光感度の広帯域化に重要な日射データベースや簡便なシステム設計手法等、今後の太陽光発電システムの普及拡大を支える基本技術を整備した。

また、太陽光発電システム・周辺技術開発については、太陽電池・住宅・建材メーカー等が共同で住宅・ビル等の建材と一体化した太陽電池モジュールを開発し、コスト目標を概ね達成するとともに、それらの実用性・耐久性を発電機能・建材機能の両面から確認した。これらは太陽光発電システムの設置コスト低減や付加価値化等、導入インセンティブを拡大するものであり、今後の普及拡大を図る上で大きな効果を発揮するものと期待される。さらに、太陽光発電システムの電力貯蔵技術として開発した新型鉛蓄電池は、経済性の向上と長期信頼性の確保を実現したものであり、太陽光発電技術における蓄電池利用の実現性の向上と利用可能分野の拡大を図ったものとして大きな意義がある。

一方、太陽光発電システムが電力系統に高密度に連系した場合の、電力品質及び安全性に関する対策技術の成果は、系統連系を主たる導入形態とする我が国が将来に直面する可能性のある課題に対する解決策を示した先見性の高いものであると言える。

全体で、論文発表数 656 件、特許出願件数 499 件、口頭発表数 885 件、新聞発表等 58 件の成果があった。

e.研究開発機関

運営機関 : 新エネルギー・産業技術総合開発機構

委託先 : 太陽光発電技術研究組合 (川崎製鉄、住友シチックス、大同ほくさん、京セラ、シャープ、鐘淵化学工業、三洋電機、富士電機総合研究所、松下電池工業、旭硝子、東燃、三菱電機、三井東圧化学、昭和シェル石油、松下電器産業、日立製作所、沖電気工業、ジャパンエナジー、住友電気工業、日立電線、日本品質保証機構、ソニー、アネルバ、キヤノン、日本板硝子、日本製鋼所、三井化学、三菱重工業、ナショナル住宅産業、エア・ウォーター、鹿

島建設、YKK、YKK アーキテクチュラルプロダクツ、電力中央研究所)
日本品質保証機構、東芝、松下電池工業、三菱油化、鹿島北共同発電、沖縄
電力、三菱電機、関西電力、電気安全環境研究所、四国総合研究所、日本電
池、日本気象協会

再委託先：北海道大学、東京農工大学、大阪大学、九州大学、京都大学、立命館大学、
東北大学、東京大学、東京工業大学、北陸先端科学技術大学院大学、金沢大
学、青山学院大学、お茶の水女子大学、奈良先端科学技術大学院大学、岐阜
大学、早稲田大学、龍谷大学、広島大学、北海道大学、筑波大学、豊田工業
大学、福井大学、チェコ科学アカデミー物理学研究所、ユーリッヒ研究セン
ター薄膜及びイオン工学研究所、ヌシャテル大学マイクロ工学研究所

共同研究先：電子技術総合研究所、名古屋工業技術研究所、機械技術研究所

f.事後評価結果概要

本プロジェクトは、ほぼ適切に実施され、太陽電池製造技術の研究開発成果として、世
界最高レベルのセル変換効率の向上及びコスト低減技術を達成し、さらに関連周辺技術の
開発によって、太陽光発電システムの企業の参入リスクが低下する環境も実現した。我が
国は、世界最大の太陽電池生産国となり、その技術的蓄積においても海外を圧倒している。

従って、本プロジェクトは、研究開発プロジェクトとして総じて成功を収めたと総括する。

g.追跡評価のためのベース資料

ニューサンシャイン計画「太陽光発電技術研究開発」プロジェクト評価（事後）報告書
（平成 14 年 7 月）

2-2 PV1.薄膜太陽電池製造技術開発 (PV11.低コスト・大面積モジュール製造技術開発)

a.実施期間

平成5年度～平成12年度(8年間)

b.研究開発費総額

124.84億円(平成9年度～平成11年度)

c.研究開発の目的

1) PV111.新型アモルファス太陽電池製造技術開発

ガラス基板等を利用したアモルファス太陽電池については、光閉じ込めの高度化、高光吸収材料、高密度製膜、低コストパターニング等により、新型アモルファス太陽電池モジュールを安価に量産するための製造技術を確立する。

また、フレキシブルモジュールについては、ナローギャップ材料の適用、高速製膜、スループットの高度化、高速パターニング等により、フレキシブルタイプの新型アモルファスの太陽電池モジュールを安価に量産するための製造技術を確立する。

※モジュールに関する平成12年度目標

100MW/年・ライン程度の量産規模において140円/W以下。(安定化後変換効率が10%以上のメートル級サイズモジュール)

2) PV112.高信頼性 CdTe 太陽電池製造技術開発

大面積高品質 CdS 薄膜の低温化での高速形成、大面積高品質 CdTe 膜の低コスト高速形成、及びガラス基板上への大面積透明導電膜の形成等により、高信頼性 CdTe 太陽電池モジュールを安価に量産するための製造技術を確立する。

※モジュールに関する平成12年度目標

100MW/年・ライン程度の量産規模において140円/W以下。(変換効率が13%以上のメートル級サイズモジュール)

3) PV113.次世代薄膜太陽電池製造技術開発

次世代薄膜太陽電池については、中長期的な研究開発基本構想を踏まえた平成16年度(ないし遅くとも平成18年度)に向けた目標見通しのもとに平成12年度までの研究開発を行うこととするが、平成12年度成果を見込める時点で、目標レベルや技術開発の達成時期、市場での実用化時期を見直し、平成16年度に向けた課題の絞込みを行うものとする。

d.主な研究開発成果

1) PV111.新型アモルファス太陽電池製造技術開発(ガラス基板・フィルム基板)

1-1) ガラス基板上で90cm×90cm、安定化後変換効率10%、コスト133円/W(年産100MW)

とした場合) を達成し、研究開発目標をクリアしている。今後は歩留まりの良い量産技術の実現が課題となる。なお、コスト計算は、当該プロジェクトの開発終了時点のデータを使用して計算する必要がある。

1-2) フィルム基板上で 40cm×80cm、安定化後変換効率 9.2%、コスト 147 円/W を達成し、アモルファスでもコストに変換効率が大きく関与する事が実証された点は評価できる。得られた研究成果には、独創性・新規性が見られる。但し、低価格志向の開発であるのにコスト目標は未達成であった。この主因は変換効率未達ということであろうか。今後の課題の一つとして、大面積光閉じ込め技術の実現が残る。

2) PV112.高信頼性 CdTe 太陽電池製造技術開発

60cm×90cm、変換効率 11.0%、コスト 140 円/W を達成し、研究開発目標をクリアしている。世界最高水準の成果と言え、また独創性・新規性も高く、またコスト試算も目標を達成している。

但し、コスト試算は目標達成されているものの、その中に、生活環境安全モジュール作成コストが含まれているか疑問であり、今後、大面積常圧製膜での効率均一化が技術的障害となるのではないか。

3) PV113.次世代薄膜太陽電池製造技術開発

3-1) 薄膜多結晶シリコン太陽電池製造技術開発

熔融再結晶化法は、30cm×20cm のサイズで、変換効率 14.6%、137.1 円/W をほぼ達成しており、世界最高水準の結果と言える。しかし、セル厚が 100 ミクロンであり薄膜とは言えない。低温膜形成技術のうち、溶解析出法については、薄膜多結晶シリコンで 4.37 cm²、変換効率 12.2%に留まり、目標をクリアできていないがこの手法によるセルとしては世界レベルの効率である。しかし、セル厚が 50 ミクロンであり、薄膜とは言えない。またフラックス法については、ミクロン厚の薄膜結晶 Si セルに取り組んだ意欲は評価されるが、1 cm²、変換効率 5.1%のため、平成 11 年度で開発を中断し、目標が大幅に未達成である。今後、結晶化 CVD の基礎から見直す必要があるのではないか。

3-2) CIS 太陽電池の製造技術開発

セレン化法では 30cm×30cm のサイズで、変換効率 12.9%、コスト 137 円/W を達成する等、コスト、効率ともにほぼ目標を達しており、世界最高水準の成果と言える。一方、多元蒸着法は 1 cm²と小面積では変換効率 18.5%を実現しているものの、10cm×10cm、変換効率 12.6%に留まり、現在までに開発された技術では未だ大面積化に向いていないので目標をクリアしていない。

3-3) 応用型太陽電池

a-Si/薄膜多結晶 Si ハイブリッド構造太陽電池は、変換効率は平成 16 年度目標未達であるが改善の見通しはある。また、ミクロン厚の薄膜結晶 Si セルだけでも 10%以上の変換効率が実現できることを実証した意義は大きい。つまり新たな安定的、低価格、量産型太陽電池のシーズであることが実証された点である。この点は、世界最高水準の成果と言えよう。また独創性、新規性は高い。

a-Si/薄膜多結晶 Si ハイブリッド構造太陽電池は、事業化の見通しを得られたのであれば、この技術のコスト試算を提示して、他の要素技術との比較を明らかにしてほしい。

また、マイクロ集光型太陽電池については、目標を達成しており、10 倍のシステムで目標に向けた見通しを得ている点も評価できる。他の要素技術との比較を明らかにしてほしい。

しかしながら、高効率ハイブリッド型薄膜・シールド太陽電池については、試行錯誤段階であり、ポーラスシリコン剥離法単結晶薄膜太陽電池については、目標未達である。

原著論文数 292 件、特許出願件数 441 件の成果があった。

e.研究開発機関

運営機関：新エネルギー・産業技術総合開発機構

委託先：三洋電機、富士電機総合研究所、松下電池工業、三菱電機、京セラ、大同ほくさん、昭和シェル石油、松下電器産業、鐘淵化学工業、シャープ、ソニー、日立製作所

f.事後評価結果概要

新型アモルファス太陽電池(ガラス基板上)等、4 研究テーマの製造技術開発については、変換効率及びコストの数値目標を達成し、世界最高水準の成果も認められ、応用型太陽電池(a-Si/薄膜多結晶 Si ハイブリッド構造太陽電池)等、一部の研究テーマでは、事業化の見通しが立っている。

しかしながら、薄膜多結晶シリコン太陽電池(フラックス法・溶解析出法)、CIS 太陽電池(多元蒸着系)等、4 研究テーマの製造技術開発については、基板温度分布制御困難、蒸発源の最適化不完全等技術的障害から目標をクリアできなかった。

一部の評価意見として、a-Si/薄膜多結晶 Si ハイブリッド構造太陽電池の成功につながったミクロンレベルの多結晶シリコン太陽電池の製膜、セル技術の広範な展開により 2010 年以降に予測される需要の大幅な増大を充足する key technology の一つとするべきとの指摘があった。

さらに、大面積・コスト面の検討が主たるものであるために、世界との比較は難しいが、研究開発に多額の投資をしている以上、世界最高水準の成果が当然であるとの指摘があっ

た。

g.追跡評価のためのベース資料

ニューサンシャイン計画「太陽光発電技術研究開発」プロジェクト評価（事後）報告書
（平成 14 年 7 月）

2-3 PV1.薄膜太陽電池製造技術開発 (PV12.材料・基板製造技術開発)

a.実施期間

平成9年度～平成12年度(4年間)

b.研究開発費総額

14.29億円(平成9年度～平成11年度)

c.研究開発の目的

1) アモルファス系高品質材料・基板製造技術開発

単層のアモルファス太陽電池において、安定化後変換効率10%以上のセルを高速に製造することを可能とする高品質材料・基板に係る基礎的な要素技術を開発する。

※平成12年度目標

アモルファス膜の安定化後欠陥密度を、現状の1/10以下(200万Siに1ヶ程度)に低減し、かつ膜成長速度 20Å/s 以上を可能とする技術の開発、等。

2) シリコン系結晶系高品質材料・基板製造技術

薄膜多結晶太陽電池等の下部セルとして用いられるシリコン系結晶薄膜を、これらの太陽電池において効率15%以上のセルを高速に製造することを可能とする高品質材料・基板に係る基礎的な要素技術を開発する。

※平成12年度目標

シリコン系結晶薄膜の欠陥密度を、現状の1/5以下(500万Siに1ヶ程度)に低減し、かつ膜成長速度 10Å/s 以上を可能とする技術の開発、等。

d.主な研究開発成果

1) アモルファス系高品質材料・基板製造技術開発

『アモルファス膜の安定化後欠陥密度を、現状の1/10以下(200万Siに1ヶ程度)に低減し、かつ膜成長速度 20Å/s 以上』の研究開発目標に対して、膜成長速度 20Å/s で光照射後飽和したESR欠陥は 2×10^{16} 個/ccに抑えられた製膜技術を開発した。アモルファスシリコンの原子密度をシリコンの原子密度($4.96\times 10^{23}/\text{cc}$)と同じとすれば、目標を達成したことになる。

なお、平成12年度達成目標値については目標値を達成しているものの、高速成長した膜の光劣化後の光劣化安定化後変換効率(アモルファス10%、シリコン系結晶薄膜15%)の値については達成されていない。効率実証の為の研究が今後必要である。プレ最終評価の指摘に基づき、この技術によりセルを試作した努力は評価される。その変換効率の劣化率(安定後効率/初期効率の比)は従来の高速製膜の1/2の12%まで改善された。

今後は、安定化後変換効率の絶対値は 20Å/s では世界最高8.2%とはいうものの、これを量産化、実用化に活かすには効率10%を実現するさらに薄いセル(高安定)技術に重点を

おいた電池化総合技術の開発と大面積化技術の開発が必要である。

2) シリコン結晶系高品質材料・基板製造技術

『シリコン系結晶薄膜の欠陥密度を現状の 1/5 以下 (500 万 Si に 1 ヶ程度) に低減して、かつ膜成長速度を 10 Å/s 以上』の研究開発目標に対して、12 Å/s で作製された微結晶膜において ESR 欠陥密度 $1 \times 10^{16}/\text{cc}$ を得ており、目標を達成している。また、試作された太陽電池効率 9.4% (2.5 Å/sec)、8.1% (12 Å/sec : 目標製膜速度) により材料の高品質化がうかがえるが最終的には 15% の効率を実証する必要がある。

高効率化にはアモルファスシリコンとのタンデムセル技術の採用が考えられるが、微結晶シリコンの光学ギャップは多結晶シリコンより大きいので、長波長光変換には不利である。今後、アモルファスシリコンとのタンデム利用に、どちらが良いか、実データで検証して行く必要がある。

原著論文数 143 件、特許出願件数 16 件の成果があった。

e.研究開発機関

運営機関：新エネルギー・産業技術総合開発機構

委託先：富士電機総合研究所、三洋電機、鐘淵化学工業、キヤノン、旭硝子、アネルバ、三井化学、日本製鋼所、シャープ、日本板硝子、電子技術総合研究所

f.事後評価結果概要

材料・基板製造技術開発については、アモルファス及び微結晶系で、従来の課題であった高速製膜での変換効率の劣化率が改善された。

g.追跡評価のためのベース資料

ニューサンシャイン計画「太陽光発電技術研究開発」プロジェクト評価(事後)報告書 (平成 14 年 7 月)

2-4 PV2.超高効率結晶化合物系太陽電池製造技術の研究開発

a.実施期間

単結晶シリコン：平成 5 年度～平成 8 年度 (4 年間)

結晶化合物：平成 5 年度～平成 12 年度 (8 年間)

b.研究開発費総額

16.33 億円 (平成 9 年度～平成 11 年度)

c.研究開発の目的

1) 大面積セル製造技術開発

In、Ga、P、As 等のⅢ-Ⅳ族系結晶化合物からなる積層型超高効率太陽電池をシリコン等の低コスト基板上に形成するための要素技術を確立する。

※セルに関する平成 12 年度目標

5cm 角以上のセルにおいて変換効率 30%以上 (Ge 基板の場合)、及び 25%以上 (Si 基板の場合) (いずれもメカニカルスタックを用いない場合)。

2) 周辺要素技術に関する調査研究

超高効率結晶化合物系太陽電池のモジュール及び低コスト化のための要素技術に関する調査研究を行う。

d.主な研究開発成果

1) 大面積セルの製造技術 GaAs 基板

GaAs 基板上で MOCVD 法による面積 5cm×5cm の均一製膜技術、GaAs セルと GaInAs セルの高効率化技術を開発し、これらを組み合わせたメカニカルスタックセルで変換効率 30.3%を得た。GaInAsP 系 4 元材料の製膜技術を開発し、面積 1 cm²の GaAs セルと GaInAsP セルのメカニカルスタックセルで世界最高の変換効率 31.1%を得た。

膜厚均一性、組成均一性、均一ドーピングの諸技術、及び再現性を確立する等、達成された成果は、日本国内で、Ⅲ-Ⅴ族系結晶半導体を用いる超高効率太陽電池の製造技術が発展したことを示す点では意義がある。メカニカルセルについては材料の組み合わせが異なり、小面積ではあるものの、すでに 15 年以上も前に海外からの実験結果が報告されている。

2) 大面積セルの製造技術 Ge 基板

Ge 基板 5cm×5cm 上において、MOCVD 法を用い、高品質 GaInAs、GaInP 膜成長技術を確立し、これらを組み合わせて GaInP /GaInAs /Ge の 3 セルを連続して作製して (互いにトンネル接合でつなぐ)、変換効率 31.2%を得た。

従来から提唱されていたトンネル接合の実現は困難であったが、新しい材料の組み合わせを用いて 3 接合セル用トンネル接合技術を開発したことは特記すべきである。さらに、Ge 基板に格子定数を合わせるために 2 層目のセルを GaAs に In を添加して GaInAs に変えたことも変換効率を世界最高とするのに役立っている。米国等が宇宙用超高効率セルとして類似の太陽電池を開発するきっかけとなっているようで、その成果は際立っている。

3) 大面積セルの製造技術 Si 基板

比較的安価な Si 基板上へのⅢ-Ⅴ族結晶半導体のヘテロエピタキシャル成長技術を開発し、5cm×5cm サイズの GaInP/GaAs 構造タンデムセルで変換効率 19%を得た。

格子不整合を解決するために、熱サイクルアニール技術を導入する等して転位密度の減少を図る等の検討はしているが、圧力によるクラック発生が起因して変換効率の向上が実現できていない。

原著論文数 77 件、特許出願件数 25 件の成果があった。

e.研究開発機関

運営機関：新エネルギー・産業技術総合開発機構

委託先：住友電気化学工業、ジャパンエナジー、沖電気工業

f.事後評価結果概要

メカニカルスタックセル、トンネル接合セルにおいて、変換効率が世界最高水準の結果を出している。特に、3 接合トンネル接合セルに関しては、高品質のトンネル接合形成技術を開発し、世界の技術の先端を示している。

GaAs 基板上、Ge 基板上の太陽電池は、5cm×5cm サイズとし、変換効率 30%以上の研究開発目標を達成したのに対し、Si 基板上では、応力によるクラック発生が起因して変換効率が向上しないことから、研究開発目標をかなり下回っている。

g.追跡評価のためのベース資料

ニューサンシャイン計画「太陽光発電技術研究開発」プロジェクト評価（事後）報告書（平成 14 年 7 月）

2-5 PV3.太陽電池・評価システム技術

a.実施期間

平成5年度～平成12年度（8年間）

b.研究開発費総額

18.95億円（平成9年度～平成12年度）

c.研究開発の目的

1) 性能評価手法に関する研究開発

各種新型太陽電池の分光感度波長帯域の高近似化のための要素技術の解析等により、太陽電池やサイズの多様化に対応可能な統一的性能評価手法を確立する。

2) 加速劣化試験方法の研究開発

国内外の実暴露加速劣化試験のデータに基づいて、結晶系及びアモルファス系の太陽電池セル並びにその構成部材を対象とした信頼性試験を行い、太陽電池モジュールの長期信頼性を模擬できる加速劣化試験方法を開発するとともに、20年相当の加速劣化試験条件を明確にする。

d.主な研究開発成果

1) PV31.太陽電池評価システムの研究開発

太陽電池評価システムの研究開発については、シミュレータ系については十分評価できる成果を上げ、その目的は達成したと見ることができる。有効照射面積、波長範囲、スペクトル合致率等、シミュレータとして要求される目標は達成され、実用の域に達したと思われる。

また、a-Si太陽電池の光加速劣化試験法として加速係数240倍を確認できたことは評価できる。

2) PV32.システム評価技術に関する研究開発

ライフサイクル評価の成果は、今回初めて実施したことであり、またシステムが発展途上にあるということもあり、ある程度の中のある値として確定できたという事は意義があると評価できる。

最適設計法にしても多様化に対応した汎用設計法にしても、その意義は、結果的にはコスト低減や信頼性向上につながるはずであり、それらとの関連性が目標の中に明記されていないため、技術開発そのもの及びその成果の評価が曖昧になっている。

システムの進歩が評価法に新たな仕様を要求するという連携関係を十分把握しつつ最適化設計法の確立を目指すことは重要である。

3) PV33.太陽光発電の信頼性向上に関する研究開発

電氣的安全性については目標を達成している。太陽光発電分散システムへの雷害等からの電氣的安全性確保の方策が明らかになった意義は評価できる。

研究開発としては、まだ未成熟の段階にあるため、信頼性評価の基本技術の確立という一般的表現が目標となっていることはやむを得ない点はあるが、確立という言葉にはかなり重い意味があり、その観点からは成果の達成度は不十分である。評価法の確立に向けての条件抽出あるいは不具合の発見までで終わっている。

原著論文数 57 件の成果があった（特許出願件数は 0 件）。

e.研究開発機関

運営機関：新エネルギー・産業技術総合開発機構

委託先：日本品質保証機構、電気安全環境研究所、四国総合研究所、日本気象協会、太陽光発電技術研究組合

f.事後評価結果概要

太陽電池評価システムの研究開発については、シミュレータ系については十分評価できる成果を上げ、その目的は達成したと見ることができる。有効照射面積、波長範囲、スペクトル合致率等、シミュレータとして要求される目標は達成され、実用の域に達したと思われる。

また、a-Si 太陽電池の光加速劣化試験法として加速係数 240 倍を確認できたことは評価できる。

システム評価技術に関する研究開発については、具体的な目標の設定が難しいことは理解しているが、汎用設計手法がコスト低減や信頼性向上につながるものの、それらとの関連性が目標の中に明記できなかったこともあり、それに対する目標の達成度を評価することは難しい。

g.追跡評価のためのベース資料

ニューサンシャイン計画「太陽光発電技術研究開発」プロジェクト評価（事後）報告書（平成 14 年 7 月）

2-6 PV4.太陽光発電利用システム・周辺技術に関する研究開発

a.実施期間

平成5年度～平成12年度（8年間）

b.研究開発費総額

34.98億円（平成9年度～平成12年度）

c.研究開発の目的

1) 新建材一体型太陽電池モジュールの開発

1-1) 住宅用屋根一体型太陽電池モジュールの開発

標準的な住宅屋根の南面相当の面積（35㎡程度）への3kW程度以上の太陽電池モジュールの設置を想定し、経済性、建材機能、デザイン性に優れた住宅用屋根一体型太陽電池モジュール構造を開発する。

※平成12年度目標

太陽電池モジュールとの一体化及びモジュール設置・調整に係る増加コストが、100MW/年・ライン程度の太陽電池量産規模において170円/W程度以下であること。
また、アレイ効率が8.5%以上であること。

1-2) ビル等建築物一体型太陽電池モジュールの開発

一定規模の導入が期待される複数種類の建材との一体化が可能な、経済性、建材機能、デザイン性に優れた建築物一体型太陽電池モジュールを開発する。

※平成12年度目標

100MW/年・ライン程度の太陽電池量産規模において、50千円/㎡程度以下のモジュールコストが可能であること。その際、太陽電池モジュールとの一体化及びモジュール設置・調整に係る増加コストが160円/W程度以下であること。

1-3) 建材一体型太陽電池モジュールの性能・長期信頼性の評価

建材一体型モジュールの性能及び長期信頼性を評価するための調査研究を行う。

2) 周辺装置

2-1) ACモジュール用周辺装置

ACモジュール用周辺装置（インバータ、系統連系保護装置等）の試作、実試験等によるシステムの性能の定量的評価、コスト低減や市場規模の見通しに関する調査研究及び系統連系に適した仕様・システム設計等に関する調査研究を行うとともに、ACモジュールの性能評価試験方法のための基本技術を確立する。

2-2) 太陽光発電システム用高信頼性蓄電池

保守間隔の延伸と長寿命化が可能な太陽光発電システムのための蓄電池に関する技術を確立するとともに、自動劣化診断技術を開発する。

※平成 12 年度目標

3,000 サイクル以上のサイクル寿命

(容量は 100~1,000Ah 程度。コストについては年産 200MWh 時に 12 円/Wh 程度以下であること)

3) 太陽光発電システム

3-1) 多種設置工法に関する調査研究

住宅以外での利用分野での設置形態及び設置可能量等についての調査研究を行うとともに、薄膜太陽電池や接着技術等を活用した新設置工法の信頼性・耐久性についての調査研究を行う。

3-2) 太陽光発電システムの高密度連系に関する調査研究

配電線系統で起こる可能性のある高密度連系規模を検討するとともに、現状における系統連系技術の適用限界に関する課題の明確化とその対策及びインバータの高付加価値化等の将来の系統連系技術に関する調査研究を行う。

3-3) 大規模システムに係る調査研究

国内の大型太陽光発電所や海外の砂漠等を利用した超大型太陽光発電の技術的・経済的可能性について調査研究を行う。

d. 主な研究開発成果

1) PV41. 新建材一体型太陽電池モジュールの開発

太陽電池・住宅・建材メーカー等が共同で、住宅用屋根一体型太陽電池モジュールとして高耐火性平板モジュール、高耐久性屋根モジュールを、ビル等建築物一体型太陽電池モジュールとして、新複層構造モジュール、高強度・軽量・大面積モジュール、曲面構造フレキシブルモジュール等の開発を目指し、コスト目標を概ね達成して、それらの実用性・耐久性を発電機能・建材機能の両面から確認している。これらはほぼ計画どおりの達成を見ている。

特に建材一体型によるシステムコスト低減意義は大きい。

しかしながら、住宅用、ビル用については順当な成果であるが、自立的普及にむけては十分とは言えない。より一層のコストダウンの方策を検討する必要がある。特に建材部分だけですでに在来コストを上回っていることは、耐候性をモジュールに負担させているわけであるから、一体型のメリットを追及するにはこの部分でコスト低下を一層進める必

要がある。

また、建材一体型だけでなくさらに低コストモジュール構造（当面キャスト、シート型セル用）の開発も、セルコストの低下にしたがって、モジュール全体のコスト低下のために不可欠となってきたので、この開発も確実路線低価格化には不可欠であろう。防火性能を考慮した曲面構造フレキシブルモジュールについては、2倍以上のコスト増加になり計画を達成することができなかった。防火性を考慮するという新しい機能を付け加えたものと、そうでないものとが同一のコスト目標を計画段階で設定すること自体無理があったのではないか。また、在来建材コストが他の用途にくらべ 50%~70%低いコストであるということから競合性を発揮するには、当初から困難性を持っていたと判断される。

防火性能を考慮した曲面構造フレキシブルモジュールについては、適切な対応が講じられたとは思えない。目標設定の段階から達成には困難性が予想されたはずであり、構成部材の検討段階で判断できたのではないか。プロジェクトのチェック機能が十分働いたとは思えない。

2) PV42.太陽光発電システム・周辺技術に関する研究開発（周辺装置）

AC モジュール用周辺装置の性能の定量的評価、経済性見通しについての目標は十分達成されたと言える。特に次世代 MIC（Module Integrated Converter）に対する知見は将来の太陽電池システムの発展の幅を大きく広げるものとして評価できる。太陽光発電システム用蓄電池についても 3,000 サイクル以上の寿命の確実及び、放電カーブ方式による劣化遮断技術の確立等、計画目標を達成している。

小型インバータの開発により太陽電池システムの建設工程や運用方法に大きな広がりを与えるため、その意義は大きい。

3) PV43.太陽光発電システム

多種設置工法及び、高密度連系に関する調査においては多くの新しい知見を得ることができ、今後の進展を期待できる達成度を示した。特に系統シミュレーションによる高密度連系問題では将来の都市型 PV システムの問題を定量化したものとして評価できる。

将来の小型分散システムと大規模集中システムの共存における課題が浮き彫りにされ、共存を達成されるための技術課題やシステム上の問題とその対策が明らかになったことは、開発主体ばかりでなく現電力供給者との連携を強化していく必要性を喚起したものである。

高密度連系システムでの太陽光発電の設置上限量が推定されるデータが出てきたことは普及の目安を与える上で意義は大きい。また、海外の砂漠等でのシステム設計開発は、国際社会での日本の地位を世界に認めさせるシンボルになることから、国家事業として実施したことは妥当である。

原著論文数 19 件、特許出願件数 17 件の成果があった。

e.研究開発機関

運営機関：新エネルギー・産業技術総合開発機構

実施機関：三洋電機、松下電池工業、ナショナル住宅産業、大同ほくさん、昭和シェル石油、鹿島建設、YKK、YKK アーキテクチュラルプロダクツ、シャープ、富士電機総合研究所、クボタ、松下電工、鐘淵化学工業、京セラ、ミサワホーム、太陽光発電技術研究組合、電力中央研究所、日本電池、関西電力

f.事後評価結果概要

市場創造につながる先進性としては、太陽光発電利用システム・周辺技術の研究開発が成果を上げている。住宅用屋根一体型太陽電池モジュールやビル等建築物一体型太陽電池モジュールは、開発目標を達成し普及への足場を築いている。

g.追跡評価のためのベース資料

ニューサンシャイン計画「太陽光発電技術研究開発」プロジェクト評価（事後）報告書（平成 14 年 7 月）

2-7 PV5.太陽光発電システムの実証研究

a.実施期間

平成5年度～平成12年度（8年間）

b.研究開発費総額

1.06億円（平成9年度～平成11年度）

c.研究開発の目的

離島用独立電源システムや未利用面等設置システムについて、システム設計や経済性評価手法のフィージビリティスタディ調査を行い、これらの中から実現可能性及び導入効果の特に高い太陽光発電システムについて実証研究を実施する。

d.主な研究開発成果

大、中、小規模離島のそれぞれについて整備した系統パラメータ諸元にもとづく実運用を想定したシミュレーションにより、太陽光発電、風力発電及び既存ディーゼル発電からなるマルチハイブリッドシステムの構成を検討した。発電コスト、燃料費削減効果等の経済性評価や運用性も含めた総合評価を実施し、小規模離島への導入が最も効果的であることを明らかにした。

原著論文数 1 件の成果があった（特許出願件数は 0 件）。

e.研究開発機関

運営機関：新エネルギー・産業技術総合開発機構

実施機関：沖縄電力

f.事後評価結果概要

大・中・小規模離島の電気系統パラメータ諸元を基に、実運用を想定したシミュレーションによって太陽光発電、風力発電及び既存ディーゼル発電を組み合わせるマルチハイブリッドシステム構成を検討、発電コスト、燃料費削減効果等の経済性評価や運用性を含めた総合評価をし、中小規模離島での効果を定量化する等、有用な知見を得ることができ、成果については評価できる。

g.追跡評価のためのベース資料

ニューサンシャイン計画「太陽光発電技術研究開発」プロジェクト評価（事後）報告書（平成14年7月）

3. 即効型高効率太陽電池技術開発 (H11～H12 (～H14))

a. 実施期間

平成 11 年度～平成 12 年度 (2 年間) *

※平成 13 年度から先進太陽電池技術研究開発に統合。平成 14 年度に研究開発終了。

b. 研究開発費総額

15.75 億円

c. 研究開発の目的

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、その普及を抜本的かつ急速に進める必要がある。太陽光発電の本格的な普及を目指すためには、薄膜技術等の長期的な技術課題への取り組みのみならず、一般的なタイプである結晶系太陽電池に係る技術のブレークスルーを図ることが不可欠である。このような状況を踏まえ、結晶系太陽電池の高効率化・高品質化を即効的に可能とする技術開発を実施し、新エネルギーとしての太陽光発電システムの導入促進に資する。

d. 主な研究開発成果

高品質インゴット製造技術の研究開発では、凝固速度制御の最適化等の検討を行い、高品質多結晶シリコンインゴット (サイズ: 44 cm×44 cm×17 cm、平均拡散長: 290 μm、最大拡散長: 450 μm) の製造技術を確立した。また、試作したインゴットから得た基板を用いて作製した太陽電池において変換効率 19.0%を得た。

薄型・大面積多結晶基板スライス製造技術の研究開発では、線径 120 μm のスライス用ワイヤを開発し、150 mm×300 mm の多結晶シリコンインゴットを厚さ 150 μm、カーフロス 150 μm でスライスできる技術を開発した。また、ワイヤの耐久性と使用技術の検討を行い、1 本のワイヤでインゴット 4 本 (基板 4,000 枚) のスライスが可能となった。

高効率セル化技術の研究開発では、高品質インゴット製造技術により製造した高品質インゴットを用いて太陽電池の高効率化技術を検討した。パッシベーション、ゲッターリング等の基板改質技術、光閉じ込め構造形成技術、接合形成技術、電極形成技術等を開発し、試作した太陽電池 (5 cm 角、厚さ約 300 μm) で、変換効率 18.4%、小面積で 19.0% (1 cm 角) の結果を得た。

原著論文数 6 件、特許出願件数 13 件の成果があった。

e. 研究開発機関

運営機関: 新エネルギー・産業技術総合開発機構

委託先: 太陽電池用原料技術研究組合 (川崎製鉄、シャープ、(京セラ))

※京セラは途中までの参加。

再委託先：九州大学、東京農工大学、東北大学、豊田工業大学、名古屋大学

f.事後評価結果概要

本プロジェクトは既存技術の高度化で太陽光発電を拡大する研究開発であり、市場が急速に立ち上がりかけている中で実施された。製造コストはほぼ目標値に達し、世界最高レベルの変換効率も得ており成果は満足できる。既に本事業で開発された技術や知見の一部は実用に供されており、今後更なる実用化も期待できる。実用技術に近いこの種の研究開発は、運用によっては本来国が関与すべきでない市場競争の分野に資金を流出し、かえって企業間の競争を阻害することにもなりかねないという危険もある。本プロジェクトが明確な開発目標を示して実施したことは、研究開発マネジメント面でそうした危惧を避けようとする努力であったと評価できる。

本プロジェクトは、結晶シリコンは高価であるという前提に立った、シリコン結晶系太陽電池製造技術の下流部分に焦点を絞った開発であり、上流部分の過去に実施した低コストシリコン原料開発研究等と殆ど関係の無いものになっている。歩留まり等を含めた大規模生産への分析を通し、太陽光発電の普及の夢を増大させるプロジェクトであるべきであったと考えられる。例えば、太陽電池用シリコン原料からの一貫生産の最適化を再検討し、1社（研究組合）1GWスケールの生産を想定したシナリオが考えられる。他のエネルギーとの競争力はいまだ脆弱であり、新たな公共事業としてサポートすることにより将来の大きな成果が期待できる。以上の評価を考慮した新たなプロジェクト展開を検討すべきである。

g.追跡評価のためのベース資料

「太陽光発電技術研究開発「先進太陽電池技術研究開発」（即効型高効率太陽電池技術開発）」事後評価報告書（平成15年9月）

4. 先進太陽電池技術研究開発 (H13～H17)

本プロジェクトは、NEDO5 年計画の期間に入り、「革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発」(後述)、「太陽光発電システム共通基盤技術研究開発」(後述)とともに開始されたもので、企業を中心に実施された。

a.実施期間

平成 13 年度～平成 17 年度 (5 年間)

b.研究開発費総額

103.27 億円

c.研究開発の目的

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、技術の早期実用化及び急速な導入普及が求められている。

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。当面の目標である 2010 年度の導入目標 482 万 kW の達成には、発電コストをユーザーが導入補助金なしで自発的に購入しうるレベル (家庭用電力料金並み) にまで低減することが必要である。

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とする。

d.主な研究開発成果

シリコン結晶系薄膜太陽電池モジュール製造技術においては、目標のセル面積 3,600 cm² で効率 12%を達成した。これは新たに内部光閉じ込め効果を生む透明中間層の開発や超高周波プラズマ CVD 等の新たな高速大面積製膜法の開発が寄与した。

CIS 系薄膜太陽電池モジュール製造技術開発においては、反応炉、バッファ層、TCO 窓層等の製膜方法の最適化や CIGS 膜のバンドギャップ最適化等によりセル面積 3,600 cm² で高速製膜条件で効率 13%を達成した。

超高効率結晶化合物系太陽電池モジュール製造技術開発については、3 接合セルの高効率化 (電極パターン最適化、トンネル接合特性向上等) と共に、集光システムの高性能化等により、ほぼ目標を達成する見込みが立った。このため、本開発項目を早期 (～H16) に完了させた。その後、試験販売やサンプル出荷などにより国内数箇所にて 1kW から 3kW クラスのものを設置した。また海外においては、オーストリア、スペインなどで 200kW から 1MW 級の発電施設が事業化され、米国の企業も世界各地で 10MW のフィールド試験を

実施するなど事業化が進んでいる。

また、いずれの開発項目においても、目標の柱となる製造コスト目標 100 円/W について達成することができた。

原著論文数 197 件、特許出願件数 310 件の成果があった。

e. 研究開発機関

運営機関：新エネルギー・産業技術総合開発機構

委託先：カネカ、三菱重工業、産業技術総合研究所、昭和シェル石油、
松下電器産業、太陽光発電技術研究組合（シャープ※、大同特殊鋼※、大同
メタル※） ※平成 16 年度まで。

再委託先：東京工業大学、立命館大学、奈良先端科学技術大学院大学、豊田工業大学、
豊橋技術科学大学、東京農工大学、福井大学

f. 事後評価結果概要

本事業は、エネルギー問題・環境問題の解決のため、そして原料シリコン供給限界を克服して安定した量産体制を構築するためには不可欠である。太陽電池のロードマップに基づきコストと効率が世界で対抗できるレベルを課しており、全研究テーマで目標がほぼ達成され、しかも事業化への取り組みもなされている点は、事業体制を構成する研究開発実施者の高い能力を裏付けるものであり、大いに評価できる。また 3 テーマとも、その研究開発成果は世界最高水準であり、特許の出願、国際会議・論文の発表等の情報発信も十分に行われている。従って、本事業は世界トップレベルの成果が得られたので、総合的に高い評価ができる。

今後の課題として、アジアマーケット、特に中国に視野を広げた拡販を考えること、製造原価の更なる引き下げとエネルギー変換効率のアップの努力を継続すべきこと、建築物一体型化を行うための業界へのマーケティングを行うことが挙げられる。また市場の拡大と大量普及につなげるためには、政府による継続的助成が必要であり、NEDO の技術評価結果が、我が国の政策に適宜反映されるような総合的なマネジメントを期待する。

g. 追跡評価のためのベース資料

「太陽光発電技術研究開発（先進太陽電池技術研究開発）」事後評価報告書（平成 19 年 2 月）

5. 革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発 (H13～H17)

本プロジェクトは、NEDO5カ年計画の期間に入り、「先進太陽電池技術研究開発」(先述)、「太陽光発電システム共通基盤技術研究開発」(後述)とともに開始されたもので、3つの中では、基礎研究寄りを担うプロジェクトであり、革新的な発電素子やその作成技術等、従来の概念にとらわれない新しい材料・構造・製造方法等による要素技術の開発、当該要素技術の実用化の見極めを行ったものである。

a.実施期間

平成13年度～平成17年度(5年間)

b.研究開発費総額

77.61億円(予算ベース)

c.研究開発の目的

今後の情報化社会、高福祉社会の進展等により、我が国のエネルギー需要、特に電力需要の拡大が予想される一方、国際的にも化石燃料の枯渇や地球環境保全の対応への必要性等の観点から、無尽蔵かつクリーンな太陽光発電システムの普及促進が社会的要請となっている。また、これまでの種々の施策により、我が国における太陽光発電システムの導入量、生産量はともに世界最高水準にあるが、長期的視野から2010年以降の一層の大量普及の推進が求められている。

このため、長期的には、2010年以降の一層の大量普及実現、国際協力を含む海外市場への対応等のため、発電コストを業務用電力料金並みさらには既存電源レベルにまで低減することが不可欠である。

本研究開発では、2010年以降の太陽光発電システムの大量普及を実現するために、業務用電力料金、既存電源に匹敵する発電コストを可能とする革新的次世代太陽光発電システムの開発を実施し、太陽光発電の本格的な普及促進に資することを目的とする。

d.主な研究開発成果

実施した40テーマを太陽電池等の分野別に、薄膜シリコン太陽電池12テーマ、CIS系薄膜太陽電池7テーマ、色素増感太陽電池7テーマ、結晶シリコン太陽電池7テーマ、その他太陽電池6テーマ、システム技術1テーマに分類し、成果概要を記す。

①薄膜シリコン太陽電池

高効率化のために、アモルファスシリコン(a-Si)の光劣化抑制技術、多接合セルの構造・材料・界面制御技術の開発、また高生産性のために、微結晶Si膜等の高速製膜技術の開発を行った。

- ・ a-Si の光劣化抑制技術として、ナノ結晶シリコンを a-Si 相内に分布させることにより、光劣化率 3.6%を得た。
- ・ 多接合セルのトップセル用ワイドギャップ材として、禁制帯幅 2.2eV の微結晶 3C-SiC、開放電圧 1V の a-Si 系膜の開発、またボトムセル用ナローギャップ材料として微結晶 SiGe や欠陥密度 $2 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 以下の微結晶 Si/Ge 超格子薄膜の開発を行った。
- ・ 微結晶 Si 膜の高速製膜では、製膜速度 13.5nm/s、欠陥密度 $1.6 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ を達成した。

② CIS 系薄膜太陽電池

高効率化のために、開放電圧向上に向けたワイドギャップの光吸収材料・新規バッファ層、界面制御技術の開発、多接合化等の開発、また低コスト化のために、非真空プロセスの開発を行った。

- ・ ワイドギャップ（禁制帯幅 1.3eV）の CIGS 太陽電池で効率 18.1%を達成した。また CdS/CIGS 界面の伝導帯・価電子帯のバンド不連続の測定に成功した。新規ワイドギャップバッファ層として、ZnMgO の開発を行った。
- ・ 多接合化では、4 端子メカニカルスタック型で世界最高の効率 11%を達成した。
- ・ 非真空プロセスとして、めっき法による Cu、In プリカーサを用いた CuInS₂ 太陽電池で効率 10.5%を実現した。またメカノケミカル合成法の低コストプロセスとしての可能性を示した。

③ 色素増感太陽電池

高効率化のために、高性能光電極、新色素材料、セル構造の開発、さらに実用化を見据えたモジュール化技術の開発、また耐久性向上のための電解質の凝固化等の開発を行った。

- ・ 高性能光電極として、チタニアの構造最適化による光閉じ込め効果の向上等により世界最高水準の効率約 11%を達成した。新色素材料としてクマリン系で効率 8.3%を得た。また効率 15%を実現するタンデムセル構造の設計指針を得た。
- ・ モジュール化では、10cm 角ガラス基板モジュールで世界最高の公認効率 6.3%を達成した。また 1,190 mm×840 mm の大型モジュールパネルを試作した。
- ・ 電解質の凝固化では、イオンゲル電解質を開発し 9mm×5mm セルで世界トップレベルの効率 6.5%を得るとともに 85°C×1,000 時間の照射で低下率 10%以下の耐久性能を達成した。

④ 結晶シリコン太陽電池

シリコン使用量低減による低コスト化のために、スライスレスのシリコン粒集光セル、超薄型基板スライス技術の開発、また高効率化のために、超薄型基板対応セル化プロセス、多結晶インゴットの高品質化、高効率セル構造の開発を行った。

- ・シリコン粒集光セルでは、単セルで約 11%の効率を実現した。
- ・超薄型基板スライス技術として、ワイヤーソーススライスにより板厚 70 μm の切りだしに成功した。(両面のダメージ層除去で最終板厚 50 μm が可能) また放電加工スライス、プラズマスライスでは、ワイヤーソーススライスよりも切り代を低減可能であることがわかった。
- ・超薄型基板対応セル化プロセスとして、光閉じ込め表面テクスチャ、キャリア再結合防止のためのパッシベーション、基板割れ・反り防止セルプロセスの開発を行い、板厚 80 μm の裏面ポイントコンタクト構造で厚さ 210 μm の従来型 BSF 構造並の開放電圧、短絡電流を実現した。さらに基板の曲げ応力試験により、50 μm 級基板のセル化が基本的に可能であるという見通しを得た。
- ・多結晶インゴットの高品質化では、粒方位等、結晶組織の制御により従来の多結晶より、効率が向上することを示した。
- ・高効率セル構造として、微結晶 3C-SiC を用いた新型ヘテロ構造の有効性を確認した。

⑤その他太陽電池

有機薄膜や化合物等その他太陽電池は、2030 年頃の実用化に向けた長期的視野でのシーズ探索研究の対象である。

- ・有機薄膜太陽電池の高効率化として、バルクヘテロ接合で世界最高レベルの効率 3.6%を実現し、本接合構造が高効率化に寄与することを明らかにした。
- ・化合物太陽電池の高効率化では、p-GaAs/i-n InGaAsN ヘテロ接合太陽電池で世界最高水準の効率 11%、量子ナノ構造太陽電池では InGaAs/GaAs 系 3 段階変調量子井戸太陽電池で効率 18.27%を実現した。

⑥システム技術

大量普及への対応として、自律度向上型の PV コミュニティシステムの基本構想を構築し、開発課題として、①電力制御(集中制御)、②蓄エネルギーコスト、③通信制御、④予測(発電・負荷)、⑤配線コスト(地中)があることを把握した。またこれに使用するシステム機器の低コスト・多機能化等についての知見を得た。

原著論文 437 件、特許出願件数 166 件(うち外国出願 23 件)の成果があった。

e. 研究開発機関

担当原課：産業技術環境局 研究開発課 (H13 年度)

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
(H14 年度～H17 年度)

委託先：産業技術総合研究所、九州大学、凸版印刷、スタンレー電気、日本板硝子、

東京大学、神奈川科学技術アカデミー、北陸先端科学技術大学院大学、大阪大学、岐阜大学、住友大阪セメント、古河機械金属、林原生物化学研究所、シャープ、東北大学、新光電気工業、旭硝子、システム技研、クリーンベンチャー21、東京工業大学、名古屋工業大学、中部大学、金沢大学、日本触媒、鹿児島大学、青山学院大学、日立電線、横浜国立大学、フジクラ、筑波大学、豊田工業大学、長岡工業高等専門学校、長岡技術科学大学、龍谷大学、九州工業大学、北九州工業高等専門学校、北九州市立大学、新日鉄化学、古河電気工業、東海大学、富士機械製造、ジャパングアテックス、大阪市立工業研究所、奥野製薬工業、福井大学、太陽光発電技術研究組合、三洋電機、カネカ、三菱重工業、名古屋大学、東京理科大学、ペクセル・テクノロジーズ、三菱電機、東京農工大学、岡山大学、日平トヤマ、群馬大学、群馬工業高等専門学校、信州大学、産業創造研究所、京都大学、新日本石油、(再委託先：ジーエス・ユアサパワーサプライ、藤森工業、システムインスツルメンツ、愛媛大学、奈良先端科学技術大学院大学、早稲田大学、静岡大学)

f.事後評価結果概要

太陽電池業界の現状及び技術動向を踏まえ、PV2030で策定されたコスト目標の達成のために長期展望に立って行われた本事業は、開発目標の設定・採択課題等においておおむね妥当であったと考えられ、多岐にわたる太陽電池分野においてその技術レベルが世界的水準にあることや実用化に近い成果が得られていることは、適正なマネジメントが行われており高く評価できる事業であったと判断できる。

一方で、本事業ではチャレンジングなテーマが多いことから目標値の設定方法に関しては一考の余地があったと考えられ、多岐にわたる技術分野の中でテーマ・目標値をどのように決めて推進していくかは慎重な議論が必要と考えられる。

g.追跡評価のためのベース資料

「太陽光発電技術研究開発 革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発事業」事後評価報告書（平成19年2月）

6. 太陽光発電システム共通基盤技術開発 (H13～H17)

本プロジェクトは、NEDO5 年計画の期間に入り、「先進太陽電池技術研究開発」(先述)、「革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発」(先述)、とともに開始されたものである。この 3 つの中では、共通基盤的な技術開発を担うプロジェクトであり、太陽電池の評価技術の開発等を狙ったものである。

a.実施期間

平成 13 年度～平成 17 年度 (5 年間)

b.研究開発費総額

42.33 億円

c.研究開発の目的

太陽光発電システムは、発電時に燃料が不要でかつクリーンな発電技術であり、その供給ポテンシャルも大きい。したがって、エネルギー資源の乏しいわが国の将来に必要な発電技術として、その早期実用化と導入拡大が求められている。実際に、太陽光発電システムの 2010 年度の導入目標として 4,820MW が掲げられており、この目標を達成し、太陽光発電システムの自立的な導入拡大を実現するためには、太陽電池の低コスト化ばかりでなく、太陽光発電システムの性能評価や信頼性等に関する共通基盤技術を確立することが不可欠であり、総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会でも「新エネルギーの共通基盤的技術開発については、国が中心となって実施すべき」と報告されている。このような観点から実施する本事業は、公共的性格が濃く、また、太陽光発電技術の導入は我が国の長期エネルギー・環境政策にも密接に関連することから、国が主体的役割を果たすべきものと考えられる。

d.主な研究開発成果

太陽電池評価技術の研究開発

(1-1) 太陽電池評価技術における太陽電池性能評価の開発では、各種太陽電池セル、モジュールの評価装置を各委託先に移設し、移設前に比較して十分な評価精度が得られることを確認し、一次基準セル校正の国際比較 (WPVS) へ参画して、日本の校正值の精度は、国際トップレベルであることを実証した。誤差解析及び各種校正機器を開発し、一次校正の管理状態を従来の 1% (6σ) から 0.6% (6σ) に大幅に向上した。また、光線平行度 2 度以下のソーラシミュレータを開発し (世界初)、トレーサビリティの国際整合を可能とした。

(1-2) 太陽電池評価技術における適合性評価の開発では、新型太陽電池セル (色素増感、タンデム等) 用の性能評価装置の誤差解析により、測定精度向上のために必要な機能 (課

題)を明確化し、目標を達成した。また、結晶 Si 系モジュールの性能評価技術に関しては、屋外での性能に重要な照度・温度による特性変化を高精度に補正する技術を開発した。基準モジュール測定用に、国際規格に完全適合したソーラシミュレータを開発した。同時に、世界で初めて薄膜系等の応答性の遅い太陽電池にも対応可能とした。NEDO 開発品等の性能評価を実施した。(産総研)

太陽電池モジュールの適合性評価手法の開発については、モジュールが具備しなければならない、性能・信頼性及び安全性に関する要件を短期間で確認できる適合性評価技術の開発を目指し、太陽電池モジュールが実フィールドで受ける光的、熱的、電氣的、機械的及び隣家の火災による飛び火等の各種ストレスにおける影響とともに、IEC 規格の妥当性について検証した。(JET)

(1-3) 太陽電池評価技術における複合加速試験方法の開発については、複合加速試験装置を開発し、太陽電池出力特性の光放射条件と温度条件依存性を調べ、放射照度 3SUN、温度 90℃の加速試験条件での加速係数はおよそ 200 倍に達することが判った。

太陽電池面の白濁劣化解析は、白濁面積測定装置を使用して、定量的に評価したところ、白濁劣化 (EVA 剥離に関する劣化) は温度・光のサイクル試験が有効であることを確認した。出力低下は窓材 (EVA) の透過率低下による影響が大きく、白濁の影響は小さいことが分かった。(産総研)

太陽電池モジュールの複合加速劣化試験方法の開発に向け、長期曝露データの収集を実施し、定期評価 (年 2 回) により白濁現象、直列抵抗増加現象の進行度合いを求めた。

長期屋外曝露試験は、国内 3 サイト (北見、鳥栖、宮古島)、海外 1 サイト (オマーン国) で実施し、最長 15 年におよぶモジュール劣化状況の取りまとめを行った。なおオマーンサイトにおける長期曝露試験では日本と異なる環境 (超高温) におけるモジュールの経年変化 (出力性能低下)、砂塵の影響、モジュールの設置角度の相違と砂塵堆積による出力への影響等についてまとめた。

一方、長期間曝露されたモジュールの白濁等の劣化症状や発生割合を定量的に把握するため、長期間運用実績のある太陽光発電システムに設置された 9 機種のべ 8,000 台のモジュールの劣化発生状況を調査し、劣化現象の症状や発生割合をまとめた。(JET)

太陽光発電システム評価技術の研究開発

(2-1) 太陽光発電システムの設計支援技術については、パラメータ分析法に基づく統計的手法を開発し、精度検証の結果、月単位の発電量推定誤差が±10%未満であることを明らかにし、産総研-Web サイトで一般に公開した。また、日陰の問題等、個々の住宅特有の性能低下要因を設計に反映させることを可能とする手法の開発を目指し、新しくアレイ構成設計基本単位の考え方を導入した「PV クラスタ」ごとの出力変化を評価することができる「動作点移動解析モデル」を提案し、日射や温度のアンバランスの生じる複面システム

でも、最適ストリングパターンを設計する手法を開発した。

施工・性能診断支援技術については、静的性能診断手法として、太陽光発電システムの直流側、交流側の実発電状況とシミュレーションから得られる推定値を比較し、異常を判定する手法を開発した。(NPO 法人：太陽光発電所ネットワークの「PV 健康診断」に活用) また動的性能診断手法として、アレイ端から信号波を入力し、その反射波を観測するタイム・ドメイン・リフレクトメトリ法を開発し、不具合箇所・種類の特定に有用であるとの見通しを得た。

これらの技術を総合支援技術として取りまとめた。(産総研)

(2-2) 太陽光発電システムの運転データの収集とその分析については、住宅用 PV システムの運転データ収集・分析により各種 PV システムの運転データを蓄積し、概ね順調に稼働していることがわかった。また、単面設置と複面設置システムの運転特性の違いはアレイの設置姿勢による影響が大きい場合が多いことがわかった。

不具合事例に関する設置者(対象約 1,000 軒)の意識調査を行い、設置者意識の実態を取りまとめるとともに、PV システムの大量普及に向けた提言を取りまとめた。(JET)

なお、平成 18 年度ではエネルギー定格技術の構築に向け、試験設備の導入と計測の確認を実施した。(産総研)

太陽光発電システムのリサイクル・リユース処理技術等

(3-1) 結晶シリコン太陽電池モジュールの研究開発では、結晶 Si 太陽電池モジュールについて 15 年間使用したモジュールは、その大半で継続使用が可能であることが確認できた。また、使用済みモジュールは、裏面フィルム等を補修することでその延命化が期待できる。モジュールからの Si 材料リサイクル手法としては、燃焼による EVA の除去、回収 Si セルのエッチングによる不純物除去のプロセスが有望であることが確認できた。さらにリサイクルプロセスの経済性評価として、回収セルからの Si 再生処理コストを試算した結果、10 円/W の処理コストを実現するには年間 500MW 強の処理量が必要であると推定できた。(シャープ)

リサイクラブルモジュール構造については、フィルム-セル間の光学的接触条件の改善を行い、発電効率向上を図った(対従来型比 88%→94%)。実用規模での実証を行うため、16 直列モジュールによるリサイクル・ループ試験を行った結果、セルの物理的回収成功率は 99.7%であるとともに、耐候性試験前後でのモジュールの劣化も認められず、良好な結果を得られた。LCA 評価の結果、従来型に比べ投入エネルギー量で約 73%、CO₂ 排出量で約 78% (9 セル直列試作モジュール) と効果が確認できた。(産総研)

(3-2) CIS 系薄膜太陽電池モジュールの研究開発では、2 枚のガラスが貼り合わされた構造であることから、モジュール全体を加熱することで接着剤として使用する EVA 樹脂

を軟化させた状態で、カバーガラス（白板ガラス）と基板ガラスに対して反対方向の外力を加えることで、カバーガラスが分離できる（CIS系薄膜太陽電池モジュールを分解できる）ことを確認した。この原理を適用したカバーガラス分離装置を開発し、30cm×30cm サイズモジュールの分離実験で、80%以上の成功率を確認した。回収したCIS系薄膜太陽電池デバイス部から、有価物として、カバーガラス、金属粉末、Mo裏面電極層付き基板ガラス（または、Mo裏面電極層からの金属スラッジ及び基板ガラス）を分離・回収する乾式プロセスを開発した。これにより目標コストを達成できる見通しが立った。（昭和シェル石油）

(3-3) 太陽電池モジュール用ガラスの研究開発では、結晶Si太陽電池モジュールを対象としたリサイクルの基本プロセスを明確にした。さらにガラスの回収率を上げるため、新たなリサイクルプロセスを開発し、ガラスの回収率90%以上を達成した。開発したガラス回収プロセスのLCA評価を行い、CO₂の削減に有効であることを確認した。また経済性についても試算を行ったところ、産業廃棄物処理費用並みにできることを示した。なお、薄膜シリコン系太陽電池のガラスのリサイクルについても薄膜を除去せずに板ガラス原料として使用可能であることを示した。（旭硝子）

(3-4) 太陽光発電システム適正処理のための社会システムの研究については、PVモジュールを確実にリサイクル・リユースするための課題を抽出し、その対応策として、解体業者が住宅用PVモジュールを低コストで回収可能であること、既存業者が一部設備を導入してPVモジュールのリサイクルは可能であることを示した。さらに、PVモジュールのリサイクル・リユースシステムを実現するために必要となる事項（ガイドライン案）について以下の項目についてまとめた。

1) PVモジュール設計ガイドライン：PVモジュールの設計段階からリサイクルし易いモジュール構造にする。モジュール製造メーカーが対応する要件である。

2) 撤去及び回収ガイドライン：PVシステムからPVモジュールの撤去、回収を確実に低コストで行う。モジュール製造メーカー、PV施工・販売業者が対応する要件である。

3) リサイクル処理ガイドライン：回収したPVモジュールを低コストでリサイクル処理できる技術と体制を築く。PV関連業界（団体）が国と協力して対応する要件である。（PVTEC）

太陽光発電システムの電磁環境性に関する研究開発

太陽光発電システムの電磁環境性に関する研究開発では、太陽光発電システムのEMC測定手法等に関する調査を基に、IEC61000シリーズを仮の指標として評価項目と基準を設定し、各種測定条件のもとでエミッション及びイミュニティ測定を実施した。この結果、多くの測定項目で住宅環境限度値を超過している事が確認できた。この対策については解決手法を提示すると共に、太陽光発電システムの電磁環境両立性に関する試験方法の標準

化に向けた一次案を作成した。(JET)

その他について

本事業では全国標準日射データベースの構築を行い、1km で全国約 830 ヶ所の気象官署・アメダスデータを元としたデータベースを完成させた。また、日本全国の太陽光発電システムを設置することが可能な設置許容量について、住宅分野、非住宅分野、非建造物分野等で明らかにした。加えて、海外の研究開発及び施策等に関する動向について逐次調査を行い、研究開発にフィードバックさせた。

論文数 43 件、特許出願件数 10 件、口頭発表数 54 件、報道 1 件の成果があった。

e. 研究開発機関

運営機関：新エネルギー・産業技術総合開発機構

委託先：産業技術総合研究所、電気安全環境研究所、太陽光発電技術研究組合（昭和シェル石油、シャープ、旭硝子）、資源総合システム※、日本気象協会※、エネルギー総合工学研究所※、電力中央研究所※、日本電池※、みずほ情報総研（富士総合研究所）※ ※調査研究

f. 事後評価結果概要

将来の地球環境・エネルギー政策を推進していく上で、技術的にも導入実績においても我が国が世界をリードしている太陽光発電の更なる普及拡大は、国際競争力強化の意味も合わせて極めて重要と考えられ、そのために必要な共通基盤技術を選定・推進してきたことは高く評価できる。中立機関である産業技術総合研究所と電気安全環境研究所を核として、太陽光発電システムの実用化・標準化に不可欠な JIS 化や、認証制度の確立等、事業の目的に沿ったプロジェクトが推進され、当初の目標を達成していると判断する。

一方、総論として太陽光発電分野の成果創出に貢献が認められるものの、各個別テーマの細部に渡り十分な成果管理がなされてきたのか疑問が残る。各個別テーマの成果が今後の太陽光発電の普及促進にもたらす効果の定量的な分析結果が示されることが望ましい。

g. 追跡評価のためのベース資料

「太陽光発電システム共通基盤技術研究開発」事後評価報告書（平成 19 年 3 月）

7. 太陽光発電技術研究開発 (H13～H17)

a.実施期間

平成 13 年度～平成 17 年度 (5 年間)

b.研究開発費総額

14.1 億円

c.研究開発の目的

新エネルギー・産業技術総合開発機構における「太陽光発電技術研究開発事業」を補完し、総合的に支援するため、一層低価格で高効率な太陽電池の開発、性能評価技術の確立や中立的な評価の実施、既存システムとの連系技術の確立、リサイクル技術の確立、実環境における太陽光発電システムの性能分析等の課題を達成するための技術開発を行う。

d.主な研究開発成果

①薄膜シリコン系太陽電池の研究開発

- ・アモルファスシリコンにおいては、劣化後の効率として世界最高水準の 9 % 超を達成した。
- ・微結晶シリコンにおいては、当時世界最高の 8nm/s の製膜速度を達成。
- ・微結晶シリコンの高速製膜技術を開発し、毎秒 2nm の製膜速度で、変換効率 9.13% の太陽電池を製作できた。
- ・上記の成果に基づいたタンデム構造の太陽電池で、変換効率 12.4% を達成した。
- ・アモルファスシリコン及び微結晶薄膜の微視的な形成機構を明らかにするため、シランプラズマ中の反応前駆体であるシランラジカルの濃度計測が可能なキャビティエーリングダウン (CRD) 法及び製膜時の成長過程を明らかにできる分光エリプソメトリー法等の実時間観測技術を新たに開発し、気相ならびに表面における製膜過程を明らかにした。電池特性の決定要因については未解明な点は残るものの、少なくとも界面でのエピタキシャル層が悪影響を及ぼすことを明らかにした。

②超高効率低コスト CIS 系太陽電池技術の研究開発

- ・高度な製膜中その場観察技術を開発し、CIGS 光吸収層の製膜技術を改良することで、禁制帯幅 $E_g \sim 1.2\text{eV}$ の CIGS 太陽電池で変換効率 $\eta = 18.5\%$ 、 $E_g = 1.3\text{eV}$ で $\eta = 18.1\%$ 、CGS 太陽電池 (禁制帯幅 1.7eV) でも $\eta = 8.4\%$ と世界最高レベルの変換効率を実現した。
- ・10cm 角以上ガラス基板上に抵抗率 $2.1 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ 、可視光域での平均透過率が 80%～90% の透明導電膜の製膜を実現した。

③極薄膜結晶シリコン太陽電池の研究開発

- ・完全拡散反射基板とシリコン表面の全反射による光閉じ込め型セルの理論的シナリオ (膜厚の関数として理論的限界値) を確立した。

- ・厚さ 2 ミクロンの極薄膜シリコン太陽電池として世界トップの高光電流出力 26.8Ma/cm^2 を実現し、光学的なシミュレーションとの比較から、基板反射率 96.3% を反映した「光閉じ込め太陽電池」が実現されていることを確認した。ただし、極薄膜シリコンの電気的な膜質が不十分なため電気的なキャリア閉じこみを反映した光電流出力 (31.6Ma/cm^2) には到達しなかった。
- ・薄膜結晶シリコン基板に適用できる表面パッシベーション技術として、キンヒドロノ/メタノール溶液を用いたパッシベーション方法を提案した。シリコン基板の表面再結合速度として、 4.2cm/s と極めて低い値が得られ、シリコン基板表面が十分不活性化されることが明らかとなった。
- ・低温成長 2 段階成長法を開発し、変換効率 13.54% ($V_{oc} 0.597\text{V}$, $J_{sc} 34.37 \text{ Ma/cm}^2$, $FF0.659$) の世界トップレベルの低温エピタキシャル接合セルの試作に成功した。
- ・室温でのエピタキシャルシリコン結晶成長に世界で初めて成功し、効率 13.52% の室温エピタキシャルシリコンセルを試作し、室温低コスト化の可能性を示した。
- ・界面再結合速度 $1,000 \text{ cm/s}$ 以下の良好な BSF 層の低温 (200°C) での堆積に成功し、 $100 \mu\text{m}$ 厚の効率 12.87% の BSF 型薄膜セルを試作した。デバイス物理の観点から、界面再結合速度低減の理由を明らかにした。

④太陽電池の高効率化を目的とした光拡散反射性基板の研究開発

- ・セラミックス光拡散性基板型太陽電池において、光閉じ込め効果を増大するために基板と半導体層の間に設ける薄膜バッファ層の屈折率及び膜厚について、バッファ層の屈折率を基板の屈折率よりも大きくしなければならないこと、バッファ層の厚さとして 100nm 程度を採用すべきであること等の設計指針を明らかにし、目標を達成した。

⑤超高効率太陽電池基板製造技術の研究開発

- ・ 500kHz 近傍の印加周波数を用いた高周波磁場印加融液内自然対流制御技術により、結晶成長面内の局所熱伝達率分布の面内標準偏差が平均値の 10%程度となることを確認した。

⑥薄膜結晶化合物太陽電池の研究

- ・低温成長初期バッファ層 (LT-Buffer) の厚さが、 100nm 以上の場合 TCA を施すと膜質が大きく向上する事を見いだしたが、試作プロセス未整備のため太陽電池性能による評価ができていない。

⑦太陽電池・モジュールの長期性能評価及び寿命予知のための技術開発

- ・ $a\text{-Si}$ 系、CIGS 系薄膜太陽電池・モジュールについて各種複合環境下で長期加速劣化試験を実施した。これらの薄膜系は発電性能の一時的向上あるいは急激な劣化、暗状態または順バイアスでのこれらの可逆的回復等、従来の結晶系電池にはない物性的に特異・複雑な現象がある。特性の経時的挙動を新開発した極微弱光測定法、低温光 C-V 法、さらにオージェ分析、赤外分光分析等を駆使して詳細に観測し、寿命予測モデルに要求される各種環境因子に対する劣化・故障モード及びストレス加速性の劣化を律速す

る主因子である光・温度の長期劣化予測式及び劣化速度係数を導出し、また欠陥準位の生成等、接合/界面の物性レベルまで掘下げたメカニズム的根拠に基づく定量化モデルの基礎を構築して、前半期の目標を達成した。後期の開発目標であるモデルの普遍化、モジュール・システムへの適用の実験的検証を進め、CIGS系電池について性能の半減寿命 20~40 年を予測した。

- ・品質検査、性能改善のための情報フィードバック等に応用できる微小スポット光、パルス光及びライン光励起法による診断技術を提案し、評価装置の特許出願及び試作して検証した。目標の基礎技術はほぼ達成し、ライン光励起による評価・診断装置は(株)セルシステムと特許実施契約を締結して、高速自動の実用装置を実現し、製品として販売を開始した。

⑧新規な色素増感型太陽電池の性能評価

- ・現状で考えられるあらゆる要素(太陽エネルギー変換効率や短絡電流(Isc)、量子収率、光吸収効率、形状因子(ff)、開放電圧(Voc)、温度や光量、吸収波長、スペクトルミスマッチ、セル面積、セル形状、マスク効果、光散乱効果、リード線及び接触抵抗の各種影響と測定方法)を検討し、上記目標の評価方法を確立した。

原著論文数 152 件、特許出願件数は 28 件の成果があった。

e.研究開発機関

産業技術総合研究所

f.事後評価結果概要

基礎的な分野を中心に、太陽電池技術の先進的かつ先導的な研究開発が行われ、将来的に、太陽光発電の低コスト化や量産化に対して大きな貢献が期待できる種々の成果が得られたと評価される。また、論文等を通じた成果の公表、さらには関連する外部プロジェクトや企業との連携がなされ、成果の波及効果や事業化への進展も期待できる。費用対効果については、各成果の今後の波及結果を待たなければならないが、全体的には今後の技術開発に対して大きな貢献が期待できる成果が得られたことにより、概ね妥当と判断される。

ただし、数値化しにくい目標設定もあることから、課題設定プロセスにおいて、目標設定について外部有識者との意見交換が必要であると思われる。

g.追跡評価のためのベース資料

「太陽光発電技術研究開発(電源利用技術開発等委託費)プロジェクト評価(事後)報告書(平成19年3月)

8. 太陽光発電システム普及加速型技術開発 (H12～H17)

a.実施期間

平成 12 年度～平成 17 年度 (6 年間) *

※平成 16 年度終了予定であったが、最終年度の公募テーマの研究開発期間が平成 17 年度まで延長した。

※平成 12 年度から平成 14 年度は「太陽光発電システム普及促進型技術開発」として実施。

b.研究開発費総額

44.12 億円 (平成 12 年度から平成 14 年度の「太陽光発電システム普及促進型技術開発」を含む)

c.研究開発の目的

エネルギーセキュリティの確保及び地球環境問題への対応の観点から、太陽光発電の普及を抜本的かつ急速に進める必要がある。ニューサンシャイン計画等における技術開発の進展や住宅用太陽光発電導入基盤整備事業等の導入施策の展開もあり、ようやく太陽光発電の初期導入段階といえる状況になってきたところであるが、今後太陽光発電の本格的普及を図るためには、低コスト化・量産化や性能向上等の課題を解決することが必要不可欠である。

現行の生産性を革新的に向上させる量産化技術開発や変換効率を含めた太陽光発電システムの高性能化技術開発等を行い、太陽光発電システムの加速的なコストダウンと本格的な普及を図る。

d.主な研究開発成果

○ 薄膜多結晶シリコンセル形成の高スループット量産化技術開発

当初設定した研究開発目標を達成し、ハイブリッドモジュール量産化技術を確立した。本開発による成果は、世界で初めてアモルファスシリコン／多結晶シリコン薄膜ハイブリッド太陽電池モジュールを量産レベルで生産可能にするものであり、量産レベルでのモジュール効率も世界最高である。本開発の成果を適用して、世界に先駆けてアモルファスシリコン／多結晶シリコン薄膜ハイブリッド太陽電池モジュールの量産を開始した。以上の点から、本開発を通して太陽光発電技術の普及促進の一翼を担えたと考える。

○ 高速大面積アモルファスシリコン製膜技術の開発

本開発によって、世界で初めて 60MHz の超高周波を用いた基板面積 1 m²を越えるプラズマ CVD 装置を開発でき、開発した装置を用いて連続生産が安定して可能であることを示した。また、電池を製作するために必要な製膜技術とレーザエッチングの開発を行い、こ

これらの技術によって、年産 10MW の太陽電池生産が可能となり、太陽電池の低コスト生産が実現された。この技術は実施者（三菱重工業）のアモルファス太陽電池の 10 MW 生産設備に適用され平成 14 年 11 月から生産を開始している。その後、生産歩留の向上、稼働率の向上を行い、生産を開始してから 3 年後の平成 17 年度には目標の 10 MW 生産に到達した。

また、本事業で開発した超高周波プラズマの大面积均一化技術はその後実施した先進太陽電池の開発で微結晶シリコン製膜技術に反映されている。

○ 低コスト太陽電池用多結晶シリコン基板の量産化技術開発

開発目標（基板サイズ：155mm×155mm、基板生産速度：6,000 枚/日・台、基板製造コスト：210 円/枚）について初期目標を達成できたものとする。また、3 年間の共同研究を通して、当初の開発目標を満足する『低コスト太陽電池用多結晶シリコン基板の量産化技術』が確立した。今後は、本開発成果を基に量産装置の改善を含む事業化の検討を進めるとともに、新規製造方法により作製された多結晶シリコン基板の更なる高効率化を図るべく技術開発を進展させることが重要である。

○ 結晶シート太陽電池の高効率化技術開発

結晶シート基板用高性能セル化技術開発では、キャスト基板に比べて表面凹凸が大きい結晶シート基板に対応した電極形成技術、接合形成技術を開発した。具体的には、均一な裏面 Al 電極の形成を可能とする、自動印圧制御を用いたスクリーン印刷法による電極形成技術を開発し、変換効率を約 0.2 ポイント改善した。また、均一なリン拡散層の形成を可能とする噴霧塗布を用いた接合形成技術を開発し、変換効率を約 0.5 ポイント改善した。

結晶シート基板改質技術開発では、キャスト基板と比較して結晶粒が多い結晶シート基板に対応した高速熱処理技術とパッシベーション技術を開発した。裏面 Al 電極焼成工程において、高速熱処理技術を開発し、上記電極形成技術と併用することにより、変換効率を約 0.5 ポイント改善した。また、パッシベーション効果の高い SiN 製膜条件を検討し、変換効率を約 0.4 ポイント改善した。

ライン適合化検討では、高性能セル化技術と基板改質技術を結晶シート太陽電池のセルラインに導入可能とするために、上記開発技術について、プロセス時間適合化の検討を行ない、技術開発したセル化プロセスの処理時間が従来の基準プロセス時間以下であることを確認した。

○ フィルム基板アモルファス太陽電池の量産化技術開発

平成 14 年 4 月から平成 16 年 3 月の期間で、大きな研究開発目標を 4 つ掲げ、フィルム基板アモルファス太陽電池の量産化技術開発を実施した。期間内で目標を達成し、量産技術を確立した。この技術を基に、さらにスケールアップ（フィルム基板幅を、従来の 50cm

から 1m にスケールアップ) する技術を社内で実施し、熊本に新設の太陽電池工場を竣工した。

○ 太陽電池用シリコン原料の低コスト・量産化技術開発

コストにおいては、2,000 トン/年の規模での製造コストを試算した結果、最適反応条件下において、目標の 2,000 円/kg 以下の見通しを得た。品質においては、太陽電池用として、十分な性能を示した。本研究で、四塩化珪素の亜鉛による還元反応で太陽電池用途のシリコンを製造し、設定条件の下での試算により目標コスト達成の見通しを得た。

今後の課題として、スケールアップによる前述設定条件の実証、すなわち、連続化、工程間接続技術等における課題の抽出と検証が上げられる。また、スケールアップに伴い新たに発生するであろう課題の解決と共に、スケールアップでの本件に掲げた最終目標の実証が不可欠となる。

○ 低コスト薄膜多結晶 Si の量産型製膜装置開発

ハイブリッドモジュールにおける薄膜多結晶シリコン製膜装置の低コスト量産化技術として、多数枚バッチ方式による量産型製膜装置開発のための設備条件と均一製膜条件を明らかにすることを目標に、小スケール実験機及びパイロット実験機での製膜実験、コストダウン技術検証実験を通じ、性能/設備コスト面における 1 室、多数枚製膜の可能性を得ると共に、ロングラン連続運転を通じ量産機展開時における設備上の課題抽出、対策を実施し問題ないことを確認の上、量産機設備仕様を決定した。また、計画生産性確保のための多数枚基板脱着方法及び移動チャンバーのドッキング方法においてもプロトタイプ、小スケール実験機での技術検証を行い量産機仕様の目処を得た。

今後は、更なる詳細検討、設計の上、量産機仕様の確定、導入（実証機導入）を実現し、量産上の課題抽出、解決を行うものとする。

○ 太陽電池用高品質多結晶シリコン製造技術の開発

小型実験炉では、結晶成長形態の異なる変速引き下げ法及び引き下げ徐冷法の 2 方式でほぼ拡散長の目標値 600 μm を達成することが出来たが、結晶欠陥や不純物の分布状態を調査し、これらを低減することでさらに高品質の多結晶シリコンの製造技術を開発する。

熱流体解析ソフトによるシミュレーションを活用して大型凝固炉のホットゾーンの改善を行い、大型炉でも小型実験炉と同等の高品質結晶が得られる凝固育成条件を確立すると同時に、ローコストで生産性の高い大型凝固炉を開発し、多結晶シリコン太陽電池のコスト低減に寄与する事を目指す。

○ 熔融析出法による太陽電池シリコン製造技術の開発

1) 大型析出反応器を中心とする、熔融析出法の商用化技術の開発実証プラントを設計、製作した。2) 析出実験の結果、目標とした 30kg/h 以上を確認できた。3) 得られたサンプル

ルのユーザー評価を受けた。インゴット、セル製作、最終的なセル変換効率まで通して太陽電池用シリコン原料として十分使用できるという結果が得られた。

一連の実験結果から、熔融析出法の商業化に向けて基本的なデータを取得することができ、製造コストの目標値達成に目処をつけることができた。

制度全体で、原著論文 7 件、特許出願件数 84 件、学会発表 53 件、その他成果発表 45 件の成果があった。

e. 研究開発機関

運営機関：新エネルギー・産業技術総合開発機構

委託先：カネカ、三菱重工業、シャープ、富士電機アドバンステクノロジー、チッソ、第一機電、トクヤマ、新菱

再委託先：東京農工大学、崇城大学

f. 事後評価結果概要

新エネルギーの普及導入を加速することを目的とし、2010 年度の太陽光発電の導入目標に向けて、事業化を強く意識し低コスト化、量産化、性能向上の技術開発を支援する制度の意義は高く、実施された課題のうちいくつかは既に事業化されるか事業化直前の段階に達しており、本事業の目に見える成果として評価されるべきである。本制度の主旨を理解し取り組んだテーマにおいては世界的にレベルの高い成果が得られている。

また、テーマの採択に関しては、早急に取り組むべきテーマ、掲げられた目標のみならずその影響力や将来性も考慮すべきテーマ等、分野も多岐にわたり比較的柔軟に採択されており、開発リスクの高いテーマとして NEDO の関与は必要と考える。

一方、各テーマの開発目標と本事業の目標とのリンクが不明瞭で、得られた成果による事業目標に対する寄与の程度があまり明示されていないこと、開発内容が太陽電池製造工程の一部でコスト評価になじみにくいテーマもあり、コスト評価が形式的になりがちであること等、今後同様の事業を行う際の課題とすべきである。

特許件数が低いテーマについては、事業化する意思が無いとは考えられないので、ブラックボックス化等の積極的理由があるのではと善意に考える。

プロジェクトの中には挑戦的で今後の技術として重要なものも含まれているため、数年後に事業化目標を設定しているテーマについては、今後の進捗状況をフォローする必要がある。

g. 追跡評価のためのベース資料

「太陽光発電システム普及加速型技術開発」事後評価報告書（平成 19 年 3 月）

9. 太陽光発電システム実用化加速技術開発 (H17～H19)

a.実施期間

平成 17 年度～平成 19 年度 (3 年間)

b.研究開発費総額

事業規模：12.23 億円

NEDO 負担額 (1/2 負担)：6.12 億円

c.研究開発の目的

既存の電源に比肩する発電コストの達成には、要素技術を商用生産技術として確立するための早期の課題解決が不可欠である。しかし、技術リスクの大きさに比べて、民間の企業活動における太陽電池部門の自立化は未だ容易ではなく、設備投資及び研究開発資金等の面では大きな負担がかかるため、民間企業のみでは十分な商用生産技術開発が実施されないと考えられ、2010 年までに 482 万 kW の導入を達成するためには、これらの解決に国 (NEDO) の積極的な関与が必要な状況である。よって、本事業の実施により太陽光発電システムのコストを競合エネルギー並に低下させ、太陽光発電の本格普及を加速する。

d.主な研究開発成果

○ 「高フィルファクタ太陽電池対応型高効率インバータ技術開発」

(共同研究先：社東芝 平成 17 年度～平成 18 年度)

太陽電池とインバータを接続しての組合せ試験等を実施、開発目標「交流出力 20%以上の領域での直流・交流変換効率 97.0%以上」を達成した。また、出力変動抑制回路と太陽光発電インバータの動作解析検討、昇降圧チョッパの試作結果から、開発目標「100%/ (数秒) の日射急変に対し、交流出力変動 5%/ (数秒) 以下」の目途を得た。

○ 「微結晶タンデム太陽電池の低コスト化製造技術開発」

(共同研究先：三菱重工業 平成 17 年度～平成 19 年度)

微結晶タンデム太陽電池の低コスト生産製造技術を開発することを目的とする。生産時のランニングコスト低減及び歩留まり向上の技術開発における目標 (装置稼働率 75%以上、性能歩留まり 80%以上) を達成し、生産ラインの実証試験データのまとめ、評価を行った。

○ 「シリコン回収及び再生技術開発」

(共同研究先：新菱 平成 17 年度～平成 19 年度)

現在廃棄処理されている半導体及び太陽電池製造プロセスのシリコンスラッジからシリコンを回収・再生し、太陽電池の原料とするプロセス技術の開発を目的とする。コスト 3,000 円/kg (600t/年 生産時のスライス前インゴットとして) について目処を得る。シリコン廃

