

太陽光発電ロードマップ (PV2030+)

「2030年に向けた太陽光発電ロードマップ (PV2030)
に関する見直し検討委員会」報告書

2009年6月

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー技術開発部

2030年に向けた太陽光発電ロードマップ (PV2030) に関する
見直し検討委員会

はじめに

太陽光発電ロードマップ（PV2030）（以下、ロードマップ（PV2030）と記述）は2004年に国の太陽光発電技術開発の推進を目的として策定され、これまで我が国の太陽光発電に関する技術開発指針として広く利用されている。策定後の4年間の太陽光発電を見通すと、フィードイン・タリフ制度の導入などで市場は大きく拡大、欧米では日本への対抗を視野に技術開発計画を刷新して開発を実施、東アジア諸国を中心とする多数の企業の参入などがあり、太陽電池の生産量は年率40%以上の伸びで拡大しているが、その市場構造には大きな変化が起きている。太陽光発電発展の中心は我が国から欧州に移りつつあり、我が国が技術開発、市場形成、産業形成の各要素に亘り世界を牽引していた状況から技術的優位性、国際的競争力が薄れつつある。

一方で、太陽光発電そのものはエネルギー資源問題と環境保全の双方に有効な一次エネルギー源として年々重要性を増しており、2100年頃には世界の一次エネルギー供給の過半を太陽エネルギーの利用（発電）で賄うとの予測もあり、また、温暖化への対応では2008年6月の洞爺湖サミットで「2050年までに温暖化ガスの排出を半減する」との長期目標がグローバルに共有され、これに対する重要技術の1つとして太陽光発電の貢献が要請されている。これに対応して政府の長期エネルギー需給見通しが改訂されるとともに、2030年までの太陽光発電導入目標（53GW相当）が設定され、対応施策として2008年度からNEDO「革新的太陽光発電技術研究開発」プロジェクトが始まり、2009年からは住宅用太陽光発電システムに対する導入補助制度も復活する。

しかしながら太陽光発電はまだ経済性・利便性に課題があるため、系統電力と競合出来る状況を早期に実現することが重要で、発電量変動に対応した利用技術などの開発も重要となっている。さらに太陽光発電は環境問題に対する国際的貢献ツールとして、また将来の産業としても重要な役割を担っており、我が国が再び世界をリードする状況を確認することも必要である。

これらの実現には技術開発の効果的な推進が不可欠で、今回、2009年に予定していたロードマップ（PV2030）の見直しを1年早めて実施することとした。環境問題などに対する国際的貢献も視野に、太陽光発電普及の加速的進展や将来の発展のために解決すべき課題とそれに対する開発シナリオを明確にすることを目的に見直しを実施した。

2004年に策定したロードマップ（PV2030）と同様に、有識者による検討委員会（委員長：黒川浩助東京工業大学特任教授）を構成し、委員会幹事と事務局を（株）資源総合システムが担当して実施した。また、ロードマップ（PV2030）の見直し後の名称を「太陽光発電ロードマップPV2030+（プラス）」とした。

*** 今回の見直しのコンセプトと見直し方針:**

○コンセプト:

「2050年までに太陽光発電がCO₂発生量削減への一翼を担う主要技術になり、我が国ばかりでなくグローバルな社会に貢献する」

○見直し方針

- (1) 太陽光発電の発展を2030年から2050年まで拡大して考える。
- (2) 技術課題にとどまらず、システム関連課題、社会システムなど、広い視野で検討する。
 - ・ 海外貢献や国際競争力確保も視野に目標の前倒し実現も検討する。
 - ・ 国や産業界による太陽光発電の利用拡大への取り組みも考慮しながら検討する。
- (3) 我が国産業による海外に対する太陽光発電システム供給を考える。
 - ・ 国内に限らず世界に対して太陽光発電システムを供給できる姿を示す。
- (4) 具体的な目標、取り組みの枠組みを示す。
 - ・ 具体的な技術開発や課題への取り組みを、ロードマップ（PV2030）の達成状況と課題を参照して検討する。

*** 国の導入施策と「太陽光発電ロードマップ(PV2030+)」の関係**

国の長期エネルギー需給見通しなどにおける導入目標は、行政としてさまざまな情勢を勘案し、エネルギー政策上の必要性和実現可能な部分を見通して設定される長期の行政目標である一方、この「太陽光発電ロードマップ（PV2030+）」は、太陽光発電の発展のための筋道、方策と努力の方向を検討するために想定した将来の道筋を示し、技術開発などへの取り組みの方向性や課題等を広範囲に把握するために、挑戦的な視点で設定を行った。したがって、この「太陽光発電ロードマップ（PV2030+）」は、技術的に可能性のある選択肢を幅広く提供する基礎情報の一つであり、将来的な政策立案や見直しに対する指標となるものである。

検討委員会委員名簿

(2009年3月時点)

委員長

黒川 浩助 国立大学法人 東京工業大学 統合研究院 特任教授

委員

若尾 真治 早稲田大学 理工学術院 電気・情報生命工学科 教授

小長井 誠 国立大学法人 東京工業大学 大学院 理工学研究科 電子物理工学専攻 教授
太陽光発電システム研究センター長

荻本 和彦 国立大学法人 東京大学 生産技術研究所 人間・社会系部門
エネルギー工学連携研究センター 特任教授

近藤 道雄 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長

瀬川 浩司 国立大学法人 東京大学 先端科学技術研究センター 教授

山口 真史 豊田工業大学 大学院工学研究科 教授

杉本 完蔵 太陽光発電協会 幹事会幹事 公共・産業部会 副部会長

山内 康弘 三菱重工業株式会社 長崎造船所 太陽電池事業ユニット 主幹技師

小西 貴雄 シャープ株式会社 ソーラーシステム事業本部 薄膜太陽電池事業部
副事業部長 兼 第2生産部長

田中 誠 三洋電機株式会社 研究開発本部 アドバンストエネルギー研究所
先進太陽光発電開発センター長

塩 将一 積水化学工業株式会社 住宅カンパニー 技術部
環境・快適住宅推進G 主席技術員

山口 雅英 株式会社ジーエス・ユアサ パワーサプライ 産業電池電源事業本部
電源システム生産本部 開発部 部長

三根 浩二 電気事業連合会 技術開発部 副部長

駒橋 徐 産業ジャーナリスト

一木 修 株式会社資源総合システム 代表取締役社長

(経済産業省)

栗原 晃雄 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
課長補佐

太田 秀幸 製造産業局 非鉄金属課 課長補佐 ファインセラミックス室 室長補佐
(NEDO 技術開発機構)

福田 秀樹 新エネルギー技術開発部 部長

川浪 仁志 新エネルギー技術開発部 太陽電池グループ 主任研究員

諸住 哲 新エネルギー技術開発部 系統グループ 主任研究員

委員会事務局 (委員会幹事)

荒谷 復夫 株式会社資源総合システム 技監

松川 洋 株式会社資源総合システム 調査研究部 主任研究員

ワーキンググループ

荒谷 復夫 株式会社資源総合システム 技監
松川 洋 株式会社資源総合システム 調査研究部 主任研究員
川浪 仁志 NEDO 技術開発機構 新エネルギー技術開発部 太陽電池グループ 主任研究員
舟橋 隆之 NEDO 技術開発機構 新エネルギー技術開発部 太陽電池グループ 主査
渡辺 慶一 NEDO 技術開発機構 新エネルギー技術開発部 系統連系技術グループ 主査
大関 崇 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
評価・システムチーム 研究員
植田 譲 東京工業大学 大学院 理工学研究科 グローバルCOE 特任助教授
河本 桂一 みずほ情報総研株式会社 環境・資源エネルギー部 エネルギーチーム 主任研究員

太陽光発電ロードマップ（PV2030+）報告書

目 次

(ページ)

はじめに
委員名簿

I 概要	2
II 本論	23
III 資料	99

太陽光発電ロードマップ（PV2030+）報告書

目 次

(ページ)

I 概要

1. 見直しの目的と背景	3
2. ロードマップ（PV2030）策定後の環境変化	3
3. 見直しの方向性	4
4. 2050年に向けた太陽光発電の目指す姿	4
5. 実現に向けた課題と対応	6
6. 技術開発の内容と目標	7
7. 実現に向けた方策	8
8. 当面の取り組み	9
あとがき	11

Outline of the Roadmap PV2030+ (plus)

1. Introduction	12
2. Changes in the circumstances after the formulation of PV2030	12
3. Direction of the review of PV2030	13
4. Goal of PV power generation toward 2050	14
5. Issues to achieve the goals	16
6. Details and goals of technology development	17
7. Measures to achieve the goals	19
8. Immediate activities	20

1. 見直しの目的と背景

太陽光発電ロードマップ（PV2030）は「太陽光発電を2030年までに主要なエネルギーの1つに発展させること」を目標に、2004年に策定され、これまで我が国の技術開発指針として広く利用されてきた。ロードマップ（PV2030）策定後、原油価格が100ドル/バレルを超え、また、温暖化に伴う諸現象が各地で観測されるなど、エネルギー資源の枯渇や地球温暖化への懸念が顕在化しつつあり、太陽光発電はこれに対する重要な技術として大きな期待がかけられている。ロードマップ（PV2030）策定当時、我が国の住宅向けシステムへの導入補助が世界の太陽光発電産業と市場を牽引していたが、その後ドイツで導入されたフィードイン・タリフ（FIT）制度が発展し、これが各国に波及することで太陽光発電の発展の中心は欧州に移っており、最近では東アジア諸国での生産も急増している。さらに技術開発においても欧米各国では技術開発計画を刷新して技術革新に努めている。このように太陽光発電は我が国が技術開発、産業形成等に対して世界を牽引していた状況からグローバルな発展段階に移っており、このため我が国産業の地位は相対的に低下している。

今回、このようなロードマップ（PV2030）策定後の4年間の状況変化を踏まえ、「太陽光発電が2050年までにCO₂削減の一翼を担う主要技術になり、我が国ばかりでなくグローバルな社会に貢献できること」をコンセプトに、太陽光発電の更なる利用拡大と我が国産業の国際競争力維持を目指して見直しを行った。

2. ロードマップ（PV2030）策定後の環境変化

世界の人口増、中国などの新興国の経済発展から世界のエネルギー消費は大幅に増大し、一方、2005年には温暖化ガスの削減に関する京都議定書も発効した。2008年の洞爺湖サミットでは「2050年までに温暖化ガスの排出を半減する」との長期目標がグローバルに共有され、国内でも各種施策が動きだしている。この中で太陽光発電は重要な技術として注目され、2020年頃までに現状の約20倍の太陽光発電システムを導入する目標が掲げられ、2009年からは住宅向けの導入補助が開始されるとともに余剰電力の優遇価格購入制度の導入が検討されている。

太陽光発電市場はドイツでFIT制度が導入されたことにより欧州市場を中心に大きく発展している。また、技術面では装置産業の本格参入によりターンキーでの太陽電池事業参入が可能となり、これを利用したアジア諸国の発展も著しい。太陽光発電産業は図1に示すようにこの4年間で大きく発展した。

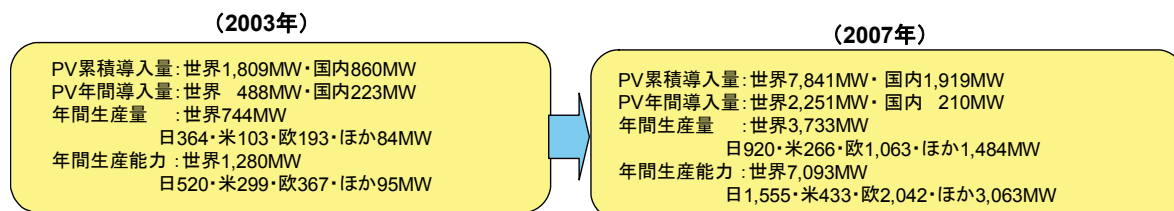


図1 ロードマップ（PV2030）策定後の太陽光発電市場の変化

世界の太陽電池生産量は0.7GWから3.7GWに拡大し、生産能力も大幅に拡大している。この中で我が国の生産量も2倍程度に増加しているが、シェア（世界の中での比率）は50%から25%に、生産能力でも40%から20%に低下している。

一方、技術開発に関して、我が国では2008年度から超高効率太陽電池のシーズ探索研究プロジェクト「革新的太陽光発電技術研究開発」がスタートした。欧州では欧州委員会の「枠組みプログラム（FP）」の中で太陽電池やシステム利用技術など広い分野で基礎技術から応用技術の開発を進められており、2005年には、「欧州太陽光発電技術プラットフォーム（PVTP）」が設立された。また、米国では、「ソーラー・アメリカ計画（SAI）」が策定され、「太陽電池技術ロードマップ」を見直し、達成時期を5年間前倒して各種技術開発を進めている。

3. 見直しの方向性

ロードマップ（PV2030）の見直しは、その目標を「太陽光発電が2030年までに主要なエネルギーの1つに発展させること」をさらに発展させて「2050年までに太陽光発電はCO₂削減の一翼を担う主要技術として、我が国ばかりでなくグローバルな社会に貢献する」を追加して、以下の方向で行った。

- ① 太陽光発電の発展を2030年から2050年まで拡大して考える。
- ② 温暖化問題に貢献できるような太陽光発電の量的拡大を想定する。
- ③ 経済性改善では“Grid Parityの実現”の考え方を維持する。
- ④ 技術課題にとどまらず、システム関連課題、社会システム等、広い視野で検討する。
- ⑤ 我が国の産業の、海外に対する太陽光発電システム供給を考える。
- ⑥ 具体的な目標、取り組みの枠組みを示す。

4. 2050年に向けた太陽光発電の目指す姿

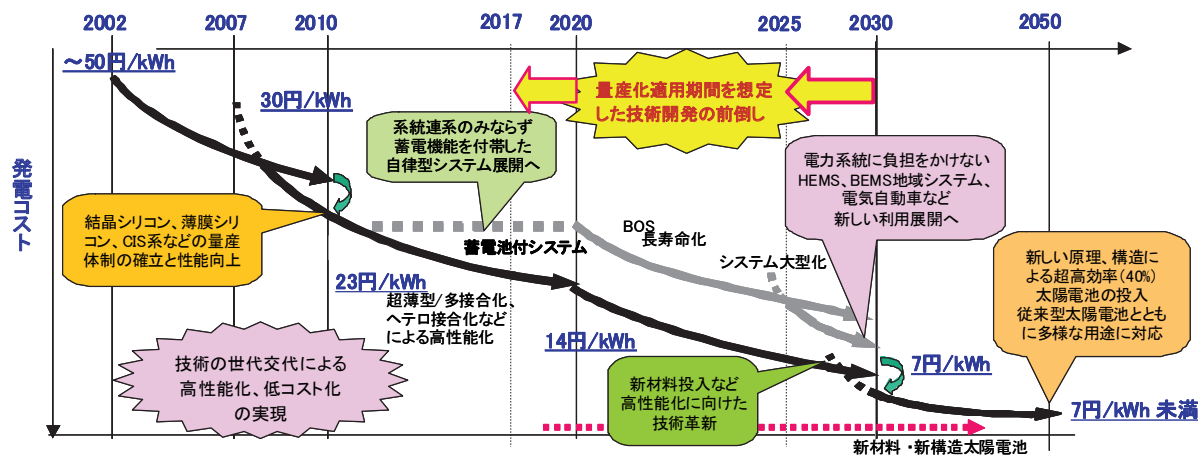
ロードマップ（PV2030）の見直した姿（ロードマップ（PV2030+）と称す）を図2に示す。

ロードマップ（PV2030+）では、時間的なスパンを2030年から2050年まで拡大し、温暖化問題に貢献できるような量的拡大として2050年の国内の1次エネルギー需要の5～10%を太陽光発電で賄うことを目標にし、海外に対しては必要量の1/3程度の供給出来ることを想定した。経済性改善では“Grid Parityの実現”の考え方を維持し、ロードマップ（PV2030）の発電コスト目標、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程度）そのものは変更せず、“2050年には7円を下回る発電コストの達成”を加えた。また、これを実現する技術開発では2030年の目標達成の5年前倒しを目指すとともに、2050年までに変換効率40%以上の超高効率太陽電池を開発する。

一方、太陽光発電の利用では、表1のように、段階的なGrid Parityの進展により量的拡大が進み、家庭用電力用途での利用からエネルギー消費の電力化に対応した化石エネルギーの置き換え用途に拡大すると想定した。ここでは、図3のように、太陽光発電の新しい利用の可能性として、民生分野では商店街や公共施設なども包含する地域エネルギーマネジメントシステム等で150～200GWが、産業分野では生産プロセスの自動化などに対応した電力需要に加えて農業などの独立用途等で150GW程度が、また、輸送分野では電気自動車等による燃料転換に対して150～200GW

規模が利用可能と想定している。

● 低コスト化シナリオと太陽光発電の展開



実現時期(開発完了)	2010年～2020年	2020年(2017年)	2030年(2025年)	2050年
発電コスト	家庭用電力並 23円/kWh程度	業務用電力並 14円/kWh程度	汎用電源並み 7円/kWh程度	汎用電源未済 7円/kWh未済
モジュール変換効率 (研究レベル)	実用モジュール16% (研究セル20%)	実用モジュール20% (研究セル25%)	実用モジュール25% (研究セル30%)	超高効率モジュール 40%
国内向け生産量(GW/年) (海外市場向け(GW/年))	0.5～1 ～1	2～3 ～3	6～12 30～35	25～35 ～300
主な用途	戸建住宅、公共施設	住宅(戸建、集合) 公共施設、事務所など	住宅(戸建、集合)、 公共施設、民生業務用、 電気自動車など充電	民生用途全般 産業用、運輸用、 農業他、独立電源

図2 太陽光発電の今後の発展に対するロードマップ (PV2030+) のシナリオ

表1 ロードマップ (PV2030+) で想定した段階的なGrid Parityと利用形態

段階(時期)	Grid Parity対象と主な利用内容	性能・技術水準	技術開発
萌芽段階 ～2010年	第1段階Grid Parityまでの開発段階、 蓄電池代替用途、普及政策用途	開発段階	コスト低減 性能向上
第1段階Grid Parity (2010年以降 ～2020年)	(技術開発は2005年に完了) 家庭用電力(23円/kWh) 住宅用系統連系システムでの利用	研究セル20%、実用モジュール16% 系統連系システム技術 PVシステムの信頼性確立	生産適用 技術改善
第2段階Grid Parity (2020～2030年)	(技術開発の完了は2017年) 業務用電力(14円/kWh) 産業・運輸及び業務分野の電力利用 蓄電機能付きシステムでの住宅利用	研究セル25%、実用モジュール20% 自律度向上型地域システム技術、 広域発電量予測、長寿命システム	実用化 技術開発
第3段階Grid Parity (2030～2050年)	(技術開発の完了は2025年) 汎用電源並(7円/kWh) 運輸、大規模発電所、水素製造など 蓄電機能付きでの産業利用など	研究セル30%、実用モジュール25% 太陽光発電利用複合エネルギーシステム	要素技術の開発
汎用段階 2050年～	汎用電源として利用(7円/kWh以下) 独立システム	従来技術に加え効率40%以上の超高効率 モジュールも追加 多様な用途に対応できる汎用電源	探索研究

この新しい用途に対して必要な太陽光発電の供給量は2030年には年間6～12GW、2050年には25～35GWの規模となる。また、これによる経済に対する効果として、2050年には国内市場向けの太陽光発電産業は約4兆円産業に成長すると推定される。

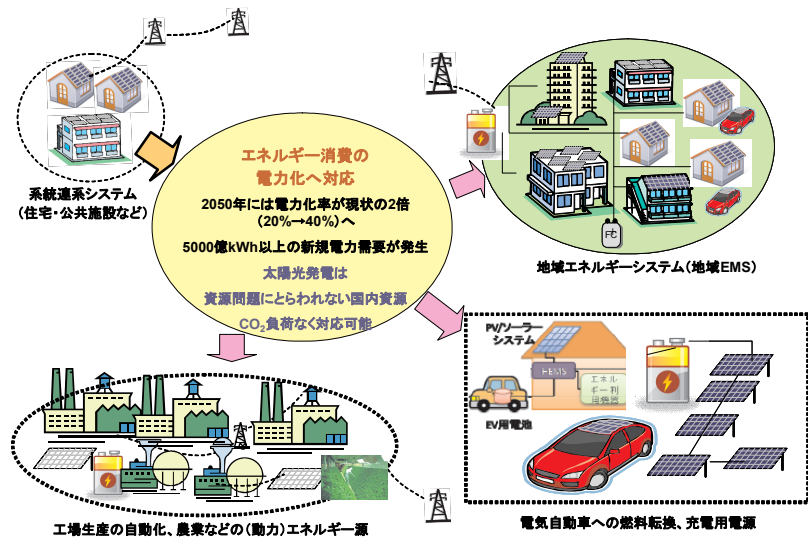


図3 将来の太陽光発電利用のイメージ

5. 実現に向けた課題対応

上述の目指す姿の実現に向けて、今後取り組むべき具体的な課題は経済性改善、用途の拡大、基盤の整備、及び国際競争力確保などで、その概要を図4に示す。経済性改善、即ち発電コスト低減は太陽光発電の利用拡大のための最大の課題で、これに対して太陽電池モジュールやシステム機器等の高性能・低コスト製造技術、安価なシステムの設計や設置工事の簡素化等が、さらにシステム長寿命化による生涯発電量増大が必要である。一方、太陽光発電の利用面では系統電力や周辺のエネルギーシステムとの連系や蓄電機能の利用による、発電と電力需要のミスマッチの解消に向けたシステム利用技術の確立が不可欠である。他方、このような利用拡大や技術開発を進めて行くには工業製品としての信頼性の確立やリサイクル・リユース体制の確立など、技術的、社会的な基盤整備が不可欠である。

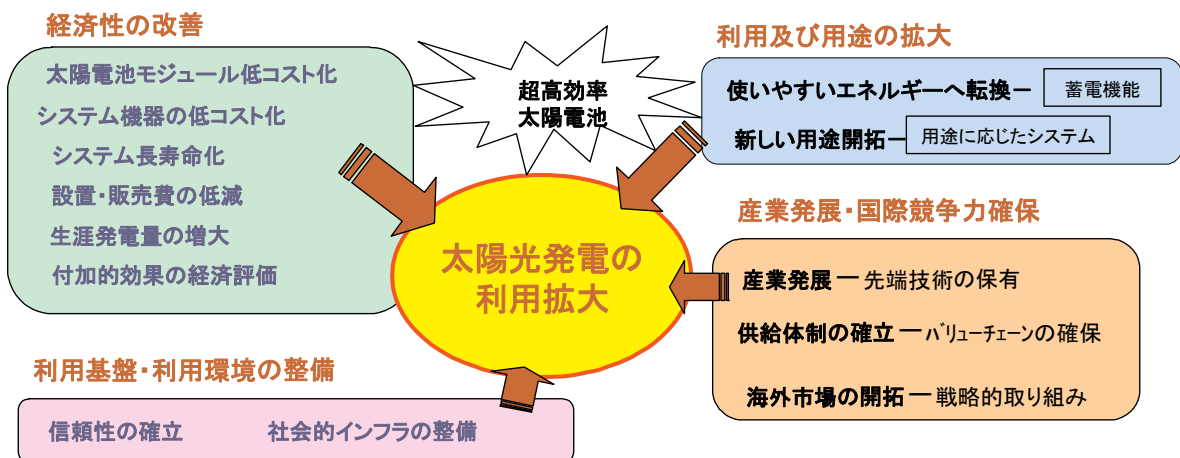


図4 実現への課題

また、太陽光発電の発展に対して我が国が果たしてきた先導的役割を継続することも重要で、海外市場での技術基盤整備、インフラや利用環境の整備に対する積極的な関与や人材育成が重要である。

6. 技術開発の内容と目標

ロードマップ（PV2030+）では、経済性改善について“Grid Parityの実現”の考え方を維持し、発電コスト目標を、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程度）、さらに“2050年には7円を下回る発電コストの達成”を加えた。これを実現するための具体的な技術開発目標を表3のように見直した。

表2 発電コスト目標

発電コスト	2020	2030	2050
達成時期	14円/kWh程度	7円/kWh程度	< 7円/kWh

表3 太陽電池モジュールの変換効率目標、技術開発の内容と目標・その実用化時期（見直し結果）

目標年度	2017年	2025年	2050年
モジュール変換効率目標(%)	20%	25%	40%

項目		主な開発内容と開発目標
モジュール製造	モジュール製造コスト	モジュールの高効率化、低コスト・高生産性プロセス、長寿命化 目標(技術開発の完了): 2017年:75円/W、2025年:50円/W2050年:< 50円/W
	モジュール高性能化	既存太陽電池の技術改革(極薄型結晶シリコンセル、ワイドギャップ新材料、多接合セル、ヘテロ接合セルなどの開発)=表4参照
	モジュール寿命延長 ¹⁾	モジュール構造、モジュール材料の検討 目標(技術開発の完了):2017年に寿命25年、2025年:30年、(40年の技術)
	原料問題対応技術 ²⁾	高純度シリコン供給技術、シリコン原単位低減(3g/W)、省シリコン(ウエハー+カーフ=100μm)、希少資源対策
システム構成要素	パワーコンディショナ	耐久性向上、多様化・高効率化・低コスト化・IT機能統合化 目標(技術開発の完了):2017年、製造コスト15,000円/kW、寿命20年以上(部品交換あり)
	PV用蓄電技術 ¹⁾	長寿命蓄電池、軽量・長寿命化、新型電力貯蔵 目標(技術開発の完了):2017年、製造コスト10,000円/kWh程度、寿命20年以上(部品交換あり)
	設置工事、販売経費	現状(～200円/W)の1/3～1/2

太陽電池モジュールの製造に関する主な技術課題は、新材料の開発を含む高効率セル構造開発、原材料使用量の削減を含む低コストプロセスの開発、モジュールの耐久性向上等である。結晶シリコン太陽電池では100μm以下の極薄基板製造のための安価なスライス技術とセル効率25%を実現するための極薄高性能太陽電池技術開発が重要である。薄膜シリコン太陽電池では多接合（3接合）で18%以上の性能を目指した新規材料の開発と光マネジメント最適化などを加えたセル構

造の開発および大面積高速製膜技術の開発が必要である。また、CIS系太陽電池ではまず大面積モジュールでの研究室と同等レベルの高性能化の実現が重要で、これにより結晶シリコン太陽電池に匹敵する高性能薄膜系太陽電池の実現に取り組むべきである。さらに、上記のセル製造技術の開発と並んでモジュールの低コスト化と耐久性向上（現状の20年→40年）や、軽量化なども必要で、使用材料やモジュール構造の見直しが不可欠である。一方、2030年以降に向けた更なる高性能化ではセル構造や材料、製造プロセス等について技術革新が必要で、量子ナノ構造材料や、現在開発段階にある有機系太陽電池など新しい太陽電池の可能性検討を進めることも必要である。システム利用技術では、電力系統やエネルギー需給と調和した太陽光発電システム利用技術が必要で、発電量予測技術の開発や蓄電機能の最適化などによる利用形態に応じたシステム設計と運用技術の開発が必要である。また、太陽光発電システムの大量利用には太陽光発電システムの信頼性確立が重要で、太陽光発電システムの性能や発電量、安全性・耐久性等が明確に表示される必要があり、このための評価技術や故障診断・メンテナンス技術が必要である。

他方、周辺技術では純度の低いシリコン原料の評価・利用方法やフレキシブル基板などの安価な材料供給、希少資源の代替材料開発など関係業界と共同した技術開発も必要で、太陽電池モジュール製造に関するバリューチェーンを常に考慮した技術の検討が求められている。さらに海外市場との関係を見たとき、途上国に対する技術指導、あるいは国際的な規格制定に対する提案など、技術開発をベースとした活動も重要となっている。

7. 実現に向けた方策

前項まで述べたように、太陽光発電が汎用エネルギー源となるまでには経済性改善と性能向上を中心にさらに数段の技術革新が必要である。即ち、太陽光発電が基盤的な電源となるためには、系統電力との比較において経済性を確立することが必要であり、技術開発も目指すGrid Parityレベル（経済性の水準）に応じた段階的な取り組みが必要である。

(1) 第1段階のGrid Parity（23円/kWh程度）を目指す技術開発は、主として産業界が分担・実施する分野である。ここでは、既に開発した製造技術の工業化や技術改善が中心課題であり、また太陽光発電システムの信頼性確立、標準化・簡素化や設置工事の低コスト化などに関連する技術開発も必要である。

(2) 第2段階のGrid Parity（14円/kWh程度）を目指す技術開発では、低コスト高効率太陽電池製造技術（75円/W）の技術革新とモジュールやシステムの長寿命化、自律型システムの設計・利用技術などが中心課題となる。ここでは成果の実用化までを含むトータルの開発計画を作成し、その中核となる技術について技術開発プロジェクトを構成して、セルのみならず材料や周辺機器の各々の専門的知見も活かされるような体制により、産学官が連携して実施することが重要である。

(3) 第3段階のGrid Parity（7円/kWh程度）及び将来の汎用電源を目指す技術開発は、発電コスト7円/kWh程度あるいはそれ以下、変換効率も30～40%以上の高い技術水準を目指す技術開発で、要素技術開発やシーズ探索研究のテーマとして大学・国研を中心に実施すべきである。

(4) 基盤整備に関する技術開発は、第2段階のGrid Parityが実現する頃までには完成しておくことが必要である。また、これのベースとなる大学・国研等の研究機関による基礎的な技術開発や海外での実証研究には、国による継続した研究開発が必要である。

8. 当面の取り組み

当面の数年間には太陽光発電の普及定着のための時期であり、太陽光発電の普及拡大とわが国産業の国際競争力確保に向けた課題を以下のように短期的な課題、中長期課題、超長期課題、及び基盤整備に関する課題に分けて取り組む必要がある。その概要を図5に、また今後の技術開発プロジェクトのイメージを図6に示す。ここでは、これらの多様な取り組みを産学官が分担/連携して、並行し実施する必要がある。

取り組み(1): 太陽光発電システム普及拡大に向けたシステム利用技術、システム機器・モジュールなどの技術開発・実証あるいは用途開拓などを旨し、産業界が主体的に取り組むべき短期的視野での技術開発

取り組み(2): 第2段階のGrid Parity (14円/kWh) の早期実現と、さらにその先の第3段階のGrid Parity 実現までを視野に入れた中長期視野での次世代高性能太陽光発電システム技術の開発 (技術面での国際競争力確保)

取り組み(3): 太陽光発電の汎用電源としての利用に向けた超高効率太陽電池に関する超長期視野でのシーズ探索研究 (現在、革新的太陽光発電技術研究開発として実施中)

取り組み(4): 太陽光発電システムの大量利用や技術発展のための技術的な基盤整備 (基礎となる技術の開発)、規格・標準化及び国際貢献などに関する戦略的取り組み

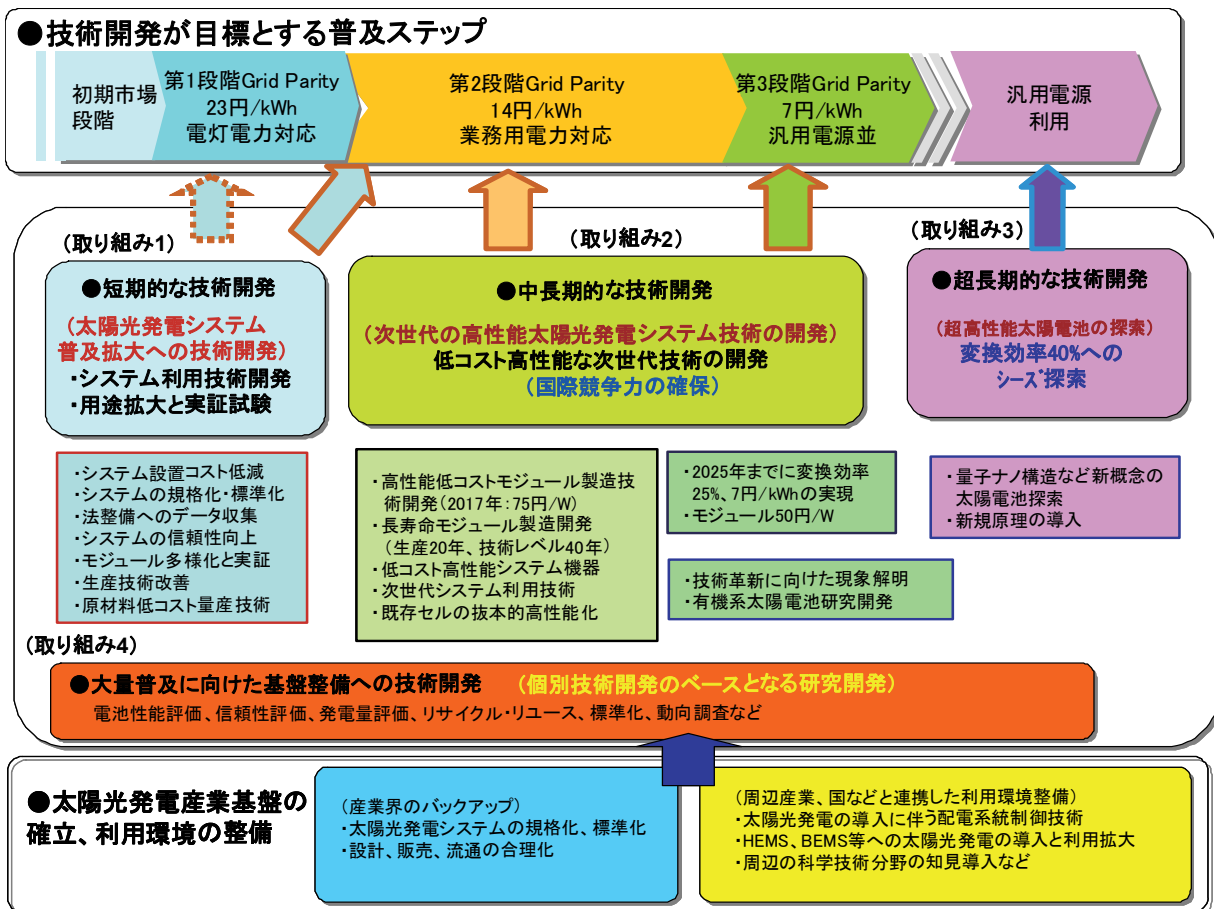


図5 当面の技術開発スキーム

また個別の太陽電池の性能とモジュール製造コスト、寿命の目標は、表4のように設定する。

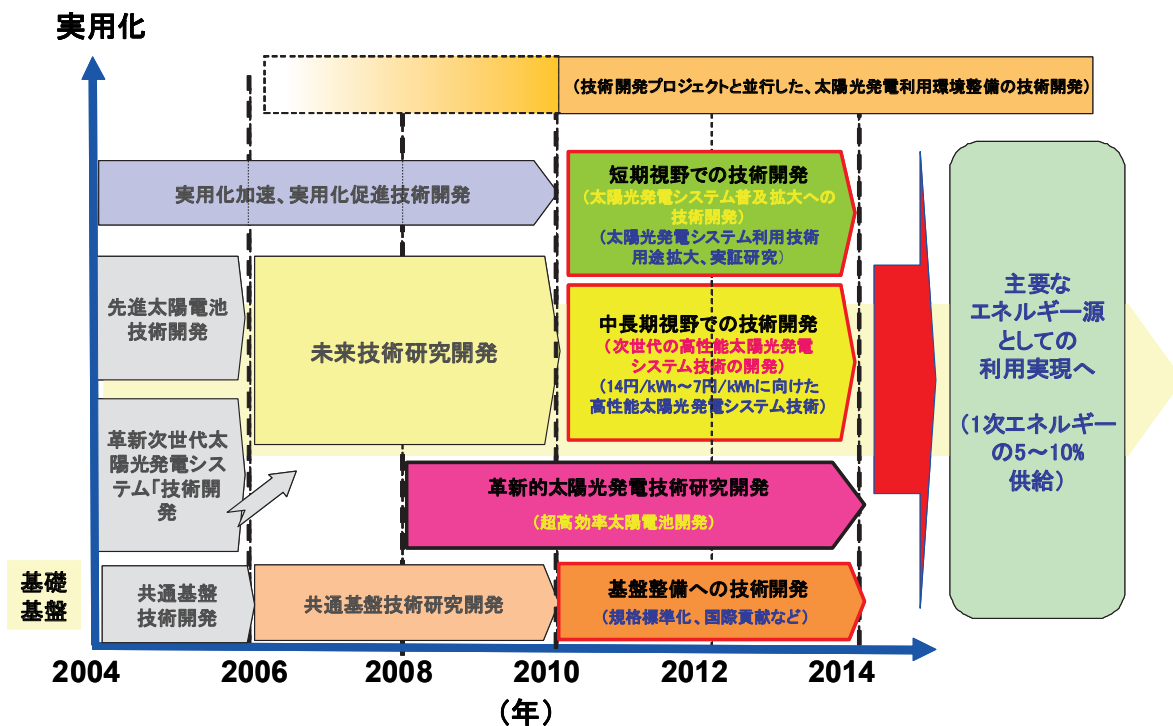


図6 今後の技術開発プロジェクトのイメージ

表4 セル・モジュールの性能(変換効率%)、モジュール製造コスト(円/W)、寿命(年)

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

個別技術の開発目標	太陽電池	2025年のコスト・寿命目標	
		製造コスト ⁶⁾ (円/W)	寿命 ⁷⁾ (年)
	結晶Si	50	30(40)
	薄膜Si	40	30(40)
	CIS系	50	30(40)
	化合物系	50	30(40)
	色素増感	<40	
	有機系	<40	

- 1)セルは技術の到達水準を示す指標で、研究室での小面積セル。モジュールは実用化技術段階。
- 2)結晶シリコンは単結晶、多結晶などを区別せず、シリコン基板を用いた太陽電池として設定。
- 3)集光時の変換効率。
- 4)新しい太陽電池として有機系太陽電池にも開発目標を設定した。
- 5)モジュール目標を達成するために最低限必要なセルの変換効率。
- 6)製造コスト目標は、変換効率、耐久性(寿命)とリンクする。
- 7)モジュール寿命は標準技術として2025年に30年を設定するが、技術として2030年までに通常の電力用設備並みの40年の耐久性を持つモジュールを開発する。

あとがき

太陽光発電ロードマップ（PV2030）は2004年に策定され、これまで我が国の太陽光発電に関する技術開発指針として広く利用されてきた。今回の見直しではこの4年間の状況変化を踏まえ、「太陽光発電が2030年までに主要なエネルギー技術の1つに認知される」状況から、「2050年までには1次エネルギー需要の5～10%を賄う」状況へと発展することを想定し、用途に対応したGrid Parityを段階的に実現するとともに太陽光発電の周囲にある産業や社会システム（利用環境）との調和も考慮して解決すべき課題と取り組みの方向を示した。この太陽光発電ロードマップ（PV2030+）が今後の太陽光発電発展に大きく貢献出来ることを期待したい。

Outline of the Roadmap PV2030+

1. Introduction - background and purposes of the review of the Roadmap (PV2030)

PV Roadmap Toward 2030 (PV2030) was formulated in 2004, aiming for “developing photovoltaic (PV) power generation into one of the core energies by 2030”. Since then, PV2030 has been widely used as a guideline for Japan’s technological development. After the formulation of PV2030, crude oil prices exceeded \$ 100 per barrel and various phenomena caused by global warming have been observed here and there. Depletion of energy resources and concerns over global warming have come to the surface. Great expectations have been placed on photovoltaic (PV) power generation as a key technology to solve these issues. At the time PV2030 was formulated, the Japanese government was providing subsidy for installation of residential PV systems, which led the global PV industry and market. Feed-in-Tariff (FiT) scheme was introduced in Germany and expanded to other countries. With the introduction of FiT schemes, Europe has enjoyed the central position in the development of PV power generation. More recently, PV production in East Asia has also been rapidly growing. In the technological development, European countries and the U.S. have been committed to promoting technology innovation. As such, the global PV industrial arena has been shifting from where Japan took the lead in the global PV industry in the areas of technological development and formation of industry, to a stage where global development has been observed. Accordingly, the position of Japan’s PV industry has been relatively slipping.

Against the backdrop of changes in the circumstances over the period of four years after PV2030 was formulated, PV2030 has been reviewed based upon the concept of “making PV power generation one of the key technologies which plays a significant role in reducing CO₂ emissions by 2050, so that it can contribute not only to Japan but also to the global society”. The review of PV2030 has the aim of further expanding PV usage and maintaining the international competitiveness of Japan’s PV industry.

2. Changes in the circumstances after the formulation of PV2030

Global energy consumption has been significantly rising due to increase in global population and economic growth of emerging countries such as China. Meanwhile, Kyoto Protocol, concerning reduction of greenhouse gas emissions (GHGs), came into effect in 2005. At the G8 Hokkaido Toyako Summit in 2008, a long-term goal of “reducing GHGs by 2050” was shared by the global society and various measures to achieve this target have been implemented in Japan. Amid these circumstances, PV power generation has drawn attention as a significant solution technology and the goal of increasing introduction of PV systems twentyfold by 2020 and fortyfold by 2030 from the current level was set. In 2009, a subsidy program for residential PV systems was started again while the introduction of a program to oblige electric utilities to purchase PV power at preferred

rates is discussing.

PV markets across the globe have been largely growing, in particular in European markets with the introduction of FIT schemes in Germany. From the technological perspective, entries by companies providing manufacturing equipment made it possible for businesses to enter into the PV industry with turnkey solutions. Asian businesses which took advantage of this approach have been rapidly growing. As shown in Figure 1, global PV industry has made a significant development over the past four years. Global solar cell production increased from 0.7 GW to 3.7 GW along with large expansion of production capacity. Amid the growing trend, Japan's production has almost doubled over the same period. Despite the production increase, Japan's market share decreased from 50 % to 25 % with production capacity also dropping from 40 % to 20 %.

On the other hand, as for the technological development, "R&D on innovative power generation technology", an R&D project to seek for seeds of ultra-high efficiency solar cells started in Japan in FY 2008. In Europe, R&D activities have been promoted under the "Framework Programme (FP)" of the European Commission (EC), covering from basic technologies to application technologies for a wide range of areas such as solar cells and system utilization technologies. In 2005, "European Photovoltaic Technology Platform (PVTP)" was established. In the USA, "Solar America Initiative (SAI)" was formulated, under which "PV technology roadmap" was reviewed and various technology development programs have been conducted to achieve the target by five years ahead of schedule.

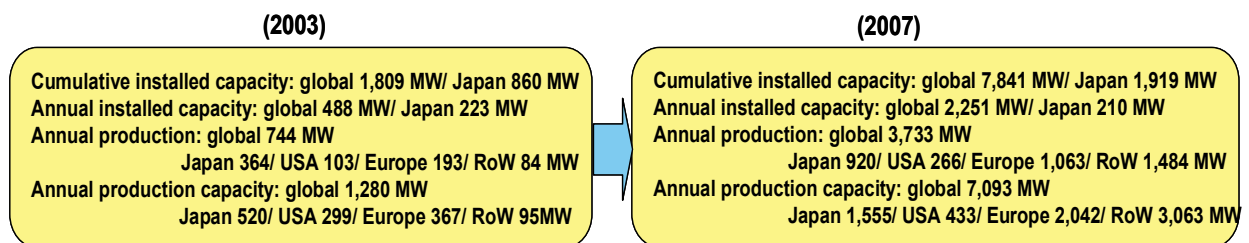


Figure 1 Changes in the PV market after the formulation of PV2030

3. Direction of the review of PV2030

PV2030 has been reviewed by upgrading the goal of "making PV power generation one of the key technologies by 2030", to "making PV power generation one of the key technologies which plays a significant role in reducing CO₂ emissions by 2050, so that it can contribute not only to Japan but also to the global society", and the revised roadmap was compiled as PV2030+ (Plus) through the following approaches.

- 1) To consider the growth of PV power generation over the extended period towards 2050 from 2030

- 2) To assume volume expansion of PV power generation to the extent that it would contribute to global warming
- 3) To maintain the concept of “realizing Grid Parity” in terms of improving economic efficiency
- 4) To examine not only technological issues but also issues regarding PV systems, social framework, etc. from a wider perspective
- 5) To consider mass supplying PV systems by Japanese businesses to overseas
- 6) To present specific goals and framework of efforts to achieve the goals

4. Goal of PV power generation toward 2050

Figure 2 shows the details of PV2030+ (Plus). In PV2030+ (Plus), the target year has been extended from 2030 to 2050 and a goal of covering 5 ~ 10 % of domestic demand for primary energy by PV power generation in 2050 was set, as a volume expansion to contribute to tackling global warming issues. For overseas markets, PV2030+ (Plus) assumes that Japan can supply approximately one-third of the required volume. For the improvement of economic efficiency, the concept of “realizing Grid Parity” remained unchanged and the generation cost targets have not been changed from PV2030 (14 Yen/kWh in 2020, equivalent to the cost of electricity for

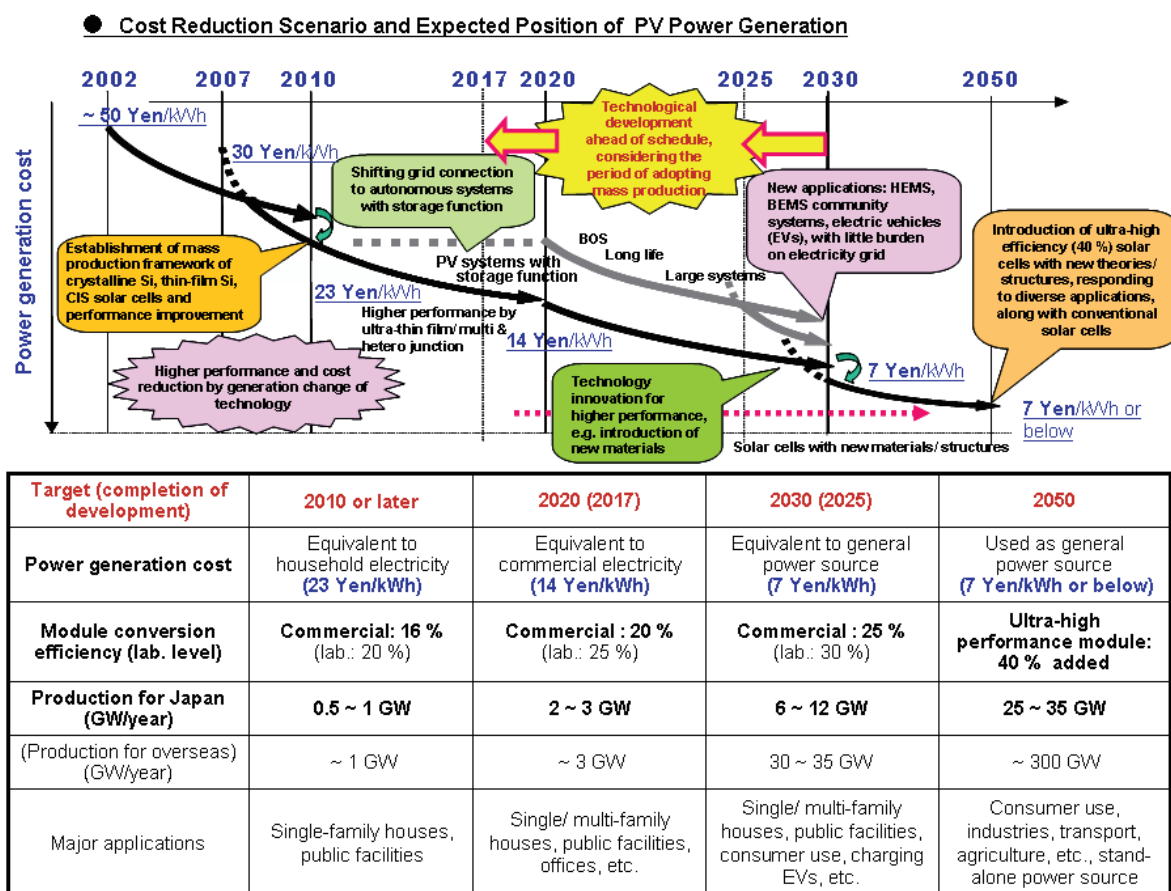


Figure 2 PV2030+ scenario for future growth of PV power generation

commercial use, and 7 Yen/kWh in 2030, equivalent to the cost of general power source). Another goal of “achieving generation cost of below 7 Yen/kWh in 2050” was added. As for the technological development to achieve these goals, it is aimed that the 2030 target will be achieved in 2025, five years ahead of the schedule set in PV2030. It is also aimed that ultra-high efficiency solar cells with 40 % or higher conversion efficiency will be developed by 2050.

As for the use of PV power generation, phased progress toward Grid Parity will accelerate the expansion of PV usage in terms of volume, as shown in Table 1. It is assumed that applications of PV power generation will expand from the use for electricity consumption at home to the use as replacement for energy from fossil fuels emerging by the shift to electrification in energy consumption.

Table 1 Phased progress to achieve Grid Parity and forms of PV usage

Phase (Period)	Grid Parity coverage and major applications	Performance/ technological standards	Technology development
Budding (up to 2010)	Development to 1st phase Grid Parity, replacement for batteries, dissemination measures	Development phase	- Cost reduction - Performance improvement
1st phase Grid Parity (2010 or later ~ 2020)	(Technology development completed in 2005) Household electricity: 23 Yen/kWh, residential grid-connected PV systems	Lab. cell: 20 % commercial module: 16 %, grid connection technology, establishing reliability of PV systems	- Production application - Technology improvement
2nd phase Grid Parity (2020 ~ 2030)	(Technology development to be completed in 2017) Commercial electricity: 14 Yen/kWh PV power for industrial/ transport/ commercial sectors, residential PV systems with storage function	Lab. cell: 25 % commercial module: 20 %, community system technology for higher autonomy, estimate of power generation in wider areas, long-life systems	- Technology development for commercial use
3rd phase Grid Parity (2030 ~ 2050)	(Technology development to be completed in 2025) Equivalent to general power source : 7 Yen/kWh, PV power for transport sector, large-scale power plants, hydrogen manufacturing, industrial use with storage function	Lab. cell: 30 % commercial module: 25 %, combined energy system using PV	- Development of element technologies
General use (2050 and beyond)	General-purpose power source: 7 Yen/kWh or below, stand-alone PV systems	40 % or higher ultra-high efficiency modules in addition to conventional technologies, general-purpose power source for various applications	- Exploratory researches

As shown in Figure 3, it is assumed that potential PV capacity of new applications in Japan by around 2050 will be as follows: 1) 150 ~ 200 GW in the consumer sector through community energy management systems, etc. covering local shopping areas and public facilities; 2) up to around 150 GW in the industrial sector for stand-alone applications for agriculture, etc. in addition to demand for electricity in response to automation of production processes; and 3) 150 ~ 200 GW in the transport sector including fuel switch through the introduction of electric vehicles (EVs).

Required supply volume of PV electricity for these new applications are expected as follows: 1) 6 ~ 12 GW/year in 2030 and 2) 25 ~ 35 GW/year in 2050. Also, expected effects on the economy include that the PV industry would grow to the scale of approximately 4 trillion Yen in 2050.

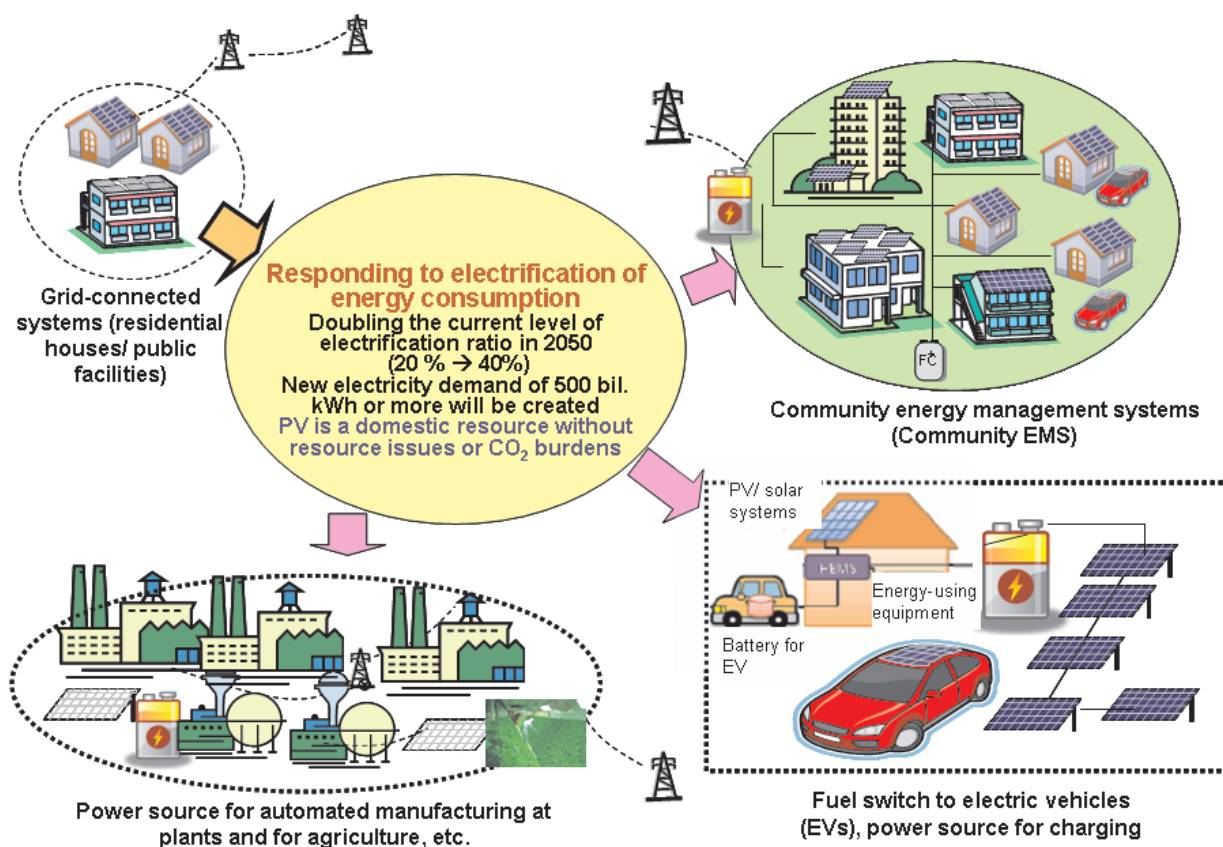


Figure 3 Images of future use of PV power generation

5. Issues to achieve the goals

In pursuit of the desirable PV power generation as mentioned above, specific issues to be addressed include the following: 1) improvement of economic efficiency; 2) expansion of PV applications; 3) establishment and improvement of infrastructure; and 4) securing the international competitiveness. Figure 4 shows the overview of these issues.

Improvement of economic efficiency or reduction of generation cost is the most significant issue to expand the usage of PV power generation. To achieve this, it is necessary to develop high-performance and low-cost production technologies for PV modules and system components, design less expensive systems, simplify installation works, and increase the lifetime power generation volume through extension of the lifetime of PV systems.

As for the usage of PV power generation, it is essential to establish technologies to use PV systems to resolve mismatch between power generation volume and demand through connection with grid electricity and surrounding energy systems as well as the use of storage functions.

Meanwhile, for expanding the usage and promoting technology development, it is vital to establish technological and social infrastructures including establishment of reliability as industrial products and establishment of recycle/ reuse frameworks. It is also important for Japan to continue taking a leading role for the growth of PV power generation. It is significant to make efforts on establishing a technological infrastructure in overseas markets, improving infrastructure and the environment for the use of PV power generation, while cultivating human resources.

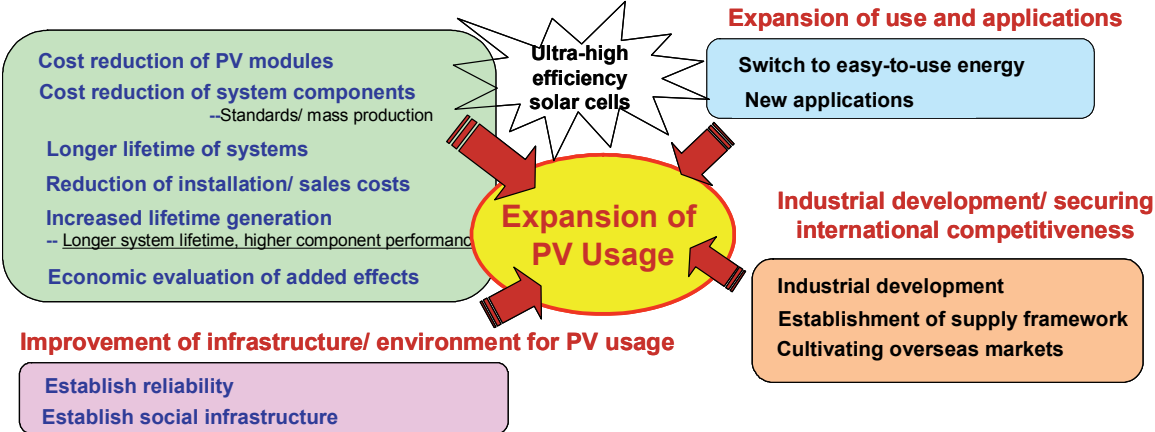


Figure 4 Issues to achieve the goals

6. Details and goals of technology development

Maintaining the concept of “Grid Parity” for improving economic efficiency, PV2030+ (Plus) has the goals of power generation cost as follows: 1) 2020: 14 Yen/kWh, equivalent to commercial electricity; 2) 2030: 7 Yen/kWh, equivalent to industrial electricity. Another goal of “achieving power generation cost of below 7 Yen/kWh in 2050” was added. To achieve these figures, specific goals of technology development have been reviewed, as shown in Table 2 and 3.

Table 2 Target of power generation cost

Target year	2020	2030	2050
Generation cost (Yen/kWh)	14 Yen/kWh	7 Yen/kWh	< 7 Yen/kWh

Table 3 Targets and milestones of module conversion efficiency ,and technology development for practical use (reviewed)

Target year	2017	2025	2050
Module conversion efficiency (%)	20 %	25 %	40 %

Item		Major development activities and goals
Module production	Module production cost (Yen/W)	Higher efficiency, low-cost/ high productivity processes, longer lifetime Development goals: 2017 : 75 Yen/W, 2025 : 50 Yen/W, 2050 : < 50 Yen/W
	Higher module performance	Technology reform of existing solar cells (development of ultra-thin crystalline Si cells, new wide-gap materials, multi/ hetero-junction cells, etc.) (see Table 4)
	Longer module lifetime	Study of module structure/ materials Development goals: 2017 : 20 years, 2025 : 30 years (40-year technology)
	Technologies to respond to raw materials issues	High-purity polysilicon supply technology, reduction of silicon consumption (3 g/W) , reduction of Si consumption (wafer + kerf = 100 μm) and rare metals
System components	Power conditioner	Durability improvement, diversity, higher efficiency, cost reduction, integration of IT functions Development goals for 2017 : production cost: 15,000 Yen/kW, lifetime: 20 years or more (with parts changes)
	Storage technology for PV	Long-life batteries, lighter weight, longer lifetime, new type of electricity storage Development goal for 2017 : 10 Yen/Wh, lifetime: 20 years or more (with parts changes)
	Installation/ sales costs	One-third to half of the current levels (up to 200 Yen/W)

Major technological issues regarding production of PV modules include development of high efficiency cell structures such as development of new materials, development of low-cost production processes such as reducing the use of raw materials, improvement of module durability, and so on. For crystalline silicon solar cells, it is important to develop a less expensive slicing technology to manufacture ultra-thin wafers, as thin as 100 μm or below and an ultra-thin high performance solar cell technology to achieve 25 % cell efficiency. For thin-film silicon solar cells, it is necessary to develop new materials to achieve efficiency of 18 % or more on multi-junction (triple junction) solar cells. It is also necessary to develop a cell structure with optimized optical management, and to develop a large-area high-speed film-forming technology. For CIS solar cells, it is significant to realize high performance large-area modules with efficiency equivalent to that of laboratory level modules. With this approach, it is required to address realizing high performance thin-film solar cells comparable to crystalline silicon solar cells. Along with development of these cell manufacturing technologies, it is also necessary to reduce the cost and improve durability (current 20 years → 40 years) of modules, as well as to lighten the weight of modules. It is vital to review materials and the structure of modules. Meanwhile, for further improvement of performance after 2030, technology innovation is required for cell structures, materials, production processes and so on. It is also necessary to promote examining new potential of solar cells such as quantum dot nano structure materials and organic solar cells which are currently under development.

For system utilization technology, PV system utilization technology in harmony with electric grid and energy supply and demand is required. It is necessary to develop system designs and operation technologies in response to the form of use, through development of technology to

forecast power generation volume and optimization of storage function. For large-volume utilization of PV systems, it is significant to establish reliability of PV systems. Performances, power generation volume, safety and durability of PV systems need to be clearly indicated. To achieve this, evaluation technology, diagnosis of defects and maintenance technology are required.

On the other hand, for peripheral technologies, it is necessary to develop a method to evaluate and use low-purity polysilicon materials and a technology to supply less-expensive flexible substrates. Joint technology development with related industries including development of alternative materials for rare resources is also needed. Examination of a technology in constant consideration of the value chain of PV module production is required. Looking at the relationships with overseas markets, necessary activities include technological trainings for developing countries and proposals for establishment of international standards, based on technology development.

7. Measures to achieve the goals

As mentioned above, it is necessary to take several more steps of technology innovation, focusing on improving economic efficiency and performances to make PV power generation a general-purpose energy source. In other words, to make PV power generation a core power source, it is necessary to establish economic efficiency comparable to grid electricity. For technology development, phased efforts in response to the level of targeted Grid Parity (the level of economic efficiency) are required.

- 1) Technology development aiming for the 1st phase Grid Parity (23 Yen/kWh) is to be conducted mainly by the industry. Main issues are industrialization and improvement of previously-developed manufacturing technologies. Establishment of reliability of PV systems, standardization/ simplification of PV systems as well as cost reduction of installation works are also required.
- 2) Technology development aiming for the 2nd phase Grid Parity (14 Yen/kWh) is focused on technology innovation of low-cost high efficiency solar cell manufacturing technology (75 Yen/W), extending the lifetime of PV modules and systems and technologies to design and use autonomous PV systems. For this stage of development, it is significant to formulate a comprehensive R&D plan covering commercialization of accomplishments, and conduct technology development projects on core technologies, with special finding not only the cells but also a material and peripherals, through the partnerships among industrial, academic and governmental circles.
- 3) Technology development aims for the 3rd phase Grid Parity (7 Yen/kWh) and making PV a general-purpose power source in the future. For achieving a high level of technology, this is

aimed at achieving power generation cost of 7 Yen/kWh or below with high conversion efficiency of 30 ~ 40 % or more. It is suggested that this stage of development is conducted mainly by universities and national research institutes as their R&D agenda for development of elemental technologies and for seeds-seeking researches.

4) As for the technology development for establishing technological infrastructure, it is necessary to be completed by the time the 2nd phase Grid Parity is achieved. Also, continuous R&D activities by the national government are required for basic technology development and overseas demonstrative researches conducted by universities and national research institutes, etc., which are the basis for the technology development for establishing technology infrastructure and responding to overseas.

8. Immediate activities

The next several years will be a period for establishing dissemination of PV power generation. During this period, it is required to tackle issues regarding dissemination of PV power generation in Japan and securing Japan's international competitiveness separately as follows: 1) short-term issues; 2) mid- to long-term issues; 3) super-long-time issues; and 4) issues regarding establishment of infrastructure. Figure 5 shows the overview and Figure 6 shows of the immediate technology development project image.. In this stage, diverse activities are needed to be conducted in parallel, through the partnerships among industrial, academic and governmental circles.

Activity 1 : System utilization technologies toward dissemination of PV systems, short-term technology development with the initiative of the industry, in pursuit of technology development/ demonstrative researches/ application development of system components/ modules

Activity 2 : Aimed to achieve the 2nd phase Grid Parity (14 Yen/kWh) at an early date, mid- to long-term development of next-generation high performance solar cell technologies for achieving the 3rd phase Grid Parity (7 Yen/kWh) (securing international competitiveness in the area of technology)

Activity 3 : Super-long-term seeds-seeking R&D on ultra-high efficiency solar cells toward the PV usage as a general-purpose power source (currently conducted as R&D on innovative power generation technology)

Activity 4 : Establishment of technology infrastructure (development of basic technologies) for large-volume utilization and technology improvement of PV systems, strategic efforts on standardization and contribution to overseas

Moreover, the performance target each of the solar cell conversion efficiency, module manufacturing cost and longevity are set as shown in Table 4.

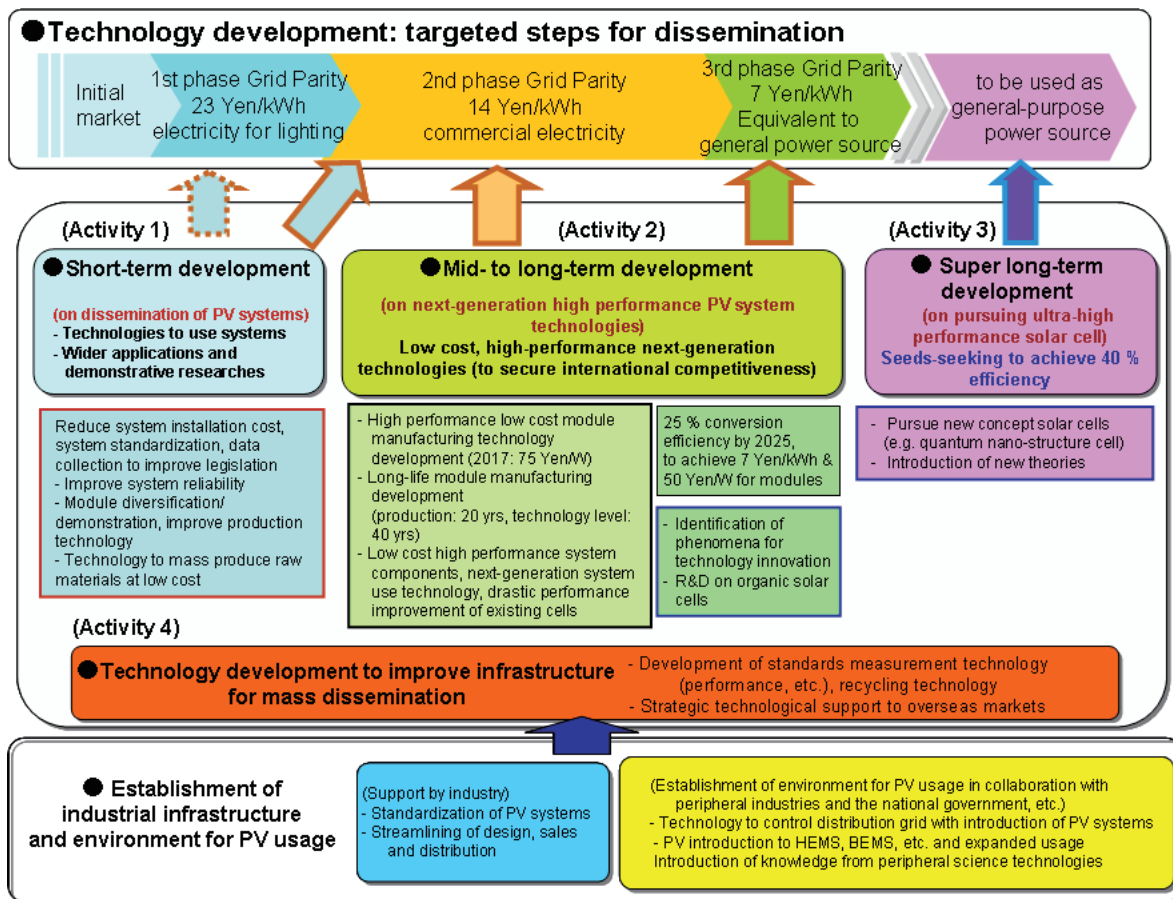


Figure 5 Overview of the technology development projects

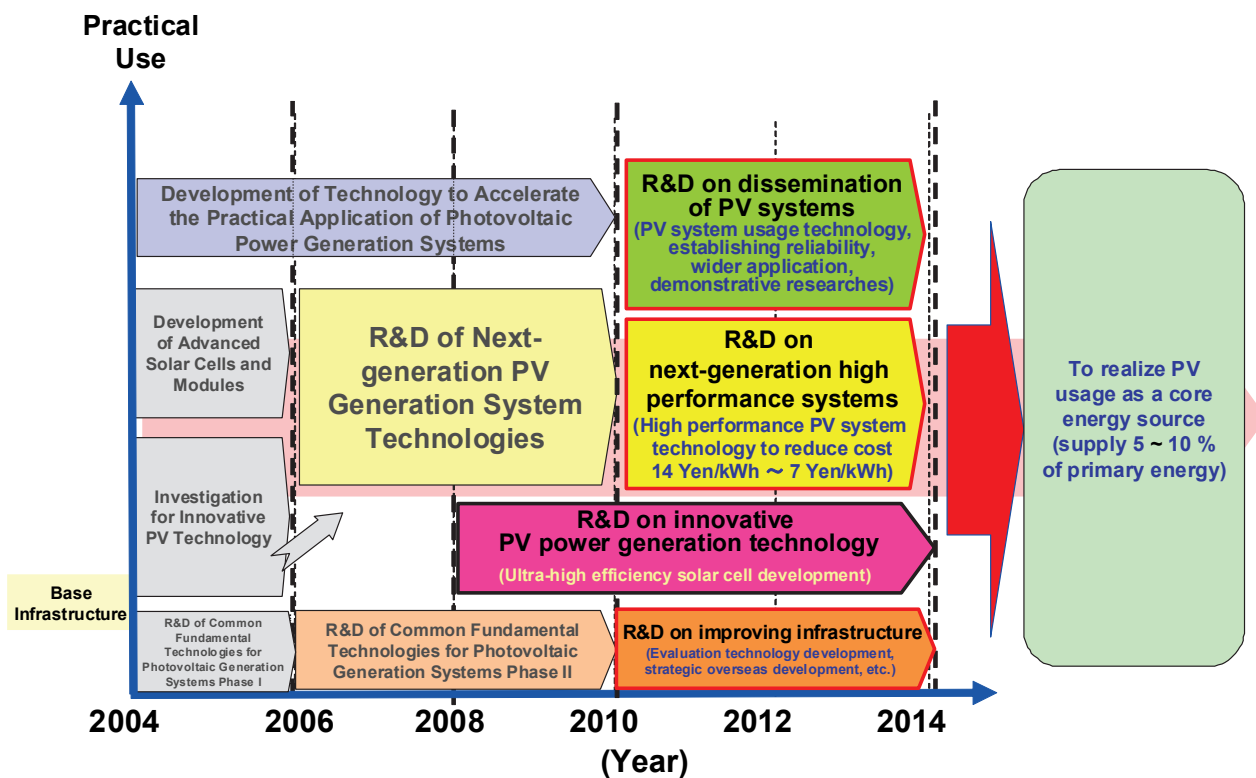


Figure 6 Overview of immediate technology development projects

Table 4 Development target by technology (Performance of PV cells/ modules (efficiency in %), module production cost (Yen/W), lifetime (year))

Type	current status		2017		2025		2050
	Module (%)	Cell (%)	Module (%)	Cell (%)	Module (%)	Cell (%)	Module (%)
Crystalline Si	~16	25	20	25	25	(30)	Ultra-high 40 % efficiency solar cells (additional development)
Thin-film Si	~11	15	14	18	18	20	
CIS	~11	20	18	25	25	30	
Compound	~25	41	35	45	40	50	
Dye-sensitized	-	11	10	15	15	18	
Organic		5	10	12	15	15	

Type	cost , lifetime target at 2025	
	Manufacturing cost (Yen/W)	Lifetime (Year)
Crystalline Si	50	30(40)
Thin-film Si	40	30(40)
CIS	50	30(40)
Compound	50	30(40)
Dye-sensitized	< 40	
Organic	< 40	

Afterword

Since PV Roadmap Toward 2030 (PV2030) was formulated in 2004, it has been widely used as a guideline for Japan's technological development on PV power generation. This time, for the review of PV2030, based on the changes in circumstances over the past four years, it was assumed that the status of PV power generation will be upgraded from "being recognized as one of the core energy technologies by 2030" to "supplying 5 ~ 10 % of primary energy demand by 2050". Under this assumption, the reviewed roadmap "PV2030+ (Plus)" presents issues to be addressed and directions of activities in consideration of harmony with industries surrounding PV power generation and social frameworks (environment for PV usage), while achieving Grid Parity in response to each application on a phased basis. We hope that PV2030+ (Plus) will significantly contribute to the development of future PV power generation.

太陽光発電ロードマップ（PV2030+）報告書

目 次

(ページ)

II 本 論

第1章	太陽光発電の現状	25
第2章	技術開発とロードマップ（PV2030）の進捗状況	27
2.1	日本（NEDO 技術開発機構）の技術開発プロジェクトの状況	27
2.2	ロードマップ（PV2030）実現への進展概況	27
2.3	技術の状況	27
2.4	太陽光発電システムの経済性の改善状況	29
第3章	ロードマップ（PV2030）策定後の環境変化	32
3.1	エネルギー資源問題の顕在化と対応	32
3.2	地球環境問題への顕在化と太陽光発電の普及拡大政策	32
3.3	欧州を中心とした爆発的な市場拡大と新興国の台頭	33
3.4	欧米での技術開発の強化	33
第4章	太陽光発電が目指す姿	36
4.1	目指す姿の見直し	36
4.2	太陽光発電の段階的な普及と利用形態	38
4.3	見直した目指す姿と生産	40
4.4	海外市場への対応	42
第5章	目指す姿の実現に向けた課題と対応	43
5.1	経済性改善に対する課題と対応	43
5.2	利用及び用途の拡大に対する課題と対応	44
5.3	基盤整備・環境整備に対する課題と対応	44
5.4	産業発展と国際競争力確保に対する課題と対応	45
5.5	革新技術の必要性	45
第6章	技術開発目標と技術開発の内容	46
6.1	技術開発の目標	46
6.2	技術開発課題と内容	48
6.3	2050年に向けた超高効率太陽電池の開発の方向	50
第7章	今後の取り組み方向	52
7.1	技術開発の実施に関する課題と対応	52
7.2	産官学の連携と分担について	52
7.3	今後の取り組みスキーム（技術開発スキーム）	53

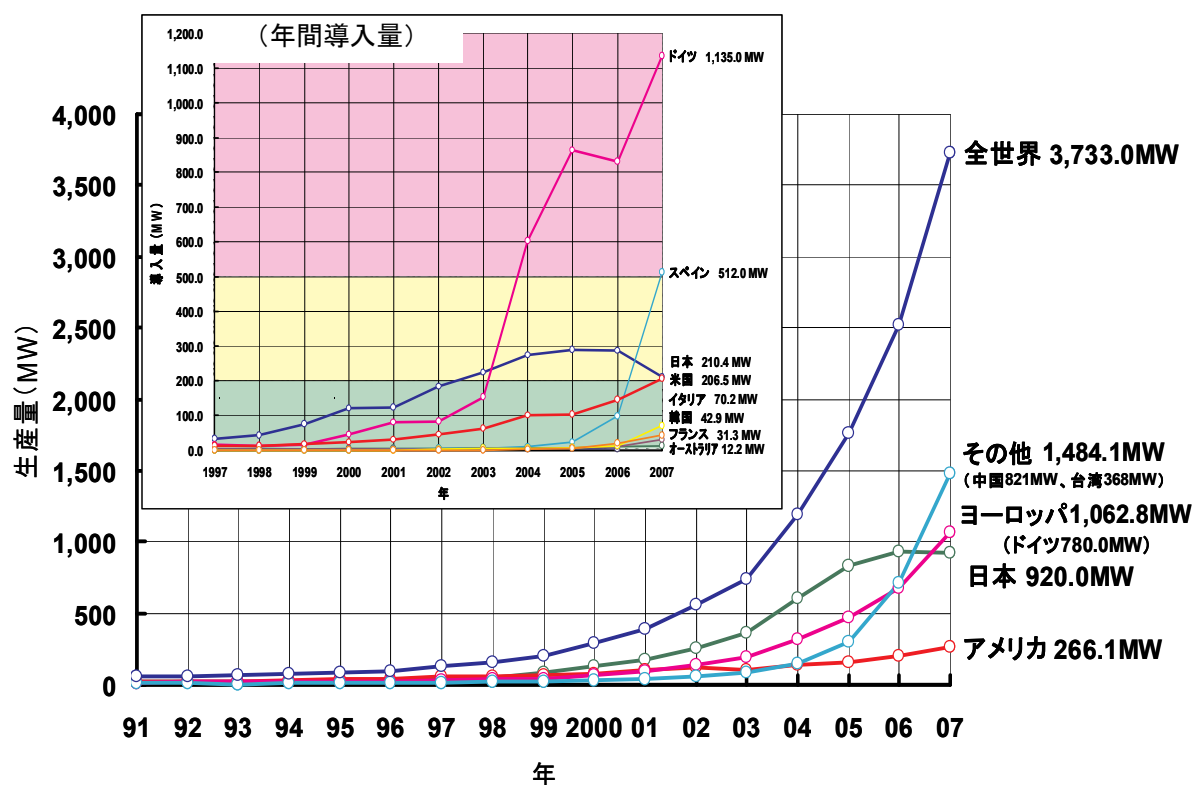
第8章	当面の取り組みと分担	56
8.1	技術開発への取り組みと産業界による環境整備	56
8.2	太陽光発電の利用環境の整備	60
8.3	具体的な技術開発プロジェクトの実施	62
8.4	太陽光発電利用環境整備の技術開発	63
付録		
(付録1) 太陽電池に対する開発課題と方針		
付録1-1	太陽電池製造技術開発課題一覧表	65
付録1-2	結晶系シリコン太陽電池に関する技術開発の方向性 について	73
付録1-3	薄膜シリコン太陽電池に関する技術開発の方向性について	75
付録1-4	化合物薄膜太陽電池に関する技術開発の方向性について	77
付録1-5	集光型太陽光発電に関する技術開発の方向性について	79
付録1-6	有機系太陽電池（色素増感型／有機薄膜型）に関する 技術開発の方向性について	81
付録1-7	超高効率太陽電池への取り組み方向について	83
(付録2) 太陽光発電システム技術に対する開発課題と方針		
付録2-1	太陽光発電システム技術課題一覧表	85
付録2-2	太陽光発電システムの大量普及時の利用形態と課題	88
付録2-3	太陽光発電システムの信頼性について	90
付録2-4	系統電源との協調に関する課題について	92
付録2-5	太陽光発電大量普及時の電力系統との関係に関する 将来展望	94
付録2-6	電力貯蔵用蓄電池の動向	96
あとがき		98

第1章 太陽光発電の現状

世界の太陽電池の生産量は図1-1に示すように、年率40%以上で成長し2007年には約3,700MWになった。太陽電池の生産規模が大幅に拡大し、量産技術が確立した。この中で我が国は920MWを生産し世界の太陽電池生産を牽引するものの、シェアは大幅に低下、欧州と中国・台湾を中心とする新興地域での生産量が增大している。この生産増大はフィードイン・タリフ (FIT) 制度の導入による欧州市場の拡大が大きく寄与しているが、原料シリコンに深刻な需給ひっ迫と価格高騰が発生し、太陽電池のコストダウンと生産量の抑制を招いた。薄膜系太陽電池 (Si、CIS、CdTe) はこのシリコン不足を追い風に実用化が進み、2007年の薄膜系太陽電池生産量は全生産量の11%を占めるまでになり、特に安価なCdTe太陽電池の発展が著しい。

また、多数のベンチャー企業が太陽光発電事業へ参入し、太陽電池製造企業数は100社を超えるとともに、GW規模の生産能力を目指す企業も複数社出現している。特にドイツ、中国などでの発展が著しく、世界のトップ企業にもQ-Cells、Suntechなど新興企業が入っており、工場規模も年産700MWを超えている。国内ではセルメーカーが10社に増加し、薄膜シリコン、CISも実用化段階に入った。

2007年の世界の太陽光発電システム導入量の80%以上が系統連系システムであり、今後も引き続き系統連系システムが普及を牽引すると見られ、用途としては住宅用システムばかりでなくFIT制度による投資対象としての大規模発電所も増加している。



出展: PV News 2009年4月号およびIEA-PVPS 2008年報告書を基に、(株)資源総合システムが作成

図1-1 太陽電池の年間生産量及び導入量の推移

世界の太陽光発電システム累積導入量は2007年度末で7GWを超えた。最大の導入国はFIT制度による普及促進策が寄与したドイツの約4GWであり、単年度の導入量でも1.1GWと世界最大の導入国になっている。我が国の累積導入量は約1900MWであるが、ここ数年、欧州各国はFIT制度の導入により大きな市場を形成しており、特にスペインは単年度導入量では我が国を越えている。また、米国ではソーラーアメリカ計画（SAI）が発動され、併せて州レベルでの導入支援策が強化されるなど市場は拡大に転じており、さらに原油の高騰、環境問題から、インド、マレーシアなどのアジア諸国や、中東諸国でも太陽光発電の導入が進められている。我が国では新築オール電化住宅向け太陽光発電システムはほぼ自立した市場になってきたが、国の補助制度が終了した2004年以降の年間導入量が200～290MWと停滞している。総じて太陽光発電システムの現状は市場が政策によりバックアップされている状態は変わっていないと言えよう。

太陽光発電の設置価格は原材料の値上がりにより横這い傾向にある。世界の代表的市場での太陽電池モジュールと太陽光発電システム設置価格は図1-2に示したとおり、現状では4～8ドル/Wの範囲にある。またIEA—PVPS*のデータからは系統連系型システムで概ね5.5～7.5ドル/W（2007年ベース）の範囲にあるが、独立型システムでは蓄電池などが必要なため10ドル以上と高価である。我が国では住宅用システムの価格は68万円/kW程度（発電コスト換算：46円/kWh程度）であるが、2007年は原料シリコンはじめ各種材料の価格高騰により前年度に比べてわずかだが上昇している。これに対して海外では安価なCdTe太陽電池が大規模用途に進出しており価格低下を先導している。

* 国際エネルギー機関(IEA)による太陽光発電システムプログラム

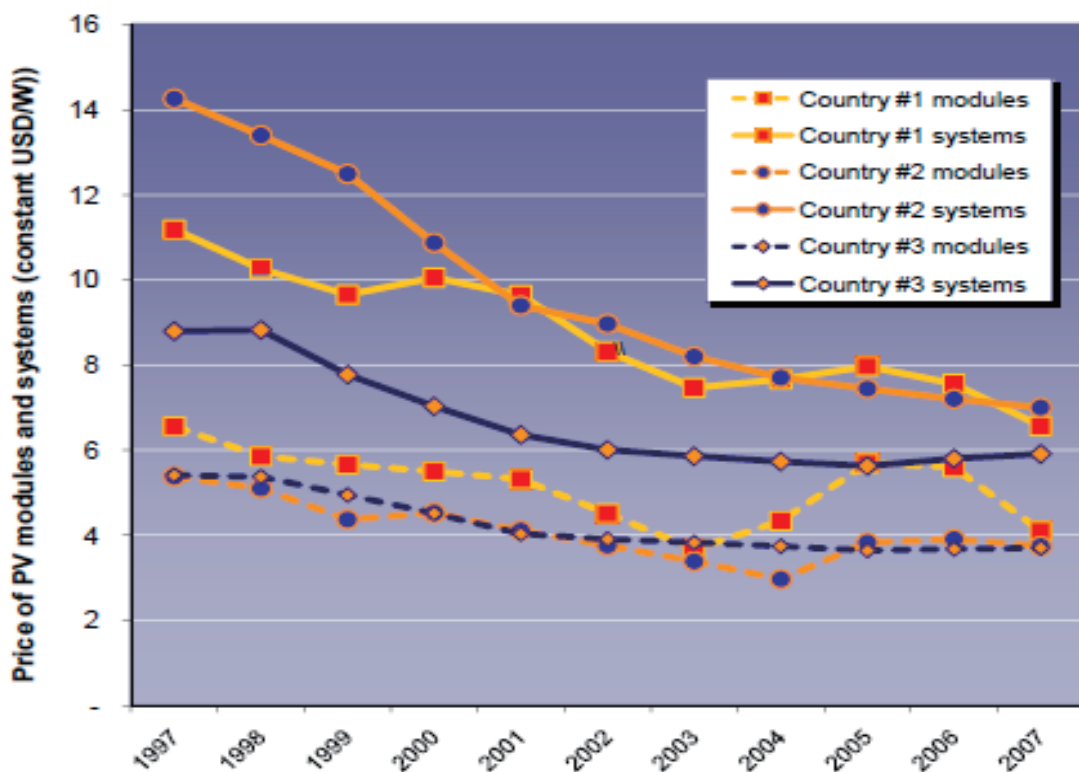


図1-2 太陽電池モジュール及びシステムの代表的な市場での価格推移

(#1：日本、出典：PV Power No.29（2009）)

第2章 技術開発とロードマップ（PV2030）の進捗状況

2.1 日本の技術開発プロジェクトの状況*

太陽光発電技術開発に関して、2004年のロードマップ（PV2030）策定後の新エネルギー・産業技術総合開発機構（以降 NEDO と記述）の技術開発プロジェクトの状況は以下のようである。

2010年に向けた太陽電池モジュールの低コスト製造技術に関して、結晶シリコン太陽電池では2004年までに国の技術開発が終了し、また、薄膜シリコン太陽電池、CIS系太陽電池、超高効率太陽電池についても2005年までに「先進太陽電池技術研究開発」による技術開発が終了し、工業生産に適用されつつある。現在、これら開発技術の技術確立／改善への支援が「太陽光発電システム実用化促進技術開発」として行われている。

ロードマップ（PV2030）に基づく2010年以降に向けた技術開発は「革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発」においてブレークスルーの探索を行い、その成果に基づき2006年から「太陽光発電システム未来技術研究開発」で各種太陽電池の低コスト・高性能化に対する要素技術開発が進められており、2008年度にはその一部が実用化を目指した量産化技術の開発（「太陽光発電システム実用化促進技術開発」）に移行しており、原料シリコン製造技術についても量産化技術の開発と実用化が進められている。さらに、2008年度からは「革新的太陽光発電技術研究開発」として変換効率40%を目指した超高性能太陽電池に関する3つの技術探索プロジェクトが発足した。

一方、システム利用技術に関して、各種太陽電池やシステムの実市場での実証研究は1992年から継続して実施されており、また、電力系統との連系や各種新エネルギーとの連系にかかる課題の検討に関して、2007年度までに「集中連系型太陽光発電システム実証研究」や「新電力ネットワークシステム実証研究」等の実証研究が進められ、さらに2008年から「大規模電力供給用太陽光発電システム安定化等実証研究」において接続系統側での課題についての検証も実施している。

他方、基盤技術に関してもモジュール性能評価技術、発電量評価技術などの技術開発が「太陽光発電システム共通基盤技術研究開発」として進められている。（*詳細は資料3を参照）

2.2 ロードマップ（PV2030）実現への進展概況

ロードマップ（PV2030）の実現に向けた各課題の進展状況を表2.2-1に示す。ここで参考としてロードマップ（PV2030）における2010年の到達目標も示した。各項目に関する状況は次項に述べる。

2.3 技術の状況

技術面での進捗状況としては、下記に示すとおり2010年の目標はクリアできる状況といえる。しかし2020年以降の目標達成を見通せるような状況までには至っていない。

太陽電池モジュール製造技術では、2005年までにNEDOによるモジュール高性能化とプロセス低コスト化に向けた先進太陽電池技術研究開発などが完了している。各太陽電池の現状は表2.3-1、表2.3-2のようであるが、製造コストでは多結晶シリコン太陽電池で140円/Wが、また薄膜シリコン太陽電池、CIS系薄膜太陽電池及び集光型超高効率太陽電池でそれぞれ100円/Wの技術がNEDOのプロジェクトで完成し、順次工業生産に適用されつつある。

性能に関しては、結晶シリコン太陽電池の研究室レベルでの性能は、小面積単結晶セルでは24.7%、多結晶では20.4%に到達している。量産サイズの太陽電池では単結晶シリコンセルではHIT型セルで23.0%が、多結晶シリコンセルでも150mm角のセルで18.9%が報告されている。また量産モジュールでは単結晶で19%、多結晶で16%の水準と見られる。薄膜シリコン太陽電池の性能は小面積セルで15%が報告されているが、実用段階のモジュールの性能は11%レベルにある。また、CIS系太陽電池では小面積の研究室レベルで20%のレベルが報告されたが実用段階のモジュールでは11%台にある。その他の太陽電池では有機薄膜太陽電池での変換効率の確認(研究室レベルで5%程度)が特筆される。

表2.2-1 ロードマップ(PV2030)の実現に向けた各課題の進展状況

課題	2010年目標	進捗状況
経済性	23円/kWh程度	現状は住宅用システムで46円/kWh程度と算定(詳細は後述)
太陽電池種類	(薄膜も登場)	結晶系シリコンに加え、薄膜シリコン、CIS系薄膜太陽電池が実用化、フレキシブル太陽電池も工業生産に入る。海外ではCdTe太陽電池が発展。2007年の薄膜系太陽光発電電池のシェアは約11%に拡大。
モジュール製造コスト	100円/W	NEDOのプロジェクトで、薄膜シリコン、CIS系、超高効率Ⅲ-V族セルについて100円/Wを目標にした技術開発が完了、現在量産への技術移行中。
モジュール性能	セルごとに設定	各太陽電池とも2010年の目標は達成され実用化レベルで実現されている(表2.3-1参照)
モジュール寿命	(20年)	メーカー仕様概ね20年となっているが、客観的な評価法については今後の課題。
原料問題	薄型基板	基板厚さは180μm程度まで低減。シリコンの供給が需要増により逼迫した。将来にわたり安定供給が必要。
システム機器	—	太陽光発電システムとして国内は10年保証(住宅システム)。インバータの効率向上と量産による標準品のコストダウンが進んだ。

表2.3-1 太陽電池性能目標と現状(変換効率:単位%)¹⁾

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

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

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

3)集光時の変換効率。

4)新しい太陽電池として有機系太陽電池にも開発目標を設定した。

5)モジュール目標を達成するために最低限必要なセルの変換効率。

一方、生産技術では表2.3-2のように薄膜系太陽電池（シリコン、CIS）の量産技術が確立し、工業生産に入っている。システム利用技術では電力系統との連系技術について分散電源の集中的な系統連系での課題検討やメガワット級大規模発電所の建設と実証運転などが進められた。太陽光発電の周辺技術に関しては、シリコン原料技術では過去に開発してきたNEDO熔融精製法や亜鉛還元法などが工業生産への途上にあり、蓄電技術では、電気自動車などの技術開発と関連した蓄電池の低コスト化・長寿命化、高性能化などの技術開発プロジェクトがスタートしている。