液を原料として、本開発技術を用いて製造した回収シリコンは太陽電池の原料に使用できることが確認できた。また、製造コストは 600t/年 生産時の平均値は 2,970 円/kg と当初目標を達成し、シリコン廃液から SOG-Si の製造プロセスに目処が立った。

○ 「固定式集光型球状シリコン太陽電池セルの量産技術開発」

(共同研究先：クリーンベンチャー21 平成 18 年度～平成 19 年度)

球状シリコン製造と太陽電池セル化、さらに固定式集光型基板への実装工程における超高速量産技術を開発し、所定量産時のモジュール製造コストを検証した。

固定式集光型球状シリコン太陽電池セルの生産性を大幅に向上させる技術開発として、

- ・ 球状シリコン太陽電池セル化について1秒当たり540球の連続生産技術の開発
- ・ 固定式集光型太陽電池セルについては15cm四方の基板1枚当たり10秒で実装する

超高速量産技術の開発

- ・ 10 万 kW の年産時における太陽電池モジュール製造コストについてワット当たり 100 円以下の生産性の目処を得た。

○ 「太陽光・蓄電ハイブリッドシステムの技術開発」

(共同研究先：フジプレアム 平成 18 年度～平成 19 年度)

ハイブリッドパワーコンディショナの小型化や構成機器間通信インターフェースの最適化を図ると共に、目的別蓄電池の最適容量や充放電制御方式を研究し最適な蓄電池管理システムを開発した。太陽光・蓄電ハイブリッドシステムを開発し、実用機としての評価を実施した。システム価格については本技術開発開始時点で 500 万円程度であったが、パワーコンディショナ及びバッテリー関連の部分でコストを 25%程度まで削減できる目処が得られた。全体のシステム価格についても目標値の 190 万円（年産 6,000 台規模）も達成可能との結論を得た。

論文数 8 件、特許数 25 件、学会発表数 24 件の成果があった。

e. 研究開発機関

運営機関：新エネルギー・産業技術総合開発機構

共同研究先：東芝、三菱重工業、フジプレアム、クリーンベンチャー21、新菱

f. 事後評価結果概要

本制度は上位政策である「新エネルギー技術開発プログラム」との整合性があり、経済産業省の政策方針にも沿うものである。また、比較的短期間の実用化研究開発の支援を行う制度であり、企業がある程度主体的に目標設定し実施できる制度であることから意義の大きいプロジェクトであったと判断し、その目的、目標は社会的要請、経済的要請に沿っ

たもので妥当であったと評価する。マネジメントにおいては、太陽光発電技術の実用化を促進する制度として評価しているが、共同研究として NEDO が主体となっていくことで一定の役割を担ってきたが、現在においては、太陽光発電技術全体フェーズに鑑み、利便性向上のために事業者主体とする改善が必要と考えられ、後継の実用化促進プロジェクト（平成 20～21 年度）を 1/2 助成事業とすることで反映した。

制度の実施成果については、事業終了後の実用化という目標に対しては現時点で 40%の達成率であるが、今後の実用化の可能性も考慮すると内容は優れており、十分に成果が認められる。

g.追跡評価のためのベース資料

「太陽光発電システム実用化加速技術開発」制度評価書（平成 20 年 10 月）

第3章 評価

(施策評価関係)

1. 施策（太陽光発電研究開発）の目的・政策的位置付けの妥当性

(1) 施策（太陽光発電研究開発）の目的の妥当性

第1次石油危機前の時期に、1974年～2000年までという長期的な視点で目標設定を行った点は高く評価できる。エネルギー問題の解決、環境問題の解決に対して、経済性を踏まえた先駆的かつ包括的な目標設定は妥当であった。プロジェクトの移行時における課題の取捨選択、具体的な目標の設定は適切に行われたと考えられ、系統連系のためのシステム研究に早期に取り組むなど、ニーズを見据えた取り組みを進めてきたと捉えることができる。また、プロジェクトに参画した企業、研究機関は現在も世界の太陽光発電産業、太陽光発電研究の先端で活躍しており、当時の選定が妥当であったことを示している。

しかし、1970年代から持続して研究成果が積み上げられたことにより、2000年時点では既に、技術の全体概要が見えていたと考えられるにもかかわらず、技術ロードマップに基づく政策展開は2004年からであった。応用開発の推進さらには産業振興の要請から判断しても、技術ロードマップに基づく更なる施策の展開が遅れたのではないかと考えられる。なお、技術開発が進むにつれ、さらなる性能向上と低コスト化のバリアは高くなっている。このため挑戦的課題の重要性が増し、課題ごとの目標設定を一律に行うことは難しくなっている。この傾向は強まると思うので、今後、より適切な研究開発マネジメントが求められるという意見もあった。

<肯定的意見>

- 第1次石油危機直前に、我が国のエネルギー政策を長期的な視点より、太陽光発電の将来像を想定し、それに向けての目的や目標を設定したことは評価できる。(町田委員)
- プロジェクトの実施機関（研究機関）についても、現時点でも第一線で活躍している団体や企業であり、妥当であった。(町田委員)
- 化石資源が乏しい我が国で、こうした取り組みは必要不可欠のものであった。特に1974年から2000年まで長期的な目的が設定され、プロジェクトが進められたのは高く評価すべきである。(浦島委員)
- エネルギー問題の解決、環境問題への技術開発からのアプローチとして先駆的、包括的取り組みであり、経済性を踏まえた目標も明確かつ産業化への貢献は高く評価できる。(荒井委員)
- 長期的な視野に立ち、明確なコスト目標と導入目標を定めて研究開発を進めてきたことは高く評価できる。プロジェクトの移行時における課題の取捨選択、具体的な目標の設定は適切に行われたと思う。(神本委員)

- 系統連系のためのシステム研究に早期に取り組むなど、ニーズを見据えた取り組みを進めてきたと思う。時代の進行とともにロードマップを見直し、より具体的な目標設定を行ってきたと判断する。(神本委員)

<問題点・改善すべき点>

- 1970年代から持続し研究成果を着実に積み上げて、2000年時点においては技術の全体の概要が見えていたといえる。しかし、技術ロードマップに基づく政策展開は2004年からであり、応用開発の推進さらには産業振興の要請から判断しても、技術ロードマップに基づく更なる施策の展開が遅れたのではないかと考える。(菊池座長)

<その他の意見>

- 技術開発が進むにつれ、さらなる性能向上と低コスト化のバリアは高くなっている。このため挑戦的課題の重要性が増し、課題ごとの目標設定を一律に行うことは難しくなっている。この傾向は強まると思うので、今後、より適切な研究開発マネジメントが求められると思う。(神本委員)

(2) 施策(太陽光発電研究開発)の政策的位置付けの妥当性

地熱や石炭ガス化、水素エネルギーなどとともに、サンシャイン計画の一つのテーマとして実施された、太陽光発電研究開発は、代替エネルギー開発と環境問題への対応という2つの政策的意義があり、地球温暖化がクローズアップされた近年はいっそう政策的位置付けは高まったと言える。

太陽光発電は、当初に設定された直接的技術開発の目標から出発し、日本の産業活性化を推進する「主力」にまで成長した。超長期の研究開発であったが、フェーズごとに各プロジェクトの位置付けや目標設定は見直されており、時代の進行とともに弾力的な政策展開がなされたと評価できる。

当初から、現在のエネルギー政策につながる先駆的研究開発が設定されており、「エネルギー導入大綱」の大きな基盤となる研究開発として位置づけられる。

世界を先導する我が国の太陽光発電に関する研究開発、一連の施策は海外からも高い評価を得ている。

なお、様々な再生可能エネルギーの中で我が国が太陽光発電に力を入れてきたのは、技術による性能や経済性の改善余地が大きく、我が国の強い半導体分野の技術であることから適切であったとの意見もあった。

<肯定的意見>

- 36年以上にわたる超長期な研究開発であるが、フェーズ毎に各プロジェクトの位置付けや目標設定は見直されており、政策的には妥当と言える。(町田委員)

- 太陽光発電に関する研究開発や導入促進の政策については、サンシャイン計画発足以降、常に世界を先導してきたと言える。(町田委員)
- サンシャイン計画は、地熱や石炭ガス化、水素エネルギーなどの研究開発も推進することを目標としており、現在のエネルギー政策につながる先駆け的研究開発が設定されていた。(浦島委員)
- 当初に設定された直接的技術開発の目標から出発し、日本の産業活性化を推進する「主力」にまで成長したのであるから、時代の進行とともに弾力的な政策展開がなされたと評価する。(菊池座長)
- 「エネルギー導入大綱」の大きな基盤となる研究開発として位置づけられる。(荒井委員)
- 太陽光発電研究開発は初期段階から代替エネルギー開発と環境問題への対応という政策的意義があった。地球温暖化がクローズアップされた近年はいっそう政策的位置づけは高まったと言える。(神本委員)

<問題点・改善すべき点>

<その他の意見>

- こうした国の取り組みは海外でも評価が高い。(浦島委員)
- 様々な再生可能エネルギーの中でわが国が太陽光発電に力を入れてきたのは、技術による性能や経済性の改善余地が大きく、わが国の強い半導体分野の技術であることから適切だったと思う。その一方で、太陽エネルギーを高効率に利用できる太陽熱利用の普及が頭打ちになっていることには、何らかの対応が必要と思う。(神本委員)

(3) 国の施策で行われるべき研究開発としての妥当性はあったか。国の関与が必要とされる研究開発施策であったか。

1970年初頭に掲げられた「将来予想されるエネルギー危機回避に資する技術開発」という目標に対して、「太陽エネルギー」の研究開発を選択したことは極めて妥当であり、その後の地球環境保全という時代の要請に対しても即応が可能な選択であったといえる。

太陽電池のコストは開発の初期段階では特に高価であり、目標とするコスト水準との乖離が極めて大きく、超長期の研究開発が必要であった。そのような超長期の研究開発を私企業単独で継続することは、市況などの外的要因などの影響もあり、難しかったと考えられ、国が先導するプロジェクトで実施したことは有意義であった。また、材料、モジュール、システム、導入にわたる協調的研究開発や、系統連系等のインフラ事業にかかわる研究開発は、国が率先して実施しなければならなかったと考えられる。

短期的課題と長期的課題（基礎研究）がバランスよくプログラムの中に組み込まれていたと思うが、今後は特に基礎研究に関して文部科学省等との省庁間連携を推進することが求められる。

<肯定的意見>

- 太陽電池や太陽光発電の研究開発については、市況などの外的要因などにより私企業単独での研究開発継続は難しかったと考えられ、国が先導（お墨付き）するプロジェクトで実施したことは有意義であった。（町田委員）
- インフラ事業にかかわる研究開発は、国が率先して実施しなければならず、そうした点から妥当であった。（浦島委員）
- 1970年初頭に掲げられた「将来予想されるエネルギー危機回避に資する技術開発」という旗頭に対して、「太陽エネルギー」の研究開発を選択したことは極めて妥当であり、その後の地球環境保全という時代の要請に対しても即応が可能な選択であったといえる。（菊池座長）
- 材料、モジュール、システム、導入にわたる研究開発であり、それらの協調的开发には国の施策的関与が不可欠と考えられる。（荒井委員）
- 太陽電池のコストは依然として高く、開発の初期段階では特に高価であった。CO₂削減効果が大きいものの民間だけによる開発は経済的に困難だったことから、国の関与により開発を進める意義は大いにあった。（神本委員）
- また、研究開発と導入・普及策の連動がコスト低減に効果的なため、監督官庁の経済産業省が取り組んできた意義も極めて大きい。（神本委員）

<問題点・改善すべき点>

- 文部科学省(科技庁)との関係などは、事実関係が不明である。（浦島委員）
- 短期的課題と長期的課題（基礎研究）がバランスよくプログラムの中に組み込まれて

いたと思うが、今後は特に基礎研究に関して文科省との省庁間連携を推進することが求められる。(神本委員)

<その他の意見>

- 研究開発へ投資していた長い間、省庁再編などが行われたことから、省庁間連携に関する評価を行うのは、難しいと考えられる。(浦島委員)

2. 施策（太陽光発電研究開発）の構造及び目的実現見通しの妥当性

(1) 現時点までにおいて得られた成果は妥当か。

公的な研究開発により、企業の事業化への意欲が鼓舞され、産業化が進められたと判断できる。太陽電池セルの製造技術や高効率化など、プロジェクトで実施した成果は企業において、現在でも基本的な技術として活用されている。また、太陽光発電システムの研究開発や実証実験の成果は、変動する電源の系統への連系を可能とした。さらに、太陽光発電システム導入補助金制度、余剰電力の買取制度は普及に大きな役割を果たしたと評価できる。

アモルファス太陽電池など、目標が高すぎたり、実用化の設定が時期尚早のものがあつたことは否めないが、そのプロジェクトで生まれた技術的な成果を適切に評価し、TFT 液晶技術などの他分野に応用し、実用化に結び付けた点は高く評価できる。

ただし、2000年以降の発電コストの低減動向をみる限り、技術革新による発電コストの低減効果は他の諸要因に相殺されて顕在化していない。実際にコストを低減するためには何が必要かを十分に検討した上で、規模の経済が実現する量産化要素技術などの研究開発目標の設定が必要であつたと考えられる。

なお、実用化に至っていないプロジェクトについては、その理由を明らかにするとともに、技術的にどのような効果(例えば特許的活用)があつたかを明確にしておくことが必要との意見もあつた。

<肯定的意見>

- 太陽電池セルの製造技術や高効率化などの研究開発において、ナショナルプロジェクトで実施した成果は現在でも基本的な技術として活用されている。(町田委員)
- 開発テーマや目標が時期尚早のものがあつたことは否めないが、それを適切に判断し、他分野(例えば液晶技術など)に応用され、実用化に結び付けていると考えられる。(町田委員)
- 過去の経緯を活かした研究開発が継続されている。(浦島委員)
- 公的な研究開発により、企業の事業化への意欲が鼓舞され、産業化が進められたと判断できる。逆流あり系統連系の実現と太陽光発電システム導入補助金制度、余剰電力の買取制度は普及に大きな役割を果たした。(荒井委員)

- 現在実施中の太陽光発電研究開発が過去の成果を活用しているだけでなく、実用化している太陽電池のほとんどは国のプロジェクトの成果を活用したものである。(神本委員)
- 太陽光発電システムの研究開発や実証実験の成果は、変動する電源の系統への連系を可能とした。(神本委員)
- 本プロジェクトでは TFT-LCD の実用化に関わる多くの技術の波及効果が得られている。以上のことから現時点までに得られた成果は妥当である。(神本委員)

<問題点・改善すべき点>

- 実用化に至らなかったプロジェクトの理由が不明確である。(浦島委員)
- 発電コストの削減目標は手に届く妥当な範囲であり、研究開発の推進役を担うことが可能であったといえる。しかし、2000年以降の発電コストの低減動向をみる限り、技術革新による発電コストの低減効果は他の諸要因に相殺されて顕在化していない。規模の経済性が実現する量産化要素技術などの研究開発の目標設定、あるいは、シリコン系技術からの脱皮を模索する研究開発の目標が必要であったと考える。(菊池座長)
- 諸事情により実用化にいたらなかった研究開発(例えば CdTe)であっても、技術的にどのような効果(例えば特許的活用)があったかを明確にしておく必要がある。(荒井委員)

<その他の意見>

- 補助金の効果がどの程度であったのかを明らかにする必要がある。(浦島委員)

(2) 施策（太陽光発電研究開発）の目的を実現するために研究開発プロジェクトを含む技術に関する事業が適切に配置されてきたか。それぞれの事業間での連携は適切に取られてきたか。

製品開発に直結する以前の基礎的な研究開発から段階的に、課題の絞り込みがなされてきた点は妥当であった。企業を中心に、製造ラインの構築及び事業用システムの実用化に向けた研究開発が早い段階から展開されたことは事業化に結び付けるためには、適切な判断であったと評価できる。

事業間の連携に関しての評価は難しいが、実務者は複数のプロジェクトを同時並行で携わっており、また、産業技術総合研究所（電子技術総合研究所）等の公的研究機関との交流も活発に行っているため、技術的交流は適切かつ有効に行われていたと判断される。

今後は、分散型の住宅用システムによる市場推進力に期待しつつ、10GW 等の大規模システムにより発電市場を牽引する施策が必要不可欠である。さらに、国内基準にとどまらず国外の環境に適合したユニバーサルなシステム開発を展開することは業界の多様な連携関係を強めることになる。

<肯定的意見>

- ビジネス（事業間）の連携について、実務者は複数のプロジェクトを同時並行で携わっており、また、ナショナルラボラトリーとの交流も活発に行っているため、技術的交流は適切かつ有効に行われている。（町田委員）
- 開発当初は、企業を中心に研究開発が進められてきたようであるが、そうしたことが事業化に結びついたと判断される。（浦島委員）
- 製造ラインの構築及び事業用システムの実用化に向けた研究開発が早い段階から展開されたことは適切な判断であった。（菊池座長）
- 分散型の住宅用システムによる市場推進力に期待しつつ、10GW 等の大規模システムにより発電市場を牽引する施策は必要不可欠である。（菊池座長）
- さらに、国内基準にとどまらず国外の環境に適合したユニバーサルなシステム開発を展開することは業界の多様な連携関係を強めることになる。（菊池座長）
- プレコンペティティブな前広な研究開発から段階的な絞り込みがなされてきた。NEDO プロにおける製造技術への注力は適宜な対応である。（荒井委員）
- 初期段階で複数企業により製造ラインを実現したことは、技術の実証という意義があった。早期にシステム研究を取り入れたことは、ニーズに合った事業の配置と事業間連系に役立ったと判断する。（神本委員）

<問題点・改善すべき点>

- 事業間での連携が取られてきたかについては、追跡評価することが困難と考えられる。（浦島委員）

<その他の意見>

- 多くの専門企業を糾合した NEDO プロジェクト「500kW/年太陽光発電製造ライン」構築と実証の試みはプロジェクト運営の一つの方向性と考えられる。敢えていえば、例えば、公的機関に集約して、テストベッド的に存続・活用させる方式は、技術の進化を迅速に取り入れられるのであれば、その後の開発に役立ったのではないかと思う。(荒井委員)

(3) 個々の研究開発プロジェクト終了後のフォローアップの状況

フィールド事業や様々な導入・普及策によりフォローアップはほぼ適切に行われており、プロジェクト間の引き継ぎも適切であったと考えられる。研究開発から事業化フェーズへの移行に際しても、プロジェクトの主体者間での情報交換が密に行なわれることにより、研究開発成果の移転やそのフォローは適切に行われていた。

しかし、現在の太陽電池市場のほとんどが結晶系シリコンであり、その大量生産技術のコストダウン競争で、海外企業の後塵を拝しているという実情を鑑みるに、結晶シリコン技術課題の分析が十分に行われたかどうかを検討する必要がある。NEDO5 カ年計画以降は、新型太陽電池など、研究開発課題が基礎研究よりとなっている点は、国が支援するプロジェクトという性質上、理解できる方向性であるが、国の産業競争力の強化と言う点で、実用化・製品化に近く、産業競争力に直結する段階の研究開発に対する、国の関与の在り方については、検討する必要がある。

2005 年ごろからの国際競争力低下に関連しては、2003 年以降の市場活性化施策の展開に問題があったと考えられる。2002 年までは研究開発に係るプロジェクト・ポートフォリオが適正になされ、プロジェクトのフォローアップも良好であったといえるが、市場活性化に係る施策が 2002 年をピークに 2003 年から急速に減退するにつれ、日本国内の太陽光発電の導入量は頭打ちとなり、日本企業の国際的な生産シェアも低下することとなった。

2009 年以降は、導入に対する補助金が復活し、エネルギー政策やグリーンイノベーションの施策により、太陽光発電についての注目は再び高まっている。政策のプラスの影響を受けて、現在も技術の進歩や導入拡大が進んでいると考えられる。

今後も様々な状況変化に柔軟に対応し、早め早めに適切な政策を講じる必要がある。

<肯定的意見>

- 研究開発から事業化へフェーズが移行する際は、プロジェクトの主体者間での情報交換を密に行うことにより、研究開発の成果の移転やそのフォローは適切に行われていた。(町田委員)
- 太陽光発電については、エネルギー政策やグリーンイノベーションの施策により、注目されており、良い意味での政策の影響を受けて、現在も技術の進歩や導入拡大が進んでいると考えられる。(町田委員)
- NEDO5 カ年計画以降は、プリコンペティティブな研究開発課題へと中心を移動させているのは、国支援のプロジェクトとしては理解できる方向性ではある。(荒井委員)
- フィールド事業や様々な導入・普及策によりフォローアップはほぼ適切に行われた。
- プロジェクト間の引き継ぎは適切であった。(以上 神本委員)

<問題点・改善すべき点>

- 市場活性化に係る施策は1994年から拡充され、2002年をピークに2003年から急速に減退している。この期間中、研究開発への公的資金は増加せず定額傾向となっている。実証あるいはフィールド調査への公的資金の投下は増えている。このような状況から見て、2002年までは研究開発に係るプロジェクト・ポートフォリオが適正になされ、プロジェクトのフォローアップも良好であったといえる。しかし、2005年ごろから国際競争力における劣位が顕在化している。(菊池座長)
- 2003年以降の市場活性化施策の展開に問題があったと考える。(菊池座長)
- 現在の太陽電池市場がほとんど結晶系シリコンであること、その大量生産技術のコストダウンでの競争で海外市場における競争力が低下したとの分析から鑑み、その点において、結晶シリコン技術課題の分析が十分に行われたかを検討する必要がある。(荒井委員)
- 住宅用太陽光発電システムの設置補助プログラムは需要を大いに創出したが、その終了により我が国のシェアは一気に低下した。2009年に各種制度が復活したが、今後とも様々な状況変化に柔軟に対応し、早め早めに適切な政策を講じる必要がある。(神本委員)

<その他の意見>

- 電気事業法の改正などへ影響を与えた。(浦島委員)
- コンペティティブな段階における研究開発においても、産業競争力の強化と言う点で、国の関与の在り方について検討する必要がある。(荒井委員)

3. 総合評価

本プロジェクトは大きな成果が生み出され、活用された長期プロジェクトとして大いに評価できる。施策の目的・政策的位置づけ、施策の構造及び目的実現見通しのいずれをとっても、国の実施すべき施策として極めて妥当であった。しかし、今後さらなる成果を生み出すため、各委員より以下の様な改善の方向が提示された。

【プロジェクトの運営について】

- ◆ 太陽光発電研究開発のような複数の国家プロジェクトが編成されるような研究開発領域においては、各プロジェクトリーダーがプロジェクト相互連携の機会を一層活性化する支援政策を展開する必要がある。各個別プロジェクトの研究結果を活かし、研究開発のスピードを上げるためには、例えば、実験とモデルそれぞれ別の研究者がプロジェクトの枠を越えて逐次情報交換し、検討しながら進めていくのが効率的であり、研究開発におけるウィン&ウィンの関係が形成される環境の醸成が PL に求められる。プロジェクトにおいて、現在の縦のつながりは当然であるが、横のつながりを強化すべきである。
- ◆ 研究分野が異なると、プロジェクト間の情報共有は簡単ではない。技術体系の中でそれぞれのプロジェクトの位置づけが明確化されたようなデータベースがあれば、円滑なコミュニケーションと、研究への適切なフィードバックが実現されると考えられる。

【施策の在り方について】

- ◆ 研究開発のプロジェクトは、単に「研究開発」への直接的施策にとどまらず、「実証・フィールドテスト」、「市場活性化」までも含む一連の政策パッケージとして組み立てられるべきである。市場活性化の施策の軸足が「産業育成」にあるとすれば、持続性のある自立的な発展の姿が見えるまでその施策を続けるべきである。そのような頼もしい市場活性化の施策と創造力を発揮する研究開発の施策がシンクロナイズすることが必要である。
- ◆ 日本版バイドール条項導入以降、国家プロジェクトによって創成された特許発明の取り扱いが、民間企業の短期的な経営判断にゆだねられている。それゆえ、国家プロジェクトから創成された特定の特許権が短期的な経営判断によって放棄される（公知技術化される）、あるいは、特許マップ上の系統的な特許群が他社に売却されるという事態が生じている。それによって、市場競争の関係が大きく変容することも生じている。国としての知財パッケージを最適に保つ政策を再検討することが必要である。
- ◆ ニューサンシャイン以降の NEDO プロジェクトにおいて、課題を細分化したためにニューサンシャインのような有機的つながりが充分でなかったという指摘があったが、制度上の問題なのか、運用上の問題なのか、研究フェーズ的な問題なのか、などを整

理して今後のプロジェクトに生かすことが必要。

- これまでも政策的に行われてきたことであるが、太陽光発電を今後さらに普及 促進するためには、ロードマップに基づき研究開発を進めるとともに、適切な導入・普及策を講じていくことが必要である。研究開発と導入・普及策の連携が再生可能エネルギー分野では特に重要と考える。
- 太陽光発電は気象条件、土地の価格、電力系統への接続の仕方等々、多様な条件で使用される。海外市場も含め、適用されるシステムのニーズを十分考慮した研究開発の推進と政策的措置、市場開拓が求められる。

【研究開発評価のインフラについて】

- ◆ プロジェクトの推進には、市場、コスト、効率、技術開発課題などについて、常に俯瞰的議論を共有することが重要であり、評価に用いた各種データや技術情報、企業や評価者の声のデータベース化が必要である。例えば、太陽光発電産業における各レイヤー（応用産業、モジュール、材料など）に関して、技術動向やレイヤー間の技術相関をたどれるデータベースを構築することが有効である。これらのデータベースが構築されることにより、プロジェクトのブラッシュアップや次の技術開発に資する評価ポイントの明確化ができるように役立つと考えられる。例えば、プロジェクト当初に想定していなかった課題などについても、適宜、プレーヤーを後から加えるなど柔軟・迅速な対応が可能になる、等が挙げられる。

- 国の予算制度の下、太陽光発電に関する研究開発や導入促進を実施しているので、種々の制約が存在すると考えられるが、今後も関係省庁との連携や折衝が必要となるため、引き続き経済産業省の果たす役割は大きい。(町田委員)
- NEDO を中心に多くのプロジェクトが推進されており、プロジェクトリーダー(PL)が全体をコーディネートしているようではあるが、メンバーである研究者同士が逐次密に連絡を取り合っていないようである。各自が個別の研究テーマを個別に進めて、PL が数か月ごとに各研究者の結果を寄せ集めて、報告書にしているようである。それぞれの結果を活かし、研究開発のスピードを上げるためには、こうした環境を改善すべきである。例えば、実験とモデル、それぞれ別の研究者が逐次情報交換し、検討しながら進めていくのが効率的であり、そうしたことをコーディネートするのが本来の PL ではないだろうか。プロジェクトにおいて、現在の縦のつながりは当然であるが、横のつながりを強化すべきである。(浦島委員)
- 研究開発のプロジェクトは、単に「研究開発」への直接的施策にとどまらず、「実証・フィールドテスト」、「市場活性化」までも含む一連の政策パッケージとして組み立てられるべきである。市場活性化の施策の軸足が「産業育成」にあるとすれば、持続性のある自立的な発展の姿が見えるまでその施策を続けるべきである。そのような頼もしい

市場活性化の施策と創造力を発揮する研究開発の施策がシンクロナイズすることが必要である。(菊池座長)

- 複数の国家プロジェクトが編成されるような研究開発領域においては、太陽光発電研究開発の経験を踏まえて、各プロジェクトリーダーがプロジェクト相互連携の機会を一層活性化する支援政策を展開する必要がある。かつ、プロジェクトを越えて、新たな技術課題を探索しつつ研究開発におけるウィン&ウィンの関係が形成される環境を醸成すべきである。(菊池座長)
- 日本版バイドール導入以降、国家プロジェクトによって創成された特許発明の取り扱いが、民間企業の短期的な経営判断にゆだねられている。それゆえ、国家プロジェクトから創成された特定の特許権が短期的な経営判断によって放棄される(公知技術化される)、あるいは、特許マップ上の系統的な特許群が他社に売却されるという事態が生じている。それによって、市場競争の関係が大きく変容することも生じている。国としての知財パッケージを最適に保つ政策を再検討することが必要である。(菊池座長)
- 本プロジェクトは大きな成果が生み出され、活用された長期プロジェクトとして大いに評価できる。(荒井委員)
- これまでの膨大な評価のポイントをより明確にし、次の開発に資するために、データベース化が必要ではないかと思う。施策ロジックツリーの裏付けとなり、技術課題の可視化にとって役立つものである。イメージとしては、「太陽電池に関する技術的俯瞰」における各レイヤー(応用産業、モジュール、材料など)ごとのデータベースとその技術相関をたどれるものを構築することが有効である。特に、太陽電池の応用産業についても、動向を含む十分なデータベースが役に立つと思われる。プロジェクトの推進には、市場、コスト、効率、技術開発課題などについて、常に俯瞰的議論を共有することが重要であろう。実施前には空箱のデータベースでも徐々に蓄積することによって、プロジェクトのブラッシュアップができるように役立てたい。例えば、プロジェクト当初に想定していなかった課題などについても、適宜、プレーヤーを後から加えるなど柔軟・迅速な対応が可能になるとおもう。また、知財のあつかいには工夫がいるとは思いますが、技術の蓄積・継承においても役にたつとおもう。(本報告書にも当てはまるが、索引やジャンプ機能など、電子辞書程度であっても問題の本質に迫るのに便利である。電子化は推奨したい)(荒井委員)
- NEDO プロジェクトにおいて、課題を細分化したためにニューサンシャインのような有機的つながりが充分でなかったという指摘があったが、制度上の問題なのか、運用上の問題なのか、研究フェーズ的な問題のかななどを整理して今後のプロジェクトに生かして欲しい。(荒井委員)
- 太陽光発電プロジェクトは、施策の目的・政策的位置づけ、施策の構造及び目的実現見通しのいずれをとっても、国の実施すべき施策として極めて妥当であった。(神本委員)
- これまでも政策的に行われてきたことであるが、太陽光発電を今後さらに普及 促進す

るためには、ロードマップに基づき研究開発を進めるとともに、適切な導入・普及策を講じていくことが必要である。研究開発と導入・普及策の連携が再生可能エネルギー分野では特に重要と考える。(神本委員)

- 太陽光発電は気象条件、土地の価格、電力系統への接続の仕方等々、多様な条件で使用される。海外市場も含め、適用されるシステムのニーズを十分考慮した研究開発の推進と政策的措置、市場開拓が求められる。(神本委員)

(事業評価関係)

I. 波及効果に関する評価

I-1 技術波及効果

(1) 実用化への進展度合

太陽光発電については、世界でもトップレベルの効率をもつ太陽電池を生み出し、2005年以前はわが国が太陽電池導入量の世界トップであったことから、プロジェクトの成果が実用化に大きく貢献したと言え、販売普及できた実績は評価に値する。現在までの日本企業の太陽光発電に関する技術や商品、更には電力系統との連系技術やその指針など、サンシャイン計画から連綿と続いているプロジェクトの成果の賜物とも言える。

技術的には、太陽電池セルからシステムまで、一気通貫で研究開発を行った点や、技術の発展系譜が確立し、シリコン系(結晶シリコン型、薄膜シリコン型)、化合物半導体系、有機系(有機半導体系、色素増感型)にまで波及し、さらに、システム技術及び評価技術の発展があった点は評価できる。国籍別特許出願数はわが国が圧倒的多数を占め、いくつかの基本・重要特許も出願されている。

しかし、住宅用の用途が大半を占めており、技術的発展に偏りが生じているとの意見もある。

<肯定的意見>

- 太陽電池セルからシステムまで、一気通貫での研究開発や導入促進の取組みは評価できる。(町田委員)
- 太陽光発電については、その技術や商品化、更には電力系統との連系技術やその指針など、サンシャイン計画から連綿と続いているプロジェクトの成果の賜物とも言える。(町田委員)
- 世界でもトップレベルの効率をもつ太陽光発電を生み出し、販売普及できた実績は評価に値する。(浦島委員)
- 技術の発展系譜が確立し、シリコン系(結晶シリコン型、薄膜シリコン型)、化合物半導体系、有機系(有機半導体系、色素増感型)にまで波及した。さらに、システム技術及び評価技術の発展があった。(菊池座長)
- 国プロで開発された太陽電池製造の技術・ノウハウが企業で活用された。(荒井委員)
- 国籍別特許出願数はわが国が圧倒的多数を占め、いくつかの基本・重要特許も出願されている。(神本委員)
- いずれにせよ、補助金打ち切り(2005年)以前は、わが国が太陽電池導入量の世界トップであったことから、プロジェクトの成果が実用化に大きく貢献したと言える。(神本委員)

<問題点・改善すべき点>

- 住宅用の用途が大半を占めており、技術的發展に偏りが生じている。(菊池座長)
- 一方で、太陽熱に関しては、あまり積極的に継続しなかったようである。(浦島委員)

<その他の意見>

(2) 一連のプロジェクト群成果からの技術的な広がり具合

アモルファス太陽電池で開発された薄膜作製技術など、太陽電池を含む半導体技術は、現在の TFT 液晶や LED の技術や商品へ寄与していると考えられる。太陽電池という変動電源の系統連系に関わる技術は、風力等の他の変動電源の導入、さらにはスマートグリッド技術などに寄与している。一連のプロジェクトは産学官連携のプロトタイプとなり、太陽光発電に関する川上から川下までの産業に研究主体群を形成したといえる。また、太陽光に関する会議への参加者は年々増加しており、派生技術の広がりをも意味すると判断される。

<肯定的意見>

- 派生技術の定義にもよるが、太陽電池を含む半導体技術は、現在の LCD や LED の技術や商品へ寄与していると考えられる。(町田委員)
- 太陽光に関する会議への参加者は年々増加している。これは、派生技術の広がりをも意味すると判断される。(浦島委員)
- 一連のプロジェクトは産学官連携のプロトタイプとなった。太陽光発電に係る川上から川下までの産業に研究主体群を形成したといえる。(菊池座長)
- TFT 事業などへの応用展開もあり、大きな成果を生んだといえる。(荒井委員)
- アモルファス太陽電池で開発された薄膜作製技術の重要な派生技術であり、産官学の連携によって、基盤技術が構築されたよい例である。(荒井委員)
- 様々な太陽電池の実用化のほとんどすべてに、本プログラムが貢献しており、また TFT 液晶等他分野への技術の波及が見られる。(神本委員)
- 太陽電池という変動電源の系統連系に関わる技術は、風力等の他の変動電源の導入、さらにはスマートグリッドのコア技術となっている。(神本委員)

<問題点・改善すべき点>

<その他の意見>

- 競争相手があつたことは、効率向上の加速につながつた。(浦島委員)

(3) 国際競争力への影響

太陽電池の1980年代から2007年までの生産量世界一は、公的な施策によるところが大きかったと言える。研究開発プロジェクトにより、太陽電池や太陽光発電の技術レベルは世界最先端となり、導入助成金は量産効果によるコスト削減と価格低下によるさらなる市場拡大をもたらした。特に補助金の重要性に関しては海外での評価が高い。

太陽電池セル・モジュールの国内外の出荷比率（一般社団法人 太陽光発電協会（JPEA））によれば、2010年で国内：輸出は4:6であり、輸出産業としても利益をもたらしていると考えられる。パワーコンディショナー関連の国際規格等、わが国がリーダーシップをとれるようになったものがある。

しかし、外国企業との技術提携は活性化しておらず、日本の生産量シェアは、2005年以降下降している。その原因の一つとしては、関係業界団体を介して国際標準へのアプローチが粘り強く続けられてきものの、主導権を握るほどの組織力は発揮できなかったことが挙げられる。国内で創成された先端技術をグローバルな基準に基づいて評価するための体制作りが必要であったと考えられる。また、新たな太陽電池の性能・安全性、太陽電池モジュールの出力、長期信頼性等の評価手法の確立は国際競争力確保のために必須であり、国際標準の協議においてさらにリーダーシップを取れるようにする必要がある。

太陽電池セル・モジュールのビジネスは、「ターンキービジネス」により、価格的な主導権が日本から中国や台湾等へ移行しつつある。DRAMなど、他産業と同じ轍を踏まないためにも、技術力をより昇華させ、国による一層のリーダーシップと関係者への配慮と連携へのバックアップが期待される。国内においては、導入補助金の復活、電力の買取制度による需要増加が期待される。また、結晶シリコン太陽電池のような成熟した技術とされているものでも生産技術を精査して、コスト競争力の源泉となる技術を育てていく必要がある。

<肯定的意見>

- 太陽電池や太陽光発電の技術レベルは世界最先端と自負できるものである。(町田委員)
- 太陽電池セル・モジュールの国内外の出荷比率（JPEA）によれば、2010年で国内：輸出は4:6であり、輸出産業として利益をもたらしていると考えられる。(町田委員)
- 海外での評価は高く、特に補助金の重要性に関しては海外での評価が高い。(浦島委員)
- 太陽電池の1980年代から2007年までの生産量世界一は、本プロジェクトによるところが大と言える。導入助成金は量産効果によるコスト削減と価格低下によるさらなる市場拡大をもたらした。(荒井委員)
- 一連のプロジェクト群により、わが国の技術力が向上した。わが国の生産量の相当部分が欧米に輸出されていることから、わが国の太陽電池の性能に関する競争力は高いと判断できる。(神本委員)
- パワーコンディショナー関連の国際規格等、わが国がリーダーシップをとれるように

なったものがある。(神本委員)

<問題点・改善すべき点>

- 国際標準については、太陽電池・太陽光発電に限らず、全般的に日本の技術力がイニシアチブをとれていないと危惧されるので、至急、手当て(施策)を施すべきである。(町田委員)
- 国内生産による輸出出荷は増えているので国際競争力は強化されたと考える。しかし、外国企業との技術提携は活性化していない。また、日本の生産量シェアは、2005年以降下降している。その原因の一つとして、関係業界団体を介して国際標準へのアプローチが粘り強く続けられてきものの、主導権を握るほどの組織力は発揮できなかったことが挙げられる。国内で創成された先端技術をグローバルな基準に基づいて評価するための体制作りが必要であった。(菊池座長)
- 国内においては、導入補助金の復活、電力の買取制度に期待したい。結晶シリコン太陽電池のような成熟した技術とされているものでも生産技術を精査して、コスト競争力の源泉となる必要な技術を育てていく必要がある。(荒井委員)
- 新たな太陽電池の性能・安全性、太陽電池モジュールの出力、長期信頼性等の評価手法の確立は国際競争力確保のために必須。(神本委員)
- 国際標準の協議においてさらにリーダーシップをとれるようにする必要がある。(神本委員)

<その他の意見>

- 太陽電池セル・モジュールのビジネスは、「ターンキービジネス」により、価格的な主導権が我が国から中・台等へ移行しつつあるので、他産業での轍を踏まないためにも、技術力をより昇華させ、国による一層のリーダーシップと関係者への配慮と連携へのバックアップを求めたい。(町田委員)
- 当該テーマに限らず、国際標準に関しては国を中心とした積極的な取り組みが必要である。(浦島委員)
- 「TFT などの波及効果の大きな技術分野の台頭による分野の拡大により人材の枯渇はなかったか」、「低コストメーカの台頭にたいして、特許はどのような効果があったのか」などの調査が必要ではないか。(荒井委員)

I-2 研究開発力向上効果

(1) 知的ストックの蓄積度合

太陽電池関連企業の 2000～2006 年の日米欧中韓への特許出願において日本国籍が圧倒的であり、企業の多くは公的資金を得て研究開発を進めている。その意味で、プロジェクトにより、十分な知的ストックを持つことができたといえる。また、基礎物理的な見地のみならず、製造技術に関してもノウハウが得られたと考えられる。これら各社における知的ストックに加え、前述の「500kW/年太陽光発電製造ライン」の例でも見られたように、共同研究等による企業間の知的ストックの共有は、各社が技術を実用化する上で効果的であったと考えられる。

一方、プロジェクトへの非参加企業の特許出願は出願件数の上位企業には入っていない。日本版バイドール制度により、研究開発力のスピルオーバー効果が減速したのではないかと推察される。また、太陽光発電関連技術に限ったことではないが、海外の特許出願数は年々減少しており、今後も増加は望めないであろう点は課題である。さらに、日本の持つ大量の特許が、海外の低コスト攻勢にどのような役割を持ったのか、持たなかったのかについては今後の検証が必要である。

太陽光発電に関する研究開発は現在も進行中であり、知的ストックも蓄えられ続けている。太陽光発電システムは、国産エネルギー、スタンドアローン・小規模～大規模までカバーできるユニット発電機器等、多くの特長を有しているため、今後のアプリケーションの発展が大いに期待できる。

<肯定的意見>

- 太陽電池セル・モジュールや太陽光発電の研究開発や導入促進については、我が国の関係者において現在も進行中である。(町田委員)
- 太陽電池に関与した技術者は各企業で中堅・中核技術者となり、また、経営層にも就任することから、人材育成の面でも効果はあった。(町田委員)
- 基礎物理的な見地のみならず、製造技術に関してもノウハウが得られた。(浦島委員)
- 太陽電池関連企業の 2000～2006 年の日米欧中韓への特許出願において日本国籍が圧倒的であり、企業の多くは公的資金を得て研究開発を進めている。その意味で、プロジェクトにより、十分な知的ストックを持ったといえる。(荒井委員)
- プロジェクトにより、論文、国籍別特許出願数、基本・重要特許等多くの知的ストックが蓄積された。(神本委員)
- これらの知的ストックに加え、「500kW/年太陽光発電製造ライン」の例など、共同研究等による知的ストックの共有、特に基礎的な知見の共有は、各社が技術を実用化する上で効果的だったのではないかと推察する。(神本委員)

<問題点・改善すべき点>

- 太陽光発電関連技術に限ったことではないが、海外への特許出願数は年々減少していることは問題であることから、改善策が必要である。(浦島委員)
- プロジェクト参画企業の特許出願が増えているので、研究開発力が向上しているといえる。他方、プロジェクトへの非参加企業の特許出願は出願件数の上位企業には入っていない。日本版バイドール制度により、研究開発力のスピルオーバー効果が減速したのではないかと推論する。(菊池座長)

<その他の意見>

- 太陽光発電の場合、この商品から生み出される成果物が『電気エネルギー』であり、既存のエネルギー機器との競争にさらされる運命にあるが、国産エネルギー、スタンダードアローン・小規模～大規模までカバーできるユニット発電機器等、多くの特長を有しているため、今後のアプリケーションの発展が大いに期待できる。(町田委員)
- 太陽光に関する知的ストックは、論文や特許だけではなく、インフラにまで及ぶことから、単純な数での評価は難しいのでは。また派生技術による知的ストックの拡大が期待される。(浦島委員)
- 日本の持つ大量の特許が、海外の低コスト攻勢にどのような役割をもったのか、持たなかったのかの検証が必要である。(荒井委員)
- 総合評価で述べた研究開発を俯瞰するデータベース化は有効である。(荒井委員)

(2) 研究開発組織の改善・技術戦略への影響

太陽電池・太陽光発電の事業化の経緯から見ても、国内の企業間の連携や業界団体については有効に機能していると考えている。

研究開発体制、知的財産戦略など公的研究開発で実施してきたことは、企業にとって概ねプラスに働いていると考えられる。

一連のプロジェクト群を通じ、専門家間の人的ネットワークが形成され、国内外の様々な学会・会議の形成につながった。国際会議などを通じて研究成果を発表し、関係者間で情報交換を積極的に行ってきたことが世界トップレベルの技術力、産業競争力につながった。また、公的資金の継続的な投下によって、官民の研究開発部門の近代化が進んだとも評価できる。さらに、産学間連携組織の構築も有効に機能した。

なお、太陽光発電に関係する学術団体（学会）や業界団体は、経済的な基盤が強いとは言えず、今後、太陽光発電を日本の代表的産業として継続する際には、一層のバックアップが必要と感じるとの意見もあった。

<肯定的意見>

- 太陽電池・太陽光発電の事業化の経緯から見ても、国内の企業間の連携や業界団体については有効に機能していると考えている。(町田委員)
- 知的財産についても、各社の企業戦略にも依るであろうが、積極的に取組んでいるものと推測される。(町田委員)
- 研究開発体制などについては、その時代ごとの市況や会社方針により、断定は避けたいが、概ねナショナルプロジェクトで実施してきた（いる）あることは、プラスに働いていると思われる。(町田委員)
- 国際会議などを通じて研究成果を発表、また関係者同士で情報交換を積極的に行ってきた経緯があり、こうした活動が世界トップのレベルを達成でき、効率向上につながった。(浦島委員)
- 研究開発の成果が蓄積するにつれ、かつ、公的資金の継続的な投下によって、官民の研究開発部門の近代化が進んだといえる。また、産学間連携組織の構築も有効に機能したといえる。(菊池座長)
- 太陽電池関連の研究開発費は当該分野のみならず産官学を巻き込み、薄膜作製技術などの基盤分野の拡充に貢献した。(荒井委員)
- 公的資金により社内の研究体制が維持できた効果は極めて大きかった。(神本委員)
- 一連のプロジェクト群を通じ、専門家間の人的ネットワークが形成され、国内外の様々な学会・会議の形成につながった。(神本委員)
- 他の再生可能エネルギー分野の専門家とのネットワーク組織も形成されるに至った。(神本委員)

<問題点・改善すべき点>

- 致し方のないことではあるが、企業によっては撤退せざるを得ないこともあった。(浦島委員)

<その他の意見>

- 太陽光発電に関する学術団体（学会）や業界団体は存在するが、経済的な基盤が強いとは言えず、今後、太陽光発電を日本の代表的産業として継続する際には、一層のバックアップが必要と感じる。(町田委員)

(3) 人材への影響

2005年までは世界でもトップの生産量シェア、技術レベルを保っており、太陽電池、太陽光発電の業界内では、第一人者と言われる人材を多数輩出していると言える。特に、アモルファス太陽電池分野では、国際的にリードする研究機関が官学に育った。

産業技術総合研究所に太陽光発電研究センターが設置されるなど、国内のいくつかの研究機関・大学で拠点が形成された。これらの拠点では多くの博士号取得とポスドク育成が行われた。

しかし、(財)光産業技術振興協会調査によれば、太陽光発電産業を含む光産業の研究開発従事者数は、近年の10年間で約2倍に増えているが、業界内部での再編成も進行し、かつ、研究者の高齢化の問題も抱えている。国内外から高く評価される研究開発の成果を持続的に創成できる組織的な対応が必要になると考える。また、人材育成は上記のように進んだが、システム系の人材は依然として少ない。特に、スマートグリッド向けにもシステム系の人材が必要である。市場の大宗を担っている、シリコン結晶系においても研究開発課題は残されており、研究開発資金の確保による研究人材の確保・育成が求められる。

<肯定的意見>

- 太陽電池、太陽光発電の業界内では、第一人者と言われる人材を多数輩出していると言える。(町田委員)
- 2005年までは世界でもトップのシェア、レベルを保っていた。(浦島委員)
- アモルファス太陽電池分野では、国際的にリードする研究機関が官学に育った。(荒井委員)
- 国内外において第一人者と評価される研究者が生まれ、産総研に太陽光発電研究センターが設置されるなど、国内のいくつかの研究機関・大学で拠点が形成された。これらの拠点では多くの博士号取得とポスドク育成が行われた。(神本委員)
- 国の機関の独法化後の人件費抑制の中で、プロジェクト予算による研究者の雇用が可能となり、この分野の研究者増員が行われた。(神本委員)

<問題点・改善すべき点>

- 太陽光関連雇用者数(全雇用者に占める比率)は、成長が著しいドイツ、スペインと比較しても低位にとどまっている。(財)光産業技術振興協会調査によれば、太陽光発電産業を含む光産業の研究開発従事者数は、近年の10年間で約2倍に増えているが、業界内部での再編成も進行し、かつ、研究者の高齢化の問題も抱えている。国内外から高く評価される研究開発の成果を持続的に創成できる組織的な対応が必要になると考える。(菊池座長)
- 当該テーマに従事する研究者がどの程度いるのか、判断することはほとんど不可能と考えられる。(浦島委員)

- 専門分野毎に議論が限られることはなかったか？ 産業応用（市場）までつないだ、俯瞰的データベース(総合評価において提案)に基づく議論すべきである。(荒井委員)
- 人材育成は上記のように進んだが、システム系の人材は依然として少ない。スマートグリッド向けにもシステム系の人材が必要である。(神本委員)
- 市場の太宗を担っている結晶シリコン系太陽電池のような分野においても、シリコン結晶の生産技術等のコスト競争力の源泉となる必要な技術を育てていく必要があり、研究開発資金の確保による研究人材の確保・育成が求められる。(荒井委員)

<その他の意見>

- 大学との共同研究がどの程度されているのかを把握できるとよい。(浦島委員)
- 技術者の処遇やローテーション、研究開発組織の増強については、各企業の問題であり、コメントとしては差し控えたい。(町田委員)

I-3 経済効果

(1) 市場創出への寄与

太陽電池の性能とコストが実用化レベルに達していない時期に国家プロジェクトが企業の研究継続と人材育成を支え、それが新しい市場の創造と拡大に寄与した。

産官学の連携により、住宅用太陽光発電市場を日本が独自に創出した点、太陽電池セル・モジュールの約6割は輸出されている点、それにより、生産額の対GDP比率も大きく増加している点などは大きな経済効果であり、高く評価される。

しかし、2000年代後半からドイツ、中国、米国の新興メーカーに追い越されたことは、単純に企業だけの責任ではないと考えられる。産業としてテイクオフの時期(1000億円規模)を2001年前後であるとすれば、それに先立つ研究開発投資は25年にわたって行われたことになる。特許制度は20年の特許権を認めているので、プロジェクトの成果であった特許発明については、そのテイクオフの時期には、公知技術化が進行していたものと考えられる。市場活性化への公的資金の投入も1994年ごろから開始されているが、特許発明をより一層早期に実施するための政策的判断が必要であったと考える。

なお、企業トップの決断が大きかったと思うが、国家プロジェクトが大きな支えとなったことも事実である。再生可能エネルギーの分野はぶれない政策が求められるとの意見もあった。

<肯定的意見>

- 住宅用太陽光発電市場を産官学の連携により、日本が独自に創出した。(町田委員)
- 住宅用太陽光発電市場の創出に係る技術や制度は、産業用や電力用の太陽光発電システムに応用されている。(町田委員)
- 太陽電池セル・モジュールの約6割は輸出(2010年JPEA調べ)されていることから、産業貢献していると言える。(町田委員)
- 2005年まで、世界でトップシェアを保っていたことは高評価に値する(浦島委員)
- 対GDP比率も大きくなり、産業として成長したといえる。(菊池座長)
- 経済的効果は大きいと認識している。(荒井委員)
- 太陽電池の性能とコストが実用化レベルに達していない時期に国家プロジェクトが企業の研究継続と人材育成を支え、それが新しい市場の創造と拡大に寄与した。(神本委員)

<問題点・改善すべき点>

- 2005年以降他国に追いつかれ、追い越されたことは、単純に企業だけの責任ではない。(浦島委員)
- 産業としてテイクオフの時期(1000億円規模)を2001年前後であるとすれば、それに先立つ研究開発投資は25年にわたって行われたことになる。特許制度は20年の特許権を認めているので、プロジェクトの成果であった特許発明の公知技術化が進行していたも

のといえる。(菊池座長)

- 市場活性化への公的資金の投入も 1994 年ごろから開始されている。しかし、特許発明をより一層早期に実施するための政策的判断が必要であったと考える。(菊池座長)

<その他の意見>

- 補助金なしで市場活性化を推進する施策が必要であった。(浦島委員)
- 企業トップの決断が大きかったと思うが、国家プロジェクトが大きな支えとなったことも事実。再生可能エネルギーの分野はぶれない政策が求められる。(神本委員)

(2) 経済的インパクト

国内生産規模も1兆円を超え、累計5.5兆円、2009年には2.7万人の雇用を生み出す規模になり、2009年で生産の約6割を輸出する産業に成長している。JPEAが2010年11月に発表した将来ビジョン（JPEA PV Outlook 2030）では、日本ブランドの太陽光発電出荷量は2030年に10兆円を目指すとしており、経済的インパクトは大きいといえる。市場開拓へ多くの人材が投入され、非常に裾野の広い産業を形成した。

しかし、近年の国際競争の中で各社のシェア争いは激化している現状を鑑みると、グローバルな視点に基づいて経済的インパクトを評価し、政策に反映させることが必要であると考えられる。

なお、経済的インパクトは研究開発による性能向上やコスト低減だけでは決まらない。規制緩和、余剰電力買取、補助金等の政策も並行して実施する必要があるとの意見もあった。

<肯定的意見>

- JPEAが2010年11月に発表した将来ビジョン（JPEA PV Outlook 2030）では、日本ブランドの太陽光発電出荷量は2030年に10兆円を目指すとしており、経済的インパクトは大きいと言える。（町田委員）
- 半導体産業とリンクしていた部分もあり、市場開拓へ多くの人材が投入された。（浦島委員）
- 非常に裾野の広い産業と認識される。（荒井委員）
- すでに周辺も含め年間1兆円、累計5.5兆円、2009年に2.7万人の雇用を生み出している。（神本委員）

<問題点・改善すべき点>

- 海外への製造工場移転によって、雇用は減少し、価格の低下により他国企業にシェアが奪われた。（浦島委員）
- 国内生産規模も1兆円を超える規模になり、生産の6割強を輸出する産業に成長している。経済的インパクトは大きいといえる。しかし、近年の国際競争の中で各社のシェア争いは激化している現状を鑑みると、グローバルな視点に基づいて経済的インパクトを評価し政策に反映させることが必要であると考えられる。（菊池座長）

<その他の意見>

- 経済的インパクトは研究開発による性能向上やコスト低減だけでは決まらない。規制緩和、余剰電力買取、補助金等の政策も並行して実施する必要がある。（神本委員）

(3) 産業構造転換・活性化の促進

プロジェクトによる太陽電池の性能の向上と民間企業の産業化、逆潮流ありの系統連系と余剰電力の買取制度、導入補助金など一連の施策により、裾野の広い産業群を形成できた。新規参入企業の成長を見ても、活性化の牽引力は大きいと評価できる。

太陽電池そのものだけでなく、PVハウス、ゼロエネルギーハウスといった住宅産業の新たな展開に結び付き、販売も含めると市場と雇用は大いに創出されたと考えられる。建材一体化太陽電池モジュール等、ニーズを踏まえたプロジェクト運営がこれらに貢献した。需要拡大に伴い、多くの新規企業の参加も見られる

太陽光発電に関する需要は今後も拡大すると見られており、それに伴い雇用も拡大していくと考えられる（JPEAの将来ビジョン（2010年版）では、2030年時点での太陽光発電産業による直接的雇用40万人になる見込み）。

ただし、補助金が打ち切られたことにより、国内市場は減少してしまったため、今後は補助金がない状態でも、市場が広がるような施策が必要である。

なお、太陽電池等、再生可能エネルギーの電力系統への連系は、日本版スマートグリッドのコア技術で、今後の展開が期待されるとの意見があった。

<肯定的意見>

- 太陽光発電の価格低減により需要（市場）は拡大すると見ており、それに伴い雇用も拡大していく。（町田委員）
- JPEAの将来ビジョン（JPEA PV Outlook 2030）では、2030年時点での太陽光発電産業による直接的雇用40万人になる見込みと予想している。（町田委員）
- 太陽電池は裾野の広い産業群を形成している。かつ、新規参入企業の成長を見ても、活性化の牽引力は大きいと評価する。（菊池座長）
- 日本の太陽電池産業の基盤は、プロジェクトによる太陽電池の性能の向上と民間企業の産業化、逆潮流ありの系統連系と余剰電力の買取制度、導入補助金など一連の施策によると認識している。（荒井委員）
- 太陽電池そのものだけでなく、PVハウス、ゼロエネルギーハウスといった住宅産業の新たな展開に結び付き、販売も含めると市場と雇用は大いに創出されたと考えられる。
- 建材一体化太陽電池モジュール等、ニーズを踏まえたプロジェクト運営がこれらに貢献した。需要拡大に伴い、多くの新規企業の参加も見られる。（以上 神本委員）

<問題点・改善すべき点>

- 補助金が打ち切られたことにより、産業は減少した。（浦島委員）

<その他の意見>

- 補助金がない状態でも、市場が広がるような施策が必要である。（浦島委員）

- 今までの市場規模について、光産業技術振興協会の調査報告が参考となる。(町田委員)
- 太陽電池等、再生可能エネルギーの電力系統への連系は、日本版スマートグリッドのコア技術で、今後の展開が期待される。(神本委員)

I-4 国民生活・社会レベルの向上効果

(1) エネルギー問題への影響

太陽光発電システムは導入量や稼働率により、エネルギー供給量の面では現状では少ないが、国際エネルギー機関（IEA）のロードマップによれば、2050年には電力の10%以上が太陽光発電由来の電力になると予想されている。現時点においても、エネルギー資源の分散化をある程度実現しており、国としてのリスク分散に貢献したと考えられる。

なお、導入拡大を図るうえで規格化や設置場所の多様なニーズに合わせたデザイン、デバイス特性、システムの最適化等が求められるとの意見もあった。

また、自然エネルギーを利用した発電方法として、太陽光・風力は小学生や一般市民にも理解しやすい。このような装置・施設が全国に普及したことによって、教育効果が向上したことは、間接的に問題解決につながるとの意見もあった。

<肯定的意見>

- 太陽光発電システムは導入量や稼働率により、エネルギー供給量の面では現状は少ないが、国際エネルギー機関（IEA）のロードマップ（Technology Roadmap Solar photovoltaic energy）によれば、2050年には電力の10%以上が太陽光発電由来の電力になると予想している。（町田委員）
- 自然エネルギーを利用した発電方法として、太陽光・風力は小学生や一般市民にも理解しやすい。このような装置・施設が全国に普及したことによって、教育効果が向上したことは、間接的に問題解決につながる。（浦島委員）
- 太陽エネルギーを利用することにより、発電システム全体としてのCO₂排出量は抑制され、地球環境保全に大きな貢献があったといえる。さらに、エネルギー資源の分散化を実現したことは、国としてのリスク分散に貢献したと考える。（菊池座長）
- 太陽光発電が、エネルギー問題解決の一翼をになうとの広く国民の認識を得た。（荒井委員）
- 太陽光発電のエネルギーペイバックタイムは短い。（神本委員）
- 現状の導入量は小さくエネルギー問題の解決への寄与は限定的だが、将来の展望が描ける段階にまで達している。（神本委員）

<問題点・改善すべき点>

<その他の意見>

- 設置場所の多様なニーズに合わせたデザイン、デバイス特性、システムの最適化等が求められる。（神本委員）
- 導入拡大を図るうえで規格化も重要である。（神本委員）

(2) 環境問題への影響

太陽光発電システムは、製造時も含め、主要な既存電源と比較して、CO₂排出は極めて低い。導入が促進されれば、システム運用における技術的習熟効果も累積すると考えられるので、その環境問題への貢献はさらに増幅すると考えられる。

自然の力を積極的に利用してエネルギーを起こすということを、小学生や一般市民にも容易に理解されるようになった点や、太陽光発電システムのエネルギーペイバックタイムや創エネルギー総量、発電システムの排出量など環境問題への寄与の定量的評価が国民に浸透しつつある点も効果としては大きいと評価できる。

なお、リサイクルモジュール等の成果の実用化に期待したいとの意見もあった。

<肯定的意見>

- 追跡調査報告書(参考資料)にあるように、エネルギーペイバックタイム(エネルギーの消費と発生からの償却期間)や電源別のCO₂排出量の比較から、環境面で貢献しうる電源と考えられる。(町田委員)
- 自然の力を積極的に利用してエネルギーを起こすということを、小学生や一般市民にも容易に理解されるようになった。(浦島委員)
- 電源別のCO₂排出は、主要な既存電源と比較して、極めて低いといえる。導入が促進されれば、システム運用における技術的習熟効果も累積すると考えられるので、その貢献はさらに増幅するといえる。(菊池座長)
- 太陽光発電システムのエネルギーペイバックタイムや創エネルギー総量、発電システムの排出量など環境問題への寄与の定量的評価が国民に浸透しつつある。(荒井委員)
- 太陽光発電のCO₂排出量は少ない。(神本委員)
- 現状の導入量は小さく環境問題の解決への寄与は限定的だが、将来の展望が描ける段階にまで達している。(神本委員)

<問題点・改善すべき点>

<その他の意見>

- リサイクルモジュール等の成果の実用化に期待したい。(神本委員)
- メガソーラー等の大規模な施設を設置する場合は、環境アセスメントを実施するなど、周辺地域、環境への影響に配慮する必要があると考える。(浦島委員)

II. 現在の視点からの一連のプロジェクト群の評価

II-1 国家プロジェクトとしての妥当性

太陽光発電はようやく普及し始めた段階であるが、このような状況に至るまでに本プロジェクト群の果たした役割は極めて大きかった。1970年代中盤から現在に至るまで、国が一貫してリーダーシップを発揮し、企業や研究機関等の太陽電池や太陽光発電の研究開発と導入促進の支援を継続したことは評価できる。企業の自主性に任せた場合、市場原理に基づくインセンティブが期待できず、諸般の事情で継続性が失われる危惧は容易に想像でき、市場が明らかでなかった太陽光発電技術において、産官学の連携による材料、セル、製造技術、システムにわたる研究開発の推進、市場の形成のために必要な環境の整備などの一連の施策は国の関与なくしてはできなかつた。明確なコスト目標と導入目標を定めて国として研究開発を進めてきた結果、地球温暖化対策のキーテクノロジーとして期待されるまでになった。

2000年代半ばから、日本国内の太陽光発電導入量が頭打ちとなり、日本企業の生産量シェアが低下した事実を鑑みるに、政策パッケージとして、「研究開発」、「実証・フィールドテスト」、「市場活性化」の諸施策において、特に、「市場活性化」の施策判断に不備があったのではないかと考える。また、国際標準の推進体制についても再検討の必要があると考える。

今後は、技術開発の推進のみではなく、まずは将来の社会ニーズをきちんととらえ、それに必要な技術を推進する体制を整備することが望ましいと考えられる。

なお、世界でトップレベルになれるチャンスがある技術に関しては、積極的に予算を投入して取り組むべきという意見もあった。

<肯定的意見>

- エネルギー源の多様化やセキュリティの確保の面から、1970年代中盤から現在に至るまで、国が一貫してリーダーシップを発揮し、企業や研究機関等の太陽電池や太陽光発電の研究開発と導入促進の支援を継続したことは評価できる。(町田委員)
- 企業の自主性に任せた場合、諸般の事情で継続性が失われる危惧は容易に想像できる。(町田委員)
- 新エネルギーの普及には、国の積極的関与が欠かせない。現在のような環境問題が大きくなる前から、積極的に太陽光発電に取り組んできたことは高く評価できる。(浦島委員)
- 国家プロジェクトとして妥当であったといえる。(菊池座長)
- 市場が明らかでなかった裾野の広い太陽光発電技術において、産官学の連携による材料、セル、製造技術、システムにわたる研究開発の推進、市場の形成のために必要な環境の整備などの一連の施策は経済産業省の関与なくしてはできなかつたと認識。(荒井委員)

- 太陽光発電はようやく普及し始めた段階であるが、このような状況に至るまでに本プロジェクト群の果たした役割は極めて大きかった。民間だけでは市場原理に基づくインセンティブが期待できない中で、明確なコスト目標と導入目標を定めて国として研究開発を進めてきた結果、地球温暖化対策のキーテクノロジーとして期待されるまでになった。(神本委員)

<問題点・改善すべき点>

- 技術開発の推進のみではなく、まずは将来の社会ニーズをきちんととらえ、それに必要な技術を推進する体制を整備することが望ましい。(浦島委員)
- 政策パッケージとして、「研究開発」、「実証・フィールドテスト」、「市場活性化」の諸施策において、特に、「市場活性化」の施策判断に不備があったのではないかと考える。(菊池座長)
- 国際標準の推進体制についても再検討の必要があると考える。(菊池座長)

<その他の意見>

- 世界でトップレベルになれるチャンスがある技術に関しては、積極的に予算を投入して取り組むべきではないか。(浦島委員)

II-2 目標設定

コストと導入量は強く関係しており、開発の初期から一貫してこの 2 つに対し明確な目標設定をしてきたことは、評価できる。目標レベルはニーズ側から設定されており、極めて挑戦的な高いレベル設定となっている。研究開発や導入促進の各フェーズの節目ごとに、その時点での外的要因や技術レベル等を考慮した弾力的な目標設定が行われており、方向性や方法は妥当であったと考える。そのような、長期的な目標設定のもとに一連の施策が実施されてきたことは、他国からも評価が高い。

また、太陽光発電の導入・普及が進んだという結果から判断しても、目標設定は妥当であったと考えられる。

<肯定的意見>

- 研究開発や導入促進の各フェーズの節目ごとに、その時点での外的要因や技術レベル等を考慮した目標設定が行われており、方向性や方法は妥当であったと考える。(町田委員)
- 長期的に実施されてきたことは、他国からも評価が高い。(浦島委員)
- 目標設定の方向性、さらには、目標レベルは弾力的に見直されており、極めて妥当であったといえる。(菊池座長)
- 導入・普及を実現したことから見ても妥当と判断できる。(荒井委員)
- コストと導入量は強く関係しており、開発の初期から一貫してこの 2 つに対し明確な目標設定をしてきたことは、評価できる。(神本委員)
- 目標レベルはニーズ側から設定されており、極めて挑戦的な高いレベル設定となっている。(神本委員)

<問題点・改善すべき点>

<その他の意見>

II-3 プロジェクト実施方法

長期間にわたるプログラムのため、その間、国の予算の枠組み等の変更があったが、技術の進展状況や市場動向に合わせ、柔軟にプロジェクトを実施してきている。1980年以降、国が計画策定やマネジメント能力を有する機関へ、太陽電池・太陽光発電の研究開発や導入促進の事業を委託したことにより、事業の公平性は保たれていたと考えられる。また、産官学の有識者による委員会等を立ち上げ、プロジェクトの進捗や技術的課題の議論を行っていたので、マネジメントについても妥当と考えられる。

複数の技術シーズを探索することにより、実用化に向けたニーズの体系化・明確化が行われてきたことは、プロジェクト実施方法として、良策であった。

しかし、シリコン結晶系太陽電池のような成熟分野でもブレークスルー技術は必要であり、コンペティティブなフェーズでの競争力強化の工夫が求められる。また、データベースに基づく俯瞰的な技術精査等により、開発コミュニティ外の新技術をも取り込む工夫も必要である。

さらに、研究開発成果が生み出すアウトカムをグローバルな視座から再点検することによって、研究開発の現場にフィードバックすることも必要であったと考える。研究開発を取り巻く社会情勢が激しく変化する今後においては、技術のみならず、社会及び経済学者も交えた体制でのプロジェクトの推進が望まれる。

今後、長期的・挑戦的課題の重要性が増すと思われるので、目標設定、実施体制、運営方法等のあり方について再検討が必要である。さらに文部科学省のプロジェクトとの連携も重要という意見もあった。

<肯定的意見>

- 1980年以降、国が計画策定やマネジメント能力を有する機関へ、太陽電池・太陽光発電の研究開発や導入促進の事業を委託したことにより、事業の公平性は保たれていたと考える。(町田委員)
- 産官学の有識者による委員会等を立ち上げ、プロジェクトの進捗や技術的課題の議論を行っていたので、マネジメントについても妥当と考える。(町田委員)
- 市場が形成されないうちは、国が初期投資をすることは不可欠である。また、こうしたインフラ関係は、法改正などの必要性も生じてくることから、国の関与は必須である。(浦島委員)
- 導入・普及への求心力をもってプロジェクトが実施されたと考えられる。(荒井委員)
- 長期間にわたるプログラムのため、その間国の予算の枠組み等の変更があったが、技術の進展状況や市場動向に合わせ、柔軟にプロジェクトを実施してきたと思う。(神本委員)

<問題点・改善すべき点>

- これまでとは違う、プロジェクト管理体制が必要と考えられる。(浦島委員)
- 複数の技術シーズを探索することにより、実用化に向けたニーズの体系化・明確化が行われてきたことは、プロジェクト実施方法として、良策であった。(菊池座長)
- さらに、研究開発成果が生み出すアウトカムをグローバルな視座から再点検することによって、研究開発の現場にフィードバックすることも必要であったと考える。(菊池座長)
- 成熟分野でもブレークスルー技術は必要であり、コンペティティブなフェーズでも競争力強化の工夫が必要。(荒井委員)
- データベースに基づく俯瞰的な技術精査等により、開発コミュニティ外の新技術をも取り込む工夫がある。(荒井委員)
- 今後、長期的・挑戦的課題の重要性が増すと思われるので、目標設定、実施体制、運営方法等のあり方について再検討が必要。さらに文科省プロジェクトとの連携も重要と思う(神本委員)

<その他の意見>

- 研究の推進には、技術のみならず、社会及び経済学者も交えた体制でのプロジェクトの推進が望まれる。(浦島委員)

II-4 II-1～II-3の評価を踏まえ、プロジェクト終了時の事後評価の妥当性

サンシャイン計画に関しては、事後評価は行われていないものの、それ以後のプロジェクトについては、研究開発や導入促進の各フェーズの節目ごとに、評価を実施しており、事後評価の結果は、概ね妥当であったといえる。設定された研究開発目標の到達等を基軸に事後評価が行われているが、後継プロジェクトあるいは次のステップにつながるような知見等を記録として残し、評価を加えることも必要であると考えます。

追跡評価においては、プロジェクトの終了後、成果を得られなかった要因も情報収集すべきである。また、プロジェクト成果の波及効果の評価は、技術的側面のみならず、経済的側面（市況、景気など）や社会的側面（法制度、インフラなど）等の有機的な関係に注意しつつ評価を行うことが重要と考える。

<肯定的意見>

- 研究開発や導入促進の各フェーズの節目ごとに、評価を実施しており各プロジェクトの評価については妥当と考える。(町田委員)
- 追跡評価により、プロジェクト終了後の一定期間を経て、その効果を検証することは有意義であり、プロジェクトの終了時点では予想の範疇であったことを改めて検証することができ、効果はあると思われる。(町田委員)
- 世界でトップレベルであったことはそれなりに評価できる。(浦島委員)
- サンシャイン計画に関しては、事後評価は行われていないものの、それ以後のプロジェクトについては、事後評価の結果は、概ね妥当であったといえる。設定された研究開発目標の到達等を基軸に事後評価が行われているが、後継プロジェクトあるいは次のステップにつながるような知見等を記録として残し、評価を加えることも必要であると考えます。(菊池座長)
- 妥当と認識。(荒井委員)
- 事後評価で行われた評価結果は、現時点から見ても妥当。(神本委員)

<問題点・改善すべき点>

- プロジェクトの終了後、成果を得られなかった要因も情報収集すべきでは。(浦島委員)
- コスト・性能だけではなく、市場性を考慮した議論が必要になる。(荒井委員)

<その他の意見>

- 追跡評価において、その成果の波及効果の評価は、技術的側面のみならず、経済的側面（市況、景気など）や社会的側面（法制度、インフラなど）等の有機的な関係を注意しつつ評価を行うことが重要と考える。(町田委員)

太陽光発電研究開発の技術・産業・社会への
インパクトに関する調査

報告書

2011年3月

株式会社三菱総合研究所

目次

1. 調査の概要.....	1
1. 1 調査の背景及び目的.....	1
1. 2 調査の内容.....	2
2. 追跡調査全体の背景.....	7
2. 1 研究開発の背景.....	7
2. 1. 1 サンシャイン計画開始以前の状況.....	8
2. 1. 2 サンシャイン計画の開始及びニューサンシャイン計画.....	8
2. 1. 3 NEDO5 カ年計画の開始から現在に至るまで.....	9
2. 2 追跡調査対象プロジェクトの予算推移.....	11
2. 3 調査対象プロジェクトの概要.....	13
2. 3. 1 (サンシャイン計画) 新エネルギー研究開発計画のうちの太陽光発電に 関する研究開発 (S49~H4)	13
(1) サンシャイン計画「結晶型太陽電池技術開発 (シリコン多結晶太陽電池、 II-VI族化合物半導体太陽電池、SnO ₂ 太陽電池)」.....	13
2. 3. 2 ニューサンシャイン計画のうち太陽光発電に関する研究開発 (H5~H12)	17
(1) ニューサンシャイン計画「太陽光発電技術研究開発」の全体.....	17
(2) PV1.薄膜太陽電池製造技術開発 (PV11.低コスト・大面積モジュール製造 技術開発)	20
(3) PV1.薄膜太陽電池製造技術開発 (PV12.材料・基板製造技術開発)	23
(4) PV2.超高効率結晶化合物系太陽電池製造技術の研究開発.....	25
(5) PV3.太陽電池・評価システム技術.....	27
(6) PV4.太陽光発電利用システム・周辺技術に関する研究開発.....	29
(7) PV5.太陽光発電システムの実証研究.....	33
2. 3. 3 即効型高効率太陽電池技術開発 (H11~H12 (~H14))	34
2. 3. 4 先進太陽電池技術研究開発 (H13~H17)	36
2. 3. 5 革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発 (H13~H17)	38
2. 3. 6 太陽光発電システム共通基盤技術開発 (H13~H17)	42
(1) 太陽電池評価技術の研究開発.....	42
(2) 太陽光発電システム評価技術の研究開発.....	43
(3) 太陽光発電システムのリサイクル・リユース処理技術等.....	44
(4) 太陽光発電システムの電磁環境性に関する研究開発.....	45
(5) その他について.....	45
2. 3. 7 太陽光発電技術研究開発 (H13~H17)	47
2. 3. 8 太陽光発電システム普及加速型技術開発 (H12~H17)	50
(1) 薄膜多結晶シリコンセル形成の高スループット量産化技術開発.....	50
(2) 高速大面積アモルファスシリコン製膜技術の開発.....	50

(3)	低コスト太陽電池用多結晶シリコン基板の量産化技術開発	51
(4)	結晶シート太陽電池の高効率化技術開発	51
(5)	フィルム基板アモルファス太陽電池の量産化技術開発	51
(6)	太陽電池用シリコン原料の低コスト・量産化技術開発	51
(7)	低コスト薄膜多結晶 Si の量産型製膜装置開発	52
(8)	太陽電池用高品質多結晶シリコン製造技術の開発	52
(9)	溶融析出法による太陽電池シリコン製造技術の開発	52
2. 3. 9	太陽光発電システム実用化加速技術開発 (H17～H19)	54
(1)	「高フィルファクタ太陽電池対応型高効率インバータ技術開発」	54
(2)	「微結晶タンデム太陽電池の低コスト化製造技術開発」	54
(3)	「シリコン回収及び再生技術開発」	54
(4)	「固定式集光型球状シリコン太陽電池セルの量産技術開発」	55
(5)	「太陽光・蓄電ハイブリッドシステムの技術開発」	55
3.	追跡調査の結果	57
3. 1	【施策評価】	57
3. 1. 1	施策（太陽光発電研究開発）の目的・政策的位置付けの妥当性	57
(1)	施策（太陽光発電研究開発）の目的の妥当性	57
(2)	施策（太陽光発電研究開発）の政策的位置付けの妥当性	67
(3)	国の施策で行われるべき研究開発としての妥当性はあったか、国の関与が必要とされる研究開発施策であったか	71
3. 1. 2	施策（太陽光発電研究開発）の構造及び目的実現見通しの妥当性	72
(1)	現時点までにおいて得られた成果は妥当か。	72
(2)	施策（太陽光発電研究開発）の目的を実現するために研究開発プロジェクトを含む技術に関する事業が適切に配置されてきたか。それぞれの事業間での連携は適切に取られてきたか。	73
(3)	個々の研究開発プロジェクト終了後のフォローアップの状況	75
3. 1. 3	総合評価	79
(1)	サンシャイン計画前期（1974年～1979年）	81
(2)	サンシャイン計画後期（1980年～1992年）	82
(3)	ニューサンシャイン計画（1993年～2000年）	83
(4)	NEDO5カ年計画（2000年～2005年）	84
3. 2	【事業評価】	86
3. 2. 1	技術波及効果	86
(1)	実用化の進展度合	86
(2)	一連のプロジェクト群の成果からの技術的な広がり具合	92
(3)	国際競争力への影響	100
3. 2. 2	研究開発力向上効果	106
(1)	知的ストックの蓄積度合	106
(2)	研究開発組織の改善・技術戦略への影響	112
(3)	人材への影響	114

3. 2. 3	経済効果	116
(1)	市場創出への寄与	116
(2)	経済的インパクト	119
(3)	産業構造転換・活性化の促進	120
3. 2. 4	国民生活・社会レベルの向上効果	122
(1)	エネルギー問題への影響	122
(2)	環境問題への影響	123
4.	現在の視点からの一連のプロジェクト群の評価	126
4. 1	一連のプロジェクト群としての総論	127
4. 1. 1	国のプロジェクトとしての妥当性	127
(1)	国のプロジェクトとしての効果	127
(2)	国が関与する必要性	127
4. 1. 2	目標設定の妥当性	127
4. 1. 3	プロジェクト実施方法の妥当性	128
4. 2	サンシャイン計画（昭和 49 年度～平成 4 年度）で実施された太陽光発電に関する研究開発	130
4. 2. 1	国のプロジェクトとしての妥当性	130
(1)	国のプロジェクトとしての効果	130
(2)	国が関与する必要性	130
4. 2. 2	目標設定の妥当性	130
4. 2. 3	プロジェクト実施方法の妥当性	131
4. 3	ニューサンシャイン計画（エネルギー・環境領域総合技術開発推進計画）（平成 5 年度～平成 12 年度）で実施された太陽光発電に関する研究開発	132
4. 3. 1	国のプロジェクトとしての妥当性	132
(1)	国のプロジェクトとしての効果	132
(2)	国が関与する必要性	132
4. 3. 2	目標設定の妥当性	132
4. 3. 3	プロジェクト実施方法の妥当性	132
(1)	計画内容の具体性、妥当性	132
(2)	実施体制選択の妥当性	133
4. 4	即効型高効率太陽電池技術開発（平成 11 年度～平成 12 年度※）	134
4. 4. 1	国のプロジェクトとしての妥当性	134
(1)	国のプロジェクトとしての効果	134
(2)	国が関与する必要性	134
4. 4. 2	目標設定の妥当性	134
4. 4. 3	プロジェクト実施方法の妥当性	134
4. 5	先進太陽電池技術研究開発（平成 13 年度～平成 17 年度）	135
4. 5. 1	国のプロジェクトとしての妥当性	135
(1)	国のプロジェクトとしての効果	135
(2)	国が関与する必要性	135

4. 5. 2	目標設定の妥当性	135
4. 5. 3	プロジェクト実施方法の妥当性.....	135
4. 6	革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発（平成 13 年度～平成 17 年度）	137
4. 6. 1	国のプロジェクトとしての妥当性.....	137
(1)	国のプロジェクトとしての効果	137
(2)	国が関与する必要性	137
4. 6. 2	目標設定の妥当性	137
4. 6. 3	プロジェクト実施方法の妥当性.....	138
4. 7	太陽光発電システム共通基盤技術研究開発（平成 13 年度～平成 17 年度） ..	139
4. 7. 1	国のプロジェクトとしての妥当性.....	139
(1)	国のプロジェクトとしての効果	139
(2)	国が関与する必要性	139
4. 7. 2	目標設定の妥当性	139
4. 7. 3	プロジェクト実施方法の妥当性.....	139
4. 8	太陽光発電技術研究開発（平成 13 年度～平成 17 年度）のうち産業技術総合 研究所による実施分.....	141
4. 8. 1	国のプロジェクトとしての妥当性.....	141
(1)	国のプロジェクトとしての効果	141
(2)	国が関与する必要性	142
4. 8. 2	目標設定の妥当性	142
4. 8. 3	プロジェクト実施方法の妥当性.....	142
4. 9	太陽光発電システム普及加速型技術開発（平成 12 年度～平成 17 年度※） ..	143
4. 9. 1	国のプロジェクトとしての妥当性.....	143
(1)	国のプロジェクトとしての効果	143
(2)	国が関与する必要性	144
4. 9. 2	目標設定の妥当性	144
4. 9. 3	プロジェクト実施方法の妥当性.....	144
4. 10	太陽光発電システム実用化加速技術開発（平成 17 年度～平成 19 年度） ..	145
4. 10. 1	国のプロジェクトとしての妥当性.....	145
(1)	国のプロジェクトとしての効果	145
(2)	国が関与する必要性	145
4. 10. 2	目標設定の妥当性.....	145
4. 10. 3	プロジェクト実施方法の妥当性.....	145

1. 調査の概要

1. 1 調査の背景及び目的

経済産業省では、経済産業省技術評価指針（平成 21 年 3 月 31 日改正）に基づき、終了して数年経過した技術に関する事業や類似の目的の研究開発プロジェクトをまとめた特定の研究分野の技術に関する施策を対象に追跡評価を実施している。

追跡評価は、技術に関する事業や特定の研究分野での技術に関する施策の研究開発活動や研究開発成果が産業・社会に及ぼした効果について調査し、その調査結果を基に現在の視点から総合的に評価を行うものである。これは、研究開発プロジェクトに対する国民への説明責任を果たす観点並びに今後実施される研究開発プロジェクトにおける戦略的なテーマ設定等のプロジェクトフォーメーション、予算、運営方法、フォローアップ体制等の検討において参考情報を提供する観点から極めて重要である。

本調査は、昭和 49 年度からこれまでに実施され終了した太陽光発電に関する研究開発についての追跡評価をより効率的かつ効果的に行うために実施するものである。

具体的には以下を対象とする。

- ①サンシャイン計画（新エネルギー技術研究開発計画）（昭和 49 年度～平成 4 年度）
で実施された太陽光発電に関する研究開発
- ②ニューサンシャイン計画（エネルギー・環境領域総合技術開発推進計画）（平成 5 年度～平成 12 年度）で実施された太陽光発電に関する研究開発
- ③即効型高効率太陽電池技術開発（平成 11 年度～平成 12 年度）（平成 13 年度から、
④「先進太陽電池技術研究開発」に統合、平成 14 年度まで実施）
- ④先進太陽電池技術研究開発（平成 13 年度～平成 17 年度）
- ⑤革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発（平成 13 年度～平成 17 年度）
- ⑥太陽光発電システム共通基盤技術研究開発（平成 13 年度～平成 17 年度）
- ⑦太陽光発電技術研究開発（平成 13 年度～平成 17 年度）
- ⑧太陽光発電システム普及加速型技術開発（平成 12 年度～平成 17 年度）（平成 12 年度～平成 14 年度は「太陽光発電システム普及促進型技術開発」として実施）
- ⑨太陽光発電システム実用化加速技術開発（平成 17 年度～平成 19 年度）

1. 2 調査の内容

主として、上記の研究開発プロジェクトの研究開発活動や研究開発成果を対象に、現在に至るまでの関連技術等の進歩や発展、さらには産業、社会に及ぼした効果を調査し、研究開発プロジェクトを俯瞰的に見た施策面及び個々の研究開発事業の両面から、太陽光発電研究開発の成果及び効果を明らかにした報告書を作成する。

その際、太陽光発電の実用化に向けた技術開発の流れと現状を整理するとともに、実用化のために必要な課題及びこれらの課題に対してどのような取り組みがなされたかを整理して、太陽光発電の技術開発の萌芽から実用化への進展へ向けた全体像を俯瞰できるマップ等を作成する。また、太陽光発電の実用化に向けて、大きな成果が認められた研究開発成果については、効果をもたらす要因となった研究開発マネジメント、成果活用マネジメント等について調査し、実用化に大きな動きをもたらさなかった研究開発成果については、その要因を調査する。

なお、インパクト調査の調査項目及び調査視点のベースとなる太陽光発電研究開発追跡評価の評価項目・評価基準案は以下の表に示すとおりとし、この評価項目に対応した調査を行う。

本調査では、「経済産業省技術評価指針に基づく標準的評価項目・評価基準」（平成 22 年 7 月改訂）を基本として情報収集・分析を行ったが、多数に渡る対象プロジェクトの目的、成果、相互関係等に着目し、俯瞰的に評価する必要があると判断されたため、施策評価の観点も追加し、標準的評価項目・評価指針に所要の修正を加えて評価項目を設定し、その視点から対象プロジェクトの追跡評価に必要となる情報の収集・分析等を行ったものである。

図表 1-1 評価項目・評価基準案

(施策評価関係)

1. 施策（太陽光発電研究開発）の目的・政策的位置付けの妥当性

(1) 施策（太陽光発電研究開発）の目的の妥当性

- ・太陽光発電研究開発の目的が波及効果、時期、主体等を含め、具体化されているか。
- ・それぞれの太陽光発電研究開発プロジェクト又は後継プロジェクトの移行時において、技術的課題は適切に取捨選択・整理され、目的に至る具体的目標は立てられていたか。
- ・実施された太陽光発電研究開発プロジェクトの目的は、社会的ニーズに適合し、出口（事業化）を見据えた内容になっていたか。また、研究開発プロジェクトの目的は、時代の進行とともに、より具体的な内容が設定されるよう見直されてきたか。

(2) 施策（太陽光発電研究開発）の政策的位置付けの妥当性

- ・施策（過去に実施されてきた太陽光発電研究開発）の政策的位置意義（上位の政策との関連付け、類似施策との関係等）は高かったか。また、時代の進行とともに施策の目的が修正されてきた場合には、引き続き施策の目的の政策的妥当性は高かったか。
- ・国際的な太陽光発電研究開発の動向に適合していたか。

(3) 国の施策で行われるべき研究開発としての妥当性はあったか。国の関与が必要とされる研究開発施策であったか。

- ・国として取り組む必要のある研究開発施策であったか。当省の関与が必要とされる研究開発

施策であったか。

- ・必要に応じ、省庁間連携は組まれてきたか。

2. 施策（太陽光発電研究開発）の構造及び目的実現見通しの妥当性

(1) 現時点までにおいて得られた成果は妥当か。

- ・現在実施されている太陽光発電研究開発は、過去の研究開発成果を適切に活用しているか。
- ・過去に終了した研究開発プロジェクトで実用化に至らなかったプロジェクトであっても適切な波及効果が得られているか。

(2) 施策（太陽光発電研究開発）の目的を実現するために研究開発プロジェクトを含む技術に関する事業が適切に配置されてきたか。それぞれの事業間での連携は適切に取られてきたか。

(3) 個々の研究開発プロジェクト終了後のフォローアップの状況

- ・個々の研究開発プロジェクトの成果の実用化や普及に対して、プロジェクト終了後のフォローアップ体制は適切であったか。
- ・後継のプロジェクトに引き継ぐ際には、適切な引き渡しが行われていたか。
- ・個々の研究開発プロジェクトの成果の実用化や研究開発基盤の構築等によって、その後の産業戦略、技術戦略等への影響があったか。

3. 総合評価

(事業評価関係)

I. 波及効果に関する評価

I-1. 技術波及効果

(1) 実用化への進展度合

- ・今回の追跡評価で対象とする一連の太陽光発電研究開発プロジェクト群（以下、「一連のプロジェクト群」という。）の直接的及び間接的な成果は、製品やサービスの実用化にどのように寄与したか、あるいは寄与する可能性があるか。特許取得やその利用の状況、市場環境の変化、競合技術の台頭等を踏まえて評価する。

- ①一連のプロジェクト群の終了後に実用化した製品やサービスは数多くあったか。
- ②一連のプロジェクト群の成果から今後実用化が期待される製品やサービスはあるか。
- ③多額の実施料収入を生み出す等、インパクトのある技術が得られたか。
- ④外国での特許取得が行われたか。
- ⑤基本特許を生み出したか。

(2) 一連のプロジェクト群の成果からの技術的な広がり具合

- ・一連のプロジェクト群の成果により直接的に生み出された技術は、関連技術分野に技術面でのインパクトを与えたか。派生技術には、一連のプロジェクト群で想定されていたもの、想定されていなかったものを含めてどのようなものがあり、それらはどのように利用されているかを踏まえて評価する。

- ①数多くの派生技術を生み出したか。
- ②派生技術は多くの種類の技術分野にわたっているか。(当該技術分野、他の各種技術分野)

- ③直接的に生み出された技術又は派生技術を利用した研究主体は数多くあるか。
- ④直接的に生み出された技術又は派生技術を利用する研究主体は産業界や学会に広がりを持っているか。(参加企業、大学等、不参加の同業種の企業、その他産業等)
- ⑤参加企業等が自ら実施する研究開発の促進効果や期間短縮効果はあったか。

(3) 国際競争力への影響

- ・直接的に生み出された技術の成果技術や派生技術により、国際競争力はどのように強化されたか。
 - ①我が国における当該分野の技術レベルは向上したか。
 - ②外国と技術的な取引が行われ、それが利益を生み出しているか。
 - ③一連のプロジェクト群の技術分野に関連した外国での特許取得は積極的になされているか。
 - ④国際標準の決定に対し、一連のプロジェクト群はメリットをもたらしたか。
 - ⑤国際標準等の協議において、我が国がリーダーシップをとれるようになったか。
 - ⑥外国企業との主導的な技術提携は行われたか。
 - ⑦一連のプロジェクト群が外国の技術政策に影響を与え、その結果技術交流が促進されたり、当該分野で我が国がイニシアチブをとれるようになったか。

I-2. 研究開発力向上効果

(1) 知的ストックの蓄積度合

- ・特許や、研究者のノウハウ・センス・知識等の研究成果を生み出す源となる知的ストックはどのような役割を果たしたか。それらは一連のプロジェクト群の終了後も継承され、次の研究の芽になる等、今後の影響を持ち得ることができるか。
 - ①当該分野における研究開発は続いているか。
 - ②一連のプロジェクト群の終了後にも、プロジェクトに参加した研究者が派生技術の研究を行っているか。
 - ③一連のプロジェクト群の終了時から現在までの間に、知的ストックが将来的に注目すべき新たな成果(画期的な新製品・新サービス等)を生み出す可能性は高まっているか。

(2) 研究開発組織の改善・技術戦略への影響

- ・一連のプロジェクト群は、研究開発組織の強化・改善に対してどのように役立ったか。あるいは、実施企業の技術戦略に影響を与えたか。
 - ①企業を超える研究開発のインフラとして、学会、フォーラム、研究者間交流等の公式・非公式の研究交流基盤は整備され、活用されているか。
 - ②企業間の共同研究の推進等、協力関係、良好な競争的關係が構築されたか。
 - ③顧客やビジネスパートナーとの関係の変化が、経済性を向上させたか。
 - ④技術の管理組織を再編成する契機となったか。
 - ⑤研究開発部門の再構成等、社内の組織改編は積極的に行われたか。
 - ⑥研究開発の予算規模が増減する契機となったか。
 - ⑦プロパテント等の特許戦略に対する意識が高くなったか。

⑧知的ストックは、企業の技術戦略にどのような影響を与えたか。

(3) 人材への影響

- ・一連のプロジェクト群は、研究者の効率的・効果的配置や能力の向上にどのように寄与したか。
 - ①国内外において第一人者と評価される研究者が生まれたか。
 - ②論文発表、博士号取得は活発に行われたか。
 - ③プロジェクト従事者の企業内での価値は高まったか。
 - ④研究者の能力向上に結び付くような研究者間の人的交流が行われたか。
 - ⑤関連分野の研究者増員が行われたか。
 - ⑥国内外から高く評価される研究機関となったか。

I-3. 経済効果

(1) 市場創出への寄与

- ・新しい市場を創造したか。また、その市場の拡大に寄与したか。

(2) 経済的インパクト

- ・生産波及、付加価値創出、雇用創出への影響は大きかったか。
 - ①直接的に生み出された技術や派生技術の実用化により、製品の売り上げと利益は増進したか。
 - ②直接的に生み出された技術や派生技術の実用化により、雇用促進は積極的に図られたか。

(3) 産業構造転換・活性化の促進

- ・一連のプロジェクト群が産業構造の転換や活性化（市場の拡大や雇用の増加等）にどのような役割を果たしたか。
 - ①一連のプロジェクト群が、各関連産業における市場の拡大や雇用の増加等に寄与したか。
 - ②一連のプロジェクト群が新たな産業の勃興や、既存市場への新規参入、あるいは既存市場からの撤退等をもたらしたか。また、それらが市場全体における雇用に影響したか。
 - ③一連のプロジェクト群が生産業務の改善や更新に結びついたことにより生産性・経済性は向上したか。

I-4. 国民生活・社会レベルの向上効果

- ・一連のプロジェクト群によって新たな製品・サービスが実用化されたこと、プロジェクトの成果の応用による生産性の向上や顕著なコストダウン、デファクトを含めた規格化を促進したこと等の事例がある場合、それらは、例えば下記に挙げる項目にそれぞれどのような影響をもたらしたか。

(1) エネルギー問題への影響

- ・エネルギー問題の解決に寄与した効果としてどのようなものが考えられるか。

(2) 環境問題への影響

- ・環境問題の解決に寄与した効果としてどのようなものが考えられるか。

II. 現在の視点からの一連のプロジェクト群の評価

II-1. 国家プロジェクトとしての妥当性

- ・国のプロジェクトとしてどのような効果があったか。Iに示した各効果を総合的に評価する。
- ・現在（追跡評価時点）から見て、国が関与する必要性があったか。また、関与の方法や程度は妥当であったか
 - ①多額の研究開発費、長期にわたる研究開発期間、高い技術的難度等から、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されない場合。
 - ②環境問題への先進的対応等、民間企業には市場原理に基づく研究開発実施インセンティブが期待できない場合。
 - ③標準の策定、データベース整備等のうち社会的性格が強いもの（知的基盤）の形成に資する研究開発の場合。
 - ④国の関与による異分野連携、産学官連携等の実現によって、研究開発活動に新たな付加価値をもたらすことが見込まれる場合。
 - ⑤その他国が主体的役割を果たすべき特段の理由がある場合。

II-2. 目標設定

- ・当時の技術動向、市場動向、社会環境、政策目的等から見て、目標設定の方向性とそのレベルは妥当であったか。

II-3. プロジェクト実施方法

- ・一連のプロジェクト群の計画策定、スキーム（予算制度）、実施体制、運営方法等の実施方法が現在の視点から見て妥当であったか。

II-4. II-1～II-3の評価結果を踏まえ、プロジェクト終了時の事後評価の妥当性

- ・事後評価で行われた評価結果は、追跡評価の時点から見て妥当であるか。
(現在の事後評価項目の例示)
 - 目的・意義の妥当性、目標の妥当性、計画内容の妥当性、国のプロジェクトであることの妥当性、研究開発体制・運営の妥当性、研究開発成果の計画と比較した達成度、実用化の見通し（成果普及、広報体制、波及効果）、総合評価、今後の提言
- ・今後の最終評価において改善すべき評価方法、考慮すべき要因等を提案。

2. 追跡調査全体の背景

2. 1 研究開発の背景

ここでは、追跡調査対象プロジェクトが実施されることとなった背景について時系列に取りまとめる。特に、一連の研究開発プロジェクトの発端となった「サンシャイン計画」の中で太陽光発電研究開発が取り上げられた背景については詳しく記載する。

太陽光発電研究開発に関連する研究開発プロジェクトの変遷図を図表 2-1 に示す。

図表 2-1 太陽光発電研究開発に関連する研究開発プロジェクトの変遷図

元号(年度) S49 ~ H4 H5 ~ H11 H12 H13 H14 H15 H16 H17 H18 H19 H20 H21 H22 H23 H24 H25 H26
西暦(年度) '74 ~ '92 '93 ~ '99 '00 '01 '02 '03 '04 '05 '06 '07 '08 '09 '10 '11 '12 '13 '14



注:③の正式名称は以下。即効型超高効率太陽電池技術開発 (H12-14年度は④先進太陽電池技術研究開発)
⑧のH12-14年度の名称は以下。「太陽光発電システム普及促進型技術開発」

出所: 経済産業省及びNEDOによる各プロジェクトの事後評価報告書、太陽光発電ロードマップ(PV2030+) (2009年6月)、「太陽エネルギー技術研究開発」基本計画(2010)を基に作成

2. 1. 1 サンシャイン計画開始以前の状況

シリコン系の太陽電池の原理は、1953年にベル研究所により単結晶シリコン太陽電池が発明されたことに始まる（発表は翌年）。1963年にはシャープが単結晶シリコンの太陽電池の量産を始めた。

その後、太陽電池に関する研究が進められ、人工衛星、送電線のない遠隔地での利用に供されたが、コストが高く、変換効率も低いといった難点があったため、特殊用途に限られていた。

2. 1. 2 サンシャイン計画の開始及びニューサンシャイン計画

サンシャイン計画の発足は、1974年7月であり、太陽光発電研究開発はその一部として位置付けられた。同計画の開始に至るまでの経緯は以下のとおりである。

1970年代初頭、電子技術総合研究所（電総研）の電力部門は、新しいエネルギー関係として太陽エネルギーの検討を開始していたが、1973年春、工業技術院の募集に応じて、名古屋工業試験所（名工試）と連名で太陽エネルギーの研究開発を提案した。工業技術院の開発官はこの研究を新エネルギー技術開発計画の中心に据えた。（島本（2003））

1973年8月の通商産業大臣の「将来予想されるエネルギー危機回避に資する技術開発の進め方に関する諮問」に対し、産業技術審議会が「新エネルギー技術開発の進め方について」という答申を出し、「豊富でクリーンな新エネルギー技術の開発を強力に進めるべきであり、そのために我が国としてナショナルプロジェクトで『新エネルギー技術開発計画』を発足させる必要がある」と提言した。この答申に応じて、翌年3月に実施要領が省議決定され、同年7月には実施計画が定められ、新エネルギー技術研究開発計画（通称「サンシャイン計画」）が発足した。（サンシャイン計画10周年記念事業工業技術院実行委員会（1984））

上記のサンシャイン計画の基本方針では、以下の2点が定められていた。つまり、太陽光発電技術は、太陽エネルギー技術の一部として組み込まれていた。

- ・新エネルギー技術について、西暦1974年から西暦2000年までの長期間にわたり総合的、組織的かつ効率的に研究開発を推進することにより、数十年先のエネルギー需要の相当部分をまかないうるクリーンなエネルギーを供給することを目標とする。
- ・太陽、地熱、石炭、水素エネルギー技術の4つの重点技術の研究開発を進める。

図表 2-2 サンシャイン計画の基本方針の構成

1. 太陽エネルギー技術
(1) 太陽エネルギー発電システム技術
①太陽熱発電システム技術
②太陽光発電システム技術
(2) 太陽冷暖房及び給湯システム技術
(3) 太陽エネルギー新利用技術
2. 地熱エネルギー技術
3. 石炭のガス化・液化技術

4. 水素エネルギー技術

出所：サンシャイン計画 10 周年記念事業工業技術院実行委員会「サンシャイン計画 10 年の歩み」1984 年

図表 2-3 サンシャイン計画における「太陽光発電システム技術」の記載

基本方針	太陽光を経済的かつ効率的に電気エネルギーに変換する技術を確立し、西暦 1990 年頃までに高性能低価格太陽光発電システムを開発する。
実施計画	現在の技術で太陽光発電システムを構成した場合の価格に比して、実質価格が 100 分の 1 以下となるシステムを製造するための技術的可能性を究明する。このため、シリコン等の半導体結晶の新製造法、太陽電池素子、周辺技術等の研究開発を行う。

出所：サンシャイン計画 10 周年記念事業工業技術院実行委員会「サンシャイン計画 10 年の歩み」1984 年

なお、サンシャイン計画発足時点の特筆すべき点としては、以下のことがある。第一に、1974 年から 2000 年までの長期間にわたる総合的、組織的、効率的な研究開発の推進を当初から描いていたことである。第二に、太陽エネルギー技術については、太陽熱発電システム技術にウエイトが置かれていたが、一部でも太陽光発電システム技術に取り組み始めたことである。

この時点での長期計画を立てられた理由としては、いくつかのことが考えられる。同計画はローマクラブのエネルギー危機論を背景に、電力不足による省エネブームの最中に公表された。そのため同計画の日本のエネルギー問題への貢献というポイントが強調され、壮大な目標と多額の予算案が掲げられた。さらに、予算獲得過程の途上で、第一次石油危機（1973 年末）に遭遇し、エネルギーに対する国民の危機意識の高まりの中で、順調に予算を獲得した（島本（2007））。その後も、1979 年に第二次石油危機が起き、石油代替エネルギーの開発の必要性についての危機感は衰えることがなかった。

サンシャイン計画は 1992 年度に終了し、1993 年度からは「ニューサンシャイン計画」がスタートした（2000 年度まで）。この間、地球温暖化等、地球レベルの環境問題がクローズアップされるようになり、太陽光発電には環境面からも期待が集まるようになってきた。

ニューサンシャイン計画では、一般家庭電気料金と同程度の発電コスト達成を可能とする技術の確立を目指し、低コスト製造技術、太陽光発電システム技術の開発、次世代太陽電池の開発などが行われた。

2. 1. 3 NEDO5 カ年計画の開始から現在に至るまで

2001 年度からは NEDO5 カ年計画の時代に入り、太陽光発電システムに関する研究開発は、研究開発のステージ（基礎基盤～実用化）によっていくつかに分けて実施されるようになった。ニューサンシャイン計画までは、基礎から実用化研究に至るまで非常に大きな括りとして実施していたのと比べて大きな変化であった。

具体的に、プロジェクトの実施時期、研究開発のステージ別に関連プロジェクトを整理す

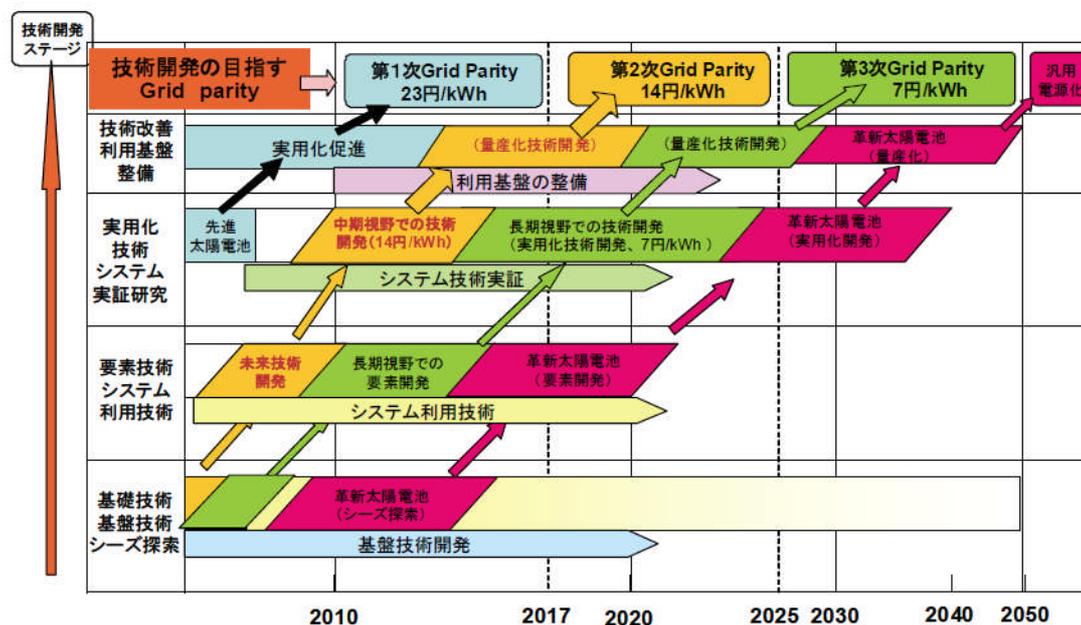
ると以下の図のようになる。図の中には、プロジェクト名とその中で研究開発対象となった太陽電池の種別等を記載している。この図を見てわかることは、以下の 2 点である。従って、個々のプロジェクト単位で評価を行うことは必ずしも適当ではなく、太陽光発電に関わる一連のプロジェクト群全体として評価検討することが適切だと考えられる。

- ・一連のプロジェクトは全体として、研究開発のステージとしては基礎基盤から実用化まで、太陽電池の種別としては多結晶シリコン、薄膜シリコンや CIS 系まで広く包含していること、
- ・一連のプロジェクトは、時系列的なつながり、基礎基盤から実用化に至るつながり等の面でみて、関連し合っていること

NEDO5 年計画の時期には、以前に比べると、小さな括りでプロジェクトが設定されるようになった。その一方で技術課題群の全体像を示す「技術ロードマップ」の作成が進展した。太陽光発電については、2004 年度に技術ロードマップ (PV2030) が策定され、さらに 2009 年には改訂版である「PV2030+」が発行された。

太陽光発電ロードマップ (PV2030+) (2009 年 6 月) では、技術開発の将来目標について次の図のような整理をしている。

図表 2-4 太陽光発電ロードマップ (PV2030+) で示された今後の技術開発のスキーム



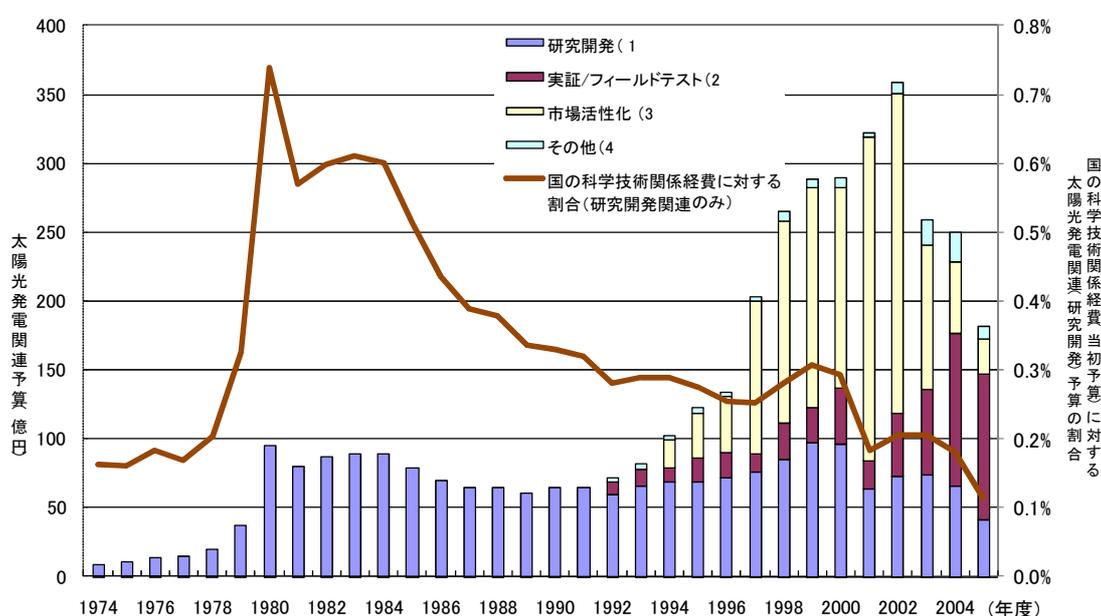
出所：NEDO 新エネルギー技術開発部「太陽光発電ロードマップ (PV2030+)」2009

2. 2 追跡調査対象プロジェクトの予算推移

追跡調査対象プロジェクトの予算推移を図表 2-5 に示す。1974 年のサンシャイン計画発足以降、2005 年までに総額 4,000 億円程度の公的資金が太陽電池関連の研究開発、産業育成に投入されている。最も多いのが、研究開発費で 2,000 億円程度、次が住宅用太陽光発電システム導入促進等の市場活性化費用で、1,300 億円程度である。予算総額は、住宅用太陽電池の設置費用に対する補助率が低下したことにより、2003 年以降減少している。

国の科学技術関連経費（当初予算）に対する太陽光発電関連（研究開発）予算の割合の推移をみると、1980 年に大きく増加し 1980 年代前半は高い水準が保たれていた。近年は科学技術関係経費全体の増額もあり、太陽光発電関連の割合は低下している。ただし、新エネルギー関連予算に占める太陽光発電関連の割合は、2000 年～2005 年において、20% 前後で大きく変化していない。

図表 2-5 追跡調査対象プロジェクトの予算推移



<備考>

※今回の追跡調査対象は、「研究開発」のみ。「実証/フィールドテスト」、「市場活性化」、「その他」は参考までに示している。

1: 1996 年以降の研究開発予算は IEA-PVPS タスク1 国内調査報告書(日本)2004 年等

2: 公共施設用等フィールドテスト事業(1992~2001 年度)、産業用等フィールドテスト事業(1998 年~)、太陽光発電新技術等フィールドテスト事業(2003 年度~)及び集中連系型太陽光発電システム実証研究(2002 年度以降)

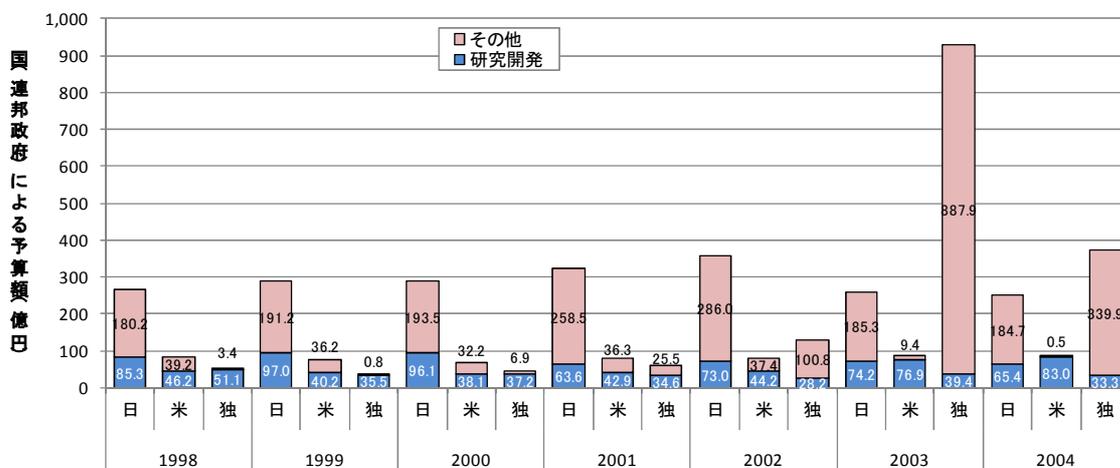
3: 住宅用太陽光発電システム導入促進

4: 太陽光発電システム国際共同実証開発(1992~2004 年度)、太陽光発電システム等高度化系統連系安定化技術国際共同実証開発事業(2005 年度~)

出所：各種資料より MRI 作成

比較可能な範囲での日米独の予算額を比較すると、日本は継続的に多くの研究開発資金を投入してきたことが分かる。ドイツは 2003 年以降のフィードインタリフ制度や低利融資制度によりその他の予算額が大きく増加している。なお、米国について、州政府による導入補助予算は、下記の集計には入っていない。

図表 2-6 日米独の太陽光発電関連予算比較



【換算レート】

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
USD(米ドル)/JPY	130.9	114.0	107.8	121.5	125.3	116.0	108.2
DEM(ドイツマルク)/JPY	74.37	62.21	50.94	-	-	-	-
EUR(ユーロ)/JPY	-	-	-	108.8	118.1	131.0	134.5

※TTM 年間平均

出所：：IEA-PVPS タスク 1 国内調査報告書（各年、各国版）より MRI 作成

2. 3 調査対象プロジェクトの概要

2. 3. 1 (サンシャイン計画) 新エネルギー研究開発計画のうちの太陽光発電に関する研究開発 (S49~H4)

(1) サンシャイン計画「結晶型太陽電池技術開発 (シリコン多結晶太陽電池、II-VI族化合物半導体太陽電池、SnO₂太陽電池)」

a.実施期間

昭和 49 年度～平成 4 年度

b.研究予算総額

1,074 億円 (太陽熱を含む)

c.研究開発の目的

太陽光発電システム技術開発全体の研究目標としては、他の発電方式と同程度の経済性を有し、わが国のエネルギー源として寄与しうる、太陽光発電システムを開発することである。このために必要な第一課題として、太陽電池の大幅なコストダウンを計り、ワット当たり 100~200 円の価格を可能にする製造技術を開発する。

以下は、第 I フェーズ (昭和 49 年度から昭和 54・55 年度) の研究開発目標である。

- 1) リボン結晶成長基本技術を開発 (縦引きリボン結晶、横引きリボン結晶)。その後、昭和 55 年度から実用化研究に移行。
- 2) 高純度シリコン原料の使用量が少ない、シリコン薄膜太陽電池作成基本技術の開発 (粒子非加速成長型、粒子加速成長型)。その後、昭和 55 年度から実用化研究に移行し、一部 5) の基礎研究レベルに引継ぎ。
- 3) プロセス簡略化、自動化に適した太陽電池及びモジュール開発 (新型太陽電池)。その後、S55 実用化研究移行。
- 4) プロセス簡略が可能な、II-VI族化合物半導体太陽電池の作製基本技術の開発。昭和 55 年度以降もそのまま継続。
- 5) 上記以外の新型太陽電池の基礎研究。その後、昭和 55 年度から応用研究へ移行。

第 II フェーズ (昭和 55 年度以降) では、サンシャイン計画の太陽光発電システムの研究開発の研究目標を達成するために、技術的にも経済的にも実用化に耐えうる太陽電池製造技術を開発する。以下は、第 II フェーズの各研究項目目標である。

- 1) シリコン原料を効率良く精製・還元し、太陽電池級純度の多結晶シリコンを得る。
 - ・トリクロロシラン製造技術：省エネルギー化、プロセス短縮
 - ・クロロシランの水素還元工程：反応速度の増大、反応収率の向上、省エネルギー化
 - ・両者を通して：副生物のリサイクルによる原料利用率の向上
- 2) 太陽電池用低コストシリコン基板製造技術を開発する。
 - ・キャスト基板工程：結晶品質の向上、原料利用率の改善、高速スライス技術の開発、間接材料使用量の低減
 - ・リボン基板工程：幅広リボンの連続・高速引上技術の開発、結晶品質の向上

- 3) 高効率 PN 接合形成技術及び高能率電極作製技術を開発する。
 - ・乾式 PN 接合工程：制御性の高い、高速イオン打ち込み技術の開発
 - ・連続自動化生産技術の開発
 - ・湿式 PN 接合工程：接合・反射防止膜同時形成等の工程短縮化技術の開発、連続自動化生産技術の開発、変換効率の向上
- 4) 自動化モジュール組み立て技術を開発する。
 - ・パネル組み立て工程：ストリングの一括ソルダリング技術の開発、自動パッケージ技術の開発、生産管理技術の開発
- 5) 標準となりうる太陽電池評価技術を開発する。
 - ・太陽電池評価システム：太陽電池セルの高精度性能評価技術の開発、標準太陽電池の開発、太陽電池モジュールの性能評価技術の開発、太陽電池の信頼性評価技術の開発

d. 主な研究開発成果

サンシャイン計画開始当初の昭和 49～55 年度の間、「シリコン縦引きリボン結晶の研究開発」等 6 つのテーマでの研究が行われた。具体的には以下のテーマである。

- ・シリコン縦引きリボン結晶の研究開発（東京芝浦電気）
- ・シリコン横引きリボン結晶の研究開発（東洋シリコン）
- ・粒子非加速成長形シリコン薄膜結晶の研究（日立製作所）
- ・粒子加速成長形シリコン薄膜結晶の研究（日本電気）
- ・新形式太陽電池の研究開発（シャープ）
- ・II-VI 族化合物半導体太陽電池の研究開発（松下電器）

この間、素子生成技術では、結晶半導体を使う太陽電池のうち、リボン型（帯状）太陽電池について一定の成果が得られた。

昭和 55 年度からは、結晶シリコン太陽電池製造技術開発とともにアモルファス太陽電池の研究開発が開始された。昭和 57 年度に設定された昭和 60 年度中間目標は、昭和 59 年度までに 90% 達成され、昭和 60 年度中にはほぼ全て達成され、アモルファスシリコン太陽電池は、一般電力用として利用することが可能との期待が強まった。

昭和 55 年度に開始したテーマ群としては以下のものがある。このうち、アモルファス太陽電池については、昭和 55 年度に 6 テーマが開始された後、昭和 56 年度～昭和 62 年度にかけて大学が実施する研究開発、企業による実用化研究が採択され、研究テーマが急増した。

- ・低コストシリコン実験精製検証（低コスト・クロルシラン製造技術開発等）
- ・太陽電池パネル実験製作システム（湿式 PN 結合工程の技術開発、パネル組立工程の技術開発等）
- ・太陽電池発電デモンストレーションシステムの研究（個人住宅用システム、集合住宅用システム、学校用システム、工場用システム）
- ・太陽電池評価システムの研究開発
- ・周辺技術の研究開発

- ・集中型太陽光発電システムの研究開発
- ・大型ソーラーシミュレータの研究開発
- ・光熱ハイブリッド型太陽光発電システムの開発
- ・アモルファス太陽電池の研究開発

昭和 60 年度頃からは、独立分散型等システムの研究開発、周辺技術の研究開発テーマが急増した。

- ・独立分散型等システムの研究開発：離島用海水淡水化システム、風力ハイブリッドシステム等
- ・周辺技術の研究開発：発電量基礎調査、太陽電池架台の研究開発、太陽光発電用蓄電装置等

この間、結晶シリコン太陽電池製造技術開発、アモルファス太陽電池の研究開発は引き続き行われており、実用化研究まで行われ、昭和 63 年度目標値は、結晶系太陽電池の製造技術開発では既にトップデータにおいて達成された。多結晶シリコン太陽電池については、500 円/W を実現するための技術が完成され、また 100～200 円/W を実現するための技術的見通しが見ついた。アモルファス太陽電池については要素研究の段階であり、目標値達成の技術的見通しは得られており、技術的課題の着実な解決を図っていくことが確認された。

平成になってからは、薄型太陽電池の実用化研究、超高効率太陽電池の技術開発、太陽光発電システム評価技術の研究開発等が進んだ。

この間、昭和 60 年度～平成 4 年度にかけて行われた新型太陽電池製造技術開発では、ほぼ各技術開発目標を達成したが、高速基板製造技術開発で、シート基板製造に係る基礎物性の克服が困難であり、目標達成には至らず、改めて基礎的研究を行うことが必要とされた。

アモルファス太陽電池製造技術開発では、効率の点では目標を達成した。超高効率太陽電池の技術開発では、結晶系シリコン太陽電池で、電磁鑄造法との組み合わせにより、高品質単結晶シリコンが製造可能と推定され、反転層形成やスルーホールが高効率化に大きく寄与することが確認された。アモルファスシリコン太陽電池では、水素量を極限まで低下させたシリコン膜と多層テクスチド構造の検討により、目標達成の見通しを得た。太陽光発電システム技術開発では、周辺技術開発で目標がほぼ達成された。太陽光発電システムの実証研究では、一部完成したシステムの運転研究を開始した。光熱ハイブリッド型太陽光発電システムの研究開発では、技術的・経済的観点からみて適用可能との結果を得た。

昭和 49 年度～昭和 59 年度の間に 429 件の特許出願がなされた。また、平成 3～4 年度の間に 81 件の特許出願がなされた。それぞれ年平均 40 件程度の特許出願がなされている（昭和 60 年度～平成 2 年度の間については、当時の資料が少なく不明）。

e.研究開発機関

実施機関：(昭和 49 年度～昭和 54 年度参加機関)

電子技術総合研究所 (太陽電池の基礎研究)、東京芝浦電機、東洋シリコン、日立製作所、日本電気、シャープ、松下電器

(昭和 55 年度～昭和 60 年度の新規参加機関)

三鷹電子科学、大阪チタニウム、電気化学、信越化学工業、テクノバ、ほくさん、富士電機、松下電池工業、JQA、電力中央研究所、四国電力、機械電子検査協会、三菱電機、三洋電機、京セラ、富士電機総研、帝人、小松電子金属

(昭和61年度～平成4年度の新規参加機関)

北陸電力、沖縄電力、昭和シェル、清水建設、電源開発、気象協会、竹中工務店、湯浅電池、東京農工大学、慶應義塾大学、東京大学、広島大学、金沢大学、住友電工、カネカ、新エネルギー財団

f.事後評価結果概要

情報なし

g.追跡評価のためのベース資料

サンシャイン計画 10 周年記念事業工業技術院実行委員会「サンシャイン計画 10 年の歩み」(昭和 59 年 9 月)

太陽光発電技術研究組合「太陽光発電技術研究組合の 10 年ーサンシャイン計画からニューサンシャイン計画 (第 I 期)」(平成 14 年 3 月)(平成 3～4 年度の特許出願件数データの根拠)

NEDO「太陽光発電における技術開発とその成果に関する調査報告書」(平成 18 年 1 月)

2. 3. 2 ニューサンシャイン計画のうち太陽光発電に関する研究開発 (H5～H12)

(1) ニューサンシャイン計画「太陽光発電技術研究開発」の全体

注：(2)～(7)はサブテーマである。

a.実施期間

平成5年度～平成12年度(8年間)

b.研究予算総額

572.35億円

(内訳：平成5年度65.59億円、平成6年度68.38億円、平成7年度68.75億円、平成8年度71.01億円、平成9年度70.11億円、平成10年度74.15億円、平成11年度81.59億円、平成12年度72.77億円)

c.研究開発の目的

本プロジェクトは、平成4年度時点での技術水準を基に、2000年(平成12年)に向けた短期目標として、「一般家庭電気料金に相当する発電コスト(製造原価ベース)での電力供給が可能な技術確立」が設定され、研究開発第I期前半(平成5～8年度)と第I期後半(平成9～12年度)に分けて実施している。

一般家庭電気料金と同等程度の発電コスト達成を可能とする技術の確立を目指し、①薄膜太陽電池の低コスト製造技術の開発と、②発電コストの低減や導入量の拡大に資する太陽光発電システム技術の開発、さらに、③同料金を下回る発電コスト達成の可能性のある次世代薄膜太陽電池及び大規模導入を可能とする太陽光発電システム技術に関する要素研究開発を行うとしており、具体的、明確な開発目標を設定している。

d.主な研究開発成果

アモルファスシリコン太陽電池、CdTe太陽電池については、これまでの技術開発の結果、変換効率の向上や大面積セル製造技術の開発等の課題をクリアし、目標である140円/W(100MW/年生産時、製造原価)で製造するために必要な技術を確立した。次世代薄膜太陽電池では薄膜多結晶シリコン太陽電池、CIS太陽電池等において、変換効率向上技術、高速生産技術等の要素技術開発により、140円/Wで製造するための必要な技術を確立するとともに、方式により差はあるものの、今後の開発により更なる低コスト化が期待できる技術が得られた。また、超高効率結晶化合物系太陽電池では、目標の変換効率(30%、5cm角)が得られるⅢ-Ⅳ族化合物系多接合セルを開発でき、更なる発展も期待できる状況になった。

これらの成果は、2010年の導入目標(482万kW)の達成に向けた大きなワンステップであり、成果の一部を活用した薄膜太陽電池事業化や、開発技術を工業生産に適用するための生産技術開発と技術改善が行われている。本プロジェクトにおいて今後さらに研究開発を進めることで太陽電池製造コスト100円/W(100MW/年生産時)が可能と目される技術も得られた。

超高効率結晶化合物系太陽電池については、Ge基板等を用いたGaAs太陽電池について

は、平成 12 年度目標の変換効率（30%、5cm 角）を達成した。コスト面等実用化に向けての課題は多いものの、宇宙服等の特殊用途への適用を含め、引き続き検討を行っていくことが期待される。

一方、もう一つの柱である太陽光発電システム技術開発に関しても、今後の太陽光発電システムの普及拡大やトータルコストの低減に資する効果が得られた。

例えば、太陽電池・システム評価技術では、太陽電池の性能評価に関して分光感度の広帯域化に重要な日射データベースや簡便なシステム設計手法等、今後の太陽光発電システムの普及拡大を支える基本技術を整備した。

また、太陽光発電システム・周辺技術開発については、太陽電池・住宅・建材メーカー等が共同で住宅・ビル等の建材と一体化した太陽電池モジュールを開発し、コスト目標を概ね達成するとともに、それらの実用性・耐久性を発電機能・建材機能の両面から確認した。これらは太陽光発電システムの設置コスト低減や付加価値化等、導入インセンティブを拡大するものであり、今後の普及拡大を図る上で大きな効果を発揮するものと期待される。さらに、太陽光発電システムの電力貯蔵技術として開発した新型鉛蓄電池は、経済性の向上と長期信頼性の確保を実現したものであり、太陽光発電技術における蓄電池利用の実現性の向上と利用可能分野の拡大を図ったものとして大きな意義がある。

一方、太陽光発電システムが電力系統に高密度に連系した場合の、電力品質及び安全性に関する対策技術の成果は、系統連系を主たる導入形態とする我が国が将来に直面する可能性のある課題に対する解決策を示した先見性の高いものであると言える。

全体で、論文発表数 656 件、特許出願件数 499 件、口頭発表数 885 件、新聞発表等 58 件の成果があった。

e. 研究開発機関

運営機関 : 新エネルギー・産業技術総合開発機構

委託先 : 太陽光発電技術研究組合（川崎製鉄、住友シチックス、大同ほくさん、京セラ、シャープ、鐘淵化学工業、三洋電機、富士電機総合研究所、松下電池工業、旭硝子、東燃、三菱電機、三井東圧化学、昭和シェル石油、松下電器産業、日立製作所、沖電気工業、ジャパンエナジー、住友電気工業、日立電線、日本品質保証機構、ソニー、アネルバ、キヤノン、日本板硝子、日本製鋼所、三井化学、三菱重工業、ナショナル住宅産業、エア・ウォーター、鹿島建設、YKK、YKK アーキテクチュラルプロダクツ、電力中央研究所）
日本品質保証機構、東芝、松下電池工業、三菱油化、鹿島北共同発電、沖縄電力、三菱電機、関西電力、電気安全環境研究所、四国総合研究所、日本電池、日本気象協会

再委託先 : 北海道大学、東京農工大学、大阪大学、九州大学、京都大学、立命館大学、東北大学、東京大学、東京工業大学、北陸先端科学技術大学院大学、金沢大学、青山学院大学、お茶の水女子大学、奈良先端科学技術大学院大学、岐阜大学、早稲田大学、龍谷大学、広島大学、北海道大学、筑波大学、豊田工業大学、福井大学、チェコ科学アカデミー物理学研究所、ユーリッヒ研究セン

ター薄膜及びイオン工学研究所、ヌシャテル大学マイクロ工学研究所
共同研究先：電子技術総合研究所、名古屋工業技術研究所、機械技術研究所

f.事後評価結果概要

本プロジェクトは、ほぼ適切に実施され、太陽電池製造技術の研究開発成果として、世界最高レベルのセル変換効率の向上及びコスト低減技術を達成し、さらに関連周辺技術の開発によって、太陽光発電システムの企業の参入リスクが低下する環境も実現した。我が国は、世界最大の太陽電池生産国となり、その技術的蓄積においても海外を圧倒している。

従って、本プロジェクトは、研究開発プロジェクトとして総じて成功を収めたと総括する。

g.追跡評価のためのベース資料

ニューサンシャイン計画「太陽光発電技術研究開発」プロジェクト評価（事後）報告書
（平成 14 年 7 月）

(2) PV1.薄膜太陽電池製造技術開発 (PV11.低コスト・大面積モジュール製造技術開発)

a.実施期間

平成5年度～平成12年度(8年間)

b.研究予算総額

124.84億円(平成9年度～平成11年度)

c.研究開発の目的

1) PV111.新型アモルファス太陽電池製造技術開発

ガラス基板等を利用したアモルファス太陽電池については、光閉じ込めの高度化、高光吸収材料、高密度製膜、低コストパターニング等により、新型アモルファス太陽電池モジュールを安価に量産するための製造技術を確立する。

また、フレキシブルモジュールについては、ナローギャップ材料の適用、高速製膜、スループットの高度化、高速パターニング等により、フレキシブルタイプの新型アモルファスの太陽電池モジュールを安価に量産するための製造技術を確立する。

※モジュールに関する平成12年度目標

100MW/年・ライン程度の量産規模において140円/W以下。(安定化後変換効率が10%以上のメートル級サイズモジュール)

2) PV112.高信頼性CdTe太陽電池製造技術開発

大面積高品質CdS薄膜の低温化での高速形成、大面積高品質CdTe膜の低コスト高速形成、及びガラス基板上への大面積透明導電膜の形成等により、高信頼性CdTe太陽電池モジュールを安価に量産するための製造技術を確立する。

※モジュールに関する平成12年度目標

100MW/年・ライン程度の量産規模において140円/W以下。(変換効率が13%以上のメートル級サイズモジュール)

3) PV113.次世代薄膜太陽電池製造技術開発

次世代薄膜太陽電池については、中長期的な研究開発基本構想を踏まえた平成16年度(ないし遅くとも平成18年度)に向けた目標見通しのもとに平成12年度までの研究開発を行うこととするが、平成12年度成果を見込める時点で、目標レベルや技術開発の達成時期、市場での実用化時期を見直し、平成16年度に向けた課題の絞込みを行うものとする。

d.主な研究開発成果

1) PV111.新型アモルファス太陽電池製造技術開発(ガラス基板・フィルム基板)

1-1) ガラス基板上で90cm×90cm、安定化後変換効率10%、コスト133円/W(年産100MWとした場合)を達成し、研究開発目標をクリアしている。今後は歩留まりの良い量産技術の実現が課題となる。なお、コスト計算は、当該プロジェクトの開発終了時点のデータを使用して計算する必要がある。

1-2) フィルム基板上で 40cm×80cm、安定化後変換効率 9.2%、コスト 147 円/W を達成し、アモルファスでもコストに変換効率が大きく関与する事が実証された点は評価できる。得られた研究成果には、独創性・新規性が見られる。但し、低価格志向の開発であるのにコスト目標は未達成であった。この主因は変換効率未達ということであろうか。今後の課題の一つとして、大面積光閉じ込め技術の実現が残る。

2) PV112.高信頼性 CdTe 太陽電池製造技術開発

60cm×90cm、変換効率 11.0%、コスト 140 円/W を達成し、研究開発目標をクリアしている。世界最高水準の成果と言え、また独創性・新規性も高く、またコスト試算も目標を達成している。

但し、コスト試算は目標達成されているものの、その中に、生活環境安全モジュール作成コストが含まれているか疑問であり、今後、大面積常圧製膜での効率均一化が技術的障害となるのではないか。

3) PV113.次世代薄膜太陽電池製造技術開発

3-1) 薄膜多結晶シリコン太陽電池製造技術開発

熔融再結晶化法は、30cm×20cm のサイズで、変換効率 14.6%、137.1 円/W をほぼ達成しており、世界最高水準の結果と言える。しかし、セル厚が 100 ミクロンであり薄膜とは言えない。低温膜形成技術のうち、溶解析出法については、薄膜多結晶シリコンで 4.37 cm²、変換効率 12.2%に留まり、目標をクリアできていないがこの手法によるセルとしては世界レベルの効率である。しかし、セル厚が 50 ミクロンであり、薄膜とは言えない。またフラックス法については、ミクロン厚の薄膜結晶 Si セルに取り組んだ意欲は評価されるが、1 cm²、変換効率 5.1%のため、平成 11 年度で開発を中断し、目標が大幅に未達成である。今後、結晶化 CVD の基礎から見直す必要があるのではないか。

3-2) CIS 太陽電池の製造技術開発

セレン化法では 30cm×30cm のサイズで、変換効率 12.9%、コスト 137 円/W を達成する等、コスト、効率ともにほぼ目標を達しており、世界最高水準の成果と言える。一方、多元蒸着法は 1 cm²と小面積では変換効率 18.5%を実現しているものの、10cm×10cm、変換効率 12.6%に留まり、現在までに開発された技術では未だ大面積化に向いていないので目標をクリアしていない。

3-3) 応用型太陽電池

a-Si/薄膜多結晶 Si ハイブリッド構造太陽電池は、変換効率は平成 16 年度目標未達であるが改善の見通しはある。また、ミクロン厚の薄膜結晶 Si セルだけでも 10%以上の変換効率が実現できることを実証した意義は大きい。つまり新たな安定的、低価格、量産型太陽電池のシーズであることが実証された点である。この点は、世界最高水準の成果と言えよう。また独創性、新規性は高い。

a-Si/薄膜多結晶 Si ハイブリッド構造太陽電池は、事業化の見通しを得られたのであれば、この技術のコスト試算を提示して、他の要素技術との比較を明らかにしてほしい。

また、マイクロ集光型太陽電池については、目標を達成しており、10 倍のシステムで目標に向けた見通しを得ている点も評価できる。他の要素技術との比較を明らかにしてほしい。

しかしながら、高効率ハイブリッド型薄膜・シールド太陽電池については、試行錯誤段階であり、ポーラスシリコン剥離法単結晶薄膜太陽電池については、目標未達である。

原著論文数 292 件、特許出願件数 441 件の成果があった。

e.研究開発機関

運営機関：新エネルギー・産業技術総合開発機構

委託先：三洋電機、富士電機総合研究所、松下電池工業、三菱電機、京セラ、大同ほくさん、昭和シェル石油、松下電器産業、鐘淵化学工業、シャープ、ソニー、日立製作所

f.事後評価結果概要

新型アモルファス太陽電池(ガラス基板上)等、4 研究テーマの製造技術開発については、変換効率及びコストの数値目標を達成し、世界最高水準の成果も認められ、応用型太陽電池(a-Si/薄膜多結晶 Si ハイブリッド構造太陽電池)等、一部の研究テーマでは、事業化の見通しが立っている。

しかしながら、薄膜多結晶シリコン太陽電池(フラックス法・溶解析出法)、CIS 太陽電池(多元蒸着系)等、4 研究テーマの製造技術開発については、基板温度分布制御困難、蒸発源の最適化不完全等技術的障害から目標をクリアできなかった。

一部の評価意見として、a-Si/薄膜多結晶 Si ハイブリッド構造太陽電池の成功につながったミクロンレベルの多結晶シリコン太陽電池の製膜、セル技術の広範な展開により 2010 年以降に予測される需要の大幅な増大を充足する key technology の一つとするべきとの指摘があった。

さらに、大面積・コスト面の検討が主たるものであるために、世界との比較は難しいが、研究開発に多額の投資をしている以上、世界最高水準の成果が当然であるとの指摘があった。

g.追跡評価のためのベース資料

ニューサンシャイン計画「太陽光発電技術研究開発」プロジェクト評価(事後)報告書(平成 14 年 7 月)

(3) PV1.薄膜太陽電池製造技術開発 (PV12.材料・基板製造技術開発)

a.実施期間

平成9年度～平成12年度(4年間)

b.研究予算総額

14.29億円(平成9年度～平成11年度)

c.研究開発の目的

1) アモルファス系高品質材料・基板製造技術開発

単層のアモルファス太陽電池において、安定化後変換効率10%以上のセルを高速に製造することを可能とする高品質材料・基板に係る基礎的な要素技術を開発する。

※平成12年度目標

アモルファス膜の安定化後欠陥密度を、現状の1/10以下(200万Siに1ヶ程度)に低減し、かつ膜成長速度 20Å/s 以上を可能とする技術の開発、等。

2) シリコン系結晶系高品質材料・基板製造技術

薄膜多結晶太陽電池等の下部セルとして用いられるシリコン系結晶薄膜を、これらの太陽電池において効率15%以上のセルを高速に製造することを可能とする高品質材料・基板に係る基礎的な要素技術を開発する。

※平成12年度目標

シリコン系結晶薄膜の欠陥密度を、現状の1/5以下(500万Siに1ヶ程度)に低減し、かつ膜成長速度 10Å/s 以上を可能とする技術の開発、等。

d.主な研究開発成果

1) アモルファス系高品質材料・基板製造技術開発

『アモルファス膜の安定化後欠陥密度を、現状の1/10以下(200万Siに1ヶ程度)に低減し、かつ膜成長速度 20Å/s 以上』の研究開発目標に対して、膜成長速度 20Å/s で光照射後飽和したESR欠陥は 2×10^{16} 個/ccに抑えられた製膜技術を開発した。アモルファスシリコンの原子密度をシリコンの原子密度($4.96\times 10^{22}/\text{cc}$)と同じとすれば、目標を達成したことになる。

なお、平成12年度達成目標値については目標値を達成しているものの、高速成長した膜の光劣化後の光劣化安定化後変換効率(アモルファス10%、シリコン系結晶薄膜15%)の値については達成されていない。効率実証の為の研究が今後必要である。プレ最終評価の指摘に基づき、この技術によりセルを試作した努力は評価される。その変換効率の劣化率(安定後効率/初期効率の比)は従来的高速製膜の1/2の12%まで改善された。

今後は、安定化後変換効率の絶対値は 20Å/s では世界最高8.2%とほいうものの、これを量産化、実用化に活かすには効率10%を実現するさらに薄いセル(高安定)技術に重点をおいた電池化総合技術の開発と大面積化技術の開発が必要である。

2) シリコン結晶系高品質材料・基板製造技術

『シリコン系結晶薄膜の欠陥密度を現状の 1/5 以下 (500 万 Si に 1 ヶ程度) に低減して、かつ膜成長速度を 10 Å/s 以上』の研究開発目標に対して、12 Å/s で作製された微結晶膜において ESR 欠陥密度 $1 \times 10^{16}/\text{cc}$ を得ており、目標を達成している。また、試作された太陽電池効率 9.4% (2.5 Å/sec)、8.1% (12 Å/sec : 目標製膜速度) により材料の高品質化がうかがえるが最終的には 15% の効率を実証する必要がある。

高効率化にはアモルファスシリコンとのタンデムセル技術の採用が考えられるが、微結晶シリコンの光学ギャップは多結晶シリコンより大きいので、長波長光変換には不利である。今後、アモルファスシリコンとのタンデム利用に、どちらが良いか、実データで検証して行く必要がある。

原著論文数 143 件、特許出願件数 16 件の成果があった。

e.研究開発機関

運営機関：新エネルギー・産業技術総合開発機構

委託先：富士電機総合研究所、三洋電機、鐘淵化学工業、キヤノン、旭硝子、アネルバ、三井化学、日本製鋼所、シャープ、日本板硝子、電子技術総合研究所

f.事後評価結果概要

材料・基板製造技術開発については、アモルファス及び微結晶系で、従来課題であった高速製膜での変換効率の劣化率が改善された。

g.追跡評価のためのベース資料

ニューサンシャイン計画「太陽光発電技術研究開発」プロジェクト評価（事後）報告書（平成 14 年 7 月）

(4) PV2.超高効率結晶化合物系太陽電池製造技術の研究開発

a.実施期間

単結晶シリコン：平成5年度～平成8年度（4年間）

結晶化合物：平成5年度～平成12年度（8年間）

b.研究予算総額

16.33億円（平成9年度～平成11年度）

c.研究開発の目的

1) 大面積セル製造技術開発

In、Ga、P、As等のⅢ-Ⅳ族系結晶化合物からなる積層型超高効率太陽電池をシリコン等の低コスト基板上に形成するための要素技術確立する。

※セルに関する平成12年度目標

5cm角以上のセルにおいて変換効率30%以上（Ge基板の場合）、及び25%以上（Si基板の場合）（いずれもメカニカルスタックを用いない場合）。

2) 周辺要素技術に関する調査研究

超高効率結晶化合物系太陽電池のモジュール及び低コスト化のための要素技術に関する調査研究を行う。

d.主な研究開発成果

1) 大面積セルの製造技術 GaAs基板

GaAs基板上でMOCVD法による面積5cm×5cmの均一製膜技術、GaAsセルとGaInAsセルの高効率化技術を開発し、これらを組み合わせたメカニカルスタックセルで変換効率30.3%を得た。GaInAsP系4元材料の製膜技術を開発し、面積1cm²のGaAsセルとGaInAsPセルのメカニカルスタックセルで世界最高の変換効率31.1%を得た。

膜厚均一性、組成均一性、均一ドーピングの諸技術、及び再現性を確立する等、達成された成果は、日本国内で、Ⅲ-V族系結晶半導体を用いる超高効率太陽電池の製造技術が発展したことを示す点では意義がある。メカニカルセルについては材料の組み合わせが異なり、小面積ではあるものの、すでに15年以上も前に海外からの実験結果が報告されている。

2) 大面積セルの製造技術 Ge基板

Ge基板5cm×5cm上において、MOCVD法を用い、高品質GaInAs、GaInP膜成長技術確立し、これらを組み合わせてGaInP/GaInAs/Geの3セルを連続して作製して（互いにトンネル接合でつなぐ）、変換効率31.2%を得た。

従来から提唱されていたトンネル接合の実現は困難であったが、新しい材料の組み合わせを用いて3接合セル用トンネル接合技術を開発したことは特記すべきである。さらに、Ge基板に格子定数を合わせるために2層目のセルをGaAsにInを添加してGaInAsに変えたことも変換効率を世界最高とするのに役立っている。米国等が宇宙用超高効率セルとして類似の太陽電池を開発するきっかけとなっているようで、その成果は際立っている。

3) 大面積セルの製造技術 Si基板

比較的安価な Si 基板上へのⅢ-V族結晶半導体のヘテロエピタキシャル成長技術を開発し、5cm×5cm サイズの GaInP/GaAs 構造タンデムセルで変換効率 19%を得た。

格子不整合を解決するために、熱サイクルアニール技術を導入する等して転位密度の減少を図る等の検討はしているが、圧力によるクラック発生が起因して変換効率の向上が実現できていない。

原著論文数 77 件、特許出願件数 25 件の成果があった。

e.研究開発機関

運営機関：新エネルギー・産業技術総合開発機構

委託先：住友電気化学工業、ジャパンエナジー、沖電気工業

f.事後評価結果概要

メカニカルスタックセル、トンネル接合セルにおいて、変換効率が世界最高水準の結果を出している。特に、3 接合トンネル接合セルに関しては、高品質のトンネル接合形成技術を開発し、世界の技術の先端を示している。

GaAs 基板上、Ge 基板上の太陽電池は、5cm×5cm サイズとし、変換効率 30%以上の研究開発目標を達成したのに対し、Si 基板上では、応力によるクラック発生が起因して変換効率が向上しないことから、研究開発目標をかなり下回っている。

g.追跡評価のためのベース資料

ニューサンシャイン計画「太陽光発電技術研究開発」プロジェクト評価（事後）報告書（平成 14 年 7 月）

(5) PV3.太陽電池・評価システム技術

a.実施期間

平成5年度～平成12年度(8年間)

b.研究予算総額

18.95億円(平成9年度～平成12年度)

c.研究開発の目的

1) 性能評価手法に関する研究開発

各種新型太陽電池の分光感度波長帯域の高近似化のための要素技術の解析等により、太陽電池やサイズの多様化に対応可能な統一的性能評価手法を確立する。

2) 加速劣化試験方法の研究開発

国内外の実暴露加速劣化試験のデータに基づいて、結晶系及びアモルファス系の太陽電池セル並びにその構成部材を対象とした信頼性試験を行い、太陽電池モジュールの長期信頼性を模擬できる加速劣化試験方法を開発するとともに、20年相当の加速劣化試験条件を明確にする。

d.主な研究開発成果

1) PV31.太陽電池評価システムの研究開発

太陽電池評価システムの研究開発については、シミュレータ系については十分評価できる成果を上げ、その目的は達成したと見ることができる。有効照射面積、波長範囲、スペクトル合致率等、シミュレータとして要求される目標は達成され、実用の域に達したと思われる。

また、a-Si太陽電池の光加速劣化試験法として加速係数240倍を確認できたことは評価できる。

2) PV32.システム評価技術に関する研究開発

ライフサイクル評価の成果は、今回初めて実施したことであり、またシステムが発展途上にあるということもあり、ある程度の中のある値として確定できたという事は意義があると評価できる。

最適設計法にしても多様化に対応した汎用設計法にしても、その意義は、結果的にはコスト低減や信頼性向上につながるはずであり、それらとの関連性が目標の中に明記されていないため、技術開発そのもの及びその成果の評価が曖昧になっている。

システムの進歩が評価法に新たな仕様を要求するという連携関係を十分把握しつつ最適化設計法の確立を目指すことは重要である。

3) PV33.太陽光発電の信頼性向上に関する研究開発

電氣的安全性については目標を達成している。太陽光発電分散システムへの雷害等からの電氣的安全性確保の方策が明らかになった意義は評価できる。

研究開発としては、まだ未成熟の段階にあるため、信頼性評価の基本技術の確立という一般的表現が目標となっていることはやむを得ない点はあるが、確立という言葉にはかなり重い意味があり、その観点からは成果の達成度は不十分である。評価法の確立に向けての条件抽出あるいは不具合の発見までで終わっている。

原著論文数 57 件の成果があった（特許出願件数は 0 件）。

e.研究開発機関

運営機関：新エネルギー・産業技術総合開発機構

委託先：日本品質保証機構、電気安全環境研究所、四国総合研究所、日本気象協会、太陽光発電技術研究組合

f.事後評価結果概要

太陽電池評価システムの研究開発については、シミュレータ系については十分評価できる成果を上げ、その目的は達成したと見ることができる。有効照射面積、波長範囲、スペクトル合致率等、シミュレータとして要求される目標は達成され、実用の域に達したと思われる。

また、a-Si 太陽電池の光加速劣化試験法として加速係数 240 倍を確認できたことは評価できる。

システム評価技術に関する研究開発については、具体的な目標の設定が難しいことは理解しているが、汎用設計手法がコスト低減や信頼性向上につながるものの、それらとの関連性が目標の中に明記できなかったこともあり、それに対する目標の達成度を評価することは難しい。

g.追跡評価のためのベース資料

ニューサンシャイン計画「太陽光発電技術研究開発」プロジェクト評価（事後）報告書（平成 14 年 7 月）

(6) PV4.太陽光発電利用システム・周辺技術に関する研究開発

a.実施期間

平成5年度～平成12年度(8年間)

b.研究予算総額

34.98億円(平成9年度～平成12年度)

c.研究開発の目的

1) 新建材一体型太陽電池モジュールの開発

1-1) 住宅用屋根一体型太陽電池モジュールの開発

標準的な住宅屋根の南面相当の面積(35㎡程度)への3kW程度以上の太陽電池モジュールの設置を想定し、経済性、建材機能、デザイン性に優れた住宅用屋根一体型太陽電池モジュール構造を開発する。

※平成12年度目標

太陽電池モジュールとの一体化及びモジュール設置・調整に係る増加コストが、100MW/年・ライン程度の太陽電池量産規模において170円/W程度以下であること。
また、アレイ効率が8.5%以上であること。

1-2) ビル等建築物一体型太陽電池モジュールの開発

一定規模の導入が期待される複数種類の建材との一体化が可能な、経済性、建材機能、デザイン性に優れた建築物一体型太陽電池モジュールを開発する。

※平成12年度目標

100MW/年・ライン程度の太陽電池量産規模において、50千円/㎡程度以下のモジュールコストが可能であること。その際、太陽電池モジュールとの一体化及びモジュール設置・調整に係る増加コストが160円/W程度以下であること。

1-3) 建材一体型太陽電池モジュールの性能・長期信頼性の評価

建材一体型モジュールの性能及び長期信頼性を評価するための調査研究を行う。

2) 周辺装置

2-1) ACモジュール用周辺装置

ACモジュール用周辺装置(インバータ、系統連系保護装置等)の試作、実試験等によるシステムの性能の定量的評価、コスト低減や市場規模の見通しに関する調査研究及び系統連系に適した仕様・システム設計等に関する調査研究を行うとともに、ACモジュールの性能評価試験方法のための基本技術を確立する。

2-2) 太陽光発電システム用高信頼性蓄電池

保守間隔の延伸と長寿命化が可能な太陽光発電システムのための蓄電池に関する技術を確立するとともに、自動劣化診断技術を開発する。

※平成12年度目標

3,000 サイクル以上のサイクル寿命

(容量は 100~1,000Ah 程度。コストについては年産 200MWh 時に 12 円/Wh 程度以下であること)

3) 太陽光発電システム

3-1) 多種設置工法に関する調査研究

住宅以外での利用分野での設置形態及び設置可能量等についての調査研究を行うとともに、薄膜太陽電池や接着技術等を活用した新設置工法の信頼性・耐久性についての調査研究を行う。

3-2) 太陽光発電システムの高密度連系に関する調査研究

配電線系統で起こる可能性のある高密度連系規模を検討するとともに、現状における系統連系技術の適用限界に関する課題の明確化とその対策及びインバータの高付加価値化等の将来の系統連系技術に関する調査研究を行う。

3-3) 大規模システムに係る調査研究

国内の大型太陽光発電所や海外の砂漠等を利用した超大型太陽光発電の技術的・経済的可能性について調査研究を行う。

d. 主な研究開発成果

1) PV41. 新建材一体型太陽電池モジュールの開発

太陽電池・住宅・建材メーカー等が共同で、住宅用屋根一体型太陽電池モジュールとして高耐火性平板モジュール、高耐久性屋根モジュールを、ビル等建築物一体型太陽電池モジュールとして、新複層構造モジュール、高強度・軽量・大面積モジュール、曲面構造フレキシブルモジュール等の開発を目指し、コスト目標を概ね達成して、それらの実用性・耐久性を発電機能・建材機能の両面から確認している。これらはほぼ計画どおりの達成を見ている。

特に建材一体型によるシステムコスト低減意義は大きい。

しかしながら、住宅用、ビル用については順当な成果であるが、自立的普及にむけては十分とは言えない。より一層のコストダウンの方策を検討する必要がある。特に建材部分だけですでに在来コストを上回っていることは、耐候性をモジュールに負担させているわけであるから、一体型のメリットを追及するにはこの部分でコスト低下を一層進める必要がある。

また、建材一体型だけでなくさらに低コストモジュール構造（当面キャスト、シート型セル用）の開発も、セルコストの低下にしたがって、モジュール全体のコスト低下のために不可欠となってきたので、この開発も確実路線低価格化には不可欠であろう。防火性能を考慮した曲面構造フレキシブルモジュールについては、2 倍以上のコスト増加になり計画を達成することができなかった。防火性を考慮するという新しい機能を付け加えたものと、そうでないものが同一のコスト目標を計画段階で設定すること自体無理があったのではないか。また、在来建材コストが他の用途にくらべ 50%~70%低いコストであるというこ

とから競合性を発揮するには、当初から困難性を持っていたと判断される。

防火性能を考慮した曲面構造フレキシブルモジュールについては、適切な対応が講じられたとは思えない。目標設定の段階から達成には困難性が予想されたはずであり、構成部材の検討段階で判断できたのではないか。プロジェクトのチェック機能が十分働いたとは思えない。

2) PV42.太陽光発電システム・周辺技術に関する研究開発（周辺装置）

AC モジュール用周辺装置の性能の定量的評価、経済性見通しについての目標は十分達成されたと言える。特に次世代 MIC (Module Integrated Converter) に対する知見は将来の太陽電池システムの発展の幅を大きく広げるものとして評価できる。太陽光発電システム用蓄電池についても 3,000 サイクル以上の寿命の確実及び、放電カーブ方式による劣化遮断技術の確立等、計画目標を達成している。

小型インバータの開発により太陽電池システムの建設工程や運用方法に大きな広がりを与えるため、その意義は大きい。

3) PV43.太陽光発電システム

多種設置工法及び、高密度連系に関する調査においては多くの新しい知見を得ることができ、今後の進展を期待できる達成度を示した。特に系統シミュレーションによる高密度連系問題では将来の都市型 PV システムの問題を定量化したのとして評価できる。

将来の小型分散システムと大規模集中システムの共存における課題が浮き彫りにされ、共存を達成されるための技術課題やシステム上の問題とその対策が明らかになったことは、開発主体ばかりでなく現電力供給者との連携を強化していく必要性を喚起したものである。

高密度連系システムでの太陽光発電の設置上限量が推定されるデータが出てきたことは普及の目安を与える上で意義は大きい。また、海外の砂漠等でのシステム設計開発は、国際社会での日本の地位を世界に認めさせるシンボルになることから、国家事業として実施したことは妥当である。

原著論文数 19 件、特許出願件数 17 件の成果があった。

e.研究開発機関

運営機関：新エネルギー・産業技術総合開発機構

実施機関：三洋電機、松下電池工業、ナショナル住宅産業、大同ほくさん、昭和シェル石油、鹿島建設、YKK、YKK アーキテクチュラルプロダクツ、シャープ、富士電機総合研究所、クボタ、松下電工、鐘淵化学工業、京セラ、ミサワホーム、太陽光発電技術研究組合、電力中央研究所、日本電池、関西電力

f.事後評価結果概要

市場創造につながる先進性としては、太陽光発電利用システム・周辺技術の研究開発が成果を上げている。住宅用屋根一体型太陽電池モジュールやビル等建築物一体型太陽電池モジュールは、開発目標を達成し普及への足場を築いている。

g.追跡評価のためのベース資料

ニューサンシャイン計画「太陽光発電技術研究開発」プロジェクト評価（事後）報告書
（平成 14 年 7 月）

(7) PV5.太陽光発電システムの実証研究

a.実施期間

平成5年度～平成12年度(8年間)

b.研究予算総額

1.06億円(平成9年度～平成11年度)

c.研究開発の目的

離島用独立電源システムや未利用面等設置システムについて、システム設計や経済性評価手法のフェージビリティスタディ調査を行い、これらの中から実現可能性及び導入効果の特に高い太陽光発電システムについて実証研究を実施する。

d.主な研究開発成果

大、中、小規模離島のそれぞれについて整備した系統パラメータ諸元にもとづく実運用を想定したシミュレーションにより、太陽光発電、風力発電及び既存ディーゼル発電からなるマルチハイブリッドシステムの構成を検討した。発電コスト、燃料費削減効果等の経済性評価や運用性も含めた総合評価を実施し、小規模離島への導入が最も効果的であることを明らかにした。

原著論文数 1 件の成果があった(特許出願件数は 0 件)。

e.研究開発機関

運営機関：新エネルギー・産業技術総合開発機構

実施機関：沖縄電力

f.事後評価結果概要

大・中・小規模離島の電気系統パラメータ諸元を基に、実運用を想定したシミュレーションによって太陽光発電、風力発電及び既存ディーゼル発電を組み合わせるマルチハイブリッドシステム構成を検討、発電コスト、燃料費削減効果等の経済性評価や運用性も含めた総合評価をし、中小規模離島での効果を定量化する等、有用な知見を得ることができ、成果については評価できる。

g.追跡評価のためのベース資料

ニューサンシャイン計画「太陽光発電技術研究開発」プロジェクト評価(事後)報告書(平成14年7月)

2. 3. 3 即効型高効率太陽電池技術開発 (H11~H12 (~H14))

a.実施期間

平成 11 年度～平成 12 年度 (2 年間) *

※平成 13 年度から先進太陽電池技術研究開発に統合。平成 14 年度に研究開発終了。

b.研究開発費総額

15.75 億円

c.研究開発の目的

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、その普及を抜本的かつ急速に進める必要がある。太陽光発電の本格的な普及を目指すためには、薄膜技術等の長期的な技術課題への取り組みのみならず、一般的なタイプである結晶系太陽電池に係る技術のブレークスルーを図ることが不可欠である。このような状況を踏まえ、結晶系太陽電池の高効率化・高品質化を即効的に可能とする技術開発を実施し、新エネルギーとしての太陽光発電システムの導入促進に資する。

d.主な研究開発成果

高品質インゴット製造技術の研究開発では、凝固速度制御の最適化等の検討を行い、高品質多結晶シリコンインゴット (サイズ: 44 cm×44 cm×17 cm、平均拡散長: 290 μm、最大拡散長: 450 μm) の製造技術を確立した。また、試作したインゴットから得た基板を用いて作製した太陽電池において変換効率 19.0%を得た。

薄型・大面積多結晶基板スライス製造技術の研究開発では、線径 120 μm のスライス用ワイヤを開発し、150 mm×300 mmの多結晶シリコンインゴットを厚さ 150 μm、カーフロス 150 μmでスライスできる技術を開発した。また、ワイヤの耐久性と使用技術の検討を行い、1本のワイヤでインゴット 4 本 (基板 4,000 枚) のスライスが可能となった。

高効率セル化技術の研究開発では、高品質インゴット製造技術により製造した高品質インゴットを用いて太陽電池の高効率化技術を検討した。パッシベーション、ゲッターリング等の基板改質技術、光閉じ込め構造形成技術、接合形成技術、電極形成技術等を開発し、試作した太陽電池 (5 cm角、厚さ約 300 μm) で、変換効率 18.4%、小面積で 19.0% (1 cm角) の結果を得た。

原著論文数 6 件、特許出願件数 13 件の成果があった。

e.研究開発機関

運営機関: 新エネルギー・産業技術総合開発機構

委託先: 太陽電池用原料技術研究組合 (川崎製鉄、シャープ、(京セラ))

※京セラは途中までの参加。

再委託先: 九州大学、東京農工大学、東北大学、豊田工業大学、名古屋大学

f.事後評価結果概要

本プロジェクトは既存技術の高度化で太陽光発電を拡大する研究開発であり、市場が急速に立ち上がりかけている中で実施された。製造コストはほぼ目標値に達し、世界最高レベルの変換効率も得ており成果は満足できる。既に本事業で開発された技術や知見の一部は実用に供されており、今後更なる実用化も期待できる。実用技術に近いこの種の研究開発は、運用によっては本来国が関与すべきでない市場競争の分野に資金を流出し、かえって企業間の競争を阻害することにもなりかねないという危険もある。本プロジェクトが明確な開発目標を示して実施したことは、研究開発マネジメント面でそうした危惧を避けようとする努力であったと評価できる。

本プロジェクトは、結晶シリコンは高価であるという前提に立った、シリコン結晶系太陽電池製造技術の下流部分に焦点を絞った開発であり、上流部分の過去に実施した低コストシリコン原料開発研究等と殆ど関係の無いものになっている。歩留まり等を含めた大規模生産への分析を通し、太陽光発電の普及の夢を増大させるプロジェクトであるべきであったと考えられる。例えば、太陽電池用シリコン原料からの一貫生産の最適化を再検討し、1社（研究組合）1GWスケールの生産を想定したシナリオが考えられる。他のエネルギーとの競争力はいまだ脆弱であり、新たな公共事業としてサポートすることにより将来の大きな成果が期待できる。以上の評価を考慮した新たなプロジェクト展開を検討すべきである。

g.追跡評価のためのベース資料

「太陽光発電技術研究開発「先進太陽電池技術研究開発」（即効型高効率太陽電池技術開発）」事後評価報告書（平成15年9月）

2. 3. 4 先進太陽電池技術研究開発 (H13～H17)

本プロジェクトは、NEDO5 カ年計画の期間に入り、「革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発」(後述)、「太陽光発電システム共通基盤技術研究開発」(後述) とともに開始されたもので、企業を中心に実施された。

a.実施期間

平成 13 年度～平成 17 年度 (5 年間)

b.研究開発費総額

103.27 億円

c.研究開発の目的

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、技術の早期実用化及び急速な導入普及が求められている。

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。当面の目標である 2010 年度の導入目標 482 万 kW の達成には、発電コストをユーザーが導入補助金なしで自発的に購入しうるレベル (家庭用電力料金並み) にまで低減することが必要である。

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とする。

d.主な研究開発成果

シリコン結晶系薄膜太陽電池モジュール製造技術においては、目標のセル面積 3,600 cm² で効率 12%を達成した。これは新たに内部光閉じ込め効果を生む透明中間層の開発や超高周波プラズマ CVD 等の新たな高速大面積製膜法の開発が寄与した。

CIS 系薄膜太陽電池モジュール製造技術開発においては、反応炉、バッファ層、TCO 窓層等の製膜方法の最適化や CIGS 膜のバンドギャップ最適化等によりセル面積 3,600 cm² で高速製膜条件で効率 13%を達成した。

超高効率結晶化合物系太陽電池モジュール製造技術開発については、3 接合セルの高効率化 (電極パターン最適化、トンネル接合特性向上等) と共に、集光システムの高性能化等により、ほぼ目標を達成する見込みが立った。このため、本開発項目を早期 (～H16) に完了させた。その後、試験販売やサンプル出荷などにより国内数箇所に 1kW から 3kW クラスのものを設置した。また海外においては、オーストリア、スペインなどで 200kW から 1MW 級の発電施設が事業化され、米国の企業も世界各地で 10MW のフィールド試験を実施するなど事業化が進んでいる。

また、いずれの開発項目においても、目標の柱となる製造コスト目標 100 円/W について達成することができた。

原著論文数 197 件、特許出願件数 310 件の成果があった。

e. 研究開発機関

運営機関：新エネルギー・産業技術総合開発機構

委託先：カネカ、三菱重工業、産業技術総合研究所、昭和シェル石油、
松下電器産業、太陽光発電技術研究組合（シャープ※、大同特殊鋼※、大同
メタル※） ※平成 16 年度まで。