表2.3-2 太陽電池製造及びシステム利用技術の現状

項目	技術の現状
結晶シリコン 太陽電池	<ul style="list-style-type: none"> ・単結晶、多結晶シリコンセルとも量産技術が確立（工場規模：年産 700MW） ・基板サイズ：単結晶 12.5cm 角、多結晶は 15.5cm 角、厚さ約 180μm ・多結晶シリコンインゴット鑄造サイズ：400kg、シリコン原単位：10g/W 以下 ・高性能太陽電池（HIT 型及びポイントコンタクト型）の実用化 ・SiN バルクパッシベーション、RTP 熱処理技術、RIE テクスチャリング技術が実用化
薄膜シリコン	<ul style="list-style-type: none"> ・アモルファス・シリコン太陽電池の量産技術が確立 ・a-Si / μc-Si 高効率タンデム型太陽電池の技術開発が進み実用化段階へ — VHF プラズマを用いた大面積（1.1m\times1.4m）、高速（2.5nm/s 程度）製膜技術の確立 ・フレキシブル太陽電池の量産プラントも稼働
CIS 系	<ul style="list-style-type: none"> ・量産工場の建設・実用化が進んでいる（国内はセレン化法、ドイツでは多元蒸着法、硫黄系セルなど） ・研究室レベルと実用面積モジュールでの性能ギャップはまだ解決されていない。 ・ワイドギャップ領域での材料開発やセル構造の検討が、また、海外では印刷法などの安価プロセスも研究されている
その他の 太陽電池	<ul style="list-style-type: none"> ・III-V 系集光型太陽電池では高倍率集光で変換効率 41.1%が、また、システム効率でも 25%以上が実証され、コストダウンを含めた実用化検討の段階へ ・色素増感太陽電池では研究室レベルで変換効率 11.3%が得られ、耐久性、大面積化技術の開発へ ・有機薄膜太陽電池のプロセス研究も進展（研究室レベルで 5%程度の性能）
システム利用 技術等	<ul style="list-style-type: none"> ・集中的な系統連系での協調運転などについて太田市の実証実験 ・大規模システムの系統連系技術の実証試験（北杜市や稚内市） （課題の抽出と設置・運用技術の開発）

2.4 太陽光発電システムの経済性の改善状況

現在の代表的な用途である住宅用系統連系型太陽光発電システムの価格は683円/W（住宅用システムの平均値）程度で、発電コストは46円/kWh程度と算定され、ロードマップPV2030の2010年目標23円/kWh程度の2倍であるが、これまでに技術開発してきた成果が着実に量産化されることにより、2010年代前半には目標コストへ到達できる見通しは得られていると考えられる。即ち、NEDOの低コストモジュール製造技術の開発プロジェクトにおいて、結晶シリコン太陽電池では薄型基板製造技術や、RIE法光閉じこめ技術、水素によるバルクパッシベーション技術、RTP電極

焼成技術などによる低コスト高性能化技術が開発されており、薄膜シリコン太陽電池では a-Si/ μ c-Si タンデムセルの開発や 1m \times 1.4m 規模の大面积高速製膜技術の開発などにより、また CIS 系薄膜太陽電池及び集光型の超高効率太陽電池でも高性能化技術などの開発により、それぞれモジュール製造コスト 100 円/W に向けた技術開発が完了している。一方、現状のモジュールコスト（工場出荷価格）は 200 円 \sim 300 円/W と推定され技術開発成果とは乖離があるが、開発した技術が順次生産に適用され、また一方で最近の製造コスト低減を妨げた原因の 1 つであったシリコンなどの材料価格の高騰が解消されるにつれて、2010 年代前半までには目標の 23 円/kWh 程度が実現されると考えられる。

しかし、更なるコストダウンについては、経済産業研究所、戒能氏*はこれまでの国内の太陽光発電システム価格推移から寿命 15 年を仮定して将来のシステム価格を推定し、導入政策目標が達成されても、太陽光発電コストは 2030 年まで 17 円/kWh 程度（寿命 20 年に換算しても 14 円程度）までしか低減されないとしており、将来を見据えた技術開発が重要であることを示唆している。

他方、太陽光発電コストの内訳を見ると、発電コストは太陽光発電システムの購入価格、運転経費（通常 0 円）及び金利（4%）と生涯発電量（耐用 20 年）に依存し、現在の発電コスト：46 円/kWh 程度の内訳は概略図 2.4-1 のように試算される。（*：詳細を参考資料 3 に示す）

図 2.4-1 太陽光発電システムの価格とこれによる発電コストの構成要因の概観

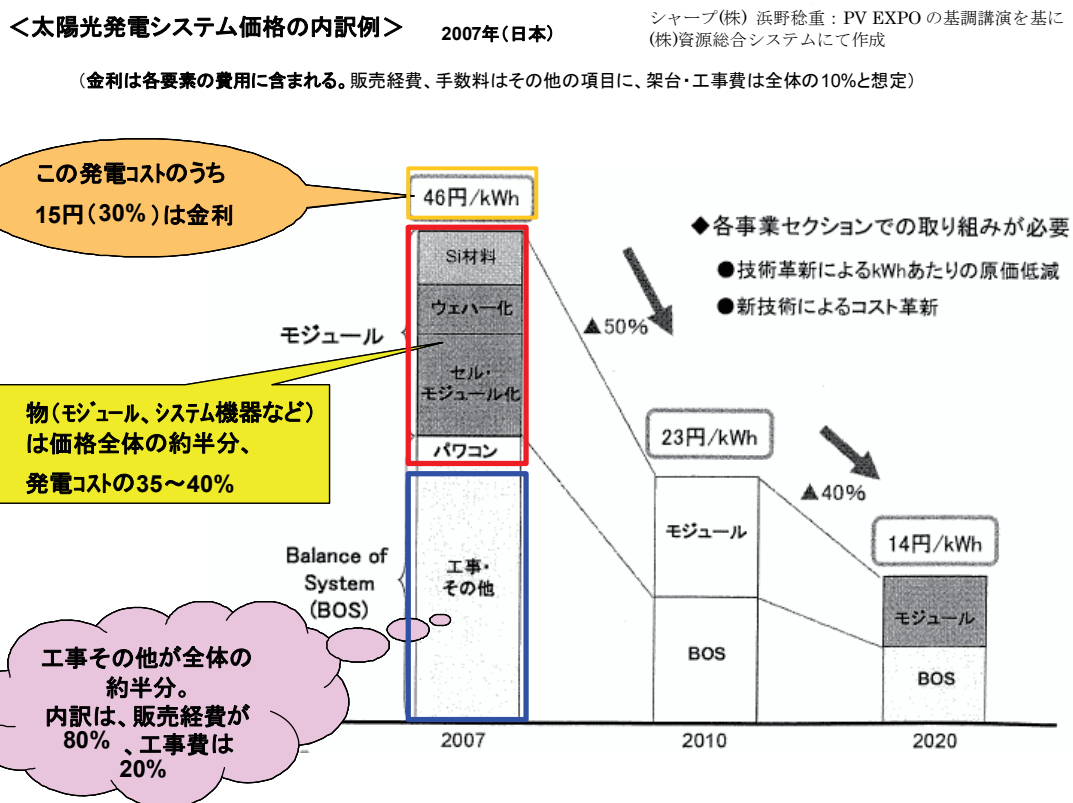


図 2.4-1 からはシステム部材等の他、金利と販売経費の寄与（両方で発電コスト全体の 1/2 強を占める）が大きく、この部分の改善も重要である。なお、システム価格と発電コストの関係を、金

利をパラメータとして推算すると図2.4-2のようになる。従来の算定では金利4%としていたが、最近の住宅ローン金利は20年固定金利で2.8%程度、35年固定金利でも約3%の水準にあるため、今後、太陽光発電システムの設置価格が45万円/kW程度まで低下すると家庭用電力の時間帯別料金に対しては、ほとんどGrid Parity*になる。最近、大手住宅メーカーの一部では、この価格水準での新築住宅販売キャンペーンを実施しており、Grid Parityが近づいている兆候が伺える。

*Grid Parity：太陽光発電の経済性が系統電力と等価になること

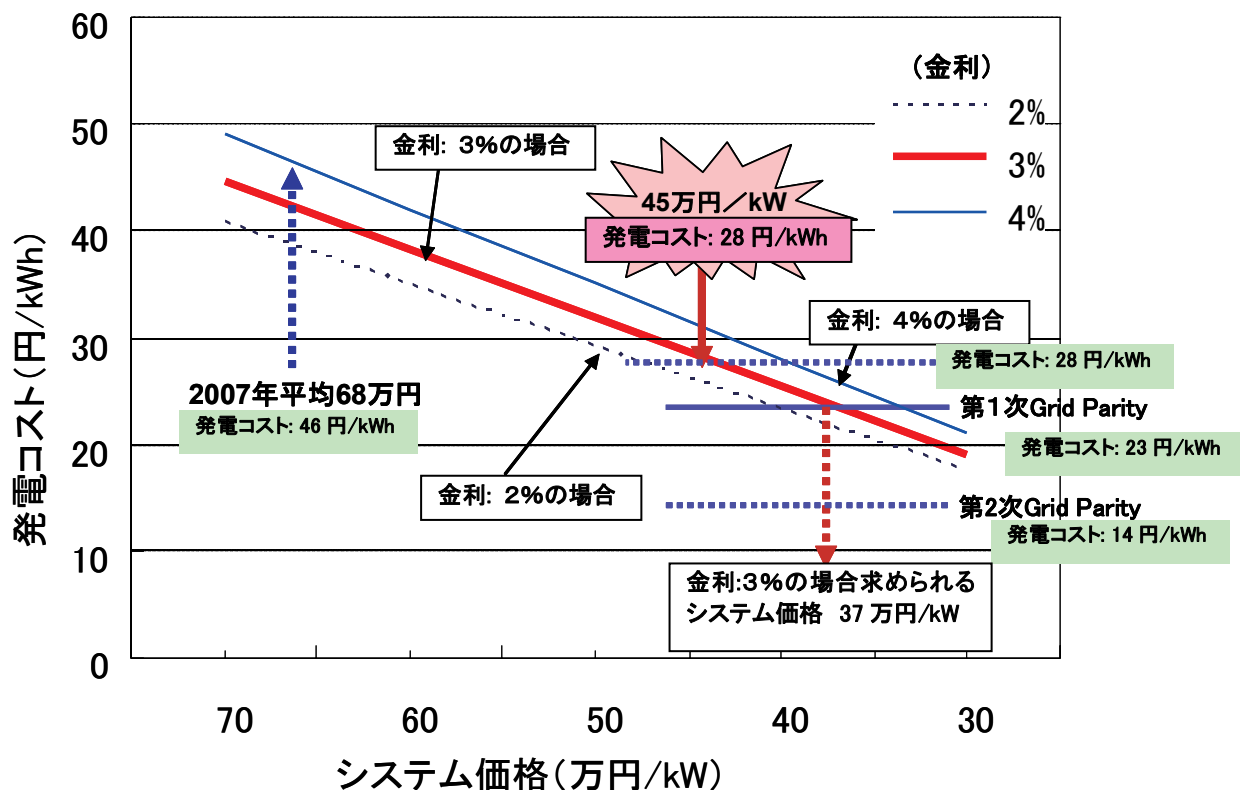


図2.4-2 太陽光発電システム価格と発電コストの関係

第3章 ロードマップ (PV2030) 策定後の環境変化

3.1 エネルギー資源問題の顕在化と対応

国際エネルギー機関 (IEA) 等の各種報告にも示されるように、世界の人口増加や中国、インド、ASEAN諸国など新興国の経済発展から世界のエネルギー消費は増大の方向にあり、2008年には原油価格が1バレルあたり140ドルを超えるなどエネルギー価格の高騰と将来の資源枯渇の懸念が顕在化しつつある。これへの対応策として太陽光発電に大きな期待がかけられており、後述の地球温暖化問題への対応とも相俟って欧州を中心に各種導入促進策がとられている。また、中国などのアジア諸国でも太陽光発電ロードマップの策定と利用拡大の動きが始まる一方で、国内では電気自動車実用化などの動きも進んでいる。これらは太陽光発電にとって新しい市場拡大の兆しでもあり、我が国は新しいエネルギー資源の供給者として世界に貢献することが必要となっている。

3.2 地球温暖化問題の顕在化と太陽光発電の普及拡大政策

地球温暖化に伴う諸現象が各地で観測されるようになり、温室効果ガス排出削減への動きが活発化している。2005年2月には温室効果ガス排出削減に関する京都議定書が発効し、各国で対応策がとられつつあるが、2008年の洞爺湖サミットでは更なる温室効果ガス排出削減に向けて「2050年までに温室効果ガスの排出を半減する」との長期目標がグローバルに共有され、国際的な取り組み課題になっている (参考資料4参照)。

これに関連した具体的な動きとして、我が国では「Cool Earth - エネルギー革新技术計画」(2008年3月)、「福田ビジョン (低炭素社会・日本を目指して)」(2008年6月)、「低炭素社会作り行動計画」(2008年7月)、「麻生内閣総理大臣スピーチ (新たな成長に向けて)」(2009年4月)の発表がなされている。これらの動きの中で太陽光発電は課題解決のための重要技術の1つと位置づけられ、具体的な導入目標として2020年頃までに現状の約20倍が掲げられた。現在、これらの実現に向けた施策が検討されている。2008年度からNEDOの「革新的太陽光発電技術研究開発」が始まり、また2009年からは住宅向けの導入補助が開始されるとともに、従来の2倍程度の価格での余剰電力の買取制度の導入が検討されている。

表3.2-1 各国の普及政策

種類	発電量(kWh)に対する補助(優遇価格)	発電量(kWh)に対する補助(等価)	kWhに対する補助金	kWhまたは価格に基づく税額控除	RPS (再生可能エネルギー利用量の義務)	公共建築物への設置義務制度
欧州	フィードイン・タリフ (ドイツ、スペイン、イタリア、フランス等23ヶ国)	ネットメタリング (デンマーク等5ヶ国)	(ベルギー、キプロス、イギリス等14ヶ国)	(フランス等7ヶ国)	(イギリス等5ヶ国)	(スペイン、イタリア)
米国	フィードイン・タリフ (ワシントン州他)	ネットメタリング (43州*)	(38州*)	(連邦/ 21州)	(30州)**	
日本	固定価格買い取り (準備段階)	余剰電力購入 (電力)	(国、自治体、電力)	-	(国)	
その他	(フィードイン・タリフ) 韓国、カナダ(州)、オーストラリア(州)、インド(州)等		韓国、オーストラリア、インド、マレーシア、台湾等			韓国

*: 電力事業者による実施を含む、**: ワシントンDCを含む

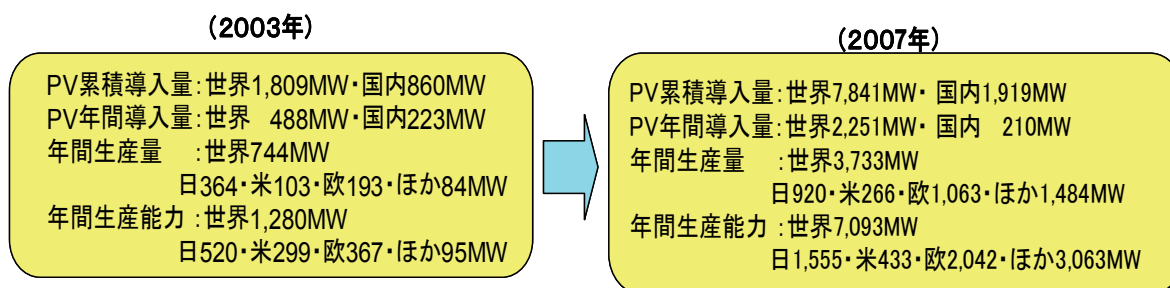
出典: (株) 資源総合システム調べ

他方、欧米では改訂された再生可能エネルギーの普及促進策とこれをバックアップする技術開発計画などが既に動いており、我が国より先行した状況になっている。太陽光発電の普及政策に関する各国の状況は表3.2-1のようで、我が国の住宅補助が2005年に終了したのに対して、欧米を中心にFIT制度、ネットメタリング、補助金、税額控除、電力会社による再生可能エネルギー使用量の義務化（RPS制度）など多様な施策が進められている。この中で、ドイツで始まったFIT制度は欧州全体（20カ国を越える）に拡大しつつあり、また米国では州レベルで各種普及促進策が取られている。

3.3 欧州を中心とした爆発的な市場拡大と新興国の台頭 — 我が国のポジションの地盤沈下—

上記のエネルギー資源や温暖化の問題に対応して海外での太陽光発電に対する意識は大きく変化しており、その結果として太陽光発電市場や産業は、ロードマップ（PV2030）策定時の我が国が牽引していた状況から欧州を中心とした爆発的な市場拡大と新興国の台頭へと大きく変化している。

この状況は図3.3-1に示すようで、2003年から2007年の間に、国内導入量は約2倍強（1,900MWの水準）に拡大したが、世界市場の拡大はドイツを中心に4倍強（7,800MWの水準）の水準にあり、一方、生産量でも我が国の364MWから920MWへの2倍強の増大に対して世界の生産量は5倍に増大して、我が国のシェアが50%から25%に減少している。



出展: PV News 2008年4月号およびIEA-PVPS 2008年報告書を基に作成

図3.3-1 太陽光発電市場の2003年から2007年への変化

欧州市場の拡大にはドイツで始まり欧州全域に拡大しつつあるFIT制度が大きく寄与している。ここでは太陽光発電による発電ビジネスが成り立つ状況が出始めており、太陽光発電が有力な投資対象になるとともに、大規模発電所も多数建設されている。またこの市場拡大に刺激され欧米では多数の太陽電池製造ベンチャー企業が出現し、装置産業の太陽光発電分野への進出も起きており、生産設備のターンキー供給が始まっている。図中で“ほか”に分類した主な国は中国、台湾など東アジア諸国で、これらの国は生産設備のターンキー購入により長期間の技術開発を経ずに太陽電池生産国として台頭してきたものである。

3.4 欧米での技術開発の強化

ロードマップ（PV2030）策定後、欧米では日本への対抗を視野に太陽光発電に関する技術開発計画を刷新し、その後も上記のエネルギー資源や温暖化問題への対応に沿って計画を更新・拡大して、技術開発を進めている。

欧州では、各国が個別に技術開発プログラムを持っているが、全体としては欧州委員会の「欧州研究開発フレームワーク計画 (FP)」の中で、結晶シリコン太陽電池をはじめとする各種太陽電池や有機薄膜系や量子ナノ構造型太陽電池などの新技術、系統連系、特性評価、規格・認証など利用に関する技術開発など、広範囲の対象に対して基礎技術から応用技術まで広い範囲で技術開発を進めている。また、2005年には、全欧州的な諮問組織として「欧州太陽光発電技術プラットフォーム (PVTP)」が設立された。現在、PVTPの中で「太陽光発電戦略研究開発計画 (SRA)」が検討されており、既に2030～2050年に向けて表3.4-1のように、我が国のロードマップ (PV2030) に先行する目標を掲げた「太陽光発電ロードマップ」が示されている。(2008年)。

表 3.4-1 欧州太陽光発電技術プラットフォーム (PVTP)

太陽光発電戦略研究開発計画 (SRA) による太陽光発電ロードマップ

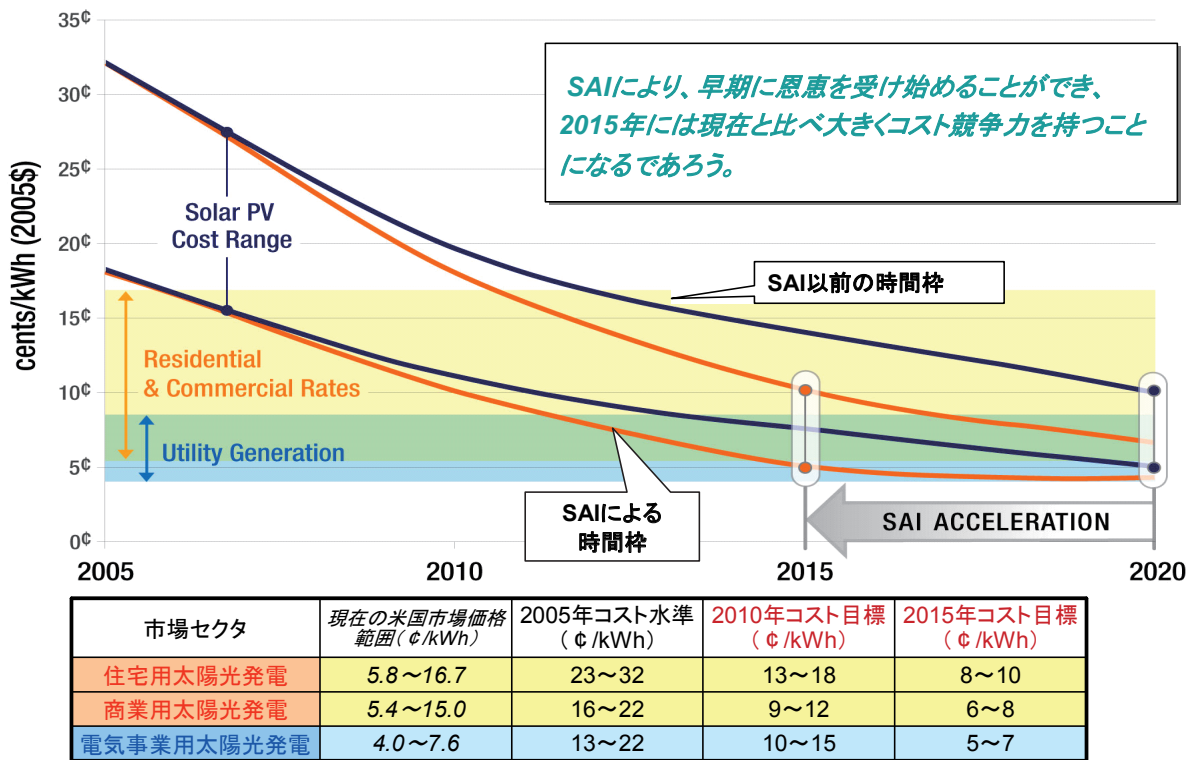
	1980年	現在	2015年 / 2020年	2030年	長期可能性
ターンキー太陽光発電システム価格 (€/Wp(2007年)、VAT 除く)	>30 €/Wp	5 €/Wp (4~8 €/Wp)	2.5 €/Wp / 2.0 €/Wp	1 €/Wp	0.5 €/Wp
太陽光発電コスト (€/kWh(2007年)、南欧)	>2 €/kWh	0.30 €/kWh	0.15 €/kWh / 0.12 €/kWh (小売価格と競合)	0.06 €/kWh (卸売価格と競合)	0.03 €/kWh
市販平板型太陽電池モジュール変換効率	~8%	~15%	~20%	~25%	~40%
市販集光型太陽電池モジュール変換効率	(~10%)	~25%	~30%	~40%	~60%
システム・エネルギー回収期間 (南欧)	>10年	2年	1年	0.5年	0.25年

出典: Wim Sinke, et al., "The Strategic Research Agenda dedicated to competitiveness of PV technology and the PV industry", EU PV Technology Platform Working Group 3: Science, Technology & Applications, EUPVSEC-22, Milan (2007年9月), EU PV Technology Platform, "A Strategic Research Agenda for Photovoltaic Solar Energy Technology" (2007年6月)

一方米国では、国立太陽光発電センター (NCPV) により複数年の「太陽光発電プログラム」が策定され研究開発が進められていたが、これは2007年からエネルギー省 (DOE) が直轄する「先端エネルギー計画 (AEI)」に基づく「ソーラー・アメリカ計画 (SAI)」へ移行し、集中的に資金を投入し技術開発を進めることで、2015年までに系統電力との経済的な等価 (Grid Parity、米国では~5セント/kWh) の実現を狙っている。ここでは太陽電池の工業生産とシステム開発に対する「テクノロジー・パスウェイ・パートナーシップ (TPP)」、「太陽エネルギー系統連系システム」、中小企業向けの「太陽電池モジュール・インキュベータ」、次世代技術に向けた「基礎科学研究開発」、「次世代太陽電池プロジェクト」などの技術開発プロジェクトが進められている。またこの実施のため2007年には図3.4-1のような「太陽電池技術ロードマップ」がNCPVを中心として策定されている。これは従来の「太陽電池技術ロードマップ」を2007年に見直し、達成時期を5年間前倒したもので、目標達成時期が日本のロードマップ (PV2030) より大幅に先行している。

その他の国では、中国 (国家発展改革委員会 (NDRC))、韓国 (通商産業エネルギー省 (MOCIE))、台湾 (経済部 (MOEA))、インド (再生可能エネルギー省 (MNRE)) など国プロジェクトと

して太陽光発電の技術開発が進められつつあり、中国、韓国ではロードマップの策定も検討されている。



出典: IEA-PVPS ANNUAL REPORT 2006を基に、櫛資源総合システムが作成

図3.4-1 米国の太陽電池技術ロードマップ

第4章 太陽光発電が目指す姿

4.1 目指す姿の見直し

ロードマップ（PV2030）は技術開発の目標を「2030年までに太陽光発電を主要なエネルギー源の1つに発展させる」ことに置き、その具体的な形として2030年には国内の電力消費の10%程度、即ち家庭用電力消費の1/3～1/2に相当する電力を太陽光発電で供給できるようにすることを目標として、これに必要な技術開発シナリオを汎用電力並みの経済性実現を軸として示した。

これに対してロードマップ（PV2030）策定後の4年間を見ると、第2章に述べたように、エネルギー資源問題や地球温暖化問題の顕在化に対して太陽光発電の貢献が大きく要請されている。その反面、太陽光発電市場での我が国の地盤沈下は著しく、将来を見通した技術開発でも欧米が先行しようとしているなど大きな環境変化が起きている。このような環境変化に対して、今後の我が国の技術開発のベースとなる太陽光発電ロードマップの目標とする姿を以下のように見直した。

(1) ロードマップの時間的視野:2030年 → 2050年

— 「Cool Earth—エネルギー革新技術計画」や温室効果ガス排出削減への取り組みなどを勘案し、時間的な検討スパンを2050年まで拡大する —

(2) 目標

— 洞爺湖サミットに対応した我が国の地球温暖化問題への取り組みへの貢献を追加する —
2030年：「2030年までに太陽光発電を主要なエネルギー源の1つに発展させる」に
2050年：「太陽光発電が2050年までに温室効果ガス排出削減への一翼を担う主要技術になり、我が国ばかりでなくグローバルな社会に貢献できる」を加える。

(3) 経済性

— Cool Earthエネルギー革新技術計画での目標の実現を目指す —
“Grid Parity（系統電力との経済性等価）の実現”の考え方を維持する。
目標値そのものは変更せず、“2050年には7円/kWhを下回る発電コストの達成”を加える。

(4) 量的な想定レベル

— 技術開発などの具体的取り組みのベースとして必要十分な課題を抽出できるレベル —
2030年に電力消費の10%を太陽光発電で賄う（国内生産量：6～12GW/年）
2050年には“温室効果ガス排出削減の7%程度”あるいは“1次エネルギー供給量の10%程度”を太陽光発電で賄う（→2050年の国内の1次エネルギー需要の5～10%を太陽光発電で賄うことを想定し、国内向けの生産レベルとして25～35GW/年の実現を想定する）。
また、海外市場に向けた貢献として、世界の年間設置量の1/3程度を我が国の産業が供給できるようにする（海外生産も含め2050年の生産量として～300GW/年程度）。

(5) 技術開発

— 欧米のロードマップとの対比、革新的太陽光発電技術研究開発の発足を考慮して見直し —
開発完了から実用化までの期間も考慮し、ロードマップ（PV2030）の技術開発での達成時期を前倒しする（2030年→2025年、2020年→2017年）。
“2050年までに変換効率40%以上の超高効率太陽電池の開発”を追加し、開発過程での

波及効果も視野に入れ2030年の技術目標水準を引き上げる。

(6) 利用形態

- 主に家庭用電力消費への利用から、エネルギー消費の電力化による用途拡大を想定 —
- ロードマップ (PV2030) における系統連系から自律型システム展開に対して、民生業務分野を中心とした地域のエネルギーシステム (たとえば、スマートグリッド、HEMS、BEMS* など) への利用や、産業分野での電力利用拡大や運輸用エネルギーの電力転換を見据えた、独立型も含む幅広い利用を想定。利用進展はGrid Parityの達成段階に応じて進展、太陽電池モジュールなどには用途の多様化に対応した多様な選択肢を準備する。

*HEMS及びBEMS：住宅用及びビル用のエネルギー管理システム

ロードマップ (PV2030) では2030年までに100GW程度の太陽光発電システムの導入を目指し、その利用形態として系統連系システムから自律度向上型システムへ、個別の住宅システムから地域システムへ、また設置環境を戸建て住宅から各種建造物の屋根利用の方向で想定している。一方、国の政策としての導入目標における2030年の太陽光発電導入では、目標の60%を戸建住宅システムとして、また40%を工場、公共施設などの大型建築物に設置するとしている。今回の見直しでは、太陽光発電の普及拡大はロードマップ (PV2030) の想定に加え、今後エネルギー消費の電力化進展、即ち従来の化石燃料直接燃焼プロセスの電力への転換による電力消費量の増加に対応した利用拡大を想定した。

以上の見直し結果を総括すると図4.1-1のロードマップ (PV2030+) のようになる。

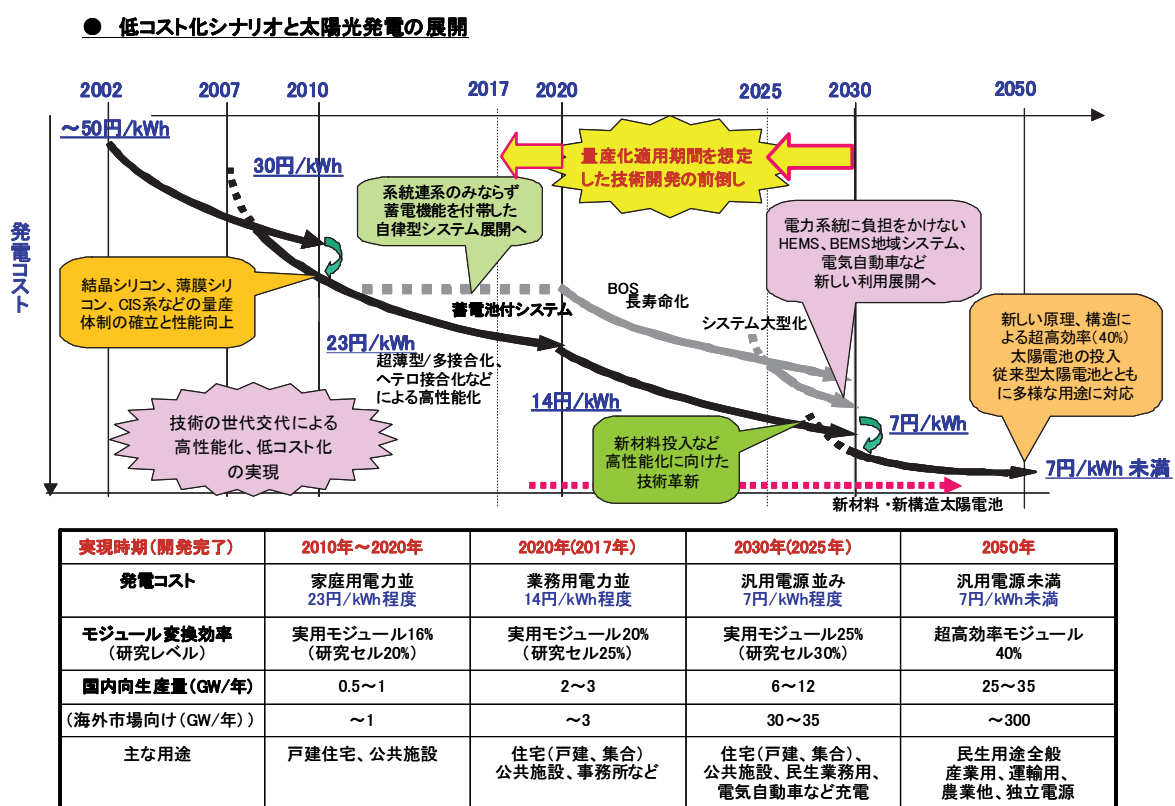


図4.1-1 太陽光発電の今後の発展に対するロードマップ(PV2030+)のシナリオの概要

ロードマップ（PV2030+）では、時間的なスパンを2030年から2050年まで拡大し、温暖化問題に貢献できるような量的拡大として2050年の国内の1次エネルギー需要の5～10%を太陽光発電で賄うことを目標にし、海外に対しては必要量の1/3程度（300GW程度）が供給できることを想定した。経済性改善では“Grid Parityの実現”の考え方を維持し、ロードマップ（PV2030）の発電コスト目標（2010年に家庭用電力並み（23円/kWh程度）、2020年には業務用電力並み（14円/kWh程度）、2030年には汎用電源並み（7円/kWh程度））そのものは変更せず、“2050年には7円を下回る発電コストの達成”を加えた。また、これを実現する技術開発では2030年の目標達成の5年前倒しを目指すとともに、2050年までに変換効率40%以上の超高効率太陽電池を開発する。

一方、太陽光発電の利用では、表1のように、段階的なGrid Parityの進展により量的拡大が進み、家庭用電力用途での利用からエネルギー消費の電力化に対応した化石エネルギーの置き換え用途に拡大すると想定した。この新しい用途に対して必要な太陽光発電の供給量は2030年には年間6～12GW、2050年には25～35GWの規模となる。また、これによる経済や環境に対する効果として、2050年には国内市場向けの太陽光発電産業は約4兆円産業に成長すると推定した。

4.2 太陽光発電の段階的な普及と利用形態

(1) 普及の段階

太陽光発電の利用は経済性の改善につれ、即ちGrid Parityの進展により、導入量及び利用形態が変化すると考えられる。ここでは経済性改善の段階を、家庭用電力料金並み（23円/kWh程度）

表4.2-1 太陽光発電の経済性改善の段階

段階(時期)	Grid Parityの対象と主な利用内容	性能・技術・利用水準	当面の技術開発
萌芽段階 ～2010年	第1段階Grid Parityまでの開発段階 蓄電池代替用途、普及政策用途	開発段階	コスト低減 性能向上
第1段階Grid Parity (2010～2020年)	家庭用電力並(23円/kWh程度) 住宅用系統連系システムでの利用 (技術開発は2005年に完了)	研究セル20%、実用モジュール16% 系統連系システム技術 PVシステムの信頼性確立	生産適用 技術改善
第2段階Grid Parity (2020～2030年)	業務用電力並(14円/kWh程度) 産業・運輸及び業務分野の電力利用 蓄電機能付きシステムでの住宅利用 (技術開発の完了は2017年)	研究セル25%、実用モジュール20% 自律度向上型地域システム技術、 広域発電量予測、長寿命システム	実用化 技術開発
第3段階Grid Parity (2030～2050年)	汎用電源並(7円/kWh程度) 運輸、大規模発電所、水素製造など 蓄電機能付きでの産業利用など (技術開発の完了は2025年)	研究セル30%、実用モジュール25% 太陽光発電利用複合エネルギーシステム	要素技術 の開発
汎用段階 2050年～	汎用電源未滿(7円/kWh未滿) 独立システム	従来技術に加え効率40%以上の超高効率モジュールも追加、 多様な用途に対応できる汎用電源	探索研究

の達成を第1段階のGrid Parity、業務用電力料金並み（14円/kWh程度）を第2段階のGrid Parity、汎

用電力料金並み（7円/kWh程度）を第3段階のGrid Parity状態とし、また7円/kWh未満の状態を汎用電源未満段階として区分すると各段階での太陽光発電の状況を表4.2-1のように想定した。

(2) 各段階での利用形態

○ 第1段階のGrid Parityでの状況：

発電コスト目標は23円/kWh程度の達成で、家庭用電力に対するGrid Parityが実現した段階である。エネルギー源としての太陽光発電利用の初期段階であり、現在はこの第1段階のGrid Parityの入り口と考えられる。主な利用形態は余剰電力購入メニューなどをベースとした逆流ありの系統連系システムで、太陽光発電の発電量変動と需要との mismatches は電力系統に連系することで解決する。主たる用途は戸建て住宅、公共建物、集合住宅（個別用）などに設置する系統連系システムで、設置に関しては国内60GW以上の導入が可能な分野であるが、従来の電力系統安定の観点からは10GW程度が導入限界（経済産業省：低炭素電力供給システムに関する研究会、2008年10月）と言われ、導入量及び導入密度の増大につれ蓄電機能を付帯させたり、需給平準化を図るなど電力系統の負担軽減対策が必要となる。

他方、最近開発が進む電気自動車の充電電源として、この段階でもガソリン燃料に対して経済的に優位になることから、特に通勤自家用車などでの補助電源としての利用も考えられる。

○ 第2段階のGrid Parityでの状況

発電コスト目標は14円/kWh程度の達成で、業務用電力に対するGrid Parityが実現した段階である。太陽光発電システムの低コスト化が進み、利用領域が業務用分野にも拡大されるとともに、電灯電力と競合する分野でも蓄電機能の具備が経済的にも可能になり、電力系統に対して自律したシステムとして導入拡大がみられる発展期である。太陽電池性能や耐久性の向上も進み利用可能域も拡大する。主な用途は戸建住宅や集合住宅用のシステム、商店やオフィスビルなどの業務システムで、HEMS、BEMSなどへの適用や商店街などを包含した地域エネルギーシステムの一環として利用拡大が想定される。また、産業分野では構内電源システムに連系した利用が進められる。これらの利用で前段階での導入と併せて国内100GW程度の導入が可能と見られるが、市街地などでは太陽光発電システムの設置場所に空き地などの利用が必要になる。

○ 第3段階のGrid Parityでの状況

太陽光発電の本格利用期で、太陽光発電の更なる低コスト化と高性能化が進み、汎用電源並の発電コスト（7円/kWh程度）、変換効率25%水準の高性能化や耐久性向上技術も確立され利用領域がさらに拡大される。ここではエネルギー消費の電力化（従来の化石燃料直接燃焼プロセスの電力への転換）の進展に伴う新しい電力需要に対応した用途への利用拡大が想定される。仮に電力化率が現状の2倍程度になり、消費電力の増分を太陽光発電でまかなおうとすると、民生分野（家庭、業務用途でのエネルギー消費）に対しては150～200GW、運輸分野（主に電気自動車による燃料転換）に対しては150～200GW、産業分野（工場ライン・設備等の電化）で150GW程度の新しい利用可能性が国内に発生すると考えられる。仮にこの規模を太陽光発電でまかなうことを仮定すると、昼間の発電量は電力系統のピーク電力量を大幅に越えると考えられるため、利用形態としては地域の電力消費や他の発電設備、エネルギー貯蔵機能（蓄電池、

水素など)などを組み合わせた自立型、あるいは従来の電力システムとは“秩序ある連系”を維持する地域エネルギーシステムや、水素製造、農業用途、海水淡水化などの独立型汎用エネルギー供給システム、あるいは電気自動車化や交通手段の変化に対応した運輸分野の燃料転換、電力系統と独立した利用形態などが想定される。また、高性能化が進むことから従来の住宅用や地域システムでの利用において、設置面積の小さな場所にも適用が可能になるとともに、電気自動車本体への直接設置なども進む。

○ 汎用段階

太陽電池の大規模な量産体制が確立し、安価で高性能な太陽電池モジュールが大量に供給されるとともに、変換効率40%を越える超高性能太陽電池も実現し、用途に応じ多様な太陽電池が用いられる。太陽光発電では“エネルギー源としての使いやすさ”が重要で、この段階では電力貯蔵技術の発展も期待され、太陽光発電の利用がさらに拡大し、多くの自動車本体に標準装備されるばかりでなく、石油などと同等の使い勝手を有するユニット化したシステムとして、農業など新しい分野での利用も始まる。また、海外では電力系統が整備された先進国などでの系統連系システムによる利用に加えて、大規模な村落電化、市街地電力システムやグローバルな送電網に連系した大規模発電システムへの利用も想定される。

4.3 見直した目指す姿と生産

今回のロードマップ (PV2030) の見直しでは、「Cool Earth—エネルギー革新技術計画」やCO₂削減への取り組みなどを勘案し、時間的視野を2030年から2050年まで拡大して、「太陽光発電が2050年までにCO₂削減への一翼を担う主要技術になり、我が国ばかりでなくグローバルな社会に貢献できる」ことを目標にした。

上記の目標を実現するために太陽光発電が利用出来る用途として、主としてエネルギー消費の電力化（従来の化石燃料直接燃焼プロセスの電力への転換）の進展に伴う新しい電力需要に対応する利用を想定した。ここでの利用拡大のイメージは図4.3-1のようになる。電力化率が現状の2倍程度（「超長期エネルギー技術ロードマップ（経済産業省）」での2050年の想定）に上昇するときには、太陽光発電は、民生分野では商店街や公共施設なども包含する地域エネルギーマネジメントシステムとして、産業分野では農業などの独立利用に加えて生産プロセス自動化などへの対応用電源として、また、輸送分野では電気自動車への充電電源として、利用拡大が図られると考えられる。

この新しい用途に対して必要となる太陽光発電システムの供給量は、太陽光発電産業の安定成長を仮定して推算すると図4.3-2のようになり、2030年での太陽光発電システムの国内向け生産量は最大出力6～12GW/年、2050年には設置量25～35GW/年の規模となる（ここでは寿命20年でのリプレースを考慮している）。この場合、2050年の温暖化ガス発生量の削減は2005年比で7～20%程度と計算される。

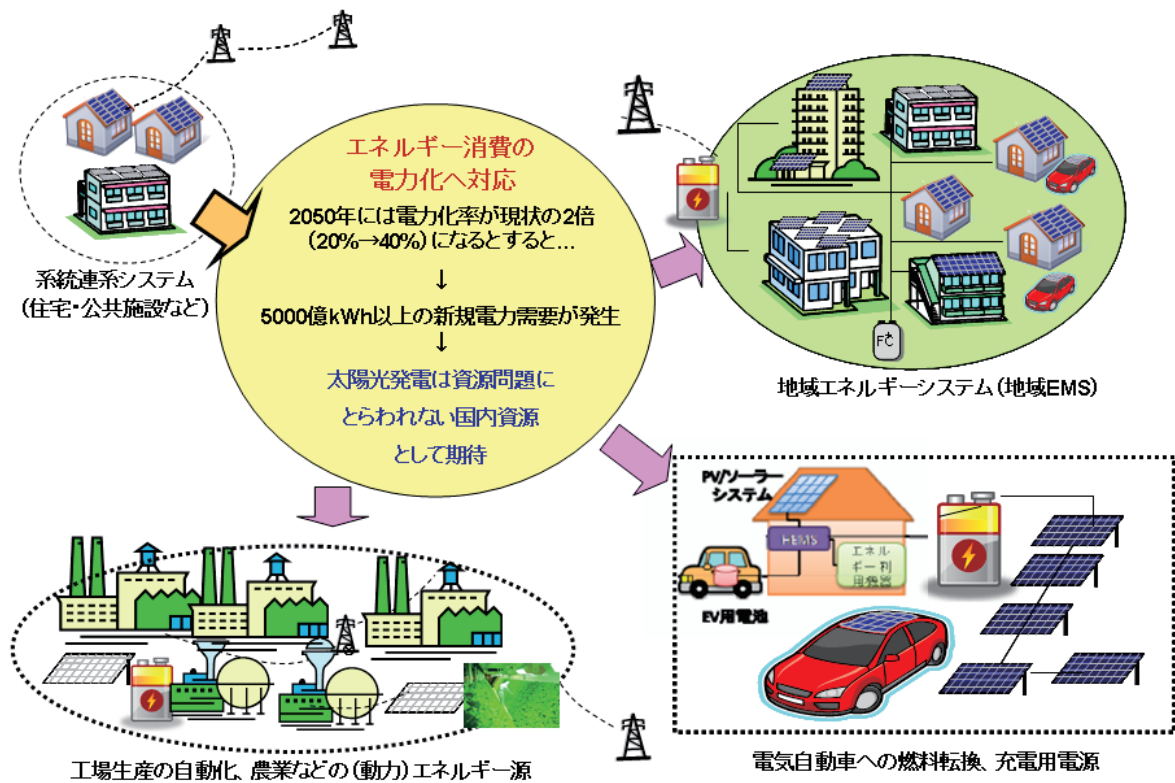


図4.3-1 将来の太陽光発電利用のイメージ

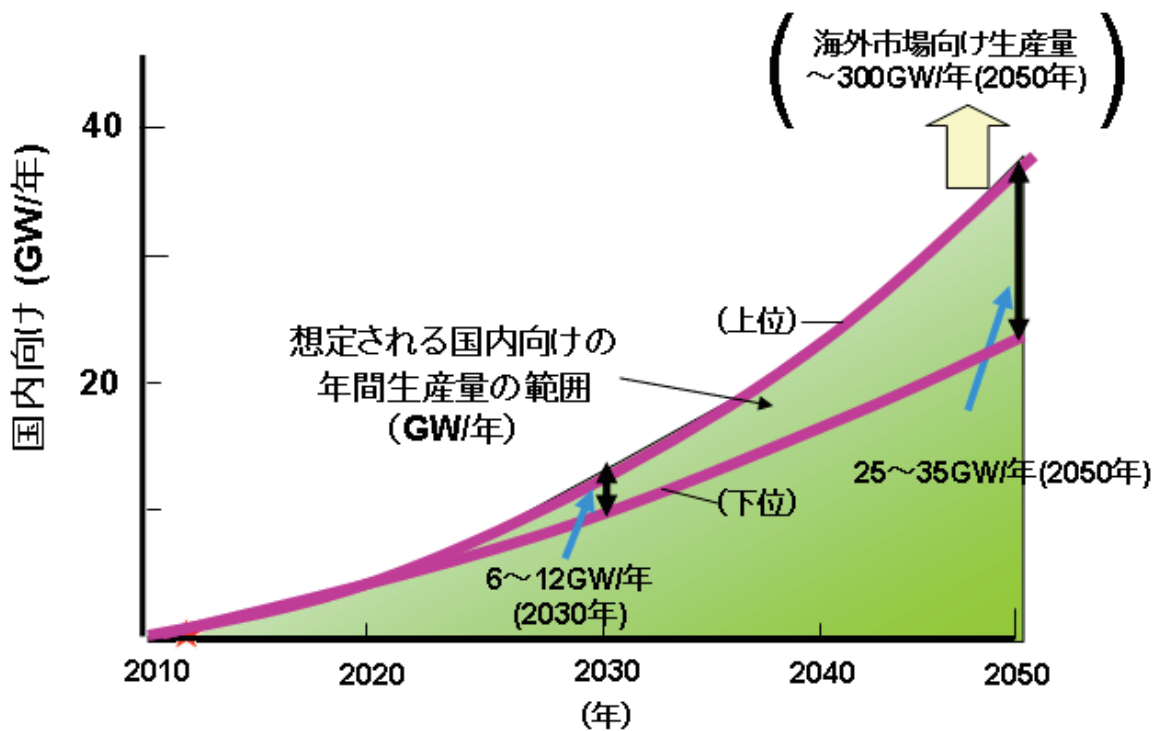


図4.3-2 国内向け太陽電池生産量拡大のイメージ

4.4 海外市場への対応

太陽光発電は地球温暖化問題やエネルギー資源問題に対してグローバルに貢献できるとともに、産業技術として国民生活に貢献できるものである。ここでは上記の貢献に対応する新しい輸出産業として、我が国の太陽光発電産業が少なくとも海外市場での需要量の1/3程度を供給することを想定した。即ち、ここでは、世界の太陽光発電産業が日本、欧州、米国・その他の3極で動いていくとして捉えたときに、日本の産業が欧米並みの貢献を果たすことを前提にしている。

<世界の太陽光発電の普及量の報告例>：(詳細は参考資料2を参照)

- ・ IEA-PVPSタスク8での長期の導入規模見通しの検討では、2100年にはドイツ政府の諮問委員会WBGUによる世界のエネルギー需要予測での太陽光エネルギー(全体の2/3)の半分を太陽光発電で供給することを想定し、その経過として下記の導入量を推定している。

2030年 累積800GW(生産100GW/年)、2050年 累積10,000GW(年間生産1,000GW/年)

- ・ EPIA/ Green Peaceの長期見通し：

2030年にはIEAによる世界の電力需要の8.9%を太陽光発電で供給すると予測し、以下の数値を示している。これに関してEUによる戦略的エネルギー計画(SET計画、第1回策定諮問会議)では、2020年にはEUの電力需要の少なくとも3%を太陽光発電で賄う(累積設備量：～100GW)としているが、産業界は欧州のほとんどの地域でGrid Parityを実現でき、6～12%(累積設備量：175～350GW)に対応できるとしている。

「2030年の世界の設備設置量=912～1,864GW」

(年間生産量 2030年105～280GW/年、2020年35～56GW/年)

以上から、本見直しでは、IEA-PVPSタスク8で長期の導入規模見通しによる世界の年間設置量(2030年：累積800GW(生産100GW/年)、2050年：累積10,000GW(年間生産1,000GW))の約1/3を我が国の産業(海外生産なども含めて)が供給できることを目標にする。即ち、海外市場への対応のために必要とされる太陽光発電システム供給能力は2030年には25GW～35GW/年、2050年には300GW/年程度になると想定した。これらの実現には国内生産からの輸出に加えて、市場が拡大した時点での海外生産も視野に入れた活動が必要となろう。

第5章 目指す姿の実現に向けた課題と対応

太陽光発電では経済性の改善が最優先課題になっている。また、発電量が日射に依存して変動するため設備稼働率が低く使い易いエネルギーに転換するための努力や新しいエネルギー技術としての利用環境整備も必要である。このような太陽光発電に対して前章で述べた目指す姿を実現し、産業発展と国際競争力を確保するための課題を概観すると図5-1のようになる（技術開発課題については次章に詳述する）。

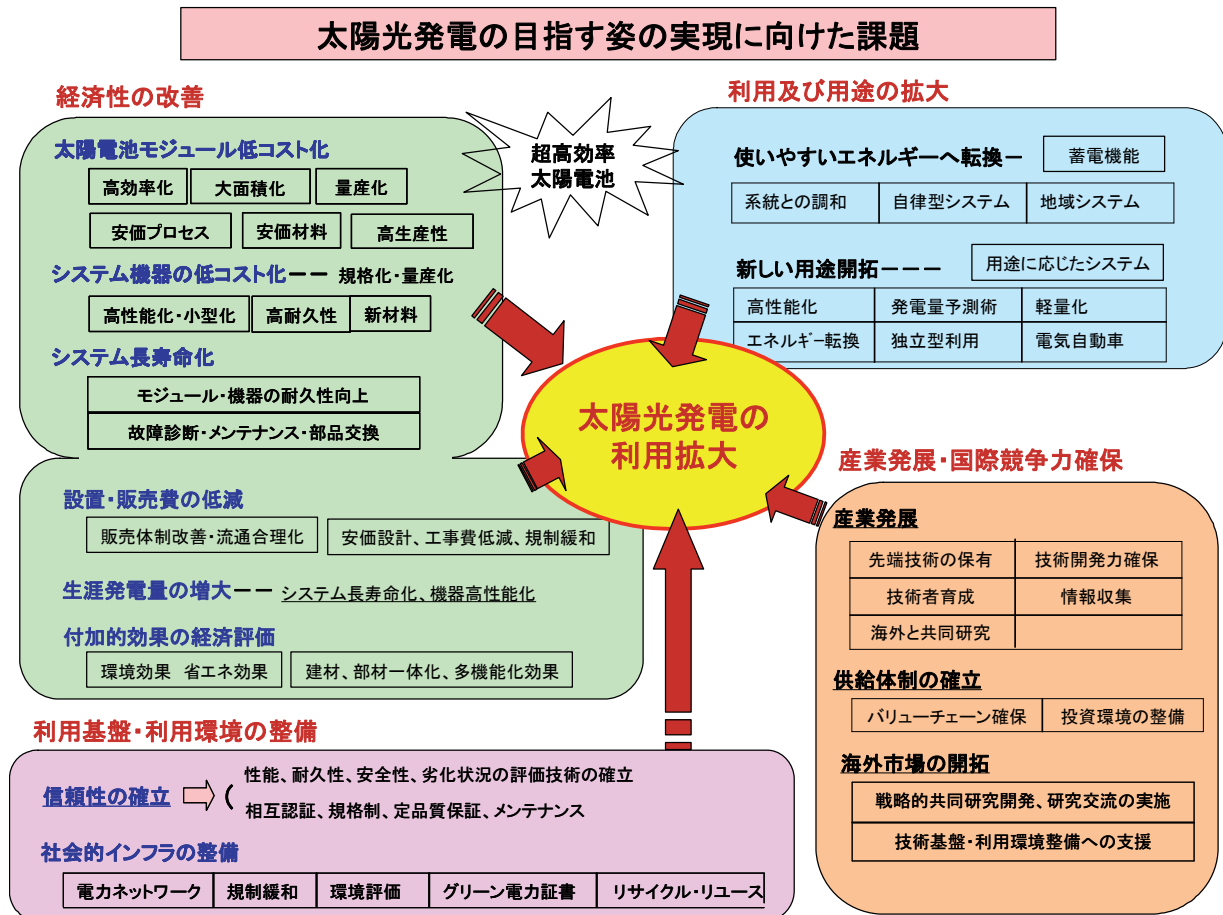


図5-1 目指す姿の実現に向けた課題

5.1 経済性改善に対する課題と対応

太陽光発電コストは製造コスト、設置・運転経費、生涯発電量（太陽光発電システム寿命）などに依存する。太陽電池モジュール、システム機器などの部材製造コストは発電コスト全体の1/3強を占めるが、その低コスト化には次章に述べる高性能化、及び低コスト製造技術の技術開発が必要である。システム機器では量産化がコストダウンの重要要素であり、要求品質の規格化、標準化など量産効果が獲得できる方策を探ることも重要である。

太陽光発電システムの設計・設置工事を含む販売コストは発電コスト全体の約3割程度で、設置工事費の削減とともにシステムの設計段階で工事などが合理化可能な安価なシステム設計も重要である。ここでは蓄電池の最適化など用途に応じたシステム構成の他、モジュール軽量化、寸法

の規格化・標準化や機器仕様標準化、電気事業法や建築基準法などとの調整（法の改正も含め）などの取り組みも重要である。また、流通経費も販売・設置コストの大きな部分を占めており、流通体制の合理化や各種届け出などについても簡素化などが必要である。

太陽光発電の経済性改善のもう一つの方策は生涯発電量増大で、システム長寿命化と高性能機器の利用による発電量増大（ロスの低減）の2つがある。長寿命化にはモジュール、機器、配線などの部品・部材の耐久性向上と、システム運用中の故障診断とメンテナンスによる寿命延長が重要である。

他方、太陽光発電では、本来目的である発電の他に環境効果など種々の付加的効果も期待でき、これを積極的に引き出して太陽光発電の経済性に繰り入れることが出来れば更なる経済性の改善が期待できる。付加的効果として建材一体型モジュールとしての部材の置換（代替）、断熱性や防音性などの機能利用、温室効果ガス排出削減などの環境効果や省エネ効果などが挙げられる。

5.2 利用及び用途の拡大に対する課題と対応

太陽光発電の利用面での最大の課題は発電量と電力需要とのミスマッチの解消で、系統電力や周辺のエネルギーシステムとの連系や蓄電機能の利用が必要であり、経済性との調和を取りながら進める必要がある。

系統連系システムは発電量変動や電力需要変動に対応するための基本的な太陽光発電利用形態の一つであるが、電力系統制御との関連からその連系量や連系密度に制約がある。ここでは蓄電機能付帯や需給予測による変動平準化など太陽光発電側での対応策のほか、電力系統側での対応策を講じるなど電力系統と協調した対策により連系可能量の増大を図る必要がある。更なる普及拡大には、蓄電機能や他のエネルギーシステムと連系した自律型の太陽光発電地域エネルギーシステムの構築が必要であり、水素など他のエネルギーへの転換などを含めた利用技術の開発も必要である。

更なる利用拡大を図るためには、電力系統から独立した用途の開拓、電気自動車等の本来的に蓄電機能を具備した用途、農業用などの発電サイクルと需要が適合しやすく、ある程度電力変動を許容できる用途の開発も重要である。

5.3 基盤整備・環境整備に対する課題と対応

太陽光発電は新しい技術として社会に受け入れられつつあるが、更なる利用拡大や技術開発を進めていくためには一層の技術的、社会的な基盤整備が不可欠である。ここでは太陽光発電システムの信頼性の確立が不可欠で、変換効率、発電量、耐久性、安全性、運用中の劣化状況などの評価技術開発と認証や品質保証などへの利用体制の確立が重要であり、さらにこれらに基づくユーザーにわかりやすい実用性能の表示も必要である。また、海外市場への対応と関連して、海外との相互認証や発展途上国に対する技術指導体制、国際規格の提案に係る対応体制の整備も重要である。

他方、社会的インフラ整備では、太陽光発電は既存の社会秩序の中に適合させる形で導入されているが、普及量の拡大のためには電気事業法や建築基準法など各種法令の太陽光発電導入に関する更なる整備が必要である。また、太陽光発電システムのリサイクル・リユース体制の整備、

グリーン電力証書システムや国の支援に対する基礎データ収集体制なども必要である。

5.4 産業発展と国際競争力確保に対する課題と対応

太陽光発電産業の発展と国際競争力確保では、先端技術の保有、技術力・技術開発力の確保、国内の先端的市場確保、海外も含めた供給体制の確立、海外市場の開拓、人材育成などが重要である。先端技術の保有では国内市場ばかりでなく海外市場も視野に入れた技術開発が必要である。

国際競争力確保では、太陽光発電の発展に関してこれまで我が国が果たしてきた先導的役割の回復にむけた戦略的な行動が重要である。ここでは、海外市場における技術基盤整備、インフラ整備や利用環境整備に対する積極的な関与が必要で、共同研究開発、技術支援、人材育成（キーパーソンの育成・確保）、海外と国内で技術基盤の共有・共通化などが実施されるべきである。

太陽光発電システムの供給者としての日本が国際的に重要なポジションを維持・確保するためには、世界需要の1/3程度を賄うための技術や原材料などの確保を可能とする産業構造の確立が必要である。これに関して2050年には海外生産を含めて300GW／年規模の太陽光発電システムを供給することになり、技術面では例えば砂漠環境に対する集光型太陽光発電システムなど多様な利用環境に対応できる多様な技術を開発し保有していくことが必要となろう。

他方、技術者・研究者などの人材確保では太陽光発電産業が国際的にも高度な技術力を保有する魅力ある産業となることが重要であるが、人材育成に関しては大学など研究機関に対して産業界が積極的に支援し、雇用を確保することが不可欠である。

5.5 革新技术の必要性

2050年の太陽光発電の姿を見通したとき、市街地などでは比較的小面積で多量の発電が要求され、また電気自動車本体への太陽電池の設置では変換効率30%以上の高性能が望まれるなど太陽電池の抜本的な高性能化が重要となる。また、この時の国内生産量25～35GWは、現状技術では国内板ガラス生産量の約半分の面積に相当する規模になり、抜本的な生産性の改善も必要となる。

2008年からNEDOにより変換効率40%以上、発電コスト7円/kWh未満を目指した革新的太陽光発電技術開発が進められているが、プロセス技術についても開発プロジェクトを構築することが必要である。

第6章 技術開発目標と技術開発の内容

6.1 技術開発の目標

前章で述べた課題解決のベースとなる個別の技術開発目標は、ロードマップ（PV2030）策定後の太陽光発電の発展と我が国の国際競争力確保の観点から以下のように見直した。

○ 技術開発の達成時期：

技術目標の達成時期のみを前倒しし、2020年の発電コスト目標を達成するために、2017年におけるモジュール変換効率、およびその他の技術目標を下記のとおり定める。実用化準備期間を経て、2020年の発電コスト目標達成に備える。

同様に、2030年の発電コスト目標を達成するために、2025年におけるモジュール変換効率、およびその他の技術目標を下記のとおり定める。

— 欧米の技術開発計画、及び技術開発後実用化までの準備期間を考慮 —

表6.1-1 発電コスト目標

発電コスト	2020	2030	2050
達成時期	14円/kWh程度	7円/kWh程度	< 7円/kWh

○ モジュールの変換効率目標：

モジュールの変換効率目標を表6.1-2のようにする。また個別の太陽電池の性能目標を表6.1-3のように設定する。

— 欧米の技術開発計画、及びロードマップ（PV2030）での検討を参照 —
— 2050年には変換効率40%の超高効率太陽電池を追加開発し、用途の多様化に備える —

表6.1-2 モジュールの変換効率目標*

目標年度	2017	2025	2050
目標変換効率(%)	20%	25%	40%

*目標年度におけるモジュール変換効率目標は、各太陽電池種別の中での最高効率を挙げている。但し、化合物系については集光により変換効率を上げているので対象外とする。

表6.1-3 セル・モジュールの性能目標（変換効率%）

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

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

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

3)集光時の変換効率。

4)新しい太陽電池として有機系太陽電池にも開発目標を設定した。

5)モジュール目標を達成するために最低限必要なセルの変換効率。

○ その他の技術目標:

その他技術目標を表6.1-4に、2025年のモジュール製造コスト・寿命目標を表6.1-5のように定める。

表6.1-4 技術開発の内容と目標・その実用化時期(見直し結果)

項目		主な開発内容と開発目標
モジュール製造	モジュール製造コスト	モジュールの高効率化、低コスト・高生産性プロセス、長寿命化 目標(技術開発の完了): 2017年:75円/W、2025年:50円/W 2050年:< 50円/W(セル別詳細は表6.1-2参照)
	モジュール高性能化	既存太陽電池の技術改革(極薄型結晶シリコンセル、ワイドギャップ新材料、多接合セル、ヘテロ接合セルなどの開発)=表6.1-3参照
	モジュール寿命延長 ¹⁾	モジュール構造、モジュール材料の検討 目標(技術開発の完了):2017年に寿命25年、2025年:30年、(40年の技術)
	原料問題対応技術 ²⁾	高純度シリコン供給技術、シリコン原単位低減(3g/W)、省シリコン(ウエハー+カーフ=100μm)、希少資源対策
システム構成要素	パワーコンディショナ	耐久性向上、多様化・高効率化・低コスト化・IT機能統合化 目標(技術開発の完了):2017年、製造コスト15,000円/kW、寿命20年以上(部品交換あり)
	PV用蓄電技術 ¹⁾	長寿命蓄電池、軽量・長寿命化、新型電力貯蔵 目標(技術開発の完了):2017年、製造コスト10,000円/kWh程度、寿命20年以上(部品交換あり)
	設置工事、販売経費	現状(200円/W程度)の1/3~1/2

1)システムとしての耐久性は部品交換(パワコンでは1回の部品交換を見込む)も含めて40年間を目指す。

2)シリコン原料消費量は原単位3g/W程度の現実的な数値を目安とし、コストの整合は基板製造コスト削減で達成する。

表6.1-5 モジュール製造コスト(円/W)・寿命(年)目標

個別技術の開発目標	太陽電池	2025年のコスト・寿命目標	
		製造コスト ¹⁾ (円/W)	寿命 ²⁾ (年)
	結晶Si	50	30(40)
	薄膜Si	40	30(40)
	CIS系	50	30(40)
	化合物系	50	30(40)
	色素増感	<40	
	有機系	<40	

1)製造コスト目標は、変換効率、耐久性(寿命)とリンクする。

2)モジュール寿命は標準技術として 2025年に30年を設定するが、技術として2030年までに通常の電力用設備並みの40年の耐久性を持つモジュールを開発する。

6.2 技術開発課題と内容

前章で検討した課題に対して技術開発が分担する事項について、技術開発課題と取り組みの方向を以下に示す。また、太陽電池の製造から利用までの各太陽電池及び分野ごとの技術開発課題一覧表と取り組み方向を付録にまとめて示す。

(1) モジュール製造技術（低コスト化、高性能化、多様化）

太陽電池モジュール製造に関する主な技術課題は、新材料の開発を含む高効率セル構造の開発、原材料使用量の削減を含む低コストプロセスの開発、モジュール耐久性向上などである。当面の課題は、これまでNEDOのプロジェクトなどで開発した太陽電池の低コスト高効率太陽電池モジュール製造技術の工業化を促進することで早急に2010年のコスト目標を達成することである。

2017年の第2段階Grid Parity達成に向けた技術開発では、現在実用化されている太陽電池に対する性能向上と低コスト化が目指されるべきで、その課題の概要を表6.2-1に示した。結晶シリコン太陽電池では100 μ m以下の極薄基板製造のための安価なスライス技術とセル効率25%を実現するための極薄高性能太陽電池技術開発が重要である。薄膜シリコン太陽電池では多接合（3接合）で

表6.2-1 2017年に向けた太陽電池モジュール製造技術の開発課題と取り組みの方向*

開発テーマ	取り組みの方向
低コスト SOG-Si 原料製造技術	太陽電池用シリコンの安価かつ大量供給技術の開発。低品質シリコンの評価 純度 7N 以上、2,000 円/kg 以下、生産性 10,000t/年・工場、以上が目標の目安
結晶シリコン太陽電池製造技術	安価かつ高品質基板製造技術、50 μ m 程度の薄型基板スライス技術、極薄型高性能セル構造等 からなる極薄基板型高性能セル製造技術（基板厚さ 100 μ m 以下で変換効率 25%を目標）
薄膜シリコン太陽電池技術	高性能 3 接合太陽電池の開発（多接合化に向けた高品質光吸収層材料、界面制御技術、セル 構造の最適化）。高生産性の大面積高速製膜技術、開発目標はセル効率 20%、製膜速度 10nm/s、面積 \sim 4m ²
CIS 系太陽電池技術	高性能セル構造の開発（新規材料開発、バンドプロファイル、光マネジメントの最適化）、安価プ ロセス及び大面積化による性能劣化防止技術。セル変換効率 25%以上を目標
III-V 系多接合太陽電池技術	4 \sim 5 接合用の新材料、集光型セル構造、安価基板の利用技術、トンネル接合最適化、低コスト、 大面積型の MOCVD 技術、ガスコストの低減、高速製膜技術、安価基板利用技術など
量子ナノ構造型太陽電池技術開発	量子ドット型中間バンド型材料、マルチエキシトン生成材料、ホットキャリア型材料開発とセル構 造の開発・実証
色素増感太陽電池技術開発	当面は変換効率 15%以上を目指すセル構造の開発と、耐久性の高いモジュール製造技術の開 発（色素、電強材、電解質、集積構造など）
有機系太陽電池技術開発	モジュール変換効率 10%程度を目指すセル構造の開発と性能向上、耐久性向上のための要素 技術の開発（有機—無機ハイブリッドなどの検討へ）
低コスト高耐久性モジュール製造技術開発	安価材料への転換と寿命 30 年以上の耐久性を有するモジュール構造の開発、および低コスト量 産型プロセス開発。2030 年モジュール化コスト 15 円/W 以下が目安
フレキシブル・軽量型太陽電池技術開発	高性能なフレキシブル・軽量太陽電池モジュールの開発。システム利用技術をベースにしたモジ ュール構造と製造技術（=薄膜 Si、CIS 系、結晶 Si モジュール、その他薄膜）

* 付録及び資料7に詳細を記載

18%以上の性能を目指した新規材料、光マネジメント最適化などを加えたセル構造の開発及び大面積高速製膜技術の開発が必要である。また、CIS系太陽電池ではまず大面積モジュールでの研究室と同等な高性能化が重要であり、これにより結晶シリコン太陽電池に匹敵する高性能薄膜系太陽電池の実現に取り組むべきである。さらに、セル製造と並んでモジュールの低コスト化と耐久性向上（現状の20年→40年）、軽量化なども必要であり、使用材料やモジュール構造の見直しが不可欠である。加えて、開発にあたっては耐久性評価技術の確立も重要である。

一方、2030年に向けモジュール製造コストを現状の1/3程度まで低減する必要があり、利用面では、例えば集合住宅などでの利用ではモジュール効率22%以上（ロードマップPV2030参照）が、さらに自動車本体への設置では30%程度の高い変換効率が必要となるなど更なる高効率化も必要である。そのためにはセル構造や製造プロセス、モジュール構造や材料などについて抜本的な改革や革新的な要素技術・新材料などの導入を進めることが必要である。また、現在開発段階にある色素増感太陽電池や有機薄膜太陽電池の高性能化の実証（実用10%以上の可能性）と実用耐久性の確認、集光型高性能太陽光発電システムの低コスト化などの新しい太陽電池の可能性検討やプロセス低コスト化に向けた原材料使用量の抜本的削減、非真空プロセス化やロール・ツー・ロールプロセスなどへの挑戦も必要である。各開発課題に関する要素技術課題及び取り組みの方向は付録にまとめて示した。

(2) システム機器及びシステム利用技術

システム機器及びシステム利用に関して当面の取り組むべき課題とその概要を表6.2-2に示す。

パワーコンディショナと蓄電池では安価で高性能かつ耐久性の高い製品が求められ、コンデンサなどの小型化や材質変更、SiCなどの新材料開発など構造や使用材料の転換が必要である。

太陽光発電システムの利用では、系統連系での電力系統との調和確保のための太陽光発電システム側での影響回避方法、さらに自律型システムとしての利用技術の開発が必要である。ここでは主としてシステム利用エリアでのエネルギー需給や発電量平準化や考慮した蓄電池の量や制御方法の最適化など利用形態に応じたシステム設計最適技術の確立が重要である。また、これら技

表6.2-2 システム機器及びシステム利用技術に関する当面の技術開発課題の抜粋*

開発テーマ	取り組みの方向
低コストシステム機器開発	パワーコンディショナ、蓄電池について低コスト化、高性能・小型化、耐久性向上の3方向から検討。構造や使用材料の転換の他、仕様／規格の統一による量産化も重要。
系統への調和技術開発	太陽光発電導入に伴う電力系統への影響解明と太陽光発電側での対策技術
自律型システム構築と要素技術の開発	地域などの対象エリアの電力需給や発電量予測、発電平準化、蓄電池等の最適化（量と制御法）などを考慮した太陽光発電利用システムの構築と最適設計技術、各要素技術の開発
システム信頼性向上技術の開発	太陽電池性能やシステムの発電量、安全性・耐久性についての明示方法とシステム運用中の故障診断技術の開発

* 付録及び資料7に詳細を記載

術のベースとして気象予報などに基づいた広域設置した太陽光発電群の発電量予測技術の開発、最適設計に必要な種々の基礎データの収集、架台強度規格など設計段階での低コスト化に向けた法整備に向けた技術データの収集が必要である。システムの運用に関して、太陽光発電システムは発電量の変動により使用中の性能劣化が判別しにくいいため、これを運用中に判別し表示する故障・不具合診断技術の開発も必要である。

(3) その他の技術開発

技術基盤整備などに対する当面の取り組むべき開発課題を表6.2-3に示した。太陽光発電の信頼性に関連して、太陽電池性能やシステムの発電量などに関する基準測定技術の開発では、太陽電池の技術開発や国際的な品質比較の基準となるための精度の高い技術が要求されるとともに、これに基づく基準セルや基準モジュールの産業界への供給体制が必要である。また、地域、気候やセルの特性に対応した年間発電量評価技術やモジュール耐久性に対する加速試験方法の開発が必要であり、安全性においても電氣的、物理的、環境面などで将来の大量導入を想定した課題抽出と対応策の検討が必要であり、このための屋外実証試験体制など必要データ収集体制の整備や、ユーザーにわかり易い太陽光発電システムの性能品質表示の構築も重要である。

周辺技術では、純度の低いシリコン原料の評価とその利用方法や安価なフレキシブル基板の供給技術、希少資源の代替材料の開発など関係業界と共同した技術開発も必要であり、太陽電池モジュールの製造に関するバリューチェーンを常に考慮した技術検討が求められている。更に、海外との関係を見たとき、途上国に対する技術指導、国際規格の提案など技術開発をベースとした活動も重要となっている。ここでの個別技術の開発課題及び取り組みの方向は付録の一覧表にまとめて示した。

表6.2-3 技術基盤整備などに対して当面の取り組むべき開発課題*

開発テーマ	取り組みの方向
太陽光発電品質評価技術開発	太陽電池性能やシステムの発電量、安全性・耐久性に関して基準となる評価技術の開発
リサイクル、リユース技術の開発	モジュール構造のリサイクル、リユースに向けた最適化を含むリサイクル、リユース技術開発、及び資源回収技術の開発
利用環境整備技術の検討	各種規制の緩和に向けた技術データの収集、LCA 分析などの社会環境への評価
海外市場への対応技術開発	技術基盤整備への指導と共同研究、海外環境でのシステム利用技術実証試験
革新太陽電池技術開発	シーズ探索研究(変換効率 40%以上、発電コスト 7 円/kWh 未満、1 プラント 10GW/年程度の生産)

* 付録及び資料7に詳細を記載

6.3 2050年に向けた超高効率太陽電池の開発の方向

2050年を目指した革新的技術の開発では、変換効率40%以上、発電コスト7円/kWh未満の低コスト高性能太陽電池に加えて、1プラント10GW程度の生産を可能にする高生産性プロセスの開発が

必要となる。前者については以下のような方向で、2008年度より40%以上の変換効率を目指して新しい技術開発プロジェクトが発足している。

超高効率太陽電池への取り組みの方向は、大別して①太陽光を全波長域に亘り利用する仕組みと材料開発、②太陽光を電力に変換する際の損失を防止する仕組みと材料の開発の2つと考えられ、取り組むべき具体的な技術分野としては以下のようなものが考えられる。

- (イ) 多接合型太陽電池：モノリシック型多接合太陽電池、メカニカルスタック型多接合太陽電池
- (ロ) 量子ナノ構造太陽電池：量子ドット増感型のタンデムセル、中間バンド構造太陽電池、ホットキャリア太陽電池、マルチエキシトン生成効果型（MEG：Multiple Exciton Generation）太陽電池
- (ハ) デバイス周辺の光マネジメント技術
- (ニ) その他の新規概念セル構造と材料開発（波長変換（アップ・ダウンコンバージョン）、TPV技術、プラズモン太陽電池、他）

ここでは超高効率太陽電池の課題と取り組み状況を表6.3-1及び資料5の表3に示した。

表6.3-1 超高効率太陽電池の課題と世界での取り組み状況

太陽電池	技術の概要	開発状況
モノリシック構造多接合セル	GaInP/GaInAs/GeなどのIII-V系材料の組成制御により光波長に対応したセルを構成した多接合セル	3接合セル：37.9% 集光時：40.7%（セル） 非集光：33.8%（セル）
メカニカルスタックセル	光吸収波長の異なるセルを機械的に積層した多接合セル	Fullspectrumプロジェクト等で開発中、（非集光セル：33.3%）
量子ナノ構造膜、多接合セル	量子ナノ構造により光吸収波長を制御した材料や幅広い波長域の変換が可能な中間バンド材料を用いた多接合セル	オールシリコンタンデムセルが研究中、理論検討では3接合セルで50.5%を期待
量子ドット増感型のタンデムセル	チタニア光電極表面にサイズを制御したドット（ナノ粒子）を付けて色素と同様な増感型の太陽電池を形成	太陽電池としての発電の実証された段階
中間バンド構造太陽電池	量子ドット、超格子構造、マルチバンド材料などの中間バンド構造を持つ材料で光吸収層を形成し、全波長の光を1つの構造内で効率よく変換する	2光子吸収など多光子過程による取り出しを検証中
ホットキャリア太陽電池	キャリアを高いエネルギー状態で取り出す量子ナノ構造、量子ドット材料によるセル	原理検証中
マルチエキシトン生成効果型太陽電池：	量子ドット構造で多数個のキャリア生成による高性能化	原理検証中
光マネジメント技術利用	太陽光を波長分割して、それぞれに適合した複数セルで受光し、変換するなど	原理検証中
波長変換（アップ・ダウンコンバージョン）	蛍光材料など波長変換材料を開発してデバイスに適合するように波長変換を行い効率よくエネルギーに変換する	材料検証中
その他の太陽電池	TPV（熱光起電力）技術など	

第7章 今後の取り組み方向

7.1 技術開発の実施に関する課題と対応

前章までに述べた普及拡大に対する技術開発では以下を考慮した実施が必要である。

- ・技術開発プロジェクトでは成果の実用化まで含むトータルの開発計画（所謂フルサイズの開発計画）を作成し、その中で開発課題を位置づけることが重要になる。
- ・太陽電池の製造のみならず太陽光発電システム利用技術について総合的な技術開発が必要である。
- ・海外の多様な利用環境に対応できる技術開発が必要である。また、国際的な標準化や規格策定も視野に入れた取り組みも必要である。
- ・国際競争力維持の観点からは、欧米や新興国の技術開発計画を視野に入れた取り組みが必要である。
- ・産業界、大学・国研、政府が分担を明確にして、有機的に連携しつつ、それぞれの役割を果たすことが重要である。
- ・技術開発プロジェクトの実施では、プロジェクトを牽引する研究機関の役割が重要になる。中立的役割を担える大学、国研などの研究機関の整備・強化も必要である。
- ・技術開発成果の実用化には、これを受け入れる市場や産業界による環境整備が必要である。これらの整備は技術開発と並行して進めることが重要である。
- ・技術開発プロジェクトは専門研究者・技術者の育成面でも重要な役割を果たすが、これに対する産業界からのバックアップも不可欠である。

7.2 産官学の連携と分担について

第5章及び第6章で述べたように、太陽光発電では経済性改善、性能向上、利用拡大などに向けて今後解決すべき多くの課題がある。この課題の解決には産学官での分担と連携により取り組んでいくことが不可欠であり、これに対して以下のような各セクターの役割と分担が考えられる。

○ 産(民間企業):

産業界は、開発技術の工業化・量産化・実証試験、製品の市場開拓・用途開拓・商品開発などに関する技術開発を行う。また、太陽光発電システムの標準化・簡素化や設計・設置に関する低コスト技術の開発、流通の合理化などは太陽光発電の経済性改善のために早急になすべき産業界の分担分野である。

- ・当面は低コスト太陽電池モジュールの生産技術確立と技術改善により早急に第一段階のGrid Parity (23円/kWh程度) を実現し、安定供給体制を確立することが主課題となっている。
- ・太陽光発電の普及拡大のベースとなる太陽光発電システムの規格化、標準化、信頼性確立へ向けた体制構築などの技術基盤整備、および設置工事の簡素化などを行う。
- ・第2段階のGrid Parityを実現する技術開発(目標コスト14円/kWh程度)と国際競争力確保においては、生産技術の改善に加え、国が行う技術開発に企業の保有する技術力、開発能力を生かしてその役割を担う。

○ 学(大学・国研等):

大学・国研等は、太陽光発電の高性能化、低コスト化や利用技術などに関する技術革新のための新原理の探索や現象の解明、これらに基づくアイデアやブレークスルーなどの供給に対する重要な役割を担う。

- ・将来の太陽光発電に関する各種技術開発を主導して実施する。生産技術開発では独フ라운ホーファー太陽エネルギーシステム研究所を例とするような「産業開発プラットフォーム」の整備も考えるべきである。
- ・太陽光発電の普及拡大に関する国や産業界の活動をバックアップする。
- ・太陽光発電システム技術及びその利用拡大に関する基盤整備に向けた基礎技術開発を行う。
- ・専門技術者・研究者の育成、海外市場での技術基盤整備に関する共同研究・技術支援、人材育成などの役割も担う。

○ 官(国、NEDOなどの公的機関):

官が分担する事項は、国のエネルギー政策の一環として太陽光発電の普及拡大の筋道を公に示すこと、そのための産学の活動を促進すること、普及拡大に向けた施策として技術開発への経済的支援(プロジェクトの構成と開発費用の負担)、具体的な普及促進施策の実施などである。

- ・将来の重要なエネルギー技術として、また我が国の主要な産業技術としての国際競争力確保に向けて、国が主導して必要技術の開発を進めていく。
- ・太陽光発電の利用環境や産業基盤、技術基盤などの整備に関する産業界の取り組みを促し、必要に応じ費用面での支援を行うとともに、利用拡大に向けた産業間の連携を推進する。
- ・国際競争力確保に向けた戦略的な共同研究開発や海外市場での基盤整備に向けた支援を行う。

7.3 今後の取り組みスキーム(技術開発スキーム)

前章まで検討したように、太陽光発電は過去40年の技術開発を経て実用化に至っているが、太陽光発電が汎用電源となるまでには経済性改善と性能向上を中心にさらに数段の技術革新が必要である。太陽光発電が基盤的電源の1つになるためには、系統電力との比較において経済性を改善することが必要である。ここでは技術革新の進度に応じて実現できるGrid Parityの段階(経済性の水準)が変化し、これに対応して用途も拡大することから、技術開発そのものでも目指すGrid Parityの段階を明確にした取り組みが必要である。即ち、今後の技術開発の取り組みは以下のように考えられ、その概要を表7.3-1に示す。

(1) 第1段階のGrid Parityを目指す技術開発

この段階の技術開発は、既に開発した技術の工業化や技術改善が中心課題であり、産業界が主体的に実施する。さらに、産業界は引き続き更なる高性能化、低コスト化に向けた生産技術の改善にも取り組むとともに、太陽光発電システムの標準化・簡素化や信頼性確立への体制構築、設計・設置工事の低コスト化など太陽光発電の利用基盤の確立に必要な技術開発を早急に実施する。

(2) 第2段階のGrid Parityを目指す技術開発

この段階の技術開発では、発電コスト14円/kWh程度を目指す低コストで高効率な太陽電池及びシステム機器の製造技術開発、モジュールやシステムの長寿命化、自律型システムの設

計・利用技術などの開発が中心課題となる。ここでは成果の実用化まで含むトータルの開発計画を作成し、その中核となる技術について技術開発プロジェクトを構成して、セルのみならず材料や周辺機器の各々の専門的知見も活かされるような体制により、産学官が連携して実施することが重要である。また、開発成果の早期実用化には開発技術の工業化に必要な量産化技術開発と市場における開発成果の実証研究などが必要である。

(3) 第3段階のGrid Parity及び将来の汎用電源を目指す技術開発

この段階の技術開発は、発電コスト7円/kWh程度あるいはそれ未満、変換効率も30～40%以上の高い技術水準を目指す技術開発で、現在は要素技術開発やシーズ探索研究の段階である。これらの研究開発は個別課題毎の研究開発テーマとして大学・国研を中心に実施すべきであり、これには長期的視野に立った国による研究開発支援が不可欠である。

(4) 技術基盤整備や海外市場への対応に関する技術開発

この技術開発は第2段階のGrid Parityが実現する頃までには完成しておくことが必要である。また、このベースとなる基礎技術やデータ収集に関して、国による継続した研究開発が大学・国研等の研究機関で実施されることが必要である。

なお、太陽光発電システムの基準・規格・標準化や認証などに関する国際的な提案と規格制定作業などは、産業界が取り組むべき重要な環境整備課題で、産業としての国際競争力とも密接に関係するが、これは国際的な利害とも繋がることもあり、国による戦略的な推進も重要である。

表7.3-1 今後の技術開発への取り組みスキームの概要

対象段階、目標	実現時期と技術水準	開発スキーム
第1段階 Grid Parity 23円/kWh程度 (家庭用電力並)	2005年に開発は完了 研究セル20%、モジュール16% 系統連系システム技術	・産業界による生産技術確立と技術改善 —モジュール製造技術の生産適用と技術改善 —太陽光発電システムの設計・設置技術
第2段階 Grid Parity 14円/kWh程度 (業務用電力並)	2017年(に開発は完了) 研究セル25%、モジュール20% 自律型システム技術 システムの信頼性確立、長寿命化	・産学官連携による技術開発プロジェクト —低コスト高性能モジュール製造技術 —長寿命モジュールの開発(30年、40年) —自律型システム利用技術の開発・実証
	利用環境整備、技術基盤整備 海外市場対応	・大学・国研などによる基礎的研究 —性能、信頼性などの評価技術 —海外市場の基盤整備と利用面での実証 —リサイクルやリユースなどの基盤技術
第3段階 Grid Parity 7円/kWh程度 (汎用電力並)	2025年(に開発は完了) 研究セル30%、モジュール25% 太陽光発電利用複合エネルギーシステム	・大学・国研などを中心とする要素技術開発 —太陽電池の抜本的な低コスト化、高性能化 —高生産性に向けた革新的プロセス開発 ・システム利用技術の探索 —他のエネルギー技術との複合化
汎用電源料金未満 (7円/kWh>)	2050年 モジュール40% 汎用電源	・大学・国研などを中心とするシーズ探索研究 —変換効率40%以上の超高効率太陽電池 —超低コスト高生産性プロセス

一方、技術開発はシーズ探索段階から実用化技術開発まで開発ステージに対応した取り組みが必要である。現在、技術革新に向けた取り組みは、NEDOの「太陽光発電システム未来技術研究開発」などで幅広く進められている。今後の技術開発では目標とするGrid Parity段階と開発ステージを整合させることにより効率的な開発を進めるとともに、図7.3-1に示したように、実用化に近いステージの技術から工業生産技術に発展させる。一方、基礎研究や要素技術の開発ステージにある技術は順次、要素技術開発や実用化技術開発などの上位ステージの技術へとステップアップを図りながら継続して技術開発を進めていく取り組みが必要である。

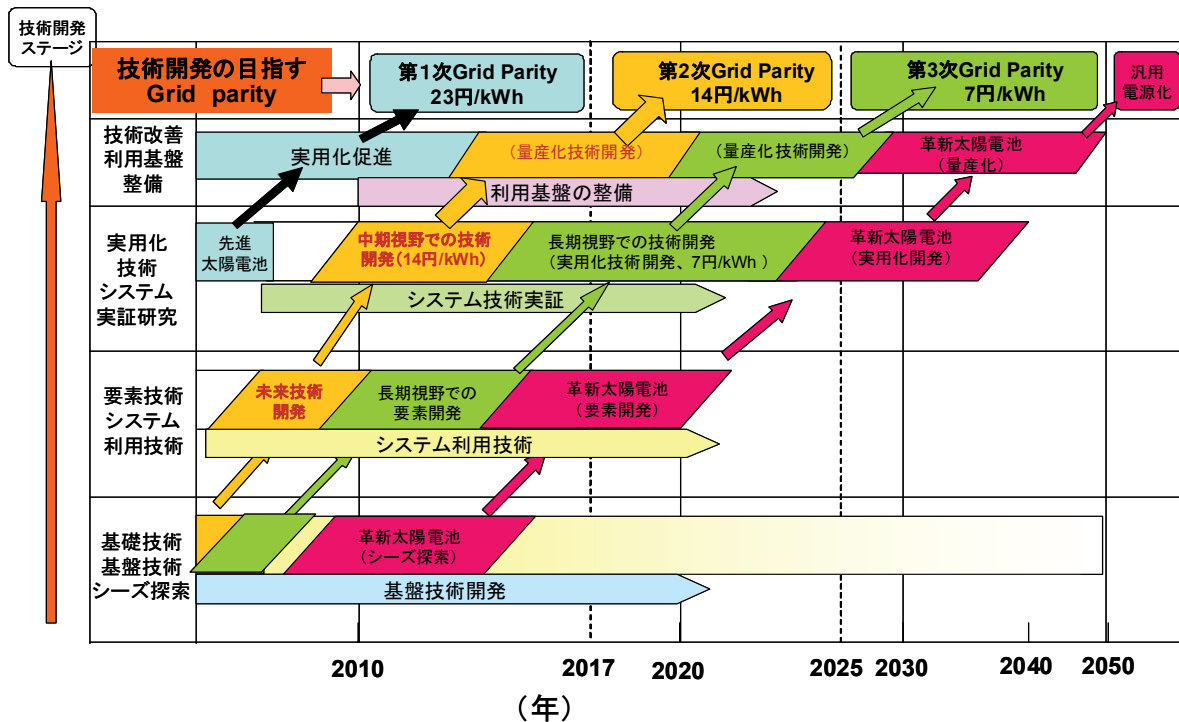


図7.3-1 今後の技術開発のスキーム

—技術開発のステージとGrid Parity—

第8章 当面の取り組みと分担

8.1 技術開発への取り組みと産業界による環境整備

当面の数年間には太陽光発電の普及定着のための時期であり、太陽光発電の普及拡大とわが国産業の国際競争力確保に向けて、以下の取り組みを並行して行う必要がある。ここでは経済性改善や信頼性獲得、システム利用技術開発や産業構造の確立、次の段階への準備期間として多くのことを並行し産学官が分担／連携して実施する必要がある。

取り組み(1)：太陽光発電システムの普及拡大に向けたシステム利用技術、システム機器・モジュールなどの開発・実証、用途開拓などを旨し、産業界が主体的に取り組むべき短期的視野での技術開発

取り組み(2)：第2段階のGrid Parity (14円/kWh程度)の早期実現と、更にその先の第3段階のGrid Parity実現までを見通した中長期視野での次世代の高性能太陽光発電システム技術の開発（技術面での国際競争力確保）

取り組み(3)：太陽光発電の汎用電源としての利用に向けた超高効率太陽電池に関する超長期視野でのシーズ探索研究（現在、NEDOが「革新的太陽光発電技術研究開発」として実施中）

取り組み(4)：太陽光発電システムの大量利用や技術発展のための基礎となる基盤技術の開発、規格・標準化、海外市場・国際貢献などに関する戦略的取り組み

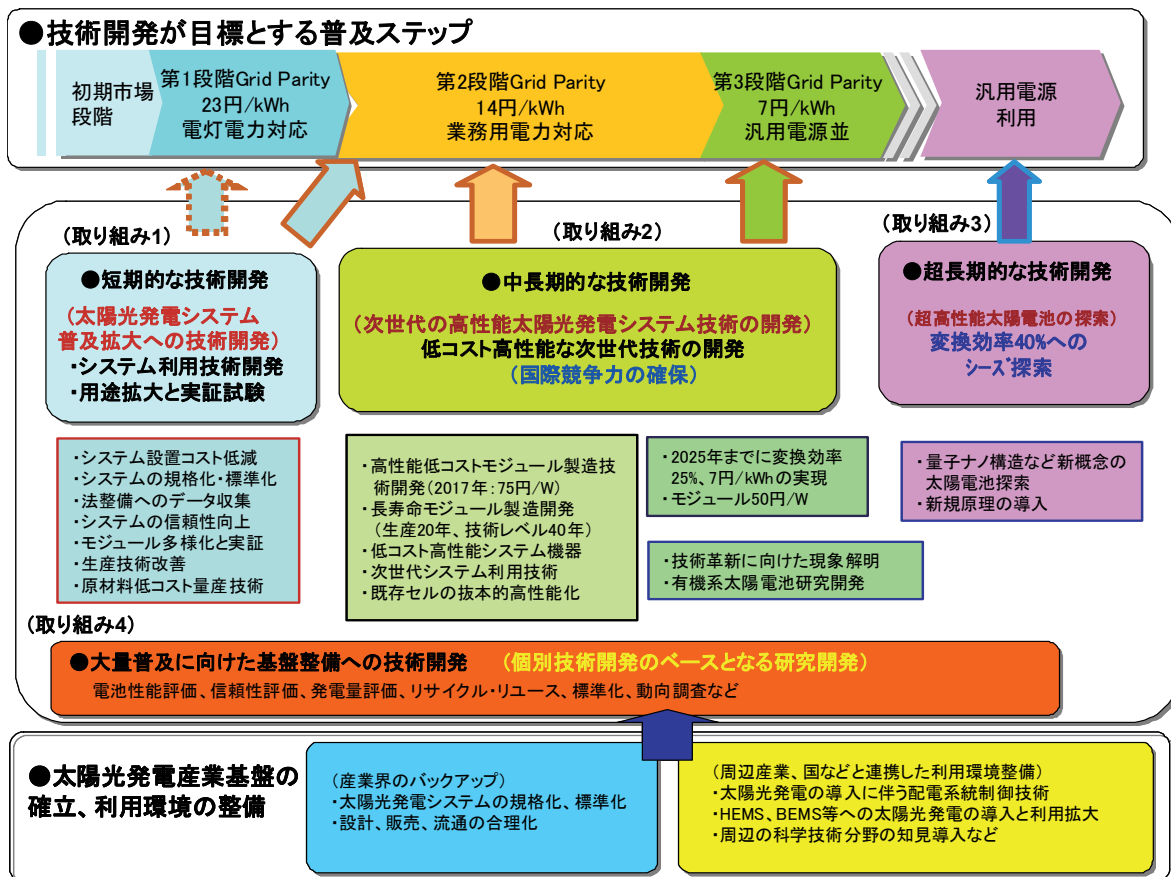


図8.1-1 当面の技術開発の概要

(1) 取り組み (1)