再委託先：東京工業大学、立命館大学、奈良先端科学技術大学院大学、豊田工業大学、
豊橋技術科学大学、東京農工大学、福井大学

f. 事後評価結果概要

本事業は、エネルギー問題・環境問題の解決のため、そして原料シリコン供給限界を克服して安定した量産体制を構築するためには不可欠である。太陽電池のロードマップに基づきコストと効率が世界で対抗できるレベルを課しており、全研究テーマで目標がほぼ達成され、しかも事業化への取り組みもなされている点は、事業体制を構成する研究開発実施者の高い能力を裏付けるものであり、大いに評価できる。また 3 テーマとも、その研究開発成果は世界最高水準であり、特許の出願、国際会議・論文の発表等の情報発信も十分に行われている。従って、本事業は世界トップレベルの成果が得られたので、総合的に高い評価ができる。

今後の課題として、アジアマーケット、特に中国に視野を広げた拡販を考えること、製造原価の更なる引き下げとエネルギー変換効率のアップの努力を継続すべきこと、建築物一体型化を行うための業界へのマーケティングを行うことが挙げられる。また市場の拡大と大量普及につなげるためには、政府による継続的助成が必要であり、NEDO の技術評価結果が、我が国の政策に適宜反映されるような総合的なマネジメントを期待する。

g. 追跡評価のためのベース資料

「太陽光発電技術研究開発（先進太陽電池技術研究開発）」事後評価報告書（平成 19 年 2 月）

2. 3. 5 革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発 (H13~H17)

本プロジェクトは、NEDO5カ年計画の期間に入り、「先進太陽電池技術研究開発」(先述)、「太陽光発電システム共通基盤技術研究開発」(後述)とともに開始されたもので、3つの中では、基礎研究寄りを担うプロジェクトであり、革新的な発電素子やその作成技術等、従来の概念にとらわれない新しい材料・構造・製造方法等による要素技術の開発、当該要素技術の実用化の見極めを行ったものである。

a.実施期間

平成13年度～平成17年度(5年間)

b.研究開発費総額

77.61億円(予算ベース)

c.研究開発の目的

今後の情報化社会、高福祉社会の進展等により、我が国のエネルギー需要、特に電力需要の拡大が予想される一方、国際的にも化石燃料の枯渇や地球環境保全の対応への必要性等の観点から、無尽蔵かつクリーンな太陽光発電システムの普及促進が社会的要請となっている。また、これまでの種々の施策により、我が国における太陽光発電システムの導入量、生産量はともに世界最高水準にあるが、長期的視野から2010年以降の一層の大量普及の推進が求められている。

このため、長期的には、2010年以降の一層の大量普及実現、国際協力を含む海外市場への対応等のため、発電コストを業務用電力料金並みさらには既存電源レベルにまで低減することが不可欠である。

本研究開発では、2010年以降の太陽光発電システムの大量普及を実現するために、業務用電力料金、既存電源に匹敵する発電コストを可能とする革新的次世代太陽光発電システムの開発を実施し、太陽光発電の本格的な普及促進に資することを目的とする。

d.主な研究開発成果

実施した40テーマを太陽電池等の分野別に、薄膜シリコン太陽電池12テーマ、CIS系薄膜太陽電池7テーマ、色素増感太陽電池7テーマ、結晶シリコン太陽電池7テーマ、その他太陽電池6テーマ、システム技術1テーマに分類し、成果概要を記す。

①薄膜シリコン太陽電池

高効率化のために、アモルファスシリコン(a-Si)の光劣化抑制技術、多接合セルの構造・材料・界面制御技術の開発、また高生産性のために、微結晶Si膜等の高速製膜技術の開発を行った。

- ・ a-Siの光劣化抑制技術として、ナノ結晶シリコンをa-Si相内に分布させることにより、光劣化率3.6%を得た。
- ・ 多接合セルのトップセル用ワイドギャップ材として、禁制帯幅2.2eVの微結晶3C-SiC、開放電圧1Vのa-Si系膜の開発、またボトムセル用ナローギャップ材料として微結晶SiGe

や欠陥密度 $2 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 以下の微結晶 Si/Ge 超格子薄膜の開発を行った。

- ・微結晶 Si 膜の高速製膜では、製膜速度 13.5nm/s、欠陥密度 $1.6 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ を達成した。

② CIS 系薄膜太陽電池

高効率化のために、開放電圧向上に向けたワイドギャップの光吸収材料・新規バッファ層、界面制御技術の開発、多接合化等の開発、また低コスト化のために、非真空プロセスの開発を行った。

- ・ワイドギャップ（禁制帯幅 1.3eV）の CIGS 太陽電池で効率 18.1%を達成した。また CdS/CIGS 界面の伝導帯・価電子帯のバンド不連続の測定に成功した。新規ワイドギャップバッファ層として、ZnMgO の開発を行った。
- ・多接合化では、4 端子メカニカルスタック型で世界最高の効率 11%を達成した。
- ・非真空プロセスとして、めっき法による Cu、In プリカーサを用いた CuInS₂ 太陽電池で効率 10.5%を実現した。またメカノケミカル合成法の低コストプロセスとしての可能性を示した。

③ 色素増感太陽電池

高効率化のために、高性能光電極、新色素材料、セル構造の開発、さらに実用化を見据えたモジュール化技術の開発、また耐久性向上のための電解質の凝固化等の開発を行った。

- ・高性能光電極として、チタニアの構造最適化による光閉じ込め効果の向上等により世界最高水準の効率約 11%を達成した。新色素材料としてクマリン系で効率 8.3%を得た。また効率 15%を実現するタンデムセル構造の設計指針を得た。
- ・モジュール化では、10cm 角ガラス基板モジュールで世界最高の公認効率 6.3%を達成した。また 1,190 mm×840 mm の大型モジュールパネルを試作した。
- ・電解質の凝固化では、イオンゲル電解質を開発し 9mm×5mm セルで世界トップレベルの効率 6.5%を得るとともに 85°C×1,000 時間の光照射で低下率 10%以下の耐久性能を達成した。

④ 結晶シリコン太陽電池

シリコン使用量低減による低コスト化のために、スライスレスのシリコン粒集光セル、超薄型基板スライス技術の開発、また高効率化のために、超薄型基板対応セル化プロセス、多結晶インゴットの高品質化、高効率セル構造の開発を行った。

- ・シリコン粒集光セルでは、単セルで約 11%の効率を実現した。
- ・超薄型基板スライス技術として、ワイヤーソーススライスにより板厚 70μm の切りだしに成功した。（両面のダメージ層除去で最終板厚 50μm が可能）また放電加工スライス、プラズマスライスでは、ワイヤーソーススライスよりも切り代を低減可能であることがわかった。
- ・超薄型基板対応セル化プロセスとして、光閉じ込め表面テクスチャ、キャリア再結合防止のためのパッシベーション、基板割れ・反り防止セルプロセスの開発を行い、板厚 80μm の裏面ポイントコンタクト構造で厚さ 210μm の従来型 BSF 構造並の開放電圧、短絡電

流を実現した。さらに基板の曲げ応力試験により、50 μm 級基板のセル化が基本的に可能であるという見通しを得た。

- ・多結晶インゴットの高品質化では、粒方位等、結晶組織の制御により従来の多結晶より、効率が向上することを示した。
- ・高効率セル構造として、微結晶 3C-SiC を用いた新型ヘテロ構造の有効性を確認した。

⑤その他太陽電池

有機薄膜や化合物等その他太陽電池は、2030 年頃の実用化に向けた長期的視野でのシーズ探索研究の対象である。

- ・有機薄膜太陽電池の高効率化として、バルクヘテロ接合で世界最高レベルの効率 3.6% を実現し、本接合構造が高効率化に寄与することを明らかにした。
- ・化合物太陽電池の高効率化では、p-GaAs/i-n InGaAsN ヘテロ接合太陽電池で世界最高水準の効率 11%、量子ナノ構造太陽電池では InGaAs/GaAs 系 3 段階変調量子井戸太陽電池で効率 18.27% を実現した。

⑥システム技術

大量普及への対応として、自律度向上型の PV コミュニティシステムの基本構想を構築し、開発課題として、①電力制御（集中制御）、②蓄エネルギーコスト、③通信制御、④予測（発電・負荷）、⑤配線コスト（地中）があることを把握した。またこれに使用するシステム機器の低コスト・多機能化等についての知見を得た。

原著論文 437 件、特許出願件数 166 件（うち外国出願 23 件）の成果があった。

e. 研究開発機関

担当原課：産業技術環境局 研究開発課（H13 年度）

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
（H14 年度～H17 年度）

委託先：産業技術総合研究所、九州大学、凸版印刷、スタンレー電気、日本板硝子、東京大学、神奈川科学技術アカデミー、北陸先端科学技術大学院大学、大阪大学、岐阜大学、住友大阪セメント、古河機械金属、林原生物化学研究所、シャープ、東北大学、新光電気工業、旭硝子、システム技研、クリーンベンチャー21、東京工業大学、名古屋工業大学、中部大学、金沢大学、日本触媒、鹿児島大学、青山学院大学、日立電線、横浜国立大学、フジクラ、筑波大学、豊田工業大学、長岡工業高等専門学校、長岡技術科学大学、龍谷大学、九州工業大学、北九州工業高等専門学校、北九州市立大学、新日鉄化学、古河電気工業、東海大学、富士機械製造、ジャパングアテックス、大阪市立工業研究所、奥野製薬工業、福井大学、太陽光発電技術研究組合、三洋電機、カネカ、三菱重工業、名古屋大学、東京理科大学、ペクセル・テクノロジーズ、三菱電機、東京農工大学、岡山大学、日平トヤマ、群馬大学、群馬工業高等専門学校、信州大学、産業創造研究所、京都大学、新日本石油、（再委託先：ジ

ーエス・ユアサパワーサプライ、藤森工業、システムインスツルメンツ、愛媛大学、奈良先端科学技術大学院大学、早稲田大学、静岡大学)

f.事後評価結果概要

太陽電池業界の現状及び技術動向を踏まえ、PV2030 で策定されたコスト目標の達成のために長期展望に立って行われた本事業は、開発目標の設定・採択課題等においておおむね妥当であったと考えられ、多岐にわたる太陽電池分野においてその技術レベルが世界的水準にあることや実用化に近い成果が得られていることは、適正なマネジメントが行われており高く評価できる事業であったと判断できる。

一方で、本事業ではチャレンジングなテーマが多いことから目標値の設定方法に関しては一考の余地があったと考えられ、多岐にわたる技術分野の中でテーマ・目標値をどのように決めて推進していくかは慎重な議論が必要と考えられる。

g.追跡評価のためのベース資料

「太陽光発電技術研究開発 革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発事業」事後評価報告書（平成 19 年 2 月）

2. 3. 6 太陽光発電システム共通基盤技術開発 (H13～H17)

本プロジェクトは、NEDO5カ年計画の期間に入り、「先進太陽電池技術研究開発」(先述)、「革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発」(先述)、とともに開始されたものである。この3つの中では、共通基盤的な技術開発を担うプロジェクトであり、太陽電池の評価技術の開発等を狙ったものである。

a.実施期間

平成13年度～平成17年度(5年間)

b.研究開発費総額

42.33億円

c.研究開発の目的

太陽光発電システムは、発電時に燃料が不要でかつクリーンな発電技術であり、その供給ポテンシャルも大きい。したがって、エネルギー資源の乏しいわが国の将来に必要な発電技術として、その早期実用化と導入拡大が求められている。実際に、太陽光発電システムの2010年度の導入目標として4,820MWが掲げられており、この目標を達成し、太陽光発電システムの自立的な導入拡大を実現するためには、太陽電池の低コスト化ばかりでなく、太陽光発電システムの性能評価や信頼性等に関する共通基盤技術を確立することが不可欠であり、総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会でも「新エネルギーの共通基盤的技術開発については、国が中心となって実施すべき」と報告されている。このような観点から実施する本事業は、公共的性格が濃く、また、太陽光発電技術の導入は我が国の長期エネルギー・環境政策にも密接に関連することから、国が主体的役割を果たすべきものと考えられる。

d.主な研究開発成果

(1) 太陽電池評価技術の研究開発

(1-1) 太陽電池評価技術における太陽電池性能評価の開発では、各種太陽電池セル、モジュールの評価装置を各委託先に移設し、移設前に比較して十分な評価精度が得られることを確認し、一次基準セル校正の国際比較(WPVS)へ参画して、日本の校正值の精度は、国際トップレベルであることを実証した。誤差解析及び各種校正機器を開発し、一次校正の管理状態を従来の1% (6σ) から0.6% (6σ) に大幅に向上した。また、光線平行度2度以下のソーラシミュレータを開発し(世界初)、トレーサビリティの国際整合を可能とした。

(1-2) 太陽電池評価技術における適合性評価の開発では、新型太陽電池セル(色素増感、タンデム等)用の性能評価装置の誤差解析により、測定精度向上のために必要な機能(課題)を明確化し、目標を達成した。また、結晶Si系モジュールの性能評価技術に関しては、屋外での性能に重要な照度・温度による特性変化を高精度に補正する技術を開発した。基準モジュール測定用に、国際規格に完全適合したソーラシミュレータを開発した。同時に、世界で初めて薄膜系等の応答性の遅い太陽電池にも対応可能とした。NEDO開発品等の性

能評価を実施した。(産総研)

太陽電池モジュールの適合性評価手法の開発については、モジュールが具備しなければならない、性能・信頼性及び安全性に関する要件を短期間で確認できる適合性評価技術の開発を目指し、太陽電池モジュールが実フィールドで受ける光的、熱的、電氣的、機械的及び隣家の火災による飛び火等の各種ストレスにおける影響とともに、IEC 規格の妥当性について検証した。(JET)

(1-3) 太陽電池評価技術における複合加速試験方法の開発については、複合加速試験装置を開発し、太陽電池出力特性の光放射条件と温度条件依存性を調べ、放射照度 3SUN、温度 90°Cの加速試験条件での加速係数はおおよそ 200 倍に達することが判った。

太陽電池面の白濁劣化解析は、白濁面積測定装置を使用して、定量的に評価したところ、白濁劣化 (EVA 剥離に関する劣化) は温度・光のサイクル試験が有効であることを確認した。出力低下は窓材 (EVA) の透過率低下による影響が大きく、白濁の影響は小さいことが分かった。(産総研)

太陽電池モジュールの複合加速劣化試験方法の開発に向け、長期曝露データの収集を実施し、定期評価 (年 2 回) により白濁現象、直列抵抗増加現象の進行度合いを求めた。

長期屋外曝露試験は、国内 3 サイト (北見、鳥栖、宮古島)、海外 1 サイト (オマーン国) で実施し、最長 15 年におよぶモジュール劣化状況の取りまとめを行った。なおオマーンサイトにおける長期曝露試験では日本と異なる環境 (超高温) におけるモジュールの経年変化 (出力性能低下)、砂塵の影響、モジュールの設置角度の相違と砂塵堆積による出力への影響等についてまとめた。

一方、長期間曝露されたモジュールの白濁等の劣化症状や発生割合を定量的に把握するため、長期間運用実績のある太陽光発電システムに設置された 9 機種のべ 8,000 台のモジュールの劣化発生状況を調査し、劣化現象の症状や発生割合をまとめた。(JET)

(2) 太陽光発電システム評価技術の研究開発

(2-1) 太陽光発電システムの設計支援技術については、パラメータ分析法に基づく統計的手法を開発し、精度検証の結果、月単位の発電量推定誤差が $\pm 10\%$ 未満であることを明らかにし、産総研-Web サイトで一般に公開した。また、日陰の問題等、個々の住宅特有の性能低下要因を設計に反映させることを可能とする手法の開発を目指し、新しくアレイ構成設計基本単位の考え方を導入した「PV クラスタ」ごとの出力変化を評価することができる「動作点移動解析モデル」を提案し、日射や温度のアンバランスの生じる複面システムでも、最適ストリングパターンを設計する手法を開発した。

施工・性能診断支援技術については、静的性能診断手法として、太陽光発電システムの直流側、交流側の実発電状況とシミュレーションから得られる推定値を比較し、異常を判定する手法を開発した。(NPO 法人：太陽光発電所ネットワークの「PV 健康診断」に活用) また動的性能診断手法として、アレイ端から信号波を入力し、その反射波を観測するタイム・ドメイン・リフレクトメトリ法を開発し、不具合箇所・種類の特定に有用であるとの見通しを得た。

これの技術を総合支援技術として取りまとめた。(産総研)

(2-2) 太陽光発電システムの運転データの収集とその分析については、住宅用 PV システムの運転データ収集・分析により各種 PV システムの運転データを蓄積し、概ね順調に稼働していることがわかった。また、単面設置と複面設置システムの運転特性の違いはアレイの設置姿勢による影響が大きい場合が多いことがわかった。

不具合事例に関する設置者（対象約 1,000 軒）の意識調査を行い、設置者意識の実態を取りまとめるとともに、PV システムの大量普及に向けた提言を取りまとめた。（JET）

なお、平成 18 年度ではエネルギー定格技術の構築に向け、試験設備の導入と計測の確認を実施した。（産総研）

(3) 太陽光発電システムのリサイクル・リユース処理技術等

(3-1) 結晶シリコン太陽電池モジュールの研究開発では、結晶 Si 太陽電池モジュールについて 15 年間使用したモジュールは、その大半で継続使用が可能であることが確認できた。また、使用済みモジュールは、裏面フィルム等を補修することでその延命化が期待できる。モジュールからの Si 材料リサイクル手法としては、燃焼による EVA の除去、回収 Si セルのエッチングによる不純物除去のプロセスが有望であることが確認できた。さらにリサイクルプロセスの経済性評価として、回収セルからの Si 再生処理コストを試算した結果、10 円/W の処理コストを実現するには年間 500MW 強の処理量が必要であると推定できた。（シャープ）

リサイクラブルモジュール構造については、フィルムセル間の光学的接触条件の改善を行い、発電効率向上を図った（対従来型比 88%→94%）。実用規模での実証を行うため、16 直列モジュールによるリサイクル・ループ試験を行った結果、セルの物理的回収成功率は 99.7%であるとともに、耐候性試験前後でのモジュールの劣化も認められず、良好な結果を得られた。LCA 評価の結果、従来型に比べ投入エネルギー量で約 73%、CO₂ 排出量で約 78%（9 セル直列試作モジュール）と効果が確認できた。（産総研）

(3-2) CIS 系薄膜太陽電池モジュールの研究開発では、2 枚のガラスが貼り合わされた構造であることから、モジュール全体を加熱することで接着剤として使用する EVA 樹脂を軟化させた状態で、カバーガラス（白板ガラス）と基板ガラスに対して反対方向の外力を加えることで、カバーガラスが分離できる（CIS 系薄膜太陽電池モジュールを分解できる）ことを確認した。この原理を適用したカバーガラス分離装置を開発し、30cm×30cm サイズモジュールの分離実験で、80%以上の成功率を確認した。回収した CIS 系薄膜太陽電池デバイス部から、有価物として、カバーガラス、金属粉末、Mo 裏面電極層付き基板ガラス（または、Mo 裏面電極層からの金属スラッジ及び基板ガラス）を分離・回収する乾式プロセスを開発した。これにより目標コストを達成できる見通しが立った。（昭和シェル石油）

(3-3) 太陽電池モジュール用ガラスの研究開発では、結晶 Si 太陽電池モジュールを対象としたリサイクルの基本プロセスを明確にした。さらにガラスの回収率を上げるため、新たなリサイクルプロセスを開発し、ガラスの回収率 90%以上を達成した。開発したガラス回収プロセスの LCA 評価を行い、CO₂ の削減に有効であることを確認した。また経済性についても試算を行ったところ、産業廃棄物処理費用並みにできることを示した。なお、

薄膜シリコン系太陽電池のガラスのリサイクルについても薄膜を除去せずに板ガラス原料として使用可能であることを示した。(旭硝子)

(3-4) 太陽光発電システム適正処理のための社会システムの研究については、PV モジュールを確実にリサイクル・リユースするための課題を抽出し、その対応策として、解体業者が住宅用 PV モジュールを低コストで回収可能であること、既存業者が一部設備を導入して PV モジュールのリサイクルは可能であることを示した。さらに、PV モジュールのリサイクル・リユースシステムを実現するために必要となる事項(ガイドライン案)について以下の項目についてまとめた。

1) PV モジュール設計ガイドライン: PV モジュールの設計段階からリサイクルし易いモジュール構造にする。モジュール製造メーカーが対応する要件である。

2) 撤去及び回収ガイドライン: PV システムから PV モジュールの撤去、回収を確実に低コストで行う。モジュール製造メーカー、PV 施工・販売業者が対応する要件である。

3) リサイクル処理ガイドライン: 回収した PV モジュールを低コストでリサイクル処理できる技術と体制を築く。PV 関連業界(団体)が国と協力して対応する要件である。(PVTEC)

(4) 太陽光発電システムの電磁環境性に関する研究開発

太陽光発電システムの電磁環境性に関する研究開発では、太陽光発電システムの EMC 測定手法等に関する調査を基に、IEC61000 シリーズを仮の指標として評価項目と基準を設定し、各種測定条件のもとでエミッション及びイミュニティ測定を実施した。この結果、多くの測定項目で住宅環境限度値を超過している事が確認できた。この対策については解決手法を提示すると共に、太陽光発電システムの電磁環境両立性に関する試験方法の標準化に向けた一次案を作成した。(JET)

(5) その他について

本事業では全国標準日射データベースの構築を行い、1km で全国約 830 ヶ所の気象官署・アメダスデータを元としたデータベースを完成させた。また、日本全国の太陽光発電システムを設置することが可能な設置許容量について、住宅分野、非住宅分野、非建造物分野等で明らかにした。加えて、海外の研究開発及び施策等に関する動向について逐次調査を行い、研究開発にフィードバックさせた。

論文数 43 件、特許出願件数 10 件、口頭発表数 54 件、報道 1 件の成果があった。

e. 研究開発機関

運営機関: 新エネルギー・産業技術総合開発機構

委託先: 産業技術総合研究所、電気安全環境研究所、太陽光発電技術研究組合(昭和シェル石油、シャープ、旭硝子)、資源総合システム※、日本気象協会※、エネルギー総合工学研究所※、電力中央研究所※、日本電池※、みずほ情報総研(富士総合研究所)※ ※調査研究

f.事後評価結果概要

将来の地球環境・エネルギー政策を推進していく上で、技術的にも導入実績においても我が国が世界をリードしている太陽光発電の更なる普及拡大は、国際競争力強化の意味も合わせて極めて重要と考えられ、そのために必要な共通基盤技術を選定・推進してきたことは高く評価できる。中立機関である産業技術総合研究所と電気安全環境研究所を核として、太陽光発電システムの実用化・標準化に不可欠な JIS 化や、認証制度の確立等、事業の目的に沿ったプロジェクトが推進され、当初の目標を達成していると判断する。

一方、総論として太陽光発電分野の成果創出に貢献が認められるものの、各個別テーマの細部に渡り十分な成果管理がなされてきたのか疑問が残る。各個別テーマの成果が今後の太陽光発電の普及促進にもたらす効果の定量的な分析結果が示されることが望ましい。

g.追跡評価のためのベース資料

「太陽光発電システム共通基盤技術研究開発」事後評価報告書（平成 19 年 3 月）

2. 3. 7 太陽光発電技術研究開発 (H13~H17)

a.実施期間

平成 13 年度～平成 17 年度 (5 年間)

b.研究開発費総額

14.1 億円

c.研究開発の目的

新エネルギー・産業技術総合開発機構における「太陽光発電技術研究開発事業」を補完し、総合的に支援するため、一層低価格で高効率な太陽電池の開発、性能評価技術の確立や中立的な評価の実施、既存システムとの連系技術の確立、リサイクル技術の確立、実環境における太陽光発電システムの性能分析等の課題を達成するための技術開発を行う。

d.主な研究開発成果

①薄膜シリコン系太陽電池の研究開発

- ・アモルファスシリコンにおいては、劣化後の効率として世界最高水準の 9% 超を達成した。
- ・微結晶シリコンにおいては、当時世界最高の 8nm/s の製膜速度を達成。
- ・微結晶シリコンの高速製膜技術を開発し、毎秒 2nm の製膜速度で、変換効率 9.13% の太陽電池を製作できた。
- ・上記の成果に基づいたタンデム構造の太陽電池で、変換効率 12.4% を達成した。
- ・アモルファスシリコン及び微結晶薄膜の微視的な形成機構を明らかにするため、シランプラズマ中の反応前駆体であるシランラジカルの濃度計測が可能なキャビティエーリングダウン (CRD) 法及び製膜時の成長過程を明らかにできる分光エリプソメトリ法等の実時間観測技術を新たに開発し、気相ならびに表面における製膜過程を明らかにした。電池特性の決定要因については未解明な点は残るものの、少なくとも界面でのエピタキシャル層が悪影響を及ぼすことを明らかにした。

②超高効率低コスト CIS 系太陽電池技術の研究開発

- ・高度な製膜中その場観察技術を開発し、CIGS 光吸収層の製膜技術を改良することで、禁制帯幅 $E_g \sim 1.2\text{eV}$ の CIGS 太陽電池で変換効率 $\eta = 18.5\%$ 、 $E_g = 1.3\text{eV}$ で $\eta = 18.1\%$ 、CGS 太陽電池 (禁制帯幅 1.7eV) でも $\eta = 8.4\%$ と世界最高レベルの変換効率を実現した。
- ・10cm 角以上ガラス基板上に抵抗率 $2.1 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ 、可視光域での平均透過率が 80%～90% の透明導電膜の製膜を実現した。

③極薄膜結晶シリコン太陽電池の研究開発

- ・完全拡散反射基板とシリコン表面の全反射による光閉じ込め型セルの理論的シナリオ (膜厚の関数として理論的限界値) を確立した。
- ・厚さ 2 ミクロンの極薄膜シリコン太陽電池として世界トップの高光電流出力 26.8Ma/cm^2 を実現し、光学的なシミュレーションとの比較から、基板反射率 96.3% を反映した「光閉じ込め太陽電池」が実現されていることを確認した。ただし、極薄膜シリコンの電気的な膜質が不十分なため電気的なキャリア閉じこみを反映した光電

流出力 ($31.6\text{Ma}/\text{cm}^2$) には到達しなかった。

- ・薄膜結晶シリコン基板に適用できる表面パッシベーション技術として、キンヒドロン/メタノール溶液を用いたパッシベーション方法を提案した。シリコン基板の表面再結合速度として、 4.2cm/s と極めて低い値が得られ、シリコン基板表面が十分不活性化されることが明らかとなった。
- ・低温成長 2 段階成長法を開発し、変換効率 13.54% ($V_{oc} 0.597\text{V}$, $J_{sc} 34.37 \text{ Ma}/\text{cm}^2$, $\text{FF}0.659$) の世界トップレベルの低温エピタキシャル接合セルの試作に成功した。
- ・室温でのエピタキシャルシリコン結晶成長に世界で初めて成功し、効率 13.52% の室温エピタキシャルシリコンセルを試作し、室温低コスト化の可能性を示した。
- ・界面再結合速度 $1,000 \text{ cm/s}$ 以下の良好な BSF 層の低温 (200°C) での堆積に成功し、 $100 \mu\text{m}$ 厚の効率 12.87% の BSF 型薄膜セルを試作した。デバイス物理の観点から、界面再結合速度低減の理由を明らかにした。

④太陽電池の高効率化を目的とした光拡散反射性基板の研究開発

- ・セラミックス光拡散性基板型太陽電池において、光閉じ込め効果を増大するために基板と半導体層の間に設ける薄膜バッファ層の屈折率及び膜厚について、バッファ層の屈折率を基板の屈折率よりも大きくしなければならないこと、バッファ層の厚さとして 100nm 程度を採用すべきであること等の設計指針を明らかにし、目標を達成した。

⑤超高効率太陽電池基板製造技術の研究開発

- ・ 500kHz 近傍の印加周波数を用いた高周波磁場印加融液内自然対流制御技術により、結晶成長面内の局所熱伝達率分布の面内標準偏差が平均値の 10% 程度となることを確認した。

⑥薄膜結晶化合物太陽電池の研究

- ・低温成長初期バッファ層 (LT-Buffer) の厚さが、 100nm 以上の場合 TCA を施すと膜質が大きく向上する事を見いだしたが、試作プロセス未整備のため太陽電池性能による評価ができていない。

⑦太陽電池・モジュールの長期性能評価及び寿命予知のための技術開発

- ・ $\alpha\text{-Si}$ 系、CIGS 系薄膜太陽電池・モジュールについて各種複合環境下で長期加速劣化試験を実施した。これらの薄膜系は発電性能の一時的向上あるいは急激な劣化、暗状態または順バイアスでのこれらの可逆的回復等、従来の結晶系電池にはない物性的に特異・複雑な現象がある。特性の経時的挙動を新開発した極微弱光測定法、低温光 C-V 法、さらにオージェ分析、赤外分光分析等を駆使して詳細に観測し、寿命予測モデルに要求される各種環境因子に対する劣化・故障モード及びストレス加速性の劣化を律速する主因子である光・温度の長期劣化予測式及び劣化速度係数を導出し、また欠陥準位の生成等、接合/界面の物性レベルまで掘下げたメカニズム的根拠に基づく定量化モデルの基礎を構築して、前半期の目標を達成した。後期の開発目標であるモデルの普遍化、モジュール・システムへの適用の実験的検証を進め、CIGS 系電池について性能の半減寿命 $20\sim 40$ 年を予測した。
- ・品質検査、性能改善のための情報フィードバック等に利用できる微小スポット光、パルス光及びライン光励起法による診断技術を提案し、評価装置を特許出願及び試作して検証した。目標の基礎技術はほぼ達成し、ライン光励起による評価・診断装置は (株)

セルシステムと特許実施契約を締結して、高速自動の実用装置を実現し、製品として販売を開始した。

⑧新規な色素増感型太陽電池の性能評価

- ・現状で考えられるあらゆる要素（太陽エネルギー変換効率や短絡電流（Isc）、量子収率、光吸収効率、形状因子（ff）、開放電圧（Voc）、温度や光量、吸収波長、スペクトルミスマッチ、セル面積、セル形状、マスク効果、光散乱効果、リード線及び接触抵抗の各種影響と測定方法）を検討し、上記目標の評価方法を確立した。

原著論文数 152 件、特許出願件数は 28 件の成果があった。

e.研究開発機関

産業技術総合研究所

f.事後評価結果概要

基礎的な分野を中心に、太陽電池技術の先進的かつ先導的な研究開発が行われ、将来的に、太陽光発電の低コスト化や量産化に対して大きな貢献が期待できる種々の成果が得られたと評価される。また、論文等を通じた成果の公表、さらには関連する外部プロジェクトや企業との連携がなされ、成果の波及効果や事業化への進展も期待できる。費用対効果については、各成果の今後の波及結果を待たなければならないが、全体的には今後の技術開発に対して大きな貢献が期待できる成果が得られたことにより、概ね妥当と判断される。

ただし、数値化しにくい目標設定もあることから、課題設定プロセスにおいて、目標設定について外部有識者との意見交換が必要であると思われる。

g.追跡評価のためのベース資料

「太陽光発電技術研究開発（電源利用技術開発等委託費）プロジェクト評価（事後）報告書（平成 19 年 3 月）

2. 3. 8 太陽光発電システム普及加速型技術開発 (H12～H17)

a.実施期間

平成 12 年度～平成 17 年度 (6 年間) *

※平成 16 年度終了予定であったが、最終年度の公募テーマの研究開発期間が平成 17 年度まで延長した。

※平成 12 年度から平成 14 年度は「太陽光発電システム普及促進型技術開発」として実施。

b.研究開発費総額

44.12 億円 (平成 12 年度から平成 14 年度の「太陽光発電システム普及促進型技術開発」を含む)

c.研究開発の目的

エネルギーセキュリティの確保及び地球環境問題への対応の観点から、太陽光発電の普及を抜本的かつ急速に進める必要がある。ニューサンシャイン計画等における技術開発の進展や住宅用太陽光発電導入基盤整備事業等の導入施策の展開もあり、ようやく太陽光発電の初期導入段階といえる状況になってきたところであるが、今後太陽光発電の本格的普及を図るためには、低コスト化・量産化や性能向上等の課題を解決することが必要不可欠である。

現行の生産性を革新的に向上させる量産化技術開発や変換効率を含めた太陽光発電システムの高性能化技術開発等を行い、太陽光発電システムの加速的なコストダウンと本格的な普及を図る。

d.主な研究開発成果

(1) 薄膜多結晶シリコンセル形成の高スループット量産化技術開発

当初設定した研究開発目標を達成し、ハイブリッドモジュール量産化技術を確立した。本開発による成果は、世界で初めてアモルファスシリコン/多結晶シリコン薄膜ハイブリッド太陽電池モジュールを量産レベルで生産可能にするものであり、量産レベルでのモジュール効率も世界最高である。本開発の成果を適用して、世界に先駆けてアモルファスシリコン/多結晶シリコン薄膜ハイブリッド太陽電池モジュールの量産を開始した。以上の点から、本開発を通して太陽光発電技術の普及促進の一翼を担えたと考える。

(2) 高速大面積アモルファスシリコン製膜技術の開発

本開発によって、世界で初めて 60MHz の超高周波を用いた基板面積 1 m²を越えるプラズマ CVT 装置を開発でき、開発した装置を用いて連続生産が安定して可能であることを示した。また、電池を製作するために必要な製膜技術とレーザエッチングの開発を行い、これらの技術によって、年産 10MW の太陽電池生産が可能となり、太陽電池の低コスト生産が実現された。この技術は実施者 (三菱重工業) のアモルファス太陽電池の 10 MW 生産設備に適用され平成 14 年 11 月から生産を開始している。その後、生産歩留の向上、稼働率の向上を行い、生産を開始してから 3 年後の平成 17 年度には目標の 10 MW 生産に到達し

た。

また、本事業で開発した超高周波プラズマの大面积均一化技術はその後実施した先進太陽電池の開発で微結晶シリコン製膜技術に反映されている。

(3) 低コスト太陽電池用多結晶シリコン基板の量産化技術開発

開発目標（基板サイズ：155mm×155mm、基板生産速度：6,000 枚/日・台、基板製造コスト：210 円/枚）について初期目標を達成できたものとする。また、3 年間の共同研究を通して、当初の開発目標を満足する『低コスト太陽電池用多結晶シリコン基板の量産化技術』が確立した。今後は、本開発成果を基に量産装置の改善を含む事業化の検討を進めるとともに、新規製造方法により作製された多結晶シリコン基板の更なる高効率化を図るべく技術開発を進展させることが重要である。

(4) 結晶シート太陽電池の高効率化技術開発

結晶シート基板用高性能セル化技術開発では、キャスト基板に比べて表面凹凸が大きい結晶シート基板に対応した電極形成技術、接合形成技術を開発した。具体的には、均一な裏面 Al 電極の形成を可能とする、自動印圧制御を用いたスクリーン印刷法による電極形成技術を開発し、変換効率を約 0.2 ポイント改善した。また、均一なリン拡散層の形成を可能とする噴霧塗布を用いた接合形成技術を開発し、変換効率を約 0.5 ポイント改善した。

結晶シート基板改質技術開発では、キャスト基板と比較して結晶粒が多い結晶シート基板に対応した高速熱処理技術とパッシベーション技術を開発した。裏面 Al 電極焼成工程において、高速熱処理技術を開発し、上記電極形成技術と併用することにより、変換効率を約 0.5 ポイント改善した。また、パッシベーション効果の高い SiN 製膜条件を検討し、変換効率を約 0.4 ポイント改善した。

ライン適合化検討では、高性能セル化技術と基板改質技術を結晶シート太陽電池のセルラインに導入可能とするために、上記開発技術について、プロセス時間適合化の検討を行ない、技術開発したセル化プロセスの処理時間が従来の基準プロセス時間以下であることを確認した。

(5) フィルム基板アモルファス太陽電池の量産化技術開発

平成 14 年 4 月から平成 16 年 3 月の期間で、大きな研究開発目標を 4 つ掲げ、フィルム基板アモルファス太陽電池の量産化技術開発を実施した。期間内で目標を達成し、量産技術を確認した。この技術を基に、さらにスケールアップ（フィルム基板幅を、従来の 50cm から 1m にスケールアップ）する技術を社内で実施し、熊本に新設の太陽電池工場を竣工した。

(6) 太陽電池用シリコン原料の低コスト・量産化技術開発

コストにおいては、2,000 トン/年の規模での製造コストを試算した結果、最適反応条件下において、目標の 2,000 円/kg 以下の見通しを得た。品質においては、太陽電池用として、十分な性能を示した。本研究で、四塩化珪素の亜鉛による還元反応で太陽電池用途のシリコンを製造し、設定条件の下での試算により目標コスト達成の見通しを得た。

今後の課題として、スケールアップによる前述設定条件の実証、すなわち、連続化、工程間接続技術等における課題の抽出と検証が上げられる。また、スケールアップに伴い新たに発生するであろう課題の解決と共に、スケールアップでの本件に掲げた最終目標の実証が不可欠となる。

(7) 低コスト薄膜多結晶 Si の量産型製膜装置開発

ハイブリッドモジュールにおける薄膜多結晶シリコン製膜装置の低コスト量産化技術として、多数枚バッチ方式による量産型製膜装置開発のための設備条件と均一製膜条件を明らかにすることを目標に、小スケール実験機及びパイロット実験機での製膜実験、コストダウン技術検証実験を通じ、性能/設備コスト面における 1 室、多数枚製膜の可能性を得ると共に、ロングラン連続運転を通じ量産機展開時における設備上の課題抽出、対策を実施し問題ないことを確認の上、量産機設備仕様を決定した。また、計画生産性確保のための多数枚基板脱着方法及び移動チャンバーのドッキング方法においてもプロトタイプ、小スケール実験機での技術検証を行い量産機仕様の目処を得た。

今後は、更なる詳細検討、設計の上、量産機仕様の確定、導入（実証機導入）を実現し、量産上の課題抽出、解決を行うものとする。

(8) 太陽電池用高品質多結晶シリコン製造技術の開発

小型実験炉では、結晶成長形態の異なる変速引き下げ法及び引き下げ徐冷法の 2 方式でほぼ拡散長の目標値 $600\mu\text{m}$ を達成することが出来たが、結晶欠陥や不純物の分布状態を調査し、これらを低減することでさらに高品質の多結晶シリコンの製造技術を開発する。

熱流体解析ソフトによるシミュレーションを活用して大型凝固炉のホットゾーンの改善を行い、大型炉でも小型実験炉と同等の高品質結晶が得られる凝固育成条件を確立すると同時に、ローコストで生産性の高い大型凝固炉を開発し、多結晶シリコン太陽電池のコスト低減に寄与する事を目指す。

(9) 溶融析出法による太陽電池シリコン製造技術の開発

1) 大型析出反応器を中心とする、溶融析出法の商用化技術の開発実証プラントを設計、製作した。2) 析出実験の結果、目標とした 30kg/h 以上を確認できた。3) 得られたサンプルのユーザー評価を受けた。インゴット、セル製作、最終的なセル変換効率まで通して太陽電池用シリコン原料として十分使用できるという結果が得られた。

一連の実験結果から、溶融析出法の商業化に向けて基本的なデータを取得することができ、製造コストの目標値達成に目処をつけることができた。

制度全体で、原著論文 7 件、特許出願件数 84 件、学会発表 53 件、その他成果発表 45 件の成果があった。

e. 研究開発機関

運営機関：新エネルギー・産業技術総合開発機構

委託先：カネカ、三菱重工業、シャープ、富士電機アドバンステクノロジー、チッソ、第一機電、トクヤマ、新菱

再委託先：東京農工大学、崇城大学

f. 事後評価結果概要

新エネルギーの普及導入を加速することを目的とし、2010年度の太陽光発電の導入目標に向けて、事業化を強く意識し低コスト化、量産化、性能向上の技術開発を支援する制度の意義は高く、実施された課題のうちいくつかは既に事業化されるか事業化直前の段階に達しており、本事業の目に見える成果として評価されるべきである。本制度の主旨を理解し取り組んだテーマにおいては世界的にレベルの高い成果が得られている。

また、テーマの採択に関しては、早急に取り組むべきテーマ、掲げられた目標のみならずその影響力や将来性も考慮すべきテーマ等、分野も多岐にわたり比較的柔軟に採択されており、開発リスクの高いテーマとしてNEDOの関与は必要と考える。

一方、各テーマの開発目標と本事業の目標とのリンクが不明瞭で、得られた成果による事業目標に対する寄与の程度があまり明示されていないこと、開発内容が太陽電池製造工程の一部でコスト評価になじみにくいテーマもあり、コスト評価が形式的になりがちであること等、今後同様の事業を行う際の課題とすべきである。

特許件数が低いテーマについては、事業化する意思が無いとは考えられないので、ブロックボックス化等の積極的理由があるのではと善意に考える。

プロジェクトの中には挑戦的で今後の技術として重要なものも含まれているため、数年後に事業化目標を設定しているテーマについては、今後の進捗状況をフォローする必要がある。

g. 追跡評価のためのベース資料

「太陽光発電システム普及加速型技術開発」事後評価報告書（平成19年3月）

2. 3. 9 太陽光発電システム実用化加速技術開発 (H17～H19)

a.実施期間

平成 17 年度～平成 19 年度 (3 年間)

b.研究開発費総額

事業規模 : 12.23 億円

NEDO 負担額 (1/2 負担) : 6.12 億円

c.研究開発の目的

既存の電源に比肩する発電コストの達成には、要素技術を商用生産技術として確立するための早期の課題解決が不可欠である。しかし、技術リスクの大きさに比べて、民間の企業活動における太陽電池部門の自立化は未だ容易ではなく、設備投資及び研究開発資金等の面では大きな負担がかかるため、民間企業のみでは十分な商用生産技術開発が実施されないと考えられ、2010 年までに 482 万 kW の導入を達成するためには、これらの解決に国 (NEDO) の積極的な関与が必要な状況である。よって、本事業の実施により太陽光発電システムのコストを競合エネルギー並に低下させ、太陽光発電の本格普及を加速する。

d.主な研究開発成果

(1) 「高フィルファクタ太陽電池対応型高効率インバータ技術開発」

(共同研究先 : 社東芝 平成 17 年度～平成 18 年度)

太陽電池とインバータを接続しての組合せ試験等を実施、開発目標「交流出力 20%以上の領域での直流・交流変換効率 97.0%以上」を達成した。また、出力変動抑制回路と太陽光発電インバータの動作解析検討、昇降圧チョッパの試作結果から、開発目標「100%/ (数秒) の日射急変に対し、交流出力変動 5%/ (数秒) 以下」の目途を得た。

(2) 「微結晶タンデム太陽電池の低コスト化製造技術開発」

(共同研究先 : 三菱重工業 平成 17 年度～平成 19 年度)

微結晶タンデム太陽電池の低コスト生産製造技術を開発することを目的とする。生産時のランニングコスト低減及び歩留まり向上の技術開発における目標 (装置稼働率 75%以上、性能歩留まり 80%以上) を達成し、生産ラインの実証試験データのまとめ、評価を行った。

(3) 「シリコン回収及び再生技術開発」

(共同研究先 : 新菱 平成 17 年度～平成 19 年度)

現在廃棄処理されている半導体及び太陽電池製造プロセスのシリコンスラッジからシリコンを回収・再生し、太陽電池の原料とするプロセス技術の開発を目的とする。コスト 3,000 円/kg (600t/年 生産時のスライス前インゴットとして) について目処を得る。シリコン廃液を原料として、本開発技術を用いて製造した回収シリコンは太陽電池の原料に使用できることが確認できた。また、製造コストは 600t/年 生産時の平均値は 2,970 円/kg と当初目標を達成し、シリコン廃液から SOG-Si の製造プロセスに目処が立った。

(4) 「固定式集光型球状シリコン太陽電池セルの量産技術開発」

(共同研究先：クリーンベンチャー21 平成 18 年度～平成 19 年度)

球状シリコン製造と太陽電池セル化、さらに固定式集光型基板への実装工程における超高速量産技術を開発し、所定量産時のモジュール製造コストを検証した。

固定式集光型球状シリコン太陽電池セルの生産性を大幅に向上させる技術開発として、

- ・球状シリコン太陽電池セル化について1秒当たり540球の連続生産技術の開発
- ・固定式集光型太陽電池セルについては15cm四方の基板1枚当たり10秒で実装する超高速量産技術の開発
- ・10万kWの年産時における太陽電池モジュール製造コストについてワット当たり100円以下の生産性の目処を得た。

(5) 「太陽光・蓄電ハイブリッドシステムの技術開発」

(共同研究先：フジプレアム 平成 18 年度～平成 19 年度)

ハイブリッドパワーコンディショナの小型化や構成機器間通信インターフェースの最適化を図ると共に、目的別蓄電池の最適容量や充放電制御方式を研究し最適な蓄電池管理システムを開発した。太陽光・蓄電ハイブリッドシステムを開発し、実用機としての評価を実施した。システム価格については本技術開発開始時点で500万円程度であったが、パワーコンディショナ及びバッテリー関連の部分でコストを25%程度まで削減できる目処が得られた。全体のシステム価格についても目標値の190万円(年産6,000台規模)も達成可能との結論を得た。

論文数8件、特許数25件、学会発表数24件の成果があった。

e. 研究開発機関

運営機関：新エネルギー・産業技術総合開発機構

共同研究先：東芝、三菱重工業、フジプレアム、クリーンベンチャー21、新菱

f. 事後評価結果概要

本制度は上位政策である「新エネルギー技術開発プログラム」との整合性があり、経済産業省の政策方針にも沿うものである。また、比較的短期間の実用化研究開発の支援を行う制度であり、企業がある程度主体的に目標設定し実施できる制度であることから意義の大きいプロジェクトであったと判断し、その目的、目標は社会的要請、経済的要請に沿ったもので妥当であったと評価する。マネジメントにおいては、太陽光発電技術の実用化を促進する制度として評価しているが、共同研究としてNEDOが主体となっていくことで一定の役割を担ってきたが、現在においては、太陽光発電技術全体フェーズに鑑み、利便性向上のために事業者主体とする改善が必要と考えられ、後継の実用化促進プロジェクト(平成20～21年度)を1/2助成事業とすることで反映した。

制度の実施成果については、事業終了後の実用化という目標に対しては現時点で40%の達成率であるが、今後の実用化の可能性も考慮すると内容は優れており、十分に成果が認められる。

g.追跡評価のためのベース資料

「太陽光発電システム実用化加速技術開発」制度評価書（平成 20 年 10 月）

3. 追跡調査の結果

(施策評価に関する調査結果)

3. 1 【施策評価】

3. 1. 1 施策（太陽光発電研究開発）の目的・政策的位置付けの妥当性

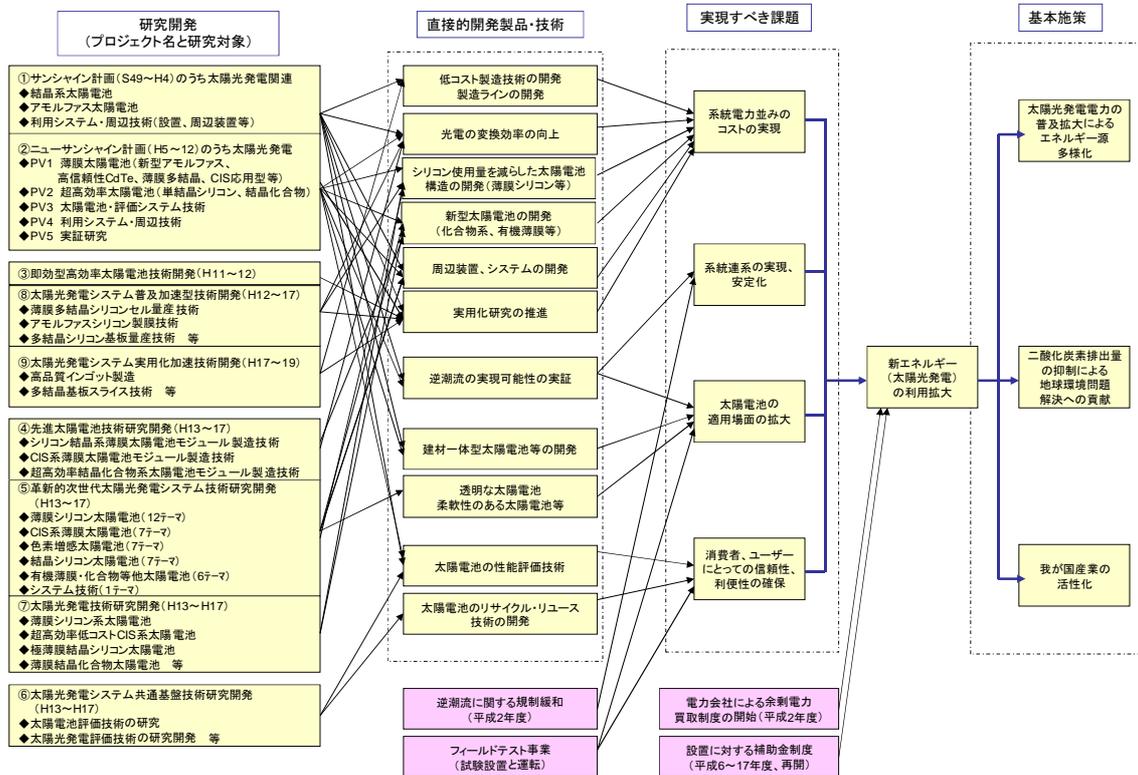
(1) 施策（太陽光発電研究開発）の目的の妥当性

(研究開発の目的の具体化)

以下に示すようにサンシャイン、及びニューサンシャインさらにニューサンシャイン後の各プロジェクトを含む本施策全体は、太陽光発電を石油代替エネルギーの開発、後には地球環境問題への対応という目的も加わった中で国の政策目的に合致しており、妥当だったと考えられる。(図表 3-1に施策全体の目標達成に向けたロジックツリーを示す。また、図表 3-5にテーマの変遷全体像を示す。)

また、そこで掲げた目標は、補助金なしで系統に供給できる低コスト化であり、生産コスト 100 分の 1 という当時としては非常に高い目標であったがその実現に向けて長期的に具体的な目標設定を行った。また、当初から系統連系実現、安定化や太陽電池面積の拡大等の普及拡大に繋がる目標設定、さらに消費者・ユーザーにとっての利便性や信頼性確保を目標設定においている。これらの目標設定はロジック的にも明快であり、その後の研究開発プロジェクトに引き継がれ、ふれずに長期的に研究開発を推進できたという点で、妥当だったと考えられる。

図表 3-1 施策全体のロジックツリー



① サンシャイン計画の目的

サンシャイン計画の目的は、エネルギー問題の解決と、エネルギー多消費社会の中で深刻化した環境問題の解決を図るためであった。

我が国の太陽光発電プロジェクトが長期的に継続し、2000年代に世界一の生産量を達成するに至るきっかけは、サンシャイン計画発足時（1974年）に、1990年までに高性能低価格の太陽光発電システムを開発するという大目的を立てたことによる。

この計画が画期的だったのは、「1974年から1990年という長い期間の目標を立てたこと」、「世界的には太陽熱発電が注目されていた中、太陽光発電を位置付けたこと」、「太陽光発電を宇宙開発分野等の限定的な用途ではなく石油代替エネルギーとして想定したこと」、「当初から用途を考えたシステム開発を取り入れてきたこと」といった4点があげられる。

また、具体的な目標設定として、「太陽光発電システムを他の発電方式と同程度の経済性を有するものとしたこと」、「第一課題として太陽電池の大幅なコストダウンを図り、ワットあたり100～200円の価格（1990年にその当時の価格の100分の1以下とする）を設定したこと」、「1995年には、210万戸の住宅と1万棟のビルに設置し、総発電量750万kW」を目標としたこと、「このような、電気事業電力コストに匹敵しうる発電コストを太陽光発電で達成することを特に技術開発により達成しようとしたこと」などを掲げたことは、その後のニューサンシャイン計画、また2000年以降のNEDO5カ年計画の土台を支え続けることになる。当時、第一次石油危機、第二次石油危機の影響を受けた中、サンシャイン計画への国民の関心は高く、新たな電力需要に見合う新エネルギー電源への期待は高かった。

その後、1989年ころから地球温暖化問題が顕在化すると、従来のエネルギー問題解決のための太陽光発電の開発といった目的に加え、二酸化炭素削減のための新エネルギー発電システムとして新たな目的が加わってくる。この結果、明確な目標設定として記載されているものはないものの、家庭への太陽光発電の設置を本格的に目指すこととなった。この家庭への太陽光発電の設置は、「系統連系された多数の分散設置太陽光発電システムが配電系統を通して運用されることで、大規模発電所の役割を果たす」という概念で、1977年にはサンシャイン計画推進本部により提案されており、当時の計画に先見の明があったことを示している。このサンシャイン計画の中で早くからシステム研究が認められてきたことが、後の系統連系システム実現の下敷きとなっている。この当時サンシャイン計画推進本部に属していた黒川浩助氏の論文（第21回太陽光発電シンポジウム、2004年）によると、「当時の太陽光発電先進国の米国では過疎地等の電化のための独立型しか考えられていなかった」と述べられており、世界の中でこのような構想のもとに国を挙げて研究開発に取り組んだのは我が国だけであったことがわかる。このような、世界に先駆けた目標設定がなされ、その実施方法が単に太陽電池の開発だけに留まらなかったことは特筆に値する。

② ニューサンシャイン計画の目的

サンシャイン計画発足当初は、太陽電池の生産コストの低減を目標としていたが、ニューサンシャイン計画以降は、シリコンに代わる材料による太陽電池開発、電力システム技術等の研究開発も進められることとなった。ニューサンシャイン計画の目標は、「2000年までに一般家庭電気料金に相当する発電コストでの電力供給が可能な技術確立、2010年までに

電気事業における新設電気設備の一部に導入可能とするための発電コスト水準の実現」であった。この目標設定も具体的に目指すべき着地点が明確にされ、内容的にも結晶系太陽電池の高機能化、薄膜製造技術の実用化、太陽光発電利用システムの設計手法や建材一体型の太陽電池モジュールの開発により家庭や業務用ビル等への普及の足がかりを作ったという点で目標設定は妥当であったと考える。ここでも、サンシャイン計画の項で述べたように、電気事業による電力コストに見合うだけのコスト低減を目指して、技術開発を行うことが明確に示されている。

図表 3-2 各プロジェクトの目標と主な成果

プロジェクト	プロジェクト目標	主な成果
①サンシャイン計画 (S49～H4)	他の発電方式と同程度の経済性を有し、わが国のエネルギー源として寄与しうる、太陽光発電システムを開発することである。このために必要な第一課題として、太陽電池の大幅なコストダウンを計り、ワット当たり 100～200円の価格を可能にする製造技術を可能にする。 また、太陽光発電の導入量については 1995年(21年後)に 210万戸の住宅と 1万棟のビル、総発電量 750万 kW を目指す。	結晶系太陽電池については、500円/Wを実現する技術が S63年までに完成し、100円～200円/Wを実現するための技術的見通しが立った。アモルファス太陽電池は効率の点では目標を達成した。又、新型太陽電池、超高効率太陽電池の技術開発は目標達成はほぼしているが、基礎的要件の確認に留まっている。
②ニューサンシャイン計画 (H5～H12)	2000年に向けた短期目標として「一般家庭電気料金に相当する発電コスト(製造原価ベース)での電力供給可能な技術確立」が設定され ①薄膜太陽電池の低コスト製造技術の開発、②発電コストの低減や導入量の拡大に資する太陽光発電システム技術の開発、③同料金を下回る発電コスト達成の可能性のある次世代薄膜太陽電池及び大規模導入を可能とする太陽光発電システム技術に関する要素研究開発	アモルファスシリコン、CdTe太陽電池については目標である 140円/Wで製造する必要技術を確立した。また、薄膜多結晶シリコン、CIS太陽電池について 140円/Wで製造する必要技術が確立された。システム技術開発では、システムの普及拡大やトータルコストの低減に資する基本技術が得られた。システム・周辺技術では、住宅・ビルの建材と一体型の太陽電池モジュールが開発され今後の設置コストの低減、付加価値付与など普及拡大に寄与するものが生まれた。

出所：サンシャイン計画 10周年記念事業工業技術院実行委員会「サンシャイン計画 10年の歩み」(1984)、NEDO「太陽光発電における技術開発とその成果に関する調査報告書」(2006)、ニューサンシャイン計画「太陽光発電技術研究開発」プロジェクト評価(事後)報告書(2002)よりMRI作成

③ ニューサンシャイン計画後のプロジェクトの目的

ニューサンシャイン計画終了後は、それまでのサンシャイン計画、ニューサンシャイン計画で推進されてきたテーマを加速し、2001年からの国の5カ年計画の目標値がたてられた。すなわち2010年に482万kWの達成を目指すために、発電コストをユーザーが導入補助金なしで自発的に購入しうるレベル（家庭用電力料金並み）にまで低減することを目指し、そのための技術水準の獲得を目指すこととされた。このため、製造技術の開発まで踏み込んで、将来の革新的次世代太陽電池開発に取り組んでいった。

ここに至っても、やはり482万kWを設置するためには技術水準を高めることを第一の目標として据えており、サンシャイン計画作成時のコンセプトがずれずに継承されている点が評価できる。図表3-3、図表3-4に見るように、各プロジェクトの目標設定は各々あるものの、全体が2010年に482万kWの導入量を目標と置き、あるものは結晶系太陽電池セルの高効率化・高品質化を実施し、あるものは薄膜太陽電池セルの開発、また量産化や製造技術開発を実施するもの、次世代太陽光発電（化合物系、色素増感系等）の開発、インバータや蓄電池等の周辺基盤技術の高度化と低コスト化等を目指した。

目標の設定は、国としての方向性を定めるもので、具体的に2010年の目標数値が設定されそれに向けて各プロジェクトが計画されてきた点は妥当である。しかし、プロジェクトが細分化されたため、ニューサンシャイン計画のような有機的なつながりが、目標設定において十分ではない点が有識者へのヒアリングや企業ヒアリングで指摘された。

図表 3-3 ニューサンシャイン以降のプロジェクトの目標と主な成果（1）

プロジェクト	プロジェクト目標	主な成果
③即効型高効率太陽電池技術開発 (H11～H12(～H14))	結晶系太陽電池の高効率化・高品質化を即効的に可能とする技術開発を実施し、新エネルギーとしての太陽光発電システムの導入促進に資する。	変換効率 19%の世界最高水準のセルを開発。製造コストも目標には達成した。過去のプロジェクトとの関連性が疑問。
④先進太陽電池技術研究開発(太陽光発電技術研究開発) (H13～H17)	太陽光発電については、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。2010 年度の導入目標 482 万 kW の達成には、発電コストをユーザーが導入補助金なしで自発的に購入しうるレベル(家庭用電力料金並み)にまで低減することが必要である。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、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とする。	シリコン結晶系薄膜太陽電池モジュールや CIS 系薄膜太陽電池モジュール、結晶化合物系太陽電池モジュールなどは製造コスト 100 円/W を達成した。
⑤革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発(太陽光発電技術研究開発) (H13～H17)	長期的には2010年以降の太陽光発電システムの大量普及を実現するために、業務用電力料金、既存電源に匹敵する発電コストを可能とする革新的次世代太陽光発電システムの開発を実施し、太陽光発電の本格的な普及促進に資することを目的とする。	薄膜シリコン太陽電池、CIS系薄膜太陽電池、色素増感太陽電池、結晶シリコン太陽電など長期的視点に立った目標設定に対して目標を達成する成果が開発されている。
⑥太陽光発電システム共通基盤技術研究開発 (H13～H17)	2010 年度の導入目標を達成し、太陽光発電システムの自立的な導入拡大を実現するため、太陽電池の低コスト化ばかりでなく、太陽光発電システムの性能評価や信頼性等に関する共通基盤技術を確立することを目指す。	太陽電池性能評価技術は国際トップレベルの精度であることが確認された。 太陽光発電システムの設計支援技術、施工・性能診断技術についても実用化に供することのできる技術開発ができた。 このように、実用化・標準化に必要な JIS か、認証制度確立などの目的に沿ったプロジェクトが推進目標達成できている。

出所：各種事後評価報告書より MRI 作成

図表 3-4 ニューサンシャイン以降のプロジェクトの目標と主な成果（2）

プロジェクト	プロジェクト目標	主な成果
⑦太陽光発電技術研究開発 (H13～H17)	「太陽光発電技術研究開発事業」を補完し総合的に支援するために、一層低価格で効率の高い太陽電池の開発、性能評価技術の確立や中立的な評価の実施、既存システムとの連系技術の確立、リサイクル技術の確立、実環境における太陽光発電システムの性能分析等の課題を達成することを目的とする。	薄膜シリコン太陽電池、超高効率低コストCIS系などにおいて変換効率で世界最高レベルの成果が得られている。
⑧太陽光発電システム普及加速型技術研究開発 (H12～H16) (H12～14は別名で実施)	現行の生産性を革新的に向上させる量産化技術開発や変換効率を含めた太陽光発電システムの高性能化技術開発等を行い、太陽光発電システムの産業自立化と市場自律化を目指し、実用化技術開発、量産化技術開発、製造技術開発等を実施し、太陽光発電システムの加速的なコストダウンを行い本格的普及を図る。	・アモルファス/多結晶シリコン薄膜ハイブリッド太陽電池モジュールを量産レベルで生産可能とした。 ・高速大面積アモルファスシリコン製膜技術の開発は世界で初となる技術開発ができる。この結果年産 10MW の太陽電池生産設備の実機に適用されている。
⑨太陽光発電システム実用化加速技術開発 (H17～H19)	本事業の実施により太陽光発電システムのコストを競合エネルギー並に低下させ、太陽光発電の本格普及を加速する。	インバータ技術、低コスト化製造技術、シリコン回収再生技術などの周辺技術開発であった。 事業終了後の実用化目標に対して 40%の達成率であるが、実用化の可能性も考慮すると内容的に優れている。

出所：各種事後評価報告書より MRI 作成

(技術的課題の取捨選択、整理)

サンシャイン計画発足当時は、太陽電池製造技術に重点が置かれ、基礎研究は電総研が受け持った。電総研では結晶系だけでなく、アモルファスシリコンも取り組んだ。また、応用研究としてシリコンリボン結晶（東芝、東洋シリコン）、粒子非加速 Si 薄膜、II-VI族太陽電池等の研究開発テーマを総合電機メーカー（東芝、日立製作所）、家電等メーカー（日本電気、シャープ、松下電器）、材料メーカー（東洋シリコン）へ委託して実施した。主な目標は、高効率化、大面積化であり、その結果として目標とするコスト低減を目指したものである。

ただサンシャイン計画の特徴は、既に述べたように単に太陽電池の製造技術だけではなく、当初からシステム研究を並行に走らせていた点にある。サンシャイン計画の第二期にあたる 1980 年から配電連系技術や評価技術の研究がなされている。また、初期には熱と電気ハイブリッドシステムも研究された。NEDO 発足後、サンシャイン計画後期から具体

的な設置対象別の研究がなされ、このことは、その後続く系統連系システムの流れにつながっていく。具体的には、一戸建て用、集合住宅用、業務ビル用、集中型発電システムとして発電所用等の各用途ごとのシステム研究がなされた。

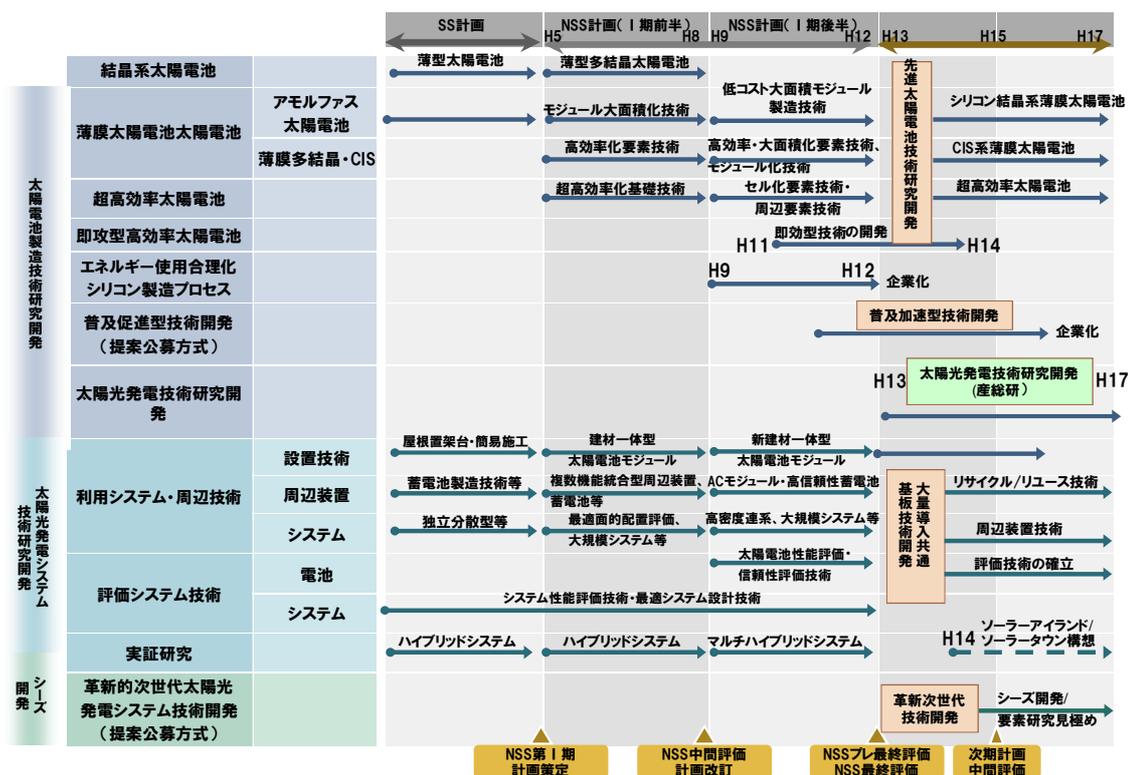
さらに、ニューサンシャイン計画においては、基礎研究として薄膜（アモルファス含む）太陽電池、化合物系として新たに Cd-Te、CIS 等の研究が取り入れられると共に、システム研究の充実が図られ、ソーラーシミュレーター、加速劣化試験、ライフサイクル等の評価技術、AC モジュールや蓄電池等の周辺装置の研究、普及のための建材一体型太陽電池モジュールや設置工法に関する研究等が行われた。

ニューサンシャイン計画後である 2001 年以降は、プロジェクトが細分化した。大きな方向としては、更なるコスト低減のための量産化やコスト低減のための技術開発が行われた。新たな太陽電池の研究として、色素増感太陽電池の研究がなされるようになってきた。

また、システム研究はニューサンシャイン計画で実施されてきたものが引き続き展開されている。性能評価については長期性能評価を実施、またライフサイクル評価からリサイクル、リユースの研究、新たな蓄電池の研究等が引きつづいて実施されている。

また、利用環境の課題から電磁環境性等に関する研究も新たに行われるようになった。

図表 3-5 研究開発テーマの変遷

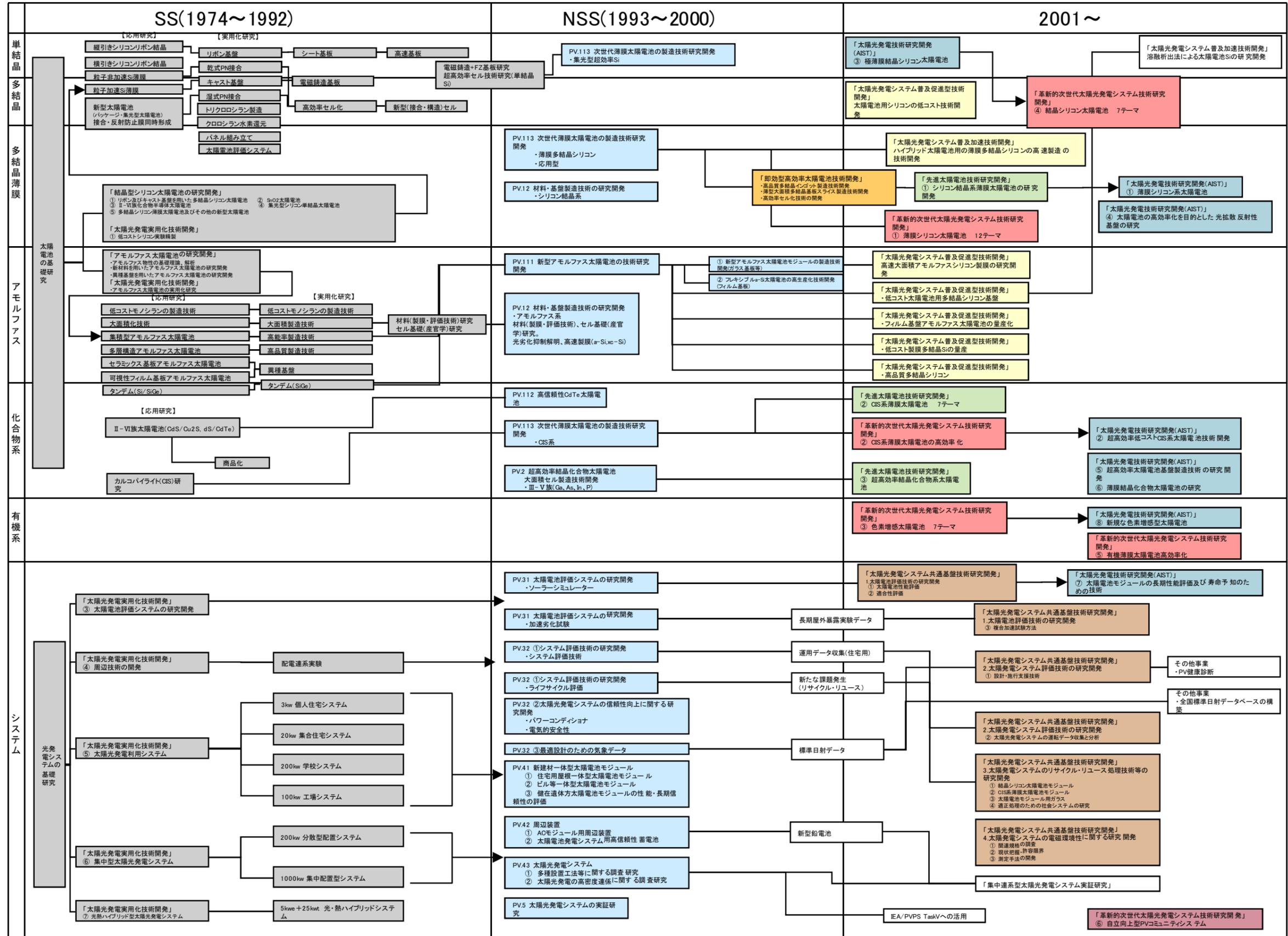


出所：NEDO 委託（2006）（太陽光発電システム及びその関連技術に係るアウトカム調査）
に MRI 追記

なお、技術課題の取捨選択については、ヒアリングを行ったメーカーから日本における国の研究開発テーマが環境に振り回されすぎているように感じるとの意見もあった。その結果として、現在市場の主流となっているシリコン結晶型の太陽電池に関する投資が少なくなつたと考えられるということである。一方で、欧米では公的研究機関がシリコン結晶型の太陽電池の研究開発を継続的に行っている例があり、そうした機関が最高効率を出す等の成果を出している。

さらに、研究開発については、製造技術の開発を進めることが必要だとの指摘もヒアリングであった。具体的には、「将来技術とすぐに使える技術の両輪を進めなければならない」ということで、欧州では最高効率の太陽電池を IMEC（ベルギーの大学が中心となって設置した国際的な半導体研究の受託研究拠点）やフラウンホーファー協会（ドイツの公的研究機関の一つ）が開発している一方、日本ではメーカーが最高効率を出している（三洋の HIT 等）という現状である。本質的には、大学や研究所で最高効率に係る研究を行い、それを生産技術に落とすところをメーカーが行うというのが効率的であると考えられる。日本の大学や公的研究機関の研究者は原理的な部分に注力しており、効率を高めるというような研究をしていない」との見解であった。

図表 3-6 太陽光発電関連プロジェクトの変遷



(プロジェクト目的の社会的ニーズへの合致、見直し)

サンシャイン計画以前には、太陽光発電は特殊用途に用いられるのみで、エネルギーの主流となるとは考えられていなかった。光発電よりも熱利用のほうが有望視され、発電も熱による集光式のほうに関心が高かった。その理由は、光発電の発電原価（Wあたり単価）があまりにも高かった（様々な資料で当時数万円/Wとしている）こと、その当時のセルが数ミリオオーダーのものでコストダウンのための大面積化の技術開発が困難に思われたことである。しかし、計画立ち上げ当時、電総研の電力機器部ではその業務を電力中央研究所に移管する方向で、新たにエネルギー部を作ることとなり、将来のエネルギーがどうあるべきかについて調査を2～3年実施していた。新たなエネルギーとしては、太陽熱、太陽光及び燃料電池が検討対象として含まれていた。

そのような状況で第一次石油危機が起こり、太陽エネルギーに注目が集まり、特に太陽熱の大規模化が出来るかが課題となった。これに対して、大きな設備を作らなくても、基本となる発電材料ができれば大規模化が簡単にできる太陽光発電への期待も高まった。

本プロジェクトの社会ニーズは、エネルギー源の脱石油化（石油に代わる新エネルギー技術開発）という社会ニーズに合致し、その後の石油価格の下落にもかかわらず、常に目標設定の根幹は変わらなかった。その後、ニューサンシャイン計画の開始数年後の1997年に「気候変動に関する国際連合枠組条約第3回締約国会議（COP3）」において京都議定書が採択され、地球温暖化問題がクローズアップされることになる。太陽光発電は石油代替エネルギーの役割に加えて、非化石燃料エネルギーとして地球温暖化問題に対応するためにさらに普及させる必要が生じ、このことが研究開発をはじめ補助金制度、逆潮流制度等も充実させていくこととなる。また、電力会社は地球温暖化防止対策に積極的に取り組むために、メニューとして「原子力の拡大と新エネルギーの積極的取り入れ」という両輪での対応策を打ち出すようになり、自主的に余剰電力買取制度を制定させることにもつながった。このように太陽光発電システムの方向性としては、常に社会ニーズを見据え、見直しを図りつつも、根幹の電気事業用電力なみの発電コストを目指すという目標をぶれさせることなく推進してきたものといえる。

(2) 施策（太陽光発電研究開発）の政策的位置付けの妥当性

（政策的位置意義、時代進行の中でも政策的妥当性はあったか）

政策的意義としては、前項でも述べたようにエネルギー問題の解決（石油代替エネルギーの開発）と環境問題（当初は大気汚染対策、ニューサンシャイン以降から地球環境問題対応）の 2 つの政策的課題への対応が柱であった。さらに将来の我が国産業の柱となるエネルギー産業や液晶関連産業が結果的に誘発されたことも効果としてあげられる。このような観点から、政策的な妥当性は充分高いものがあったと考えられる。

① エネルギー問題の解決

サンシャイン計画の策定は、第一次石油危機が起こる年の 1973 年春、米国ニクソン大統領のエネルギー教書の分析から、当時の通商産業省は石油価格が高騰することを読み取り、同年 8 月に出された産業技術審議会に石油に代わる長期安定エネルギー源を模索する大臣の諮問に対する答申により、翌 3 月に計画が策定されたものである。

サンシャイン計画が立ち上がった時は、前年の 1973 年の 10 月に勃発した第 4 次中東戦争に端を発する第一次石油危機によりエネルギー問題の解決が急務となった年でもあった。石油代替エネルギーの獲得といった命題は、その後の石油価格が下落することで一時下火になっていくものの、1979 年に第二次石油危機の勃発により、我が国にとって重要な政策のひとつとして残っていくことになる。その後、1980 年に「石油代替エネルギーの開発及び導入の促進に関する法律（代エネ法）」が制定される。この結果、新エネルギー技術の開発主体として、新エネルギー総合開発機構（NEDO）が設立され、太陽電池開発が加速されることとなる。

しかし、その後石油需給は再び緩和し、1986 年にはアラビアン・ライトの価格でバレルあたり 10\$ を切るところまで下落、新エネルギー開発のインセンティブが急速にしぼんでいくことになる。しかし、この時期から浮上してきたのが地球温暖化問題であった。太陽光発電の政策的位置付けを見る上で環境側面の比重が高まっていくことになる。

② 環境問題の解決

サンシャイン計画が立案される以前、1971 年に通商産業省が 1970 年代通商産業ビジョンを掲げ技術主導クリーンエネルギーを提唱した。また、世界的には、1972 年にはローマクラブが成長の限界を発表、同年人間環境宣言がストックホルムで採択され世界的に環境問題への関心が高まっていた。このような政策的流れの中で、太陽光発電が大型プロジェクトとは違った形でサンシャイン計画に取り入れられることになった。さらに、ちょうどこのころ国内における公害問題が激化し特に、光化学スモッグにより被害が広がった。この点からもよりクリーンなエネルギー源を求めるニーズが強くあった。

その後、上記のようにエネルギー問題解決の観点では、1980 年代後半石油価格が下落しその機運が下がってきたが、一方で政策意義として浮上してきたのが地球環境問題対応である。地球温暖化説は 1980 年代後半に世界的に浸透し、1992 年の環境と開発に関するリオ宣言、この流れを受けて従来のサンシャイン計画は新エネルギー技術・省エネルギー技術、地球環境保全技術を一層連携して進めていくために、ニューサンシャイン計画として

改組されて発足した。その後 1994 年に気候変動枠組条約が発効した。これに呼応するよう
にわが国においては同年「新エネルギー導入大綱」が制定され、太陽や風力等の再生可能
エネルギーの積極導入が示された。1997 年には気候変動枠組条約の京都議定書が採択され、
同年に新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法が制定された。NEDO においても地
域新エネルギー等導入促進事業が始まり、続いて 1998 年にその後の太陽光発電普及にも大
きな影響を与える「地球温暖化対策の推進に関する法律」が制定された。この様な法的後
押しを受けて、研究開発の加速化、普及に対する制度制定が行われ、2000 年にはシャープ
が太陽光発電生産量世界一になる等、世界トップの太陽光発電生産につながっていく。

③ 産業創出効果

サンシャイン計画自体は、当初結晶シリコン太陽電池のシリコン製造法に力が入れられ、
シリコン製造法に関しては、半導体大手として実績の有る日立、東芝、日本電気に研究開
発が委託された。また、シャープや松下電器は電気機器メーカーとして、シリコン製造で
はなくモジュール製造を委託された。松下電器はその他、化合物半導体を用いた研究開発
も委託された。

この松下、シャープに加え三洋、京セラの 4 社は太陽電池事業を成長させるというこ
とで、独自にも研究開発を続けた。これらの企業特に、シャープ、三洋、京セラは何よりも
経営トップの強い意志で太陽光発電システムの研究開発を行い、可能性のある太陽電池を
それぞれが模索し、最終的にシリコン結晶系の太陽電池に力を注いだ。この間、当初参画
した日立、東芝、日本電気等の大企業は、その後半導体産業が急激に伸びたため、太陽光
発電に力を注ぐことから撤退した。一方で、シャープや京セラ等は、自社の将来の基幹事
業として育てるといった経営者の強力な意志もあり、さらに注力していったことがいつか
の論文などから伺える。しかし、その結果が、太陽光発電は一時期ではあるにせよ世界第
一の競争力を持つ分野まで育つことができ、国の産業政策としての先端的技術の事業化、
産業の創出、競争促進に合致して進んでいたと考えられる。

企業においてすぐに採算化できない研究開発に資源を投入し続けることができたのは、
国のプロジェクトが存在していたことが大きいことが、参画していた企業ヒアリングで確か
められた。また、幸いにして太陽光発電開発で培った技術が半導体分野における他事業、
特に液晶ディスプレイにアモルファスシリコン太陽電池の技術が応用されたことも研究を
継続できた要因となったと、いくつかの論文やヒアリングでも確かめられた。