主な課題は、大量普及に向けた太陽電池性能向上、生産技術改善、システム設置の合理化・簡素化など太陽光発電システムの経済性改善、及び用途拡大や利用環境への対応に必要な利用技術開発並びに大量利用のベースとなる信頼性確立に向けた産業界の取り組みである。

この分野は、産業界が事業の発展と競争力確保のための事業基盤として取り組む分野で、現実の市場拡大や国際競争力維持に向けて最も重要である。その実施にあたっては現象の解析やリスク分散などで研究機関や国の支援を必要とするものもある。また、これらの技術開発を効率よく進め、開発成果をより効果的なものにするため、産業界が一体となって周辺環境を整備することも必要である。表8.1-1には、このような短期的視野で取り組むべき当面の重要な技術開発課題と、これらを実現するために産業界が取り組むべき主要な環境整備事項を示した。

表8.1-1 「取り組み (1)」の主な課題

(産業界が大量普及に向けて取り組む太陽光発電システム普及拡大への技術開発)

主な取り組み課題	主分担
【技術開発への取り組み課題】	
イ) 太陽電池モジュール低コスト製造技術の量産技術確立と技術改善	産
ロ) 原料シリコン、その他原材料製造技術の改善／実用化による安定供給の確保	産 (学)
ハ) 太陽光発電システムの設計最適化と設置工事の低コスト化	産
ニ) 太陽光発電システムの故障診断とメンテナンス方法の確立	産、学
ホ) 発電量予測技術の開発と太陽光発電システム最適運用技術の開発・確立	産、学
ヘ) 蓄電機能などの最適システム設計と自律型システム技術の開発・実証	学、産、国
ト) 用途に応じた安価かつ簡易なモジュールの開発 (BIPV、機能強化モジュール等)	産
チ) 低コストシステム機器、部品の量産技術開発	産
【技術開発に対する、産業界による主な環境整備事項】	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 太陽光発電システムの性能、信頼性に関する実用指標と寿命の定義の確立 ・ システム及び設置工事などの規格化、標準化による設計・設置コスト等の低減 ・ システム機器への要求品質の規格化、標準化などによる量産効果の獲得 ・ 流通の合理化、販売体制の改善・低コスト化 ・ 利用分野開拓、利用技術の開発とノウハウ蓄積、事業実績の確保 ・ 太陽光発電の系統連系の影響把握及び影響回避対策検討 ・ 用途に応じた高性能／長寿命／安価／簡易なモジュールの利用 ・ バリューチェーン確保に向けた産業活動 (国際的な投資、資源の共同開発など) 	

(2) 取り組み (2)

今後の発展と国際競争力確保に向けた当面の技術開発の中心であり、第2段階のGrid Parity (14円/kWh程度) の早期実現と、さらにその先の第3段階のGrid Parity実現までを見通した中長期視野での次世代の高性能太陽光発電システムの開発への取り組みである。表8.1-2には、このような中期的視野で取り組むべき課題の中で当面の重要技術開発課題とこれらを実現するために産業界が取り組むべき主要な環境整備事項を示した。

モジュール製造技術では、セル構造やプロセスの革新などにより太陽光発電システムの低コスト化と高性能化を実現するばかりでなく、モジュールの長寿命化が主要課題であり、システム利用技術では太陽光発電システムの導入が進むことに対する電力系統に負担をかけない多機能なシステム利用技術の開発が中心課題となる。

表8.1-2 「取り組み(2)」及び「取り組み(3)」の主な課題

(中長期視野での次世代の高性能太陽光発電システム技術の開発)

主な取り組み課題	主分担
【技術開発への取り組み課題】	
(中長期視野での技術開発)＝取り組み2 イ) セルの高性能化及び低コスト製造プロセスに関する技術革新(次世代セルプロセス) (高性能セル構造、新材料、大面積・高生産性技術、低コストプロセス等) ロ) 太陽電池の飛躍的な高性能化、低コスト化へのブレークスルー探索と要素技術の開発 ハ) 安価かつ長寿命モジュールの開発(材料、構造の変換、信頼性評価技術 ニ) 次世代高性能、高耐久性のシステム機器の開発 (パワーコンディショナ・蓄電池の小型化、高性能化、多機能化) ホ) 次世代高機能太陽光発電システム利用技術の開発 ヘ) 多様な海外環境に向けた先端的セル及び製造技術の開発(要素技術開発)	学、産 学 産、学 産、学 産、学 産、学
(超長期視野:革新太陽光発電技術開発)＝取り組み3 イ) 超高効率太陽電池に向けた基礎技術研究(発電原理確認など) ロ) 変換効率40%以上を目指す超高効率太陽電池に向けた新材料の探索と開発 ハ) 変換効率40%以上を目指す超高効率太陽電池構造の探索と開発	学 学 学
【技術開発に対する、産業界による主な環境整備事項】	
<ul style="list-style-type: none"> ・継続した技術開発の推進に向けた産業界のバックアップ (産業界による大学、研究機関への積極的な支援と技術開発への参画) ・産業界として海外の多様な環境に対応するための技術開発体制の整備 ・開発技術の量産化と技術改善への準備(技術の導入環境の準備) ・高性能化、発電量予測などを利用した用途の開拓、独立型の利用形態として用途の開発 (電気自動車等(蓄電機能を備えた用途)、農業用、独立型充電用途など) ・海外市場などに対応する生産体制の検討 	

ここでの技術開発は、今後の国際競争力の基盤となるもので、高性能化などの技術革新に向けた現象解明や基礎技術での研究機関の役割が不可欠である。また、開発技術の効率的推進と成果の早期実用化のため、技術開発プロジェクトは開発成果の利用・実証までを視野に入れた総括的研究開発計画のもとで進められるべきで、現実の生産技術に先行するリスクの高い技術的な挑戦には国の支援が必要である。一方、2025年に向けた更なる低コスト化(2025年に7円/kWh程度)では、モジュール製造コストを現状の1/3程度(50円/W)まで飛躍的に低減することが必要である。このため、現在生産されている太陽電池では、特に変換効率の向上に関してセル構造やプロセス

に対する抜本的技術改善や革新的な要素技術・新材料の開発を進める必要があり、現在開発段階にある集光型太陽光発電システムの低コスト化や有機系太陽電池の高性能化（実用10%以上）への可能性の検討なども必要である。

他方、上記の技術開発に並行して社会的な基盤整備も進め、技術開発をバックアップするとともに太陽光発電の普及拡大を促進すべきである。

(3) 取り組み (3)

太陽光発電を将来の主要なエネルギー技術の一つとするために、変換効率40%以上の超高効率太陽電池を開発しようとするもので、太陽光発電システムの適用可能分野（用途）の拡大と汎用電源並の経済性（2050年には7円/kWh未満）実現に向けた超長期視野での取り組みである。当面の開発主題は、変換効率40%以上の超高効率太陽電池に向けたシーズ探索研究にあり、ここでの主要な課題を上記の表8.1-2に革新太陽光発電技術研究開発として示した。

(4) 取り組み (4)

太陽光発電システムの大量利用や技術発展のための技術的な基礎となる基盤技術の開発、国際貢献などに関する戦略的取り組みである。表8.1-3には当面の重要技術開発課題とこれらを実現するために太陽光発電産業界が取り組むべき主要な環境整備事項を示した。

太陽光発電システムの利用拡大や技術発展のためには、システムを構成するモジュールなどの性能、耐久性、安全性、システムとしての発電量算定評価や信頼性評価などの各種評価方法の確立、国際的な規格化・標準化、システムの認証、リサイクル・リユースなど技術開発をベースとする産業基盤整備や、社会システムの1つとして太陽光発電が利用されるための法整備などが不可欠であり、これらに必要な基礎的な技術開発と調査を行う。

一方、太陽光発電は、海外での環境問題への貢献や我が国の産業技術としても重要である。このため海外市場への対応に対する基盤技術の準備も必要である。特に発展途上国を対象とした海外市場での技術基盤整備やシステム利用技術開発に関する戦略的な取り組みが重要であり、海外の多様な設置環境に対するシステム技術の開発と実証、基盤整備に関する技術支援・影響力確保や人材育成（キーパーソン育成）を目指した共同研究などを実施する必要がある。更に先進国に対しては海外研究機関との連携、IEA-PVPSへの参画などによる戦略的な活動は、産業競争力の確保と国際貢献の双方を意識した国の活動として非常に重要である。

表8.1-3 「取り組み（4）」の主な課題

（基盤整備と海外市場に対する技術面からの準備）

主な取り組み課題	主分担
【技術開発への取り組み課題】	
ｲ) 太陽電池やモジュールの性能、信頼性・安全性、発電量等の評価技術の開発 ｻ) 太陽電池モジュールのリサイクル・リユースのための技術開発 ｼ) 環境評価(LCA分析)、設置環境整備・法整備等への技術面でのサポート(技術開発) ｵ) 太陽光発電システムの利用拡大に向けた必要技術・技術最適化への技術調査・検討 ｴ) 海外市場での基盤整備、システム利用に関する戦略的共同研究開発、研究交流の実施 （情報収集、基盤整備への技術支援、影響力確保、人材育成(キーパーソン育成)） ｵ) 海外での太陽光発電システムの技術開発動向と利用環境の調査 ｶ) 国際的な規格制定への技術的な検証 ｷ) 国際エネルギー機関の技術開発調査活動などへの貢献と我が国からの提案活動	学(産) 産、学 学(産) 産 国、学、産 国、学、産 学 国、産
【技術開発に対する、産業界による主な環境整備事項】	
<ul style="list-style-type: none"> ・産業界として技術基盤整備への体制確立 ・太陽光発電システムの認証体制の確立と利用、国際相互認証体制確立 ・太陽光発電の効果・付加価値などの評価と法整備等に向けた活動 ・国際的な規格制定への我が国としての提案と対応体制の整備 ・品質保証体制、メンテナンス体制、リサイクル・リユース体制の確立 ・産業界として海外の多様な環境に対応するための技術開発体制の整備 ・産業界による大学、研究機関への積極的な支援、人材の雇用確保 	

8.2 太陽光発電の利用環境の整備

前項までに太陽光発電の普及拡大に向けた当面の取り組みについて太陽光発電産業分野での技術開発を中心に述べた。太陽光発電が今後広く社会に受け入れられるためには政府や周辺産業からのバックアップも重要である。これに関して、既に対応が取られつつあるものもあるが、当面、表8.2-1に概要を示す以下のような事項について政府や周辺産業からのバックアップが必要と考えられる。

利用環境整備については、特に電力業界の支援が重要である。ここでは太陽光発電の電力系統への連系に関連する種々の課題に対して太陽光発電産業分野と共同した取り組みが必要である。太陽光発電を大量に導入したときの送電技術、配電システムの制御技術や各種エネルギー利用システムへの太陽光発電の適用技術などについて、電力業界あるいは他のエネルギー産業などと共同した技術開発などが必要である。また、住宅産業、建設産業や自動車産業あるいは商業分野などの太陽光発電利用者とは利用方法や設置について連携した技術開発も必要である。

一方、太陽光発電は将来の重要なエネルギー産業として継続した投資が不可欠である。これには国内に規模の大きな先端的市場を持つことが不可欠であり、国のエネルギー計画における長期的普及拡大の方向付けや、国による市場形成／拡大への支援が必要である。また、国際競争力や基盤強化に関連した産業界の活動として、太陽光発電システムの国際的な相互認証体制の確立や

国際的な規格制定への貢献は重要であり、これに対しても国のバックアップが必要である。更に普及に対する社会的な環境整備において、関係法規などの整備に対する活動が必要であり、国のバックアップが欠かせない。また、海外市場の開拓や国際貢献でも関連産業との連携や国のサポートは重要である。

表8.2-1 太陽光発電の利用環境の整備に関する政府や周辺産業からのバックアップ課題

項目	主な課題
産業基盤	<ul style="list-style-type: none"> ・産業界に対する投資環境の整備 ＝国の導入計画の明示(先行投資に対する投資環境の整備) ・バリューチェーン確保に向けた国際的な投資(海外投資、資源の共同開発) ・(国際相互)認証体制の確立と国際的規格制定活動 ・技術者、研究者の育成・確保
利用基盤	<ul style="list-style-type: none"> ・太陽光発電の系統連系における影響把握及び影響回避対策 ・電力ネットワークにおける連系環境などの整備 ・広域型システムでの電力需給の平準化技術、最適化技術開発と実証 ・自律型システム技術の開発・実証、地域エネルギーシステム(EMS)などへの適用 ・太陽光発電の大量導入時の送電技術、配電システムの制御技術の確立 ・各種利用環境に応じた利用方法の開発・実証
海外対応	<ul style="list-style-type: none"> ・既存の社会システムとの調和に関する再点検と改善への取り組み (電気事業法などとの調和、安全性確立など) ・設置に関する各種法整備、環境整備 (農地法、建築基準法、工場立地法等との調和、体育館等の屋根補強など) ・グリーン電力証書などの利用促進体制整備など

8.3 具体的な技術開発プロジェクトの実施

太陽光発電に関する技術開発は、欧米先進国では普及拡大を目指した国家プロジェクトとして推進されており、我が国でもNEDOの技術開発プロジェクトとして進められている。現在、NEDOでは、「太陽光発電システム共通基盤技術研究開発（＝性能評価技術などの基盤技術の開発）」、「太陽光発電システム未来技術研究開発（中長期視野での低コストモジュール製造技術の開発）」、「太陽光発電システム実用化促進技術研究開発（短期視野での普及促進技術の開発）」及び「革新的太陽光発電技術研究開発（超長期視野での超高性能太陽電池の開発）」の4プロジェクトを進めており、このうち「革新的太陽光発電技術研究開発」を除く3プロジェクトは2009年度で終了の予定である。

我が国の太陽光発電の利用拡大と産業発展（国際競争力維持）のためには、2009年度以降も継続して技術開発に取り組んでいくことが重要であり、今後とも国（NEDO）による技術開発プロジェクトの推進が必要である。具体的には、前章までの技術開発の方向性をベースに、前項で述べた「取り組み（1）」から「取り組み（4）」に対応して、新たに以下のような5年間程度の3つのプロジェクトが、現在進行中の「革新的太陽光発電技術研究開発」に加えて必要となる。

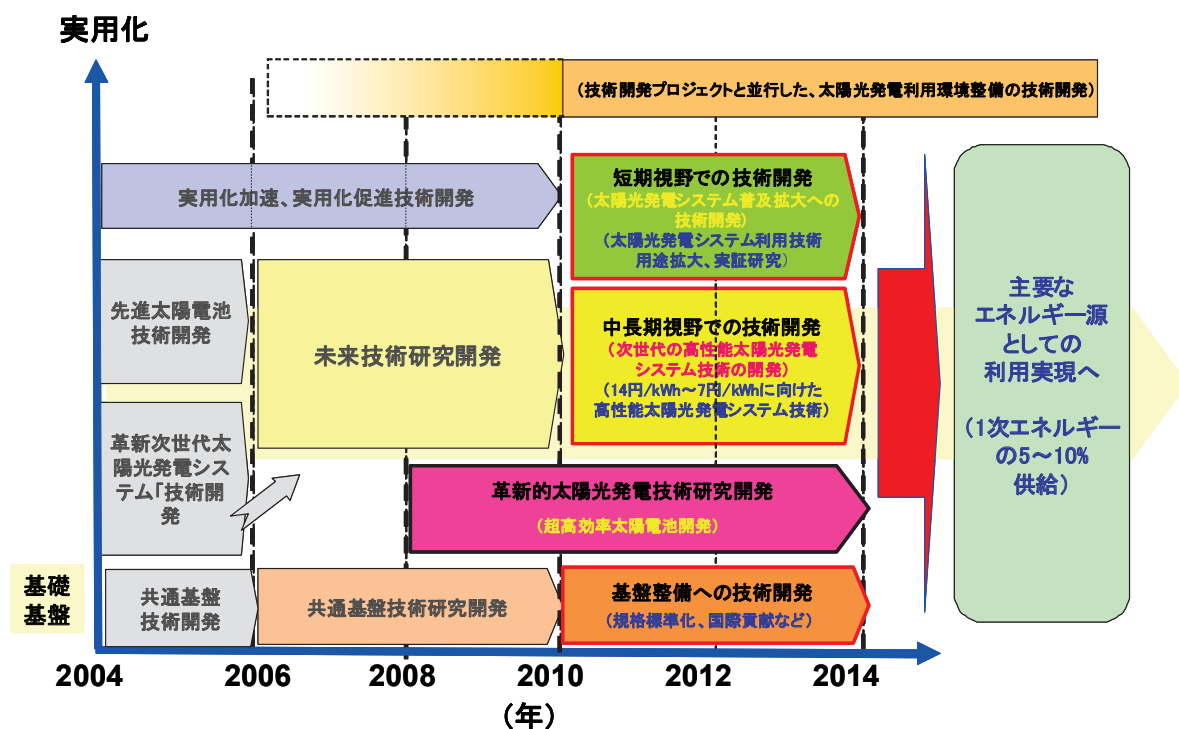


図8.3-1 当面の技術開発プロジェクト概要

① 太陽光発電システムの普及拡大に向けたシステム利用技術開発（短期視野での技術開発）

前項の「取り組み（1）」に対応したプロジェクトで、ここでの中心課題は、大量普及に向けた用途拡大や利用環境への対応に必要な太陽光発電システム利用技術開発、システム設置の合理化・簡素化やこれら大量利用のベースとなる標準化・規格化、信頼性確立などに向けた産業界に

よる技術開発への取り組みである。技術開発は、1テーマにつき3～5年間程度の開発期間を想定している。

② 次世代の高性能太陽光発電システム技術の開発（中長期的な視野での技術開発）

前項の「取り組み（2）」に対応した技術開発で、現行の「太陽光発電システム未来技術研究開発」を引き継ぐプロジェクトである。2017年までに第2段階のGrid Parity（14円/kWh程度）を実現するとともに、さらにその先の第3段階のGrid Parity実現までを見通した中長期視野での次世代高性能太陽光発電システム技術の開発である。ここでは、モジュール製造技術ではセル構造やプロセスの革新などにより太陽光発電システムの低コスト化と高性能化を実現するばかりでなく、モジュールそのものの長寿命化も主要課題である。システム利用技術では太陽光発電システムの導入が進むため電力系統に負担をかけない多機能なシステム利用技術の開発が中心課題となる。実施にあたっては基礎技術から利用までを見通したフルサイズの研究計画の中で開発プロジェクトを位置づけて、産学官が分担を明確にした開発プロジェクト（原則として100%委託研究）として実施することが重要で、期間は5年間程度が適当と考えられる。

③ 太陽光発電の大量普及に向けた基盤整備技術開発

前項の「取り組み（4）」に対応したプロジェクトで、太陽光発電システムの大量利用や技術発展のための技術的な基盤整備（基礎となる技術の開発）、国際貢献などに関する戦略的取り組みである。具体的には太陽光発電システム性能などの各種評価、リサイクル、システムに関する国際的な規格化・標準化などの技術開発をベースとする産業基盤整備や法整備に向けた技術開発、海外市場での技術基盤整備やシステム技術実証研究など、我が国の国際貢献に関する戦略的な取り組みとこれらに関連する調査などが主な課題になる。これらは研究機関が主体となって行うが長期にわたる継続した技術開発と検証が必要なものや、海外研究機関との協力が必要なものもあり、国の関与が必要である。また、産業界による成果利用への取り組みも重要になる。

④ 革新的太陽光発電技術研究開発

超高効率太陽電池に関する技術開発はNEDOの「革新的太陽光発電技術研究開発」として2014年までの予定で実施している。

8.4 太陽光発電利用環境整備に関する技術開発

前項の技術開発は、太陽光発電産業分野が実施する技術開発であるが、太陽光発電の利用に関する各種課題を解決するためには、電力業界、エネルギー産業、住宅産業、原材料産業などの周辺分野の産業などによる技術開発も重要で、太陽光発電分野はこれら周辺分野と連携・協力して開発を進める必要がある。具体的には8.2項で「太陽光発電の利用環境の整備」として示した課題に対して、関係産業界や関係省庁などと連携した取り組みが必要である。

付 録

(付録1) 太陽電池に対する開発課題と方針	
付録 1-1	太陽電池製造技術開発課題一覧表 65
付録 1-2	結晶系シリコン太陽電池に関する技術開発の方向性 について 73
付録 1-3	薄膜シリコン太陽電池に関する技術開発の方向性について... 75
付録 1-4	化合物薄膜太陽電池に関する技術開発の方向性について..... 77
付録 1-5	集光型太陽光発電に関する技術開発の方向性について..... 79
付録 1-6	有機系太陽電池（色素増感型／有機薄膜型）に関する 技術開発の方向性について 81
付録 1-7	超高効率太陽電池への取り組み方向について 83
(付録2) 太陽光発電システム技術に対する開発課題と方針	
付録 2-1	太陽光発電システム技術課題一覧表 85
付録 2-2	太陽光発電システムの大量普及時の利用形態と課題..... 88
付録 2-3	太陽光発電システムの信頼性について 90
付録 2-4	系統電源との協調に関する課題について 92
付録 2-5	太陽光発電大量普及時の電力系統との関係に関する 将来展望 94
付録 2-6	電力貯蔵用蓄電池の動向 96
あとがき 98

付録1-1 太陽電池製造技術開発課題一覧表

付録1-1-1 開発課題(結晶シリコン)

(課題区分:1:短期、2:中期、3:長期、4:超長期)

分類	分野	開発課題	内容	備考
開発課題	材料製造技術	低コストSOG-Si製造技術	リボンなどのインゴット製造に対応した形状の原料供給技術(粒状、球状シリコンなど)、VLD法、亜鉛還元法、NEDO溶融精製法などの実用化技術、シーメンズ法の低コスト化技術改善(生産性向上、エネルギー削減)、シリコン中のB・Pの除去技術、新規低コスト反応ルートの探索	1
		安価/高生産性単結晶引き上げ技術	安価かつ生産性の高いCZ法単結晶インゴット製造技術の開発。対象はp型とn型単結晶。連続引き上げ、リチャージ、大口径化、高速化、歩留まり向上など。品質では酸素含有量の低減、拡散長1mm。低コスト単結晶成長技術(キャスト+低品位フィードストック)	1、2、3
		安価/高品質多結晶インゴット製造	低欠陥かつ結晶粒径・方位の揃った多結晶インゴット製造技術。結晶生成と冷却制御などによる結晶方位制御、及び不純物汚染低減技術。粒界の不活性化も。(大型化も)	2、3
		インゴットの極薄スライス技術	厚さ50μm程度の薄型基板を少ない切り代(100μm以下)、現行のマルチワイヤソーレベルの生産性で切り出せるスライス技術、(マルチワイヤソー改善、レーザー、プラズマ切断、スマートカットなど)	2
		極薄基板ハンドリング技術	洗浄、エッチング、搬送、セル化工程の事前処理(ダメージ層の除去、表面マイクロクラック(ソウダメージ)の除去、基板強度選別など、(スライス/セル工程により内容が変わる)	2
		光閉じ込め(表面テクスチャ)技術	長波長域、短波長域での反射率を低減できるテクスチャ形成技術、長寿命ARコーティング、表面反射率1%以下の安価かつ高生産性の形成技術	1、2
		光閉じ込め(裏面反射)	裏面反射用材料開発、裏面反射膜形成技術、安価形成技術(パッシベーション、セル構造との調和)	1、2
		表面パッシベーション	p、n-基板向けのパッシベーション膜及び形成技術の開発	2
		バルクパッシベーション	多結晶シリコン基板処理技術、低温処理技術、粒界のパッシベーション技術	2
		超高効率セル構造(接合)形成技術	ヘテロ構造、ポイントコンタクトなどの極薄基板向けの高効率セル構造、及び接合形成技術/材料の開発	2、3
		新電極構造(高性能電極)開発	電極周辺の再結合速度の低減、セル構造・モジュール化への適合、受光面積の増大、等を満たす高性能セル電極構造の開発。選択電極型、MWRT/EWT型の裏面配線電極、高アスペクト比・埋め込み型電極、微細構造型電極、など	2、3
		電極構造形成技術	安価かつ高性能、高生産性で歩留まりの高い形成技術。スクリーン印刷法、光メッキ法、インクジェット法、エアロゾル印刷法、パッド印刷、レーザー焼成電極、低温焼成電極、ファイヤースルー、非焼成法RTP焼成技術、など	2、3
		BSF形成	反りのないBSF構造形成技術	1

	新構造高効率太陽電池開発	シリコン量子ドット材料、Si系タンデム構造。光マネジメント構造など、変換効率30%以上の高効率太陽電池構造の開発	3、4
モジュール形成技術	超量産型プロセス開発	板本的な低コスト、高生産性を可能とする結晶シリコン太陽電池の量産プロセス開発	3、4
	超長寿命、安価モジュール構造の開発	寿命40年のモジュール構造の開発と実用上20年の寿命を持つ安価な高耐久モジュール製造の開発(電極接続等のモジュール構造、モジュール材料、ならびに耐久性試験)	2
	多機能モジュール開発	システム構成の容易な高電圧モジュール、ACモジュールなどの開発	1、2
	代替材料開発	Ag代替電極材料の開発、安価なモジュール材料(EVA代替材料、ガラス代替プラスチック等)	2、3
	原料シリコン回収技術	切断粉シリコン、スクラップ、不良部分等のシリコンの回収・精製技術	2
	安価シート型基板直接製造技術	スライズなしの直接シート基板製造(RSG法、フロート成形など)、リボン基板製造、エピタキシャル基板製造技術、異種基板上のシリコン薄膜成長(LPE、CVD)、厚さが50μm以下の薄膜をウエハーから剥ぎ取る新技術など	2
	その他のセル製造技術	球状シリコン太陽電池、貼り合わせ基板超薄型セル等	1
	工程管理技術	マイクロクラック、ライフタイム、寸法、重量、洗浄状態、比抵抗、エミッタ抵抗エッジアイソレーション、AR膜、電極性能、IV検査、クラック検査のオンライン化	2
	シリコン中の不純物元素のセル性能への影響解明	P、B含有量の高いシリコンのセル性能(性能、経時変化等)への影響解明と太陽電池への利用限界不純物含有量の検討(P、B、Fe等金属元素)。多結晶シリコン基板では粒子の影響・効果の解明も必要	2、3
	多結晶シリコン基板品質のセル特性への影響解明	結晶方位分布、結晶粒径、結晶粒界、結晶欠陥等の太陽電池の変換効率への影響と不純物の影響など解明。インゴットの高品質化への方向探索	2、3
基礎的な研究、現象の解明など	ゲッターリング技術	多結晶シリコン基板の品質改善(重金属不純物除去)、Pゲッターリングなど	2
	有効な光閉じ込め構造の解明	光マネジメントを含む有効な光閉じ込め構造の解明	2
	表面再結合の原因解明と再結合速度低減	性能劣化原因の解明と向上への指針	2
	バルク再結合解明と低減	基板内部での再結合の解明と低減	2
	接合構造と変換効率の関係解明	PN接合、ヘテロ接合等の形成と材料研究に基づく高性能接合の研究	2、3
	電極構造と変換効率の関係解明	電極構造形成技術による性能への影響解明と高性能電極への指針	2
	理論的限界の確認	29%単接合、現状は15~16%、シミュレーション技術	2
	新構造、新プロセス	シリコン量子ドット(高性能化材料)、超量産型プロセス、量子細線を利用するなどの手法によりSiの禁制帯幅を制御する新技術、III-V/Siタンデム構造	3、4

付録 1-1-2 開発課題(薄膜シリコン系)

(課題区分: 1:短期、2:中期、3:長期、4:超長期)

分類	分野	開発課題	内容	備考	
開発課題	材料開発	ワイドギャップ材料の開発 (a-Si 代替材料)と製膜技術の開発	a-Si 薄膜を代替する劣化のない高性能ワイドギャップ材料(基礎物性を含め)とその製膜条件の開発。(ナノ結晶 SiC、a-SiC、a-SiO ₂ 、3C-SiC など)、Voc.>1V、高 FF	2、3	
		ナローギャップ材料、及び製膜技術の開発	光劣化のない高品質ナローギャップ材料の開発、a-SiGe、微結晶 SiGe:H 材料の開発、結晶 GeC、微結晶 Ge 等、製膜条件を解明する	2、3	
		高品質透明導電膜の開発 とコンタクトの改善	p 層とのコンタクト改善が出来る透明導電膜材料の開発、TCO の透過率向上と低抵抗化に向けた材料改善、代替材料開発。TCO、ZnO、など。1,000nm で透過率 90%以上	2、3	
		中間層材料の開発	多接合セルの光利用の向上に向けたセル間の中間層材料(導電性、屈折率、透過率など)	2	
		セル形成技術、製膜技術	微結晶シリコン膜の高速・大面積製膜技術	10nm/s の高速製膜技術の開発、大面積(4~5m ²)製膜技術の開発、VHF プラズマ、マイクロ波 CVD など (電極構造、ガス・電力供給技術、温度制御など) 品質:isc>40mA	2
			プラズマ CVD 大面積高速製膜技術	a-Si 太陽電池の大面積(4~5m ²)形成技術	2
		セル形成技術、製膜技術	多数枚処理型プラズマ CVD 技術	多数枚基板の同時製膜処理型プラズマ CVD 技術、ガス交換技術等	2
			高速・高生産性セル製造技術	大面積・超高速シリコン薄膜製膜技術、高スループット技術(20 倍)	2
			超高生産性セル製造技術	塗布型等の非真空製造法、大気圧 CVD 等の超高スループット製造法 (1 分で成膜)	3
			フレキシブル太陽電池形成技術	フレキシブル基板の選択と製膜条件の最適化、ロール・ツー・ロールプロセスの導入など	2、3
			多接合高効率太陽電池形成技術	3 接合太陽電池の開発、a-Si/μc-Si/μc-SiGe、a-Si/ a-Si/ μc-Si など	2、3
			トンネル接合形成技術	ナロー、ワイド領域の材料開発、セル構造・バンド構造の最適化、トンネル接合	2
			光閉じ込め技術	各セルの接合界面の np 逆接合の最適化形成技術	2
			裏面反射材料の開発と導入	基板(透明導電膜)テクスチャ構造の最適化、中間層など、セル構造全体の光設計と構造最適化、特に赤外光の閉じ込め向上、裏面反射材料の開発と導入、光マネジメント技術の導入	2
			基板テクスチャ形成技術開発	Ag 代替材料(白色顔料系誘電体層など)	2、3
			安価なフレキシブル基板開発	特に赤外光の閉じ込め向上を狙った基板のテクスチャ構造の形成、透明導電膜による基板上のテクスチャ構造の最適化、フレキシブル基板でのテクスチャ形成技術	3
		ガラスに代わる安価なフレキシブル基板、樹脂基板の開発	3		

要素技術、 基礎技術研究	超高効率セル開発	4 接合セル、量子ドット型材料開発(ナノ結晶制御)、異種材料多接合など新材料、新構造の導入(変換効率 25%以上)	3、4
	熱処理による薄膜シリコン製造	CVD で製膜して熱処理で結晶化。熱処理温度、処理時間の短縮=品質向上が課題(600℃以下での固相成長/高温での高速再結晶)、パッシベーション処理	3
	超長寿命モジュール構造、材料	新モジュール構造や、封止材、集積構造形成、裏面シート、配線材などのモジュール材料の超長寿命化(20 年以上)	2
	製膜計測技術	CVD のオンライン膜質モニタなど	2
	微結晶シリコン膜の品質説明とセル性能への品質因子の説明	微結晶シリコン薄膜の構造説明・品質要素の解明、製膜条件とセル性能の関係の解明、結晶粒/集合体構造制御などで Voc の向上を目指す(Voc: 0.64V 以上)	2
	a-Si 膜の光劣化の解明と対応	光劣化の防止技術の開発、製膜条件の影響、製膜後の劣化防止処理の可能性など、(1~2nm/s での高速製膜での劣化防止技術の方向)	2
	多接合セルのバンド構造の最適化と制御	多接合化に向けた材料選択と、多接合化に伴う界面現象の解明と界面制御技術の開発、及びセル構造の最適化、3 接合セル構造の最適化へ	2
	多接合セル最適設計	材料の選択と光設計、目標の設定、膜厚、等、最適設計の検討	2
	多接合セル光マネジメント	光閉じ込め効果の最適化とセル設計(セルの光設計技術)	2、3
	膜界面の現象解明	セルの膜界面で起こる各種現象の解明と高性能化への指針	2
	新規材料探索	量子ナノ構造材料(量子ドット材料、マルチエキシトン材料、フォトニクス材料など)の探索	3、4

付録 1-1-3 開発課題(CIS系)

(課題区分:1:短期、2:中期、3:長期、4:超長期)

分類	分野	開発課題	内容	備考
開発課題	CIS系 新材料	高品質なワイドギャップ光吸収材料の開発	(1.4 eV)以上の高品質ワイドギャップ材料の開発	2、3
		バッファ層材料の開発とセル構造の最適化	新材料開発とバンドプロファイルの最適化、CIGS層のバンドプロファイル改善	2、3
		多接合用の光吸収材料の開発	1.7eVレベルのワイドギャップ材料の開発、n型TCOの開発	2、3
		高品質透明導電膜の開発	高品質、長波長対応のTCOの開発、セル構造に適合した高品質透明導電膜、低抵抗率、高透過性、pnヘテロ接合	2、3
		Inレス新材料	Cu-Zn-Sn-S系材料など、	3
		高品質光吸収層の形成技術の開発	CIGS結晶の均一化、結晶性の改善・制御、組成分布最適化、Na添加効果、バラツキ分布の低減	2
		薄型太陽電池の開発	材料節約型の高性能太陽電池の開発	2
		高効率多接合セル開発	2接合セル形成技術、低温形成技術、セル構造最適化	3
		界面制御技術の開発	パッシベーション技術などの開発による改善、照射効果のない界面制御技術、裏面電極最適化、pnヘテロ接合	2
		低コスト、大面積プロセス技術	大面積均質製膜技術、セレン化技術、材料歩留まり向上、高速製膜、高速硫化技術、低温焼成など、製膜装置の大面積化(蒸着、セレン化、MOCVD等)	2
プロセス	プロセス	光閉じ込め技術	光制御・設計技術、セルの薄型化	2
		高生産性のセレン化、硫化プロセス	セレン化法でのプロセス改善	1、2
		集積構造形成技術	高速、集積セル構造の形成技術、集積構造の最適化	1、2
		フレキシブル基板の選択/開発	CIS向けのフレキシブル基板開発、	2
		フレキシブル太陽電池形成技術開発	フレキシブル基板の選択、光吸収層の低温高品質化技術の開発、ロール・ツー・ロールプロセス、連続生産プロセス開発	2
		CIS系セル非真空プロセスの開発	印刷、電解メッキ、化学メッキ等の非真空プロセスの開発	2
		高性能セル構造の解明	バンド構造の界面、界面現象の解明と最適化、光マネジメントによる薄膜系太陽電池の膜厚等の最適化、	2
		大面積化による性能劣化原因究明と対策	大面積製膜での欠陥分布、結晶性分布、組成分布、その他物理性状の影響制御技術、大面積膜質向上技術の開発(ピンホール低減など)	2
		CIS系光吸収層の結晶品質の解明	CIS金属間化合物の結晶性と品質の関係解明	2
		要素技術、 基礎研究		

付録 1-1-4 開発課題(結晶化合物、集光太陽電池)

(課題区分:1:短期、2:中期、3:長期、4:超長期)

分類	分野	開発課題	内容	備考	
超効率太陽電池 集光太陽電池	材料開発	III-V-N 系新材料開発	多接合用 1eV 帯の格子整合系新材料の開発、(低温)高品質(ヘテロ)エピタキシャル成長技術の開発	2、3	
		量子ナノ構造光吸収材料開発及びセル構造の開発	量子ドット型中間バンド型材料、マルチエキシトン生成材料、ホットキャリア型材料開発とセル構造の開発・量子効果の実証	3、4	
		Si 系量子ナノ構造材料開発	量子ナノ構造のサイズ、均一性の制御、キャリア輸送特性の向上など	3、4	
		安価基板の開発、安価基板利用技術	安価な Ge 基板製造、Si 基板の適用技術、その他の安価な基板 III-V/Si タンデム構造	3	
	セル開発	光マネジメント技術、材料の開発	フォトニクス材料、光波長分解—集光技術		3、4
		光閉じ込め技術	III-V 系セル光閉じ込め		2、3
		セル構造の光マネジメント最適化	光マネジメントによる薄膜系太陽電池の膜厚等の最適化		3
		直列抵抗低減技術	トンネル接合高品質化、表面・裏面電極抵抗低減、セル構成層の抵抗低減		2、3
		メカニカルスタックセル構造の開発	セル接着技術、電極取り出し技術、貼り合わせ型太陽電池		3、4
		高効率多接合セル開発	新材料開発、膜質高品質化、トンネル接合高品質化技術		3
	システム	超高倍率集光セル開発	高電流用集電機構、耐熱セル		2、3
		MOCVD プロセス低コスト化	歩留まり向上、材料ガス低コスト化、大面積化、高速製膜		2、3
		超高倍率集光システム	集光方式選択、光学系(色収差対策など)、放熱技術、追尾機構など 1,000 倍以上の高精度集光		2、3
		低コスト追尾システム、機構	コストパフォーマンスの良い追尾機構の開発		2
基礎研究	量子ナノ構造型太陽電池基礎研究	キャリア輸送機構解明と制御、多光子吸収、マルチエキシトン生成過程の制御など		3、4	
	モジュール冷却機構の最適化	集光倍率による冷却機構の研究		2	
	集光倍率に関する最適化	変換効率と集光倍率の関係の最適化など		2	
	集光下での物性研究	集光下でのキャリア再結合機構、量子ドット利用中間バンド構造のキャリア生成・再結合機構		3、4	
		多接合太陽電池構造の基礎研究	多接合での界面現象の解明と最適化の方向、新材料の欠陥・不純物挙動の解明	2、3	

付録 1-1-5 開発課題(有機、色素系)

(課題区分:1:短期、2:中期、3:長期、4:超長期)

分類	開発課題	内容	備考	
色素増感太陽電池	新增感色素開発	広帯域、もしくは近赤外領域まで作動する色素開発、安価かつ量産可能な色素の開発 高耐久性色素開発、高光吸収係数素材、カクテル型ハイブリッド色素	2、3	
	材料開発	有機合成広帯域色素開発	有機合成色素化合物(広帯域感度を有する色素など)	2、3
		ナノ材料色素開発	半導体量子ドット、金属ナノ粒子など	3
		半導体電極材料開発	チタニアに代わる n 型、p 型半導体など	2、3
		完全固体型電解質、疑似固体型の電解質材料開発	CuI など無機系電解質や導電性高分子など、結晶性制御技術、組成検討/化学架橋型、物理架橋型、層状粘土鉱物などマトリックス材料探索、レドックス剤のイオン伝導性、組成検討	2、3
		新型電解質材料の開発/低揮発性電解質の開発	金属酸化物ナノコンポジット材料など新材料開発、組成検討/イオン液体、高イオン拡散ゲル、高イオン拡散性材料開発、組成検討	2、3
		Pt 代替対極材料の開発	カーボン、導電性高分子など安価かつ耐久性の高い対極材料の開発	2
		高耐久性シール接着剤の開発	耐溶剤性と接着力の両立、透湿率・ガスバリア性の向上	2
		高機能導電性素材開発	低シート抵抗、高耐熱性、高透過性高導電性膜の開発	2
		半導体電極構造制御技術	コアシェル構造半導体、ナノ配列構造半導体など	2
	セル、セロ素要素技術	高効率受光面電極基板の開発	TCO ガラスのヘイズ・熱膨張率・光透過性の最適化、導光板・AR フィルム・UV カットの最適設計	3
		電極基板開発	フレキシブル導電性基板開発、グリッド配線基板、高透過性基板、光閉じ込め型基板、付加機能型基板(紫外線カット機能など)	2
		高性能、高耐久性、低コストセル構造開発	高効率型(光閉じ込め、再結合防止技術、シリーズ抵抗の低減など)、タンデム型・マルチレーヤー型・集電デザイン設計、二重シール型(樹脂 vs 樹脂、樹脂 vs 金属)、ガラスフリット型、広帯域光利用のための光マネジメント技術、TCO レス電極の開発・樹脂基板の利用(低温焼成技術)	2
安価セル量産プロセスの開発		セルの量産プロセス開発	3	
集積構造形成技術		セルの集積構造形成技術、最適モジュール構造の探索	2	
有機薄膜太陽電池	半導体層低温成形技術	電極層の低温焼成(フレキシブル基板対応温度)、剥離転写など	2	
	高耐久性封止技術	耐久性の高い封止技術/材料開発	2	
	(開発)	高性能低分子有機薄膜太陽電池の開発	新材料の開発、製膜技術(接合形成技術)の開発、高性能セル構造の開発、タンデム構造など高効率セル構造、セル製造条件の開発、光閉じ込め、再結合防止技術、劣化防止技術、シリーズ抵抗の低減など	2
		高性能高分子有機薄膜太陽電池の開発	高分子型の新材料開発、タンデム構造など高効率セル構造、セル製造条件の開発、光閉じ込め、再結合防止技術、劣化防止技術など	2
		大面積、高耐久性有機薄膜太陽電池製造プロセス開発	大面積セル作製プロセス技術、耐久性の高い封止技術、集積構造形成技術など、生産プロセスの開発	3

有機無機複合型セル	材料開発	低分子有機薄膜太陽電池材料の探索・開発	ドナー性、アクセプター性共役分子材料開発、C60 に変わる高品質型材料の開発、高品質 p 型材料の開発、高移動度有機半導体材料開発、有機半導体材料の長波長化	2、3
		高分子型有機薄膜材料の探索・開発	長波長吸収可能な狭いバンドギャップ材料の開発、開放電圧の向上	2、3
	セル構造、プロセス要素技術	低分子有機薄膜型セル構造の開発	高効率バルクヘテロ構造の形成技術開発、結晶性・配向性制御	2、3
		高分子有機薄膜型セル構造	ヘテロ接合、バルクヘテロ接合、タンデムヘテロ接合など、光閉じ込め	2
		低分子有機薄膜型セル構造形成技術	蒸着法などセル構造形成技術の開発	2
		高分子有機薄膜型セル構造形成技術	製造プロセスの開発(印刷法、ロール・ツー・ロール法、インクジェット法など)	2
		耐久性の向上技術	性能劣化対策、高純度材料、など、セル構造(UVカット膜、高耐久性封止技術など)	2
		有機薄膜セル封止技術	耐久性の高い封止構造の形成、材料の選択	2
	基礎	ガスバリアー性封止材開発	水蒸気、酸素などの封止、モジュール用/基板用のバリアー膜	2
		新発電機構の研究開発	バルクヘテロ構造以外の高効率光電変換層の開発、光マネージメント機能付加型電層の開発	2
		発電機構、電荷輸送機構の解明	有機薄膜太陽電池の発電機構の解明など基礎的な研究	2
		有機・無機複合型セル探索(光電変換素子材料の探索・開発)	有機、無機等複合素材、低次元性材料、分子集合体材料、長波長光が吸収可能な狭いバンドギャップ材料の開発、開放電圧の向上	3
	有機無機複合型セル	有機・無機複合型セル探索(光電変換材料構造制御技術)	配向性、結晶性制御、ナノ構造制御、コアシェル構造(自己組織化構造形成、陽極酸化手法、気相合成法、真空形成法、湿式合成法など)	3
		有機・無機複合型セル探索(キャリア輸送材料開発)	高移動度無機ホール輸送材料、有機ホール輸送材料	3
有機・無機複合型セル探索(高性能セル構造)		高移動度無機電子輸送材料、有機電子輸送材料	高移動度無機電子輸送材料、有機電子輸送材料	3
		ヘテロ接合、バルクヘテロ接合、タンデムヘテロ接合など、光閉じ込め	ヘテロ接合、バルクヘテロ接合、タンデムヘテロ接合など、光閉じ込め開発した複合材料に適したセル構造、光マネージメント機能の開発	3

付録1-2 結晶系シリコン太陽電池に関する技術開発の方向性について

1. 技術の現状

結晶シリコン太陽電池では、2003年頃までに単結晶、多結晶ともセルの量産技術が確立し、2007年における世界の結晶系シリコン太陽電池の生産量は単結晶シリコンセル（HIT構造を含む）が1,355MW、多結晶シリコンセル（リボン結晶を含む）が1,950MWで、全太陽電池生産量の約88%を占めており、年産700MWを超える工場も出現している。

太陽電池の性能（変換効率）に関して、研究室での最高レベルはFZ単結晶基板で24.7%、多結晶で20.3%のレベルにある。単結晶シリコン太陽電池では、高性能なHIT型太陽電池及びポイントコンタクト型太陽電池が実用化され、実用サイズセルで変換効率23.0%、量産セルでも20%を超える水準に達している。また、多結晶シリコン太陽電池でもSiNバルクパッシベーション、RTP熱処理技術、RIEなどのテクスチャリング技術等が実用化され、実用サイズのセルで、研究室で18.9%、量産セル16.5%、モジュールも15%の水準に達している。

結晶系シリコン太陽電池での最近の大きな課題は、シリコン原料の逼迫に対応した技術改善で、上述の高性能化に加え、インゴット大型化、基板の薄型化などが進んでいる。基板サイズは単結晶、多結晶基板でそれぞれ12.5cm角、15.5cm角に、多結晶シリコンインゴット重量は400kgに大型化し、一方、基板厚さは約180 μ mに薄型化している。また、スライスでの切り代も180 μ m程度で（研究段階では基板厚さ100 μ m、カーフ140 μ mができる段階にある）、シリコン原単位も10g/W以下に低下している。

更に、装置メーカーによる生産ラインの規格化が進み、年産25MW以上の生産ラインがターンキーで販売されており、技術開発を経ない事業化が可能になっている。

2. 結晶シリコン太陽電池の技術開発の方向性

PV2030+では結晶シリコン太陽電池の性能目標をモジュールレベルで25%とし、シリコン原単位を3g/Wとしている。変換効率25%は結晶シリコン太陽電池の理論的限界（29%と言われている）に近い性能である。この実現には量子ドット型などの新コンセプト太陽電池技術が必要との考えもあるが、ここでは現実的な方向として現状技術をベースとした取り組みについて述べる。

ロードマップ（PV2030+）での2025年のコスト目標の達成に向けた当面の技術開発の方向は、基板厚さ50 μ m程度の極薄型高効率セルの開発であり、その過程として2017年頃までに基板厚さ100 μ m、モジュール効率20%の達成を目指すべきである。ここでは高品質な極薄基板の製造とハンドリング及びこれを用いた高効率セル構造の双方に技術開発が必要である。

極薄基板の製造ではスライス技術の改善が不可欠で、マルチワイヤーソーではカーフ低減が難しく、レーザーアシストエッチング法や剥離法などのカーフロスが少なく、スライス後の洗浄処理などが容易なスライス技術の開発が必要である。また、高品質インゴット製造に関して、単結晶では高速引き上げなど生産性向上とコストダウンが課題で、多結晶での主な課題は結晶成長過程での結晶方位制御、不純物含有量や欠陥の制御、粒界制御などの結晶高品質化である。なお、スライス工程が不要なりボン結晶などは、急冷凝固になるため品質面で課題が多い。

極薄基板を用いた高効率セル構造の開発では、セル製造工程で発生する基板の反りや破損など

極薄基板の使用によるプロセス上の課題を考慮しながら開発することが必要となる。セル構造ではバックコンタクト構造やヘテロ接合構造などが検討されるべきで、バックコンタクト構造は高品質基板が必要である。一方、HIT構造（ヘテロ接合構造）は基板の薄型化にともない表面のパッシベーション性能が重要になることから世界的に注目されており、a-Si系薄膜材料とのヘテロ接合による高電圧化の有効性が示されている。ここでは受光面のa-Si/TCOに起因する光吸収ロスの改善が必要で、新しいワイドギャップ材料や裏面接合型のセル構造などの開発が必要である。

光の有効利用では、表面テクスチャー構造の最適化や長期間安定な反射防止膜の開発のほかに、基板薄型化にともない裏面反射構造（膜）の開発が裏面パッシベーションとともに重要になっている。

パッシベーションに関して、多結晶基板ではバルクの再結合ロスの低減が必要で、従来の水素パッシベーションに加えて粒界のパッシベーション技術が必要である。一方、基板の薄型化にともない表面、裏面での再結合ロスの低減が重要になる。ここではSiO₂、a-Si等が用いられているが、今後は単結晶や多結晶、受光面や裏面、p型表面やn型表面、電極の有無等の状況に対応した最適なパッシベーション膜の開発が必要であり、形成プロセスとしては低温形成が重要となる。

電極形成に関しては、極薄型セルではモジュール化での配線工程の信頼性などとの関連でバックコンタクト構造が重要となる。ここでは接合本体のバックコンタクト型構造とメタルラップスルー型がある。基板の極薄型化に伴い従来の電極形成技術である印刷・焼成法、グループによる電極形成法等が使用できなくなる可能性もある。これに対して化学メッキなどの非焼成プロセスやエアゾルジェットと光メッキとの組み合わせなどの、低応力電極形成技術の開発が必要である。また、Agの代替材料の開発や節約との観点からの技術開発も重要になる。

モジュール化では、配線の低応力化と低抵抗配線へのブレイクスルーが必要であるとともに、耐久性（寿命40年）の向上と低コスト化を目指した材料と構造の転換も必要である。

他方、これらの技術を開発し実用化するには、生産性の高いプロセス技術の開発のほか、性能シミュレーション技術、工程検査技術や安価かつ高品質な原料シリコン供給技術などが必要となる。

3. 更なる高性能化に向けて

結晶シリコン太陽電池では上述した既存構造の延長での理論的な変換効率は～29%程度とされており、更なる高性能化にはその限界をブレイクスルーする新概念、新技術の導入が必要である。これについて量子ドットなどの量子ナノ構造を持つ新規材料を利用した多接合太陽電池やホットキャリア太陽電池あるいは波長変換材料の適用などが検討され始めている。シリコン結晶太陽電池においても他の薄膜セルなどとのシリコン基板をベースとする多接合太陽電池に加えて、シリコンの量子ドット構造を用いたオールシリコン型多接合太陽電池（3接合での理論効率50.5%：M. Green、Proc.4th WCPEC, 16（2006））や、ホットキャリアセル、マルチエキシトン生成型の太陽電池などについて基礎研究が始まっている。結晶シリコン太陽電池においても、変換効率30%以上を目指す更なる高性能化に対しては、このような新しいブレイクスルーが必要である。（参考：付録1-7を参照）

付録1-3 薄膜シリコン太陽電池に関する技術開発の方向性について

1. 技術の現状

2007年における世界のシリコン薄膜太陽電池の生産量は、168MWであった。この内、我が国の生産量は、84MWとなっている。EU CommissionのJoint research Centerより公表されているPV Status Report 2008によれば、2010年には、世界のシリコン薄膜太陽電池の製造設備は10GWに達すると報告されている。わが国では、シャープ、三菱重工業（MHI）、カネカ、富士電機が将来に向けての100MWから数GWレベルの生産設備増強を発表しており、ますます薄膜系へのシフトが起きている。一方、海外のシリコン系薄膜太陽電池のメーカーには、いわゆるターンキー装置を導入して、一気に数100MW/年レベルの製造設備を導入し、要素研究の経験がない状況で製造を開始するところも出てきている。わが国が薄膜シリコンの分野で引き続き技術的優位性を保つには、変換効率を飛躍的に向上させるとともに、製造コストを大幅に下げることが可能な革新技术の開発が必要不可欠である。

一方、変換効率の現状を眺めてみると、表1に示すように技術開発レベルの変換効率と、市場に出回っているモジュール効率との間には大きな差があり、早急にこれらの差を埋める製造技術開発が必要である。表1は、Progress in Photovoltaics誌に掲載されている変換効率の公認データと、各研究機関から報告されている変換効率、ならびに各社のホームページに掲載されているデータをもとに計算された市販モジュールの効率である。なお、現状では、市販レベルのモジュール効率は6.3～8.5%となっているが、国内企業が生産を始めているa-Si/ μ c-Si系では、モジュール効率12%程度の達成を目指している。

表1 シリコン系薄膜太陽電池の変換効率の現状

材料系・構造	変換効率 (%)	面積 (cm ²)	Voc (V)	Jsc (mA/cm ²)	FF (%)	測定機関 測定日	備考
Progress in Photovoltaics誌に掲載されている変換効率データ(公認データ)(文献1)							
Si(amorphous)	9.5±0.3	1.070(ap)	0.859	17.5	63.0	NREL(4/03)	U.Neuchatel
Si (thin-film submodule)	10.5±0.3	94.0(ap)	0.492	29.7	72.1	FhG-ISE(8/07)	CSG Solar 1-2mm on glass 20 cells
Si(nanocrystalline)	10.1±0.2	1.199(ap)	0.539	24.4	76.6	JQA(12/97)	Kaneka (2mm on glass)
a-Si/ μ c-Si(thin submodule)	11.7±0.4	14.23(ap)	5.462	2.99	71.3	AIST(9/04)	Kaneka (thin film)
a-Si/a-Si/a-SiGe	12.1±0.7	0.27(da)	2.297	7.56	69.7	NREL(10/98)	USSC stabilized
a-Si/a-SiGe/a-SiGe(tandem)	10.4±0.5	905(ap)	4.353	3.285(A)	66.0	NREL(10/98)	USSC
各研究機関から報告されている開発レベルの変換効率							
Si系薄膜トリプル	15.0	1					カネカ 初期値
a-Si/ μ c-Si	14.7	1					カネカ 初期値
a-Si/ μ c-Si	13.5	4141					カネカ 初期値
a-Si/ μ c-Si	12.0	3825					カネカ 安定化後(推定)
a-Si/a-SiGe/a-SiGe	14.6	0.25					USSC 初期値
a-Si/a-SiGe/a-SiGe	13.0	0.25					USSC 安定化後
a-Si/a-SiGe/nc-Si	15.39	0.25					USSC 初期値
a-Si/a-SiGe/nc-Si	13.31	0.25					USSC 安定化後
各社のホームページの製品カタログによるモジュール効率 (文献2)							
a-Si/ μ c-Si	8.5						SHARP NA-901-WP
a-Si	6.3						KANEKA T-SC(CE)-120
a-Si	6.3						MHI MA100
a-Si/a-Si	5.9						Schott Solar ASI-TM86

2. 薄膜シリコン太陽電池の技術開発の方向性

PV2030+では、薄膜シリコン系太陽電池の変換効率目標をモジュールレベルで14%（2020年）、18%（2030年）としている。この変換効率目標を達成するには、従来のa-Si/ μ c-Si 2接合タンデムから、3接合（triple-junction）への開発を進める必要がある。理論的に考えても、2接合系では、これらの目標達成は非常に困難である。ただし、アモルファス・シリコンの光劣化を完全に抑制することができれば、2接合系でも目標達成は不可能な数値ではない。光劣化の抑制技術開発は、長期展望にたった重要課題である。

3接合系を考えた場合の技術開発要素を図1に示す。一方、変換効率目標と同時に、製造コスト目標を達成しなければならない。製造コストを今後、大幅に下げていくための要素技術を合わせて図1に示す。これらの技術課題は、高性能化への材料開発・高性能化、プロセス、モジュールに分類される。

2030年目標を達成するには、まず、2017年までに小面積で変換効率18%、大面積モジュールで14%を達成する技術開発を実施する必要がある。これらの成果をもとに、2030年までに低コスト製造技術を確立し、モジュールで18%の変換効率を達成する。

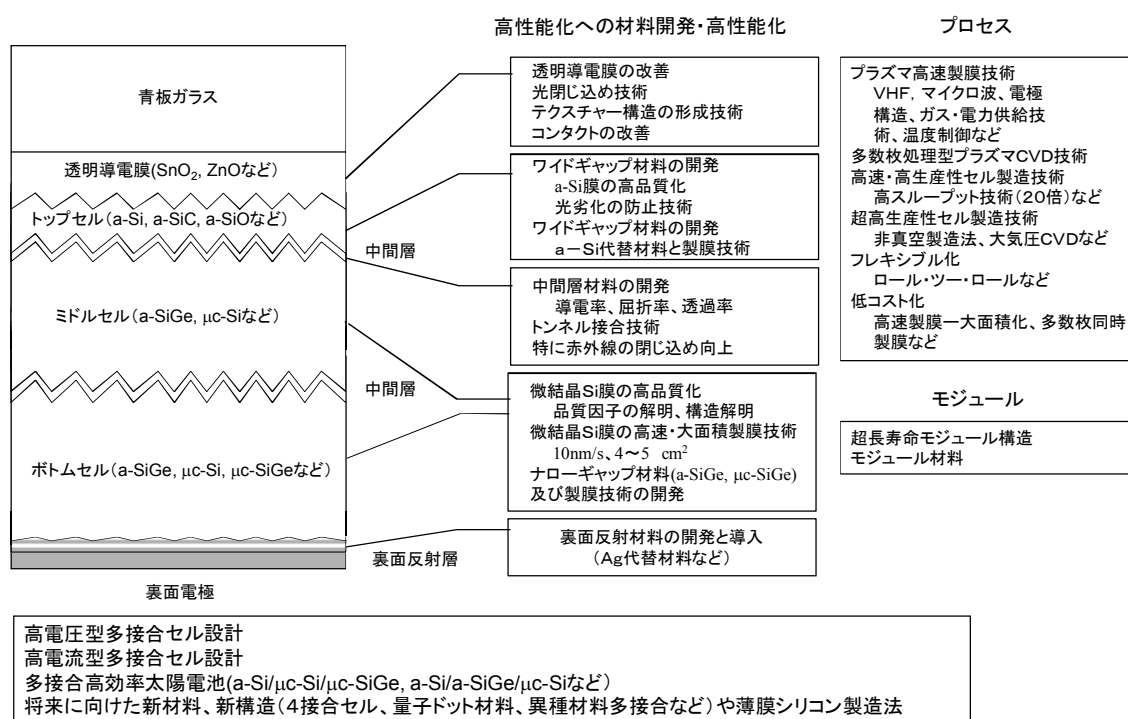


図1 2020年、2030年に向けた薄膜シリコン系太陽電池の技術課題

参考文献

- (1) Progress in Photovoltaics, Solar Cell Efficiency Tables, Version 33, (2009); 17:85-94
- (2) B.von Roedern and H.S.Ullal, Proc.IEEE 33rd Photovoltaic Specialists Conf. (2008)

付録1-4 化合物薄膜太陽電池に関する技術開発の方向性について

1. 現状

化合物薄膜太陽電池では、CIS系太陽電池（Cu(InGa)Se₂等）が小面積ながら多結晶薄膜の単接合太陽電池で変換効率20%に達しており、高いポテンシャルを有していることから、次世代太陽電池の有力候補として世界中で研究開発が盛んに行なわれている。現在市場に出ているCIS系太陽電池モジュールのモジュール変換効率は10～11%程度であり、まだまだ性能向上の余地がある。

CIS系太陽電池の製膜方法は、現在主流であるセレン化・硫化法や多元蒸着法の他にも、スパッタリング法、塗布法、電着法などさまざまなものが研究開発されており、これらを用いた多くのベンチャー企業が立ち上がってきている。わが国ではすでに事業化している2社のうち1社が年産1GWの生産能力を持つ工場建設を世界に先駆けて発表しているが、欧米でも大規模な生産能力拡大がアナウンスされている。ベンチャー企業のうち現段階で量産に成功しているのは数社にとどまると見られるが、今後とも活発な企業化の動きが続くものと考えられる。

CIS系太陽電池では In、Gaなどの希少金属が吸収層の材料として用いられている。また一般に裏面電極材料として用いられるMoも希少金属である。このためしばしば資源的な問題を危惧する声が聞かれるが、年産1GW程度の規模であれば問題はないと考えられる。しかし、将来さらに多くの量（年産100GWレベル）の太陽電池をCIS系材料で賄おうとするとIn不足などが生じる可能性が高く、そのような意味で現在のCIS系太陽電池は資源的な課題を含んでいる。

2. 2020年の目標に向けた技術開発の方向

現在市場に出始めているCIS系太陽電池はそのポテンシャルを十分に発揮できているとは言い難い。喫緊の課題は現状の単接合大面積モジュールの性能向上と高スループット化である。モジュールの効率向上には集積化技術の高度化や太陽電池を構成する各層の均一性の向上などが必要である。さらには、光吸収層の高品質化、バンドプロファイル最適化やTCO窓層の高透過率、低抵抗化などの高性能化技術開発も重要である。これらは小面積セルでの開発が主になるが、ある程度の面積のサブモジュールによる検証も必要である。CIS系太陽電池は多元系材料によるヘテロ接合デバイスであり、その高性能化のためには、太陽電池を構成する各層や界面などの精密な評価と理解および制御技術も重要である。

一方、急速に生産量が伸びることが考えられることから、In、Ga、Moなどの希少金属の使用量を減らし、材料コストを削減するための省資源化の取り組みも必要である。

さらにCIS系太陽電池の適用範囲を広げるという意味から、フレキシブル化についても積極的に開発を進める必要がある。

3. 2030年（およびそれ以降）の目標に向けた技術開発の方向

現状の単接合デバイス構造でさらなる低コスト化を実現するには、光吸収層の製造コストをドラスティックに低減する製造方法（塗布法など）の開発が必要であるが、それ以外の部分（例えば透明導電膜、ガラス基板、封止材）の低コスト化も同時に推し進める必要がある。

また、太陽電池の長寿命化は発電コスト低減に大きく寄与するが、CIS系太陽電池においても高

性能封止材や長寿命モジュール構造の開発は重要な課題である。

一方、更なる変換効率向上に向けては、材料組成によりバンドギャップを変えることができるというCIS系の特性を生かして、多接合化の技術開発が有効である。ただし効率やコストの面からCIS系材料以外の材料とのハイブリッド多接合も視野に入れておくべきである。

希少金属の使用量低減や材料コスト削減のための省資源化に加え、持続可能な社会構築のためには、“結晶粒界が悪影響を及ぼさない”というCIS系化合物（多結晶）薄膜のような特徴をもち、資源量が豊富な材料からなる新材料系の探索が必要である。例えばCZTS ($\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$) のような豊富な元素からなる化合物では、太陽電池特性を示すものの、変換効率が低いために基礎研究がなされていない材料がある。CIS系も1980年頃には小面積で10%に満たない効率だったことを考えると、このような材料について長期的な視野で探索・検討を行なうことが必要である。ここでは大学による基礎的な物性評価などが特に重要となる。

CIS系を含め化合物系は材料・デバイスとして未解明な領域が多い。効率的な研究には微小領域の物性など評価・解析技術を充実させることが必要である。このためには従来太陽電池の評価にはあまり用いられなかった手法（例えばナノ領域の評価手法など）も積極的に取り込み、学際的な分野を立ち上げて、産学が協力して特性向上に取り組むべきである。

付録1-5 集光型太陽光発電に関する技術開発の方向性について

1. 太陽光発電の現状認識と集光型太陽光発電の位置づけ

太陽光発電が21世紀のエネルギー・環境問題に寄与するレベルに達するには、現在より少なくとも2桁高い生産量が必要になる。現状では、このような大規模な生産量を可能にする大規模太陽光発電システムの候補の一つとして、高性能な「集光型太陽光発電」がある。III-V族化合物半導体技術をベースとしたInGaP/InGaAs/Ge3接合構造太陽電池は集光下で効率40.8%が実現しており、4接合、5接合の多接合化により、効率50%以上の超高効率化が期待できる。

2. 多接合、集光型太陽電池のさらなる高効率化・低コスト化の可能性

図1は多接合構造太陽電池の変換効率の接合数依存性を示す。3、4接合セルの集光動作で、各々、効率52%、56%の高効率化が期待できる。また、さらなる多接合セルの高集光動作により60%以上の超高効率化も期待できる。また、集光動作により非集光動作に比べて絶対値で7~12%効率向上が図られ、集光式太陽光発電の魅力ある点の一つである。

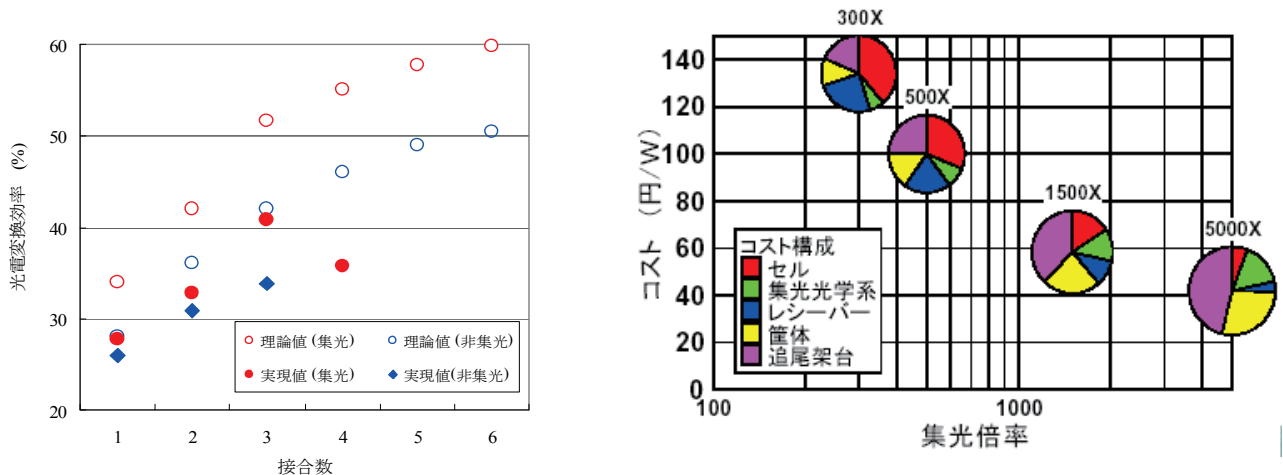


図1 多接合構造太陽電池の変換効率の接合数依存性(理論値と実現値)

[山口、応用物理 (2009) in press]

図2 化合物系集光セルを用いたモジュールコストと集光倍率の関係

[K. Araki et al., Progress in PV **13**, 513 (2005)]

3. 今後の研究開発の方向性

多接合構造太陽電池及び集光型太陽電池・システムのさらなる超高効率化と低コスト化にむけた研究開発の方向は下記のようにあり、さらに超長期の基礎研究テーマとしては、①量子井戸や量子ドット構造、②中間バンドの概念による多重バンド励起、③衝突電離など多重電子-正孔対生成、④多光子吸収、⑤ホットキャリアなどがある。図3に、超高効率太陽電池技術開発ビジョンを示す。

①セル変換効率45%以上の実現に向けた4、5接合構造太陽電池及び新材料の研究：

将来の4接合セル(例えば、InGaP/InGaAs/3層目/Ge4接合セル)を構成するバンドギャップ1.05 eVの第3セル材料として、InGaAsN等の新材料が注目されている。また、多接合による高効率化には、InGaP/InGaAs/InGaAsN/Ge4接合セルに加え、同一材料にて組成を変え、連続的にバンドギャップ

を少しずつ変化させる方法がある。材料としては、 $Al_xGa_{1-x}As$ の他に $In_yGa_{1-y}N$ が有望である。この系を用いることにより、理論上は3接合で47%、5接合で57%のセル効率も可能性がある。

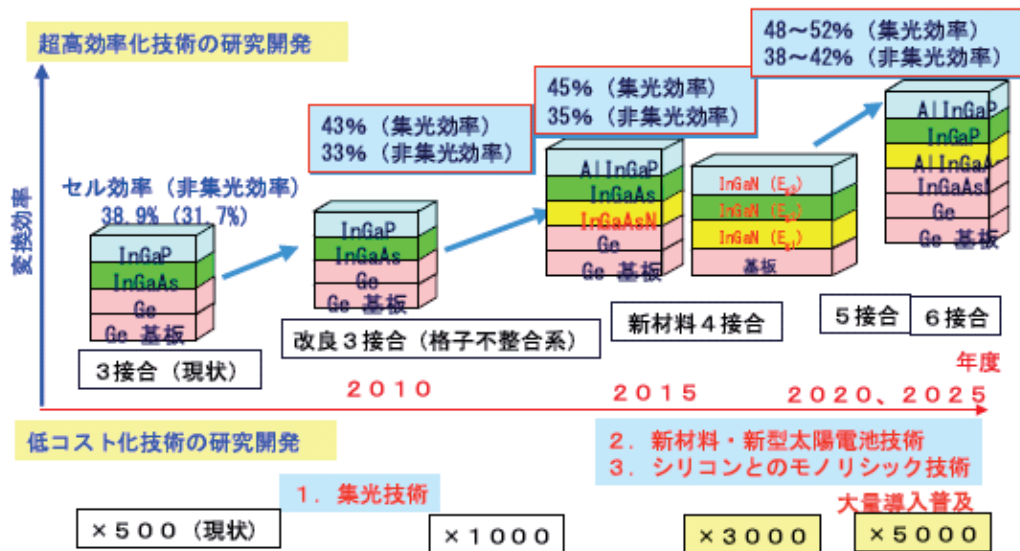


図3 超効率太陽電池技術開発ビジョン

② セルコストの低減に向けたSi基板上の多接合構造太陽電池及び要素技術の研究：

III-V族セルとSiセルのモノリシック集積は、低コストで高効率な多接合セルとして魅力的である。Si/III-V化合物モノリシック多接合による新型セルでは理論効率は54%、実現可能な効率としても49%が見込まれる(1,000倍集光)。Si基板上に成長させる材料としては、 $Al_xGa_{1-x}As$ や $In_yGa_{1-y}N$ が用いられる。

③ セルコストの低減に向けた薄膜剥離型多接合構造太陽電池および要素技術の研究：

薄膜剥離型多接合太陽電池は、基板の再利用や省資源化が可能で、低コスト化が期待できる。シャープにより、MOCVDエピタキシャル成長InGaP/GaAs2接合セルが金属薄膜上に転写され、セルの厚み $2\mu m$ 以下、面積 $4 \times 7 cm$ までのフレキシブルセルが作製されている。1cm角セルで、AM1.5G 効率29.4%が得られている。今後、エピタキシャル用基板の再利用やエピタキシャルコストの低減が図られれば、全ての太陽電池の中で最高効率のIII-V族多接合セルを、非集光型でも地上用として適用することも可能であろう。

④ 集光モジュール・システムの更なる高性能化・低コスト化に向けた高倍率集光技術に関する研究開発：

集光倍率は高ければ高いほどセル及び光学系の個数を削減できるため、コストはさらに下がることになる。しかしながら、①セルの放熱、②集光光学系、の2課題を解決する必要がある。

⑤ 新材料や新構造の物性解析に関する研究：

集光型多接合太陽電池は光電変換効率50%以上が期待でき、結晶シリコン太陽電池、薄膜シリコン太陽電池に次ぐ、第三番手の太陽電池として大きな期待が寄せられている。課題は、4~6接合太陽電池用新材料InGaAsN、InGaAsNSb、AllnN、InGaNなどの結晶品質が不十分であること、また、第3世代太陽電池の可能性を有する量子ドットなど中間バンド型においては、原理検証に至っていないことである。

付録1-6 有機系太陽電池（色素増感型／有機薄膜型）に関する技術開発の方向性について

1. 有機系太陽電池(色素増感型／有機薄膜型)の現状と展望

「有機系太陽電池」は、光電変換とキャリア輸送を担う主要素材の一部に有機材料を用いた太陽電池である。現状の技術レベルはまだ基礎研究段階にあり、光エネルギー変換効率（以下変換効率）向上や耐久性向上など解決すべき課題は多く、技術開発への継続投資が不可欠である。

主な有機系太陽電池には、無機半導体ナノ粒子、色素、電解質を用いる「色素増感型」と、有機分子の固体を用いる「有機薄膜型」があるが、いずれもナノ構造による効率的電荷分離がキーポイントとなっている。これらに加え、固体化された色素増感型、量子ドット増感型の湿式太陽電池、無機半導体ナノ粒子を用いた有機薄膜型、有機無機ハイブリッド太陽電池、蓄電機能を持つ太陽電池など、上記分類の境界に位置するものやその範疇から外れるものも登場している。

色素増感型は我が国では40年にわたる研究の歴史があり、基礎研究として本多・藤嶋や松村・坪村のNatureの論文がある。これらの研究は、実用的太陽電池を見据えた1990年代のGratzelセルの研究に繋がるが、現在でもわが国は変換効率（例えば、11.1%（シャープ（株）など）で世界トップを走っている。2009年現在EPFLが報告した11.9%が、色素増感型の最高効率となっている。色素増感型は、既存のシリコン太陽電池や有機薄膜太陽電池と異なり電解液を用いた酸化還元反応を基本とするため、光強度に対する変動は電流値にかかり電圧変動は押さえられるという特徴がある。太陽光発電所用の太陽電池の一部としての実地試験開始の計画もある。ただし、これらの実用化研究に進んでいるセルの基本構造はGratzelセルそのままであり、変換効率向上と耐久性向上に向けて我が国独自の新技术を醸成することは急務である。近赤外吸収色素の開発や色素増感型のタンデム化による効率向上、電解液のゲル化や固体化など、継続した研究開発投資が必要である。

有機薄膜型でも色素増感型同様に、現在主流となっているバルクヘテロ構造など高効率化の鍵となった基本的なアイデアは日本発のものであり、わが国の潜在的な研究開発力は高い。しかしながら、現状では欧米における研究開発の勢いが強く、高効率化に向けたナローギャップ光電変換材料の合成および多接合化などのデバイス開発、有機系太陽電池の特徴を生かした利用技術など、欧米の多角的な研究開発に遅れを取っている。現在の有機薄膜型の最高効率（2007年4月の“Solar Cell Efficiency Tables (Version 30)”の有機薄膜太陽電池記録4.8%（Plextronics、USA）、2008年4月（Version 32）の5.15%（Konarka、USA））は、米国の研究グループに先行されており、欧米のベンチャー企業では実用化に向けプロトタイプ太陽電池が試作されている。欧米では、真空装置を使う低分子蒸着型太陽電池より、徹底的な低コスト化を狙い塗布型のバルクヘテロ系が主流である。高コストはシリコン系、低コストは有機系太陽電池として明確に位置づけられている。バルクヘテロ型太陽電池の高効率化については、タンデム型の開発が主流となっている。

2. 有機系太陽電池(色素増感型／有機薄膜型)に関する技術開発の方向性

有機系太陽電池の技術開発は、2020年を見据えた実用化技術開発と変換効率・耐久性向上のための基礎技術開発、2050年に向けたブレークスルーを可能にする基盤的な基礎研究に分けて進める必要がある。具体的目標としては、変換効率15～20%以上、工場出荷コスト（原価）100USD/m²以下、実用耐久性10年以上（環境加速試験によって保証）、非真空による製造方法の確立が挙げられる。

1) 2020年の目標に向けた技術開発の方向

有機系太陽電池の実用化技術開発は、まず、低コストを実現する要素技術に絞り込むべきである。低コストを実現するには、①真空を使わない成膜法、印刷方式による製造工程につなげる技術が必須となる。また、②FTO、ITO等に置き換わる新規の透明導電膜の開発と、それと組み合わせられる発電層の設計が必要である。有機系太陽電池では、耐久性の確保が極めて重要である。高効率を達成しても耐久性と両立できないものは実用化できない。このため、例えば水分の影響を受けにくい発電層の設計、水蒸気バリア膜などを構造に加えたセルの設計など実用化を視野に入れた技術開発が必要である。

有機系太陽電池の基礎技術開発については、色素増感型と有機薄膜型で直近の研究開発課題は異なるが、本質的な科学には共通部分が多く、境界領域に位置する研究も生まれつつあるので同じカテゴリで研究組織を整備することが望ましい。特に、効率向上を目指したタンデム化などは、接合界面の設計や最適の組み合わせを考え、有機系太陽電池全体を俯瞰して進めるべきである。

色素増感型の基礎技術開発の2020年に向けた目標は、変換効率と耐久性の向上である。このためには新規な近赤外吸収材料（色素、高分子等）が重要である。このための材料開発は、探索も含めて多岐にわたるが、酸化半導体のナノ構造・バンド構造の系統的制御法、色素・高分子の分子軌道制御法、電解質のゲル化固体化を、高移動度を維持しつつ達成する方法、高開口率モジュール化技術などが開発の中心となり、これに付随する合成技術、封止技術、イオン液体、反応解析などが技術開発項目となる。

有機薄膜型の光電変換効率は6%程度まで向上してきたが、更なる高効率化と耐久性向上など基本特性改善に向けた研究段階である。2020年には変換効率15%達成を目指し、ブレイクスルーとなるアイデアの創出が必要である。未だに未解明の部分が多い太陽電池動作原理や性能劣化機構の詳細解明、新規な素材や構造の探索などを優先的に実施する必要がある。また、新規高性能ポリマーの開発、封止技術、グリッド技術、モジュール化技術などが重要な検討課題となる。

2) 2030年の目標(2020年以降の更なる発展に向けた)技術開発の方向

有機系太陽電池の高性能化に向けた素材や太陽電池構造開発など基礎的な技術開発は、継続的に実施すべきである。有機系太陽電池については、各材料のエネルギー準位制御技術を確立することができれば、これとタンデム化技術を組み合わせ太陽光スペクトルとバンド構造の不一致からもたらされる発電ロスを著しく低減することが可能(400~900nm 3層タンデムで41%、各層で0.2Vの電圧ロスを加味しても36%の効率が期待でき、400~1,300nm 5層タンデムでは、原理的には50%を超える太陽電池作製が可能)である。製造プロセスの課題がクリアできれば、上記多接合セルの一部は無機系太陽電池であってもかまわない。このためのタンデム化技術は、継続的課題として次期プロジェクトから加えて進めるべきである。また、製造プロセスの立場から見た低コストセル作成を目指す研究開発、有機無機ハイブリッド太陽電池や蓄電機能を持つ太陽電池などは長期的課題として継続して進めるべきである。

また、2030年以降の本格的市場導入に向け、太陽電池モジュール化や低コスト・低環境負荷プロセスによる製造技術、耐久性・実証試験など共通基盤技術の本格的な開発を実施する必要がある。これらの技術開発の方向性を決める重要な要因となる有機系太陽電池の実用化形態の具体化作業、及び規格の標準化を進める必要がある。

付録1-7 超高効率太陽電池への取り組み方向について

(1) 超高効率への取り組みの現状

超高効率太陽電池への取り組みとしては、太陽光を全波長域にわたり利用する技術の開発が進められている。太陽光をそれぞれの光波長に適合した複数セルで受光する多接合セルにより、1.5 μm 超の長波長を含めて有効に電力に変換するとき、集光下で到達可能な変換効率は単接合で38%、2接合で52%、3接合で58%、4接合で63%、5接合で66%、と見積もられている。一方、最近では量子ドットなどの新しい概念による超高性能太陽電池の可能性も検討され始めている。ここでは変換効率60%を超える理論計算も示されており、これらの新概念技術を実証すべく各種の取り組みも始まっている。これに関して、我が国ではNEDOの「未来技術研究開発」で超高効率多接合セルや量子ドット構造太陽電池に向けた新材料の開発などが進められ、2008年度からは「革新的太陽光発電技術研究開発」プロジェクトが発足している。また、欧米では表1のような超高効率太陽電池の研究開発プロジェクトが我が国に先行して活動している。

表1 欧米での超高効率太陽電池プロジェクト

プロジェクト	概要	期間
VHESC プロジェクト (米)	地上用太陽電池の変換効率を2倍以上(変換効率54%)にする新しい太陽電池の探索・開発。＝デラウェア大学をリーダーに18の大学、企業、研究所が参加。多接合セルとナノ構造太陽電池(各種コンセプトの確認)の両面からアプローチ。	2005年12月～2010年2月 総額：約5300万ドル
Fullspectrum プロジェクト (EU)	第3世代技術コンセプトについて、考え得る多方面から研究分担しブレークスルーを探るプロジェクト(太陽日射スペクトルを最大限に活用するための研究開発)。	2003年～2008年(5年間) 総額：1470万ユーロ

(2) 超高効率化に向けた取り組みの方向

超高効率太陽電池への取り組み方向は大別して、①太陽光を全波長域にわたり利用する仕組みと材料の開発、②太陽光を電力に変換する際の損失を防止する仕組みと材料の開発の2つと考えられ、具体的には以下のようなものが考えられる。

(イ) 多接合型太陽電池

現在すでに、研究室レベルでは高倍率集光システムでの利用を想定したIII-V系多接合セルで最高40.7%の変換効率が報告されているが、モジュール効率40%超を実現するためには更なる高効率化の技術開発が必要である。また、材料・セル構造の両分野での新概念を導入して研究開発を進めることで、安価かつ量産に向けた高性能太陽電池への転換を図ることや、現状の太陽電池と同様に大面積で使用できる薄膜型などに挑戦することも重要である。具体的なアプローチ例は以下のようである。

① モノリシック型多接合太陽電池

- ・主として従来のGaInP/GaInAs/Ge等のIII-V系や、窒素を含む新しいIII-V材料等で、組成制御により光波長に対応したセルを構成した一体型の超高効率多接合太陽電池を開発する。
- ・量子サイズ効果構造などの光吸収波長をチューニングした材料を用いた量子ドットタンデムセル、量子ドット増感型タンデムセルなどの量子効果型多接合セルを開発する。

② メカニカルスタック型多接合太陽電池

- ・光吸収波長の異なる複数セルを機械的に積層することで、材料の選択に自由度の高い超高効率多接合セルを開発する。
- ・材料への高い自由度を利用して、シリコン系材料、II-VI族あるいは有機薄膜材料などを用いた実用性の高い異種多接合太陽電池を開発する。
- ・大面積化が可能な薄膜系異種多接合太陽電池についても検討する。

(ロ) 量子ナノ構造太陽電池

量子ドット構造などの新しい量子ナノ技術の導入により、変換効率50%以上の超高効率太陽電池の可能性が報告されている。ここでは量子ドット構造、超格子構造、マルチバンド材料、分子系ナノ材料などの量子ナノ構造とこれを用いた新しいセル構造の開発により、太陽光全波長の利用あるいは変換時の損失低減による超高効率太陽電池の可能性を実証する。具体的なアプローチ例は以下のものである。

① 中間バンド構造太陽電池

- ・量子ドット超格子型の中間バンド材料の開発・利用などにより幅広い波長域の太陽光を有効変換する太陽電池を開発する。
- ・高不整合材料 (Highly Mismatched Alloy) が形成する中間バンド構造を利用した中間バンド太陽電池を開発する。

② ホットキャリア太陽電池

- ・量子ナノ構造材料中で励起されたキャリアの伝導帯中を緩和する時間が長くなる、高いエネルギー状態のホットキャリア活用による太陽電池の効率向上の可能性を実証する。

③ マルチエキシトン生成効果型 (MEG : Multiple Exciton Generation) 太陽電池

- ・量子ナノ構造により、大きなエネルギーを持つフォトンから複数のキャリアを発生させることで太陽光を効率よく電力に変換するMEG効果型太陽電池の可能性を実証する。

(ハ) デバイス周辺の光マネジメント技術

太陽光を波長分割してそれぞれに適合した複数セルで受光・変換する、あるいは蛍光材料など波長変換材料を開発してデバイスに適合するように波長変換を行うなど、太陽光を効率よくエネルギーに変換する光マネジメント技術の可能性の探索と実証を行う。

- ・フォトニック材料、フィルター／ミラー方式などで光を分割し、複数セルで受光するシステムの材料・構造を開発する。
- ・アップ・ダウンコンバージョン材料などで太陽電池に適した波長に波長変換を行う材料を開発する。

(ニ) その他の新規概念セル構造と材料開発

現状の太陽電池では利用されていない光電変換概念を利用した超高効率太陽光発電の可能性を実証する。可能性のある新概念の太陽電池の例を以下に示す。

- ・TPV技術 (熱光起電力)、プラズモン太陽電池、非半導体pn接合型太陽電池 (ショットキー接合などを使った電荷分離機構)、レクテナ太陽電池セルなど

参考文献：NEDO「革新型太陽光発電技術開発に係る検討委員会」報告書 (2008)

付録2-1 太陽光発電システム技術課題一覧表

(課題区分: 1: 短期、2: 中期、3: 長期、4: 超長期)

項目	開発課題	内容	備考
次世代モジュール技術	高信頼性・耐久性技術	高耐久性モジュール及びモジュール素材の開発 (耐電圧、耐水蒸気、耐温度変動、耐圧力の向上)	1
	長寿命・低コスト化技術	長寿命技術の開発、安価なモジュール素材の開発、寸法、コネクタ、ケーブルなど、部材の標準化	2
	モジュール高性能化技術	モジュール・レベルでの光学設計の最適化 (高透過性、波長制御)、汚れにくい表面素材 (光触媒、撥水加工、親水加工)、放熱性の良い素材の開発	2
	リサイクル・リユース技術	リサイクル性の向上、太陽電池技術別のリサイクル技術の確立、リユース・モジュールの品質確保	2
	モジュール多機能化	建材・建物一体化太陽光発電システム (BIPV)、電波輻射防止モジュール、建物への遮熱機能向上モジュールの開発、遮音・防音効果向上モジュールの開発、フレキシブル・軽量モジュールの開発	1
	長寿命・低コスト化技術	部品点数の削減 (電解コンデンサレス、薄膜リアクタンス、設計の最適化)、標準化技術 (汎用化、大量生産)、チップインバータの開発、マイクロインバータ (DCモジュール・ACモジュール) の開発	2
次世代パワーコンディショナ技術	性能向上技術	SiC等の次世代パワーデバイスの開発、デバイス、新制御・回路技術の開発 (高速MPPT制御、電力系統変動に対する耐量向上)、故障検出技術	2
	多機能化技術	エネルギーマネージメントシステムに対応した各種要素技術の開発 (通信技術を用いた系統側や負荷・蓄電設備との情報共有技術、自律的協調制御技術、モニタリング技術の開発)	3
	環境対応型パワーコンディショナの開発	環境負荷物質不使用、リユース・リサイクル性向上	1
システム構築技術	低コスト化技術	システム構成部材の低コスト化 (バイパスデバイス、接続箱、コネクタ、配線、架台)、システムのユニット化、流通コストを削減する物流技術の開発	2
	低コスト施工技術	ユニット施工技術、効率的配線手法、配線不要技術、簡易設計手法開発、DIY可能なシステム、設計・施工に必要な情報の簡易取得、施工簡略化が可能な建機の開発、自動施工技術、大規模発電所の一括施工技術、施工技術者の教育・育成	2
	システム出力向上技術	各種損失を最小化する最適設計技術、配線自動切り替え技術、マイクロコンバータ利用システム	1
	システム安全性向上技術	対地容量評価・回避技術、温度応力評価・対処技術、EMI・EMC評価・影響防止技術、避雷技術	2
	多様モジュールに対応したシステム技術	フレキシブルシステム技術 (低コスト化・高耐久性の追求、利用用途拡大、設置可能アプリケーションの調査・拡大、施工性の高い基盤の選択、劣日照環境化における発電最大化技術)	3

項目	開発課題	内容	備考
性能評価技術	集光システム技術	集光システム技術（低コスト化・高耐久性の追求、高倍率に対応した高精度追尾技術開発、低消費電力の追尾技術開発、高精度高倍率集光レンズ開発、高信頼・高機能の放熱・冷却技術開発、光学設計の最適化技術開発）	2
	海外市場を目指したシステム構成技術	熱ハイブリッド型太陽電池、超低コストSHSの開発、可搬型PVシステム	3
	標準性能評価技術	各種モジュールの評価手法の開発（標準条件による値付け、過渡特性評価、基準セル・モジュールの校正技術等）、高性能・低コスト・ソーラー・シミュレータの開発	1
	エネルギー定格技術	実環境での発電量を知るためのエネルギー定格の策定（発電量評価・推定技術、地域ごとの発電量推定）、期待発電量の推定、気象データベースの構築、気候区見直し、分光放射照度推定技術、分光放射照度データベースの整備	2
	長期信頼性評価	長期信頼性試験手法の確立（加速劣化試験、寿命想定試験、屋外暴露試験等）、不具合事例の収集と共有、現地試験・調査・不具合検出手法の確立	1
	計測技術の開発	低コストで高精度な計測技術（温度、日射強度、電流・電圧測定など）、モジュール個体管理技術（RFタグなどの活用）、自動管理ロボットの開発、大容量IVカーブトレーサの開発	2
	リサイクル、リユース技術	モジュール及びシステム機器のリサイクル・リユース技術、システム・リユース製品の評価による性能・品質の確保	3
	蓄電池技術開発（化学電池）	高性能・低コスト・長寿命の蓄電池技術開発、蓄電池の最適運用・制御方法の開発（充放電制御、寿命診断）	3
	エネルギー貯蔵技術の開発	各種電力貯蔵技術の太陽光発電への適用性評価（フライホイール技術、圧縮空気電力貯蔵、超電導電力貯蔵技術、キャパシタによる短期・高速貯蔵技術、揚水発電所の活用等）	4
	エネルギー転換	高効率な水素転換技術、安全な水素貯蔵・運搬技術、水素利用技術、電力からメタンやエチレンなどの炭化水素ガスを生成する技術の開発	4
システム運用技術	発電量算出に必要な気象観測態勢の整備、気象データベースの構築、発電量（気象）シミュレーション技術、有限箇所の観測値から広域全体の総発電量推定技術（空間的補間）	3	

項目	開発課題	内容	備考
基盤技術 開発（付 加価値・ マクロ評 価）	故障検出技術	自己診断機能、診断ロボット、アクティブ信号診断、不具合事例の共有化、シミュレーション技術の併用	1
	電力系統との協調技術	多数台連系に対応した単独運転防止機能、遠隔電力制御、スマートメーター、モニタリング機能（発電量、需要、気象条件等の計測と故障検出、情報共有）	2
	新しいエネルギー・ネットワークの構築と最適協調運用の確立	自律・分散制御によるエネルギー・ネットワーク技術との協調（ホロミックネットワーク等）、情報技術との融合（スマートグリッド等）、集中型および自律分散型制御の融合最適化、大規模なエネルギー・ネットワーク技術の実証実験の実施、集光システム等を利用した大規模太陽光発電所（電力業界との連携）、集光システム等を利用したプラグインハイブリッド技術（自動車業界との連携）、シーソー太陽光発電システム等の農業利用	3
	エネルギー・マネジメント技術	HEMS（Home Energy Management System）・BEMS（Building Energy Management System）やDSM（Demand Side Management）などの需要調整技術との協調、蓄電池を組み合わせた需給調整技術の開発、直流給電技術の活用	3
	各種付加価値の調査および定量化	例えば遮熱効果、遮音効果、防反射効果、電磁波対策効果などの定量化	3
	環境経済性の評価	CO ₂ 削減量の算出、エコジカルプリントの定量化、継続的なEPT評価やLCAの実施	3
	各種仕組みや制度・指標における太陽光発電導入や効果に関する評価	例えば温対法、省エネ法、工場立地法、グリーン電力証書、建築物総合環境性能評価システム（CASBEE）、緑化代替エネルギーセキュリティ面での評価（災害対策や電源価値の定量化、ピークカット価値の分析）	2
	太陽光発電の導入可能量評価技術	系統影響評価・面積ポテンシャルの見直し評価、資源量調査など	2
	その他	各種太陽電池のリスク評価の実施、太陽光発電の経済波及効果評価の詳細分析	2
	法制度への対応技術	法整備に向けた必要データや技術開発（緑化代替、工場立地法、グリーン電力証書、カーボンフットプリント、温対法、省エネ法、農地法）	1