図表 3-7 太陽光発電と政策的関連（サンシャイン以前～ニューサンシャインまで）

	太陽光関連イベント	電力関連	エネルギー法関連	環境関連法・制度	社会背景	アラビアンライト価格 (ドル/バレル)	
1950	1950				1950～70: セブンスターズによる石油利権の独占		
	1954	1954: Si太陽電池発明(ピアソンらによる関連論文受理年)					
	1955	1955: 日本ではじめて太陽電池が試作(NEC)					
	1959	1959: シャープが太陽電池の開発に着手			1950後半～1970頃: 水俣病、四日市ぜんそくなど四大公害病		
1960	1960				1960～70頃: 高度成長に伴い公害問題が深刻化		
	1967		1967: 石油開発公団法により石油公団設立				
	1968			1968: 大気汚染防止法			
1970	1970			1970: 人の健康に係る公害犯罪の処罰に関する法律 海洋汚染等及び公害犯罪に関する法律 公害防止事業費事業者負担法			
	1971			1971: 公害の防止に関する事業に係る国の財政上の特別措置に関する法律	1971年: 産業構造審議会の中間答申「70年代の通商産業政策」→省資源・省エネルギーの産業		
	1972			1972: 自然環境保本法	1972: ローマクラブ「成長の限界」 人間環境宣言(ストックホルム宣言)		
	1973				1973: 第一次石油危機	2.6ドル→5.0ドル	
	1974	1974: サンシャイン計画スタート				11.7ドル	
	1975	1975: 合弁会社ジャパンソーラーエナジー設立				10.5ドル	
	1978	1978: アモルファス太陽電池の基礎研究開始 太陽光発電システムの検討開始(電力中央研究所)		1978: 石油公団が石油備蓄業務も行うように		12.7ドル	
	1979	1979: シャープが太陽光と太陽熱を利用した日本発のハイブリッド型ソーラーハウス		1979: エネルギーの使用の合理化に関する法律		1979: 第二次石油危機	13.3ドル→24ドル
	1980	1980	1980: NEDOスタート 三洋アモルファスシリコン太陽電池付電卓発売	1980: 石油代替エネルギーの開発及び導入の促進に関する法律		1980: 電気、ガス料金大幅値上げ 1980代: 石油の需給が緩和し、太陽電池への関心も減る	26ドル→32ドル
		1982	1982: 個人住宅用太陽光発電システム運転研究開始 分散配置型太陽光発電システム実験開始				34ドル
1985					1985: オゾン層の保護のためのウィーン条約の採択	28ドル	
1986		1986: 四国西条に1MW級太陽光発電所稼働(NEDO) 六甲アイランドに200kW系統連系システム			1980後半～: 地球温暖化説が浸透していく	1986.1: 28ドル→ 1986.7: 7.5ドル→ 1986.12: 11.5ドル	
1990	1990	1990: 太陽光発電技術(PVTEC)設立	1990: 太陽光発電所設置に関する制度緩和のため電気事業法政省令改正		1990.8.2: イラクがクウェートに侵攻	1990.1: 17.9ドル→ 1990.8: 24.9ドル→ 1990.10: 32.5ドル→ 1990.12: 24.5ドル	
	1991			1991: 資源の有効な利用の促進に関する法律			
	1992	1992: 三洋 個人宅で逆潮流実験	1992: 余剰電力買取制度開始(全ての電力会社)		1992: 気候変動枠組条約採択	1992: 環境と開発に関するリオ宣言	最高値: 19.8ドル

注：アラビアンライト価格は特に記述がなければ年初。また〇〇→△△の場合特別な年月がなければ、当概年の1月と12月。

出所：各種資料よりMRI作成

図表 3-8 太陽光発電と政策的関連（ニューサンシャイン以降）

	太陽光関連イベント	電力関連	エネルギー法関連	環境関連法・制度	社会背景	アラビアンライト価格 (ドル/パネル)
1990	1993: ニューサンシャイン計画スタート ・京セラ住宅用PV発売 ・建材一体型モジュールの研究開発開始	1993: 系統連係ガイドライン策定(逆潮流有) 1993.7: 系統連係保護装置等認証制度開始		1993: 環境基本法		最高値:17.1ドル
	1994:	1994: 電力会社による余剰電力買取制度 ・「住宅用太陽光発電システムモニター制度」開始(設置費用の2分の1相当の補助、設置者をモニターとして性能向上等を図ることを目的。初期需要を創出し、コスト低減を図るために実施。本事業は3年間実施、その間、3180件、12MWの住宅用システムが導入。 ・NEDOの産業用太陽光発電への支援制度	1994: 「新エネルギー導入大綱」。太陽や風力などの再生可能エネルギーなどを積極的に導入すべし。	1994: 気候変動枠組条約発効		最高値:17.1ドル
1995	1997: 住宅用太陽光発電基盤整備事業がスタート→2000年以降の自立的な普及拡大を促していくため、一定期間に集中的な支援制度を整備	1995.4: 電気事業法の一部改正→太陽光発電システムの設置に係わる諸手続きが簡素				最高値:18.1ドル
	1998~2006: 産業等用太陽光発電フィールドテスト事業(NEDO)		1997: 新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法	1997: COP3において京都議定書採択=日本は2008年~2012年を目標に1990年の数値と比較して温室効果ガスの排出を6%削減		最高値:22.5ドル
2000	2000: シャープが太陽電池生産量世界一に		1998~: 地域新エネルギー導入促進事業(NEDO)	1998: 地球温暖化対策の推進に関する法律	1998~2001: 欧米メジャーのM&A加速。スーパーメジャーの誕生へ 1998: 気候変動に関する政府間パネル(IPCC)設立。=地球温暖化についての収集、整理のための政府間機構	最高値:13.6ドル
	2002: PV産業ビジョン		2000: グリーン電力基金→一般からの定額寄付募集、企業は「グリーン電力証書システム」		1999~: 日本の太陽電池生産量世界一	
	2003~2010: 太陽光発電新技術等フィールドテスト事業(新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO))	2003: 「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」	2002: RPS法。	2002: 京都議定書国会承認		2003.2:31.1ドル→ 2003.12:29.2ドル
2004: NEDO「2030年に向けた太陽光発電ロードマップ(PV2030)」		2003: エネルギー基本計画→エネルギー安定供給の確保と環境問題への対応を2つ基本			2003.3: イラク戦争	最高値:39.2ドル
2005		2005: 1994年に開始された住宅用政府補助金制度打ち切り		2005: 京都議定書の発効	2000年代以降: 中国を中心としたBRICsなどが急速に石油争奪競争に参入	最高値:57.9ドル
					2005: グリーン開発と気候に関するアジア太平洋パートナーシップ=環境問題、特に温暖化に対処するための枠組み	最高値:94.6ドル
2009	2009: PV2030+	2009: 個人住宅への補助金制度の復活(7万円/kW) 2009: 太陽光発電の余剰電力を通常の電力価格の約2倍程度の価格で電力会社が購入する「太陽光発電の新たな買取制度」。1kWhにつき、それまでの23円から48円に。	2009: エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用及び化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法		2007: 太陽光発電システム設置数でドイツに抜かれる	平均:62.26ドル
2010			2010: エネルギー基本計画第二次改定。①安全保障②環境③経済率引			

出所：各種資料よりMRI作成

(3) 国の施策で行われるべき研究開発としての妥当性はあったか、国の関与が必要とされる研究開発施策であったか

(国として取り組む必要性、当省の関与の必要性)

サンシャイン計画が立てられたころの太陽電池の製造コストはワット当たり数万円と高くこれを約 20 年で 100 分の 1 以下にし、商用電力並みの発電単価を達成しようとする試みは、長期的な取り組みが必要であり、収益を重視する民間企業だけで実施することはほぼ不可能であった。そのため、国の関与は必須であったと考えられる。

太陽光発電研究開発に取り組む背景としては、エネルギー源の確保や、特に地球温暖化対応を中心とした環境対応、産業誘発が挙げられ、経済産業省（当時の通商産業省及び工業技術院）にとっては、関与というより主体的に取り組むことが妥当であった。もしこのような国の関与がなかった場合、太陽電池や液晶技術において世界有数の産業競争力を獲得することは困難であったと考えられる。

ヒアリング調査でも、国のプロジェクトがあったからこそ、企業において研究開発および、事業の継続ができたとの証言が得られており、国の関与は有効に働いたと評価できる。

また、太陽光発電システムの普及のためには、電気事業関連の法制度の見直しが必要不可欠であった。この点は、電力会社の協力がなければ達成できず、その監督官庁として経済産業省が取り組むことも必要であった。特に、逆潮流制度、余剰電力買取制度、設置補助の制度制定等については、経済産業省の関与が必要不可欠であった。

3. 1. 2 施策（太陽光発電研究開発）の構造及び目的実現見通しの妥当性

（1）現時点までにおいて得られた成果は妥当か。

（過去の研究開発成果の活用）

太陽光発電はその成果が十分活用されたプロジェクトの一つである。特にシリコン結晶系の太陽電池は、現在実用化されて展開しているものの成果のほとんどは、国のプロジェクト成果が全面的に活用されており、また、そこに参画していた企業において研究ノウハウが人材と共に移管され、実用化につながったものと考えられる。

太陽光発電プロジェクトは、単に材料やモジュールの開発に留まらず、当初からシステム化研究を立ち上げ、そのことが普及促進を促す制度制定等の基礎となっていく等、それぞれのプロジェクト形成とその成果が的確に生まれてきた。

特にサンシャインの一期からニューサンシャインに向けて、基礎的研究から実用化研究さらに量産化研究と展開していく展開も妥当なものであった。すべての研究テーマが何らかの形で市場投入までこぎつけている点、普及拡大してはいないものであっても少なくとも企業が研究を継続実施している点も優れている。2000年以降に展開されたプロジェクトについてもその成果が生み出す効果について今後の展開が期待される。特に、薄膜系や CIS 系の太陽電池においては、公的プロジェクトの成果の一部を活用して、我が国が高い競争力を持っている。しかし、太陽電池の市場全体に占める割合はまだわずかである。これらのプロジェクト成果の効果については、今後の発展が期待される。また、NEDO においては現在も新たな技術開発（ポストシリコン、薄膜多接合、低倍率集光型等）の展開につながっている。

（他の分野への波及効果）

① アモルファスシリコン太陽電池開発の成果の波及

アモルファスシリコン太陽電池の成果は、我が国の液晶ディスプレイの開発につながっている。アモルファスシリコン太陽電池の製造工程とアモルファスシリコン TFT-LCD の製造工程は極めて近く、太陽電池の開発、量産化技術が先行することでその後の TFT-LCD の実用化に多くの基本技術や量産技術が寄与している。

アモルファスシリコン太陽電池は、特にシャープが中心になり開発研究を行っていたが、変換効率や歩留まりが悪いことから、量産化が断念されてしまった（アモルファスシリコン太陽電池については、カネカや三菱重工業等において、薄膜多結晶 Si や結晶 Si とのハイブリッドタイプのもので変換効率を上げたものが開発され、その後実用化・量産化に至ったものもある）。シャープはそのなかで育った技術者をアモルファスシリコン TFT-LCD の開発に振り向け、その後、1990年代にノート PC のディスプレイやモニター向けに広がり、さらに世界が追従できない液晶テレビの開発につながっていった。

また、大きな市場形成には至っていないものの、アモルファスシリコン系デバイスは、電子写真用高耐久感光ドラムの開発から、高級仕様の高速複写機やプリンターへ実用化されていく。さらに、アモルファスシリコンによる長尺の光ラインセンサーが開発され、ファクシミリ用読み取りセンサーとして特殊用途に実用化されている。

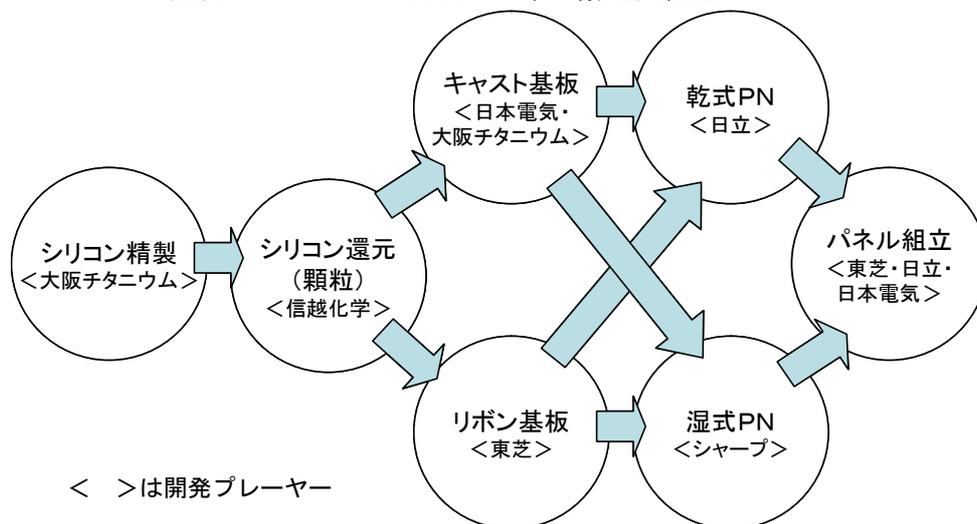
② 半導体製造技術の波及

半導体製造技術の成果で、低コスト・クロルシラン製造技術や、シリコンインゴット切断技術は、半導体産業に応用され、半導体 IC 用ウェハ大口径化等を支え、半導体 IC の生産性向上に寄与した。

- (2) 施策（太陽光発電研究開発）の目的を実現するために研究開発プロジェクトを含む技術に関する事業が適切に配置されてきたか。それぞれの事業間での連携は適切に取られてきたか。

サンシャイン計画発足当初は、太陽電池製造に関する委託研究のみであったものの、1977年にサンシャイン計画推進本部が太陽光発電の電力利用には、システム研究が重要であることを認識し、計画に加えることになった（黒川浩助（2004））。特にこの当時から系統連系された多数の太陽光発電システムが分散配置されれば、石油代替エネルギーを生み出す発電所の機能を果たすと考えた点は特筆に値する。住宅用システムを考えその電力系統との連系を考える絵を描き、蓄電装置のコスト低減の必要性等が訴えられ、プロジェクト化されたことが、その後の太陽光発電開発に大きく影響を及ぼした。特に、NEDO 発足の折に、シリコン原料からモジュール組み立てラインまでを含めた「年産 500kW 級太陽電池製造ライン」の開発プロジェクトが立ち上げられ、プロジェクトの適切な配置がなされていた。この 7 工程別に 6 社あるいは単独連合の 7 チームに委託され、実際に太陽電池モジュールの実証生産を実施しようとする挑戦的な計画となった。本ラインでは、運転研究が行われると共に、試作品としてのパネルが利用システム向けに評価用としても出荷された¹。

図表 3-9 NEDO500kW/年太陽電池製造ライン



出所：サンシャイン計画 10 周年記念事業工業技術院実行委員会「サンシャイン計画 10 年の歩み」1984 年

¹ 「NEDO500kW/年太陽電池製造ライン」はサンシャイン計画の一環として実施された。実際のラインは組み立てられず、各社が加工したものを次の会社に受け渡すという形で、製造が行われた。

図表 3-10 システム研究の構成

<p>周辺技術の研究開発（発電量基礎調査を含む）</p>	<p>太陽電池を電力系統に組み入れて発電を行うために必要な技術を開発する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ○最適システム形態の検討 ○電力系統との連系上の問題点の解明 ○発電量を想定するための日射量調査
<p>個人住宅用システムの研究開発</p>	<p>住宅の屋根面を有効に活かした個人住宅用システムを開発する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ○屋根材と兼用出来る「ルーフパネル型太陽電池」 ○安全でコンパクトな「家庭用電力変換装置」 ○夜間・雨天時でも必要な電気を供給できる「蓄電装置」・「系統連系装置」
<p>集合住宅用システムの研究開発</p>	<p>アパート・マンション等の屋上を活用し、各家庭に電気を供給する「集合住宅用システム」を開発する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ○屋上設置太陽電池アレイ構成の検討 ○複数家庭へ供給するための最適システムと太陽電池エネルギー利用率の向上
<p>学校用システムの研究開発</p>	<p>学校の屋上や用地等のスペースを有効に活用した「学校用システム」を開発する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ○学校の昼間負荷に適應したシステム構成技術と要素機器の開発 ○災害時等の非常時に対する電源システムとしての応用技術
<p>工業用システムの研究開発</p>	<p>太陽電池の直流出力をそのまま活用できる「工業用システム」を開発する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ○工場用負荷に適應した太陽電池アレイ構成と直流出力制御方式 ○系統からのバックアップ方式
<p>集中配置型太陽光発電システムの研究開発（水上立地調査研究含む）</p>	<p>集中的に立地した太陽光発電システムを開発する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ○広いフィールドにおける効率的な集電技術 ○低いコストアレイ構築技術 ○高効率・高信頼度のシステム構成・制御・運用技術 ○水上立地調査
<p>分散配置型太陽光発電システムの研究開発</p>	<p>中・小規模で複数分散して配置された太陽光発電システムを開発する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ○複数箇所に分散したシステムの総合的な運転・制御技術 ○既存電力系統との協調運用技術
<p>光・熱ハイブリッド型太陽光発電システムの研究開発</p>	<p>発電と熱供給を同時に行いエネルギー利用率の高い「光・熱ハイブリッド型システム」を開発する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ○電気と熱のバランスをとったシステムの制御・運用技術 ○高効率・高信頼度の集光技術

出所：黒川浩助「サンシャイン計画から30年技術開発と今後の見通し PVシステムの研究開発の方向性」2004

システム系のプロジェクトに関しては、図表 3-10 のように様々な系統連系の可能性を追求するものとなっている。発電量の基礎調査等の電力系統に太陽電池を組み入れる調査に加え、個人用住宅システム、集合住宅用システム、学校用システム、工場用システム等の個々の対象ごとのシステム研究が行われ、実用化を見据えた研究がなされた。さらに、集中配置型太陽光発電システムや分散配置型太陽光発電システム等の将来の大規模発電システムを見据えた研究も取り入れられた。このことが、四国西条における 1986 年の電気事業用 1MW 発電所実験、六甲アイランドの 200kW 発電実証実験等に発展し、その後の電気事業法改正や余剰電力買取制度につながり、太陽電池の市場拡大と大量生産に結実していくこととなった。

以上のように、本事業は比較的早い段階からシステム研究を取り入れる等、事業の適切な配置と事業間の連携が構想されて始まっていたことは高く評価できる。

(3) 個々の研究開発プロジェクト終了後のフォローアップの状況

(プロジェクト終了後のフォローアップ体制)

太陽光発電システムは環境負荷が低い等の付加価値があるものの、既存の電力との価格差は非常に大きく、その普及のためには導入に係る負担削減による需要創出が必要であった。そのために、電力に関する規制緩和、逆潮流つきの系統連系制度、電力会社による余剰電力買取制度、住宅用太陽光発電システムの設置補助プログラム等の周辺環境整備が進められ、研究開発による太陽光発電システムの発電効率向上、コスト低下に合わせて、これらの施策が次々と連鎖的に展開されてきたことが、普及促進に大きく貢献した。

① NEDO 実証試験実施による初期段階における需要の創出と 90 年代後半からの補助金や導入促進事業による市場形成

NEDO の設立により、太陽光発電システムの技術開発は加速されるが、NEDO による様々な実証事業が官需として初期段階における実需として機能し、製造メーカーの製造力を向上させる要因となっていくことが考えられる。実際、時計や電卓以外にこの時期太陽電池のまとまった需要はなかった。

住宅用普及施策として、住宅用太陽光発電システムモニター事業（1994～1996 年度）、住宅用太陽光発電導入基盤整備事業（1997～2001 年度）、住宅用太陽光発電導入促進事業（2002 年度～）等の大規模な導入促進策が実施され、計 1,300 億円の補助金が投入された。また、公共施設用には公共施設等用太陽光発電フィールドテスト事業（1992～2001 年度：約 80 億円）、産業用に産業等用太陽光発電フィールドテスト事業（1998～2002 年度：約 150 億円）が実施された。

② 太陽光発電普及制約克服のための規制緩和と大規模実証事業展開

太陽光発電の普及制約として、コスト以外に以下の 2 つの大きな制約があった。

ア. 電気事業法の制約

「30V 以上の発電機を作る際は電気主任技術者を置かなければならない」という規制があり、一般家庭の屋根の上に太陽光発電システムを設置するためには、大規模火

力発電所と同じ電気主任技術者を置かねばならないものであった。

イ. 系統連系による逆潮流の制約

電力会社に逆潮流を行うことへの電力保護上の問題発生への危惧があり、電力会社が納得する形で制約を取り払うことが必要であった。

これらの克服に向けて、資源エネルギー庁の石油代替エネルギー対策課が中心となって、太陽光発電システム普及の機運を盛り上げていった。

ア) 電気事業法の緩和

代替エネルギー課はマスメディア等に新エネルギー普及に関する障害について説明し新聞等でとりあげられるとともに、環境省も環境白書を通じて、地球温暖化防止対策のための新エネルギー対策として電気事業法を含む制度改革を訴えて行った。この背景には、1987年にできた民間企業の団体「太陽光発電懇話会（代表京セラの稲盛和夫氏）が太陽光発電システムの系統連系や余剰電力買取制度の必要性を訴えてきたことにも影響を与えている。この結果、1990年の4月に電気事業法の政省令改正が公布され、100kW未満の太陽光発電設備の設置には工事計画の届出さえ不要になり、系統連系及び余剰電力買取制度の仕組みづくりが進み、太陽光発電システム普及の素地ができることとなった。

イ) 逆潮流有り系統連系ガイドラインの策定

逆潮流有りの系統連系を可能にするためには、質の異なる電力が電力系統に流入することで事故等が起きないかといった電力会社の懸念があり、これを払拭する必要があった。このガイドライン策定に寄与したのが、NEDOによるPVシステム実証試験である。それ以前にも富士電機総合研究所において1軒分の太陽光発電が設置されたことから始まり、次に電力中央研究所の赤城試験センターにおいて数件の実験住宅で実験が進められた。NEDOプロジェクトでは、電総研を通して電中研が電力会社を巻き込み、200kW分散配置型を東京電力と、1MW集中配置型（愛媛県西条）を四国電力と共同受注して進められた。特に大きな影響を与えたのが、関西電力と電中研が共同受託した六甲アイランドにおける実証試験である。100軒分の太陽電池を一気につなぎ系統への影響を実証したものである。この結果、実データが十分集められることで電力会社に「問題は起きない」と納得させることとなり、1993年に逆潮流有りの系統連系ガイドラインが定められることとなった。

③ 余剰電力買取制度の策定

電力業界は、余剰電力買取については当初消極的であったが、温暖化防止対策に積極的に取り組む姿勢を国民に示すことも必要な社会状況となってきた。特に「温暖化対策として原子力発電を推進する一方で、新エネルギー導入も積極的に推進する」ということを打ち出し、新エネルギー導入を進めるための方策を打ち出すことにした。そこで、電力事業者は、1992年に「今後の技術開発により商用化が図られるまでの間」という限定付で余剰電力買取メニューを発表し、太陽光発電・風力発電については販売時の電力単価で買い取るようになった。

2002年には「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法（RPS法）」

が公布、2003年には施行され、電気事業者に対して、毎年、その販売電力量に応じた一定割合以上の新エネルギー等から発電される電気の利用が義務付けられている。

さらに、2010年には、新たな買取制度に向けた制度設計が進んでいる。経済産業省総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会・電気事業分科会買取制度小委員会の報告によると、500kW以上の発電目的施設からの買取りも義務化され、全量が買取対象となることが検討されている（価格は検討中）。これにより、国内においてもメガソーラーの普及が進むこと等が予想されている。なお、住宅用については現状どおり余剰電力の買取りとなると報告されている。

④ 住宅用補助金

需要創出のためには政府による刺激策が必要と早くから言われ、量産化によるコストダウンがないと200円/W以下の製造コストは達成できないとし、導入促進のための施策の方向性として「モデル事業の推進」「公共施設への積極導入」「導入初期段階のコスト上のハンディキャップの是正のための支援措置」が必要と指摘されていた。この結果1994年に住宅用太陽光発電システムの設置補助プログラムである「住宅用太陽光発電モニター制度」が創設された。

この補助プログラムへの太陽光発電メーカーの反応はすばやく、京セラ、三洋、シャープが相次いで販売開始を発表するにいたる。この結果、初年度1994年には、予算枠20億円700件募集に対して1,000件以上の応募が、1995年には1,065件の募集に対して5,432件の応募が、1996年には1,986件の募集に対して11,192件の応募がある等、非常に高い関心が寄せられた。

住宅用補助金は太陽光発電システムの価格低下に伴い、2005年に打ち切られることとなった。その結果、国内市場は停滞することとなった。そこで、経済産業省は、2009年から補助金制度を復活させ、一定の条件を満たすシステムの設置に対して、1kW当たり7万円を補助することとした。それに付随して、都道府県や市町村等の自治体でも、住宅用太陽光発電の補助金制度を新設する動きが広がり、国内の太陽光発電市場は再び成長傾向を見せている。

⑤ NEDOによる太陽電池大量生産への誘導

しかし、2004年に世界のトップシェアを占めた我が国の太陽電池生産量が、2008年に中国、欧州（特にドイツ）にシェアで逆転されてしまった。導入量に至っては、2005年にはドイツに世界一の座を奪われ、2009年には世界第4位に甘んじている。そこで、NEDOにおいて、今後5～10年後を目指して日本の太陽電池生産能力で、10GWを超える産業規模にするために主要メーカーを誘導する方針を固め、主要メーカーによる生産設備投資、生産拠点の海外展開、事業等の促進を行うこととしている。

(産業戦略、技術戦略等への影響)

サンシャイン計画ならびにニューサンシャイン計画と続いてきた我が国の太陽光発電研究開発は、上記のような周辺の制度環境整備とあいまって、急速な太陽光発電普及をもたらし、1999年には太陽電池生産量で我が国が世界一になり、企業としてもシャープが世界一の生産メーカーとなった。このように、我が国の太陽光発電分野における世界的な競争優位性を確立するために、本施策全般は充分貢献したと考えられる。

また、2.でも述べているが、アモルファスシリコン太陽電池開発の成果は我が国の液晶ディスプレイ開発につながり、世界的な競争優位性を液晶テレビ分野で生み出すことにつながった。また、半導体製造技術分野では、低コストのクロルシラン製造技術やシリコンインゴット切断技術が半導体産業に応用され、半導体 IC 用ウェハ大口径化を支える等、半導体 IC 生産性向上に寄与した。

3. 1. 3 総合評価

サンシャイン計画が立ち上がった時期から現在まで36年間に渡って展開されてきた研究開発の歴史には、大きな区切りが4つあるといえる。

- ①サンシャイン計画前期（1974年～1979年：予算額201億円）
- ②サンシャイン計画後期（1980年～1992年：予算額885億円）
- ③ニューサンシャイン計画（1993年～2000年：予算規模1487億円）
- ④NEDO5ヵ年計画（2001年～2005年：予算規模1372億円）

これら4つのそれぞれの計画ではそれぞれの目標が設定され、プロジェクトが展開されてきたが、今回全体を俯瞰してみて太陽光発電開発が目指してきたものについて以下のように考えられる。

- ① 長期にわたるプロジェクト展開の中で高機能、低価格（発電した電力の価格が電気事業用電力と同等以下）の太陽電池開発を行い、住宅、ビル等への普及を目指すという目標設定が一貫して流れ、ぶれることがなかったこと。このような国の長期的方向性が示されることによって、民間の研究開発を支え、促進させてきたことは評価できる。
- ② サンシャイン計画開始当時のプロジェクトポートフォリオが適切であったこと。つまり、単結晶、多結晶、また少し遅れてであるがアモルファス、さらに化合物系まで幅広く研究プロジェクトを配置したこと。また、システム技術開発として、後の系統連系につながる配電連系技術や住宅や業務用ビル、工場等での分散型利用システム、集中型太陽光発電システム、さらに熱光ハイブリッドシステムまで取り上げて進めることができおり、期間集中的に研究開発が実施されてきた点も評価できる。
- ③ 上記のようにサンシャイン計画当初からシステム研究を実施しており、また系統連系構想を描き、早いうちから実証試験等、普及のための技術開発や方策を検討し、実証研究を実施してきたことが評価できる。
- ④ 技術開発が進んでいくことを受けながら、普及を促進するための要素として重要な電気事業法の省政令改正、系統連系ガイドラインの制定、余剰電力買取制度の導入、住宅用太陽光発電システムモニター制度等の制度面も並行して整備してきたことが評価できる。

特にぶれなかった目的設定についてであるが、我が国の太陽光発電研究開発の当初の目的は、サンシャイン計画発足時に設けられた、「1990年までに高機能、低価格（1/100）の太陽電池の開発を行い、1995年には210万戸の住宅と1万棟のビルに設置し、総発電量750万kWを目指す」というものである。このために実施された研究内容は太陽電池セルの開発（高効率化と大面積化、及びこれによる価格低化）及びモジュール開発、さらに住宅や業務用ビルに設置するためのシステム研究が柱となったが、このことは、ニューサンシャイン、またその後のNEDO5ヵ年計画においても大枠は変わらず続いてきた。この一貫した流れは、上記目標つまり、住宅やビルに大量に太陽電池を設置するという目標を達成するために、いかに電気事業電力に匹敵しうる安定した価格で電力を生み出すシステムを作り出すことができるかといったことを目指すために、当初からすえられたフレームを堅

持してきたものといえる。特に、その方法論を我が国が得意とする技術開発・改良による高効率化、大面積化、高性能化を目指すことで、発電単価の価格低下を図るという姿勢が一貫して流れている²。

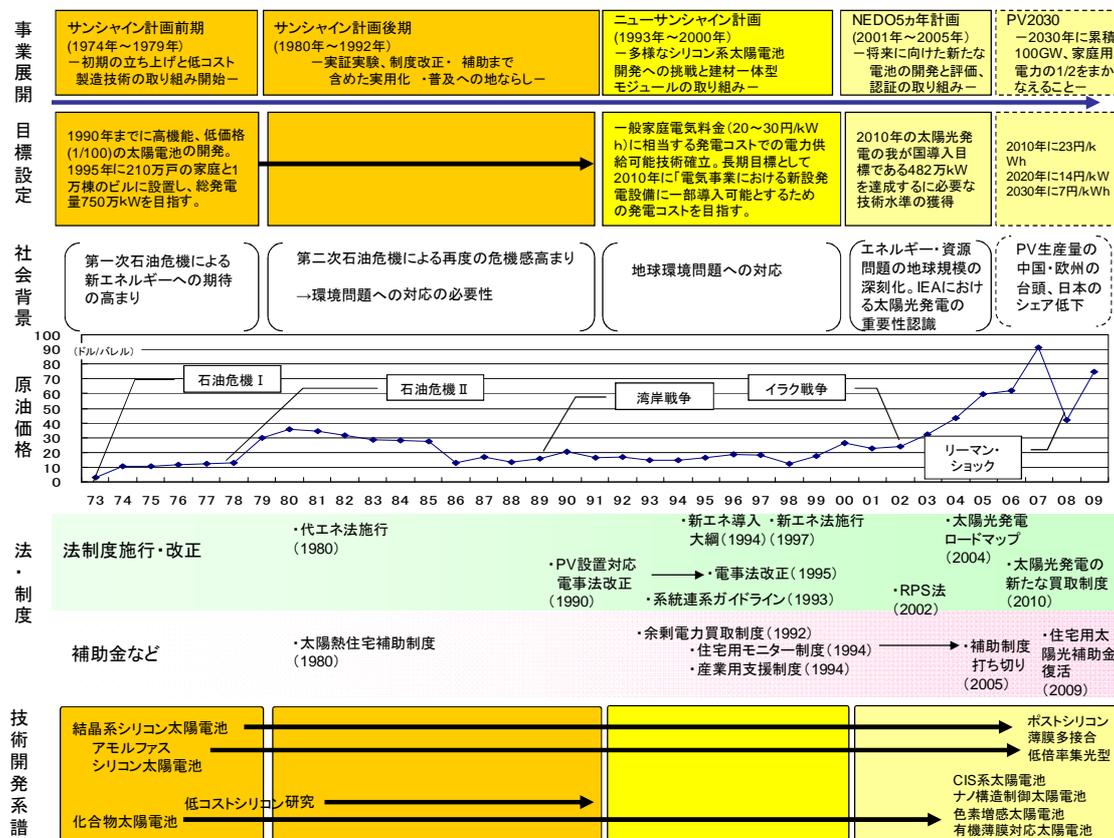
この技術開発により低コスト化を目指すという軸がぶれることなく進んだことが、我が国の太陽光発電の導入量及び電池生産量を世界一にまで引きあげたことにつながった要因といえる。この技術開発の流れは、以下のようになっている。

当初は結晶系シリコンの高効率化、大面積化を主に目指してきた。それ以外の SnO_2 や InP 等の研究開発についても初期から取り組んでいる。また、結晶系より高度な製造装置が必要でなく低コストで製造できるアモルファス系太陽電池は、期待がされたものの効率向上が思うようにいかない結果となっていた。現状では、結晶系を市場において改良改善して普及させているものの、2000年以降の NEDO プロジェクトでは、次世代シリコン系太陽電池や化合物太陽電池、複合型太陽電池、色素増感型太陽電池等、従来の結晶系シリコンに変わるさらに効率向上およびコストダウンを目指した技術開発を行うようになっていく。この間に海外における太陽電池開発の流れは、アメリカや中国等において大量生産によるコストダウンが追及され、その結果、我が国の太陽電池の海外市場における競争力が低下してきた。

一方、国の役割は、現在でも上記のような、新たな技術開発プロジェクトに投資することにより、効率の向上およびコストダウンを目指し、まだ充分実現できていない電気事業電力に匹敵する価格をめざしている。このように新たな技術開発により、更なる目標の達成を目指す国の姿勢は、サンシャイン計画発足時から変わらず受け継がれている。

² 太陽電池の価格低下に対する習熟効果は20%程度(製造能力が倍になると、コストが20%低下する)とされている。(Ch. Breyer 等 2010、山口雅教 2002) これは、DRAM や、液晶パネルの40%前後と比較して小さな値である。このことから変換効率向上が目標設定として妥当であったことがいえる。

図表 3-11 開発計画の変遷と目標設定及び周辺環境、技術開発の系譜



以下、各4つの時期に分けて、技術開発の変遷をたどってみる。

(1) サンシャイン計画前期 (1974年～1979年)

—初期の立ち上げと低コスト製造技術の取り組み開始—

① 目標設定

1990年までに高機能、低価格(1974年と比較して1/100)の太陽電池の開発。1995年には210万戸の住宅と1万棟のビルに設置し、総発電量750万kWを目指す。

② 開発実施内容

- ・太陽電池セルの開発 (高効率化、大面積化)

基礎研究を電総研が担当し新型 (SnO₂ やInP) の太陽電池の研究開発を進める。また、結晶系シリコン太陽電池の開発を民間へ委託して実施した。薄膜結晶系の研究を日立、NECに、リボン結晶を東芝、東洋シリコン等、半導体製造に実績の有る企業に委託した。また、化合物半導体系 (Cd/Te) の研究を松下電器に委託して実施した。

- ・アモルファスシリコン太陽電池の研究

電総研基礎部では、アモルファスシリコンの材料研究開発を1978年に手がけ始める。

- ・システム研究の実施

配電連系技術、評価技術の研究、また初期には熱と電気のハイブリッドシステムも

研究。当初から、住宅用システムと電力系統連系システムを見据えて、家庭への太陽光発電設置が目指されていた。

③ 成果

この時期はまだ、完結した成果を得るにいたっておらず、第二期に引き継がれ、下記のように太陽電池セルの開発までつながっていくことになる。

④ 波及効果

直接波及効果はまだ生じないが、太陽電池セルの開発はこのあとの企業等の研究に引き継がれ最終的には太陽電池製造に貢献していくことになる。

また、アモルファスシリコン太陽電池の研究は電卓等のシャープ等において小型太陽電池に応用されている。さらに、システム研究を行ってきたことが、このあとの系統連系システム研究へと発展し、住宅用太陽光発電システムの実現、普及に大きく貢献していくことになる。

⑤ 周辺の状況

この時期まだ国のプロジェクトに参加していない京セラが 1975 年に開発に着手、ジャパンソーラーエナジー等の民間による組織も作られる。

(2) サンシャイン計画後期 (1980 年～1992 年)

－実証実験や制度改正・補助まで含めた実用化・普及への地ならし－

① 目標設定・背景

引き続きサンシャイン計画全体の目標は変わらず、1990 年までに高機能、低価格 (1/100) の太陽電池の開発。1995 年には 210 万戸の住宅と 1 万棟のビルに設置し、総発電量 750 万 kW を目指している。

しかし時代背景として、一度下落した石油価格は 1979 年の第二次石油危機により高騰、再度危機感が高まりサンシャイン計画の重要性が再認識される。

その結果 1980 年に NEDO が設立され、1982 年にはサンシャイン計画の軸に太陽光発電が、石炭液化・ガス化や大規模深部地熱開発と共に据えられる。

一方化石燃料消費による NOx 問題や SOx による酸性雨問題等の環境汚染問題が深刻化し、さらに太陽光発電開発が加速される。

さらに、1980 年代後半から地球環境問題も浸透し始め、CO2 対策としても重要性が高まっていく。

② 開発実施内容

この結果、大幅に研究開発が充実する。従来のセルの研究を拡大し、原料からシステムにいたるまで一貫した大規模な研究がなされる。また、アモルファスについても拡充されている。

- ・低コストシリコンの研究 (新規にたちあげられる)
- ・新しい Si 基板製法の開発 (前ステージからの継続研究)
- ・化合物太陽電池の研究 (前ステージからの継続研究)
- ・アモルファス太陽電池の研究
- ・個人住宅用、集合住宅用、工場用等のシステム研究開発。

特に 1982 年には、個人住宅用の太陽光発電システムの運転研究が開始される。一方で、

分散配置型太陽光発電システムの実験研究も始められる。これを受けて、1986年に四国西条で1MW級太陽光発電所稼働、また同年六甲アイランドでも200kW系統連系システムの実証が開始される。

さらにこの時期特筆されるのは、NEDO発足時にシリコン原料からモジュール組み立てラインまで含まれた「500kW級太陽電池製造ライン」のプロジェクトが立ち上げられ、プロジェクト及び参加企業の適切配置がなされ開発が進んだことである。

この間、実施主体は前ステージの半導体大企業が半導体産業の急激な伸びで太陽光発電から撤退したあとを、京セラやシャープ等が自社の将来を見据えて参入してくる。

③ 成果

結晶系シリコンでは、変換効率が10%を超えるものが実現し、より実用化に近づく。

また、実際の系統連系に向けた実証研究がなされ、データが集められたことはその後の電力会社の説得、逆潮流制度制定、また太陽電池の普及、生産拡大にもつながっていく。

④ 波及効果

この時期研究されたアモルファスシリコン技術は、太陽光発電システムとしては主流になっていないが、電卓用太陽電池として大きな市場形成を行っていく。

また、実証試験研究はその後電力会社が系統連系について理解を示していく基礎となった。その結果、1990年には太陽光設置に関する制度緩和のための電気事業法政省令改正が行われた。

⑤ 周辺の状況

1990年に太陽光発電技術研究組合(PVTEC)が民間の太陽光発電研究開発を促すために民間企業研究開発連合体として発足し、民間企業の推進体制ができる。

(3) ニューサンシャイン計画(1993年～2000年)

－多様なシリコン系太陽電池開発への挑戦と建材一体型モジュールの取り組み－

① 目標設定・背景

地球環境問題に対応する必要性が生じ、省エネルギー開発や環境技術研究開発等とともに「ニューサンシャイン計画」として再発足した。

目標設定は、2000年に向けた短期目標として、「一般家庭電気料金(20～30円/kWh)に相当する発電コストでの電力供給可能技術確立」が据えられた。また、2010年に向けた長期目標として「電気事業における新設発電設備に一部導入可能とするための発電コスト」が据えられた。

② 開発実施内容

1) 結晶系太陽電池

- ・高効率太陽電池の研究開発
- ・Si結晶薄膜、薄膜多結晶太陽電池製造技術開発
- ・薄膜太陽電池製造技術の実用化
- ・発電コストの低減や導入量の拡大に資する太陽光発電システム技術の開発
- ・大規模導入を可能とする太陽光発電システム技術に関する要素研究開発
- ・周辺技術(建材一体型モジュール)の開発

2) アモルファスSi太陽電池製造技術の開発

- ・各種アモルファス Si
- ・薄膜多結晶 Si 太陽電池の開発

③ 成果

太陽電池開発においては当初目標とされた、製造コスト 140 円/W は、アモルファスシリコン太陽電池、CdTe 太陽電池、さらに次世代太陽電池である、薄膜多結晶シリコン太陽電池や CIS 太陽電池において実現されている。その結果、参加企業の中から薄膜太陽電池の事業化等もなされる。

周辺技術開発では、太陽電池メーカーと住宅メーカーが共同で、住宅、ビル等の建築物に用いられる建材一体型太陽電池モジュールを開発し、建築基準法による耐火試験データ等も得られ、システム増加コスト 170 円/W 以下で製造できる見通しを立てられた。

④ 周辺環境

ニューサンシャイン計画実施中において、電気事業法改正等、周辺環境は大きく変化した。

1993 年：住宅用太陽光発電補助金及び産業用太陽光発電支援制度の発足

1993 年：系統連系ガイドラインの設定

1994 年：NEF の「住宅用太陽光発電システムモニター制度」の発足

1994 年：電力会社による余剰電力買取制度の制定

1995 年：電気事業法の一部改正（太陽光発電システムの設置に係わる手続きの簡素化）

1998 年：産業等用太陽光発電フィールドテスト事業開始

（4）NEDO5 カ年計画（2000 年～2005 年）

ー将来に向けた新たな電池の開発と評価、認証の取り組みー

① 目標設定・背景

地球規模でのエネルギー資源・環境問題が深刻化。IEA（国際エネルギー機関）における超長期視野でのエネルギー供給予測に太陽光発電の重要性が認識される。

国としての目標として、「2010 年の太陽光発電のわが国導入目標である 482 万 kW を達成するために必要な技術水準の獲得」を掲げ、これにより NEDO5 カ年計画が立案される。

② 開発実施内容

基本的にはニューサンシャイン計画で推進されてきたテーマを加速して、製造技術の開発まで踏み込んだ。また、将来の太陽光発電を担う革新的次世代太陽電池の開発に取り組んだ。

- ・太陽光発電システム普及促進（加速）型技術開発（平成 12～17 年度）
Si 原材料、薄膜多結晶 Si 太陽電池・アモルファスシリコン太陽電池
CIS 系太陽電池
- ・先進太陽電池技術研究開発（平成 13～17 年度）（2005 年までにモジュール製造コストを 100 円/W とする低コスト技術開発と大量普及に向けた技術環境整備）
Si 結晶系薄膜太陽電池モジュールの製造技術
CIS 系太陽電池モジュールの製造技術
超高効率結晶系太陽電池モジュールの製造技術
- ・革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発（平成 13～17 年度）（2010 年以降を見

据えた新技術探索のための研究開発)

ナノ構造制御 Si 太陽電池

色素増感太陽電池

有機薄膜太陽電池

- ・ 太陽光発電システム共通基盤技術研究開発 (平成 13～17 年度)
- ・ 太陽光発電技術研究開発 (平成 13～17 年度)
- ・ 太陽光発電システム普及加速型技術開発 (平成 12～17 年度)
- ・ 太陽光発電システム実用化加速技術開発 (平成 17～19 年度)

③ 成果

この 5 年計画の成果は、製造コスト目標 100 円/W を達成するに至った点である。また、太陽電池評価システムの確立を行った。

④ 周辺環境

2002 年 電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法 (RPS 法) 制定

2003 年 RPS 法施行

2003 年 太陽光発電新技術等フィールドテスト事業開始

3. 2 【事業評価】

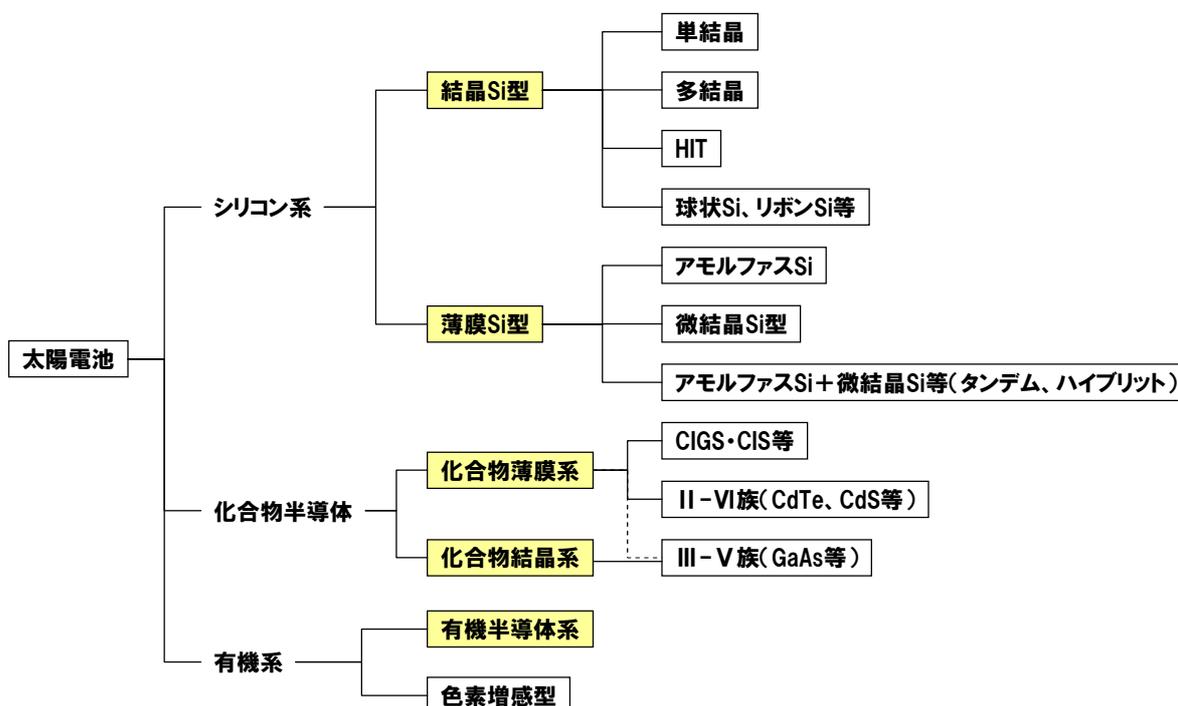
3. 2. 1 技術波及効果

(1) 実用化の進展度合

① 太陽電池の種類概要

現状で、製造または研究開発段階にある主要な太陽電池を、主に電池材料の違いから分類すると、下図のようになる。日本のメーカーによる太陽電池の開発は、いずれに場合においてもサンシャイン計画以降の国の研究開発プロジェクトに負うところが極めて大きい。

図表 3-1 2 太陽電池の種類



出所：平成20年度 特許出願技術動向調査報告書 太陽電池（要約版）

主要なタイプの太陽電池の概要を以下に示す。

(結晶シリコン型)

結晶シリコン型には、以下に示す単結晶シリコン、多結晶シリコンのほかに、単結晶シリコンと薄膜シリコンをハイブリッド化した HIT (Heterojunction with Intrinsic Thinlayer: 単結晶シリコンと薄膜アモルファスシリコンを積層したヘテロ接合) 型、球状シリコン及びリボンシリコンが含まれる。

- ・単結晶シリコンは、基板として用いる単結晶シリコンウエハのコストが高いが、変換効率が高く、理論効率は約 30%である。
- ・多結晶シリコン太陽電池は単結晶シリコン太陽電池に比べて変換効率では劣るが、単結晶シリコンより安価に製造できる。

(薄膜シリコン型)

薄膜シリコン型太陽電池はプラズマ CVD 法等の薄膜形成法により製造されるものである。この特徴は、結晶型に比べてシリコンの使用量や製造に要するエネルギーが少なく、工程の自動化や大面積化も容易とされ、このためコスト低減が期待されるが、変換効率の向上が課題となっている。これはさらに以下のように分類される。

- ・アモルファスシリコン太陽電池（アモルファスとは非晶質のこと、結晶系は可視光に反応するがアモルファスは特に蛍光灯下で性能を発揮する特色がある）
- ・微結晶シリコン型（微細な結晶で構成された薄膜を CVD 法等にて製膜するもので、多結晶型の 1 種と見なせるが、製膜条件によってはアモルファス的な性質も併せ持つ）
- ・アモルファスシリコンと微結晶シリコン等を接合したタンデム構造（ハイブリッド構造）のもの：太陽光の幅広い波長領域の光を吸収できるため、変換効率が向上する

(化合物半導体系)

化合物半導体系は、化合物結晶系と化合物薄膜系からなり、これらは一般的に以下のような特徴を持つ。

- ・化合物結晶系には GaAs 等の III-V 族が該当し、特に高い変換効率が求められる宇宙用等に用いられる。
- ・化合物薄膜系には、CIS (CuInSe₂ 等)・CIGS (CuInGaSe₂ 等) 系と II-VI 族 (CdTe、CdS 等) が含まれ、この中で市販されている CIS・CIGS 系太陽電池や CdTe 太陽電池は、薄膜シリコン型に比べて変換効率が高いため、今後の低価格化が可能な太陽電池として期待されている。

(有機系)

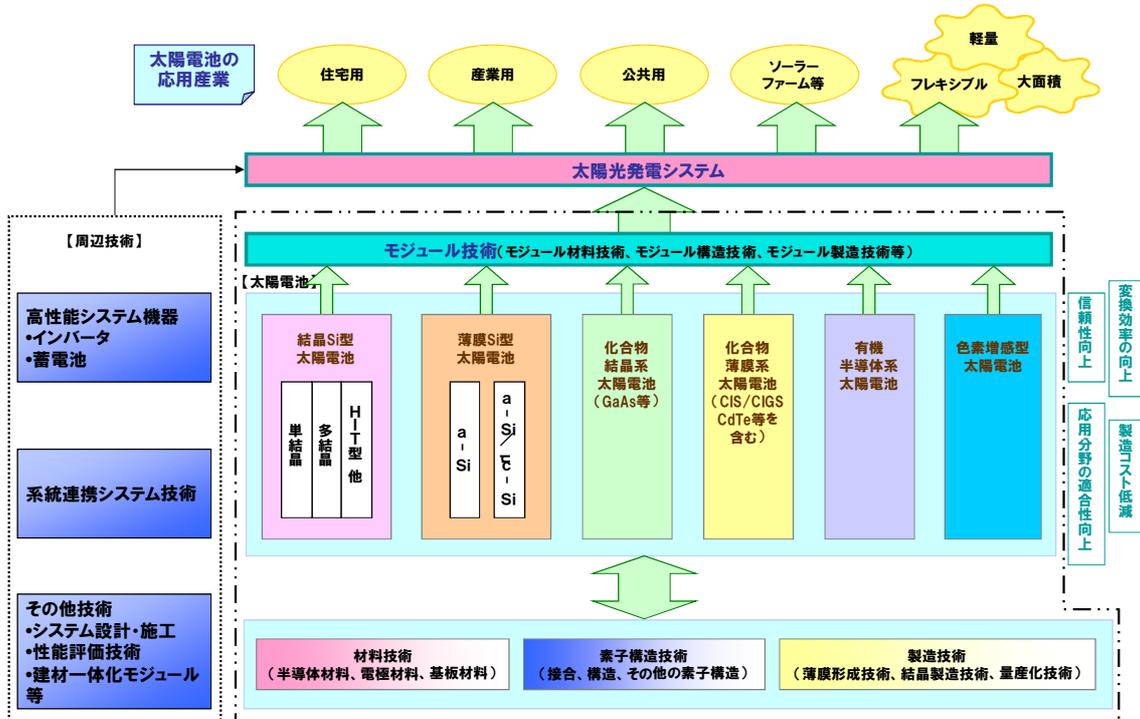
有機半導体系太陽電池は、p 型有機半導体（ドナー）と n 型有機半導体（アクセプター）の異種分子接触における電荷移動を利用して、p-n 接合界面で励起子を自由な電子とホールに分離して、光電流を発生させるものである。有機半導体系太陽電池は製造コストが安価になる可能性が高いため、低価格な太陽電池として期待されている。

有機系に含まれる色素増感型太陽電池は、太陽光を活発に吸収する色素が光の吸収により電子を放出するプロセスを利用し発電する太陽電池のことである。この特性としては、色や形状を変更する自由度が高く、構造も単純であり、量産しやすいという利点がある。これらの特性から、やはり低価格化が可能な太陽電池として期待されている。

② 太陽電池システムの概要

太陽電池の技術的構成を俯瞰すると、図表 3-1 3 のようになる。

図表 3-1 3 太陽電池に関する技術的俯瞰



出所：平成20年度 特許出願技術動向調査報告書 太陽電池（要約版）にMRI加筆

太陽電池システムは、太陽電池（モジュール）と、周辺技術（高性能システム機器、系統連系システム技術、その他）から構成される。それぞれの構成技術の概要を以下に示す。

（太陽電池（モジュール））

太陽電池の主な要素技術は以下からなる。

- ・材料技術
- ・素子構造技術
- ・製造技術（太陽電池のセルの製造等）
- ・モジュール化技術（セルをモジュールに仕上げることに関する技術）

（周辺技術）

周辺技術としては、以下がある。

- ・高性能システム機器技術：発電した直流を住宅や工場等で利用される交流に変換するためのインバータ（パワーコンディショナとも呼ばれる）や、太陽光発電により昼間発生した電力や夜間や非常時等に利用するための蓄電池等の技術等が必要になる。
- ・系統連系システム技術：発電した電力を、電力会社から受電する電力と接続する技術。自家発電した電力でまかない切れないうる負荷電力を電力会社線からの供給で補完し、さ

らに余剰電力が発生する際には電力会社線へ電力の逆流も可能とする。

・その他技術：システム設計・施工技術、性能評価技術、建材一体化モジュール等

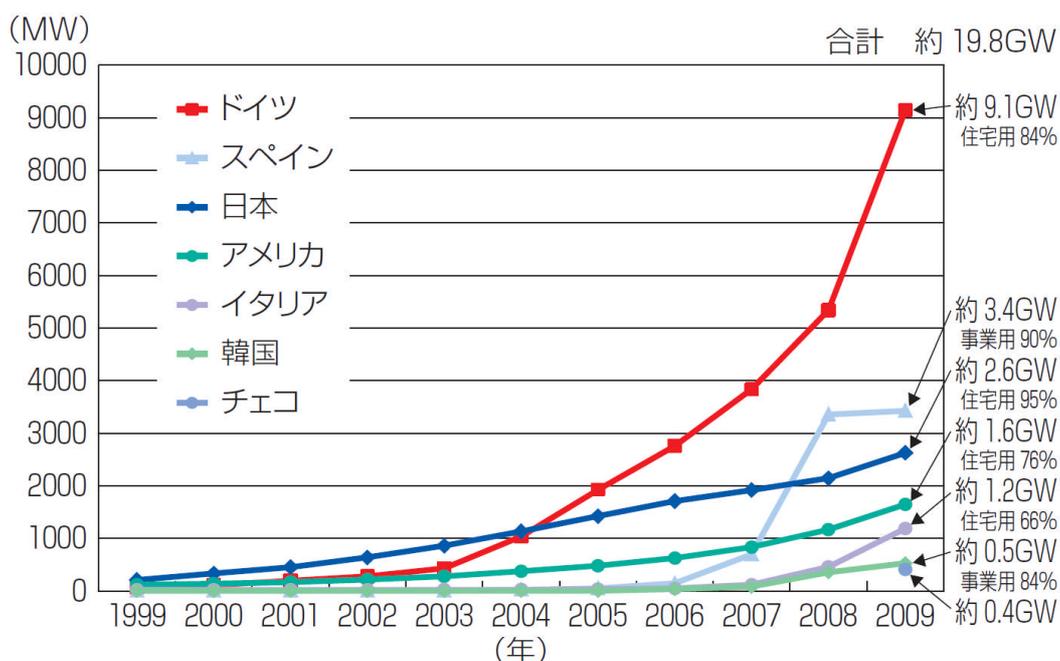
③ 種類別、用途別、国別の導入量

世界の太陽電池導入量は、2009年に累積で約19.8GWに達している。国別でみるとドイツが約9.1GWでトップ、スペインが2位となっている。ドイツ及びスペインは高額での電力買取制度（フィードインタリフ）により急激に導入量が増加している。ただし、スペインは2008年に制度を打ち切っており、導入量は頭打ちとなっている。ドイツでは2004年に改正された「再生可能エネルギー法」において、FIT制度により太陽光発電の買取価格を他のエネルギーよりも高く設定したことから、累積導入量は2005年に日本を抜いて世界第1位となった。2009年の太陽光の買取価格は他の再生可能エネルギーの2～10倍に設定されていた（42.9～55.9円/kWh）。ただし、2009年に太陽光発電システムの価格が大幅に下がったことから、2010年6月、ドイツ連邦議会は改正再生可能エネルギー法を承認し、太陽光発電の買取価格は引き下げられることとなっている（30.2～38.0円/kWh）。欧州では、多くの国でFITが採用されており、2009年末時点で採用国数は約20カ国に及んでいる。ただし、買取価格は各国様々なレベルに設定されている。

米国では、30%程度の投資課税控除や産業用途の減価償却優遇、住宅用途の税控除等が連邦政府の施策として行われている。また、州政府も独自の導入支援を行っており、欧州同様のFITやRPS法の制定がなされている。

日本は2004年までは累積導入量世界一であったが、2005年の補助金打ち切り等の影響もあり、その後は導入量で欧州2カ国の後塵を拝している（導入量は2009年で約2.6GW）。

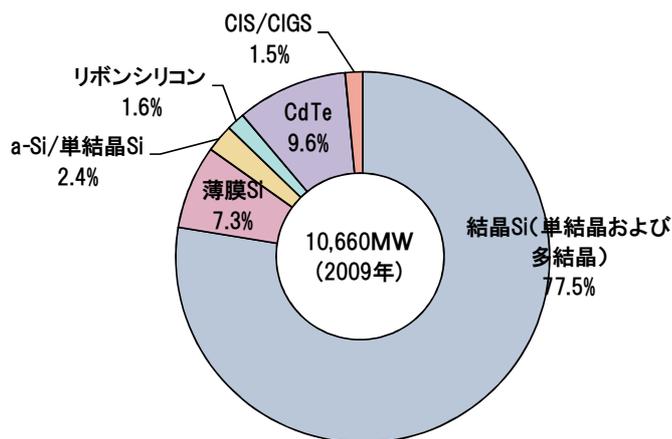
図表 3-14 国・地域別太陽電池の導入量推移（累積）



出所：NEDO「NEDO30年史」2010

太陽光発電モジュールの種類別に見ると、世界では、単結晶シリコンと多結晶シリコンが依然として主流となっている。近年は米国 First Solar 社のシェア増大に伴い、CdTe のシェアが大きく増加しており、2009 年では 9.6%までシェアを伸ばしている（2006 年時点では 2.7%であった）。有機太陽電池や色素増感型太陽電池については、まだ本格的な市場導入には至っていない。

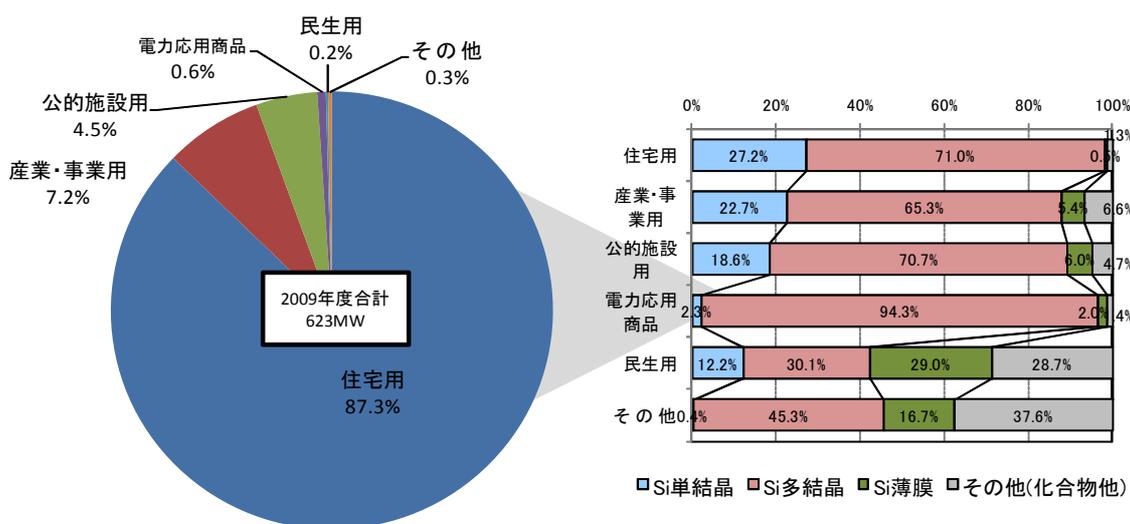
図表 3-15 2009 年における世界の太陽電池の種類別生産量比率



出所：PV News 2010 5 月号 より MRI 作成

2009 年の国内用途別、種類別の太陽電池導入量は、住宅用が 9 割弱でそのほとんどが Si 単結晶および Si 多結晶である。産業用途等では薄膜や化合物系などのシェアも増加する。

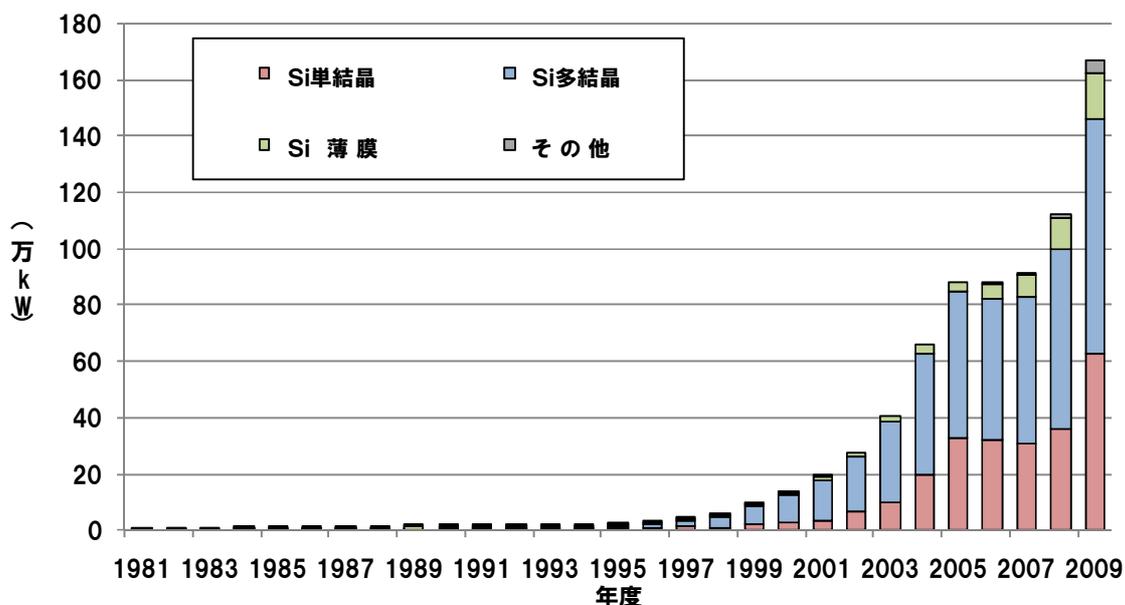
図表 3-16 2009 年の国内用途別、種類別太陽電池導入量



出所：太陽光発電協会「太陽電池セル・モジュール出荷統計」より MRI 作成

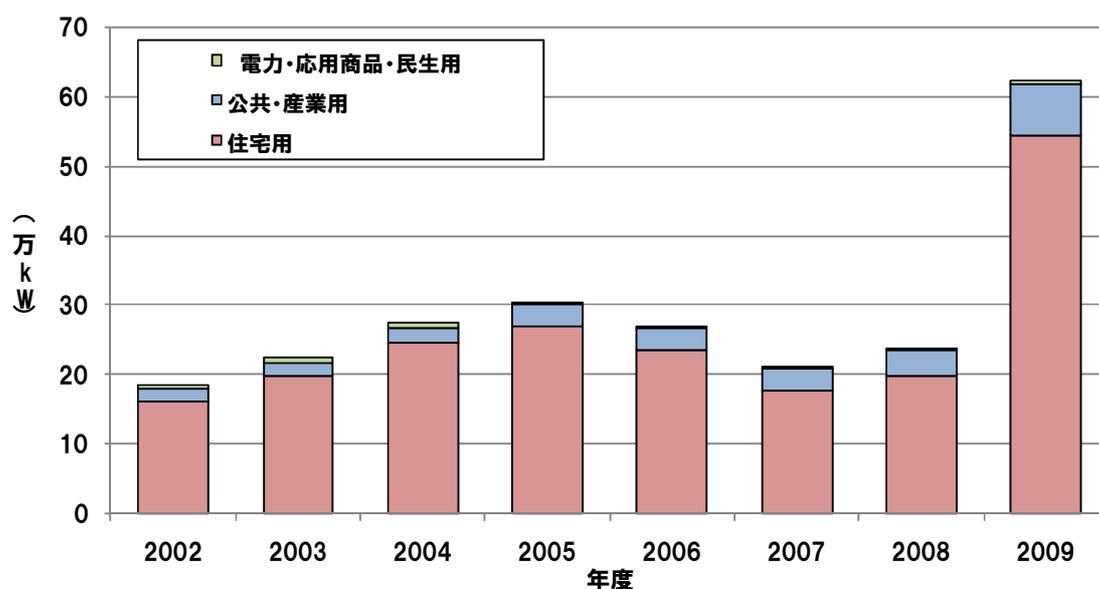
国内出荷量の時系列の変化を見ると、2009年には単結晶シリコンとアモルファスシリコンの伸びが拡大した。世界でシェアを伸ばしているCdTeについては、日本では公害問題等の記憶から導入が進んでいない。用途別に見ると、2009年は公共・産業用途のシェアが若干増加している。

図表 3-17 日本の種類別出荷量推移（国内用途、輸出合計）



出所：太陽光発電協会 HP

図表 3-18 国内出荷用途別推移



出所：太陽光発電協会 HP

太陽光発電の導入に関しては、国際的にかなり意欲的な目標が立てられている。太陽電池産業の競争力強化のためにも、国内市場の育成は不可欠であり、我が国においても、「長期エネルギー需給見通し（再計算）」（2009年8月）では、最大導入ケースにおける2020年の太陽光発電導入量を28GW（原油換算700万kL、2005年の20倍程度）と想定している。また、2030年には53GW（原油換算1,300万kL）が導入されると想定している。

図表 3-19 欧米諸国における太陽光発電の導入目標量例

	太陽光発電の導入目標量
EU	<ul style="list-style-type: none"> 欧州再生可能エネルギー評議会は、「再生可能エネルギー導入促進に関する欧州指令」の目標を達成するために必要な太陽光発電導入量を、2010年に20TWh、2020年には180TWhと試算。 欧州エネルギー技術戦略計画（SET-Plan）において、2020年までにEUの電力消費量の12%を太陽光発電でまかなう目標を設定。
米国	<ul style="list-style-type: none"> オバマ大統領は「New Energy for America」で再生可能エネルギー由来の電力量割合を、2012年に12%、2025年に25%とする目標を発表。 RPSについて、13の州が太陽光発電でまかなうべき電力の割合を規定。
日本	<ul style="list-style-type: none"> 2008年の福田ビジョンにおいて「2020年までに現在の10倍、2030年までに40倍」、2009年の麻生総理（当時）スピーチにより、「2020年までに現在の20倍」という目標を設定。 「長期エネルギー需給見通し（再計算）」の最大導入ケースにおいて、2020年及び2030年の太陽光発電導入量を、それぞれ28GW、53GWと試算。
IEA	<ul style="list-style-type: none"> 太陽光発電の技術ロードマップにおいて、2050年までの累積で3,155GW、年間発電量は4,572TWh（世界の発電電力量の11%）に達すると予測。

出所：「NEDO 再生可能エネルギー技術白書」2010

（2）一連のプロジェクト群の成果からの技術的な広がり具合

① 素材別の技術開発の進展の状況

図表 3-20に示すように、公的技術開発は太陽光発電技術のほぼ全領域にわたって開発課題を掲げ、研究開発プロジェクトに取り組んできた。主な構成技術ごとに、技術開発から量産化に向けた進展の概要を以下に示す。

1) 結晶シリコン型太陽電池

結晶型シリコン太陽電池の研究開発は、主として原料、基板、セルについて行われた。サンシャイン第I期（1974～1979）では、低価格基板開発として、リボン結晶引き上げ法の開発が取り上げられた。また、セルとしては、シリコンを核として、種々の材料、デバイスプロセス要素技術のフィージビリティスタディが行われた。サンシャイン第II期（1981～1987）では、数値目標を掲げるとともに、低価格基板開発として、リボン結晶だけではなく、キャスト結晶にも力が入れた。また、セルデザイン／プロセス開発とともに、パネル工程に関する取り組みもされた。さらに、実用化に向け、基板開発とセル・パネル開発が連携され、太陽電池特性と評価された結果が、基板開発にフィードバックされ

るようになった。さらに、太陽光発電システムの実用化に向け、太陽電池の量産化に向けた取り組みと、セルの高効率化に集中した取り組みがなされた。サンシャイン第Ⅲ期（1988～1992）では、コスト削減のために、基板厚を減らした薄型 Si 太陽電池開発が行われた。また、超高効率太陽電池の技術開発も着手された。

ニューサンシャイン計画（1993～2000）では、薄型 Si 太陽電池開発が引き続き行われた。また、薄膜多結晶太陽電池開発については、種々の手法で更なる薄膜化が行われた。また、超高効率太陽電池の技術開発も引き続き実施された。これは、直接低価格多結晶基板太陽電池デザイン・プロセスにも反映されることとなる。薄膜多結晶太陽電池開発を主軸においた。キャスト基板開発は一時中断されたが、1999 年から始まった「即効型高効率太陽電池技術開発」により再開された。

2001 年以降の NEDO5 カ年計画では、一時中断されていた、低価格多結晶 Si 太陽電池関連の量産・実用化のための開発が、「即効型・革新的エネルギー環境技術研究開発：即効型高効率太陽電池技術開発」で行われた。

2) 薄膜シリコン型太陽電池

薄膜シリコン（アモルファス）系太陽電池については、1978 年米国でアモルファスシリコン太陽電池の発明を受けて、量産性の高い技術として 1980 年からサンシャイン計画第Ⅱ期の技術開発に取り入れられた。この太陽電池は技術開発初期に電卓、時計等の民生機器に応用され市場化を実現した。但しこの時点では、電力用としては性能及び経済性の両面で課題があり、高性能薄膜シリコン太陽電池としての本格的な量産技術開発は 1997 年以降のニューサンシャイン計画で進められ、2000 年代に入ってから実用段階へと進んだ。

2001 年以降は NEDO5 カ年計画の下、新しいスキームで研究開発がスタートした。NEDO5 カ年計画では、応用研究と基礎研究が明確に分離され、量産化、大面積化などの実用化に直結する応用研究においては、大学や研究所は必ず企業と組んで、有機的連携をとることが必要条件という新しい試みが行われた。応用研究の中心は、薄膜シリコン型太陽電池であった。その中で、カネカによる透明中間層を用いたアモルファス/微結晶シリコンタンデム型太陽電池や、三菱重工業と産総研による VHF プラズマによる大面積高速製膜技術を用いたタンデム型太陽電池は、新聞発表がなされるなど、着実に成果を上げている。

3) 化合物半導体系太陽電池

GaAs や InP 等の III-V 族化合物単結晶太陽電池については、サンシャイン第Ⅳ期以降に、超高効率化と低価格基板利用の 2 つの柱によって低コスト化に向けた技術開発が行われた。化合物多結晶太陽電池（CIGS 太陽電池）についての研究開発は、1990 年に開始され、継続的にメーカーでの大面積化・量産化技術、大学での小面積太陽電池の作製技術、産業技術総合研究所での製膜技術や物性評価・制御技術の開発が行われてきた。Cd フリーのバッファ層技術や組成制御技術、水蒸気を使ったワイドギャップ CIGS 太陽電池の作製技術等、日本独自の優れた技術が育っている。化合物結晶太陽電池（CdTe）については、1975 年以降、材料探索、スクリーン印刷・焼成法、塗布・焼結法の完成、大面積化、CdS の薄膜化（MOCVD 法の開発）、近接昇華法による CdTe 膜の堆積等の研究開発が行われてきた。

4) システム技術及び評価技術等

太陽光発電システム技術では、系統連系技術とシステム機器の開発が1980年代のサンシャイン計画第2期に西条実験場、六甲実験場等での大規模実証試験を経て完成した。これが基礎となり、その後の1990年代における住宅用太陽光発電システム実用化へ向けた制度整備が進められることになった。これらと平行して、電池性能や信頼性、システム性能等の評価技術の開発が進められた。

2001年以降における技術開発は、普及促進に向けた更なる低コスト技術の開発に集約されるとともに、色素増感型太陽電池や次世代太陽電池の技術探索、さらに普及が進展時の配電系統における局所的集中に対する連系システムの実証研究等も実施された。

図表 3-20 公的太陽光発電技術開発における課題と開発段階の変化

開発段階: 基礎研究、探索研究 → 技術開発 → 量産化要素技術開発

期間	技術分野					
	結晶シリコン太陽電池	薄膜シリコン	II-VI族薄膜太陽電池	その他太陽電池	システム技術	評価技術
サンシャイン計画第1期(1974~1979)	基板及びセル製造技術探索研究		II-VI半導体セル探索研究		システム概念構築、系統連系技術	セル性能評価
サンシャイン計画第2期(1980~1987)	原料Si製造法、多結晶シリコン太陽電池技術開発500kw実証ライン開発	a-Siセル基礎研究、CVD技術、薄膜基礎物性解明、原料ガス技術	II-VI半導体セル探索研究		1000kw集中配置システム実証研究(西条)、系統連系システム実証研究(六甲)	電池性能/信頼性評価技術と評価設備技術、コスト分析
サンシャイン計画第3期(1988~1992)	原料Si、多結晶Si基板製造技術、多結晶Si太陽電池高性能化技術	大面積a-Si太陽電池要素技術、高品質製膜と劣化防止	CdTe薄膜太陽電池研究	超高性能(20%以上)への探索研究	システム機器開発、系統連系システム技術、簡易施工技術	電池性能/信頼性評価技術と評価設備技術
ニューサンシャイン計画(1993~1996)	原料Si、多結晶Si基板量産要素技術、多結晶Si太陽電池高性能、高生産性プロセス	大面積a-Si太陽電池製造技術及び劣化防止技術	CdTe薄膜太陽電池製造技術	III-V系超高効率太陽電池基礎開発、新規材料開発	系統連系技術、建材一体型モジュール	電池性能/信頼性評価技術と評価設備技術
ニューサンシャイン計画(1997~2000)	原料Si、基板量産技術	大面積a-Si太陽電池製造技術、微結晶Si製膜技術	CdTe薄膜太陽電池製造技術CIS薄膜太陽電池要素技術	III-V系超高効率太陽電池技術開発	建材一体型モジュール	電池性能/信頼性評価技術
NEDOプロジェクト(2001~2005)	多結晶Siセル高効率化探索	ハイブリッド太陽電池量産要素技術	CIS薄膜太陽電池量産要素技術	超高効率集光型システム製造技術	モジュールリサイクル技術、システム設計技術	電池性能/システム性能、信頼性評価技術
PV2030等(2006-2009)	次世代超薄型Si太陽電池実用化技術	薄膜Si太陽電池高生産性・高効率化技術	CIS系太陽電池高効率化・軽量基板上製造技術	色素増感太陽電池、次世代技術探索	集中連系システム実証研究	集中連系対策応用シミュレーション手法開発

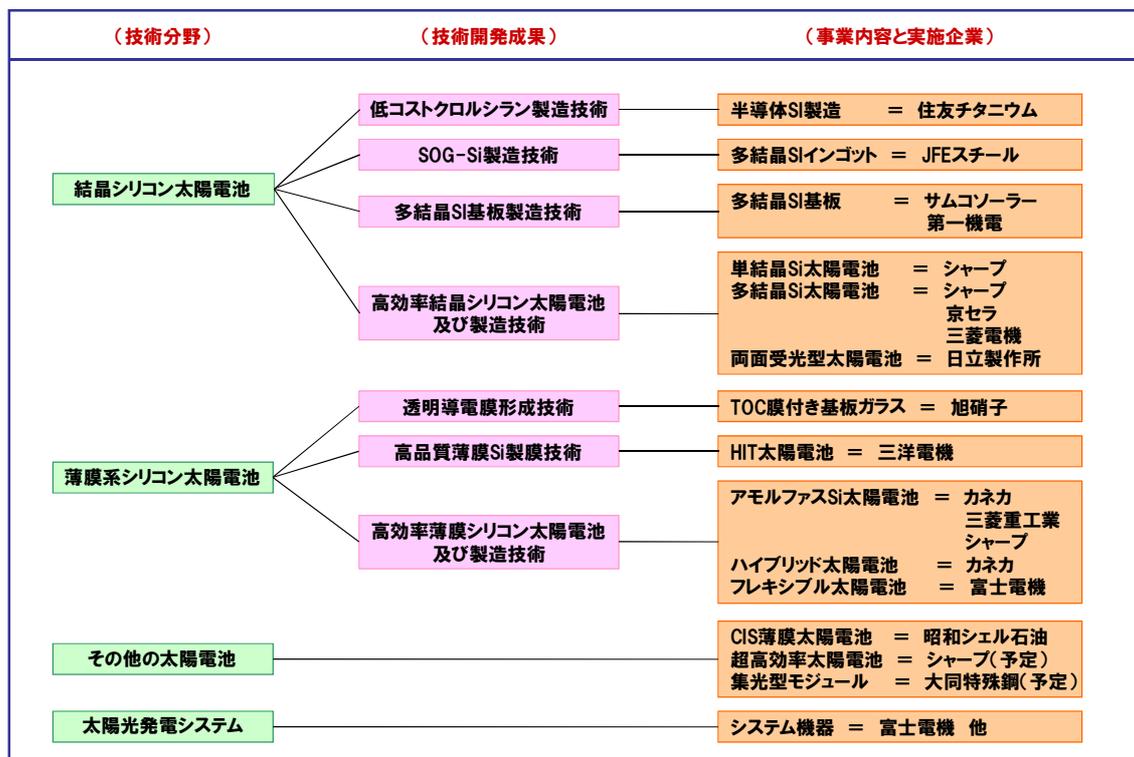
出所：NEDO「太陽光発電システム及びその関連技術に係るアウトカム調査」(2006)にMRI加筆

② 太陽電池システムの実用化に向けた技術展開

サンシャイン計画から現状に至る公的な資金による技術開発の成果は、太陽光発電技術のほぼ全分野に渡っており、我が国の太陽光発電技術の基盤となっている。

公的な資金による技術開発の成果は、図表 3-21 に示すように太陽光発電の構成技術の各分野で、プロジェクト参加企業やその他の企業により実用化されている。技術開発成果は太陽電池モジュールやシステムとして商品化されるとともに、太陽電池製造技術として生産ラインでも用いられている。また、一部技術は半導体用シリコン製造技術等として、周辺産業にも転用されている。

図表 3-2 1 主な技術開発成果の実用化状況



出所：NEDO「太陽光発電システム及びその関連技術に係るアウトカム調査」(2006)

1) 多結晶シリコン系太陽電池

多結晶シリコン太陽電池では変換効率 17%以上の大面積高効率多結晶シリコン太陽電池が公的研究開発で開発された。この技術は現在我が国の太陽電池工業生産の中核的技術となっている。具体的な企業による実用化事例を以下に示す。

多結晶シリコン系太陽電池は、シャープ、京セラ、三洋電機等により事業化されている。多結晶シリコン系太陽電池は、現在も市場における主要製品である。シャープ株式会社は、プロジェクトで得られた成果技術として印刷電極及び塗布拡散技術の確立、モジュール(ラミネート)構造の開発、多結晶シリコン太陽電池効率向上技術の開発があり、これらの成果を用いて多結晶シリコン太陽電池の商業生産に漕ぎつけ、生産能力を急速に拡大し、世界最大の太陽電池メーカーに成長した。

京セラは、シリコンナイトライド膜を反射防止膜と兼ねたパシベーション膜として利用することについて NEDO プロジェクトの中で初めて発見した。それにより、結晶型太陽電池の効率が大きく向上した。また、RIE(リアクティブ・イオン・エッチング)という京セラ独自の技術も NEDO プロジェクトで開発したとされている。これらの技術や知見を活かして事業を拡大させ、2000年代初頭には世界第2位のシェアを占めるに至っている。

サンシャイン計画が拡大し進展する中で太陽光発電の効率は大きく改善された。産学が連携して、長期間に渡り、研究開発と製造経験を積み上げて研究を進めることにより、研究室レベルでの効率だけでなく、工業生産のレベルで安定して高効率を出すことができた。