付録2-2 太陽光発電システムの大量普及時の利用形態と課題

1. 技術の現状

太陽光発電(PV)では、その本質的な特性として出力が気象の影響を受け変動する。これまで、電力系統がこの出力不安定性に対するバッファとしての役割を担い、特に連系型の住宅用PVシステムが普及しPV導入量を伸ばしてきた経緯がある。太陽光発電を連系運用するメリットは大きく、連系技術についてこれまでも多くの検討が行われてきた。一方、2008年の経済産業省「長期エネルギー需給見通し」をはじめ、将来に向けて太陽光発電のさらなる大量導入が目標に掲げられている。PVシステムの大量導入に向けては、PVシステムそのものの効率向上と長寿命化、低コスト化が重要であるが、系統への連系技術を高度化し電力供給システムとして一体化していく必要がある。従来の電力系統における想定を超えてPVのさらなる導入促進を図る上では、制度面における整備のみならず、長期的な視野で電力供給システム全体の形態のあり方にまで踏み込んで、電力品質や保護・保安、太陽光発電の有効活用・経済性を考慮し、多角的な視点から技術開発を推進することが重要になってくると考えられる。

2. 2020年の目標に向けた技術開発の方向

・電力品質に係わる課題

太陽光発電システムが多数台連系された場合、その逆潮流により配電ネットワークにおいて電圧上昇が発生し、法定電圧範囲を逸脱することが考えられる。例えば、配電線間のPV導入量のアンバランスにより一部の配電線にPV電力の逆潮流による電圧上昇が顕著に発生するような場合は、送り出し電圧の一括制御だけでは全ての配電線の電圧を適正範囲に収めることが困難になる。PV大量導入時には配電線の電圧・潮流分布が日射状況に応じて複雑に変化することとなり、系統側での電圧調整機器の配置・協調制御などの最適化が必要となる。また、従来の電力系統システムにおける想定をはるかに超えて太陽光発電が導入された場合には、需要予測と同様、発電量予測に基づく需給調整の方策が求められることとなる。

上記のような状況では、一時的に太陽光発電システムの出力を抑制せざるを得ない状況となる可能性があるが、これは本来活用すべき日射エネルギーの一部を廃棄しPVシステムの利用率低下につながり、導入促進の障壁になる恐れがある。この対策として、エネルギー貯蔵技術や需要におけるエネルギーマネジメント技術、およびそれらの運用最適化技術の開発が重要である。環境性と経済性を考慮しながら、これらの方策とPV出力抑制との適切な併用についても検討が必要と考えられる。また、PV導入量が今後増加するに伴い、これまで合理的に設計されてきた既存の系統設備容量に対しPV余剰電力が相対的に超過しPVシステムの利用率向上の制約となる恐れがあり、適切な系統設備計画の策定も求められる。

・保護・保安に係わる課題

PVシステムが大量導入された場合には、多数のPVシステム間の相互干渉や発電量と負荷量のバランスにより単独運転の検出感度の低下が懸念されており、その回避技術と仕様の確立が急務である。一方、停電復旧時には刻一刻変動するPV発電電力の情報把握が必要であり、広域に大量導

入されたPV総発電電力量の高精度な推定技術が重要となる。

また、導入量が今後増えるにしたがって、PVの立場はより電力供給源としての位置付けに近づくことになる。その場合、単独運転検出装置の誤動作による一斉解列などが発生すると、一部の配電線路にて過負荷状態を招く恐れもあり、これまで自然エネルギー利用型の分散電源には要求されることのなかった供給信頼性の評価（耐量向上技術）が重要となる。

- ・太陽光発電の経済性に係わる課題

今後、太陽光発電の導入量が大規模化するにしたがって、これまでの小規模分散形式での余剰電力に焦点を当てた議論だけではなく、新たに発電所としての活用が考えられる。その際、発電コストを上回る電力収入を得ることが大前提であり、PV電力の価値を一層高めることが必要となる。そのためには、発電量予測技術や蓄電技術に基づくPVの高精度な計画発電の実現が求められる。

- ・その他

上述の課題の多くは、太陽光発電がその本質的な特性として出力の不安定性を有することに起因する。したがって、課題に対する技術方策・目標を論ずるうえで、広範な面的広がりを持って太陽光発電が大量導入された際の“ならし効果”のより詳細な定量的評価も今後重要になってくる。ならし効果検証のための実測データを収集するスキーム構築、変動に対する確率論的な評価指標の確立なども、早急に取り組むべき事項と考えられる。

3. 2030年の目標(2020年以降の更なる発展に向けた)技術開発の方向

先に述べたとおり、太陽光発電の大量導入時に発生する問題の多くは太陽光発電の出力不安定性に起因するものであり、一つの対策が複数の課題に対し改善効果をもたらす可能性がある。したがって、PVシステム側と電力システム側とが各々独立に技術方策を実施するよりも、双方が情報を共有しながら両者を効率よく円滑に運用すること、即ち、電力システムでの対応技術とPVシステムの安定化（自律度向上）技術を有機的に結合させた協調制御技術の開発が有効であり、次世代の電力供給システムとして目指すべき方向と考えられる。

統合化された環境下において、電力品質や保護・保安、環境性・経済性を考慮しながら集中型および自律分散型制御の分担と協調をどのようにするか、負荷変動やPVの出力変動に対し階層的な配置を考慮した電力貯蔵装置の最適な設計・運用法の確立、これらを可能とする情報通信技術の検討など、新しいエネルギー・ネットワークのシステム設計には現段階ではまだ自由度があり不確定要素も多い。そのような状況の中で2030年あるいはそれ以降の段階でのあるべき電力供給システムの姿を議論する際、太陽光発電の導入が段階的に進展することも踏まえ、最終のシステム形態のみに焦点を当てるだけでなく、現状の形態から最終形態への移行プロセスも包含して最適な解を検討することが重要と考えられる。

付録 2-3 太陽光発電システムの信頼性について

太陽光発電システムの技術開発の最終目標は、太陽光発電からの電力が既存電源と同等以上の利便性、経済性、安全性、信頼性を持つことである。太陽光発電システムの導入量が拡大し、電力という基盤インフラの多くを担うようになった場合、確実にエネルギーの供給を維持できることが求められる。つまり、ユーザーが欲しいときに適切な価格で安全に電力の供給を持続して受けることが必要となる。「お天気任せ」である現在の状況から、様々な周辺技術や利用形態により、太陽光発電が既存電力と同等のレベルとなれば、太陽光発電システムの開発は全て終了し、多くの人々が太陽光発電システムを支障なく利用できる世界が実現する。

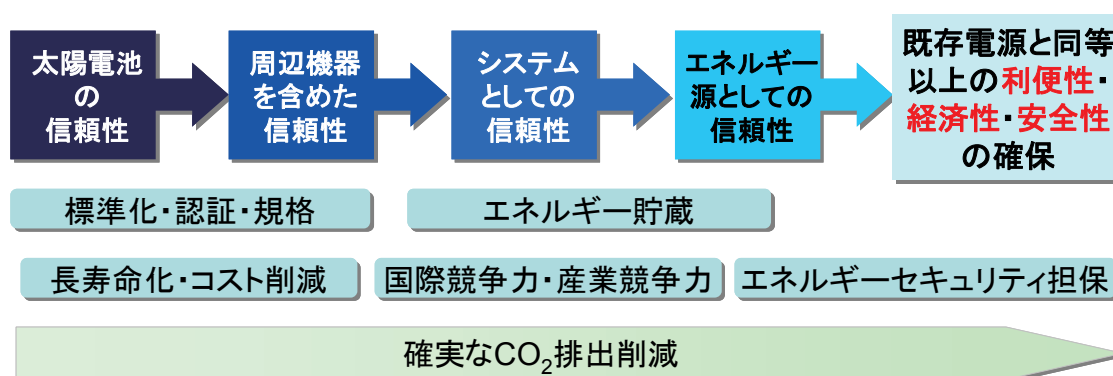


図 太陽光発電の信頼性向上の道筋

出典：(株)資源総合システム資料

1. 太陽電池モジュールの信頼性の向上

太陽電池モジュールは、発電を担う重要な部材の一つであり、耐電圧性、耐水蒸気性、耐温度変動性、耐機械的圧力性などの向上により耐久性を高めることで、信頼性と耐久性の向上が可能となる。この場合、封止材、充填材などの材料開発に加え、将来的にはモジュールの構造自体も改良する必要があるかもしれない。耐久性の向上は、寿命の延伸に繋がるため発電コストの低減に直結する。仮に現在 20 年間の寿命を 40 年間まで延ばせば発電コストは半分となる。また、何をもって寿命と定義するかという寿命評価技術の開発も不可欠である。一方、規格化・標準化などにより一定レベルの信頼性確保と低コスト化を進めることもできる。さらに、最終的な CO₂ 排出量を抑えるためにもリサイクル可能な設計、体制の整備なども検討する必要がある。

2. 周辺機器を含めた信頼性の向上

太陽電池の周辺機器で最も重要となるインバータについては、長寿命化も一つの選択肢だが、安価な部品の利用で製品コストを抑え、一定期間に交換することも考えられる。その場合、交換が容易な設計に加え、メンテナンス体制の整備も重要となる。インバータの機能として高効率・低コストの機器を開発することは当然だが、電力システムの安定運用を担保するために多数台連系時の単独運転防止技術の整備、さらに導入量が増加した場合には系統擾乱の際に一斉解列させない技術、無効電力を制御する機能なども要求される。また、将来的にインバータは、太陽光発電を普及させる上で鍵となる機器になる可能性が高い。例えば、故障検出機能やモニタリング機能の

付加が考えられるほか、系統運用安定化のために外部から出力を調整できる機能、HEMS や BEMS、DSM などにおける負荷制御機能を担わせるなどインテリジェント化の可能性もある。インバータ以外では、太陽電池モジュールの寿命に合わせて配線やコネクタ、架台、接続箱などの耐久性向上も不可欠となる。海外では架台に電流を流し配線を不要とする技術も提案されている。

3. 太陽光発電システムとしての信頼性の向上

太陽光発電システムは、より低コストで確実に設置する施工技術の向上が不可欠である。また、前述の各機器を組合せた上で、耐久性や安全性などが担保されることが重要である。そのためにはまず、信頼のおける施工技術者の養成が必要だが、将来的には高度な施工技術が無くても簡単に設置できるユニット型のシステム開発も必要となるだろう。現在既に設置されている太陽光発電システムにおいて、様々な破損、故障、施工不良などのトラブルが報告されているが、全体的な実態把握は遅れているため、正確な現状を調査し情報を共有することも必要である。その結果を活用し、いち早くトラブルの原因を検知し、迅速にメンテナンスできる技術、体制の構築も急務である。

4. エネルギーとしての信頼性の向上

太陽光発電システムは分散電源であり発電箇所が増えることから、発電所としての供給信頼性は向上する。しかし、天候により全体の出力が変わることから、正確な日射量予測技術に加え、日本全体でどれだけのエネルギー供給量があるかを把握することが重要である。電力会社では季節的な需要変動に加え、短期的かつ地域的な需要の変動を常に予測しながら発電所を制御している。そのため、広域分散配置された太陽光発電システムがどれだけ電力を供給できるか常に予測しておく必要がある。連休中や盆正月など軽負荷の晴天時には太陽光発電システムからの電力が大きく余ることから、それを救うのに必要な蓄電池や系統の整備コストを考え、余剰分を廃棄する（システムを解列する）選択肢も考えられる。

エネルギーとしての信頼性を向上させるためには、天候に依存する出力の変動を平準化させ、需要に合わせる必要がある。発電量予測なども重要だが、2030年以降の太陽光発電の導入目標を達成するには、相当量のエネルギー貯蔵が必要であり、貯蔵技術の開発無くして太陽光発電システムの設置は不可能となる。代表的な電力貯蔵は、蓄電池であるが、将来的には既存の揚水式水力発電所の活用も考えられる。高効率ヒートポンプにより熱需要を賄うことも可能である。また、水素やメタノールなどの液体燃料への転換も考えられる。さらに、フライホイールや圧搾空気、超電導コイルなどによる電力貯蔵の研究も進んでいる。いずれにしても、太陽エネルギーのピーク時に可能な限り貯蔵し、ボトム期の需要を担うことが将来的には必要となる。

今後、太陽光発電の発電コストが大きく下がれば、設置した家庭や工場、オフィスは、自家消費の方が安価になるため需要を昼間にシフトする動きもあるだろう。例えば温水器の運転時間を太陽光発電に合わせる制御も考えられる。さらに電気自動車への充電など新たな需要も見出されるだろう。このように需要側も最適な方向へ動くことが予想されるため、全体としての安定性を保つことに繋がると考えられる。

付録 2-4 系統電源との協調に関する課題について

1. はじめに

低炭素社会を実現する手段の一つとして、太陽光発電の大量導入への期待が高まってきており、2008年5月に策定された長期エネルギー需給見通し（最大導入ケース）では、2030年で現状の40倍の導入目標が示された。一方で、太陽光発電や風力発電などの自然エネルギー電源が持つ大きな特徴の一つとして、出力の不安定性が挙げられ、これらの出力変動が需給運用や系統の安定性に与える影響が懸念されており、今後はPVや風力発電などの自然エネルギーを中心とした分散型電源と系統電源との協調をキーワードとした技術開発を進めて行く必要があると考えている。

2. 電力系統における課題

太陽光発電大量導入時の電力系統における主な課題としては、

- ①出力変動を吸収する周波数調整力の確保
- ②需給バランスの確保（軽負荷期における余剰電力発生への対応）
- ③逆潮流による配電系統の電圧上昇防止
- ④単独運転防止
- ⑤一斉解列防止

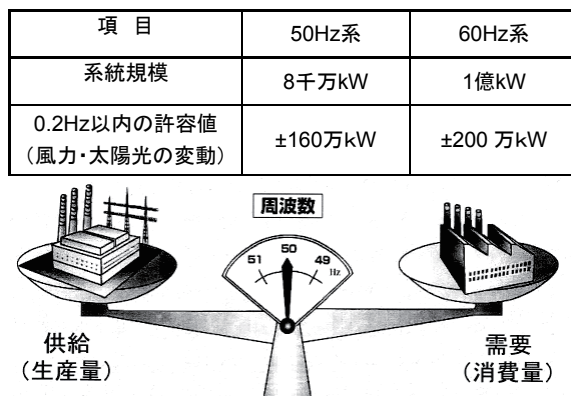
が考えられるが、③については、群馬県太田市でのNEDOの「集中連系型太陽光発電システム実証研究」において検討がなされており、電圧上昇防止策としてSVC、SVRの制御及び柱状変圧器の分割設置などによる電圧の適正制御が既の実証された。全体の導入量に関わらず配電線に集中的に設置された場合には、このプロジェクトでの成果を生かした電圧対策が行われていくことであろう。④、⑤の課題に対しては、平成20年度から開始されたNEDOの「単独運転検出装置の複数台連系試験技術開発研究」により、対策の検討が行われている。現状の単独運転防止装置では、同一の配電線に複数台のPVが設置された場合に、単独運転防止装置の種類・組合せによっては、相互に干渉してしまい、確実な動作ができずに単独運転が継続してしまうといった問題を抱えている。配電線の断線事故などにより系統側からの電力供給が停止したにも関わらず、PVの単独運転が継続すると、切れた配電線に向かって電気を流し続けてしまうと言った保安上の問題があることから、これに合致したPCS装置の開発が必要である。また、これと並行して、このプロジェクトでは上位系統の事故による瞬時電圧低下などの系統擾乱の際にPVが一斉脱落してしまうことを防止する検討がなされている。いわゆるFault Ride Throughの要件の検討やこの結果を反映しての日本電気技術規格委員会（JESC）（電力、系統利用者及び日本電機工業会（JEMA）等が参加）による系統連系規定の策定、電気安全環境研究所（JET）などによる認証制度の確立が求められる。

以上のことから、今後は、これまでの検討で充分でない①周波数調整面と②需給バランス確保面に焦点をあてた太陽光データの蓄積や分析を進めていく必要がある。この件についても、現在平成21年度の国の補助事業として、時刻同期のとれた多地点の太陽光データを測定・蓄積し、広域的視点で見たPV出力実績の蓄積や出力変動の平滑化効果などを分析・評価するための研究開発が計画されているが、PV大量導入に向けて、こういった基礎的な取り組みが重要である。

3. 系統電源と分散電源との協調のために

系統電源と分散電源の協調をキーワードとして挙げたが、これを実現していく手段として、新たなグリッド技術にも期待が寄せられるところである。最近、スマートグリッドと言う言葉を良く耳にするが、現時点では、スマートグリッドに明確な定義がないのが実情で、集中型電源と送電系統との一体運用に加え、情報通信ネットワークにより分散型電源やエンドユーザーの情報を統合・活用して、

高効率、高品質、高信頼度の電力供給システムの実現を目指すものと考えられる。ただし、アメリカで言うスマートグリッドの思想の背景には、稼働率が低い、言うならば生産性が低いピーク電源を持ちたくない、或いはピーク時のための送電線増設を持ちたくないと言うことがベースにある。このため、分散電源を中心としたグリッドを構築することによる高品質、高信頼度の電力供給システムを目指すと言った考えになっている。日本とアメリカの送電網、所謂、グリッドについて少し触れると、停電時間が米国では年間97分であるのに対して、我が国では19分と短い(2006年実績)事実から見ても、アメリカに比べて我が国の送電網・グリッドはすでに高い信頼性を持ち合わせたものになっており、アメリカや他国と比べても、ある意味、十分スマートなグリッドが形成されている。このように我が国では、既にしっかりとした電力供給インフラを持ち合わせており、我々が目指していく次世代のグリッドとしては、今後大量導入されるPVや、それに伴い系統に設置されるであろう蓄電池を踏まえて、更なる高効率・高品質・高信頼度の電力供給システムについて、国内メーカ、大学等との連携のもと、我が国の実情を踏まえた日本型の先進的なスマートグリッドを世界に先駆け構築していくことが良いと思われる。しかしながら、これらの実現には、様々な課題を克服していく必要があり、蓄電池を有効活用していくための研究開発や協調制御(PV出力抑制)を実現させるための高速・大容量な通信ネットワーク技術の確立、ネットワークの信頼性の確保、高速・大容量な演算処理技術の確立が必要であり、こういった基盤分野での技術革新が重要になってくると考えられる。

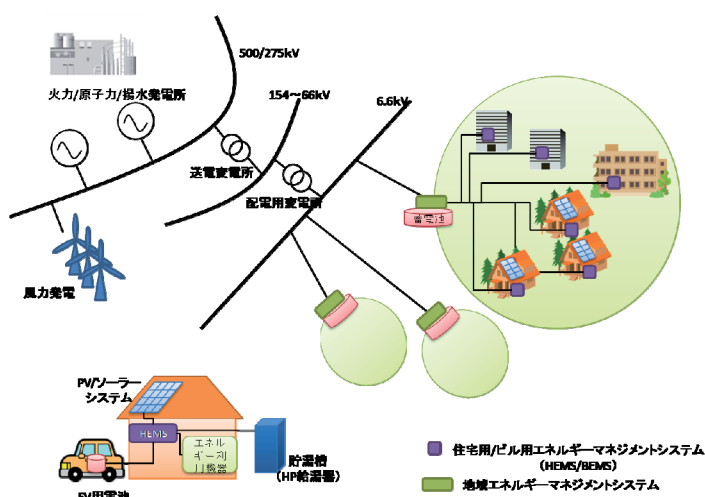


付録2-5 太陽光発電大量普及時の電力系統との関係に関する将来展望

1. 技術の現状と太陽光発電の大量連系時の将来展望

現状の電力系統は、系統電源からの発電、送電、配電という供給の流れと末端に分散電源が多くない構成であり、比較的少数の発電所、変電所などの基幹設備による制御・運用と、非常に多くの保護装置による集中制御的な運用を実現する技術が確立されている。

大量連系された際の将来展望としては、実際の発電量は限られた水準の段階でも、昼間の晴れの日の太陽光発電の発電量は系統の需要の数割を占める状況が想定される。時刻、天候の変化による太陽光発電の大きな出力変動が需要端で発生することから、大量連系を経済合理的に可能とするためには、集中制御的な運用に加え、太陽光発電システムを含め需要側での制御・運用の重要性が増加すると考えられる。太陽光発電が大量に導入され、ニッチではなく基幹電源の一員になる段階では、電力需給全体で必要な役割を果たすための技術を確立することも必要となり、出力抑制技術もこの中に含まれる。



a. 2020年の段階

課題としては電圧問題と一部の周波数問題が想定される。電圧問題に関しては可能な諸対策の評価、選定、実施を行い、周波数問題については発電特性のデータ蓄積・解析による出力変動の最大値とその周期、及びこれにもとづく運用の見直しで対応することが考えられる。

b. 2030年の段階

周波数変動など需給問題に関しては大量のバッテリーなど電力貯蔵装置に大きく依存することが必要だが、バッテリーが経済的に普及するか否かは不確定であり、バッテリーの普及が困難な場合は、更なる普及には下記の段階を待つ必要がある。

c. 2030年以降でバッテリーの導入に大きな制約がある場合

電力形態での活用は困難であり、PVの電力を水素などの貯蔵可能なエネルギーに変換して貯蔵、水素燃焼タービン発電あるいは分散型燃料電池で電力に戻すなどが考えられる。

2. 大量連系時に電力系統との調和を取るための技術開発課題

2020年の目標に向けた技術開発課題

- ・ 配電系統の電圧問題の解決：電圧調整装置、柱状変圧器増設、配電線太線化、配電電圧昇圧、PV用PCS装置による無効電力制御などの個別技術開発課題の解決と、適用に向けた比較検討
- ・ 配電レベルの潮流問題の解決：配電系統の保護・制御方式の改善
- ・ 広域のならし効果を含めた太陽光発電の発電特性把握
- ・ 連系機能：単独運転防止、系統擾乱時の運転継続

2030年の目標及びそれ以降の更なる発展に向けた技術開発課題

- ・ 天気予報に基づく地点別及び地域別の太陽光発電予測技術
- ・ 太陽光発電予測と連動した揚水発電など既存電源の高度活用技術、系統運用技術
- ・ 太陽光発電予測に基づく、自律的な建物エネルギーマネジメント技術
- ・ 建物エネルギーマネジメントを核とした地域エネルギーマネジメントの自律的運用、集中エネルギーマネジメントとの協調制御・運用技術
- ・ 集中、分散のエネルギーマネジメントにおける蓄電技術の活用
- ・ 系統全体での余剰電力発生時に対処するためのPV出力抑制技術
- ・ 欧米のスマートグリッド技術開発に含まれる、系統の集中/分散制御・運用へのIT高度活用技術

3. 電力系統の未来

将来の電力需要は、既存の需要の省エネルギー化が進んでも、一方でヒートポンプ空調・給湯・加熱、プラグインハイブリッド/電気自動車に代表される新たな需要増加が見込まれ、エネルギーの最終消費に電力が占める割合は着実に増加すると考えられる。また、後述のエネルギー貯蔵の機能を持つ新たな需要については使用時間帯を選択できることから、深夜から朝にかけて割安な電気料金制度による深夜帯の需要増など需要カーブが大きく変化する可能性がある。

更に、分散電源の導入を背景に、家庭・業務施設などの建物単位のエネルギーマネジメント（HEMS/BEMS）が核となり、分散電源、エネルギー貯蔵機器および需要機器が自律・分散的に制御されるようになると、需要は電力システムから見てより動的な特性を持つ可能性がある。

電力システムの設備形成は、従来、需要の伸びに対応した電源・流通設備の拡充で計画されてきた。しかし、低炭素社会に向けた長期の電力システムでは、省エネルギーと電化の進展を含めた需要の変化、再生可能エネルギー発電の導入、集中/分散の発電設備の構成・配置、既設設備の老朽化などを考慮して、設備計画を策定する必要がある。

運用については、従来、需要予測に基づき需給調整、周波数制御などを火力・水力を主体とする系統側の電源により行ってきた。今後、再生可能エネルギー発電の導入普及に伴う間欠性による出力変動の補償と、原子力、石炭などのベース電源の効率的な運用のため、再生可能エネルギー発電の供給予測を含め、需給の予測と調整をよりきめ細かく行う必要があると考えられる。

更に、先に述べた集中/分散の電力貯蔵及びそれに準じる技術の普及は、電力システムの需給調整能力を飛躍的に高め、再生可能エネルギーの間欠性、原子力、石炭ガス化発電の定格運転継続など同時同量制約に起因する課題解決に貢献する可能性は大きい。ただし、需要端に設置され自律・分散的に運用される機器は、系統の需給調整という意味での制御性には一定の限界があり、ITを含めた技術、制度の検討が段階的に行うことが今後必要と考えられる。

（参考文献：電気学会雑誌2009年1月号 特集記事 「低炭素社会における電力システム」）

付録2-6 電力貯蔵用蓄電池の動向

従来、電力貯蔵用の蓄電池としては鉛電池とニッケルカドミウム電池が主体であったが、近年、ニッケル水素電池、NAS電池、リチウムイオン電池などの大容量・高性能化が進み、電力貯蔵の用途にも使用されるようになってきた。電力貯蔵用蓄電池における技術開発としては、大容量、長寿命、高エネルギー密度、高効率、安全性、経済性などがあげられるが、太陽光発電等と併用し、大量に普及させるためには、特に長寿命で安価なことが求められる。表1に電力貯蔵用蓄電池に必要な性能を示す。

表 電力貯蔵用蓄電池に必要な性能

項目	電力貯蔵用蓄電池に必要な性能
セル電圧	セル電圧が高く、充放電中の電圧変化が少ないこと
充放電効率	充放電にともなうWh効率が低いこと
寿命	サイクル寿命が長いこと
コスト	新設時だけでなく、廃棄時に至るコストが安いこと
エネルギー密度	エネルギー密度が高く、小型・軽量であること
温度特性	高温時に性能、寿命が劣化しないこと
使用時SOC	PSOCで使用しても性能が劣化しないこと
メンテナンス	メンテナンスが不要であること
リサイクル	リサイクルが容易であること
安全性	長期間使用しても安全であること
施工性	施工が簡単なこと

SOC:充電率、 PSOC：中間充電状態

1. 各種蓄電池の特徴と動向

1.1 鉛電池：安価で保守や取り扱いが容易なことから、主に始動用やバックアップ用として使用されてきたが、電力貯蔵用として夜間電力貯蔵（負荷平準化）や風力発電・マイクログリッド等の変動補償用として使用された実績がある。近年、電力貯蔵用として各種の改良が行われ、DOD（放電深度）70%において4,000サイクル以上、15年の長寿命品が開発されている。

この蓄電池は、性能・コスト面ではほぼ成熟しており、今後の大幅な改良は難しいが、大量に導入されて自動車用程度の市場規模となれば量産効果によるコスト低減が期待できる。また、リサイクルの技術やルートが確立しており有効に機能しているが、市場の鉛価格により製造コストが大きく変動するのが難点である。

なお、鉛電池は、PSOC（部分充電）状態で使用すると容量が低下（サルフェーション）するという欠点があり、定期的に満充電状態にして容量を回復させる必要がある。負荷平準化の用途では問題はないが、変動補償用として使用する場合は注意が必要である。また、実使用時における充放電効率は、80%程度である。住宅用や比較的小規模の電力貯蔵用への実用化が期待できる。

1.2 NAS電池：主に夜間電力貯蔵による負荷平準化を目的として開発された蓄電池で、他の蓄電池と異なり大容量を得意としている。最近では、負荷平準化機能に加えて瞬時電圧低下補償機能を有するシステムにも採用され、実用化されている。

この電池は活物質を溶融状態にするため、約300℃の高温で動作するという特徴があり、充放電時の損失によって高温状態を維持するが、これを補うために電気ヒータを内蔵している。したがって、充放電が比較的少ない用途では、電気ヒータによる損失が生じる。性能・コスト面では、鉛電池の約3倍のエネルギー密度を有しており、Whあたりのコストは鉛電池と同等あるいはそれ

以下となる。また、寿命は2,500サイクル以上が達成されている。太陽光発電を電源として充放電を行う場合の補機電力も加味した充放電効率のより一層の向上が望まれる。

1.3 リチウムイオン電池：1991年に実用化された蓄電池で、エネルギー密度が高く小型化が容易なことから携帯電話やノートパソコン、デジタルカメラなどコンシューマ機器用の電池として急速に普及した。同時に、NEDOのプロジェクトにより家庭用負荷平準化用と電気自動車用としての技術開発が進められ、大容量化とニッケル水素電池の約2倍の高エネルギー密度が達成された。近年、その成果を生かして産業用や電気自動車用のリチウムイオン電池が実用化され、本年にはこの電池を搭載した電気自動車の市販が予定されている。実用化されたリチウムイオン電池の充放電効率は95%以上に達し、充放電にともなうエネルギーのロスがほとんどないため、電力貯蔵用としても優れた特性をもっているが、まだ電力貯蔵用として使用されたケースは実証試験レベルにとどまっている。

リチウムイオン電池の課題は大容量化と低コスト化である。試作レベルでは数百Ah程度の電池も開発されているが、安全性・信頼性の面で改善すべき点が残されている。また、材料であるリチウムが比較的高価であることから低コスト化が難しい。現状レベルでは電気自動車が普及し大量生産が可能になったとしても鉛電池やNAS電池に比べると高コストであり、低コスト化のためには革新的な技術開発が必要である。

1.4 ニッケル水素電池：ニッケルカドミウム電池の代替となる小型のコンシューマ機器用電池として市場に投入され、最近ではハイブリッド自動車用としての地位を固めた。性能・コスト面ともに鉛電池とリチウムイオン電池の中間に位置しており、経済的で取り扱いが容易な蓄電池である。電力貯蔵用としては、近年、積層構造を有する大容量品が開発され、太陽光発電や風力発電の変動補償用として採用されているが、実績はこれからであり、今後の動向が注目される。充放電効率は、鉛電池と同程度であり、リチウムイオン電池よりは劣る。

2. 蓄電池の用途と設置場所

電力貯蔵用蓄電池の用途として、従来からの負荷平準化のほか、太陽光発電システムや風力発電システム等の出力変動補償、比較的長時間の需給調整などがあげられる。またその際の設置場所として、電力会社の変電所等に設置する場合や民間の事業所、あるいは一般家庭に設置する場合などがある。

電力会社の変電所や民間の事業所に設置する場合の容量としてはMWhオーダーになると考えられるので、現状では鉛電池やNAS電池が適しているが、将来はニッケル水素電池やリチウムイオン電池も期待されている。また、一般家庭に設置する場合は、現状では鉛電池が使用されているが、小型化のニーズが強く、将来はリチウムイオン電池が主流になるものと考えられる。

3. 電気自動車との連携

電気自動車の普及が目前に迫り、電気自動車の蓄電池（リチウムイオン電池）を電力網に取り込んで運用するという思想も現実味を帯びてきた。本来、電気自動車は夜間に充電するケースが多く、その普及は負荷平準化に寄与するが、昼間に太陽光発電の発電電力を充電して逆潮流を抑制することも可能である。また、充電器を双方向化することにより、発電出力の変動補償をおこなうこともできるが、電気自動車とのやりとりが複雑となり、電池寿命にも影響を与えるため、実現には幅広い検討が必要である。

あとがき

太陽光発電ロードマップ（PV2030）は、2004年に策定され、これまで我が国の太陽光発電に関する技術開発指針として広く利用されてきた。

本稿を纏める時点では策定後5年が経過したが、この間、エネルギー資源問題や地球温暖化に対応できる技術として太陽光発電への期待は大きく拡大し、市場はグローバルな発展を遂げている。しかし、海外諸国の急速な発展に伴い我が国産業の地位は相対的に低下しつつある。

今回の見直しでは過去4年間の状況変化を踏まえ、「太陽光発電が2030年までに主要なエネルギー技術の1つに認知される」状況から「2050年までには1次エネルギー需要の5～10%を賄う」状況へと発展することを想定し、検討対象期間を2050年まで拡大して、太陽光発電の更なる利用拡大と我が国産業の国際競争力強化のための技術開発方向について検討した。

ここでは、太陽光発電の利用拡大に対し、経済面ではGrid Parityを段階的に発展させるとともに、利用面では太陽光発電の周囲にある産業や社会システム（利用環境）との調和も考慮して解決すべき課題とアプローチについて検討し、当面の取り組みの方向を示した。また、先端技術の開発と途上国への技術支援を主体とする国際競争力確保に向けた方策についても検討した。

他方、最近、政府は環境問題やエネルギー問題の顕在化に対応して、太陽光発電に対して種々の導入促進施策を計画・実施しつつある。太陽光発電ロードマップ（PV2030+）は、これらの政策立案や実現に向けた施策検討に対して基礎情報を与えるとともに、その実現に向けて技術開発面からのサポートを行うものである。本ロードマップが我が国の太陽光発電の発展に大きく貢献できることを期待したい。

本報告書を纏めている時点で、政府から日本型FIT制度とも言うべき住宅向けの導入補助が開始されると発表され、我が国の太陽光発電が大きく発展することへの期待が膨らんでいる。しかしながら、このような局面においてこそ、基盤を整え、技術を高め、人材を育て、明日の発展に備える地道で継続した努力が望まれる。

なお、本ロードマップは、今回を第1次の見直しとして捉え、今後も国内外の最新の技術動向・開発動向等を踏まえ適切に見直し、その結果を以降の技術開発に反映させていくことが必要である。

太陽光発電ロードマップ（PV2030+）報告書

目 次

(ページ)

Ⅲ 資 料

<資料>

資料1：2030年に向けた太陽光発電ロードマップ（PV2030）の概要……………	100
資料2：ロードマップ(PV2030) 策定後の太陽光発電（産業技術）の変化 ……	103
資料3：NEDOの太陽光発電技術開発の概要……………	105
資料4：海外における技術開発状況……………	109
資料5：国内の太陽光発電設置分野と設置可能量の見積もり……………	115
資料6：普及拡大に向けた課題のリストアップ……………	117
資料7：Grid Parityに向けた技術開発の方向性……………	120

(資料 1)

2030 年に向けた太陽光発電ロードマップ (PV2030) の概要

——「制約のない太陽光発電の利用拡大」を目指して——

1. 長期的技術開発戦略としてのロードマップ策定

太陽光発電に関する技術開発がスタートしてから 30 年が経過した。これまでの技術開発は、シーズ先行・可能性追求型の短期開発計画を 4、5 年ごとに更新することで進められ、2005 年度にはすべての開発プロジェクトが終了する予定である。これらの開発技術により、当初の目標であった初期マーケットが形成されるとともに、我が国は世界最大の太陽電池生産・利用国になった。

一方、国内外で顕在化しつつあるエネルギー資源問題や地球環境問題に対応して太陽光発電の重要性は増しており、太陽光発電の利用拡大とエネルギー供給技術としての地位確立を目指したさらなる努力が必要になっている。欧米では、我が国を意識した技術開発戦略が策定されるとともにアジアの諸国の台頭も著しく、技術的優位性に基づく国際的な産業競争力の維持・確保の技術開発戦略が不可欠となっている。

ここでは従来の“シーズ先行型技術開発”から“市場対応型技術開発”に転換し、エネルギー供給技術としての利用拡大に向けた太陽光発電の目指す姿を想定し、これを実現するために必要となる技術開発戦略「太陽光発電ロードマップ (PV2030)」を 2030 年までの長期的視点に立って策定した。本ロードマップの検討・策定は産学官、各分野の有識者で構成する検討委員会 (6 回開催) を設置して行った。

2. 2030 年に向けた太陽光発電の目指す姿

今後 2030 年までの期間は太陽光発電の本格的な市場形成期であり、太陽光発電がその利用拡大により、エネルギー資源問題や地球環境問題に対応した主要エネルギー源の一つとなるための認知と信頼獲得の期間と位置づけられる。図 1 に示すように、ここでは以下の技術的課題を解決することで「太陽光発電の制約のない利用拡大」を実現し、2030 年までに累積導入量 100GW 程度、発電量として家庭用電力の 1/2 程度 (全電力の 10%程度) が太陽光発電で賄えることを想定した。

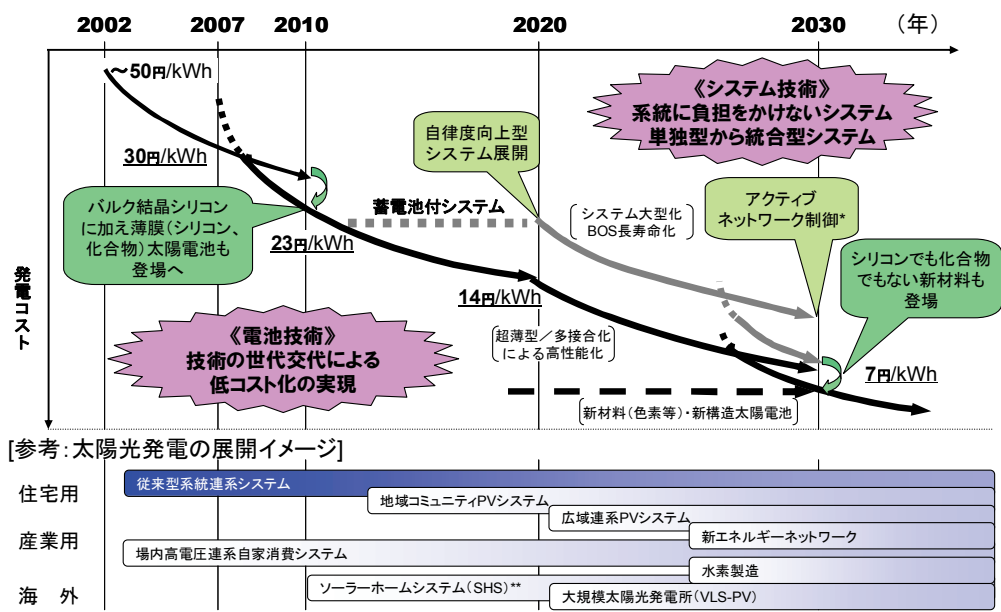


図 1 太陽光発電の経済性改善シナリオ

(* アクティブネットワーク制御：パワーエレクトロニクス技術を使用する電力ネットワーク制御、

** ソーラー・ホーム・システム：途上国の無電化地域向け小規模住宅用システム)

① 経済性の改善：

2030年頃までに汎用電力並みの発電コストレベル（7円/kWh程度）を達成し、経済性の面で他のエネルギーとの競合を可能とする。

② 太陽光発電の適用性拡大：

太陽光発電の利用形態を、“従来からの系統連系”から“電力系統に過度の負担をかけない新しいシステム形態”に転換させるとともに、用途・利用形態に応じたシステムを開発し広範な場所・状況での利用を実現する。

また、産業面では、上記の技術開発に基づく技術的な優位性により、国際競争力を維持・確保する。

3. 技術開発の課題と目標

経済性改善では、目標達成へのマイルストーンとして、2010年には従量電灯電力料金並み（23円/kWh程度）、2020年には業務用電力料金並み（14円/kWh程度）、2030年には汎用電力並み（7円/kWh程度）の発電コストを設定した。ここでは太陽電池の高性能化、製造プロセスの革新によるモジュールの低コスト化やシステム周辺機器・設置工事などの低コスト化、並びにモジュールを含むシステム機器の耐久性向上（長寿命化）などが重要で、表1のような目標を設定した。この中で最重要課題はモジュール製造コスト低減で、2030年50円/W以下を目指した現状技術の延長線上にない技術革新や性能向上、新しいコンセプトの太陽電池開発などが必要である。

表1 2030年に向けた個別技術課題の開発目標 太陽電池モジュール変換効率目標（%）

項目	開発目標（達成年）	太陽電池の種類	2010年	2020年	2030年
モジュール製造コスト低減	100円/W（2010年）、 75円/W（2020年）、 <50円/W（2030年）	多結晶シリコン太陽電池	16（20）	19（25）	22（25）
モジュール高性能化		薄膜シリコン太陽電池	12（15）	14（18）	18（20）
モジュール耐久性向上	寿命30年（2020年）	CIS系太陽電池	13（19）	18（25）	22（25）
原料需給の安定化	シリコン原単位：1g/W （2030年）	超高効率太陽電池	28（40）	35（45）	40（50）
インバータ	15,000円/kW（2020年）	色素増感太陽電池	6（10）	10（15）	15（18）
蓄電装置	10円/Wh（2020年）				

（かつこ内は太陽電池セルの変換効率目標）

“電力系統へ過度の負担をかけない新しいシステム形態”への転換では、蓄電機能を付加した自律度向上型システム技術の確立、多機能化されたインバータを利用したアクティブネットワーク制御技術の開発などによる地域コミュニティPVシステムや他の新エネルギーと連系した地域／広域エネルギーネットワークシステムの形成、水素と組み合わせた新規大規模エネルギーシステムの構築が必要である。また、多様な用途・設置場所・利用形態に対応するためのモジュールの多様化（軽量、フレキシブル、両面受光、インバータ内蔵など）、多機能化（遮音性、断熱性、防眩性等のユーザーインセンティブ高揚のための機能付加）、建材・部材との一体化等の付加価値増加に向けた技術開発も必要である。

上記の他に太陽光発電の持続的な発展を確保するには、高純度原料シリコン安定供給技術をはじめとする周辺産業に対する大量生産技術開発、太陽光発電システム性能評価技術・発電量予測技術・リサイクル技術などの基盤技術の開発も重要である。

4. 実現に向けた方策

今後の技術開発は、“初期マーケット形成に向けた国主導による技術開発”から“本格的な市場形成に向けた産学官の役割分担による技術開発”に転換し、国の取り組みはエネルギー供給技術として高リスクな技術開発と基盤技術開発に重点を置き、実用に近い部分の技術開発は順次産業界に移していく。

技術開発の実施では、太陽電池の抜本的性能向上やプロセス革新、システム概念の質的転換など、現状技術の延長線上にない技術革新への挑戦が必要で、このための技術開発を表2の開発スキームで行う。ここでは新たに「次世代技術開発」プロジェクトを発足させ、2030年に向けたステップとして、2020年の目標達成に必要な要素技術開発を実施する。

また、現時点では各種の太陽電池について並列的な開発を進め、2009年度にはロードマップの見直しと開発技術の評価を行い、2010年以降の開発について“選択と集中”を図る。

表2 今後の技術開発スキーム

カテゴリ	開発分類	開発スキーム	目標コスト
基盤技術開発 (委託研究)	シーズ探索研究	2030年に向けた太陽光発電の技術革新に対するブレークスルーを得るための探索研究	50 円/W
	次世代技術開発	2030年へのステップとして、2020年目標(発電コスト14 円/kWh程度)に向けた要素技術開発	75 円/W
	共通基盤技術開発	太陽光発電全体に必要な、あるいは整備すべき公共性の高い技術研究開発	—
実用化技術開発 (費用分担)		開発技術の事業化、実用化のための工業化技術開発、新しい太陽光発電システムの実証試験など	100 円/W

5. 2010年までの技術開発

2010年までの技術開発では、① 2010年の導入目標達成に向けた技術開発(短期的課題)と② 2010年以降の発展に向けた開発(中長期的課題)の2つが技術開発戦略の柱となる。

①では、現在の技術開発とその実用化を中心とし、現行の薄膜シリコン太陽電池及びCIS系薄膜太陽電池の要素技術開発を2005年までに完了させ、早期実用化を図ることでモジュール製造コスト100 円/Wを達成する。また、太陽電池性能評価技術、発電量予測技術、リサイクル技術などの基盤技術の開発を進めるとともに、高純度原料シリコン安定供給技術やモジュール多様化などの大量生産と利用拡大に向けた実用化技術開発も進める。

②では、2030年へのステップとして2020年の低コスト化目標(発電コスト14 円/kWh程度、モジュール製造コスト75 円/W)を目指した次世代技術開発と長期的視野でのシーズ探索研究を行う。次世代技術開発では、これまでの探索研究成果などに基づき開発アプローチ等を検討し、その中核となる技術について2010年頃には実用化技術開発への移行を目指した技術開発を実施する。また、上記の次世代技術開発プロジェクトの対象とならない技術等に関して長期視野での継続的なシーズ探索研究を行う。

(ロードマップの見直し)

本ロードマップは、国内外の技術開発動向や社会情勢の変化に対応して適宜見直し、その結果を以降の技術開発に反映させていくべきものであり、ここでは2009年度をその最初の機会とした。

(資料2) ロードマップ(PV2030)策定後の太陽光発電(産業技術)の変化

(出典: (株)資源総合システム資料)

太陽光発電産業/市場の現状と策定後の変化

主な変化: 生産量の大幅な拡大、フィードインタリフ(FIT)制度の導入と市場牽引者の交替(日本→欧州)、新興国の台頭(中国・台湾等)、原料シリコンの供給不足と価格高騰によるコストダウンと生産量の抑制、薄膜系太陽電池(Si, CIS, CdTe)の実用化、多数の企業・ベンチャーの参入

項目	2003年度の状況	2007年度の状況
世界生産量 (日本)	744MW (364MW、49%)	3,733MW (920MW、25%)
結晶Si (単/多)	693MW (230MW/463MW)	3,305MW (1,355MW/1,950MW)
薄膜 (シリコン及びその他)	50MW (7%)	427MW (11%)
生産メーカー数 (大手10社生産量、シェア%)	36社 (881MW、74%)	45社 (2,398MW、64.2%)
生産能力MW/年 (日本)	1,280MW/年 (520MW/年)	7,093MW/年 (1,555MW/年)
生産能力MW/年 (日/米/欧/他)	520/299/367/95	1,555/433/2,042/3,063
内、薄膜生産能力 (日本)	98MW/年 (48MW/年)	776MW (189MW)
最大工場と規模	シャープ248MW/年	シャープ710MW/年
日本の産業規模	1858億円	3867億円
国内向け/海外輸出	213MW /154MW	216MW/634MW
シリコン供給	半導体からのスクラップ	太陽電池向け生産に転換
シリコン価格 (ドル/kg)	30~40	50~100