また、事業化が不確実な状況で、サンシャイン計画が初期市場を創出し、企業の事業化

にむけた製造技術等の研究開発を継続させた効果も重要であった。木村・鈴木による「太陽光発電技術(PV)の導入における政府支援策の形成とアクターの対応」によれば、NEDO実証実験による買い上げが、1980年代においてはその規模から見て「唯一のマーケット」であり、太陽光発電モジュールを提供するメーカーにとっても貴重な製造経験を蓄積できる場となっていたとされている。

2) 薄膜シリコン太陽電池

薄膜シリコン太陽電池では、CVD製膜技術を中心とする高性能かつ1m角以上の大面積のアモルファスシリコン太陽電池及びハイブリッド太陽電池製造技術が開発され、実用生産に供されている。

三洋電機株式会社では、薄膜シリコンと結晶系シリコンのハイブリッドであるHIT太陽電池を開発し、シリコン系の太陽電池において世界最高効率を達成している。薄膜シリコンの技術は公的研究開発の成果を活用したものである。

カネカは、1980年代よりサンシャインプロジェクトに参画し、アモルファスシリコンカーバイド(a-SiC) /アモルファスシリコン(a-Si)ヘテロ接合技術を開発し、a-Si系太陽電池の効率を飛躍的に向上させた。大面積モジュール(約1m角)、シースルーモジュール、太陽電池一体型瓦「エコロニー」(屋根材メーカーと共同開発)等を商品化し、現在も生産能力の向上、生産量の拡大を図っている。同社では、「国のプロジェクトがあったことにより研究開発がスピーディに進んだ。例えば、数億円から十億円程度の研究設備を導入しようとする場合、国のプロジェクトがなければ社内調整に通常1年間(早くても半年間)を要し、研究開発をスピーディに行うことは困難だった」(ヒアリング結果)とのことである。

富士電機は、公的研究開発の成果を受けて、フレキシブル太陽電池の開発を進め、後発ではあったが、事業化を果たしている。

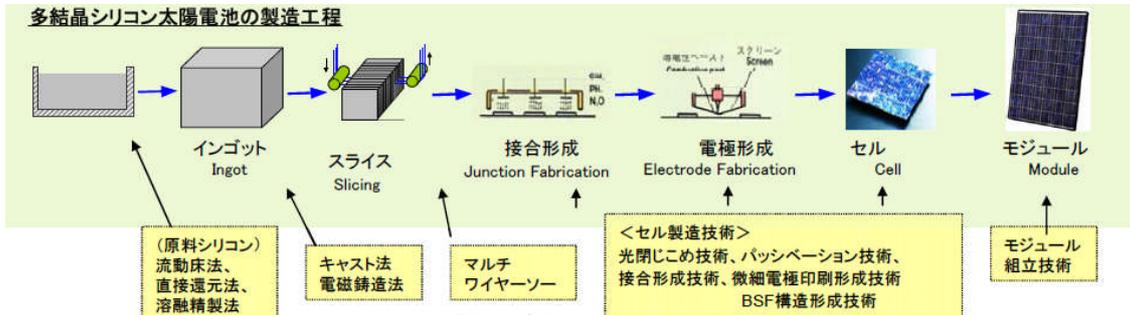
3) 化合物半導体太陽電池、その他の太陽電池(有機半導体系、色素増感型)

CIS系太陽電池についてはセレン化法を用いて13%以上の変換効率の大面積モジュール量産技術が開発され、工業化に向けた準備段階に入っている。化合物系の太陽電池については、海外においても盛んに研究が行われ、日本の企業では、昭和シェル石油より実用化がなされている。その他の太陽電池としては、高効率型の太陽電池として集光型の太陽電池に注目が集まっている。シャープでは、化合物系の集光型太陽電池を開発している。集光すれば1,000倍のエネルギーを集約できるため、セルの資源量も1/1000で済む。その場合、レアメタルを使用したとしても、コスト的、資源量的にシリコンと競うことができると考えられている。その他、大同特殊鋼等においては、シリコン系の集光型太陽電池についても開発が進められている。赤道付近の日射量の多い地域では、集光型太陽電池が非常に高い発電能力を有することが分かっており、今後の進展が期待される分野である。

③ 太陽電池の材料技術・素子構造技術・製造技術

結晶シリコン太陽電池の技術開発では、変換効率17%以上の大面積高効率多結晶シリコン太陽電池が開発されるとともに、一連の高効率多結晶シリコン製造技術に係る下図に示す成果技術が開発された。

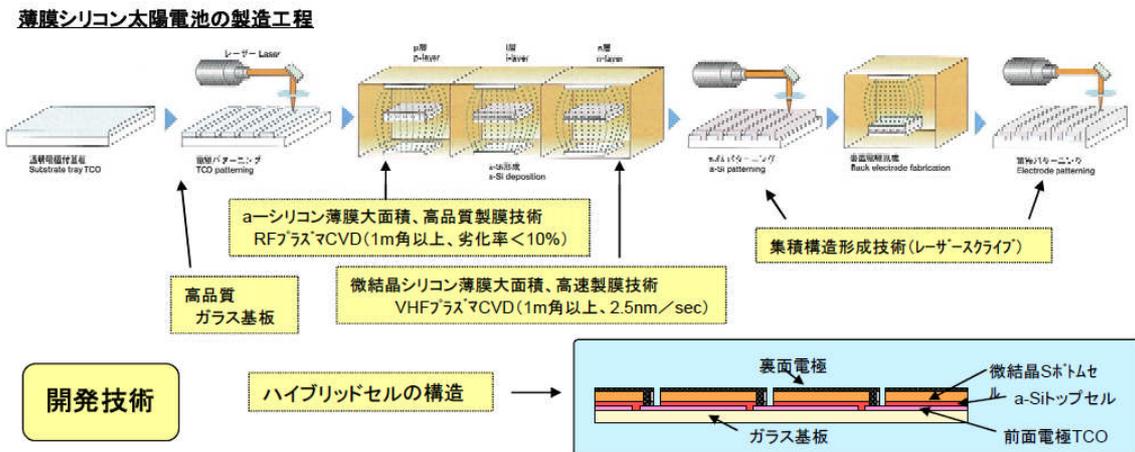
図表 3-2 2 多結晶シリコン太陽電池の製造工程と主な開発技術



出所：NEDO「太陽光発電システム及びその関連技術に係るアウトカム調査」（2006）

薄膜シリコン太陽電池の技術開発では、高性能かつ 1m 角以上の大面積のアモルファスシリコン太陽電池及びハイブリッド太陽電池の製造技術として、下図に示す一連の製造技術において CVD 製膜技術を中心とする成果技術が開発され、実用生産に活用されている。

図表 3-2 3 薄膜シリコン太陽電池の製造工程と主な開発技術



出所：NEDO「太陽光発電システム及びその関連技術に係るアウトカム調査」（2006）

化合物系の CIS 系太陽電池については、セレン化法による 13%以上の変換効率の大面積モジュール量産技術が開発され、実用生産に向けた準備段階に入っているとされる。

④ 周辺技術

1) 系統連系システム技術

システム系プロジェクトでは電力系統との連系を主要な前提に、それぞれの基本的利用形態に応じた最適システムの実現可能性が追求された。例えば、個人住宅システムでは連系型 PWM パワーコンディショナが開発された。さらに、西条及び六甲実験場における大規模実証試験を経て、太陽光発電系統連系技術が確立され住宅用システムに適用された。これが世界をリードする日本の系統連系技術発展の推進力になり、国際的な技術移転へと

つながった。さらに 2002～2007 年度に実施された集中連系型太陽光発電システム実証研究では、系統に多数の太陽電池を連系した場合の系統への影響等が実証され、今後の太陽光発電システムの本格導入に向けた準備が進められている。

系統連系の研究開発において、主導的な立場を果たしたのは、電力中央研究所であった。電力中央研究所では、1993 年、「系統連系技術ガイドライン」改正に尽力し、その結果として政省令改正がなされ、太陽光発電システムの逆潮流ありでの系統連系が可能となった。逆潮流による系統連系が実現されることにより、「住宅用太陽光発電システムモニター事業」がスタートできた。

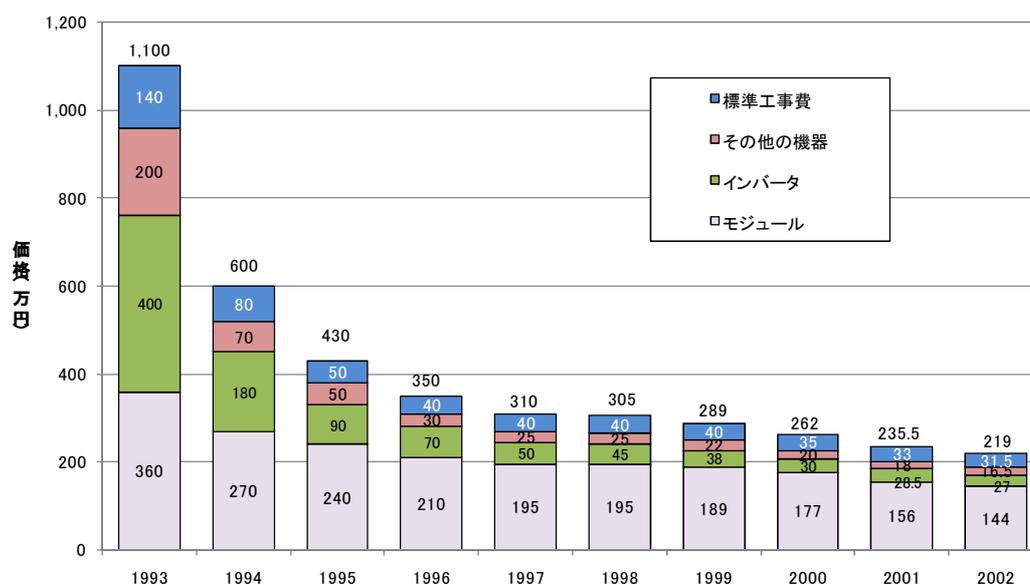
電力中央研究所では、系統連系技術を活用して、燃料電池をはじめ、マイクロガスタービン、風力発電などの分散電源が複合化されたネットワークにおける制御技術の検討も進めている。

2) インバーター製造技術（低コスト化）

インバーターのコスト低減には、導入促進のための補助制度（1994 年度から実施された住宅用太陽光発電システムの設置費用の 2 分の 1 補助）が大きく寄与した。

前掲の木村らの文献によると、太陽光発電システムの中でも特にインバーター等の周辺機器は、当時オーダーメイドであったためコスト比率が高く、もし量産化されれば確実にこの部分が下がると考えられた。1993 年当時は標準的な住宅用太陽光発電システム設置費用のうち、7 割近くを周辺機器が占めていた。これに対して、この補助プログラムの実施に伴い、周辺機器の価格は実際に大きく削減され、特にインバーターの価格は 4 分の 1 にまで減少するという成果を生むことになったとされる。（図表 3-24 参照）

図表 3-24 住宅用 PV システムの設置費用推移（3kW 標準工事のケース）



出所：新エネルギー産業ビジョン検討会「新エネルギー産業ビジョン」2004 年 6 月

⑤ 周辺産業及び他産業への波及効果

太陽光発電に関する公的技術開発の成果が波及した事例としては、TFT 液晶ディスプレイへの応用が最も大きなものである。

NEDO 等の公的技術開発で開発されたアモルファスシリコン系デバイスの設計・評価・解析技術は、1990 年代初頭における大型 TFT-LCD パネルの立上げ時に絶好の技術指針を提供し、大面積 TFT-LCD の製品化を加速する役割を担った。また、TFT 製造装置は、アモルファス太陽電池で実用化されたインライン式大面積製膜装置をモデルとして開発が進められ、第 1～2 世代の基板サイズ（300×350～410×520mm）での装置形式の主流を形成した。

アモルファスシリコン TFT 駆動による LCD は、1990 年代にノート PC 用ディスプレイやモニター向けとして本格的な大型化時代を切り拓き、現在の薄型テレビへと発展している。液晶ディスプレイは世界のディスプレイ産業の中心に位置し、市場規模も十兆円程度に成長しており、当該研究開発が大規模産業を生み出した効果は大きい。

例えばシャープでは、太陽電池の技術は電卓用として実用化された。始めは単結晶の太陽電池（1976 年頃）を搭載し、その後 1981 年頃からアモルファスとなった。シャープにとって電卓は様々な技術を実用化するデバイスで、太陽電池の他、液晶技術、半導体関連技術の実験の場となった。電卓が価格低下しビジネスとして成り立たなくなった 1984 年～1985 年ごろ、アモルファスの技術者は液晶事業へと移った（ヒアリングによる）。その結果として、アモルファスの電極形成技術が TFT 液晶の電極技術に応用され、シャープの液晶事業発展の重要な一要因となった。太陽電池の技術者はその他の光デバイス事業にも枝分かれしている。

なお、太陽電池がまだ普及していない 1980 年代初期において、電卓の需要は貴重であった。当時は、シャープだけでなく、三洋電機やカネカにおいても電卓用太陽電池の開発製造が進んだ。電卓用太陽電池は、1980 年代における太陽電池の初期需要となり、当該企業において売上が立つことから、企業内での研究開発チームの地位安定にも寄与した（ヒアリングによる）。しかし、1980 年代後半以降、電卓は低価格競争となり、企業にとっては厳しい状況に置かれた。

その他の産業への波及効果としては、複写機・プリンターへの技術波及、光センサーへの技術波及、半導体産業への波及などが挙げられる。

アモルファスシリコン系デバイス技術とその製造技術は、電子写真用高耐久感光ドラムの開発に応用されて、アモルファスシリコン感光ドラムとして製品化された。また、アモルファスシリコンによる長尺のラインセンサーが開発され、ファクシミリ用読取りセンサーとして利用された。

半導体産業への波及としては、太陽電池用ウエハースライスの標準技術であるワイヤソーの半導体用途への展開、ガス転化技術（四塩化シリコンをトリクロロシランに転化する技術（NEDO 法））の半導体用多結晶シリコン製造への応用（原料ガスのリサイクル技術）、半導体用モノシランガス製造への応用などが行われた。

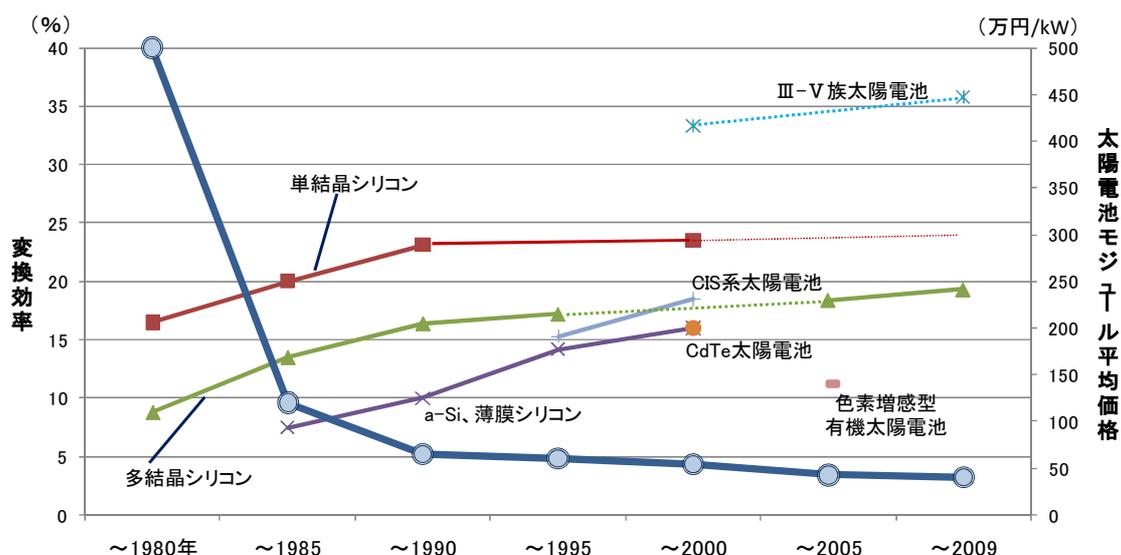
(3) 国際競争力への影響

① 太陽電池の性能に関する競争力

太陽電池の技術的な競争力を左右する非常に大きな要因のひとつが変換効率である。変換効率が高いほど、Wあたりのモジュール製造コストは低下するため、産業競争力にも直結する。太陽電池の種類別の変換効率は、図表 3-25 に示すように、年を追うごとに上昇しており、それに応じて、太陽電池モジュールの平均価格も低下している。公的研究開発の結果、太陽電池の変換効率に関する我が国の研究開発能力は著しく向上し、多くの種類の太陽電池において、世界の最先端レベルの効率を達成している。特に実用モジュールレベルでの変換効率が高いことが特徴である。

2000 年以降の公的研究開発では、化合物半導体や有機系の次世代太陽電池の研究開発が積極的に進められており、その変換効率が着実に向上している様子も図表 3-25 からわかる。太陽電池の効率向上に向けた研究開発は今後も継続が必要であり、NEDO のロードマップ PV2030+ では、2020 年に実用モジュールで 20%、2050 年に 40% という目標が掲げられている。

図表 3-25 太陽光発電技術開発による太陽電池性能と製造コストの推移



※1980 年代については、海外も含めた当時の最高効率データを掲載し、1990 年代以降は日本国内の最高効率データを示している。

※太陽電池モジュール平均価格について、1995 年までは資源エネルギー年鑑に基づく太陽電池製造コスト、それ以降は太陽光発電システムのモジュール部分の平均価格を示している。

出所：NEDO「太陽光発電技術開発動向等の調査」2010、「資源エネルギー年鑑」1999、資源エネルギー庁「平成 21 年度新エネルギー等導入促進基礎調査」2009 より MRI 作成

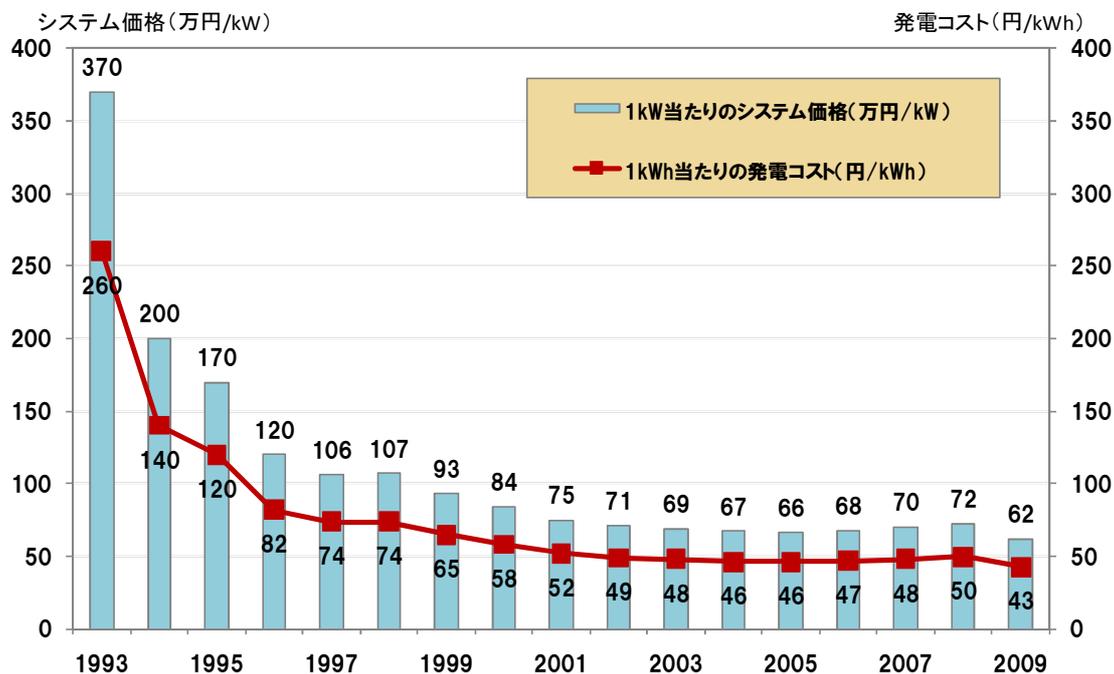
太陽電池モジュールの価格低下に合わせて、太陽光発電システム設置価格、発電コストも大幅に低下している（図表 3-26 参照）。これは開発スタート時に数万円/W であった太陽電池価格を 1/100 以下にしようとする技術開発目標をほぼ達成している。ただし、2000

年以降においては、シリコン価格の高騰などが原因でシステム価格、発電コストとも横ばいとなっている。導入量とシステム価格との関係（図表 3-27）を見ても、2000 年までは指数関数的に習熟効果（導入像に伴う価格低下効果）が出ていたものの、2000 年以降は効果がほとんど見られなくなっている（他の要因と打ち消し合っている）事が分かる。PV2030+では、段階的な Grid Parity（発電コストが既存の系統電力の価格と同等になること）の実現を目指して、2020 年には業務用電力並（14 円/kWh 程度）、2030 年には事業用電力並み（7 円/kWh）の発電コスト目標が設定されている。

また、図表 3-28を見ると、現在の我が国の生産量の相当部分は、欧米に輸出されている。このことから、我が国の太陽光発電関連の技術水準は、国際的にも高いといえる。

なお、太陽光発電システム設置価格低下には、公的研究開発の成果を市場化するために実施された、導入促進のための補助制度（1994 年度から実施された住宅用太陽光発電システムの設置費用の 2 分の 1 補助）も大きな役割を果たしている。上述の木村らの文献によれば、補助プログラムの開始及びそれに同期したメーカーによる住宅用太陽光発電の販売開始に対しては、一般消費者から大きな反応が得られ、市場拡大に合わせてコスト低減も急速に進んだことが指摘されている。

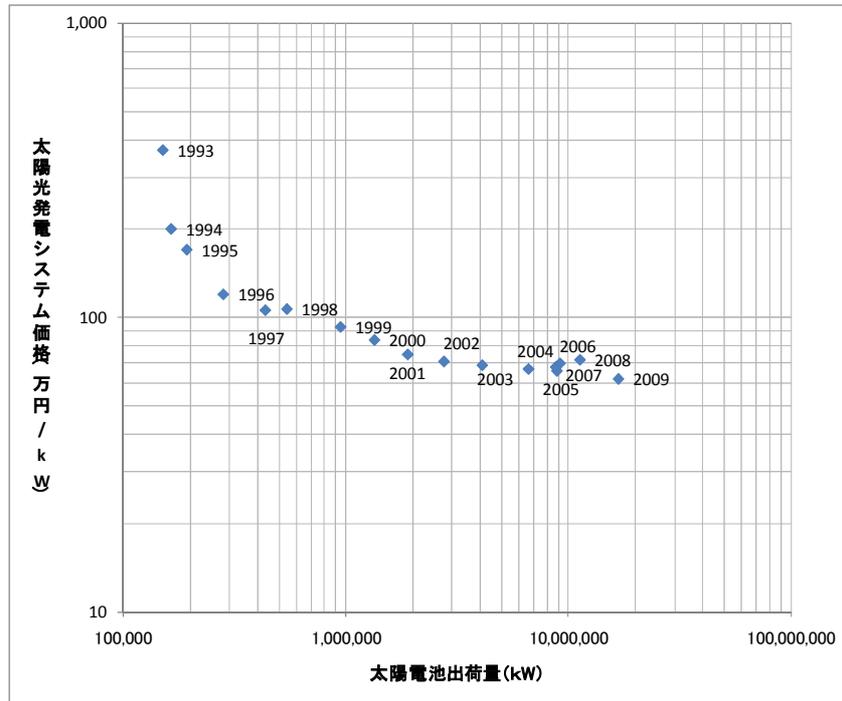
図表 3-26 住宅用太陽光発電システムの価格・発電コストの推移



※2008年、2009年の発電コストは1993年～2007年までの数値から推計

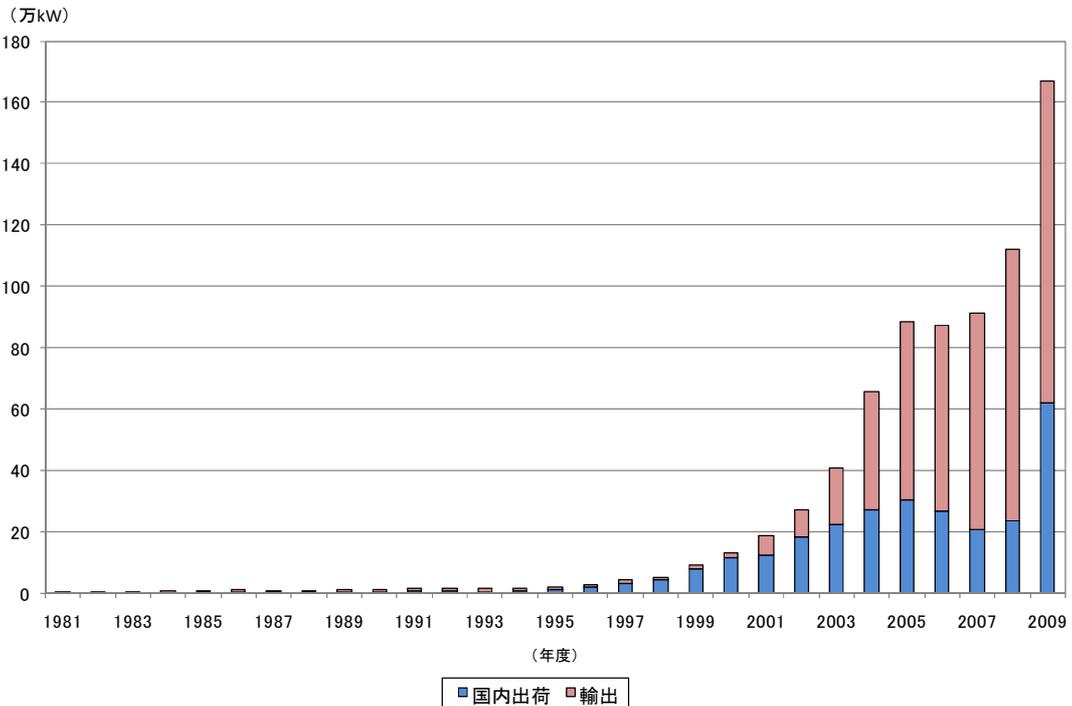
出所：関西光発電普及促進委員会 HP、資源エネルギー庁「太陽光発電システム等の普及動向に関する調査」2009よりMRI作成

図表 3-27 住宅用太陽光発電システムの価格・発電コストの推移



出所：太陽光発電協会 資料、関西光発電普及促進委員会 HP、資源エネルギー庁「太陽光発電システム等の普及動向に関する調査」2009 より MRI 作成

図表 3-28 日本に於ける太陽電池の出荷量 (国内出荷/輸出)



出所：太陽光発電協会 資料

② 生産量に関する競争力

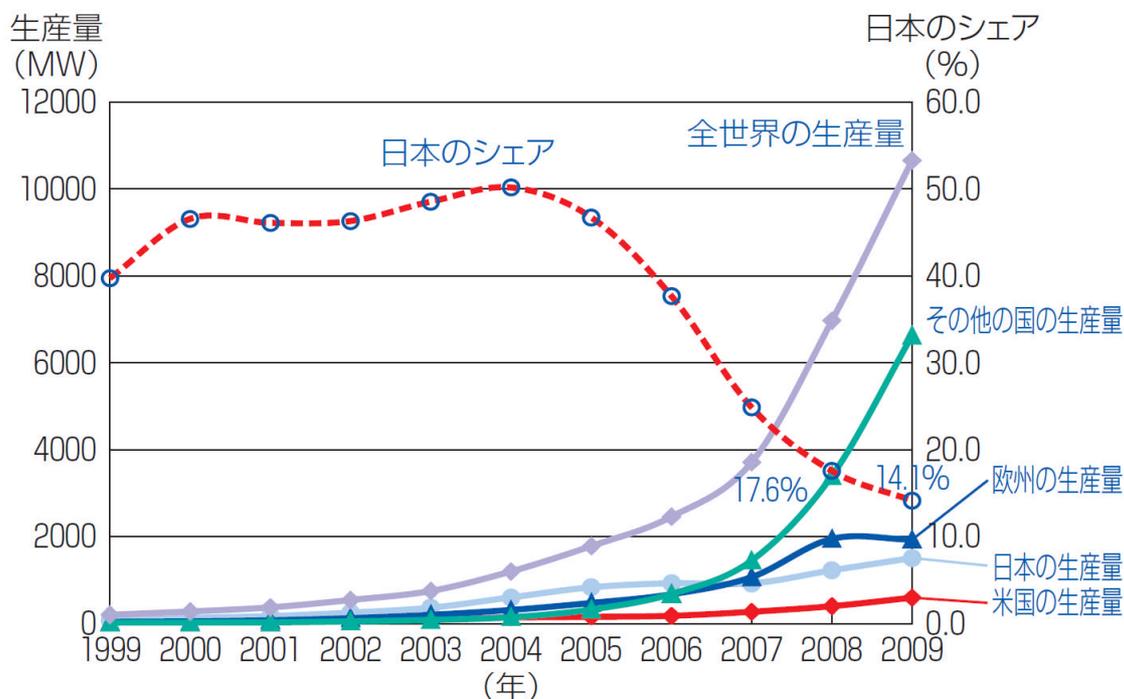
国別の生産量では、2007年までは日本が世界トップシェアを誇っており、2006年までは世界の4割を超えるシェアであった。このようなトップシェアの獲得、維持に対しては、長年にわたる公的な研究開発の成果と、規制緩和と補助金による初期導入支援施策の果たした役割が非常に大きい。

ただし、需要の拡大に伴い2008年は急成長する中国、欧州（主としてドイツ）に抜かれてしまっている。また、2009年の動向を見ると、日本のシェアはさらに低下している。

現在の主流であるシリコン系太陽電池はかなり技術的に成熟しており、製造に関する知財面での制約も少なくなっているため比較的新規参入が容易になっている。市場が急拡大する中、ドイツや中国は国策としても太陽電池産業の振興を強く後押ししており、その支援の下、大規模な資金調達と設備投資をしたメーカーがシェアを伸ばしている。日本企業は投資の規模とスピードで大きく劣っており、国を巻き込んだ課題解決、競争力強化が期待される。

こうした中、NEDOでは、今後の5～10年の市場の伸びを考えた上で、日本の太陽光発電産業を生産能力で10GWを超える産業へと成長させるよう、主要メーカーを誘導する方針を固めた(2010年度)。そのためには、主要メーカーによる生産設備投資等が必要であり、技術開発によって世界のコスト競争にめどを得る基盤技術を確立したいとしている(NEDO30年史)。

図表 3-29 国別の太陽電池生産量推移



出所：NEDO「NEDO30年史」2010

ただし、補助金や買取制度等の公的な支援に成長させた国内市場を、どう国内メーカーが獲得できるようにするかという点についても検討が必要である。ヒアリング調査においても、「カリフォルニア州の ZEV 規制や欧州の RoHS 規制のように、補助金等の対象とする太陽電池に対して、生産時の環境基準・排水基準等を設けて、海外のメーカーが参入できないようにするという視点もある。」や「経済産業省が進めているような評価の基準作りも重要である。」との声が得られている。

③ 国際標準への影響³

今後、我が国の太陽電池産業が国際競争力を向上させるためには、太陽電池モジュールの性能・安全性や長期信頼性等についての評価指標や評価方法を確立し、国際標準化を進めることが重要となる。シリコン系太陽電池については、NEDO 等の技術開発の結果、太陽電池セル・モジュール性能等の評価技術が開発され、これを反映した試験方法等の IEC 規格・JIS 規格が制定・整備され、その後の国際的な認証体制構築につながった。具体的には NEDO 技術開発による評価技術や実証データ等を活用して、国際電気標準会議 (IEC) / 第 82 専門委員会 (TC82) による太陽光発電システム国際標準化活動への対応が図られてきた。JEMA (社団法人日本電機工業会) や OITDA (財団法人光産業振興協会) が中心となって、2008 年時点で 30 件⁴を越える IEC 規格の制定に貢献している。特に大きな貢献を果たしたものとしては、JEMA がプロジェクトリーダーを務めて審議を行った、パワーコンディショナ関連の国際規格 (IEC62116) や、ポッティング材料の難燃性確認試験及び判定基準の改訂 (IEC61730) 等が挙げられる⁵。また、国際標準の制定と対をなす認証制度が IEC・EE (安全規格適合試験制度) のスキームに沿って構築され、JET (電気安全環境研究所) を太陽電池モジュールの試験機関・認証機関とする国内体制が整備された。しかし、CIS 系や有機系等の新たな太陽電池については、その性能・安全性の評価指標や評価手法が確立されておらず、今後の早急な確立が求められる。また、認証制度の整備及び製品の表示といった取り組みも求められる。

また、我が国の太陽電池産業は、高効率・高性能であるはずだが、現時点では、太陽電池モジュールが定格どおりに出力しているか否かについての評価技術が確立されていないため、その比較優位性を評価できない状況にある。よって、太陽電池モジュールの出力に係る評価技術を確立することが必要である。より具体的な比較をするのであれば、世界の地域別の年間の日射量のデータを整備し、標準的な試験環境で得られたデータと、世界各地での発電電力量見込みの相関を確立することが求められる。これにより、我が国太陽電池の性能及び信頼性が正当に評価されることが期待できる。

さらに、太陽電池に関しては、長期の信頼性を客観的に評価するための試験方法も確立されていない。我が国の太陽電池メーカーが製造するモジュールは 20～30 年の稼働が見込まれ、他国の太陽電池と比較して、長寿命であるとされているがその信頼性は客観的には明らかになっていない。20 年以上の寿命評価を短期間で実施するための加速試験方法の開

³ 本項の記述は、資源エネルギー庁「ソーラー・システム産業戦略研究会報告書」による。

⁴ NEDO「太陽光発電システム及びその関連技術に係るアウトカム調査」2006 より。

⁵ JEMA「太陽光発電の認証制度・標準化の取り組み」2009 より。

発が NEDO で進められており、今後、その早急な開発と、国際標準化に向けた提案が求められる。

○ドイツの再生可能エネルギーでの電力買取補償制度について

太陽光発電に関する国際競争力を検討するに当たって、ドイツの事例は参考とすべきと考えられる。導入支援施策と企業育成により、導入量と生産量で日本を追い越すにいたった経緯を以下に取りまとめる。

- ドイツでは、1990年に「再生可能エネルギーから生産した電力の公共系統への普及に関する法律」(以下、「電力供給法」という。)ができ、これに基づき電力買取補償制度がスタートした。料金水準は、1991年の制定後、1994年、1998年の2度にわたって改訂されている。これによって再生可能電力の普及促進を狙った。(大島 2007)
- 1998年に社会民主党と緑の党が連立政権を取るようになると脱原発政策での環境保護が政権内で重要な意味を持つようになった。この環境下で電力供給法は、2000年に施行された「再生可能エネルギー法」となる。この再生可能エネルギー法の重要な変更点としては、買取価格水準が電力小売価格に対する比率ではなく、20年の固定額で定められたことである。これにより、太陽光発電が利回りの期待できるビジネスとなり、市場が急拡大することとなった。
- 上記の制度は、一般にフィードインタリフ (Feed in Tariff) 制度として知られているが、この制度の制定とほぼ時を同じくして、太陽電池メーカーである Q-Cells が設立された。Q-Cells は、旧東独地域で投資を繰り返し、生産能力を急速に拡大していき、売上高を急速に伸ばしていった。結果として、2007年には世界一の太陽電池生産量を誇る企業となった。
- 更に再生可能エネルギー法は、2004年に「電力分野における再生可能エネルギー法を新たに規定するための法律」(以下、「再生可能エネルギー新法」という。)として全面改正された。基本は、電力買取補償制度であるが、再生可能エネルギーの大幅普及に向けたきめの細かい修正が施されている。(大島 2007)
- ドイツの電力買取補償制度については、1990年代初めに電力供給法からスタートしていたが、再生可能エネルギー法及び再生可能エネルギー新法に至るまで、問題の発生に対して非常に細かな修正を図ってきた。これとともに、ドイツの太陽光発電の普及は、環境問題を非常に大きな政権課題とする緑の党との連立政権による再生可能エネルギー法の成立と、これによる太陽光発電の急激な市場の拡大があったからとも考えられる。
- しかし、Q-Cells は、中国メーカーの台頭による価格低下やスペイン市場の縮小により 2009年は通期で 10 億ユーロ以上の赤字となっている。急速な設備投資のマネジメント、低価格企業との競争が今後の課題である。

3. 2. 2 研究開発力向上効果

(1) 知的ストックの蓄積度合

① 論文

追跡調査対象プロジェクトにおいて発表された論文数は以下のとおりである。サンシャイン計画における論文数は不明であるが、ニューサンシャイン以降でも 1,500 本以上の論文が直接的に生み出されている。

サンシャイン計画におけるシリコン系の太陽電池の開発は学術的に新しいことは少なく、研究開発の中心は企業であった。一方、アモルファスシリコン系の研究開発は、科学的にも最先端の領域で大学の研究者と企業の研究者が一体となって研究開発を行い、学術的にも意義深い成果が多数得られたとされている（ヒアリングより）。

図表 3-30 追跡調査対象プロジェクトの論文発表件数

プロジェクト名	実施期間	論文数
サンシャイン計画	S49～H4	(不明※)
ニューサンシャイン計画	H5～H12	656 件
即効型高効率太陽電池技術開発	H11～H12 (～H14)	6 件
先進太陽電池技術研究開発	H13～H17	197 件
革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発	H13～H17	437 件
太陽光発電システム共通基盤技術開発	H13～H17	43 件
太陽光発電技術研究開発	H13～H17	152 件
太陽光発電システム普及加速型技術開発	H12～H17	7 件
太陽光発電システム実用化加速技術開発	H17～H19	8 件

※サンシャイン計画については、事後評価報告書がなく正確な論文数が不明

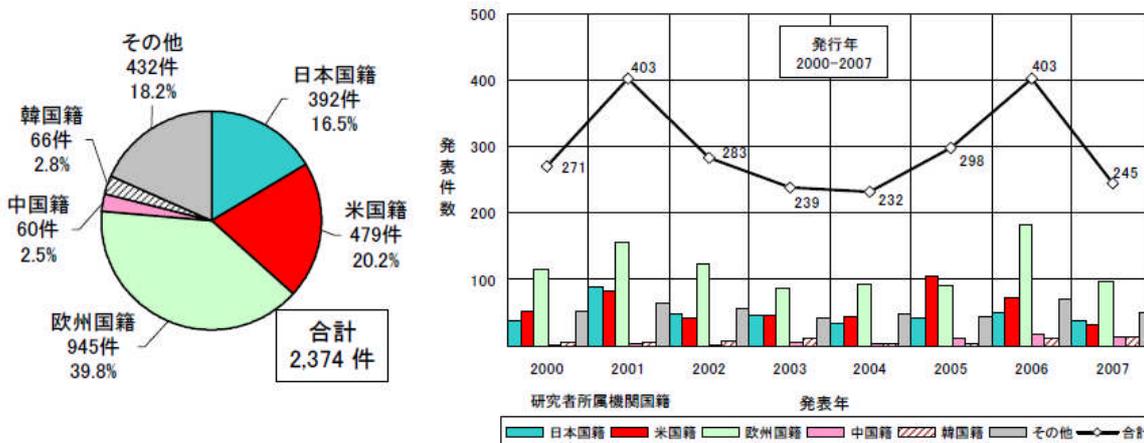
ニューサンシャイン以後、太陽電池に関しては大学からも多数の研究者が NEDO のプロジェクトに参加することとなった。文部科学省の科学研究費補助金等よりも規模の大きな資金が得られることにより、太陽電池に関する研究者は増加し、多数の論文も生まれることとなっている。

現時点での各国の太陽電池に関する論文発表状況を見るために、特許庁の平成 20 年度特許出願技術動向調査「太陽電池」より、太陽電池に関する論文（選定した国際的な主要論文誌 25 誌）の研究者所属機関国籍別の発表件数推移と国籍別比率を、下図に示す。太陽電池に関する論文の発表件数は、2001 年にピークとなったあと一度減少し、再び 2006 年にピークを迎えている。（ピークの件数はともに 403 件）

研究機関の国籍別に見ると、欧州国籍が最も多く 39.8%を占めており、次いで米国籍が 20.2%、であり、日本国籍は 16.5%となっている。その他の国籍（18.2%）の中では、オーストラリア国籍（103 件）とインド国籍（100 件）が多い。

2000 年以降に発表されている論文の全てが公的な研究資金によるものではないが、多くの大学が再委託先となっている現状から勘案し、相当部分が公的研究資金から生み出されていると推察される。

図表 3-3 1 研究者所属機関国籍別論文件数推移と国籍別比率（国際的な主要論文誌）

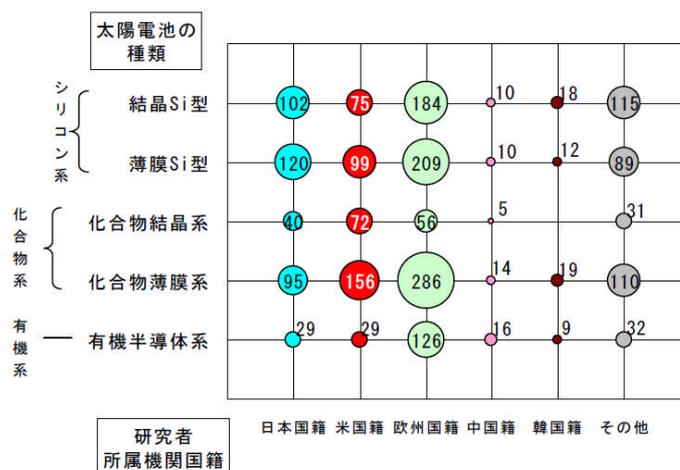


出所：平成20年度 特許出願技術動向調査報告書 太陽電池（要約版）

上記調査による研究者所属機関の国籍別の太陽電池の種類別論文件数（国際的な主要論文誌）を下図に示す。日本の研究機関は薄膜シリコン型が最も多く、次いで結晶シリコン型、化合物薄膜系と続くが、これらの数の差は小さい。これに対して、米国と欧州の研究機関では、化合物薄膜系が最も多く、薄膜シリコン型、結晶シリコン型の順になっており、また化合物系が他に比して5割程度多く、化合物系への注力度が大きいと見られる。欧州国籍においては、有機半導体系が他の国籍に比べて相対的に多いことも特徴的である。

2000年以降は基礎研究よりの研究開発が産学官連携により進められており、論文数や被引用数に影響を与えている。欧州に関しては論文数が多く、様々な種類の太陽電池に関する研究開発が行われている。論文数のシェアでは日米欧が拮抗しているが、最高効率等の面では日本がリードしている。

図表 3-3 2 太陽電池の種類別—研究者所属機関国籍別論文件数（国際的な主要論文誌）



※有機系は有機半導体系のみで、色素増感型は含んでいない

出所：平成20年度 特許出願技術動向調査報告書 太陽電池（要約版）

② 特許

追跡調査対象プロジェクトにおける特許出願件数は以下のとおりである。サンシャイン計画から太陽光発電システム実用化加速技術開発に至るまでに、1,600 件程度の特許が出願されている。サンシャイン計画のころは、年平均 40 件程度の特許出願であったが、近年では年間 100 件程度の出願となっている。なお、1999 年 10 月に法律で日本版バイドール条項⁶が設けられた。これにより、参加企業は、同法施行以前よりも積極的に特許出願を行うようになった。例えば、ヒアリングでは、「バイドール法以降は特許化しても他の企業に使われる心配がなくなったため、委託研究においても積極的に（自社研究と区別なく）特許化を行うようになった」との意見も聞かれた。

図表 3-33 追跡調査対象プロジェクトの特許出願数

プロジェクト名	実施期間	特許出願数
サンシャイン計画	S49～H4	(429 件※)
ニューサンシャイン計画	H5～H12	499 件
即効型高効率太陽電池技術開発	H11～H12 (～H14)	13 件
先進太陽電池技術研究開発	H13～H17	310 件
革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発	H13～H17	166 件
太陽光発電システム共通基盤技術開発	H13～H17	10 件
太陽光発電技術研究開発	H13～H17	28 件
太陽光発電システム普及加速型技術開発	H12～H17	84 件
太陽光発電システム実用化加速技術開発	H17～H19	25 件

※サンシャイン計画の昭和 60 年度～平成 2 年度の特許出願数については資料不足のため不明。

我が国の太陽電池に関する研究開発は今回追跡調査対象となっている公的な資金による研究開発が基礎となっていることがヒアリング調査等より分かっている。よって、我が国の企業から出願されている特許の多くが、直接・間接的に公的資金による援助を受け開発されたと考えることができる。

2000 年～2006 年の太陽電池に関する出願人別出願件数ランキングを見ると、上位の日本企業の多くが追跡調査対象プロジェクトの参画企業である（上位 15 社のうち、非参画企業は、信越半導体、本田技研工業、大日本印刷の 3 社のみ）。

図表 3-34 日米欧中韓への太陽電池関連特許出願人別出願件数ランキング

順位	出願人	出願件数(2000 年～2006 年)
1	シャープ	691 件

⁶ 産業活力再生特別措置法第 30 条の通称。同条項の導入(1999 年)によって、それまでは国の帰属となっていた、政府資金を供与して行う委託研究開発に係る知的財産権について、一定の条件を受託者が約する場合に、100%受託企業に帰属させることを可能とする制度。バイドール法は、米国で 1980 年に制定された法律で、連邦資金を使って得られた発明を大学等の研究者が特許権を取得することを認めたもの。

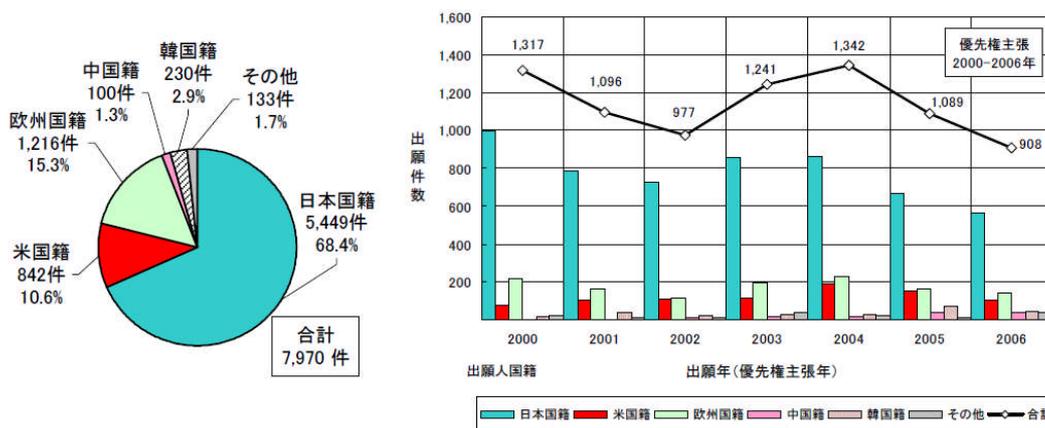
2	京セラ	617 件
3	キヤノン	541 件
4	三洋電機	466 件
5	三菱重工業	244 件
6	カネカ	236 件
7	富士電機ホールディングス	196 件
8	パナソニック	146 件
9	信越化学工業	124 件
10	信越半導体 【非参画企業】	98 件
11	産業技術総合研究所	93 件
12	本田技研工業 【非参画企業】	92 件
13	大日本印刷 【非参画企業】	79 件
14	凸版印刷	76 件
15	E.I.デュポン (米国)	73 件

出所：平成 20 年度 特許出願技術動向調査報告書 太陽電池（要約版）

よって、必ずしも全ての特許が公的資金による研究開発の結果として出願されたものではないが、その多くが影響を受けていると捉え、先述の特許庁調査により、2000 年以降の特許出願動向と、我が国の位置付けについて把握する。

特許出願状況の全体動向として、日米欧中韓へ出願された特許の合計の出願人国籍別出願件数推移と比率を図表 3-3 5 に示す。2000 年～2006 年度の合計出願件数に関して、国別の出願数構成比を見ると日本国籍ものが 68.4%であり、圧倒的多数を占めている。次いで欧州国籍の 15.3%、米国籍の 10.6%となっている。

図表 3-3 5 出願人国籍別出願件数推移及び比率（日米欧中韓への出願）

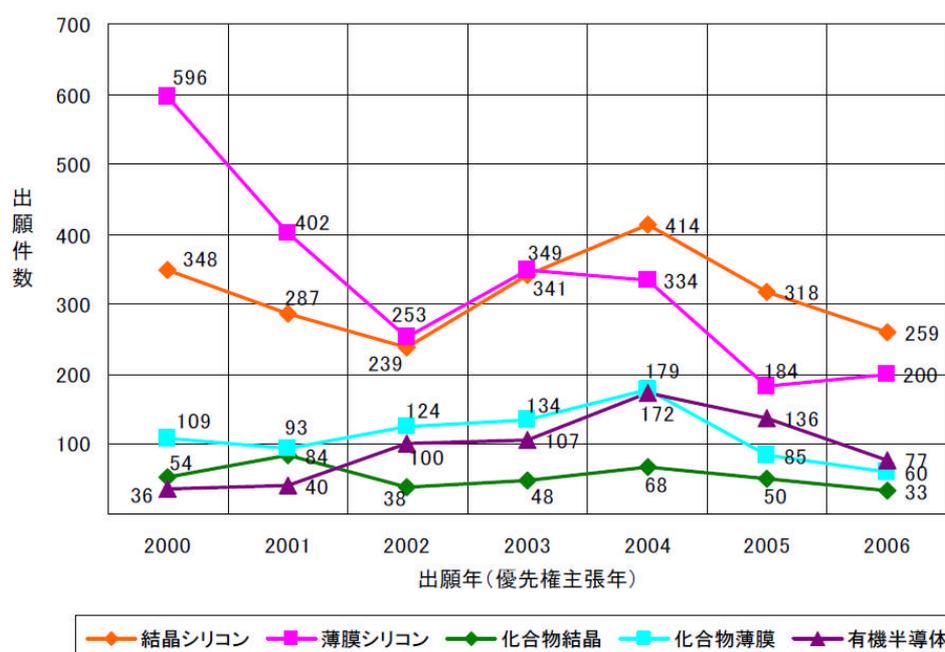


※2005 年以降のデータは、PCT 出願が国内段階に移行するまで最大 30 ヶ月かかるため、国内段階での公報発行が遅れることや、データベースへの収録が遅れること等により、全データが取得されていない可能性がある

出所：平成 20 年度 特許出願技術動向調査報告書 太陽電池（要約版）

上記調査による日米欧中韓への出願における太陽電池の種類別出願件数推移を図表 3-3 6 に示す。太陽電池の種類別特許出願を見ると、2006 年では結晶シリコン型での特許出願が最も多く 41%、次いで薄膜シリコン型が 32%で、この二つが他の種類を大きく引き離している。年次推移では、薄膜シリコン型は 2000 年に 596 件で最大であったがその後大幅に減少し、2005 年には 184 件、2006 年には 200 件となっている。結晶シリコン型の特許出願数は 2000 年以降 240 件～420 件の水準にあり、2004 年以降は種類別で最も多くの特許が出願されるようになってきている。2004 年は特許の出願数が多く、化合物薄膜系と有機半導体系においても 2004 年がピークとなっている。同調査によれば、結晶シリコン型の中では単結晶シリコンと多結晶シリコンがほぼ同数であり、また化合物薄膜系の中では CIS 系が約 57%を占めるとされる。

図表 3-3 6 太陽電池の種類別出願件数推移及び比率—全体（日米欧中韓への出願）



※有機系は有機半導体系のみで、色素増感型は含んでいない

出所：平成 20 年度 特許出願技術動向調査報告書 太陽電池（要約版）

同調査で基本特許（その技術について最初に出願されたと考えられる特許、委員会の委員から推薦のあった特許）として挙げられているもののうち、出願人が日本人・日本の機関であるものは以下の通りである。これら基本特許のほぼ全てが公的研究資金に関連するものと考えられる。

図表 3-3 7 太陽電池の基本・重要特許

種類	内容	特許番号	出願人
シリコン系	ヘテロ接合太陽電池の最初の特許：単結晶・多結晶とアモルファス・微結晶の pn	特許 1841335	濱川圭弘、岡本博明、大阪変圧器

	ヘテロ結合		
	HIT 太陽電池 (a-Si/ μ c-Si/c-Si 構造) の最初の特許	特許 2740284	三洋電機
	HIT 太陽電池 (a-Si/a-si:H/c-Si 構造) の最初の特許	特許 2132527	三洋電機
	タンデム構造の基本特許 : a-Si 単位セルが複数個積層された光起電力素子	特許 1519516	生産技術振興協会
	タンデム型の中間層	特開 2003-347572	鐘淵化学
	非晶質薄膜 Si 系太陽電池の光閉じ込め構造	特許 1980768	工業技術院長、太陽誘電
	微結晶 Si 薄膜の高圧枯渇法による大面積高速製膜	特許 3837539	産業技術総合研究所
化合物系	\square - \square 族太陽電池 : CdS-CdTe 高効率太陽電池の初期の特許	特許 0930911	工業技術院長
	CIS-CIGS 系太陽電池の Cd フリーバッファ層の特許 : Zn(O,S,OH)系の最初の特許	特許 3249407	昭和シェル石油

出所 : 平成 20 年度 特許出願技術動向調査報告書 太陽電池 より MRI 抜粋

なお、特許は基本的に出願から 20 年で有効期限切れを起こすことになる。太陽用発電の研究開発には長期の時間を要していることから、特許切れを節目として事業参加が行われることもあった（ヒアリングによる）。例えば、アモルファスシリコン（薄膜シリコン）では、1977 年に米国 RCA 社が基本特許（実用化のための基本構造）を出願していたが、特許切れとなり、1997 年以降事業参加が進んだとされている。

そのような特許切れによる競争力低下を防ぐためには、適切なパテントマップの構築等の知財戦略が必要となる。例えば、1981 年にある企業は高効率化のための方法を見出し、特許出願した（当時、同社はサンシャイン計画には参加していなかったが、ニューサンシャイン計画から参加）。同社では、この特許が切れる数年前からパテントマップを作成し、数百件もの特許化案件を抽出した上で、戦略的に特許出願を進めた（ヒアリングによる）。

③ ノウハウ

太陽光発電に関する公的研究開発では、基礎研究からシステム化、製造技術にわたる広範な研究が取り組まれた結果、様々なノウハウが参画企業に蓄積された。

特に製造技術に関するノウハウ蓄積が大きかった。1980 年代の NEDO 立ち上げに伴い、「年産 500kW 級の太陽電池製造ライン」の開発プロジェクトが立ち上げられた。当時の産官の研究者が集結し、原料の仕様、各工程の製造能力・速度や工程歩留まり、各工程間の受け渡し条件、最終モジュールの性能・寸法等あらゆる観点からの検討がなされた。欧米と比べても非常に早い段階での製造ライン立ち上げであり、その後の我が国の太陽電池産

業の競争力獲得に大きな影響を与えた⁷。

また、研究ノウハウの蓄積も非常に大きい。公的プロジェクトに参画することにより、研究グループ間で情報交換ができるようになった。また、企業が参加しているため、サブモジュールくらいの規模が実現可能になった。大学だけで研究する場合、基礎研究用の数センチ角程度のセルから、少し大きなサブモジュールを作ると一気に変換効率が下がることが良くあるが、インダストリーが良くわかっている企業が入ることにより、わずかな低下（1%程度）に抑えることができる。欧米ではこのような連携が薄いため、論文レベルでは高い効率が出ていてもそれを実用化することができていない。

（2）研究開発組織の改善・技術戦略への影響

① 産業界における太陽光発電の研究開発状況

公的研究開発プロジェクトの推進により、民間企業における太陽電池研究開発が、多様な側面で促進され、実用化につながった。

サンシャイン計画発足当時に太陽電池の研究開発を行っていたのは、NEC、日立等の重電メーカーとシャープ程度であったが、その後京セラや三洋電機が参入し、現在では数多くの太陽電池メーカーが参入している。また、シリコン原料メーカーも新規参入が増加し、太陽光パネル専用のシリコン原料製造法の開発を進めている。

図表 3-38 太陽電池関連産業の主な参入企業

シリコン原料 基板メーカー	トクヤマ、JFE スチール、エム・セテック、サムコソーラー、スペースエナジー
副材料メーカー (原材料、部材、部品)	旭硝子、日本板硝子、不二サッシ、三協アルミ、ブリジストン、三井化学ファブロ、東レ、デュポン、村田製作所、東京製綱、東洋アルミ、オーナンバ、ソルトン
太陽電池メーカー (セル、モジュール)	シャープ、京セラ、三洋電機、三菱電機、カネカ、三菱重工業、日立製作所、昭和シェル石油、富士電機システムズ、本田技研工業、MSK、富士プレミアム
システム周辺機器 メーカー	オムロン、ジーエス・ユアサ、日新電機、田辺電機、山洋電気
建材メーカー	元旦ビューティ工業、三協アルミ、三晃金属、新日経、松下電工
ハウスメーカー	積水化学、積水ハウス、大和ハウス、パナホーム、ミサワホーム
ゼネコン	鹿島建設、清水建設
エンジニアリング	NTT ファシリティーズ、関電工、きんでん、住友電設、川崎重工業、西部電気工業
配線、設置、施工	全国各地の工務店、電気設備業者、電気店、屋根施工業者 等

出所：資源総合株式会社資料

⁷ 黒川浩助「サンシャイン計画から 30 年技術開発と今後の見通し」の記述による

シャープや三洋電機において、太陽電池産業が単独事業としてみた場合に赤字であったにも関わらず研究開発および事業が継続できたのは、経営判断によるところが大きい。しかし、国プロによる支援が有効に働き、企業における研究開発の下支えをしたことも、その後の産業発展につながったと考えられる。

その他、サンシャイン計画が参加企業に対して与えた影響について、各種文献に記載されている企業の意見を示す。

- ・サンシャイン計画発足時は、「エネルギーは国家的問題なので民間にリスクを負担させない」という工業技術院の方針が公言されていたこともあり、関連企業は概ね好意的かつ意欲的に計画に参加した（島本（1998、2003））
- ・当初の参加企業であるシャープの鈴木は次の様にサンシャイン計画を評価している。「サンシャイン計画の支援策の果たした一つの役割としては、この計画に国が力を入れるということで、経営者レベルに「太陽光発電に将来性がある」という判断が生まれたことがあります。だから研究開発も事業計画も「どんどんやっっていこう」と組み入れやすくなった。それから国が長期計画を示したということ。長期見通しがあれば経営計画が組みやすいということが非常に重要だった… 年間の開発費は安かったけど、その時は「お金を出して太陽光発電をやる」ということ自体が画期的だった。そういう意味では、金の多寡はあまり問題でなかった。」（木村幸、鈴木達治郎（2007））
- ・サンシャイン計画予算の拡大に応じて、メーカー自身による技術開発投資は大きく拡大したことは、Watanabe（1999）⁸によるサンシャイン計画予算と民間投資データの分析からも明らかにされている。以上より、政府が太陽光発電開発を長期的な国家プロジェクトとして推進する姿勢を示したことによって、メーカーによる太陽光発電技術開発戦略が大いに誘発されたことがわかる。（木村幸、鈴木達治郎（2007））

ヒアリング調査では、メーカーにとっての公的資金による研究開発の意義が多数述べられた。例えば、シャープでは、サンシャインの資金で研究を継続でき、1990年代の住宅用太陽光発電システム事業へとつながったとされていた。「太陽電池事業は、計画により研究開発スキームが確立され、目標設定が出来たことで技術者のレベルアップに繋がるとともに、90年代の住宅用太陽光発電システム事業へとスムーズに参画できた。こういった公的研究開発テーマが設定されたことで、社内の研究体制が継続され、人材育成に役立ったことに加え、90年代にスタートした住宅向けなどの需要拡大に短期間にキャッチアップすることができた。」との意見を伺うことができた。また、京セラでは、1980年代には京セラの太陽電池に関する研究開発費の多くを国からの委託研究費が占めており、その後、市場が成長し事業が大きくなる中で直近の開発課題に向けた自社の研究費の増加とともに、国からの委託研究費の割合は相対的に低下していったが、国からの委託費では将来に向けた技

⁸ Watanabe, Chihiro. 1999. Industrial Dynamism and the Creation of a "Virtuous Cycle" between R&D, Market Growth and Price Reduction: The Case of Photovoltaic Power Generation (PV) Development in Japan. IEA International Workshop on Experience Curves for Policy Making –The Case of Energy Technologies, Stuttgart, Germany, 10-11 May 1999.

術開発を行うことができたとのことであった

② 学会の形成状況

太陽電池の学会は、米国：IEEE Photovoltaic Specialists Conference (IEEE-PVSC)、欧州：European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EURO PVSEC)、日本：日本太陽エネルギー学会等である。その他マテリアル系や応用科学系でも太陽電池のセッションがあり、数多くの議論がなされている。日本とアジア・太平洋地域で交互に1年半おきに開催される Photovoltaic Science and Engineering Conference、IEE-PVSC や EURO PVSEC による会議など、太陽光発電に関する国際学会は近年増加傾向にあり、中国等を含め、国際的に研究開発が活性化している。

③ その他の組織

サンシャイン計画は、初めての通商産業省主導の産学連携プロジェクトであり、当該分野の産学の研究開発交流を促進した。サンシャイン計画の第2期より、大学に対して補助金が出るようになった。通商産業省が大学に資金提供をすることに関して当時は様々な声が上がったようであるが、現在にまで至る産学官連携の礎を築いたという意味で非常に評価されるべき取り組みであったと考えられる（複数のメーカー、研究者ヒアリングで同様の指摘があった）。

また、組織面では、1980年のNEDO：独立行政法人 新エネルギー総合開発機構の設立が非常に大きい。太陽電池に関する公的研究開発はそれ以後NEDOを中心に行われることとなった。明確な中核機関が生まれることにより、ビジョンや戦略の一本化につながり、研究開発から実用化、実用化に向けての周辺技術開発等のシナリオとシナリオの実現が果たされた。

その他、太陽光発電の技術開発を担う太陽光発電技術研究組合や、導入普及を促進する新エネルギー財団、太陽光発電協会等の組織も生まれている。

なお、文部科学省の事業によっても、近年、太陽光発電に関連した研究開発プロジェクトが組成されてきている。

- ・科学研究費補助金・特定領域研究：光機能界面の学理と技術（領域設定期間 2001～2006年度）
- ・戦略的創造研究推進事業 CREST：太陽光を利用した独創的クリーンエネルギー生成技術の創出（2009年度～）
- ・戦略的創造研究推進事業さきがけ：太陽光と光電変換機能（2009～2016年）

（3）人材への影響

太陽光発電に関する公的研究開発には、産学で多くの人材を育成した。例えば、京セラでは、「国の委託研究では設備や実験装置等、装置メーカー等と議論をしながら一から作り上げることが多く、装置があつて、データを計測するだけのような開発と異なり、勉強になり非常にいい経験となった」との意見が聞かれた。また、研究者の能力に対しては、国際的な評価も高く、「応用科学の領域では、太陽光発電とマイクロエレクトロニクスにおいて日本は非常に優れている」「太陽電池に関する新しいアプローチに関しては、日本が世界

トップである」と米国 RAND 社によるレポート⁹では、述べられている。

サンシャイン計画当時に参画していた研究者は現在太陽電池メーカー各社の中核として活躍しており、日本の太陽電池産業を牽引している。特に、三洋電機株式会社の桑野幸徳氏は、サンシャイン、ニューサンシャイン計画で中核的な役割を担っており、同社の代表取締役社長まで務めている。

大学、公的研究機関の研究者は 1980 年代と比較して格段に増加している。代表的なものだけでも、独立行政法人産業技術総合研究所太陽光発電研究センター（近藤 道雄センター長）、東京工業大学の太陽光発電システム研究センター（センター長小長井誠教授）、豊田工業大学の超高効率光起電力変換共同研究推進センター（センター長山口 真史 教授）等の研究拠点が形成されている。その他全国の主要総合大学、工業大学には多くの太陽電池研究者が研究を進め、次世代の人材育成を進めている。

一方太陽電池業界においては、サンシャイン計画への参画研究者が現時点でもトップランナーとして研究開発を進めている点が特徴的である。研究者ヒアリングでは、次を担う人材が不足しており、人材の再生産が必要との指摘があった。

人材の新陳代謝（世代交代）がスムーズに行われていない可能性を示唆しており、今後の公的研究開発を通じて、分野を牽引するようなリーダーの存在が期待される。

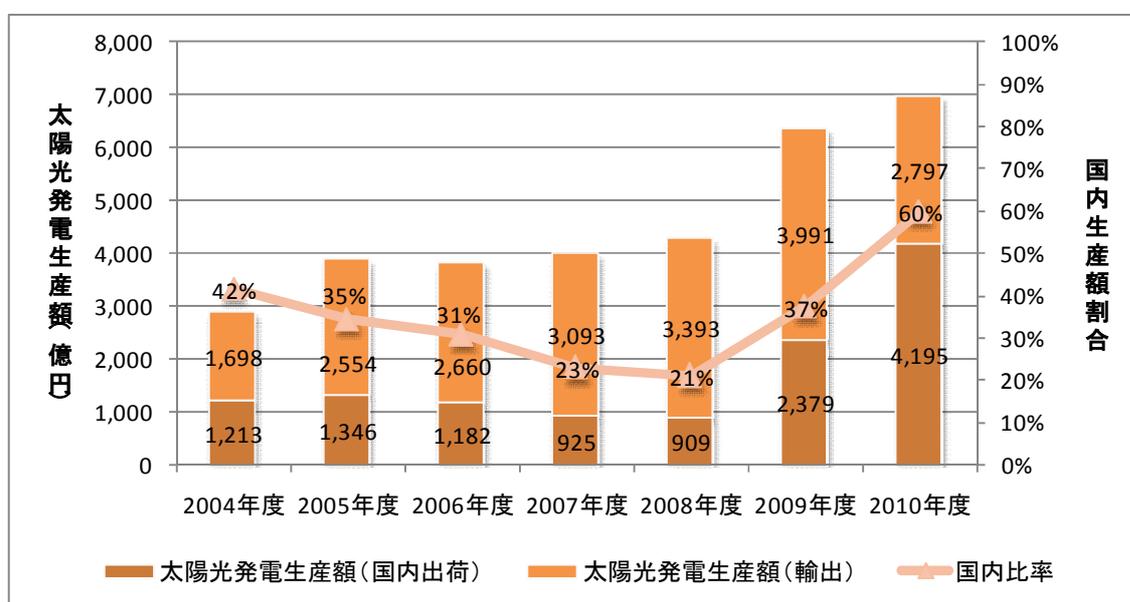
⁹ RAND 「Japanese Science and Technology Capacity」 2010、文部科学省委託調査

3. 2. 3 経済効果

(1) 市場創出への寄与

国内企業による太陽光発電（セル・モジュールとシステムの一部を含む）の生産額を図表 3-39 に示す。2004 年度の約 2,900 億円から 2010 年度の約 7,000 億円まで、年平均 117% の成長市場である。2004 年以降ドイツ等の市場の成長に伴い、日本企業も輸出割合が 5 割を超えるようになってきている。国内市場は補助金の減額、打ち切りにより、2007 年度～2008 年度は市場が減退したものの、2009 年の補助金の再開及び余剰電力買取価格の増大により今後は急速な市場拡大が見込まれている。この市場について、現在では 9 割近くを結晶 Si 太陽電池が占めているが、今後は、有機系や薄膜系の太陽電池の市場増加が期待される。

図表 3-39 国内企業による太陽光発電生産額



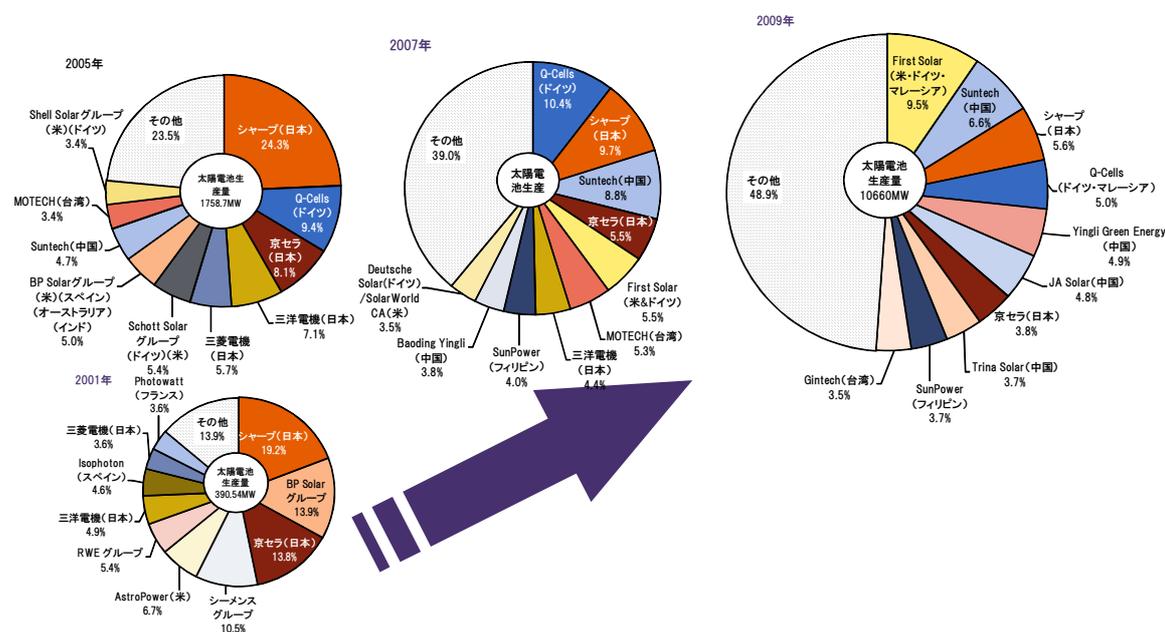
※ 生産額合計は、光産業国内生産額調査より。輸出入の割合は生産量ベースの割合を生産額合計に掛けて推計している。

出所：財団法人光産業技術振興協会「光産業国内生産額調査」2006～2010 及び太陽光発電協会データから MRI 作成

生産量ベースでの世界の太陽電池メーカーのランキングの近年の推移を図表 3-40 に示す。2001 年から 2005 年まではシャープが世界トップシェアを誇っていたが、2007 年にはドイツの Q-Cells 社に抜かれ、2009 年には米国の First Solar 社、中国の Suntec 社にも抜かれている。米国 First Solar は、国立再生可能エネルギー研究所 (NREL) の支援の下、CdTe 系太陽電池により成功を収めたベンチャー企業である。CdTe 系太陽電池は薄膜化が可能で、ガラス基板上に比較的低温で良質の多結晶膜を形成できることから、低コストで高効率な太陽電池とされている。さらに、First Solar は人件費の安いマレーシアに工場を構えており、更なるコスト削減に取り組んでいる。中国メーカーは安い人件費等を強みにコスト競争力で主に欧州市場に進出し、2009 年にはトップ 10 に 4 社 (Suntec、Yingli Green

Energy、JA Solar、Trina Solar) がランクインしている。さらに、現時点での生産能力は大きくないが、韓国なども研究開発に国を挙げて投資を行っており（韓国政府は 2007 年から 2008 年にかけて、国の研究開発予算を 3 倍の 582 億ウォンにしており、日本を上回る公的投資額となっている¹⁰。また、Sumsong、LG は世界トップクラスの投資を太陽光発電に対して行っている（Ch. Breyer 等（2010）。）、太陽電池市場における競争はますます激しくなると考えられる。太陽電池市場の拡大にもかかわらず、日本企業のシェアは年を経るごとに減少しており、今後の立て直しが必要である。

図表 3-40 太陽電池メーカーのランキング推移（生産量ベース）



出所：NEDO「NEDO30年史」2010（PV News 2008年及び2010年4月号を基に、(株)資源総合システムが推定して作成）

日本における太陽電池の普及は 1990 年代初頭に急速に拡大した。それには、大きく分けて 3 つの理由が考えられる。

1 つ目は、公的研究開発により太陽電池の性能が大きく向上したことである。この時期に変換効率 10% を達成することができ、家庭で利用する電力をほぼ賄うことができる 3kW の太陽光発電システムを屋根に載るサイズで実現することができた。10% という変換効率は、サンシャイン計画開始当初より普及の初期段階を想定して設定された目標であり、それを達成することにより、後述する補助金等の導入支援が現実的になった。このような技術開発上の成果を得ることができた第一の要因は、1980 年代から 2000 年代にかけて途切れることなく研究開発を進めてきたことにある。欧米のエネルギー企業が撤退し、国家的な支援も減少する中で、日本のみが継続的な支援を続けることにより、多くのシェア獲得に至

¹⁰ IEA 「National Survey Report of PV Power Applications in Korea」2008

る道筋を築くことができたと考えられる。欧米においては、石油価格の低下により、太陽光発電を初めとする自然エネルギーの開発が一時期下火となったが、日本においては公害問題を端緒として環境問題が意識されるようになったことも影響し、太陽光発電の研究開発が国家として継続的に行われることとなった。

2 つ目は太陽電池の設置に関する規制緩和と余剰電力の買取りを可能とした逆潮流が認可されたことである。1990 年に開催された「総合エネルギー調査会・石油代替エネルギー部会」等での議論の結果、電気事業法の政令改正に繋がり、太陽光発電が一般家庭の自家発電力として設置できるようになった。また、同部会での議論で、系統連系の必要性についても主張がなされた。関西電力と電力中央研究所による六甲アイランドでの実証試験により、保安上の問題がクリアされ、逆潮流ありの系統連系ガイドラインが 1993 年度までに定められることとなった¹¹。

3 つ目が 1992 年に始まった余剰電力の買取制度と 1994 年に開始された住宅用太陽電池に対する導入補助金である。技術的な要因と制度的な要因がクリアされた所に、導入への金銭的なインセンティブが加わることにより、太陽光発電の普及は一気に進むこととなった。補助金制度の存在は住宅用太陽電池の導入を国が明示的に促進しているという面で、精神的にも導入家庭の大きな後押しとなった。

太陽光発電は、1990 年代初頭と比較すると、急速に導入量を増やしているが、まだ導入の途に就いたばかりという認識が主流である。環境問題の深刻化や化石燃料の枯渇が近づくにつれ、太陽光発電に対する注目度はより一層高まることとなる。技術開発により、より一層の高効率化、低価格化が必要となるが、太陽光発電システムから生み出される経済効果は今後も急速に拡大していくことが予想される。

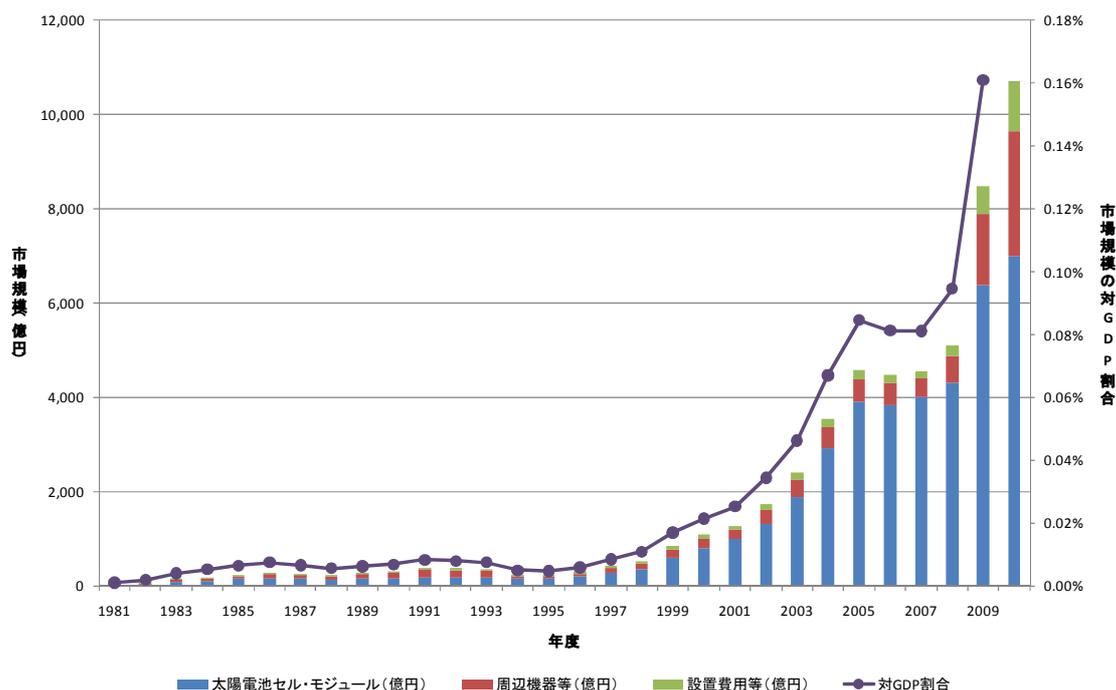
なお、太陽光発電に関する研究は、太陽電池に対して強い思いを持ってきた企業により息長く続けられてきたのが特徴である。例えば、京セラの太陽電池事業は経営トップの思いがベースに存在している。どれだけ国の支援があっても企業のトップが認めなければ事業は続かない。京セラの中で太陽電池事業はある種聖域的な存在となっており、利益が出ない時期もトップの意志により続けてこられた。元々はオイルショックが契機となり、国産の自然エネルギーを普及させるという思いのもとに太陽電池事業に取り組むこととなった。利益が出ずに他のメーカーが撤退、生産停止をする中でも京セラは唯一これまで一度も生産を止めずに事業を行ってきたとのことである（ヒアリングによる）。

¹¹鈴木達治郎・城山英明・松本三和夫（共編著）『エネルギー技術の社会意思決定』（日本評論社、2007 年）第 3 章、pp.56-92.

(2) 経済的インパクト

太陽光発電関連の経済的インパクトを推計したグラフを図表 3-4 1 に示す。2010 年には、1 兆円を超える経済的インパクトとなっており、1981 年から 2010 年の累計で、5 兆 5,000 億円の経済的インパクトが創出されていると推計される。経済的インパクトの内訳は、太陽電池セル・モジュールの生産額、インバーター等周辺機器の生産額、設置費用を含んでいる。経済的インパクトの増加に応じて、GDP に対する比率も向上している。

図表 3-4 1 太陽光発電に関する経済インパクト



※ 推計の前提は以下のとおり

- 太陽光発電協会の経年の生産量（1981年～2009年）をベースに推計。
- 太陽光発電システム設置 1kW 当たりの価格を光産業国内生産額調査、関西光発電普及促進委員会、新エネルギー産業ビジョンより取得（欠損値については推計）。
- セル・モジュールの国内生産に対しては、周辺機器、設備費用の値を推計し合算。輸出分については、セル・モジュール生産額のみ合算。

出所：太陽光発電協会データ、財団法人光産業技術振興協会「光産業国内生産額調査」2006～2010、新エネルギー産業ビジョン（2004年）等より MRI 推計

我が国の太陽電池産業は、ドイツやスペイン等の欧州諸国の需要拡大に合わせて輸出量を増加させており、以前と比較して輸出産業としての側面を強めている。研究開発、セル・モジュールの国内生産、システム組立て等を含めた国内雇用者は 2009 年において、約 2.7 万人と推計されており、2002 年の約 1 万人から大きく増加している。全雇用者数に占める太陽光関連雇用者数の割合で見ると、チェコが 0.17%と最も高く、ドイツが続くこととなる。

図表 3-4 2 2009 年雇用者数（研究開発関連、製造組立関連）

	太陽光関連雇用者数 (研究開発関連、製造組立関連)	全雇用者数に占める太陽光関連雇用者数の割合
ドイツ	65,000	0.16%
米国	46,000	0.03%
日本	26,700	0.04%
フランス	8,470	0.03%
イタリア	8,250	0.04%
チェコ	8,100	0.17%
韓国	6,500	0.03%
オーストラリア	5,300	0.05%
マレーシア	3,172	0.03%
オーストリア	2,870	0.09%

※マレーシアの全雇用者数は 2005 年の値、中国は IEA 未加入のため、データなし
 出所：IEA「TRENDS IN PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS」2010、IMF・World Economic Outlook より MRI 作成

以上の様に太陽電池産業は大きな経済的インパクトを生み出しており、その基盤となる太陽電池製造技術やシステム化技術は公的研究開発の結果生み出されたものと考えることができる。

(3) 産業構造転換・活性化の促進

太陽電池産業においては、基板からセル、モジュールを製造する太陽電池メーカーの他に、シリコン等の原料メーカーや製造装置メーカー、システム周辺機器メーカーが太陽光発電システムの製造に携わっている。また、システムの施工には、住宅メーカー、建材メーカー、ゼネコン、工務店等様々な事業主体が関わっている（図表 3-4 3 参照）。

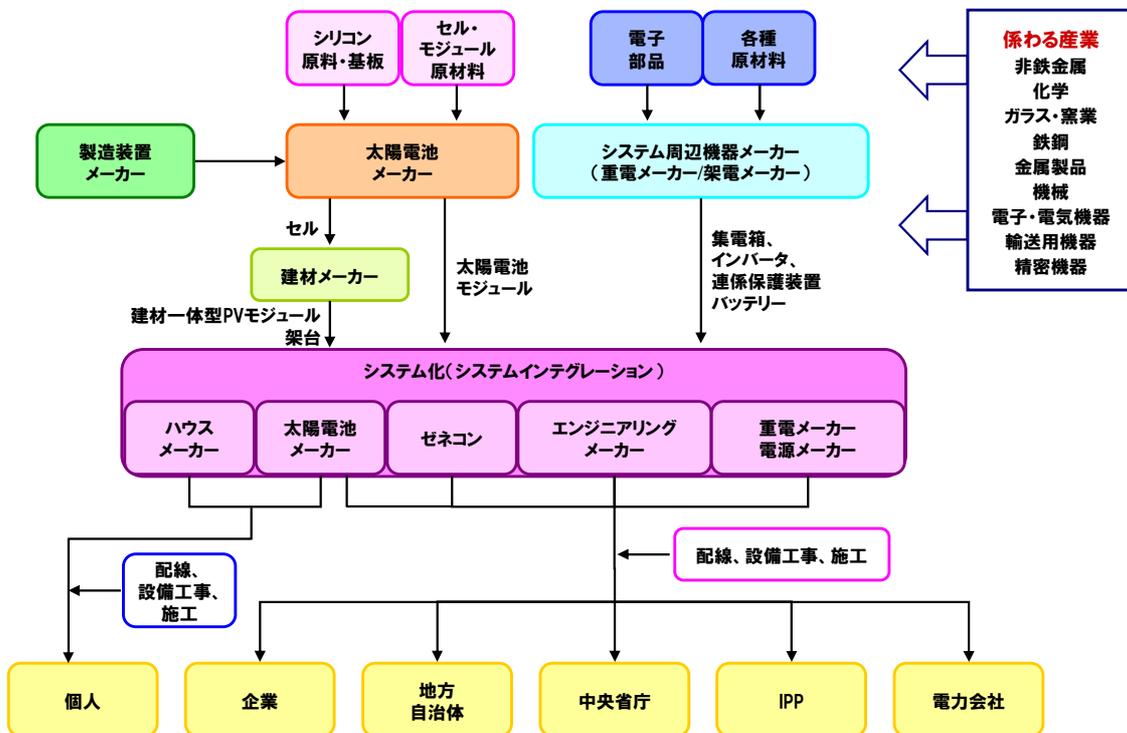
トクヤマや三菱マテリアル等のシリコン原料メーカーの多くは半導体産業への供給が主要事業であるが、太陽電池市場の拡大とともに、太陽電池向けシリコンの増産や専用製造法の開発を進めている。太陽光発電関連部材は日本企業の競争力が高く、例えば、封止材の原料として主流な EVA 樹脂は東ソー、住友化学のシェアが高い。また、日本ソーラーシ

システム等の新規参入も増加している。同様の構造は製造装置メーカーでも生じている。

このように、太陽電池産業の発展に伴い、非常に裾野の広い産業群が生み出されたといえる。公的研究開発プロジェクトは、原料製造から、システム化技術まで全てをカバーしており、これら産業を支える基盤的な技術を提供する等、大きな寄与を果たしている。また、太陽光パネルのリサイクル技術等の開発や有機太陽電池の開発が進められており、今後更なる裾野の拡大が期待される。

また、この他にも IPP 事業 (Independent Power Producer : 独立系発電事業者) や CDM (クリーン開発メカニズム) を活用した開発途上国での事業展開も可能となっている。全量買取が実現すれば、わが国でも IPP 事業者は大きく増加すると考えられる。CDM 事業については、日本の技術力を国際貢献に生かせる場であり、今後の積極的な展開が期待される。金融機関等からの期待も高い事業領域である。

図表 3-4 3 太陽電池システム関連産業



出所：資源総合システム資料

国内の太陽電池産業は、2005年の政府による補助金打ち切りにより、いったん減少傾向となったが、2009年に補助金が再開され、さらに従来の2倍程度となる新たな買取制度が開始される(初年度：一般住宅48円/kWh、事務所・工場：24円/kWh)事により、今後の需要拡大と周辺産業への波及効果が期待されている。

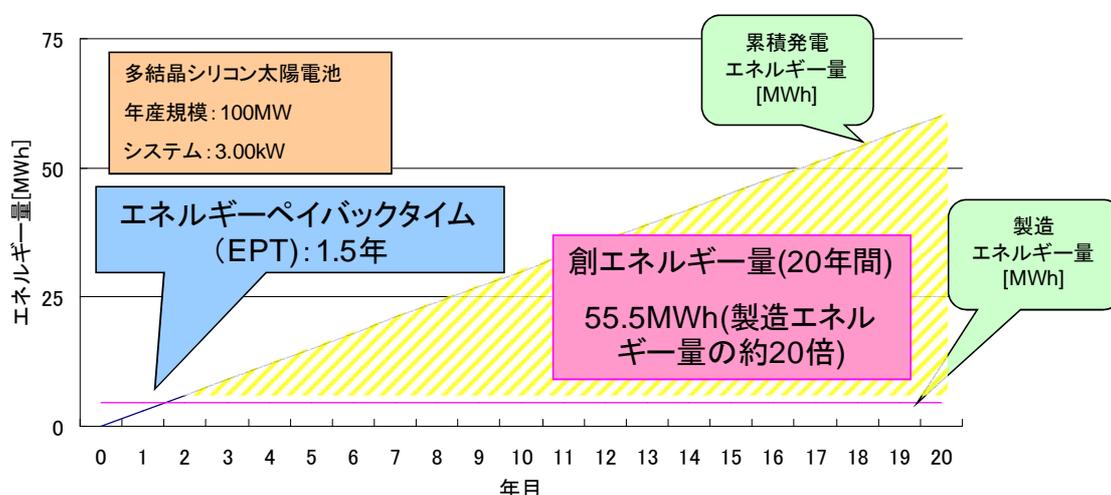
3. 2. 4 国民生活・社会レベルの向上効果

(1) エネルギー問題への影響

サンシャイン計画当初は限りある化石燃料の代替エネルギー開発として太陽光発電技術の開発が行われた。1980年代から地球環境問題が顕在化し開発の目的がシフトしていった側面もあるが、資源がない我が国にとって、膨大なエネルギーを持つ太陽の活用は最重要課題であった。

図表 3-4 4 に示すように、3kW の太陽電池システムを導入した場合、製造時に要したエネルギーは 1.5 年で回収でき、20 年間で製造エネルギーの約 13 倍もの創エネルギー効果があるとされている。

図表 3-4 4 太陽光発電システムのエネルギーペイバックタイムと創エネルギー量



出所: NEDO 成果報告書「太陽光発電評価の調査研究」、太陽光発電技術研究組合、(2001.3)

また、石油輸入に大きく依存する我が国のエネルギー環境において、100%国産のエネルギーである太陽光発電システムの普及はエネルギー安全保障という観点からも大きなインパクトがある。2009年8月26日に出された総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会の「長期エネルギー需給見通し(再計算)」においては、太陽光発電の導入量は2020年に2005年比20倍(設備容量:約2800万kW、発電量:原油換算で700万kL相当)と見直された(2008年の見通しでは、10倍の原油換算350万kL相当とされていた)(図表3-45参照)。この最大導入ケースでは、新エネルギーで、1次エネルギーの国内供給の5%、太陽光発電で1.4%を占める見通しとなっている。当該見通しでは、その導入目標を達成するために、「新たな買取制度の実施・運用」や「初期コストの低減」、「系統安定化対策」等による加速度的な導入量の増加が必要とされている。

当初目的である化石燃料代替や、2050年に二酸化炭素を半減といった目標に対しては、再生可能エネルギーの導入、省エネ、排出権取引などの手法を組み合わせることが必要である。太陽光発電の寄与は現時点ではわずかであるが、前述の目標達成に向け、太陽光発電の大幅な拡大が必要であり、そのような目標設定がなされている。

図表 3-4 5 新エネルギーの導入見通し

(原油換算万kL)

	2005年度	2020年度		2030年度	
	実績	現状固定ケース・ 努力継続ケース	最大導入ケース	現状固定ケース・ 努力継続ケース	最大導入ケース
太陽光発電	35	140	700	669	1,300
風力発電	44	164	200	243	269
廃棄物発電+バイオマス発電	252	364	408	435	494
バイオマス熱利用	142	290	335	402	423
その他※	687	707	812	638	727
合計	1,160	1,665	2,455	2,387	3,213

※「その他」には、「太陽熱利用」、「廃棄物熱利用」、「黒液・廃材」等が含まれる。

「黒液・廃材等」の導入量は、基本的にエネルギー需給モデルにおける紙パの生産水準に依存するため、モデルで内生的に試算する。

出所：資源エネルギー庁「長期エネルギー需給見通し」2008

2020年最大導入ケースについては「長期エネルギー需給見通し」2009

(2) 環境問題への影響

近年地球温暖化問題が顕在化するにつれ、二酸化炭素削減の必要性が全世界的に認識されている。3kWの太陽光発電システムを設置した場合、一般家庭からの二酸化炭素排出量の約30%（年間約1,000kg）をカットできることになる。年間1,000kgの二酸化炭素とは、森林1,000㎡分の二酸化炭素吸収能力に相当する。

製造工場の規模にもよるが、太陽光発電の導入に伴い1kW当たりの年間350kg前後の二酸化炭素削減効果が見込まれている。2008年時点では国内では、累積2,144MWの導入がなされているため、750万t程度の二酸化炭素が削減されたと推計される。

図表 3-4 6 太陽光発電システムの二酸化炭素削減可能量

	年産規模	多結晶シリコン太陽電池		アモルファスシリコン太陽電池		CdS/CdTe太陽電池	
		屋根設置型	屋根一体型	屋根設置型	屋根一体型	屋根設置型	屋根一体型
1kW当たりの年間CO ₂ 削減可能量 (kg-C/kW、 ()内：kg-CO ₂ /kW)	30MW	93 (339)	94 (345)	99 (364)	109 (401)	100 (367)	101 (370)
	100MW	98 (360)	99 (364)	104 (381)	113 (416)	103 (378)	104 (383)

出所：NEDO 成果報告書「太陽光発電評価の調査研究」太陽光発電技術研究組合、(2001.3)

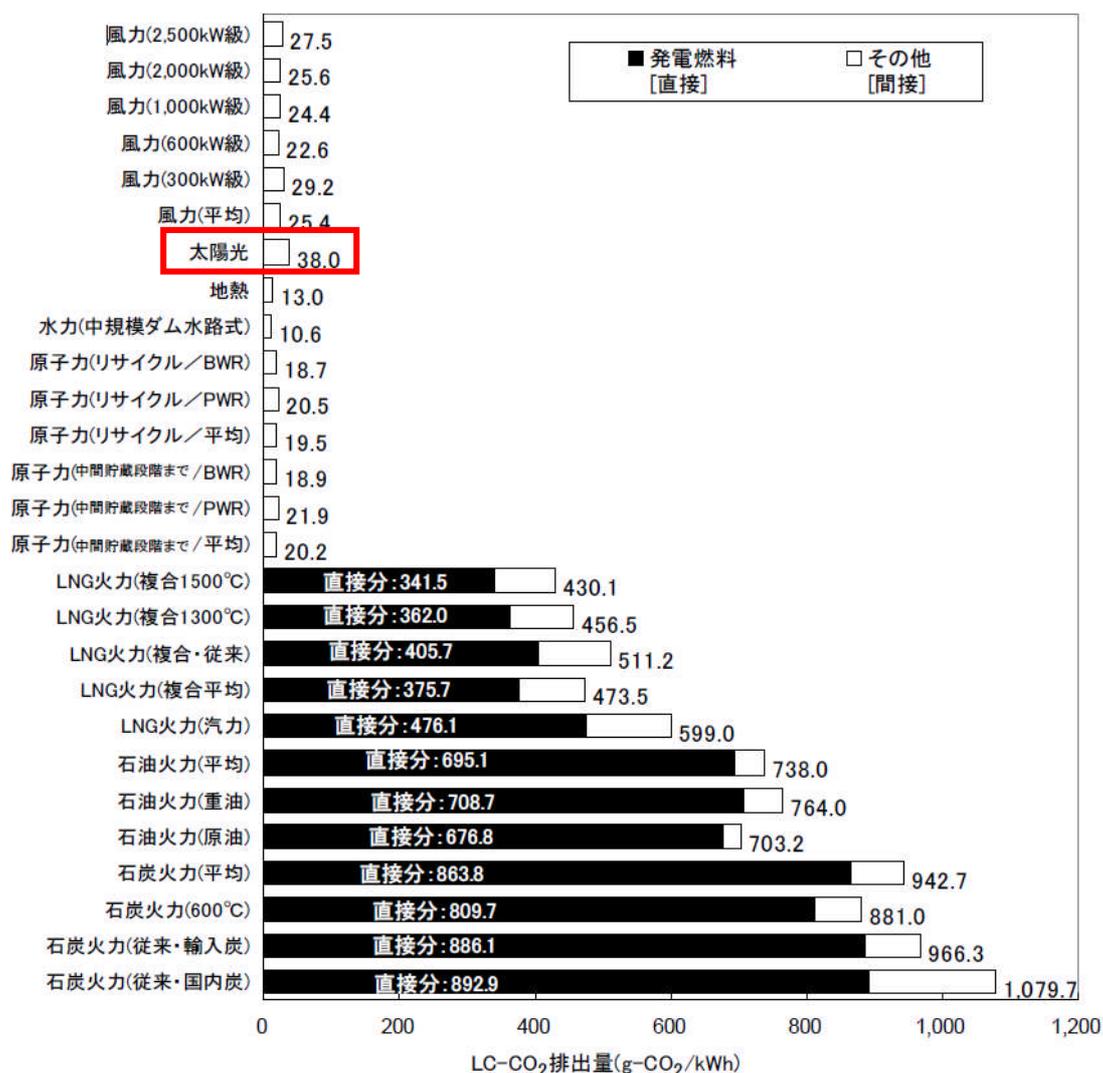
太陽光発電は風力発電等と同様で、発電時の二酸化炭素排出はほぼゼロである。しかし、製造時にはある程度の二酸化炭素排出（エネルギー投入）が必要となるため、太陽光発電に関しても環境負荷が高いとの議論がある。

図表 3-4 7に電力中央研究所が実施した、電源別のライフサイクルにおける二酸化炭素排出量の分析結果を示す。太陽電池に関しては、耐用年数30年とし、太陽電池モジュール及び、コンバーター等の周辺機器の製造に関する二酸化炭素排出も考慮している。

その結果、ライフサイクルで見ると太陽光発電は風力発電や原子力発電と比較すると、

若干排出量は多いが、石炭火力、LNG火力等の既存電源と比較して、二酸化炭素排出量は非常に低いことが分かる。

図表 3-47 2009年時点で得られたデータに基づく電源別 LC-CO₂ 排出量



出所：電力中央研究所「日本の発電技術のライフサイクル CO₂ 排出量評価」2010

実際の環境問題への貢献の他、太陽光発電は環境教育の題材としても数多く取り上げられている。我が国において導入が進んでいることが、環境教育の効果を向上させていると考えられる。具体的には、「ECO 学習ライブラリー」（環境省&文部科学省）や、「理科ねっとわーく：エネルギーのサイエンス」（JST）、「おしえて！新エネルギー」（NEDO）など、様々な環境教育コンテンツが整備されており、その中の主要な題材として太陽光発電が取り上げられている。また、太陽光発電協会では、2009年に「学校向け太陽光発電と環境エネルギー教育に

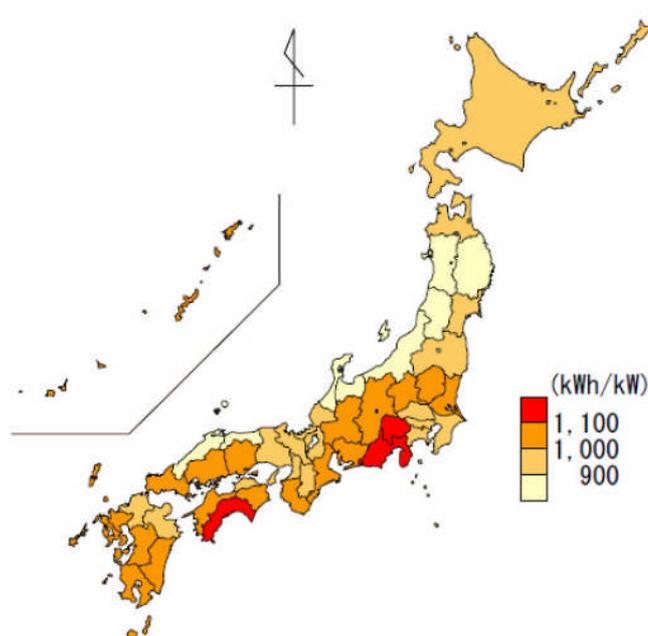
関する検討会」を立ち上げ、スクールニューディール¹²で導入されるであろう太陽光発電システムを活用する、継続的な環境・エネルギー教育の提案を検討している。

メーカー各社も CSR・環境教育には熱心に取り組んでおり、シャープ、京セラ、カネカ、昭和シェル、三菱重工業などが小学校等での出前授業を行っている。

さらに、地域社会に対する活性化、啓蒙効果も存在する。太陽光発電の普及のため、自治体独自の補助制度や、省エネルギービジョンを整備している。例えば、「学校における太陽光発電導入の取組事例」（文部科学省・資源エネルギー庁・環境省）では、先進事例として、東松山市（埼玉県）、川越市（埼玉県）、熊谷市（埼玉県）、市川市（千葉県）、横浜市（神奈川県）、北杜市（山梨県）などが挙げられている。

参考までに、都道府県別の太陽光発電システム 1kW 当たりの年間発生電力量を示す。山梨県、静岡県、高知県などは日射量が多く、1kW 当たりの発電量が多くなるため、太陽光発電の導入効果が高くなることが分かる。

図表 3-48 住宅用太陽光発電の都道府県別年間発生電力量 (kWh/kW)



出所：NEDO「再生エネルギー白書」2010

¹² 2009年4月にとりまとめられた「経済危機対策」において、「スクール・ニューディール」構想が提唱され、「21世紀の学校」にふさわしい教育環境の抜本的充実を図ることとされている。この構想では、学校耐震化の早期推進、学校への太陽光発電の導入をはじめとしたエコ改修、ICT環境の整備等を一体的に推進することとされている。

4. 現在の視点からの一連のプロジェクト群の評価

ここでは、個々の研究開発プロジェクトの概要及びI. に示した効果から、以下の観点により、総合的に検討を行う。

①国家プロジェクトとしての妥当性

- ・国のプロジェクトとしてどのような効果があったか。
- ・現在（追跡評価時点）から見て、国が関与する必要があったか。また、関与の方法や程度は妥当であったか。

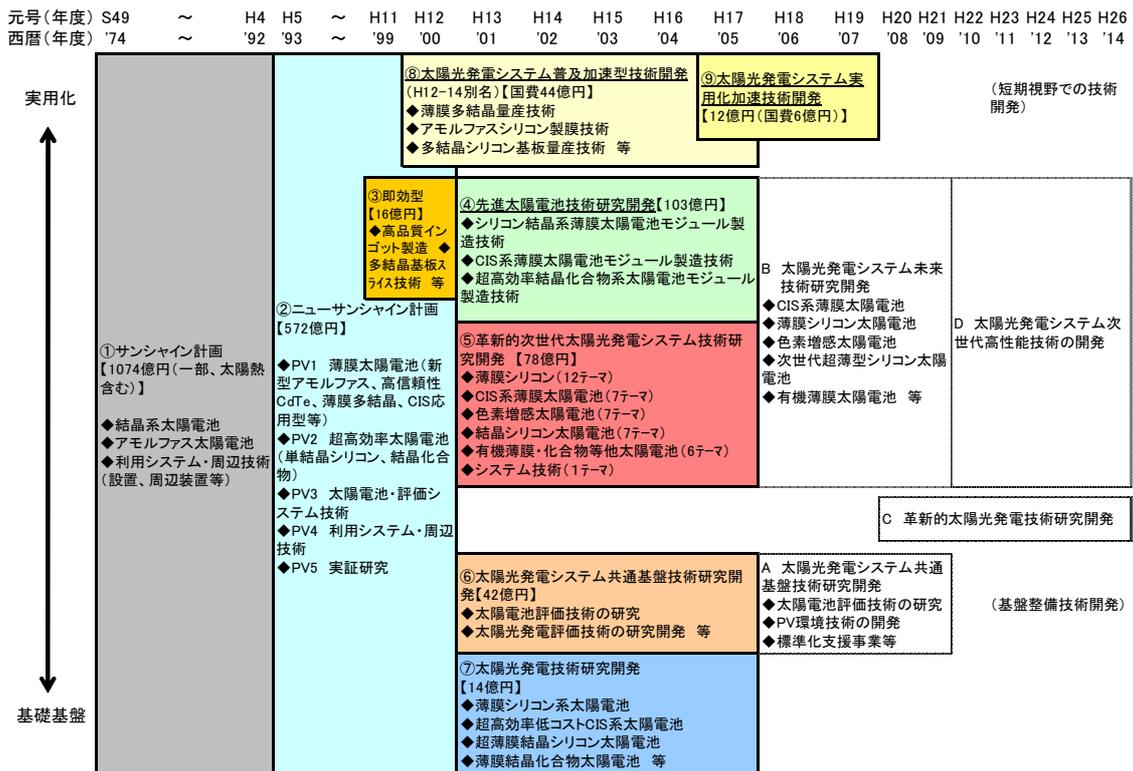
②目標設定

- ・当時の技術動向、市場動向、社会環境、政策目的等から見て、目標設定の方向性とそのレベルは妥当であったか。

③プロジェクト実施方法

- ・個々の研究開発プロジェクトの計画策定、スキーム（予算制度）、実施体制、運営方法等の実施方法が現在の視点から見て妥当であったか。

図表 4-1 参考：太陽光発電研究開発に関連する研究開発プロジェクトの変遷図
(実線囲み部分が評価対象) (再掲)



注：③の正式名称は以下。即効型高効率太陽電池技術開発 (H12-14年度は④先進太陽電池技術研究開発として実施)
⑧のH12-14年度の名称は以下。「太陽光発電システム普及促進型技術開発」

出所：経済産業省及びNEDOによる各プロジェクトの事後評価報告書、太陽光発電ロードマップ(PV2030+) (2009年6月)、「太陽エネルギー技術研究開発」基本計画(平成22年度)をもとに作成

4. 1 一連のプロジェクト群としての総論

ここでは、次頁からの個々のプロジェクトの評価をまとめて、一連のプロジェクト群としての評価の総論を述べる。

4. 1. 1 国のプロジェクトとしての妥当性

(1) 国のプロジェクトとしての効果

我が国の太陽光発電プロジェクトが長期的に継続し、2000年代に世界一の生産量を達成するに至るきっかけは、サンシャイン計画発足時（1974年）に、1990年までに高性能低価格の太陽光発電システムを開発するという大目的を立てたことによる。このことが連続とニューサンシャイン計画に受け継がれ、またサンシャイン計画により達成された成果が基礎となって、一時期世界トップシェアになるまで太陽光発電の産業が成長したことは、大きな効果があったといえる。

特にシリコン結晶系の太陽電池は、現在実用化されて展開しているものの成果のほとんどは、国のプロジェクト成果が全面的に活用されており、また、そこに参画していた企業において研究ノウハウが人材と共に移管され、実用化につながったものと考えられる。

また、結晶系シリコンに比べて生産量は少ないが、薄膜シリコン太陽電池、CIS系薄膜太陽電池については、ニューサンシャイン計画の貢献が大きく、量産が始まっている。

(2) 国が関与する必要性

サンシャイン計画が立てられたころの太陽電池の製造コストはワット当たり数万円と高くこれを約20年で100分の1以下にし、商用電力並みの発電単価を達成しようとする試みは、長期的な取り組みを強いられ、収益を重視する民間企業だけで実施することはほぼ不可能であった。このため、国が関与する必要性は必須であった。その背景が、エネルギー源の確保、環境対応特に地球温暖化対応であり、また結果的に産業誘発が達成できたことから、経済産業省（当時の通商産業省及び工業技術院）が行わなければならない事業であり、関与というより主体的に取り組むことが妥当であった。もしこのような国の関与がなかった場合、太陽電池や液晶技術等で世界でも比較しうる競争力を獲得することはなかったものと考えられる。

ヒアリング調査でも、国のプロジェクトがあったからこそ、企業において太陽光発電関連の事業の継続ができたとの話があり、国の関与は有効に働いたと考えられる。

また、太陽光発電システムの普及のためには、電気事業関連の法制度の見直しが必要不可欠であった。この点は、電力会社の協力がなければ達成できず、その監督官庁として経済産業省が取り組むことも必要であった。特に、逆潮流制度、余剰電力買取制度等と設置補助等の制度制定等、経済産業省の関与は必要不可欠であった。

4. 1. 2 目標設定の妥当性

サンシャイン計画の時点では、具体的な目標として、「太陽光発電システムを他の発電方式と同程度の経済性を有するものとする」「第一課題として太陽電池の大幅なコストダウンを図り、ワットあたり100～200円の価格（1990年にその当時の価格の100分の1以下とする）」「1995年には、210万戸の住宅と1万棟のビルに設置し、総発電量750万kW

とする」の3点が設定されていた。このような、電気事業電力コストに匹敵しうる発電コストを太陽光発電で達成することを特に技術開発により達成しようとしたコンセプトは、その後のニューサンシャイン計画、また2000年以降のNEDO5カ年計画の土台を支え続けることになる。当時、第一次石油危機、第二次石油危機の影響を受けた中、サンシャイン計画への国民の関心は高く、新たな電力需要にみあう新エネルギー電源への期待は高かった。このように、長期的に具体的な目標設定を行ったことはその後の研究開発を支える上で、重要であり高い効果を生むことになったと考えられる。

その後、1989年ころから地球温暖化問題が顕在化すると、従来のエネルギー問題解決のための太陽光発電の開発といった目的に加え、二酸化炭素削減のための新エネルギー発電システムとして新たな目的が加わってくる。この結果、明確な目標設定として記載されているものはないものの、家庭への太陽光発電の設置が目指されることになった。この家庭への太陽光発電の設置は、「系統連系された多数の分散設置太陽光発電システムが配電系統を通して運用されることで、大規模発電所の役割を果たす」という概念で、1977年にはサンシャイン計画推進本部により提案されており、当時の計画に先見の明があったことを示している。

4. 1. 3 プロジェクト実施方法の妥当性

サンシャイン計画においては、太陽光発電だけでなく、太陽熱、地熱、石炭のガス化、水素エネルギー技術というように、並行して複数の技術的シーズへの取り組みがなされ、その中で有望な技術を伸ばしていく仕組みがとられた。この方式は、後の時代になっても考え方としては残っており、「革新的次世代太陽光発電システム」（平成13年度～平成17年度）では40テーマもの将来に向けた技術シーズの種まきが行われた。

研究開発の遂行のためには、複数のテーマに分けて関心の高い企業に研究を委託する方式がとられてきた。この中で、太陽電池のリーダー企業が生まれてきたことは特筆に値する。最初は、多結晶系で先行し世界トップにまで躍り出たシャープ等の活躍、次には、薄膜シリコンに注力し同分野では量産に移行したカネカ、CIS系シリコン薄膜で積極的に設備投資を行っている昭和シェル等である。

研究開発テーマの選定も工夫がみられた。サンシャイン計画発足当初は、太陽電池製造に関する研究のみであったが、1970年代末にはシステム研究が加えられた。この当時から、系統連系された多数の太陽光発電システムが分散配置されれば、石油代替エネルギーを生み出す発電所の機能を果たすと考えた点は特筆に価する。

また、住宅用システムを考えその電力系統との連系を考える絵を描き、蓄電装置のコスト低減の必要性等が訴えられ、プロジェクト化されたことが、その後の太陽光発電開発に大きく影響を及ぼした。特に、NEDO発足の折に、シリコン原料からモジュール組み立てラインまでを含めた「年産500kW級太陽電池製造ライン」の開発プロジェクトが立ち上げられ、プロジェクトの適切な配置がなされていった。この7工程別に6社あるいは単独連合の7チームに委託され、実際に太陽電池モジュールの実証生産を実施しようとする挑戦的な計画となった。システム系のプロジェクトに関しては、図表3-10のように様々な系統連系の可能性を追求するものとなっている。発電量の基礎調査等の電力系統に太陽電池を組み入れる調査に加え、個人用住宅システム、集合住宅用システム、学校用システム、

工場用システム等の個々の対象ごとのシステム研究が行われ、実用化を見据えた研究がなされた。さらに、集中配置型太陽光発電システムや分散配置型太陽光発電システム等の将来の大規模発電システムを見据えた研究も取り入れられた。このことが、四国西条における 1986 年の電気事業用 1MW 発電所実験、六甲アイランドの 200kW 発電実証実験等に発展し、その後の電気事業法改正や余剰電力買取制度につながり、太陽電池の市場拡大と大量生産に結実していくこととなった。

以上のように、本事業は比較的早い段階からシステム研究を取り入れる等、事業の適切な配置と事業間の連系が構想されて始まっていたことは高く評価できる。

4. 2 サンシャイン計画（昭和 49 年度～平成 4 年度）で実施された太陽光発電に関する研究開発

4. 2. 1 国のプロジェクトとしての妥当性

（1）国のプロジェクトとしての効果

（4. 1 と繰り返しになるが）我が国の太陽光発電プロジェクトが長期的に継続し、2000 年代に世界一の生産量を達成するに至るきっかけは、サンシャイン計画発足時（1974 年）に、1990 年までに高性能低価格の太陽光発電システムを開発するという大目的を立てたことによる。このことが連綿とニューサンシャイン計画に受け継がれ、またサンシャイン計画により達成された成果が基礎となって、一時期世界トップシェアになるまで太陽光発電の産業が成長したことは、大きな効果があったといえる。

太陽光発電はその成果が十分活用されたプロジェクトの一つである。特にシリコン結晶系の太陽電池は、現在実用化されて展開しているものの成果のほとんどは、国のプロジェクト成果が全面的に活用されており、また、そこに参画していた企業において研究ノウハウが人材と共に移管され、実用化につながったものと考えられる。

太陽光発電プロジェクトは、単に材料やモジュールの開発に留まらず、当初からシステム化研究を立ち上げ、そのことが普及促進を促す制度制定等の基礎となっていく等、それぞれのプロジェクト形成とその成果が的確に生まれてきた。

（2）国が関与する必要性

（4. 1 と繰り返しになるが）サンシャイン計画が立てられたころの太陽電池の製造コストはワット当たり数万円と高くこれを約 20 年で 100 分の 1 以下にし、商用電力並みの発電単価を達成しようとする試みは、長期的な取り組みを強いられ、収益を重視する民間企業だけで実施することはほぼ不可能であった。このため、国が関与する必要性は必須であった。その背景が、エネルギー源の確保、環境対応特に地球温暖化対応であり、また結果的に産業誘発が達成できたことから、経済産業省（当時の通商産業省及び工業技術院）が行わなければならない事業であり、関与というより主体的に取り組むことが妥当であった。もしこのような国の関与がなかった場合、太陽電池や液晶技術等で世界でも比較しうる競争力を獲得することはなかったものと考えられる。

ヒアリング調査でも、国のプロジェクトがあったからこそ、企業において事業の継続ができたとの話もあり、国の関与は有効に働いた。

また、太陽光発電システムの普及のためには、電気事業関連の法制度の見直しが必要不可欠であった。この点は、電力会社の協力がなければ達成できず、その監督官庁として経済産業省が取り組むことも必要であった。特に、逆潮流制度、余剰電力買取制度等と設置補助等の制度制定等経済産業省の関与は必要不可欠であった。

4. 2. 2 目標設定の妥当性

（4. 1 と繰り返しになるが）具体的な目標として、「太陽光発電システムを他の発電方式と同程度の経済性を有するものとする」「第一課題として太陽電池の大幅なコストダウンを図り、ワットあたり 100～200 円の価格（1990 年にその当時の価格の 100 分の 1 以下とする）」「1995 年には、210 万戸の住宅と 1 万棟のビルに設置し、総発電量 750 万 kW」

などが設定された。このような、電気事業電力コストに匹敵しうる発電コストを太陽光発電で達成することを特に技術開発により達成しようとしたコンセプトは、その後のニューサンシャイン計画、また2000年以降のNEDO5カ年計画の土台を支え続けることになる。当時、第一次石油危機、第二次石油危機の影響を受けた中、サンシャイン計画への国民の関心は高く、新たな電力需要にみあう新エネルギー電源への期待は高かった。このように、長期的に具体的な目標設定を行ったことはその後の研究開発を支える上で、重要であり高い効果を生むことになったと考えられる。

その後、1989年ころから地球温暖化問題が顕在化すると、従来のエネルギー問題解決のための太陽光発電の開発といった目的に加え、二酸化炭素削減のための新エネルギー発電システムとして新たな目的が加わってくる。この結果、明確な目標設定として記載されているものはないものの、家庭への太陽光発電の設置が目指されることになった。この家庭への太陽光発電の設置は、「系統連系された多数の分散設置太陽光発電システムが配電系統を通して運用されることで、大規模発電所の役割を果たす」という概念で、1977年にはサンシャイン計画推進本部により提案されており、当時の計画に先見の明があったことを示している。

4. 2. 3 プロジェクト実施方法の妥当性

(4. 1と繰り返しになるが) サンシャイン計画発足当初は、太陽電池製造に関する委託研究のみであったものの、1977年にサンシャイン計画本部が太陽光発電の電力利用には、システム研究が重要であることを認識し、計画に加えられることになった。特にこの当時から系統連系された多数の太陽光発電システムが分散配置されれば、石油代替エネルギーを生み出す発電所の機能を果たすと考えた点は特筆に値する。住宅用システムを考えその電力系統との連系を考える絵を描き、蓄電装置のコスト低減の必要性等が訴えられ、プロジェクト化されたことが、その後の太陽光発電開発に大きく影響を及ぼした。特に、NEDO発足の折に、シリコン原料からモジュール組み立てラインまでを含めた「年産500kW級太陽電池製造ライン」の開発プロジェクトが立ち上げられ、プロジェクトの適切な配置がなされていった。この7工程別に6社あるいは単独連合の7チームに委託され、実際に太陽電池モジュールの実証生産を実施しようとする挑戦的な計画となった。システム系のプロジェクトに関しては、様々な系統連系の可能性を追求するものとなっている。発電量の基礎調査等の電力系統に太陽電池を組み入れる調査に加え、個人用住宅システム、集合住宅用システム、学校用システム、工場用システム等の個々の対象ごとのシステム研究が行われ、実用化を見据えた研究がなされた。さらに、集中配置型太陽光発電システムや分散配置型太陽光発電システム等の将来の大規模発電システムを見据えた研究も取り入れられた。このことが、四国西条における1986年の電気事業用1MW発電所実験、六甲アイランドの200kW発電実証実験等に発展し、その後の電気事業法改正や余剰電力買取制度につながり、太陽電池の市場拡大と大量生産に結実していくこととなった。

以上のように、本事業は比較的早い段階からシステム研究を取り入れる等、事業の適切な配置と事業間の連系が構想されて始まっていたことは高く評価できる。

4. 3 ニューサンシャイン計画（エネルギー・環境領域総合技術開発推進計画）（平成 5 年度～平成 12 年度）で実施された太陽光発電に関する研究開発

4. 3. 1 国のプロジェクトとしての妥当性

（1）国のプロジェクトとしての効果

効果については、サンシャイン計画から引き継がれたニューサンシャイン計画もサンシャイン計画の効果と同等である。さらに、ニューサンシャイン計画で実施された建材一体型モジュールの開発は、屋根瓦や外壁等に活用され、現在も家庭、業務等において、活用されている点が上げられる。

（2）国が関与する必要性

日本のようにエネルギーに恵まれない国において、国が長期的な見通しを立てずに、民間の自由競争のみに任せると、資源枯渇、二酸化炭素増加、環境破壊等の弊害が出てくる恐れがある。太陽電池の普及は、公共の利益を考慮すれば経済原理を超えて国あるいは国際協調の中で推し進めていくべきテーマである。つまり、市場原理の身に委ねるのではなく、そこに国が関与し、その進捗速度を積極的に制御する必要がある。

長期間を要する開発は、継続性がないことが人材を散逸させ、後継者の育成を困難にし、もったも成果を阻害する。継続性を確保する為には国による長期開発計画が示されることが重要である。

4. 3. 2 目標設定の妥当性

2000 年度までに一般家庭の電気料金レベルと同等の、2010 年までにそれを下回る発電コストにする技術を確立する目標を掲げたことや、変換効率、サイズ、材料基板、建材一体型、蓄電池の具体的な目標が設定されていることが評価される。

国の導入見通しとしては、総合エネルギー調査会において 2010 年までに導入目標 500 万 kW を掲げており、これを踏まえて太陽電池製造技術では 2030 年までを、導入加速期、短期、短・中期、長期と分けて、その実用化に向けて進めている。

短期目標としては、太陽電池製造コストを 140 円/W と設定しているのは、電気料金レベルと同等の発電コストであり、太陽電池の現状コスト、普及の度合いを考えるとやむをえないが、中・長期的に 100 円/W と電気料金を下回るレベルに設定していることが重要である。ただし、2010 年における導入目標 500 万 kW は現状の普及の進捗状況や、実際の発電コストが目標より依然としてかなり高いことを勘案すれば、達成の困難が予測され、目標達成のため、太陽電池発電コストの引き下げ努力が必要としている。

なお、発電コストについては、シミュレーション等の手段を用いて、工学的な裏づけをベースにして研究開発を進めるべきであろうとの指摘があった。

4. 3. 3 プロジェクト実施方法の妥当性

（1）計画内容の具体性、妥当性

実用化への揺籃期ともいえる 2000 年までについては、支援の対象を広く設定したことは妥当であり、本プロジェクトでなすべき課題は明確化されている。

太陽電池の製造技術開発とシステム技術開発の両面からのアプローチは妥当であった。

前社は将来の低コスト太陽電池を目指し、後者の多くは現用の太陽電池を実用化するための課題であるので、フェーズが異なる。ただし、各要素技術間の連携は、一定程度は行われているように見えるが、改善の余地も大きいのではないか。

一方、本プロジェクトは、地味な努力が強いられ、反面、物性基礎にも立ち返って長期的研究を続けなければならない宿命を負わされており、新規性・独創性に富んでいると必ずしもいえない。また、開発期間が全般に長すぎるという印象がある。むしろ国費を集中的に投入して、必要なマンパワーを投入し、時間管理を徹底することで研究の促進を図るべきではないかとの指摘がある。

さらに、導入目標 500 万 kW としたときの原料資源量の評価とライフサイクルアセスメント (LCA) も必要となろう。現在、本プロジェクトにおいては、LCA は行われているが、更なる推進が望まれている。長期かつ多岐にわたる研究開発が総花的に行われてきたともいえる本プロジェクトにおいて、CIS や CdTe 等、環境負荷に配慮しつつ太陽電池の開発を国として支援するかどうかという問題について検討、変換効率の圧倒的な高さを誇る超高効率結晶化合物系太陽電池開発については、波及効果を考慮した上で、今後、実用化研究、基礎研究を連携しつつ実施する必要がある。

(2) 実施体制選択の妥当性

研究開発推進方法の詳細は必ずしもはっきりしないが、国研、大学、企業の役割分担は概ね適切に行われていると考える。太陽光発電技術研究組合 (PVTEC) には、多くの企業が参画しており、太陽電池ハウスの点から住宅産業関連企業が多く見受けられることは評価できる。太陽電池製造技術開発において複数企業に競争させたことは、より高い目標をクリアするために有効であり、かつ、産官学から多くが参加していることは評価できるが、互いの成果、ノウハウをより一層提供し、共有できるよう更なる協力が求められる。

4. 4 即効型高効率太陽電池技術開発（平成 11 年度～平成 12 年度※）

※平成 13 年度から先進太陽電池技術研究開発に統合。平成 14 年度に研究開発終了。

4. 4. 1 国のプロジェクトとしての妥当性

（1）国のプロジェクトとしての効果

本プロジェクトは、従来のシリコン多結晶型太陽電池と比べて、より高効率化・低コスト化を早期に可能とする薄型多結晶シリコン太陽電池の製造技術開発を実施し、新エネルギーとしての太陽光発電システムの導入促進に資することを目的とし、①高品質インゴット製造技術開発、②薄型・大面積多結晶基板スライス製造技術開発、③高効率セル化技術開発の3つについて研究開発を行った。事業規模は16億円（実績）であり、他のプロジェクトと比べて小規模である。

研究開発成果は、ほぼ目標を達成した（事後評価報告書）。実用化・事業化については、2003年の時点で既に、高品質インゴット製造技術開発で開発したシリコンの凝固制御法は、現在工業的に行われている通常キャスト法にも適用でき、その知見の一部は既にシリコンインゴット品質向上に役立っていた。

（2）国が関与する必要性

事後評価では、以下のように評価された。

太陽電池はわが国のエネルギー・環境政策にとって重要な技術の一つであるが、その発展は生産コスト低減にかかっている。現在の技術の延長でどこまで高効率、低コストを実現できるかを確かめ、その過程で生まれた技術を直ちに実用に生かす本プロジェクトは、技術的発展がそのまま新市場の拡大につながる太陽光発電分野では有効であった。この認識は、現在の視点から見ても、同じと考えられる。

4. 4. 2 目標設定の妥当性

事後評価でも述べられているとおり、本プロジェクトにおいてはコストと効率という明解な開発目標を設定し、その変換効率 20%の目標は多結晶セルでは極めて高い戦略的レベルであった。

4. 4. 3 プロジェクト実施方法の妥当性

本制度の委託先は、太陽電池用原料技術研究組合（川崎製鉄、シャープ、京セラ（途中まで））であり、5大学に再委託された。

実用技術に近いこの種の研究開発は、運用によっては本来国が関与すべきでない市場競争の分野に資金を流出し、かえって企業間の競争を阻害することにもなりかねないという危険もあるが、本プロジェクトが明確な開発目標を示して実施したことは、研究開発マネジメント面でそうした危惧を避けようとする努力であったと評価された（事後評価報告書）。

4. 5 先進太陽電池技術研究開発（平成 13 年度～平成 17 年度）

4. 5. 1 国のプロジェクトとしての妥当性

（1）国のプロジェクトとしての効果

本プロジェクトは、薄膜シリコン、CIS 系薄膜、化合物系の 3 つタイプの太陽電池モジュール製造技術について実施された。

薄膜シリコンについては、目標を超える世界最高水準の初期変換効率を達成した。

事業化の面では、薄膜シリコンについては、量産化設備投資がなされ、2007 年度に販売開始された。また、CIS 系薄膜については、20MW 規模でのパイロットプラント建設がなされ 2007 年初から販売開始された（事後評価報告書）。

その後、今日に至るまで、薄膜シリコンのテーマで参加していたカネカは生産能力を急速に急拡大させている。また、CIS 系薄膜のテーマに参加していた昭和シェル石油も生産工場の増設を続けている。積極的な投資意向を持った企業の参画を得て、研究開発プロジェクトを遂行できたことは効果的であり、妥当だったと考えられる。

（2）国が関与する必要性

本プロジェクトが実施された時期は、1990 年代不況の影響が残っており、民間企業のみでの努力によっては達成できなかった成果だと考えられる（事後評価報告書）。

本事業が対象とするシリコン薄膜や化合物半導体の太陽電池は、未だ技術的に黎明期であり、この段階において国の関与は必要であり、その投資効果も十分に高いと考えられる（事後評価報告書）。多額の研究開発費、高い技術的難度等から、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されない場合に相当したと考えられる。

4. 5. 2 目標設定の妥当性

本プロジェクトの目標は、2005 年度までに「一般家庭の電気料金を下回る発電コスト水準を確保できる技術の確立」であり、そのために更なる低コスト化が期待できる薄膜太陽電池等の製造技術を開発することであった。そこで、100MW/年程度の量産規模において、モジュール製造原価を 100 円/W 以下とすることが目標とされた（薄膜シリコン、CIS 系薄膜、化合物系とも）。

本プロジェクト開始後の 2004 年度に策定された「太陽光発電ロードマップ（PV2030）」では、2010 年の開発目標を 100 円/W としているところであり、ロードマップの面からも妥当だったと考えられる（2009 年に改訂された「PV2030+」では 2017 年 75 円/W、2025 年 50 円/W としている）。

4. 5. 3 プロジェクト実施方法の妥当性

本プロジェクトは、NEDO が選定する企業、大学、民間機関、独立行政法人等との間で委託研究契約等を締結し実施する方式を採用した。本研究開発を実施するための基本計画については、外部有識者による策定部会の開催、ワークショップの開催を経て平成 13 年 2 月に作成し、平成 14 年 3 月に改定された。委託先選定は、平成 13 年 3～4 月に公募がなされ、選考委員会において委託先が決定した。

結果として、薄膜シリコンについては、カネカ等、CIS 系薄膜については昭和シェル石

油等が採択されており、それぞれの分野でその後の太陽電池開発をリードする企業が選ばれていたのは、妥当な選択だったと考えられる。

4. 6 革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発（平成 13 年度～平成 17 年度）

4. 6. 1 国のプロジェクトとしての妥当性

（1）国のプロジェクトとしての効果

本プロジェクトは、NEDO5 カ年計画の期間に入り、「先進太陽電池技術研究開発」（先述）、「太陽光発電システム共通基盤技術研究開発」（後述）とともに開始されたものであり、基礎的な技術開発を担うものである。

事後評価の時点で、本事業は、太陽光発電の大幅な低コスト化を可能とする技術シーズの探索研究であるため、目標設定が挑戦的で、高い目標を掲げたテーマが多いこともあり、当初の目論見どおりの成果が得られないテーマも少なくなかったとされている（事後評価報告書）。とはいえ、次期フェーズ研究の「太陽光発電システム未来技術研究開発」（平成 18 年度～平成 21 年度）にステップアップしたテーマ数は 40 件中 25 件と多かった。事後評価報告書では、本事業では世界初といえる成果が多かったと指摘された。

本プロジェクトのテーマの過半が繋がったとされる「未来技術研究開発」の事後評価（2010 年 3 月）をみると、「CIS 系、薄膜シリコン・（中略）については、（中略）十分な実用化・事業化の見通しが得られている」とされているものの、「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」とされており、現在に至ってもまだ判断できる状況に達していない。

（2）国が関与する必要性

本事業は、民間企業単独ではリスクが大きく実施しにくい革新的な基礎研究開発をテーマとしていたため、国が関与する必要性があったと考えられる。

4. 6. 2 目標設定の妥当性

本事業の目標は、以下のように記載されている。「2010 年以降の太陽光発電システムの大量普及を実現するため、業務用電力料金、既存電源に匹敵する発電コストを実現する可能性のある革新的な発電素子やその作製技術等、従来の概念にとらわれない新しい材料・構造・製造方法等により大幅な低コスト化の可能性をもった太陽電池やシステム技術等に関する要素技術の開発等を行うとともに、当該要素技術の実用化への可能性を見極める。」

このことから、事後評価段階では、「チャレンジングなテーマが多いことから、目標値の設定方法については一考の余地があった」された。

本プロジェクトの目標は、製造コストの低下であったが、個々の研究開発課題は要素技術の開発であり具体的な変換効率が目標値とされるテーマが多かった。基礎寄りの研究開発において、プロジェクト全体の目標（低コスト）とどう関連付けて関係付けて目標設定するかについては、課題があったと考えられる。参考として、本プロジェクトのテーマの過半が繋がったとされる「未来技術研究開発」の事後評価をみると、「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」と指摘されている。

4. 6. 3 プロジェクト実施方法の妥当性

本プロジェクトの事業期間は 5 年間であるが、太陽電池に関する新しい技術の探索という側面を有しており、1 テーマの開発期間を 3 年間程度として、新しいアイデア、ブレークスルーを含む開発テーマを毎年、公募して可能性の高い有望テーマを採択、委託していた。また、プロジェクトの後半には、6 つの研究開発課題を設定した上での公募が行われ、最終的に採択されたテーマは 40 件であった。

実施した研究テーマは、太陽電池等の分野別に、薄膜シリコン太陽電池 12 テーマ、CIS 系薄膜太陽電池 7 テーマ、色素増感太陽電池 7 テーマ、結晶シリコン太陽電池 7 テーマ、有機薄膜・化合物等その他太陽電池 6 テーマ、システム技術 1 テーマであった。このプロジェクトで、色素増感太陽電池、有機薄膜太陽電池のテーマを取り上げたことは事後評価時点ではタイムリーと評価された。

研究開発は各委託先において行われ、研究開発の進捗管理については、毎年度、委託先による進捗報告と討議を行う技術検討会が行われた。また、平成 16 年度からは研究開発テーマを太陽電池種類別に 5 グループに分け、それぞれに分科会を設けて進捗管理がなされた。

採択された 40 テーマについて、筆頭に挙げられている機関の種別でみると、大学が筆頭のテーマが 22 件、企業が筆頭のテーマが 10 件、公的研究機関が筆頭のケースが 8 件であり、大学・公的研究機関が筆頭のテーマが多いことが特徴的であった。しかし、大学、公的研究機関の成果を企業の開発研究につなげていく連携が弱かったことも考えられる。参考として、本プロジェクトのテーマの過半がつながったとされる「未来技術研究開発」の事後評価をみると、「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。」(同事業の事後評価報告書) と記載されている。同様の問題は本プロジェクトにおいても発生していた可能性がある。

4. 7 太陽光発電システム共通基盤技術研究開発（平成 13 年度～平成 17 年度）

4. 7. 1 国のプロジェクトとしての妥当性

（1）国のプロジェクトとしての効果

本プロジェクトは、太陽光発電システムの大量導入に向けて、太陽電池セル・モジュール及び太陽光発電システムの性能や信頼性、耐久性、安全性等に関する評価技術を開発するとともに、資源の有効利用や環境負荷低減の観点から、太陽光発電システム構成機器等のリサイクル・リユースに関する要素技術等を開発することを目標としたものである。

これらのテーマは、太陽光発電システムの本格的な普及拡大のためには、必要なものであり、この時期に取り組んだことは高く評価できると考えられる。

本プロジェクトは、後継プロジェクトとして「太陽光発電システム共通基盤技術研究開発」（平成 18 年度～平成 21 年度）につながっているが、当該プロジェクトは、「国内はもとより海外への市場拡大には、安全性の保証が必要であり、国際的な規格の標準化及びそれに伴う調査の成果は評価できる。さらに、国際協力として IEA-PVPS¹³ タスクグループの積極的な参加は、国際的な情報の入手の手段であり、各種規制、標準化について日本が国際的なリーダーシップをとれる場として非常に評価できる」と高く評価されている。そうした流れを作ってきたプロジェクトとして、本プロジェクトが果たした役割は大きかったと考えられる。

（2）国が関与する必要性

本プロジェクトは、太陽光発電の更なる普及促進に不可欠で、かつ公共性の高い基盤的なものであることから、国の事業として妥当だったと考えられる。

4. 7. 2 目標設定の妥当性

本プロジェクトは、太陽光発電システムの 2010 年度の導入目標（4,820MW）達成ならびに、それ以降の円滑かつ健全な大量導入の実現に必要な共通基盤技術の確立を目的として、太陽電池セル・モジュール及び太陽光発電システムの性能や信頼性、耐久性、安全性等に関する評価技術を開発するとともに、資源の有効利用や環境負荷低減の観点から、太陽光発電システム構成機器等のリサイクル・リユースに関する要素技術等を開発することを目標とした。

目標設定に関しては、必要性の観点から見て概ね妥当だったと考えられるが、評価技術分野は定量的な目標設定がやや難しい面があるため、具体的かつ明確な開発目標と、目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されておらず、プロジェクトの最終到達点が明確でないところがある（事後評価報告書）。

4. 7. 3 プロジェクト実施方法の妥当性

本プロジェクトの委託先は、産業技術総合研究所、電気安全環境研究所、太陽光発電技術研究組合（昭和シェル石油、シャープ、旭硝子）の他、調査研究機関が 6 機関であった。

¹³ IEA-PVPS（International Energy Agency Photovoltaic Power System Programme）は IEA 内に 1993 年に設立された太陽光の研究開発に関する委員会

実施体制は、中立機関を中心に、実績・専門性を有する組織で構成されており、事後評価において妥当だったと評価されている。新規の評価技術の確立という定量的目標設定の難しい技術分野において、継続的にプロジェクトを推進されたことは高く評価される。

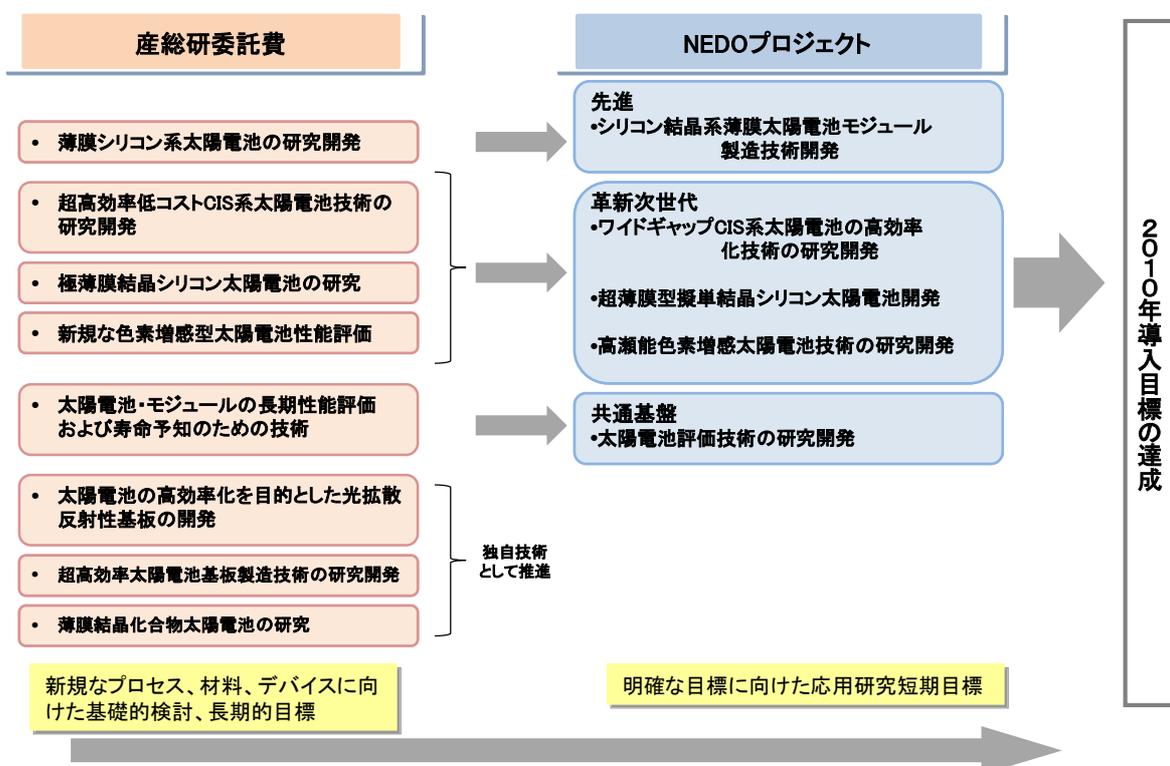
4. 8 太陽光発電技術研究開発（平成 13 年度～平成 17 年度）のうち産業技術総合研究所による実施分

4. 8. 1 国のプロジェクトとしての妥当性

(1) 国のプロジェクトとしての効果

本プロジェクトの実施期間中、並行して「先進太陽電池技術研究開発」、「共通基盤技術の研究開発」、「革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発」の 3 プロジェクトが進められていた。本「太陽光発電技術開発」は、それらプロジェクトに含まれないより先進的・基盤的な課題を取り上げ、補完・支援するものである。

図表 4-2 産総研委託費と NEDO プロジェクトとの関係



出所：太陽光発電技術研究開発（電源利用技術開発等委託費）プロジェクト評価（事後）報告書（2007）

本プロジェクトの研究開発成果については、事後評価の時点で、ほぼ目標に近い成果を挙げ、論文や学会での招待講演等は、質・量ともに極めて優れた成果を挙げたとされた（事後評価報告書）。

また、事業化については、結果として企業での実用化例が出ているので、産業化を促進している点、JIS 化や国際規格化等に向けた対応や長期信頼性の保証等について日本代表として情報発信している点が評価された（事後評価報告書）。

これらについては、現時点も同じ見方ができると考えられる。

(2) 国が関与する必要性

石油代替エネルギーの技術開発は、市場原理だけでは解決できず国の関与は重要である。石油消費国である我が国にとって近年の原油価格高騰とともに、その技術開発の重要性は大きくなってきたといえる。太陽光発電技術は、既存エネルギーや海外の研究機関との競争が激しく、国レベルの支援が必要であり、本事業の政策的意義は極めて大きい。これは、事後評価報告書の記載であるが、現時点においても同じ見方ができると考えられる。

4. 8. 2 目標設定の妥当性

本プロジェクトは、並行して実施されたプロジェクトを補完・支援し、総合して2010年における新エネルギー導入目標（太陽光発電 482 万 kW）の達成を支援するため、課題ごとに目標、指標を設定していた。

本事業全体としては、研究開発等の目標は、概ね定量的に明示され世界的レベルで設定されていた（事後評価報告書）。

4. 8. 3 プロジェクト実施方法の妥当性

研究開発実施者の事業体制については、経済産業省から産業技術総合研究所への直接委託により実施された。本委託事業では、民間企業が継続的に研究しにくい、先進的・基盤的研究課題を取り扱い、実用化に結びつける NEDO プロジェクト事業を支援することを目的としていることから、政府主導の基礎研究が不可欠であり、本事業体制が最適であった（事後評価報告書）と考えられる。

4. 9 太陽光発電システム普及加速型技術開発（平成 12 年度～平成 17 年度※）

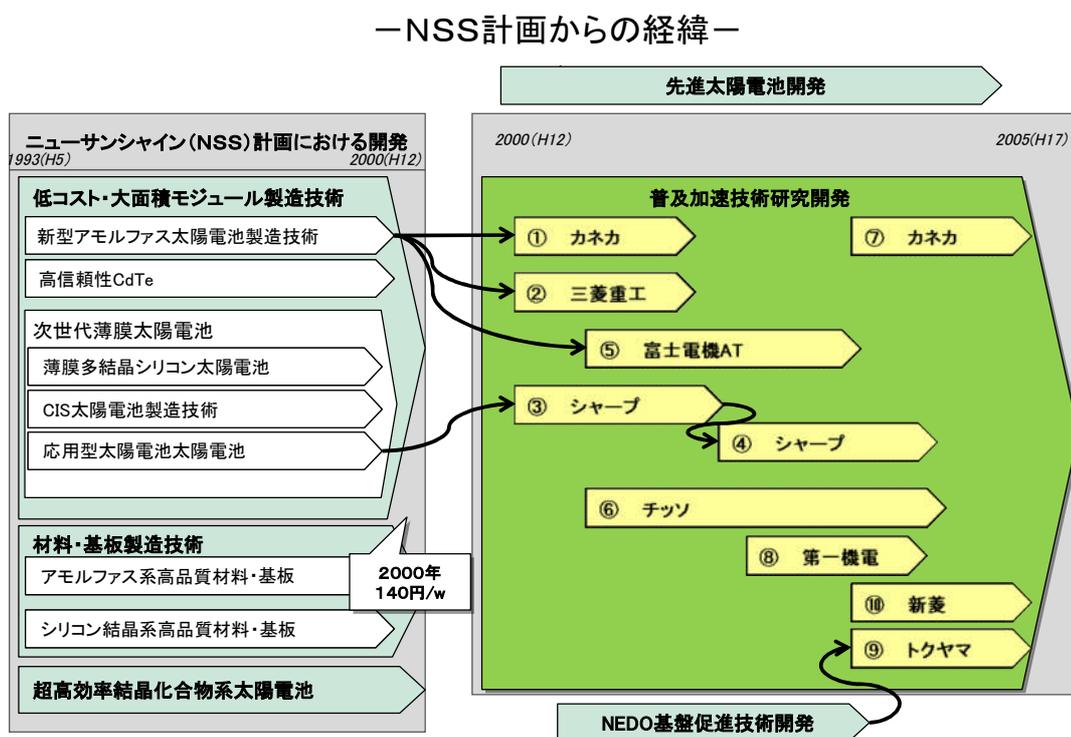
※平成 12 年度から平成 14 年度は「太陽光発電システム普及促進型技術開発」として実施。平成 16 年度終了予定であったが、最終年度の公募テーマの研究開発期間が平成 17 年度まで延長された。

4. 9. 1 国のプロジェクトとしての妥当性

(1) 国のプロジェクトとしての効果

本プロジェクトは、ニューサンシャイン計画における技術開発の進展等を受け、現行の生産性を革新的に向上させる量産化技術開発や変換効率を含めた太陽光発電システムの高性能化技術開発等を行い、太陽光発電システムの加速的なコストダウンと本格的な普及を図ることを目的とした。研究開発は、実用化技術開発、量産化技術開発、製造技術開発であり、国と実施者が 2 分の 1 ずつ事業費を負担した。

図表 4-3 ニューサンシャイン計画から本プロジェクトへの展開



出所：「太陽光発電システム普及加速型技術開発」事後評価報告書（2007）

本プロジェクトには、シャープ、カネカ等後の太陽電池生産をリードする企業が参画した。事後評価の時点では、特に、低コストシリコン原料の研究開発において実用化の見通しが得られたことは、今後の太陽電池の普及拡大に対して波及効果は大きいとされた。（事後評価報告書）。

(2) 国が関与する必要性

開発リスクの高いテーマとして NEDO の関与は必要と考えられる。

4. 9. 2 目標設定の妥当性

事後評価においては、各テーマは概ね具体的で妥当な研究開発目標を掲げているとされたが、本プロジェクト全体の目標と各テーマの目標において、特に低コスト化に関してどのようにリンクしているのか明確でないものがあることが改善すべきとされた（事後評価報告書）。

4. 9. 3 プロジェクト実施方法の妥当性

本プロジェクトで採択された 10 件のテーマは、それぞれ企業 1 社が単独で実施するものであった。

本プロジェクトでは、研究開発終了後速やかに市場に導入され、太陽光発電システムの大量導入に資すると判断されるものを要件としており、市場への導入円滑化のためには、企業 1 社がそれぞれ責任を担う形の実施方法は妥当だったと考えられる。

4. 10 太陽光発電システム実用化加速技術開発（平成 17 年度～平成 19 年度）

4. 10. 1 国のプロジェクトとしての妥当性

（1）国のプロジェクトとしての効果

本プロジェクトは、太陽光発電システムのコストを競合エネルギー並に低下させ、太陽光発電の本格普及を加速することを目的とした。現行の生産性を大幅に向上させる量産化技術、変換効率向上を含めた製造技術等の開発を共同研究により行った。

実施成果については、事後評価の時点で 40%の達成率であり、その時点で、十分に成果が認められるとされた。

（2）国が関与する必要性

本制度は上位政策である「新エネルギー技術開発プログラム」との整合性があり、経済産業省の政策方針にも沿うものである。また、比較的短期間の実用化研究開発の支援を行う制度であり、企業がある程度主体的に目標設定し実施できる制度であることから意義の大きいプロジェクトであったと判断し、その目的、目標は社会的要請、経済的要請に沿ったもので妥当であったと考えられる。

4. 10. 2 目標設定の妥当性

本プロジェクトでは、2010 年度の太陽光発電導入目標「482 万 kW」の達成、さらには太陽光発電の本格的な実用化加速に資すべく、太陽電池の生産性を大幅に向上させる量産化技術や太陽光発電システムの高性能化技術、及びこれらに関連する原材料・設備技術等の開発を実施し、太陽光発電システムの市場自立化を目指した。

具体的には、太陽光発電による発電コスト 23 円/kWh(モジュール製造コスト 100 円/W、システム設置価格 30 万円/kW 程度に対応)を実現すべく、100MW 規模の生産を想定した量産化等技術開発により、平成 22 年(2010 年)頃までの商用化を目指した(事後評価書)。上記のとおり十分な成果が得られたとの評価を踏まえると、目標設定は妥当であったと考えられる。

4. 10. 3 プロジェクト実施方法の妥当性

本プロジェクトでは、開発終了後数年での実用化を念頭に原則 3 年間以内で終了できる課題を対象とし、公募によってテーマ及び研究開発実施者を選定の上、それぞれ 1/2 の費用負担の共同研究により実施した。

実用化・事業化を意識した制度として妥当な実施方法だったと考えられる。

参考文献

(評価報告書)

- ニューサンシャイン計画 (2002) 「太陽光発電技術研究開発」プロジェクト評価 (事後) 報告書
- 「太陽光発電技術研究開発「先進太陽電池技術研究開発」(即効型高効率太陽電池技術開発)」事後評価報告書 (平成 15 年 9 月)
- 「太陽光発電技術研究開発(先進太陽電池技術研究開発)」事後評価報告書 (平成 19 年 2 月)
- 「太陽光発電技術研究開発革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発事業」事後評価報告書(平成 19 年 2 月)
- 「太陽光発電システム共通基盤技術研究開発」事後評価報告書 (平成 19 年 3 月)
- 「太陽光発電技術研究開発(電源利用技術開発等委託費)プロジェクト評価(事後)報告書(平成 19 年 3 月)
- 「太陽光発電システム普及加速型技術開発」事後評価報告書(平成 19 年 3 月)
- 「太陽光発電システム実用化加速技術開発」制度評価書(平成 20 年 10 月)

(文献等)

- 大島堅一(2007)「再生可能エネルギー普及に関するドイツの経験ー電力買取補償制の枠組みと実際ー」立命館大学人文科学研究科紀要(88号)
- 富田純一、立本博文、新宅純二郎、小川紘一(2010)「ドイツにみる産業政策と太陽光発電産業の興隆:欧州産業政策と国家特殊優位」IAM Discussion Paper Series #012
- 木村宰、鈴木達治郎(2007)「太陽光発電技術(PV)の導入における政府支援策の形成とアクターの対応」
- 黒川浩助(2004)『サンシャイン計画から30年技術開発と今後の見通し PVシステムの研究開発の方向性』、(2004)『第21回太陽光発電システムシンポジウム資料』
- 桑野幸徳(2010)『太陽電池開発の歴史(第1回~第9回)』太陽エネルギーVo1.36
- サンシャイン計画10周年記念事業工業技術院実行委員会(1984)「サンシャイン計画10年の歩み」
- 島本実(1998)「ナショナルプロジェクトの制度設計ーサンシャイン計画と太陽光発電産業の生成」一橋大学大学院商学研究科博士論文
- 島本実(2003)「事例:太陽光発電/ファイナセラムックス」(財)社会経済生産性本部 技術経営研究センター『科学技術振興調整費成果報告書 科学技術政策提言 より透明かつ公正な研究開発評価手法の開発』
- 島本実(2007)「太陽光発電とイノベーション政策」特定領域研究「日本の技術革新ー経験蓄積と知識基盤化ー」第3回国際シンポジウム研究発表会論文集 2007年12月14日15日
- 鈴木達治郎・城山英明・松本三和夫(共編著)(2007)『エネルギー技術の社会意思決定』
- 山口雅教、佐藤治(2002)「太陽光発電の習熟特性に関する調査」JAERI-Review
- 財団法人 光産業技術振興協会(2006~2010)「光産業国内生産額調査」
- 財団法人 太陽光発電協会(2001)「主要太陽電池メーカーによる太陽電池によるCSR・

環境教育事例」

- 新エネルギー産業ビジョン検討会（2004）「新エネルギー産業ビジョン」
資源エネルギー庁「ソーラー・システム産業戦略研究会報告書」
太陽光発電技術研究組合（2002）「太陽光発電技術研究組合の10年ーサンシャイン計画からニューサンシャイン計画（第1期）」
JEMA（2009）「太陽光発電の認証制度・標準化の取り組み」
電力中央研究所（2010）「日本の発電技術のライフサイクルCO2排出量評価」
資源エネルギー庁（1999）「資源エネルギー年鑑」
資源エネルギー庁（2008）「長期エネルギー需給見通し」
資源エネルギー庁（2009）「太陽光発電システム等の普及動向に関する調査」
特許庁「平成20年度 特許出願技術動向調査報告書 太陽電池（要約版）」
NEDO（2000）『叡知への飛翔 NEDO20年史』（WEB掲載）
NEDO（2001）成果報告書「太陽光発電評価の調査研究」、太陽光発電技術研究組合
NEDO（2006）『太陽光発電システム及びその関連技術に係るアウトカム調査』
NEDO（2006）『太陽光発電における技術開発とその成果に関する調査報告書』
NEDO（2007）『なぜ、日本が太陽光発電で世界一になれたのか』
NEDO（2010）「太陽光発電技術開発動向等の調査」
NEDO（2010）『NEDO 再生可能エネルギー技術白書ー新たなエネルギー社会の実現に向けてー』
NEDO（2010）『NEDO30年史』
NEDO（2010）「NEDO 再生可能エネルギー技術白書」
NEDO 新エネルギー技術開発部（2009）「太陽光発電ロードマップ（PV2030+）」
NEDO（2010）「太陽エネルギー技術研究開発」
NEDO（2007）事後評価報告書
IEA（2008）「National Survey Report of PV Power Applications in Korea」
IEA（2009）「TRENDS IN PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2008」
IMF - World Economic Outlook
Ch. Breyer, Ch. Birkner, F. Kersten, A. Gerlach, J.Ch. Goldschmidt, G. Stryi-Hipp, D.F. Montoro, M. Riede（2010）「RESEARCH AND DEVELOPMENT INVESTMENTS IN PV – A LIMITING FACTOR FOR A FAST PV DIFFUSION?」 Solar Energy
RAND Corporation（2010）「Japanese Science and Technology Capacity Expert Opinions and Recommendations」 文部科学省委託調査
- （HP）
関西光発電普及促進委員会
経済産業省資源エネルギー庁
太陽光発電協会

「太陽光発電研究開発の技術・産業・社会への インパクトに関する追跡調査」概要

2011年3月

株式会社三菱総合研究所

1.1 調査の背景と目的

- 経済産業省では、経済産業省技術評価指針(平成21年3月31日改正)に基づき、終了して数年経過した技術に関する事業や類似の目的の研究開発プロジェクトをまとめた特定の研究分野の技術に関する施策を対象に追跡評価を実施している。
- 追跡評価は、技術に関する事業や特定の研究分野での技術に関する施策での研究開発活動や研究開発成果が産業・社会に及ぼした効果について調査し、その調査結果を基に現在の視点から総合的に評価を行うものである。これは、研究開発プロジェクトに対する国民への説明責任を果たす観点並びに今後実施される研究開発プロジェクトにおける戦略的なテーマ設定等のプロジェクトフォーメーション、予算、運営方法、フォローアップ体制等の検討において参考情報を提供する観点から極めて重要である。
- 本調査は、昭和49年度からこれまでに実施され終了した太陽光発電に関する研究開発について追跡評価をより効率的かつ効果的に行うために、実施するものである。
- なお、太陽光発電に関わるプロジェクトは、全体として、研究開発のステージとしては基礎基盤から実用化まで、太陽電池の種別としては結晶シリコン系、薄膜シリコンやCIS系まで広く包含しており、関連し合っている。従って、個々のプロジェクト単位で評価を行うことは必ずしも適当ではなく、太陽光発電に関わる一連のプロジェクト群全体として評価検討することが適切だと考えられる。

1.2 調査の内容

- 主として、前ページに示した、研究開発プロジェクトの研究開発活動や研究開発成果を対象に、現在に至るまでの関連技術等の進歩や発展、さらには産業、社会に及ぼした効果を調査し、**研究開発プロジェクトを俯瞰的に見た施策面及び個々の研究開発事業の両面から、太陽光発電研究開発の成果及び効果を明らかにする。**
- その際、太陽光発電の実用化に向けた技術開発の流れと現状を整理するとともに、実用化のために必要な課題及びこれらの課題に対してどのような取り組みがなされたかを整理して、太陽光発電の技術開発の萌芽から実用化への進展へ向けた全体像を俯瞰できるマップ等を作成する。
- また、太陽光発電の実用化に向けて、大きな成果が認められた研究開発成果については、効果をもたらす要因となった研究開発マネジメント、成果活用マネジメント等について調査し、実用化に大きな動きをもたらさなかった研究開発成果については、その要因を調査する。

(参考)評価項目・評価基準一覧

(施策評価関係)

1. 施策(太陽光発電研究開発)の目的・政策的位置付けの妥当性

- ① 施策(太陽光発電研究開発)の目的の妥当性
- ② 施策(太陽光発電研究開発)の政策的位置付けの妥当性
- ③ 国の施策で行われるべき研究開発としての妥当性はあったか。国の関与が必要とされる研究開発施策であったか。

2. 施策(太陽光発電研究開発)の構造及び目的実現見通しの妥当性

- ① 現時点までにおいて得られた成果は妥当か。
- ② 施策(太陽光発電研究開発)の目的を実現するために研究開発プロジェクトを含む技術に関する事業が適切に配置されてきたか。それぞれの事業間での連携は適切に取られてきたか。
- ③ 個々の研究開発プロジェクト終了後のフォローアップの状況

3. 総合評価

1.2 調査の内容

(参考)評価項目・評価基準一覧(続き)

(事業評価関係)

I. 波及効果に関する評価

1. 技術波及効果

- ① 実用化への進展度合
- ② 一連のプロジェクト群の成果からの技術的な広がり具合
- ③ 国際競争力への影響

2. 研究開発力向上効果

- ① 知的ストックの蓄積度合
- ② 研究開発組織の改善・技術戦略への影響
- ③ 人材への影響

3. 経済効果

- ① 市場創出への寄与
- ② 経済的インパクト
- ③ 産業構造転換・活性化の促進

4. 国民生活・社会レベルの向上効果

- ① エネルギー問題への影響
- ② 環境問題への影響

II. 現在の視点からの一連のプロジェクト群の評価

1. 国家プロジェクトとしての妥当性
2. 目標設定
3. プロジェクト実施方法
4. II-1.~II-3.の評価結果を踏まえ、プロジェクト終了時の事後評価の妥当性

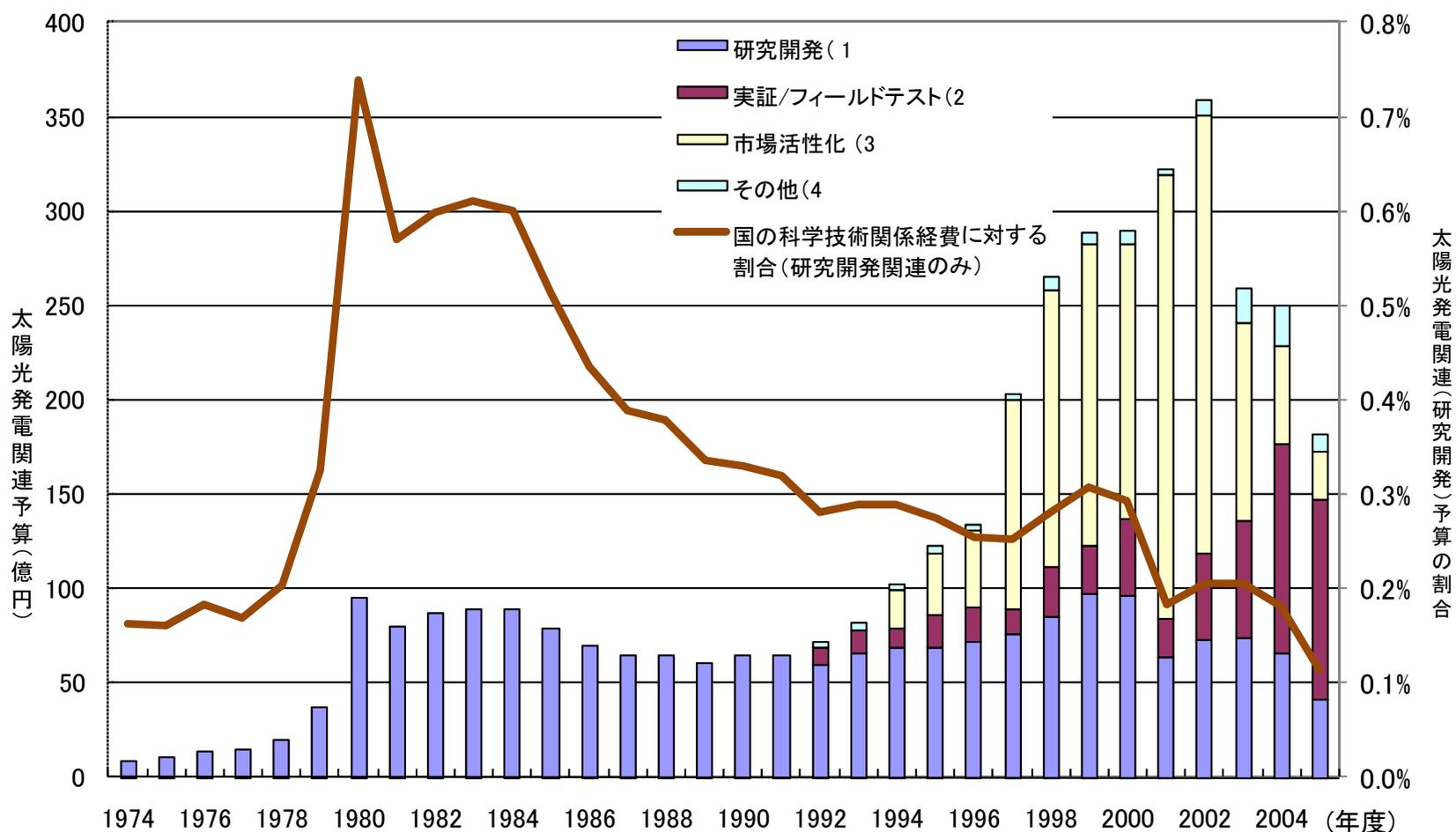
1.3 調査対象プロジェクト一覧

- 本追跡評価で対象としたプロジェクトの概要について以下に示す。

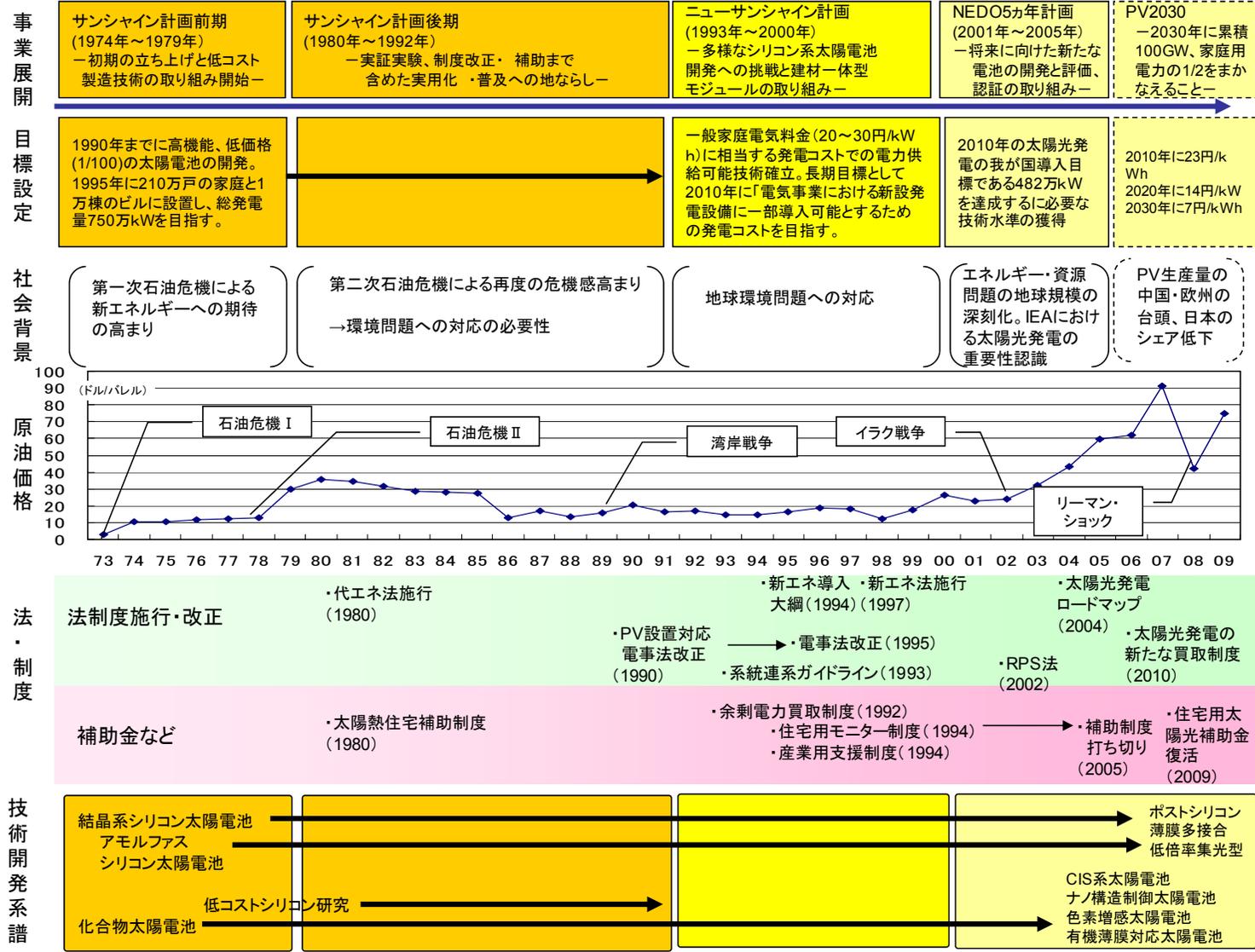
	実施期間	研究予算総額 (科学技術関連経費に 占める割合)	主な研究開発内容	参画機関
①サンシャイン計画	S.49～H4	1,074億円：一部、太陽熱発電関連を含む (0.40%)	第Ⅰフェーズ：リボン結晶成長基本技術、シリコン薄膜太陽電池、プロセス簡略化等 第Ⅱフェーズ：実用化に耐える太陽電池製造技術(多結晶シリコン精製、低コスト化、モジュール組立等)	電総研、日立、シャープ、東芝、京セラ、三洋電機、カネカ、信越化学、電中研等
②ニューサンシャイン計画	H.5～H.12	572億円 (0.26%)	薄膜太陽電池製造技術(低コスト・大面積化、材料・基板製造)、超高効率結晶化合物系太陽電池、太陽電池・評価システム、太陽光発電利用システム、周辺技術、実証研究	運営機関：NEDO 委託先：PVTEC、主要電機メーカー、材料メーカー等
③即効型高効率太陽電池技術開発	H.11～H.12 (～H14)	16億円 (0.02%)	結晶系太陽電池の高効率化・高品質化(高品質インゴット製造技術、薄型・大面積多結晶基板スライス製造技術等) (平成13年度から先進太陽電池技術研究開発に統合)	川崎製鉄、シャープ、九州大学、東京農工大学等
④先進太陽電池技術研究開発	H.13～H.17	103億円 (0.06%)	シリコン結晶系太陽電池モジュールの高速大面積製膜法開発、CIS系薄膜・超高効率結晶化合物系太陽電池製造技術開発	カネカ、三菱重工、産総研、昭和シェル、PVTEC等
⑤革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発	H.13～H.17	78億円 (0.04%)	薄膜シリコン太陽電池、CIS系薄膜太陽電池、色素増感太陽電池の高効率化、結晶シリコン太陽電池のシリコン使用量低減による低コスト化	産総研、凸版印刷、シャープ、カネカ、三洋電機等
⑥太陽光発電システム共通基盤技術研究開発	H.13～H.17	42億円 (0.02%)	太陽電池評価技術の研究開発、太陽光発電システムの評価技術、太陽光発電システムのリサイクル・リユース、電磁環境性等	産総研、電気安全環境研究所、PVTEC、みずほ情報総研等
⑦太陽光発電技術研究開発	H.13～H.17	14億円 (0.01%)	①薄膜シリコン系太陽電池の研究開発、②超高効率低コストCIS系太陽電池技術の研究開発、③極薄膜結晶シリコン太陽電池の研究開発等	産総研
⑧太陽光発電システム普及加速型技術開発	H.12～H.17	44億円 (0.02%)	薄膜多結晶シリコンセル形成の高スループット量産化、高速大面積アモルファスシリコン製膜技術、シリコン原料の量産化等	カネカ、三菱重工、トクヤマ、チソ、富士電機等
⑨太陽光発電システム実用化加速技術開発	H17～H19	12億円：NEDOは1/2負担 (0.01%)	高効率インバータ技術開発、微結晶タンデム太陽電池、シリコン回収・再生、集光型太陽電池、太陽光・蓄電ハイブリッドシステム	東芝、フジブレアム、クリーンベンチャー21、新菱等

(参考) 太陽光発電関連の予算推移

- 1974年のサンシャイン計画発足以降、2005年までに総額4,000億円弱(研究開発2000億円、市場活性化1300億円等)の公的資金が太陽電池関連の研究開発、産業育成に投入されている。2003年以降は補助率の低下で、総額は減少している。
- 近年の科学技術関連経費の増加に伴い、国の科学技術関連経費に対する太陽光発電関連の研究開発割合は減少傾向にある。ただし、新エネルギー関連予算に占める太陽光発電関連の割合は、2000年～2005年において、20%前後で大きく変化していない。



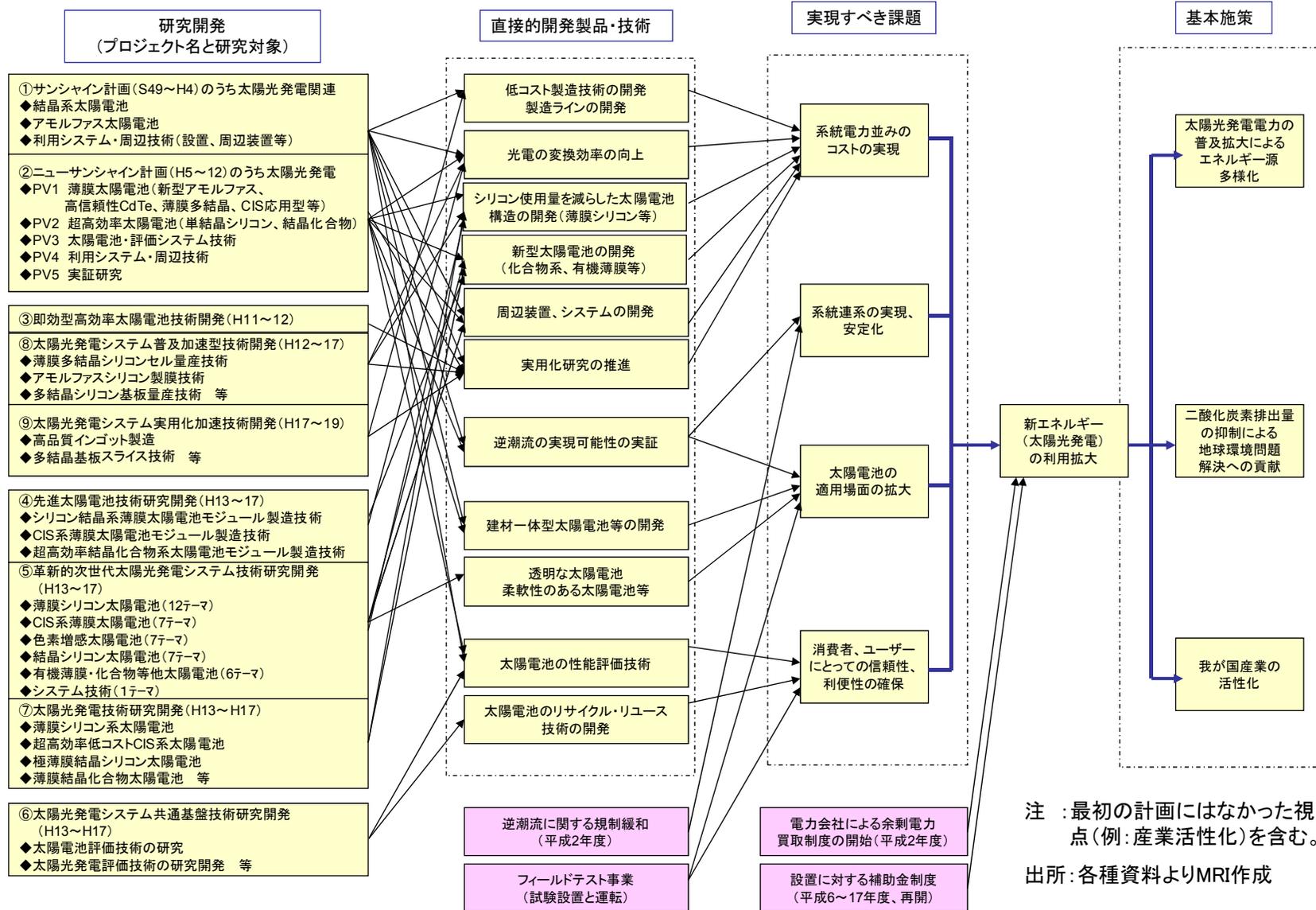
1.4 研究開発の歴史的展開



- 太陽光発電に関する事業展開、目標設定、社会背景、法・制度、技術開発系譜を左図にまとめている。
- オイルショック等を契機にサンシャイン計画がスタートし、その後のニューサンシャイン計画、後続プロジェクトへと展開されることとなる。
- 石油価格が低下する中においても、環境問題への対応という新たな意義づけが加わり、太陽光発電に関する研究開発は政策的にも、民間企業でも積極的に進められた。

出所各種資料よりMRI作成

1.4 施策全体の目標に対するロジックツリー



2.1 施策の目的の妥当性

- 太陽光発電研究開発の施策の目的は、エネルギー問題の解決と、エネルギー多消費社会の中で深刻化した環境問題の解決を図るためであった(サンシャイン計画)。より具体的には、電気事業電力コストに匹敵しうる発電コストを太陽光発電で達成することを技術開発により達成しようとし、以下の目標を掲げた。
 - ◆ 太陽光発電システムを他の発電方式と同程度の経済性を有するものとする
 - ◆ 太陽電池の大幅なコストダウンを図り、ワットあたり100～200円の価格とすること
 - ◆ 1995年には、210万戸の住宅と1万棟のビルに設置し、総発電量750万kWとすること
- 施策の目的の妥当性についてみると、①長期的に具体的な目標設定を行ったこと、②当時としては非常に高い目標であったが補助金なしで系統に供給できる低コスト化を目指したことという点で、その後の研究開発を支える上で、重要であり妥当なことだったと考えられる。また、当初から系統連系実現、安定化や太陽電池面積の拡大等の普及拡大に繋がる目標設定、さらに消費者・ユーザーにとっての利便性や信頼性確保をシステム化や評価技術開発の目標設定においている点は優れていた。
- サンシャインが、特に画期的だった点は、以下である。①1974年から1990年という長い期間の目標を立てたこと、②世界的には太陽熱発電が注目されていた中、太陽光発電を位置づけたこと、③太陽光発電を宇宙開発分野等の限定的な用途ではなく石油代替エネルギーとして想定したこと、④当初から用途を考えたシステム開発を取り入れてきたこと。
- この「電気事業電力コストに匹敵しうる発電コストを太陽光発電で達成すること」というコンセプトは、その後のニューサンシャイン計画、また2000年以降のNEDO 5カ年計画の土台を支え続けることになった。
- NEDO5カ年計画では、それまでのサンシャイン計画、ニューサンシャイン計画で推進されてきたテーマを加速し、2010年に導入目標482万kWを達成することを目指し、製造技術まで踏み込んだ革新的次世代太陽電池開発に取り組むことになり、その点は目標設定として妥当であった。しかし、様々なタイプの太陽電池開発を行うために、プロジェクトが細分化、ニューサンシャインのような有機的なつながりが充分なされていない点が課題としてあげられている。(次頁表に2010年以降の目標設定をまとめる)
- 太陽光発電は石油代替エネルギーの役割に加えて、非化石燃料エネルギーとして地球温暖化問題に対応するために更に普及させる必要が生じ、このことが研究開発をはじめ補助金制度、逆流制度なども充実させていくこととなる。太陽光発電システムの方角性としては、常に社会ニーズを見据え、見直しを図りつつも、根幹の電気事業用電力なみの発電コストを目指すという目標をぶれさせることなく推進してきたものといえる。

2.1 施策の目的の妥当性

NEDO5カ年計画の中で実施されたプロジェクトと各目標(1)

	各プロジェクトの目標	具体的な目標
③即効型高効率太陽電池技術開発(H11~H12)	結晶系太陽電池の高効率化・高品質化を即効的に可能とする技術開発を実施し、新エネルギーとしての太陽光発電システムの導入促進に資する。	変換効率:20%(15cm角) 基盤厚み:150 μ m 製造コスト:147円/W
④先進太陽電池技術研究開発(H13~H17)	2010年度の導入目標482万kWの達成には、発電コストをユーザーが導入補助金なしで自発的に購入しうるレベル(家庭用電力料金並み)にまで低減することが必要である。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、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とする。	下記の3つの太陽電池モジュールの開発を行っているが、コスト目標はいずれも、100MW/年程度の量産規模においてモジュール製造原価100円/Wをめざす。 ○シリコン結晶系薄膜太陽電池モジュール ・性能目標:3600cm ² サイズ以上のプロトタイプモジュールで変換効率12%以上 ○CIS系薄膜太陽電池モジュール ・性能目標:3600cm ² サイズ以上のプロトタイプモジュールで変換効率13%以上 ○超高効率結晶化合物系太陽電池モジュール ・性能目標:集光セルで変換効率37%以上
⑤革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発(H13~H17)	長期的には2010年以降の太陽光発電システムの大量普及を実現するために、業務用電力料金、既存電源に匹敵する発電コストを可能とする革新的次世代太陽光発電システムの開発を実施し、太陽光発電の本格的な普及促進に資することを目的とする。	下記の2020年の技術開発目標に資する研究テーマを採択 ・薄膜シリコン太陽電池:モジュール効率14%(セル効率18%) ・化合物太陽電池:モジュール効率18%(セル効率25%) ・色素増感太陽電池:モジュール効率10%(セル効率15%) ・多結晶シリコン太陽電池:モジュール効率19%(セル効率25%) ・モジュール製造コスト:75円/W ・モジュール寿命:30年 ・インバータ:15,000円/kW ・蓄電装置:10円/Wh

2.1 施策の目的の妥当性

NEDO5カ年計画の中で実施されたプロジェクトと各目標(2)

	各プロジェクトの目標	具体的な目標
⑥太陽光発電システム共通基盤技術研究開発(H13~H17)	2010年度の導入目標を達成し、太陽光発電システムの自立的な導入拡大を実現するため、太陽電池の低コスト化ばかりでなく、太陽光発電システムの性能評価や信頼性等に関する共通基盤技術を確立することを目指す。	<ul style="list-style-type: none"> ○新型太陽電池性能評価技術 <ul style="list-style-type: none"> ・新型太陽電池の基本的な評価方法を開発 ・様々な温度照度スペクトルにおける各種モジュールの高精度評価技術開発 ○校正技術の高度化 <ul style="list-style-type: none"> ・ソーラーシミュレーター法による一次セル屋内構成技術の高度化 ・二次基準モジュール屋内構成技術の確立 ○信頼性評価技術 <ul style="list-style-type: none"> ・寿命評価試験方法の開発と標準化のための基礎となる技術開発 ・実環境下のモジュール不具合症状を収集分析評価し、劣化要因との関係を解明
⑦太陽光発電技術研究開発(H13~H17)	「太陽光発電技術研究開発事業」を補完し総合的に支援するために、一層低価格で効率の高い太陽電池の開発、性能評価技術の確立や中立的な評価の実施、既存システムとの連系技術の確立、リサイクル技術の確立、実環境における太陽光発電システムの性能分析などの課題を達成することを目的とする。	<ul style="list-style-type: none"> ○薄膜シリコン系太陽電池: 薄膜シリコン系材料の膜質制御技術の開発。 ○超高効率低コストCIS系太陽電池: CIGSPV実用化に向けて2005年度、$\eta=13\%$、60cm\square ○極薄膜結晶シリコン太陽電池: 高出力電圧、高変換効率を目指すため、薄膜結晶Siセルの光閉じ込め技術の開発を行う。 ○超高効率太陽電池基板製造技術: 融液内対流制御に関する二次元数値計算手法の開発、単結晶育成装置の試作を行う。 ○薄膜結晶化合物太陽電池: セル材料の探索を行い、格子不整薄膜成長技術の開発を行う。 ○太陽電池・モジュールの長期性能評価及び寿命予知: 太陽電池モジュールの劣化要因を調べ、寿命の律速パラメータを同定する。 ○新規な色素増感型太陽電池の性能評価を確立する。

2.1 施策の目的の妥当性

NEDO5か年計画の中で実施されたプロジェクトと各目標(3)

	各プロジェクトの目標	具体的な目標
⑧太陽光発電システム普及加速型技術開発(H12～H17)(H12～14は別名で実施)	現行の生産性を革新的に向上させる量産化技術開発や変換効率を含めた太陽光発電システムの高性能化技術開発等を行い、太陽光発電システムの加速的なコストダウンを行い本格的普及を図る。	以下の目標を達成可能な水準の技術について公募し、量産化技術、低コスト化技術等の実用化技術を開発する。 ・太陽電池製造システムについては、概ね製造コスト14万円/kW以下 ・太陽電池以外の周辺機器等の技術・装置に関しては概ねシステム建設製造コスト25万円/kW以下
⑨太陽光発電システム実用化加速技術開発(H17～H19)	本事業の実施により太陽光発電システムのコストを競合エネルギー並に低下させ、太陽光発電の本格普及を加速する。	太陽光発電による発電コスト23円/kWh(モジュール製造コスト100円/W、システム設置価格30万円/kW程度に対応)を実現すべく、100MW規模の生産を想定した量産化等技術開発

2.2 施策の政策的な位置づけの妥当性

- 太陽光発電研究開発は、エネルギー問題の解決(石油代替エネルギーの開発)と環境問題(当初は大気汚染対策、ニューサンシャイン以降から地球環境問題対応)の2つの政策的課題への対応が柱であった。さらに将来の我が国産業の柱となるエネルギー産業の誘発をも結果的に果たすことになった。このような観点から、国として取り組む必要性及び経済産業省の取り組む必要性など**政策的な妥当性は充分高いものがあった**と考えられる。
 - サンシャイン計画立ち上げ時には、第一次石油危機の影響からエネルギー問題解決が急務であった。その後第二次石油危機により、一層エネルギー問題解決は急務となった。
 - このように、石油危機は計画を推進させるために大きな駆動力となったが、特筆すべきは、サンシャイン計画発足の契機が、第一次石油危機以前の1973年春であった点である。通商産業省は、米国のニクソン大統領のエネルギー教書の分析から石油価格が高騰することを読み取り1973年8月には産業技術審議会に石油に代わる長期安定的エネルギー供給源を模索することが諮問された。
 - 1994年に気候変動枠組条約が発効し、これに呼応するようにわが国においては同年「新エネルギー導入大綱」が制定され、太陽や風力等の再生可能エネルギーの積極導入が示された。1997年には京都議定書が採択され、同年に新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法が制定された。この様な法的後押しを受けて、研究開発の加速化、普及に対する制度制定が行われた。
 - シャープ、三洋、京セラなどは、経営トップの強い意志で太陽光発電システムの研究開発を行い、可能性のある太陽電池をそれぞれが模索し、最終的にシリコン結晶系の太陽電池に力を注いだ。企業が研究開発を継続することができた最大の要因は、公的な研究開発があったからこそだと考えることができる。
 - 太陽光発電システムの普及のためには、電気事業関連の政省令の見直しが必要不可欠であった。この点は、電力会社の協力がなければ達成できず、その監督官庁として経済産業省が取り組むことも必要であった。特に、逆潮流制度、余剰電力買取制度などと設置補助などの制度制定など経済産業省の関与は必要不可欠であった。

2.3 施策(太陽光発電研究開発)の構造及び目的実現見通しの妥当性

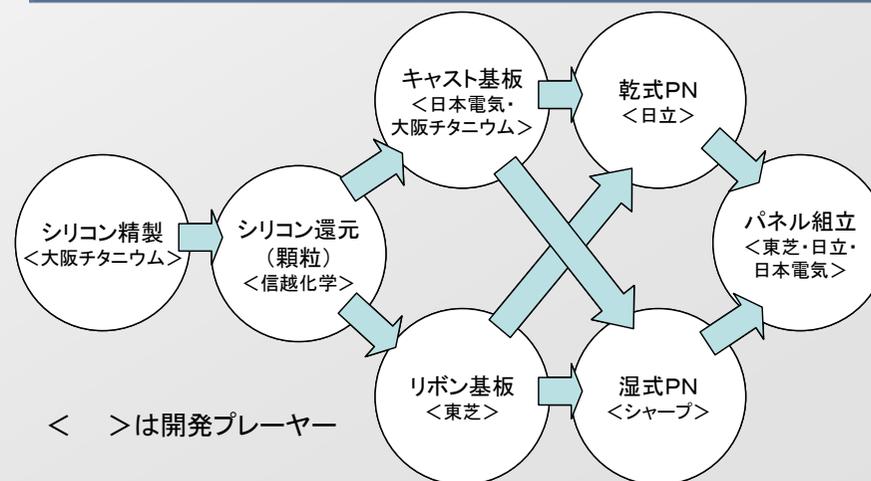
(現時点までに得られた成果の妥当性)

- **太陽光発電はその成果が十分活用されたプロジェクトの一つである。**特に現在主流のシリコン結晶系の太陽電池は、実用化されて展開しているものの成果のほとんどは、国のプロジェクト成果が全面的に活用されており、また、そこに参画していた企業において研究ノウハウが人材と共に移管され、実用化につながったものと考えられる。2000年以降に展開されたプロジェクトについてもその成果が生み出す効果について今後の展開が期待される。
 - 太陽光発電プロジェクトは、単に材料やモジュールの開発に留まらず、当初からシステム化研究を立ち上げ、そのことが普及促進を促す制度制定などの基礎となっていくなど、それぞれのプロジェクト形成とその成果が的確に生まれてきた。
 - アモルファスシリコン太陽電池の製造工程と、アモルファスシリコンTFT-LCDの製造工程はきわめて近く、太陽電池の開発、量産化技術が先行することでその後のTFT-LCDの実用化に多くの基本技術や量産技術が寄与している。また、半導体製造技術への波及も見られる。

(事業配置、事業連携の適切性)

- 「NEDO500kW太陽電池製造ライン」の開発プロジェクトは、右図のように年産500kWの太陽電池製造ラインの実証生産を目指して、7工程別に6社あるいは企業連合の7チームに委託し実施したもので、各企業の得意とする技術分野に適切に分担し、進められたものである。
- 四国西条における1986年の電気事業用1MW発電所実験、六甲アイランドの200kW発電実証実験などに見られるように、本事業は比較的早い段階からシステム研究を取り入れるなど、事業の適切な配置と事業間の連系が構想されて始まっていたことは高く評価できる。

NEDOにおける500kW /年太陽光発電製造ライン



出所：サンシャイン計画の10年

2.3 施策(太陽光発電研究開発)の構造及び目的実現見通しの妥当性

(個々の研究開発プロジェクト終了後のフォローアップ)

- 太陽光発電システムは環境負荷が低い等の付加価値があるものの、既存の電力との価格差は非常に大きく、その普及のためには導入に係る負担削減による需要創出が必要であった。そのために、電力に関する規制緩和、逆潮流つきの系統連系制度、電力会社による余剰電力買取制度、住宅用太陽光発電システムの設置補助プログラムなどの周辺環境整備が進められ、研究開発による太陽光発電システムの発電効率向上、コスト低下に合わせて、これらの施策が次々と連鎖的に展開されてきたことが、普及促進に大きく貢献した。
 - フィールドテスト事業などによる、買い上げ需要が、初期段階における実需として機能し、製造メーカーの製造力を向上させる要因となっていた。
 - 太陽光発電普及制約克服のための規制緩和と大規模実証事業の展開による、逆潮流あり系統連系ガイドラインの策定により、太陽光発電普及の制約の一部を克服
 - 余剰電力買取制度の策定(1992年)により、太陽光発電については販売時の電力価格で買取ることとなった。加えてRPS法の施行(2003年)により、電気事業者に対して、毎年、その販売電力量に応じた一定割合以上の新エネルギー等から発電される電気の利用を義務付けた。2010年には、発電事業用設備等からの買取りなどを含めた新たな買取制度が検討されている。
 - 住宅用太陽光発電システムの設置補助プログラム(1994年)による、需要創出。太陽光発電システムの価格低下に伴い、2005年にいったん終了するも、2009年から復活。
 - 2005年以降、世界一の太陽電池導入量からの脱落を受けて、2009年以降住宅用太陽光発電導入補助などの各種制度が復活された。また、NEDOにおいて、今後5~10年後を目指して日本の太陽電池生産能力で、10GWを超える産業規模にするために主要メーカーを誘導する方針が固められ、主要メーカーによる生産設備投資、生産拠点の海外展開、事業などの促進を行うこととされている。

2.4 総合評価

- サンシャイン計画が立ち上がった時期から現在まで36年間に渡って展開されてきた研究開発の歴史には、大きな区切りが4つあるといえる(①サンシャイン計画前期(1974年～1979年:201億円)、②サンシャイン計画後期(1980年～1992年:885億円)、③ニューサンシャイン計画(1993年～2000年:1487億円)、④NEDO5ヵ年計画(2001年～2005年:1372億円))。
- これら4つのそれぞれの計画ではそれぞれの目標が設定され、プロジェクトが展開されてきたが、今回全体を俯瞰してみて太陽光発電開発が目指してきたものについて以下のように考えられる。
 - ① 長期にわたるプロジェクト展開の中で高機能、低価格(発電した電力の価格が電気事業用電力と同等以下)の太陽電池開発を行い住宅、ビル等への普及を目指すという目標設定が一貫して流れ、ぶれることがなかったこと。このような国の長期的方向性が示されることによって、民間の研究開発を支え、促進させてきたことは評価できる。
 - ② サンシャイン計画開始当時のプロジェクトポートフォリオが適切であったこと。つまり、単結晶、多結晶、また少し遅れてであるがアモルファス、さらに化合物系まで幅広く研究プロジェクトを配置したこと。また、システム技術開発として、後の系統連系につながる配電連系技術や住宅や業務用ビル、工場等での分散型利用システム、集中型太陽光発電システム、さらに熱光ハイブリッドシステムまで取り上げて進めることができおり、期間集中的に研究開発が実施されてきた点も評価できる。
 - ③ 上記のようにサンシャイン計画当初からシステム研究を実施しており、また系統連系構想を描き、早いうちから実証試験等、普及のための技術開発や方策を検討し、実証研究を実施してきたことが評価できる。
 - ④ 技術開発が進んでいくことを受けながら、普及を促進するための要素として重要な電気事業法の政省令改正、系統連系ガイドラインの制定、余剰電力買取制度の導入、住宅用太陽光発電システムモニター制度等の制度面も並行して整備してきたことが評価できる。

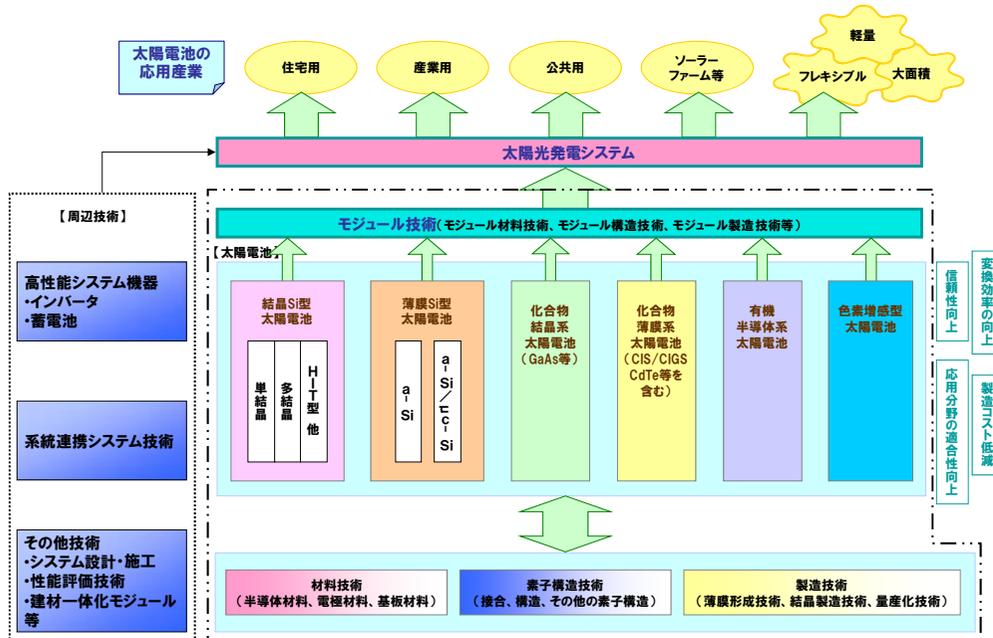
2.4 総合評価

- 当初は結晶系シリコンの高効率化、大面積化を主に目指してきた。それ以外の SnO_2 や InP 等の研究開発についても初期から取り組んでいる。また、結晶系より高度な製造装置が必要でなく低コストで製造できるアモルファス系太陽電池は、期待がされたものの効率向上が思うようにいかない結果となっていた。現状では、結晶系を市場において改良改善して普及させているものの、2000年以降のNEDOプロジェクトでは、次世代シリコン系太陽電池や化合物太陽電池、複合型太陽電池、色素増感型太陽電池等、従来の結晶系シリコンに変わるさらに効率向上およびコストダウンを目指した技術開発を行うようになっている。この間に海外における太陽電池開発の流れは、アメリカや中国等においても大量生産によるコストダウンが追及され、その結果、我が国の太陽電池の海外市場における競争力が低下してきた。
- しかし、2004年に世界のトップシェアを占めた我が国の太陽電池生産量が、2008年に中国、欧州(特にドイツ)にシェアで逆転されてしまった。導入量に至っては、2005年にはドイツに世界一の座を奪われ、2009年には世界第4位に甘んじている。そこで、NEDOにおいて、今後5～10年後を目指して日本の太陽電池生産能力で、10GWを超える産業規模にするために主要メーカーを誘導する方針を固め、主要メーカーによる生産設備投資、生産拠点の海外展開、事業等の促進を行うこととしているほか、一度廃止された住宅用太陽光発電補助制度など各種補助制度の復活が図られつつある。
- 一方、国の役割は、現在でも上記のような、新たな技術開発プロジェクトに投資することにより、効率の向上およびコストダウンを目指し、まだ充分実現できていない電気事業電力に匹敵する価格をめざすことも堅持している。このように世界に先がけた新たな技術開発により、更なる目標の達成を目指す国の姿勢は、サンシャイン計画発足時から変わらず受け継がれている。

3.1 実用化の進展度合い

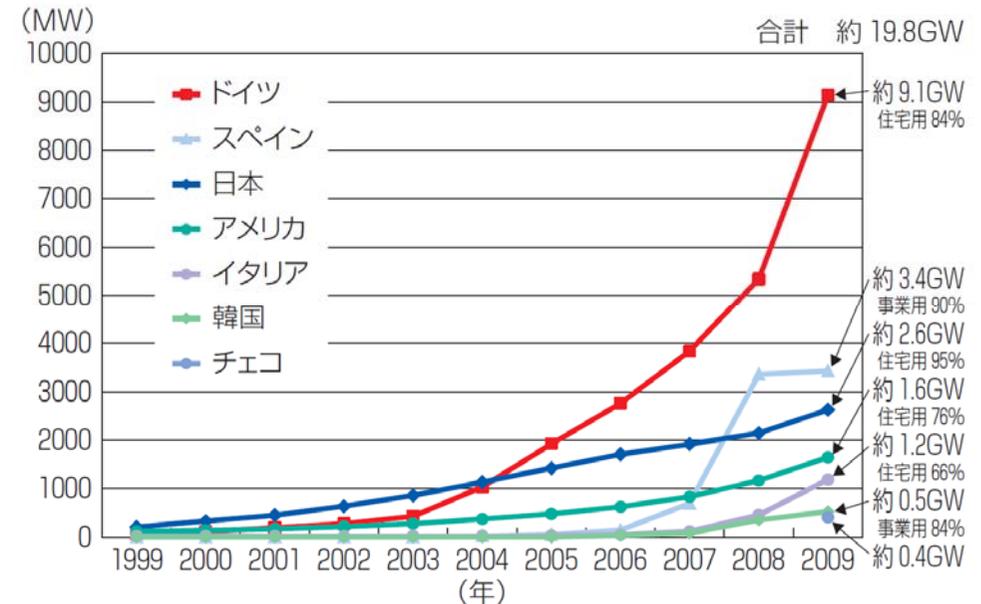
- 太陽電池の種類は、結晶シリコン、薄膜シリコン、化合物系、有機系などが存在し、現在の実用化の主流は結晶シリコン系である。太陽電池システムは、太陽電池(モジュール)と、周辺技術(インバータ、系統連系システム技術、その他)から構成される。
- 世界の太陽電池導入量は、2009年に累積で19.8GWに達している。国別で見るとドイツが9.1GWでトップ、スペインが2位となっている。ドイツおよびスペインは高額での電力買取制度(フィードインタリフ)により急激に導入量が増加している(スペインは2008年の制度見直しにより導入は頭打ち)。
- 日本は2004年までは累積導入量世界一であったが、2005年の補助金打ち切り等の影響もあり、その後は導入量で欧州2カ国の後塵を拝している。ただし、2009年から補助金と買取制度が復活し、導入量が再び急増している。

太陽電池に関する技術的俯瞰



出所:平成20年度 特許出願技術動向調査報告書 太陽電池(要約版)にMRI加筆

国別の太陽電池導入量推移



出所: NEDO「NEDO30年史」2010

3.2 技術的な広がり(1)

- 公的資金による技術的波及効果としては、以下の2つのパターンが存在する。
 - 国プロ等で開発された太陽電池製造に関する、技術・ノウハウが企業で活用される。
 - 国プロ等で開発された技術ノウハウが、太陽電池以外の研究開発、製造技術として活用される。
- 太陽光発電に関しては、上記2点のいずれについても大きな成果を生み出している。

太陽電池製造に関する、技術・ノウハウが企業で活用

シャープ株式会社

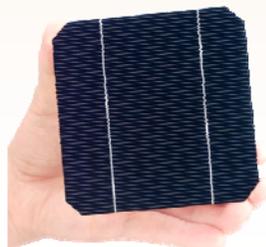
- サンシャイン計画で開発した、セル生産プロセスは今の生産ラインでも活用されている。
- 集光型の追尾システムは日本では実用化されていないが、海外での実用化が進もうとしており、これからの注目技術のひとつである。

京セラ株式会社

- 変換効率を飛躍的に向上させることができるシリコンナイトライドの反射防止膜をNEDOプロジェクトで技術開発し量産化した。

三洋電機株式会社

- 世界最高水準の変換効率を誇る、HIT太陽電池は、サンシャインプロジェクトで開発したアモルファス太陽電池の技術を活用している。



HIT太陽電池(三洋電機提供資料)

太陽電池以外の研究開発、製造技術として活用

アモルファス太陽電池の技術が、TFT液晶に応用

(シャープ株式会社)

- アモルファスシリコンの製膜技術がTFT液晶のシリコン薄膜に応用され、シャープの液晶事業に大きな寄与を果たした。
- 太陽電池の技術者はその他の光デバイス事業にも枝分かれしている。



TFT液晶TV(シャープ提供資料)

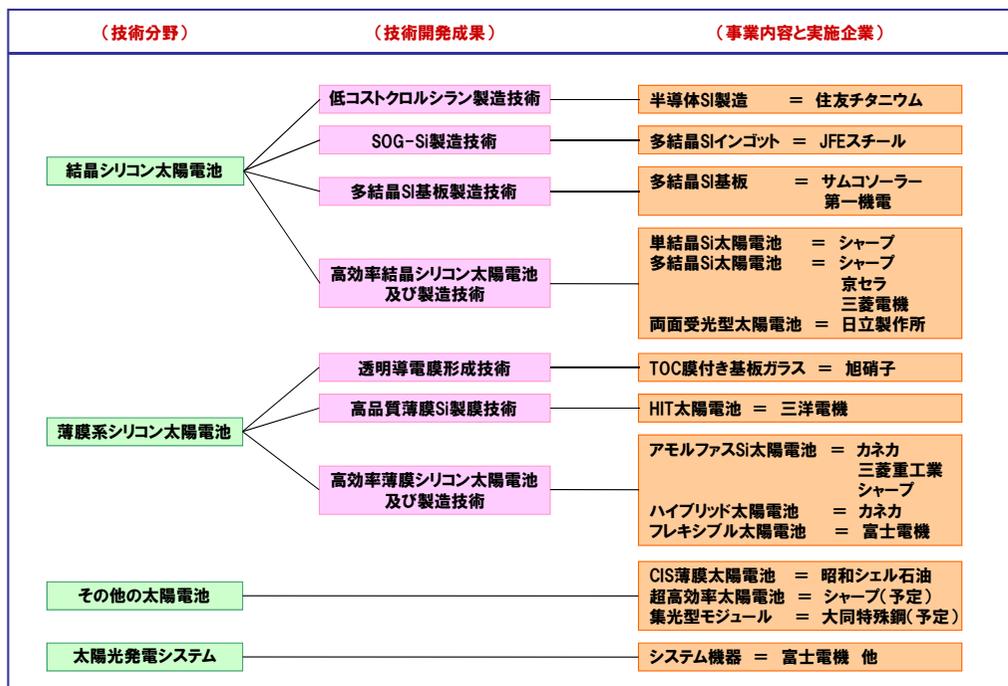
その他の産業への波及

- 複写機・プリンターへの技術波及、光センサーへの技術波及、半導体産業への波及(半導体ウェハースライス、半導体製造に用いるガスの製造・リサイクル技術)なども生じた。

3. 2 技術的な広がり(2)

- サンシャイン計画から現状に至る公的な資金による技術開発の成果は、太陽光発電技術のほぼ全分野に渡っており、我が国の太陽光発電技術の基盤となっている。
- 多結晶シリコン太陽電池では変換効率17%以上の大面積高効率多結晶シリコン太陽電池が公的研究開発で開発された。この技術は現在我が国の太陽電池工業生産の中核的技術となっている。薄膜系シリコンやCIS薄膜太陽電池については、日本が最も生産量が多く、技術的にもリードしている。
- 住宅用の普及に不可欠な系統連系システム技術は数多くの実証試験の結果、技術基準が定められ、普及の強い後押しとなった。

主な技術開発成果の実用化状況



出所: NEDO「太陽光発電システム及びその関連技術に係るアウトカム調査」(2006)

新型太陽電池の実用化例

□ シースルー型太陽電池(カネカ)



□ CIS薄膜太陽電池 (ソーラーフロンティア)



□ 集光型太陽電池 (大同特殊鋼)



□ フレキシブル太陽電池(富士電機)

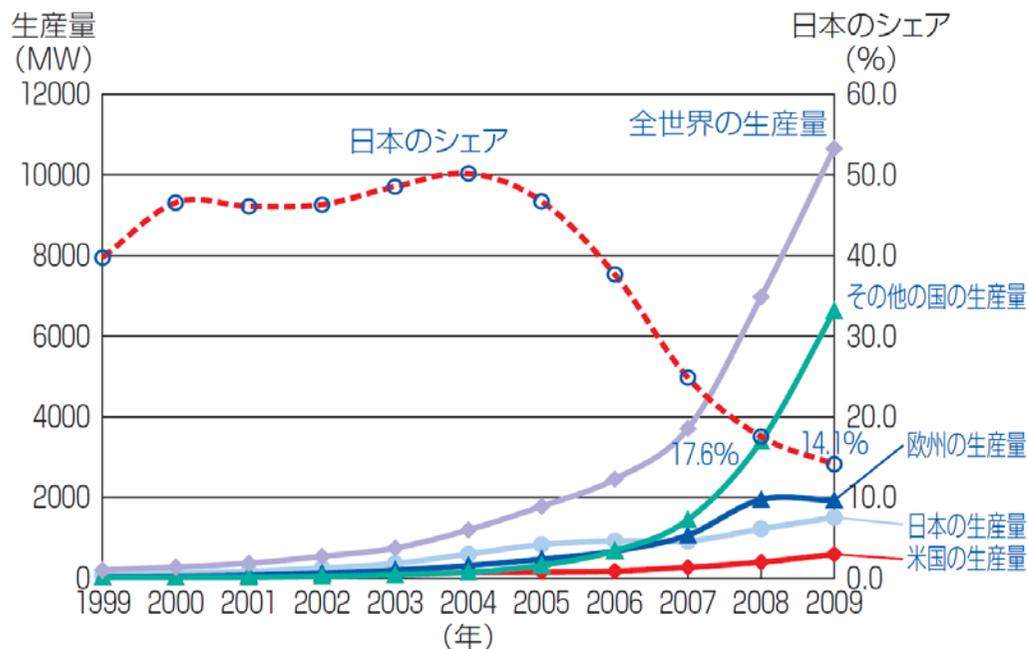


出所: NEDO30年史、カネカ提供写真

3.3 国際競争力への影響

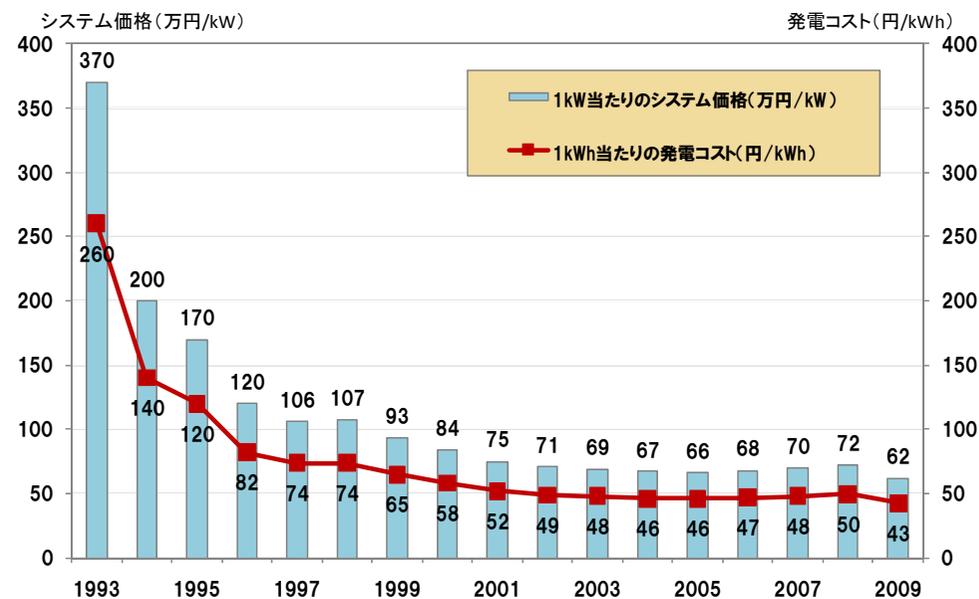
- サンシャインプロジェクト以降の公的資金による研究開発を通じて、シャープ、京セラ、三洋電機などの日本企業の国際競争力は大きく向上し、80年代から2007年までは、生産量世界一であった。
- サンシャイン計画等と企業の研究開発による技術が蓄積され、90年代初頭には世界でほぼ日本のみが太陽電池の量産体制を築いていた。そこに、助成金による市場が創出され、量産効果によるコスト削減と価格低下による市場拡大という好循環が生み出された。その競争力により、ヨーロッパの需要増にも対応でき、2000年代からは輸出量も急速に増加した。
- 2000年代後半は、国内市場の減退と海外の低コストメーカーの台頭によりシェアを低下させているが、導入補助金や買取制度の復活、NEDOによる成長誘導施策により、今後も急成長が期待される太陽電池市場での復権が計画されている。

国別の太陽電池生産量推移



出所: NEDO「NEDO30年史」2010

太陽光発電システムの価格・発電コストの推移



出所: 関西光発電普及促進委員会HP、資源エネルギー庁「太陽光発電システム等の普及動向に関する調査」2009よりMRI作成

3.4 研究開発力向上効果

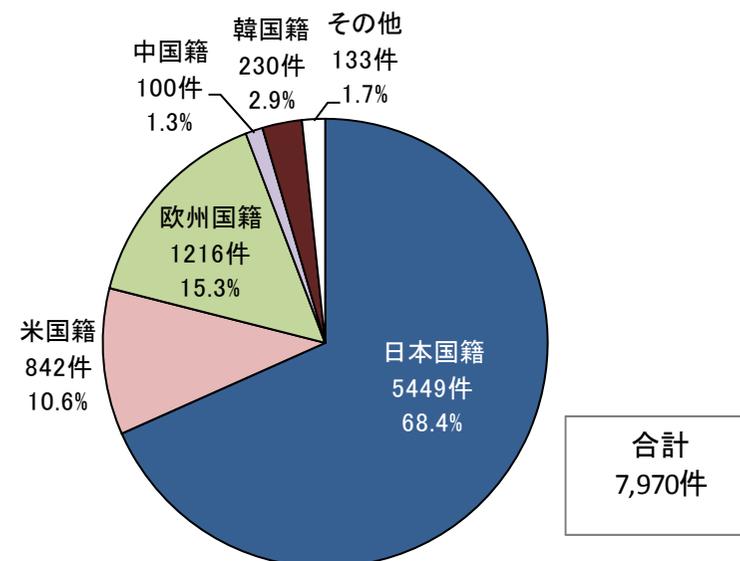
- 追跡調査対象プロジェクトにおいては、サンシャイン計画から太陽光発電システム実用化加速技術開発に至るまでに、1600件程度の特許が出願されている。サンシャイン計画のころは、年平均40件程度の特許出願であったが、近年では年間100件程度の出願となっている。
- 太陽電池関連企業の多くは、公的資金による研究開発を行っており、我が国の企業から出願されている特許の多くは、直接・間接的に公的資金による援助を受け開発されたと考えることができる。特許庁調査により、2000年～2006年の日米欧中韓への特許出願を見ると、日本国籍ものが68.4%であり、圧倒的多数を占めている。太陽電池の種類別では、シリコン系の出願が最も多い。
- 公的研究開発投資の結果生まれた基本・重要特許としては、1983年に大阪大学の濱川圭弘らが出願したSiヘテロ接合太陽電池の特許(特許1841335)や、1989年に三洋電池が開発したHITセル(特許2740284)などが挙げられる。

追跡調査対象プロジェクトの特許出願数

プロジェクト名	実施期間	特許出願数
サンシャイン計画	S49～H4	(429件※)
ニューサンシャイン計画	H5～H12	499件
即効型高効率太陽電池技術開発	H11～H12	13件
先進太陽電池技術研究開発	H13～H17	310件
革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発	H13～H17	166件
太陽光発電システム共通基盤技術研究開発	H13～H17	10件
太陽光発電技術研究開発	H13～H17	28件
太陽光発電システム普及加速型技術開発	H12～H17	84件
太陽光発電システム実用化加速技術開発	H17～H19	25件

※ サンシャイン計画の昭和60年度～平成2年度の特許出願数については資料不足のため不明。

出願人国籍別出願件数推移および比率

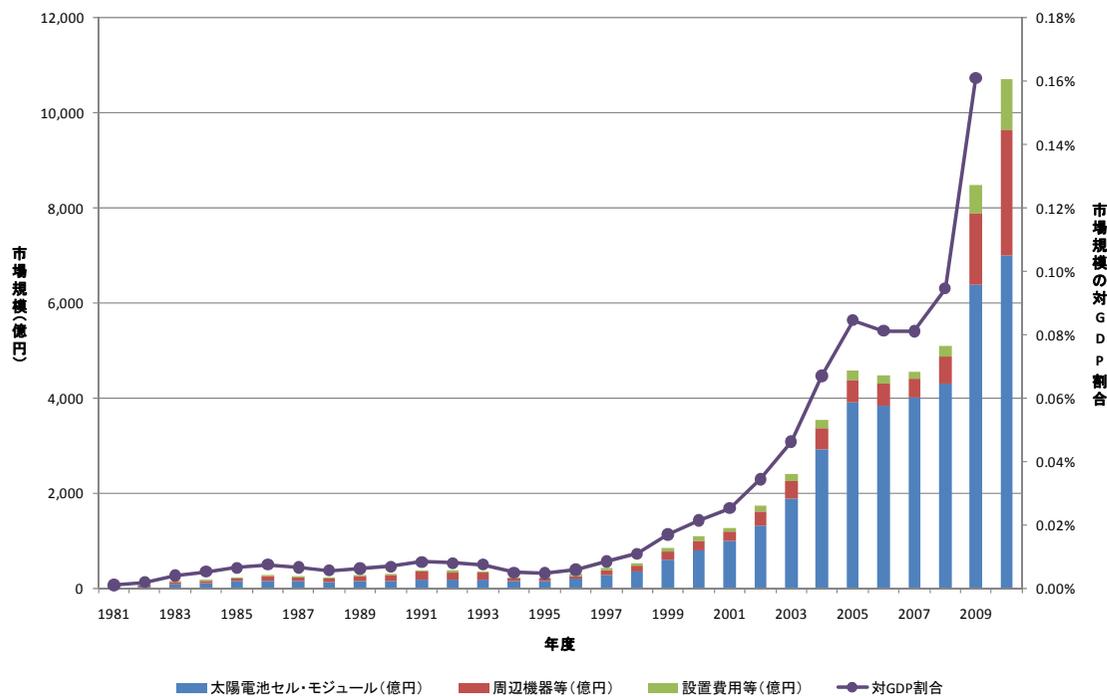


出所:平成20年度 特許出願技術動向調査報告書 太陽電池(要約版)

3.5 経済的効果

- 日本企業による太陽電池の生産額は、2004年度の約2900億円から2010年度の約7000億円まで、年平均117%成長している。2004年以降ドイツ等の市場の成長に伴い、日本企業も輸出割合が5割を超えるようになっている。
- 太陽電池セル・モジュールの生産額、インバーター等周辺機器の生産額、設置費用を含む経済的インパクトは、2010年には、1兆円を超えており、**1981年からの累計で、5兆5000億円の経済的インパクトが創出**されていると推計される。
- また、太陽電池産業は、原料製造からシステム施工まで、非常に裾野の広い産業であり、**2009年時点では、2.7万人の雇用を生み出し**、2002年の約1万人から大きく増加している。2020年には10万人の雇用創出が**目指**されている。

太陽光発電に関する経済的インパクト



出所: 各種データからMRI推計

太陽電池の新規雇用創出効果

国名	太陽光関連雇用者数 (研究開発関連、製造組立関連)	全雇用者数に占める 太陽光関連雇用者 数の割合
ドイツ	65,000	0.16%
米国	46,000	0.03%
日本	26,700	0.04%
フランス	8,470	0.03%
イタリア	8,250	0.04%
チェコ	8,100	0.17%
韓国	6,500	0.03%
オーストラリア	5,300	0.05%
マレーシア	3,172	0.03%
オーストリア	2,870	0.09%

出所: IEA「TRENDS IN PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS」2010、IMF
- World Economic OutlookよりMRI作成

3.6 経済的効果創出に至った道筋

- 日本における太陽電池の普及は1990年代初頭に急速に拡大した。それには、大きく分けて3つの理由が考えられる。

① 公的研究開発により太陽電池の性能が大きく向上

- 1990年代初頭に変換効率10%を達成することができ、家庭で利用する電力をほぼ賄うことができる3kWの太陽光発電システムを屋根に載るサイズで実現することができた。
- 10%という変換効率は、サンシャイン計画開始当初より普及の初期段階を想定して設定された目標であり、それを達成することにより、後述する補助金などの導入支援が現実的になった。

② 太陽電池の設置に関する規制緩和と余剰電力の買取りを可能とした逆潮流が認可

- 電気事業法が改正され、太陽光発電が一般家庭の自家発電力として設置できるようになった。
- 関西電力と電力中央研究所による六甲アイランドでの実証試験により、保安上の問題がクリアされ、逆潮流ありの系統連系ガイドラインが1993年度までに定められることとなった。

③ 余剰電力買取メニュー（1992年）と住宅用太陽電池に対する導入補助金（1994年）

- 技術的な要因と制度的な要因がクリアされた所に、導入への金銭的なインセンティブが加わることにより、太陽光発電の普及は一気に進むこととなった。
- 補助金制度の存在は住宅用太陽電池の導入を国が明示的に促進しているという面で、精神的にも導入家庭の大きな後押しとなった。

3.7 民間企業の研究開発促進(レバレッジ)効果

- 公的資金による研究開発がなければ、我が国の太陽電池に関する研究開発は継続することができなかったという意見が民間企業から多数得られている。
- 公的資金による研究開発は、企業の研究開発の期間を短縮する効果があるといわれるが、太陽光発電に関しては、それを大きく上回る意義があったと捉えることができる。
- 1980年代から2000年代にかけて途切れることなく研究開発を進めてきたことにある。欧米のエネルギー企業が撤退し、国家的な支援も減少する中で、日本のみが継続的な支援を続けることにより、多くのシェア獲得に至る道筋を築くことができたと考えられる。

研究開発促進に関する民間企業ヒアリング結果

シャープ株式会社

- 太陽電池事業は、計画により研究開発スキームが確立され、目標設定が出来たことで技術者のレベルアップに繋がるとともに、90年代の住宅用太陽光発電システム事業へとスムーズに参画できた。こういった公的研究開発テーマが設定されたことで、社内の研究体制が継続され、人材育成に役立ったことに加え、90年代にスタートした住宅向けなどの需要拡大に短期間にキャッチアップすることができた。

京セラ株式会社

- 市場が成長し事業が大きくなる中で、委託研究費の割合は低下していったが、1980年代の京セラの太陽電池に関する研究開発費の多くを、国からの委託研究費で賄っていた。

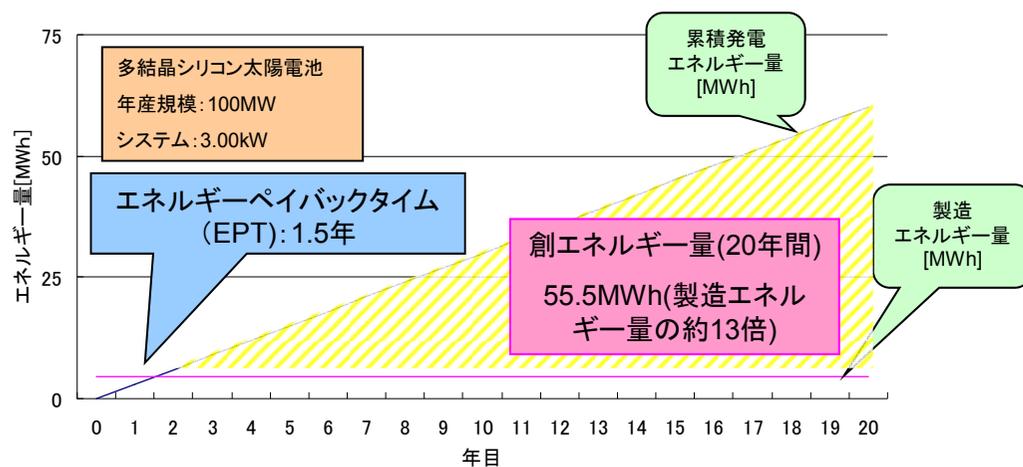
三洋電機株式会社

- 国が長期計画を立てて、実用化を目的とした企業支援を続けた結果、企業による研究開発が継続され、事業化に結び付いた。既存電力とコスト面で対等でない以上、普及には国からの支援が不可欠で、当時の国はその役割を適切に果たした。

3.8 国民生活・社会レベルの向上効果

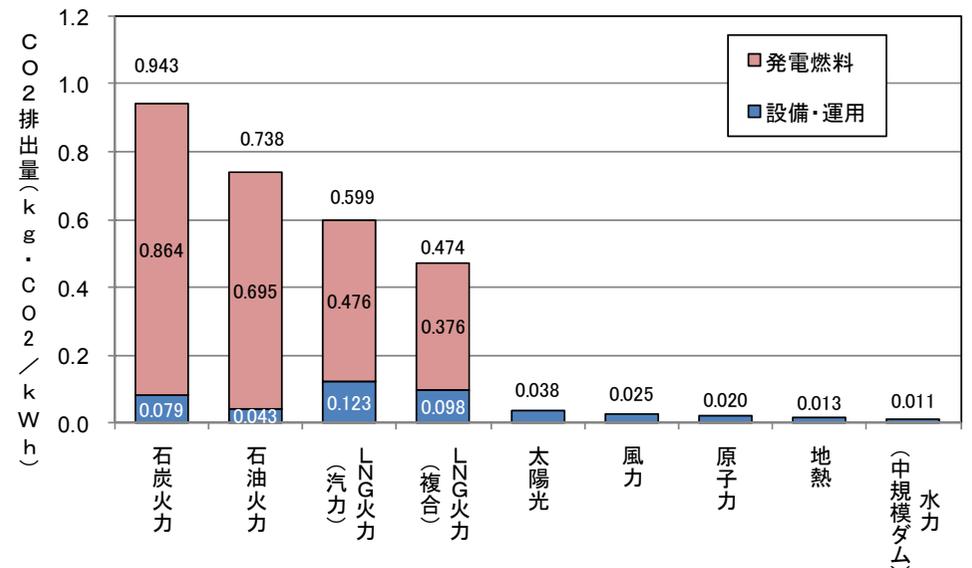
- サンシャイン計画当初は化石燃料の代替エネルギー開発として太陽光発電技術の開発が行われた。1980年代から地球環境問題が顕在化し開発の目的がシフトしていった側面もあるが、資源がない我が国にとって、膨大なエネルギーを持つ太陽の活用は最重要課題であった。
- 3kWの太陽電池システムを導入した場合、製造時に要したエネルギーは1.5年で回収でき、20年間で製造エネルギーの約13倍もの創エネルギー効果があるといわれている。(左図)
- 太陽光発電と他の発電システムとの二酸化炭素排出量を比較すると、発電時の排出は風力や原子力等と同様にほぼゼロである。また、問題視されることの多い製造時の排出量に関して、他のシステムと比較してそれほど大きなものではないことが分かる。

太陽光発電システムのエネルギーペイバックタイムと創エネルギー量



出所: NEDO成果報告書「太陽光発電評価の調査研究」太陽光発電技術研究組合

太陽光発電と他の発電システムとのCO2排出量比較



出所: 電力中央研究所「日本の発電技術のライフサイクルCO2排出量評価」2010よりMRI作成

4. 現在の視点からの一連のプロジェクトの評価

- **国のプロジェクトとしての効果:** 我が国の太陽光発電プロジェクトが長期的に継続し、2000年代に世界一の生産量を達成するに至った。そのきっかけは、サンシャイン計画発足時(1974年)に、1990年までに高性能低価格の太陽光発電システムを開発するという大目的を立てたことによる。特にシリコン結晶系の太陽電池は、現在実用化されて展開しているものの成果のほとんどは、国のプロジェクト成果が全面的に活用されており、また、そこに参画していた企業において研究ノウハウが人材と共に移管され、実用化につながったものと考えられる。結晶系シリコンに比べて生産量は少ないが、薄膜シリコン太陽電池、CIS系薄膜太陽電池については、ニューサンシャイン計画の貢献が大きく、量産が始まっている。
- **国が関与する必要性:** サンシャイン計画が立てられたころの太陽電池の製造コストはワット当たり数万円と高くこれを約20年で100分の1以下にし、商用電力並みの発電単価を達成しようとする試みは、長期的な取り組みを強いられ、収益を重視する民間企業だけで実施することはほぼ不可能であった。このため、国が関与する必要性は必須であった。その背景が、エネルギー源の確保、環境対応特に地球温暖化対応であり、又結果的に産業誘発が達成できたことから、経済産業省(当時の通商産業省及び工業技術院)が行わなければならない事業であり、関与というより主体的に取り組むことが妥当であった。もしこのような国の関与がなかった場合、太陽電池や液晶技術などで世界でも比較しうる競争力を獲得することはなかったものと考えられる。
- **目標設定の妥当性:** サンシャイン計画の時点では、具体的な目標設定として、「太陽光発電システムを他の発電方式と同程度の経済性を有するものとする」「第一課題として太陽電池の大幅なコストダウンを図り、ワットあたり100~200円の価格(1990年にその当時の価格の100分の1以下とする)」「1995年には、210万戸の住宅と1万棟のビルに設置し、総発電量750万kWを目標とした。」このような、電気事業電力コストに匹敵しうる発電コストを太陽光発電で達成することを特に技術開発により達成しようとしたコンセプトは、その後のニューサンシャイン計画、また2000年以降のNEDO 5カ年計画の土台を支え続けることになった。
- その後、1989年ころから地球温暖化問題が顕在化すると、従来のエネルギー問題解決のための太陽光発電の開発といった目的に加え、二酸化炭素削減のための新エネルギー発電システムとして新たな目的が加わってくる。この結果、明確な目標設定として記載されているものはないものの、家庭への太陽光発電の設置が目指されることになった。この家庭への太陽光発電の設置については、1979年に電総研が住宅用システムと電力系統という構想の中で、系統連系された多数の分散設置太陽光発電システムが配電系統を通して運用されることで、大規模発電所の役割を果たすことをすでに示している。
- **プロジェクト実施方法の妥当性:** サンシャイン計画においては、太陽光発電だけでなく、太陽熱、地熱、石炭のガス化、水素エネルギー技術というように、並行して複数の技術的シーズへの取り組みがなされ、その中で有望な技術を伸ばしていく仕組みがとられた。研究開発の遂行のためには、複数のテーマに分けて関心の高い企業に研究を委託する方式がとられてきた。この中で、太陽電池のリーダー企業が生まれてきたことは特筆に値する。最初は、多結晶系で先行し世界トップにまで躍り出たシャープなどの活躍、次には、薄膜シリコンに注力し同分野では量産に移行したカネカ、CIS系シリコン薄膜で積極的に設備投資を行っている昭和シェルなどである。

4. 現在の視点からの一連のプロジェクトの評価

① サンシャイン計画：S49～H4（1,074億円（一部、太陽熱発電関連を含む））

I 事業の目的 と成果概要	①事業の目的	太陽光発電システム技術開発全体の研究目標としては、他の発電方式と同程度の経済性を有し、わが国のエネルギー源として寄与しうる、太陽光発電システムを開発することである。このために必要な第一課題として、太陽電池の大幅なコストダウンを計り、ワット当たり100～200円の価格を可能にする製造技術を開発する。
	②成果概要	多結晶シリコン太陽電池については、500円/Wを実現するための技術が完成され、また100～200円/Wを実現するための技術的見通しがついた。アモルファス太陽電池については要素研究の段階であり、目標値達成の技術的見通しは得られており、技術的課題の着実な解決を図っていくことが確認された。
II 現在の視点 からのプロ ジェクトの 評価のため の参考情報	①国家プロジェクトとしての妥当性	サンシャイン計画が立てられたころの太陽電池の製造コストはワット当たり数万円と高くこれを約20年で100分の1以下にし、商用電力並みの発電単価を達成しようとする試みは、長期的な取り組みを強いられ、収益を重視する民間企業だけで実施することはほぼ不可能であった。このため、国が関与する必要性は必須であった。
	②目標設定	電気事業電力コストに匹敵しうる発電コストを太陽光発電で達成することを特に技術開発により達成しようとしたコンセプトは、その後のニューサンシャイン計画、また2000年以降のNEDO 5カ年計画の土台を支え続けることになる。当時、第一次石油危機、第二次石油危機の影響を受けた中、サンシャイン計画への国民の関心は高く、新たな電力需要にみあう新エネルギー電源への期待は高かった。このように、長期的に具体的な目標設定を行ったことはその後の研究開発を支える上で、重要であり高い効果を生むことになったと考えられる。
	③プロジェクトの実施方法	研究開発の遂行のためには、複数のテーマに分けて関心の高い企業に研究を委託する方式がとられてきた。この中で、太陽電池のリーダー企業が生まれてきたことは特筆に値する。最初は、多結晶系で先行し世界トップにまで躍り出たシャープ等の活躍、次には、薄膜シリコンに注力し同分野では量産に移行したカネカ、CIS系シリコン薄膜で積極的に設備投資を行っている昭和シェル等である。 サンシャイン計画発足当初は、太陽電池製造に関する委託研究のみであったが、1970年代末にはシステム研究が加えられた。この当時から、系統連系された多数の太陽光発電システムが分散配置されれば、石油代替エネルギーを生み出す発電所の機能を果たすと考えた点は特筆に価する。

4. 現在の視点からの一連のプロジェクトの評価

② ニューサンシャイン計画：H.5～H.12（572億円）

I 事業の目的 と成果概要	①事業の目的	2000年(平成12年)に向けた短期目標として、「一般家庭電気料金に相当する発電コスト(製造原価ベース)での電力供給が可能な技術確立」を設定。①薄膜太陽電池の低コスト製造技術の開発と、②発電コストの低減や導入量の拡大に資する太陽光発電システム技術の開発、③同料金を下回る発電コスト達成の可能性のある次世代薄膜太陽電池及び大規模導入を可能とする太陽光発電システム技術に関する要素研究開発を行う
	②成果概要	アモルファスシリコン太陽電池、CdTe太陽電池については、これまでの技術開発の結果、変換効率の向上や大面積セル製造技術の開発等の課題をクリアし、目標である140円/W(100MW/年 生産時、製造原価)で製造するために必要な技術を確立した。
II 現在の視点 からのプロ ジェクトの 評価のため の参考情報	①国家プロジェクトとしての妥当性	日本のようにエネルギーに恵まれない国において、国が長期的な見通しを立てずに、民間の自由競争のみに任せると、資源枯渇、二酸化炭素増加、環境破壊等の弊害が出てくる恐れがある。太陽電池の普及は、公共の利益を考慮すれば経済原理を超えて国あるいは国際協調の中で推し進めていくべきテーマである。つまり、市場原理の身に委ねるのではなく、そこに国が関与し、その進捗速度を積極的に制御する必要がある。
	②目標設定	短期目標としては、太陽電池製造コストを140円/Wと設定しているのは、電気料金レベルと同等の発電コストであり、太陽電池の現状コスト、普及の度合いを考えるとやむをえないが、中・長期的に100円/Wと電気料金を下回るレベルに設定していることが重要である。ただし、2010年における導入目標500万kWは現状の普及の進捗状況や、実際の発電コストが目標より依然としてかなり高いことを勘案すれば、達成の困難が予測され、目標達成のため、太陽電池発電コストの引き下げ努力が必要としている。
	③プロジェクトの実施方法	太陽電池の製造技術開発とシステム技術開発の両面からのアプローチは妥当であった。前者は将来の低コスト太陽電池を目指し、後者の多くは現用の太陽電池を実用化するための課題であるので、フェーズが異なる。ただし、各要素技術間の連携は、一定程度は行われているように見えるが、改善の余地も大きいのではないかと。等（事後評価報告書）

4. 現在の視点からの一連のプロジェクトの評価

③ 即効型高効率太陽電池技術開発:H.11～H.12(～H14) (16億円)

I 事業の目的 と成果概要	①事業の目的	結晶系太陽電池の高効率化・高品質化を即効的に可能とする技術開発を実施し、新エネルギーとしての太陽光発電システムの導入促進に資する。
	②成果概要	高品質多結晶シリコンインゴットの製造技術を確立し、試作したインゴットから得た基板を用いて作製した太陽電池において変換効率19.0%を得た。等
II 現在の視点 からのプロ ジェクトの 評価のため の参考情報	①国家プロジェクトとしての妥当性	太陽電池はわが国のエネルギー・環境政策にとって重要な技術の一つであるが、その発展は生産コスト低減にかかっている。現在の技術の延長でどこまで高効率、低コストを実現できるかを確認し、その過程で生まれた技術を直ちに実用に生かす本プロジェクトは、技術的発展がそのまま新市場の拡大につながる太陽光発電分野では有効であった。この認識は、現在の視点から見ても、同じと考えられる。(事後評価報告書)
	②目標設定	事後評価でも述べられている通り、本プロジェクトにおいてはコストと効率という明解な開発目標を設定し、その変換効率20%の目標は多結晶セルでは極めて高い戦略的レベルであった。
	③プロジェクトの実施方法	実用技術に近いこの種の研究開発は、運用によっては本来国が関与すべきでない市場競争の分野に資金を流出し、かえって企業間の競争を阻害することにもなりかねないという危険もあるが、本プロジェクトが明確な開発目標を示して実施したことは、研究開発マネジメント面でそうした危険を避けようとする努力であったと評価された(事後評価報告書)。

4. 現在の視点からの一連のプロジェクトの評価

④ 先進太陽電池技術研究開発：H.13～H.17（103億円）

I 事業の目的 と成果概要	①事業の目的	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とする。
	②成果概要	シリコン結晶系薄膜太陽電池モジュール製造技術においては、目標のセル面積3,600cm ² で効率12%を達成した。CIS系薄膜太陽電池モジュール製造技術開発においては、反応炉、バッファ層、TCO窓層等の製膜方法の最適化やCIGS膜のバンドギャップ最適化等によりセル面積3,600cm ² で高速製膜条件で効率13%を達成した。等
II 現在の視点 からのプロ ジェクトの 評価のため の参考情報	①国家プロジェクトとしての妥当性	本プロジェクトが実施された時期は、1990年代不況の影響が残っており、民間企業のみでの努力によっては達成できなかった成果だと考えられる(事後評価報告書)。本事業が対象とするシリコン薄膜や化合物半導体の太陽電池は、未だ技術的に黎明期であり、この段階において国の関与は必要であり、その投資効果も十分に高いと考えられる(事後評価報告書)。多額の研究開発費、高い技術的難度等から、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されない場合に相当したと考えられる。
	②目標設定	100MW/年程度の量産規模において、モジュール製造原価を100円/W以下とすることが目標とされた(薄膜シリコン、CIS系薄膜、化合物系とも)。本プロジェクト開始後の2004年度に策定された「太陽光発電ロードマップ(PV2030)」では、2010年の開発目標を100円/Wとしているところであり、ロードマップの面からも妥当だったと考えられる(2009年に改訂された「PV2030+」では2017年75円/W、2025年50円/Wとしている)。
	③プロジェクトの実施方法	結果として、薄膜シリコンについては、カネカ等、CIS系薄膜については昭和シェル石油等が採択されており、それぞれの分野でその後の太陽電池開発をリードする企業が選ばれていたのは、妥当な選択だったと考えられる。

4. 現在の視点からの一連のプロジェクトの評価

⑤ 革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発:H.13～H.17（78億円）

I 事業の目的 と成果概要	①事業の目的	2010年以降の太陽光発電システムの大量普及を実現するために、業務用電力料金、既存電源に匹敵する発電コストを可能とする革新的次世代太陽光発電システムの開発を実施し、太陽光発電の本格的な普及促進に資することを目的とする。
	②成果概要	薄膜シリコン太陽電池12テーマ、CIS系薄膜太陽電池7テーマ、色素増感太陽電池7テーマ、結晶シリコン太陽電池7テーマ、その他太陽電池6テーマ、システム技術1テーマで実施。例：a-Siの光劣化抑制技術として、ナノ結晶シリコンをa-Si相内に分布させることにより、光劣化率3.6%を得た。
II 現在の視点 からのプロ ジェクトの 評価のため の参考情報	①国家プロジェクトとしての妥当性	本事業は、民間企業単独ではリスクが大きく実施しにくい革新的な基礎研究開発をテーマとしていたため、国が関与する必要性があったと考えられる。
	②目標設定	事後評価段階では、「チャレンジングなテーマが多いことから、目標値の設定方法については一考の余地があった」された。本プロジェクトの目標は、製造コストの低下であったが、個々の研究開発課題は要素技術の開発であり具体的な変換効率が目標値とされるテーマが多かった。基礎寄りの研究開発において、プロジェクト全体の目標（低コスト）とどう関連付けて関係付けて目標設定するかについては、課題があったと考えられる。
	③プロジェクトの実施方法	研究開発は各委託先において行われ、研究開発の進捗管理については、毎年度、委託先による進捗報告と討議を行う技術検討会が行われた。また、平成16年度からは研究開発テーマを太陽電池種類別に5グループに分け、それぞれに分科会を設けて進捗管理がなされた。 大学・公的研究機関が筆頭のテーマが多いことが特徴的であった。しかし、大学、公的研究機関の成果を企業の開発研究につなげていく連携が弱かったことも考えられる。

4. 現在の視点からの一連のプロジェクトの評価

⑥ 太陽光発電システム共通基盤技術研究開発:H.13～H.17（42億円）

I 事業の目的 と成果概要	①事業の目的	太陽光発電システムの自立的な導入拡大を実現するため、太陽電池の低コスト化ばかりでなく、太陽光発電システムの性能評価や信頼性等に関する共通基盤技術を確立することを目指す。
	②成果概要	太陽電池性能評価の開発では、各種太陽電池セル、モジュールの評価装置を各委託先に移設し、移設前に比較して十分な評価精度が得られることを確認し、一次基準セル校正の国際比較(WPVS)へ参画して、日本の校正値の精度は、国際トップレベルであることを実証した。等
II 現在の視点 からのプロ ジェクトの 評価のため の参考情報	①国家プロジェクトとしての妥当性	太陽光発電システムの大量導入に向けて、太陽電池セル・モジュール及び太陽光発電システムの性能や信頼性、耐久性、安全性等に関する評価技術を開発するとともに、資源の有効利用や環境負荷低減の観点から、太陽光発電システム構成機器等のリサイクル・リユースに関する要素技術等を開発することを目標としたものである。これらのテーマは、太陽光発電システムの本格的な普及拡大のためには、必要なものであり、この時期に取り組んだことは高く評価できると考えられる。
	②目標設定	目標設定に関しては、必要性の観点から見て概ね妥当だったと考えられるが、評価技術分野は定量的な目標設定がやや難しい面があるため、具体的かつ明確な開発目標と、目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されておらず、プロジェクトの最終到達点が明確でないところがある(事後評価報告書)。
	③プロジェクトの実施方法	本プロジェクトの委託先は、産業技術総合研究所、電気安全環境研究所、太陽光発電技術研究組合(昭和シェル石油、シャープ、旭硝子)の他、調査研究機関が6機関であった。実施体制は、中立機関を中心に、実績・専門性を有する組織で構成されており、事後評価において妥当だったと評価されている。新規の評価技術の確立という定量的目標設定の難しい技術分野において、継続的にプロジェクトを推進されたことは高く評価される。

4. 現在の視点からの一連のプロジェクトの評価

⑦ 太陽光発電技術研究開発：H.13～H.17（14億円）

I 事業の目的 と成果概要	①事業の目的	NEDOの「太陽光発電技術研究開発事業」を補完し、総合的に支援するため、一層低価格で高効率な太陽電池の開発、性能評価技術の確立や中立的な評価の実施、既存システムとの連系技術の確立、リサイクル技術の確立、実環境における太陽光発電システムの性能分析等の課題を達成することを目的とする。
	②成果概要	アモルファスシリコンにおいては、劣化後の効率として世界最高水準の9%超を達成した。微結晶シリコンにおいては、当時世界最高の8nm/sの製膜速度を達成。等
II 現在の視点 からのプロ ジェクトの 評価のため の参考情報	①国家プロジェクトとしての妥当性	本プロジェクトの研究開発成果については、事後評価の時点で、ほぼ目標に近い成果を挙げ、論文や学会での招待講演等は、質・量ともに極めて優れた成果を挙げたとされた(事後評価報告書)。また、事業化については、結果として企業での実用化例が出ているので、産業化を促進している点、JIS化や国際規格化等に向けた対応や長期信頼性の保証等について日本代表として情報発信している点が評価された(事後評価報告書)。
	②目標設定	本事業全体としては、研究開発等の目標は、概ね定量的に明示され世界的レベルで設定されていた(事後評価報告書)。
	③プロジェクトの実施方法	研究開発実施者の事業体制については、経済産業省から産業技術総合研究所への直接委託により実施された。本委託事業では、民間企業が継続的に研究しにくい、先進的・基盤的研究課題を取り扱い、実用化に結びつけるNEDOプロジェクト事業を支援することを目的としていることから、政府主導の基礎研究が不可欠であり、本事業体制が最適であった(事後評価報告書)と考えられる。

4. 現在の視点からの一連のプロジェクトの評価

⑧ 太陽光発電システム普及加速型技術開発:H.12～H.17（44億円）

I 事業の目的 と成果概要	①事業の目的	現行の生産性を革新的に向上させる量産化技術開発や変換効率を含めた太陽光発電システムの高性能化技術開発等を行い、太陽光発電システムの加速的なコストダウンと本格的な普及を図る。
	②成果概要	薄膜多結晶シリコンセル形成の高スループット量産化技術開発については、当初設定した研究開発目標を達成し、ハイブリッドモジュール量産化技術を確立した。高速大面積アモルファスシリコン製膜技術の開発では、世界で初めて60MHzの超高周波を用いた基板面積1㎡を越えるプラズマCVT装置を開発でき、開発した装置を用いて連続生産が安定して可能であることを示した。等
II 現在の視点 からのプロ ジェクトの 評価のため の参考情報	①国家プロジェクトとしての妥当性	本プロジェクトには、シャープ、カネカ等後の太陽電池生産をリードする企業が参画した。事後評価の時点では、特に、低コストシリコン原料の研究開発において実用化の見通しが得られたことは、今後の太陽電池の普及拡大に対して波及効果は大きいとされた(事後評価報告書)。
	②目標設定	事後評価においては、各テーマは概ね具体的で妥当な研究開発目標を掲げているとされたが、本プロジェクト全体の目標と各テーマの目標において、特に低コスト化に関してどのようにリンクしているのか明確でないものがあることが改善すべきとされた(事後評価報告書)。
	③プロジェクトの実施方法	本プロジェクトで採択された10件のテーマは、それぞれ企業1社が単独で実施するものであった。本プロジェクトでは、研究開発終了後速やかに市場に導入され、太陽光発電システムの大量導入に資すると判断されるものを要件としており、市場への導入円滑化のためには、企業1社がそれぞれ責任を担う形の実施方法は妥当だったと考えられる。

4. 現在の視点からの一連のプロジェクトの評価

⑨ 太陽光発電システム実用化加速技術開発：H17～H19（12億円（NEDOは1/2負担））

I 事業の目的 と成果概要	①事業の目的	2010年までに482万kWの導入を達成するためには、これらの解決に国(NEDO)の積極的な関与が必要な状況である。よって、本事業の実施により太陽光発電システムのコストを競合エネルギー並に低下させ、太陽光発電の本格普及を加速する。
	②成果概要	「高フィルファクタ太陽電池対応型高効率インバータ技術開発」では、太陽電池とインバータを接続しての組合せ試験等を実施、開発目標「交流出力20%以上の領域での直流・交流変換効率97.0%以上」を達成した。等
II 現在の視点 からのプロ ジェクトの 評価のため の参考情報	①国家プロジェクトとしての妥当性	本制度は上位政策である「新エネルギー技術開発プログラム」との整合性があり、経済産業省の政策方針にも沿うものである。また、比較的短期間の実用化研究開発の支援を行う制度であり、企業がある程度主体的に目標設定し実施できる制度であることから意義の大きいプロジェクトであったと判断し、その目的、目標は社会的要請、経済的要請に沿ったもので妥当であったと考えられる。
	②目標設定	太陽光発電による発電コスト23円/kWh（モジュール製造コスト100円/W、システム設置価格30万円/kW程度に対応）を実現すべく、100MW規模の生産を想定した量産化等技術開発により、平成22年（2010年）頃までの商用化を目指した（事後評価報告書）。上記の通り十分な成果が得られたとの評価を踏まえると、目標設定は妥当であったと考えられる。
	③プロジェクトの実施方法	本プロジェクトでは、開発終了後数年での実用化を念頭に原則3年間以内で終了できる課題を対象とし、公募によってテーマ及び研究開発実施者を選定の上、それぞれ1/2の費用負担の共同研究により実施した。実用化・事業化を意識した制度として妥当な実施方法だったと考えられる。