結晶シリコン太陽電池の産業と技術の状況

(出典: (株)資源総合システム資料)

トピックス: 生産技術が確立した。シリコンの供給が需要増により逼迫したため、将来にわたり安定供給が必要。

項目	2003年度の状況	2007年度の状況
生産量 (世界/国内)	693MW/364MW	3,305MW/833MW
単結晶/多結晶の比率	230MW/463MW	1,355MW/1,950MW
最大生産企業と生産量、生産能力	シャープ、197MW、248MW/年	Q-Cells、389MW、420MW/年 (参考: シャープ710MW/年)
シリコンの原単位、消費量	~13g/W、8,800トン/年	10g/W、27,600トン/年
c-Siセル最高性能/量産性能	21.3%/13~16%	22.3%/14~17.0% (モジュール)
mc-Siセル性能/量産性能	17.7%/13~14%	18.6% /14~15.5% (モジュール)
インゴット重量 (多結晶) /基板厚	240kg/300 μm	400kg/~180 μm
基板サイズ (単結晶/多結晶)	10×10 cm/15×15 cm	12.5×12.5 cm/15.5×15.5 cm
セル技術	テクスチャー、AR、pn接合、BSF、印刷電極、SiN/パッシベーション等	(追加) RE、SiN/パッシベーション、ヘテロ接合、片面電極配線、RTP
低コストシリコン製造技術	基礎技術の開発は完了。各技術の実用化への挑戦 (低品位原料の評価が課題)	
単結晶インゴット製造技術	基本技術は完成 (LSI)、生産性向上と低コスト化が課題	
多結晶インゴット製造技術	基本技術は完成 (高品質化が課題)	
スライス技術	MWS (安価、極薄化への最大の問題)、100/140 μmが限界か? 新技術開発へ	
光閉じ込め技術	多結晶中心にRE技術、その他の新技術挑戦と実用化、新AR膜 (積層膜)	
光閉じ込め (裏面反射) 技術	基板薄型化に対応して検討が進む	
接合形成技術	ヘテロ接合、ポイントコンタクト、裏面接合セルの高性能セルの実用化 (>22%)	
電極形成技術	各種形成技術が検討されている (セル技術のメイン課題) RTPプロセスの実用化	

薄膜シリコン太陽電池の産業と技術の状況

(出典:(株)資源総合システム資料)

アモルファスシリコン太陽電池の量産技術が確立し、フレキシブル太陽電池の量産プラントも稼働。a-Si/ μ c-Si 高効率タンデムセル技術の開発が進み量産工場も稼働し始めた。基板面積は最大1.1m \times 1.4mで、 μ c-Siでは製膜速度2.5nm/s程度で実用化段階に。変換効率は量産モジュールでは10%程度。アモルファスシリコンでは5m 2 以上の大面積も実用化が検討されている。既存技術を用いたターンキーでの設備供給が始まった。

項目	2003年度の状況	2007年度の状況
生産量 (世界/国内)	44MW/23MW	168MW/84MW
国内生産量 (単接合/多接合)	23MW/0MW	不明
生産能力 (国内/米国/欧州/他)	45/30/8/0MW/年	141/121/60/32MW/年
最大生産企業と生産量、能力	カネカ、14MW、20MW/年	Uni-Solar 48MW、118MW/年
基板サイズ	1.1 \times 1.4m 2	1.1 \times 1.4m 2 (開発5.7m 2)
a-Siセル最高性能/量産性能	14.3%/5~6% (モジュール)	14.3%/6~8% (モジュール)
タンデムセル性能/量産性能	未実用、12% (試作モジュール)	15.0%/10~12% (モジュール)
技術	RFプラズマCVD、スーパーストレート型、a-Siセル、インライン式	VHFプラズマCVD、最高2.5nm/s高速製膜、a-Si、a-Si/ μ c-Siタンデム
a-Siの光劣化低減状況	原因の解明は進むが未解決 (膜厚の低減、製膜速度の抑制、製膜条件最適化)	
透明導電膜の改善	TCO、テクスチャー形成、コスト低減が課題 (セル構造との最適化が必須)	
光吸収材料 (バンドギャップ制御)	微結晶シリコンはほぼ確立、ナローギャップ材料・ワイドギャップ材料が主な課題	
多接合化	2接合が実用化、将来的には3接合へ	
トンネル接合技術	各セルの接合界面のnp ν 逆接合の最適化技術が必要	
生産性向上	高速製膜一大面積化、多数枚同時製膜法	
フレキシブル化	実用化中	

CIS系太陽電池の産業と技術の状況

(出典:(株)資源総合システム資料)

CIS系太陽電池: 研究開発成果に基づき量産工場の建設・実用化が進む。(国内はセレン化法、ドイツでは多元蒸着法、サルファーセルなども)。モジュール性能: 量産性能は11%程度、更なる高性能化に向けてワイドギャップ領域での新材料の開発とセル技術、フレキシブルセル化などの技術の開発が進む。印刷法などの安価プロセスは特に米国で開発が進み実用化目前と言われる。米国を中心にFirst SolarがCdTe薄膜太陽電池を大きく発展させている。

項目	2003年度の状況	2007年の状況
CIS系 生産量 (世界/国内)	4MW/0MW	40MW/3MW
生産能力 (国内/米国/欧州/他)	2.8/9/0/0MW/年	47.5/135/(238)/0 MW/年
最大企業と生産量、生産能力	Solar World、2MW、2MW/年	GlobalSolar、4MW、4MW/年
セル最高性能/量産性能	19.5 / 10.3% (試作)	CIS (20.0%) / 11~13% (モジュール)
基板サイズ	40cm \times 100cm	60cm \times 90cm
技術	セレン化法、多元蒸着法	セレン化法、多元蒸着法、Cdフリー
参考: CdTe生産量 (世界/国内)	3MW/0	First Solar 219MW/0
技術	セレン化法と多元蒸着法1.1eVレベルで実用化	
課題	量産高性能化	小面積20.0%、だが量産性能は13%台になる。性能の均一化が重要。研究14%レベル
	大面積化、高品質化	セレン化法ではSeの供給法、Se化処理の改善、硫化処理技術
	フレキシブル化	CIS膜の低温形成技術、金属基板の選択
	高性能化、多接合セル	ワイドギャップ材料開発、セル構造形成技術
	安価プロセス	非真空、印刷技術などの各種安価プロセス

その他の太陽電池、システム利用技術の状況

<その他の太陽電池の状況>

- III-V系の集光型太陽電池はセル変換効率39%(500倍)を実現し、システム効率でも25%以上が得られるなど、技術開発段階からコストダウンを含めた実用化段階に移行し、米国などで大規模な実証も進んでいる。
- 色素増感太陽電池では大面積モジュールの開発も進んでいるがセル性能が11%レベルで、モジュール構造を形成したセルで8.6%が報告されている。しかし耐久性や大面積化、再現性など解決すべき課題は多く電力用途での実用化には距離がある。
- 有機薄膜太陽電池では研究開発に大きな進展があり、変換効率も研究室レベルで6%程度の性能が報告されるなど、本格的な要素技術開発への発展に向けた可能性が示された。
- この4年間には太陽電池の変換効率を抜本的に向上させる試みもなされており、欧米では量子効果型などの新たなコンセプトに基づく太陽電池の探索が進められている。これに対して我が国では、2008年度から変換効率40%に向けたシーズ探索研究がNEDO技術開発機構の革新太陽電池技術研究開発プロジェクトとして発足している。ここでは4～5接合の多接合型や量子ナノ構造などの革新的な材料・構造等の開発を目指している。

<システム利用技術の状況>

- ロードマップ(PV2030)策定時は住宅用の系統連系型太陽光発電システムが主たる利用形態で、技術の方向性として2020年頃までには電力貯蔵機能を付帯した低コストシステムが開発と自律度向上型の系統連系システムへの進展が必要とされた。
- システムの利用に関するここ4年間の主な変化は欧州を中心に太陽光発電の数MW規模の大規模発電所が建設され、これに対するシステムの設置・施工技術の簡素化・低コスト化が進められ、我が国でも北杜市・稚内市で大規模システムの系統への連系技術の実証試験の実施されている。
- 電力系統との連系技術についても分散電源の集中的な系統連系での協調運転などの課題について太田市の実証実験が進められるとともに、広域分散型電源としての調査も行われている。
- 蓄電技術では、電気自動車などの技術開発と関連した蓄電池の低コスト化・長寿命化、高性能化などの技術開発プロジェクトがスタートしている。

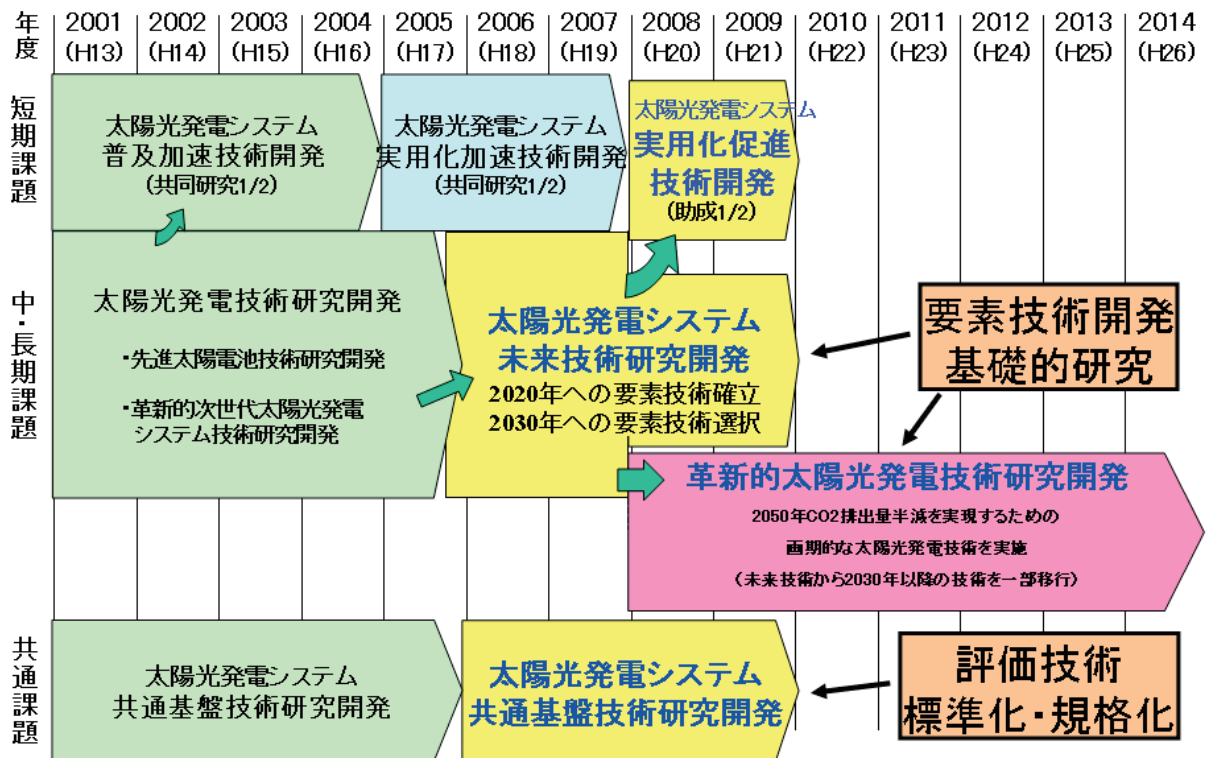
<その他>

- 太陽電池性能の基準評価技術に加えて発電量評価技術の開発が進められており、国際的な規格化への動きも進んでいる。

(資料3) NEDOの太陽光発電技術開発の概要

- わが国の太陽光発電技術開発は1974年のサンシャイン計画に端を発し、既に40年を経過した。現在までに結晶シリコン太陽電池など多くの技術が実用の段階にある。
- ロードマップ(PV2030)策定後も継続した技術開発プロジェクトが実施されている。
- 太陽電池モジュール製造技術に関して、結晶シリコン太陽電池は2004年までに140円/M²のモジュール製造技術が、また2005年に終了した先進太陽電池技術開発プロジェクトでは薄膜シリコン太陽電池、CIS系太陽電池、超高効率太陽電池について、モジュール製造コスト100円/M²の技術が開発され、量産化に向けた技術開発/改善(これに対する支援は「太陽光発電システム実用化促進技術開発」で行われている)など経て順次工業生産に適用されつつある。
- ロードマップ(PV2030)に基づく2010年以降の低コスト化に向けた技術開発は「革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発」においてブレークスルーの探索を行い、その成果に基づき2006年から「太陽光発電システム未来技術研究開発」で各種太陽電池の要素技術開発が進められている。2008年にはその一部が実用化を目指して量産化技術の開発に移行している。
- 2008年度からは変換効率40%を目指した技術探索プロジェクトが3機関で発足した。
- 基盤技術に関して、モジュール性能評価技術、発電量評価技術などの技術開発が進められている。
- その他の技術では、原料シリコン製造技術では基礎技術開発は終了しており、量産化技術の開発と実用化が進められている。

太陽光発電関係の研究開発の流れ



太陽光発電システム実用化促進技術開発

～市場競争力を備えた本格生産・商用化を目指す～

背景

環境に適合したエネルギー需給構造を実現するため、新エネルギーの普及拡大が求められているが、現時点では、更なる低コスト化、性能向上等の課題を解決する必要がある。

事業の目的・内容

【目的】長期的にエネルギーの一翼を担える発展を可能とすべく、実用化が期待できる技術を助成し、我が国の技術優位を維持する。
 【期間】平成20～21年度
 【内容】2020年の発電コスト14円/kWhおよび太陽光発電システムの大幅な効率向上を実現すべく、早期実用化が期待できる技術を負担率1/2で助成し、2015年に向けて市場競争力を備えた本格生産・商用化を目指す。

助成事業

テーマ名	実施中の技術開発
①薄膜シリコンフィルム基板太陽電池の開発	・微結晶シリコン太陽電池のフィルム基板上への高速製膜技術開発および大面積フィルム基板上への製膜技術開発
②マルチワイヤーソー方式による超薄型ウェハー製造技術の産業技術開発	・多結晶シリコンインゴットの極薄スライス技術開発および、歩留まり向上 (厚さ100 μm, カーブロス150 μmレベル)
③薄膜型太陽電池の大面積・安定製膜技術の検証による生産性向上	・薄膜シリコン太陽電池製膜装置の改良による低コスト化技術開発および大面積基板上への高速製膜技術開発
④CIS系薄膜太陽電池の高効率化のためのプロセス最適化技術開発	・CIS系薄膜太陽電池の作製プロセスの高度化と最適化および大面積化

太陽光発電システム未来技術研究開発 (H18～21)

背景・目的

PV2030 に沿った中・長期視野の技術開発

- 2020年における発電コスト目標 14円/kWhの実現に必要な要素技術の開発
- 2030年における発電コスト目標 7円/kWhの実現に資する要素技術の選択

ブレークスルーのポイント：

- 「従来技術の延長線上にない新たな技術革新」への挑戦
- 新しいコンセプトの太陽電池等、更なる技術革新に向けた技術シーズの探索・導入。

Key words

- 非シリコン
- 省シリコン
- 新材料
- 新概念

研究開発項目

1. CIS系薄膜太陽電池
高効率（変換効率18%）サブモジュール（10 cm角程度）の実現、軽量基板上形成技術の開発
2. 薄膜シリコン太陽電池
高生産性モジュール製造要素技術の開発、高効率化（面積1000 cm²のモジュールで安定化 効率15%）
3. 次世代超薄型シリコン太陽電池
厚さ100 μmのシリコン基板のスライス技術、超薄型セル（単結晶 21%、多結晶18%）
4. 色素増感太陽電池
変換効率8%の長寿命モジュールの開発、高効率セル（1 cm²で変換効率15%）実現
5. 有機薄膜太陽電池
変換効率7%のセル（1 cm²）の実現、耐久性の向上
6. 次世代技術の探索
超高効率・新概念太陽電池、非真空プロセス技術 等

太陽光発電システム共通基盤技術研究開発 (H18～21)

太陽光発電の大量普及段階への発展・拡大とエネルギー・環境・資源面の期待に答えるべく、《太陽光発電の導入密度増大面的展開》に対応し《利用者の視点で》《産業としての国際競争力の維持・確保》を視野に入れ、かつ《エネルギー・環境問題に対応》した基盤技術の整備を行なう。

研究開発の
ポイント

- 新たな太陽電池やシステムに対応した基盤技術の整備性能評価技術、発電量最大化技術等
- 市場及び用途拡大に対応した基盤技術の整備多様化する利用環境、周辺技術との調和融合等
- エネルギー、環境に対応した基盤技術の整備[3 R的発想への対応技術]

開発対象課題

(1) 新太陽電池性能評価技術の開発

- 太陽電池評価技術
- 発電量評価技術
- 信頼性評価技術

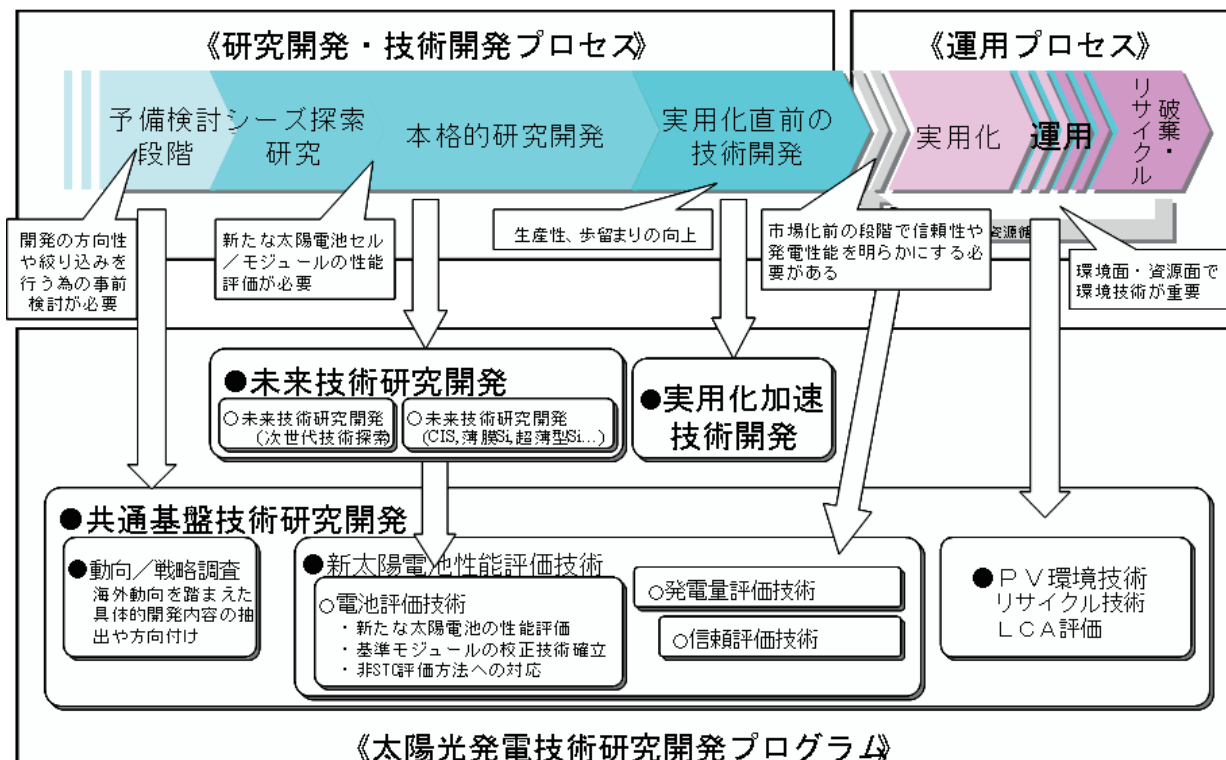
(2) PV環境技術の開発（LCA評価等）

(3) 太陽光発電技術開発動向調査等（含IEA PVPS活動）

系統連系技術プロジェクト



太陽光発電の開発から実用の流れ



(資料4)

海外における技術開発状況

世界の太陽光発電技術研究開発の概要

(出典: (株)資源総合システム資料)

	日本	アメリカ	ヨーロッパ
主要な研究開発分野(相互比較)	薄膜Si、CIGS、色素増感型、評価技術、標準化、系統連系技術	結晶Si、薄膜Si、CdTe、CIGS、集光型、有機系、新概念、インバータ、リサイクル、システム利用技術、標準化	結晶Si、薄膜Si、CIGS、集光型、色素増感型、有機系、新概念、BIPV、リサイクル、システム利用技術、評価技術、標準化
研究開発目標	(2030年) ・モジュール変換効率: 結晶Si 22%、薄膜 15~22%、 超高効率 40% ・シリコン消費原単位: 1g/W ・寿命: 30年 (2020年)	(参考) (2020年)(→2015年に前倒し) ・モジュール変換効率: 結晶Si 20%、薄膜 18%	(2030年) ・モジュール変換効率: 平板型 25%、集光型 40% ・エネルギー回収期間: 0.5年 (2050年以降) ・モジュール変換効率: 平板型 40%、集光型 60% ・エネルギー回収期間: 0.25年
コスト目標	(2010年) 23円/kWh、100円/W (2020年) 14円/kWh、75円/W (2030年) <7円/kWh、<50円/W	(2010年) 9~18セント/kWh (2015年) 5~10セント/kWh (参考: 90セント/W (2020年) (→2015年に前倒し))	(2015年) 15ユーロセント/kWh、2.5ユーロ/W (2030年) 6ユーロセント/kWh、1ユーロ/W (2050年以降) 3ユーロセント/kWh、0.5ユーロ/W

<海外における技術開発状況>


各国の太陽光発電研究開発の特徴

(出典: (株)資源総合システム資料)

	研究開発テーマ	研究開発体制	国際連携	ロードマップ
アメリカ	・結晶Si、薄膜Si、CdTe、CIGS、集光型、多接合型、有機系、新概念、インバータ、リサイクル、システム利用技術、標準化	・米国エネルギー省(DOE)エネルギー効率化・再生可能エネルギー局(EERE)直轄による「ソーラー・アメリカ計画(SAI)」 ・コンソーシアム、単独プロジェクトなど様々な形態	・アジア・中南米地域を中心とした技術協力を継続実施	・米国太陽エネルギー工業会(SEIA): 産業ビジョン(2004年) ・国立太陽光発電センター(NCPV): 太陽電池技術ロードマップ(2007年)
ヨーロッパ	・結晶Si、薄膜Si、CIGS、集光型、多接合型、色素増感型、有機系、新概念、BIPV、リサイクル、システム利用技術、評価技術、標準化	・欧州委員会(EC)研究開発総局(DG RTD)及び運輸・エネルギー総局(DG TREN)の共同による「枠組みプログラム(FP)」 ・コンソーシアム形式 ・各国政府によるプロジェクトも並行して実施	・ヨーロッパ域内での相互協力がますます活発化 ・旧宗主国として、新興市場に向けた技術協力を継続実施	・欧州太陽光発電工業会(EPIA): 太陽光発電ロードマップ(2004年) ・太陽光発電技術諮問会議(PV TRAC): 太陽光発電産業ビジョン ・欧州太陽光発電技術プラットフォーム(PVTP): 太陽光発電戦略研究開発計画(SRA)ー太陽光発電ロードマップ(2008年)
新興国	・(結晶Si、薄膜Si、CIGS、多接合型、色素増感型、システム利用技術)	・各国政府の研究開発プロジェクトの一環 ・KPVDO(韓国)のように専門機関を組織する例も	・(協力の対象国として)	・中国: 太陽光発電開発ロードマップ(2007年) ・韓国: PVビジョン2012(2006年)
日本	・薄膜Si、CIGS、色素増感型、評価技術、標準化、系統連系技術 ・「革新型太陽光発電技術」	・経済産業省傘下の新エネルギー・産業技術総合開発機構によるプログラム ・一部文部科学省、環境省などで実施	・国際実証事業で短期プロジェクトを実施	・太陽光発電協会(JPEA): 産業ビジョン(2004年) ・NEDO技術開発機構: 太陽光発電ロードマップ「PV2030」(2004年)

太陽光発電技術研究開発施策

(出典：(株)資源総合システム資料)




米国エネルギー省(DOE)によるソーラー・アメリカ計画(SAI)

2015年までに5~10セント/kWhの太陽光発電電力コストを目指し、スケジュールを前倒して積極的な技術開発を実施

- ① テクノロジー・パスウェイ・パートナーシップ(TPP):
太陽光発電コンポーネント・システム設計に関する短期決戦型の大型コンソーシアム(13件)
- ② 太陽電池モジュール・インキュベータ: 中小企業に対する商業化目前の新型太陽電池製造技術開発支援(10件)
- ③ 次世代太陽電池デバイス及びプロセス・プロジェクト:
ナノ構造、多数エキシトン生成、プラズモン、タンデム型などの長期研究開発(25件)

...




欧州委員会(EC)研究開発総局(DG RTD)、運輸・エネルギー総局(DG TREN)による枠組プログラム

戦略的研究計画(SRA)(2007年6月採択):


欧州の太陽光発電産業界が世界でのリーダーシップを発揮するための研究開発戦略ビジョン

- ・2015年までに、システム価格:2.5ユーロ/W、発電コスト:0.15ユーロ/kWh
- ・2030年までに、システム価格:1ユーロ/W、発電コスト:0.06ユーロ/kWh
- ・長期的には、太陽電池モジュールで、システム価格:0.5ユーロ/W、発電コスト:0.03ユーロ/kWhを目指す



イノベーションを重視した研究開発

- ・再生可能エネルギー法施行(2006年1月1日)
- ・第11次5ヶ年計画(2006~2010年)(2006年3月採択)
- ・再生可能エネルギー中長期発展計画(2006年4月採択)・863計画(ハイテク研究発展計画)、973計画(国家重点基礎研究発展計画)



PVビジョン2012

- ・韓国(KPVDO): 太陽光発電研究開発、商業化、広範囲の普及展開シナリオに関する計画「PVビジョン2012」を策定
- ・2012年までに、太陽電池セルコスト1ドル/W、変換効率18%、システム価格4,000ドル/kWh、発電単価0.3ドル/kWhの実現を目標

太陽光発電に関する研究開発の予算

(IEA-VPVSタスク1関連報告書などを基に(株)資源総合システムが作成)

年度	日本	アメリカ	欧州連合(EU)	ドイツ	イタリア	フランス	スイス	イギリス	オーストラリア	韓国
1998	82.4億円	3500万ドル	FP5 (1998~2002年) 1億2000万ユーロ	3426万ユーロ	958万ユーロ	120万ユーロ	930万CHF	150万GBP	165万AUD	28億600万KRW
1999	93.6億円	3500万ドル		2884万ユーロ	516万ユーロ	760万ユーロ	930万CHF	240万GBP	280万AUD	13億7800万KRW
2000	96.1億円	3500万ドル		3682万ユーロ	542万ユーロ	870万ユーロ	1220万CHF	482万GBP	250万AUD	23億2900万KRW
2001	63.6億円	3500万ドル		3138万ユーロ	650万ユーロ	980万ユーロ	1220万CHF	284万GBP	100万AUD	23億1200万KRW
2002	74.0億円	3500万ドル	FP6 (2002~06年) 1億560万ユーロ	2360万ユーロ	500万ユーロ	980万ユーロ	1030万CHF	405万GBP	220万AUD	40億5500万KRW
2003	74.2億円	6570万ドル		2970万ユーロ	480万ユーロ	510万ユーロ	1030万CHF	298万GBP	557万AUD	48億200万KRW
2004	65.4億円	7600万ドル		2450万ユーロ	480万ユーロ	760万ユーロ	1500万CHF	314万GBP	427万AUD	78億6100万KRW
2005	41.0億円	6580万ドル		4200万ユーロ	480万ユーロ	1250万ユーロ	990万CHF	291万GBP	503.4万AUD	60億3500万KRW
2006	31.7億円	8180万ドル	FP7 (2007~13年)	6600万ユーロ	480万ユーロ	2620万ユーロ	1090万CHF	683万GBP	695万AUD	187億8500万KRW
2007	45.8億円	1億3830万ドル		4450万ユーロ	500万ユーロ	900万ユーロ	1355万CHF	758万GBP	738万AUD	171億206万KRW

<海外における技術開発状況>

アメリカの技術開発概要

(出典: (株)資源総合システム資料)

- 政府主導により民間企業が主体となるコンソーシアム形式の技術開発がスタート
米国エネルギー省(DOE)及び国立太陽光発電センター(NCPV)(国立再生可能エネルギー研究所(NREL)及びサンディア国立研究所(SNL)による中核研究開発グループ)による、従来の複数年「太陽光発電プログラム」から、米国エネルギー省(DOE)が直轄する「先端エネルギー計画(AEI)」に基づく「ソーラー・アメリカ計画(SAI)」への移行
- 数年間毎に中間審査を実施、ステージゲート方式でより有望なプロジェクトを継続して支援、2015年のグリッド・パリティ化(～5セント/kWh)の実現を狙う。
- 予算も1億4800万ドル(2007年度要求)へと倍増し、集中的に資金を投入する。
- 「ソーラー・アメリカ計画(SAI)」のプロジェクトは以下のとおり。
 - ①「テクノロジー・パスウェイ・パートナーシップ(TPP)」(システム開発及び製造のための大型コンソーシアム)
 - ②「基礎科学研究開発」(大学による太陽エネルギー基礎研究開発プロジェクト)
 - ③「太陽電池モジュール・インキュベータ」(中小企業革新研究開発＝SBIR方式、ハイリスク・ハイリターン型プロジェクト)
 - ④「次世代太陽電池プロジェクト」(新規デバイス及びプロセスの概念の実証)
 - ⑤「太陽エネルギー系統連系システム」(コンポーネント及びパイロットスケール製造)
 このほか、連動した市場開発プロジェクトとして、
 - ①「市場移転」(産学協力による技術商業化への障壁の低減)
 - ②「ソーラー・アメリカ・ショーケース」(大規模システム導入)
 - ③「ソーラー・アメリカ・シティーズ」(地方自治体普及モデル)——にも取り組んでいる。
- 研究開発ロードマップの策定・見直しも頻繁に実施されており、2004年の太陽エネルギー工業会(SEIA)産業ビジョン策定の後、従来の国家太陽光発電プログラムの短期／長期目標(各年毎に示されたマイルストーン)を踏まえて、SAIにおける各種「太陽電池技術ロードマップ」がNCPVを中心として策定された(2007年)。

<海外における技術開発状況>

ソーラーアメリカ計画(SAI)の概要

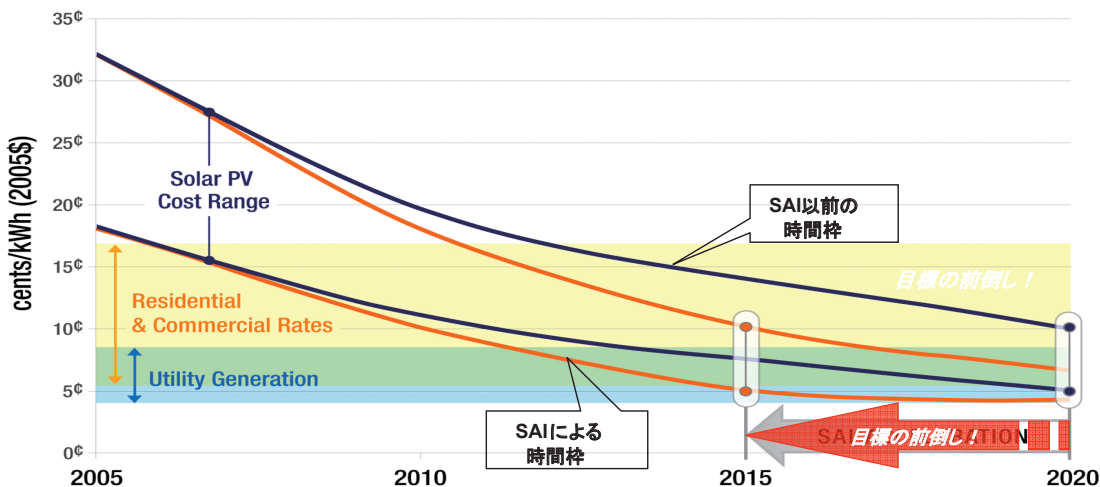
(出典: (株)資源総合システム資料)

使命	2015年までに、クリーンな太陽エネルギー技術の幅広い商業化を推進して国家の電力供給の選択肢として、化石燃料への依存を低減して環境を改善する。
目標	産官学の連携により、2015年までに太陽光発電電力の市場競争力を達成する。 (「5～10セント/kWh」: 従来より目標を5年前倒し。)
方向性	<ul style="list-style-type: none"> ・SAI以前 : ブレークスルーと技術開発の増強によるコスト低減を目標とした太陽光発電研究開発に主眼 ・SAI : 新たな積極的目標と選択により、すぐに上市できる太陽光発電技術を推進するため、産業との協力活動への資金支援に重点。特に、製造・生産に関する研究開発の障壁の除去に注力。
効果	<ul style="list-style-type: none"> ・2015年までに太陽光発電容量を5～10GWに(100万～200万戸の住宅電力需要に相当) ・1000万t/年の二酸化炭素排出の削減 ・太陽光発電産業における30,000人の新規雇用創出
国家予算	1億4800万ドル(2007年度要求)

<海外における技術開発状況>

ソーラー・アメリカ計画(SAI)における太陽光発電コスト目標

(米国エネルギー省(DOE)、国立再生可能エネルギー研究所(NREL)資料を基に(株)資源総合システムが作成)



市場分野	現状の電力価格	太陽光発電コスト		
		2005年 ベンチマーク	2010年目標	2015年目標
住宅用	5.8~16.7セント/kWh	23~32セント/kWh	13~18セント/kWh	8~10セント/kWh
商用	5.4~15.0セント/kWh	16~22セント/kWh	9~12セント/kWh	6~8セント/kWh
電力事業用	4.0~7.6セント/kWh	13~22セント/kWh	10~15セント/kWh	5~7セント/kWh

<海外における技術開発状況>

ヨーロッパにおける技術開発の概要

(出典: (株)資源総合システム資料)

- 欧州委員会(EC)研究開発総局(DG RTD)及び運輸・エネルギー総局(DG TREN)の共同による「枠組みプログラム(FP)」の中で、再生可能エネルギー分野として太陽光発電技術開発プロジェクトを実施、国をまたぐコンソーシアム形式を条件に、マッチング・ファンド方式で支援。
- 第5次(FP5)では実証を含む99プロジェクトが支援されたが、その後の産学界による研究開発・普及促進強化に向けた検討を経て、FP6においては33プロジェクトに絞り込まれた。FP7は公募を継続しており、これまでに7プロジェクトが採択された。
- ヨーロッパ各国に中核となる研究開発組織が存在。各太陽電池、系統連系技術、特性評価、規格・認証などのあらゆる分野で横断的に研究開発を実施。産業との結びつきも強い。
- FP6の中では、「統合プロジェクト」の範疇で、4つの大型コンソーシアムを実施。要素技術だけでなくユーザーを意識したプロジェクト形式を取る。また、FP6の調整活動の一環として、「PV Catapult」プロジェクトが実施され、産学により長期的な太陽光発電研究開発・普及促進のための提言がまとめられた。
 - ①「Crystal Clear」(低コスト・高変換効率・高信頼性の結晶シリコン太陽電池技術)、
 - ②「Fullspectrum」(集光型・第三世代を含む超高効率太陽電池)、
 - ③「ATHLET」(シリコン・化合物半導体による低価格薄膜太陽電池)、
 - ④「PERFORMANCE」(システム性能評価方法の確立)
- また、系統連系技術に関して、
 - ①「EU-DEEP」(分散型電源の大規模導入に向けた障壁の除去)、
 - ②「IRED」(電力系統への再生可能エネルギー電源の導入)
- 2005年には、全ヨーロッパ的な諮問組織として「欧州太陽光発電技術プラットフォーム(PVTP)」が設立された。現在、PVTPの中で「太陽光発電戦略研究開発計画(SRA)」が検討されており、既に2030~2050年に向けた「太陽光発電ロードマップ」が示されている(2008年)。

<海外における技術開発状況>

欧州太陽光発電戦略研究開発計画(SRA)での目標

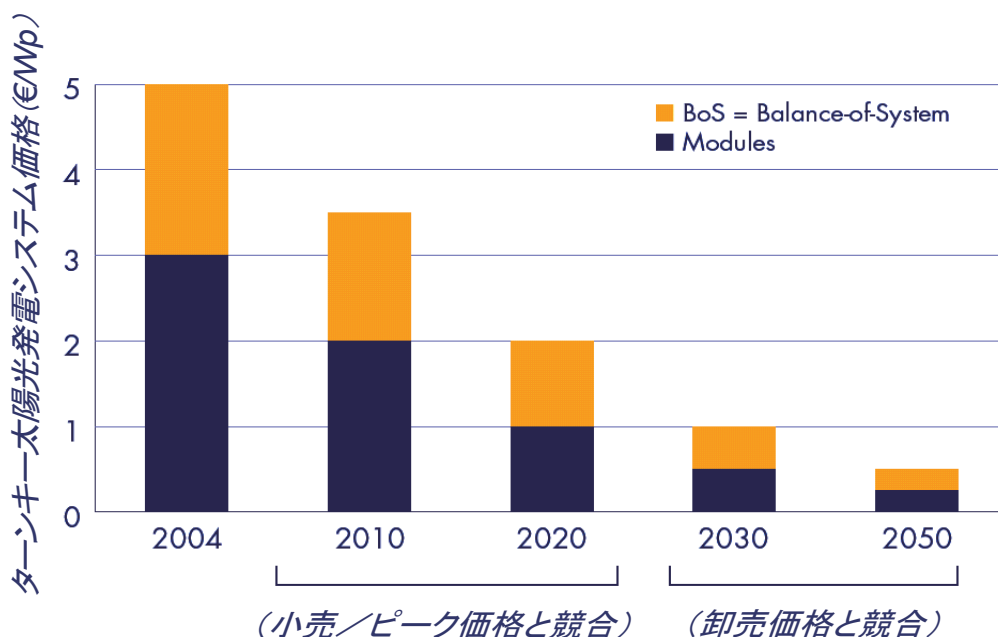
出典: EU PV Technology Platform, "A Strategic Research Agenda for Photovoltaic Solar Energy Technology" (2007年6月)に基づきRTSが作成

	1980年	現在	2015/2020年	2030年	長期可能性
ターンキー太陽光発電システム価格 (€/Wp(2007年)、VAT除く)	>30 €/Wp	5 €/Wp (4~8€/Wp)	2.5/2.0 €/Wp	1 €/Wp	0.5 €/Wp
太陽光発電コスト (€/kWh(2007年)、南欧)	>2 €/kWh	0.30 €/kWh	0.15/0.12 €/kWh (小売価格と競合)	0.06 €/kWh (卸売価格と競合)	0.03 €/kWh
市販平板型太陽電池モジュール変換効率	~8%	~15%	~20%	~25%	~40%
市販集光型太陽電池モジュール変換効率	(~10%)	~25%	~30%	~40%	~60%
システム・エネルギー回収期間(南欧)	>10年	2年	1年	0.5年	0.25年

	短期(2008~13(15)年)	中期(2013~20年)	長期(2020~30+年)
太陽電池モジュール(平板型)	0.8~1.0 €/Wp	0.6~0.75 €/Wp	0.3~0.4 €/Wp
BOSのための指標(屋根置き型システム)	0.9~1.1 €/Wp	0.75~0.9 €/Wp	<0.5 €/Wp
集光型太陽光発電システム(ターンキー)	1.2~1.9 €/Wp	0.8~1.2 €/Wp	0.5~0.8 €/Wp

<海外における技術開発状況>

欧州太陽光発電戦略研究開発計画(SRA)によるロードマップ



出典: Wim Sinke, et al., "The Strategic Research Agenda dedicated to competitiveness of PV technology and the PV industry", EU PV Technology Platform Working Group 3: Science, Technology & Applications, EUPVSEC-22, Milan (2007年9月)、EU PV Technology Platform, "A Strategic Research Agenda for Photovoltaic Solar Energy Technology" (2007年6月)

- 新興国においては、エネルギーや産業を所管する省庁の下、再生可能エネルギーに関する研究開発が実施されている。
 - 中国: 国家発展改革委員会(NDRC)、
 - 韓国: 通商・産業・エネルギー省(MOCIE)、
 - 台湾: 経済部(MOEA)、
 - インド: 新・再生可能エネルギー省(MNRE)など。
- 太陽光発電に特化した研究開発を行うため、韓国・太陽光発電開発機構(KPVDO)のように専門機関を組織する例もある。
 - 公的な研究開発機関が、太陽光発電研究開発を主導。
 - 韓国: エネルギー研究所(KIER)、台湾: 工業技術院(ITRI)－太陽光発電科技中心(PVTC)など。
- 太陽電池デバイス研究開発では、原料からセル、モジュールまで各種太陽電池の研究開発を実施。システム利用分野でも技術開発を実施するが、先進国と比べてもあまり特色はない。
- 太陽光発電システムの導入や産業の発展に関して、各国で太陽光発電ロードマップが策定されている
 - 中国: 太陽光発電開発ロードマップ(2007年)、
 - 韓国: PVビジョン2012(2006年)などがあるが、どこまで実行性があるか不明。

(資料5)

国内の太陽光発電システムの設定分野と設置可能量の見積もり

(1) PV2030で推定する分野別導入量と物理的導入可能量

PV2030:分野別PVシステム導入量の見積

分野	2030年 推定導入量 (MW)				物理的潜在量			物理的導入可能規模 (MW)
	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	施設数・面積	テータ出所	単位導入規模	
住宅	45,290	61,890	75,274					206,956
	37,056	45,410	53,134		25,269,400 (戸)	①	4 (kW/戸)	101,078
	8,234	8,246	13,895		16,599,700 (戸) 1,869,300 (棟)	② ①	3 (kW/戸) 30 (kW/棟)	49,799 56,079
公共施設	3,807	10,430	13,453					13,947
	2,455	7,365	8,838		73,652 (施設)	②	120 (kW/施設)	8,838
	196	294	440		29,350 (施設)	②	15 (kW/施設)	440
	143	538	645		10,751 (施設)	②	60 (kW/施設)	645
	775	1,182	1,743		116,188 (施設)	②	15 (kW/施設)	1,743
	238	1,072	1,787		3,574 (施設)	③	500 (kW/施設)	1,787
	-	-	-		24,693 (施設)	③	20 (kW/施設)	494
工業施設	5,071	10,207	53,072					290,722
	2,890	6,936	38,536		385 (km2)	④	0.2 (kW/m2)	77,071
交通・運輸施設	2,180	3,271	14,536		1,068 (km2)	④	0.2 (kW/m2)	213,651
	0	14,836	16,428					54,540
	0	500	500		10,000 (施設)	(概数)	100 (kW/施設)	1,000
	0	239	265		4 (km2)	②	0.2 (kW/m2)	796
	0	13,426	14,917		224 (km2)	②	0.2 (kW/m2)	44,752
	0	671	746		11 (km2)	②	0.2 (kW/m2)	2,238
	-	-	-		5 (km2)	②	0.2 (kW/m2)	925
	-	-	-		24 (km2)	②	0.2 (kW/m2)	4,830
	0	4,569	8,610					31,996
	0	376	847		56,444 (施設)	③	30 (kW/施設)	1,693
	0	4,192	7,764		116 (km2)	②	0.2 (kW/m2)	23,291
	-	-	-		9 (km2)	②	0.2 (kW/m2)	1,738
	-	-	-		26 (km2)	②	0.2 (kW/m2)	5,273
農業施設	-	-	-		468 (km2)	⑤	0.2 (kW/m2)	95,871
	-	-	-		2,186,828 (施設)	③	1 (kW/施設)	93,684
未利用空間	-	-	-					2,187
	-	-	-		15,002 (km2)	③	0.2 (kW/m2)	7,290,434
	-	-	-		6,711 (km2)	③	0.2 (kW/m2)	3,000,482
	-	-	-		172 (km2)	③	0.2 (kW/m2)	1,342,228
	-	-	-		2 (km2)	③	0.2 (kW/m2)	34,464
	-	-	-		11,547 (km2)	③	0.2 (kW/m2)	394
	-	-	-		139 (km2)	③	0.2 (kW/m2)	2,309,370
-	-	-		2,878 (km2)	③	0.2 (kW/m2)	27,897	
電気事業用 水素製造用	0	0	35,000					575,598
	54,167	101,932	201,838					7,984,467
計								

データ出所: ①住宅・土地統計調査報告、②「非住宅分野における太陽光発電システム技術に関する調査研究」、③「太陽光発電評価に関する調査研究」、④工業統計表(用地・用水編)、⑤農業センサス(2) 前提条件

戸建住宅	ケース1	2020 19,416	既築住宅の1/6に3kW 2011～2020年の新築住宅の25～80%に4kW	2030 37,056	既築住宅の1/3に3kW 2021～2030年の新築住宅の80%に4kW
	ケース2	19,416	同上	45,410	既築住宅の1/3に4kW 2021～2030年の新築住宅の80%に5kW
	ケース3	19,416	同上	53,134	既築住宅の1/3に4kW 2021～2030年の新築住宅の80%に7.5kW
集合住宅	ケース1	2020 1,992	非木造住宅の1/6に10kW/棟(15戸/棟)	2030 8,234	非木造住宅の1/3に20kW/棟(15戸/棟)
	ケース2	3,672	非木造住宅の1/6に10kW/棟(15戸/棟) 2011～2020年の新築非木造住宅の0～40%に2kW/戸	16,480	非木造住宅の1/3に20kW/棟(15戸/棟) 2021～2030年の新築非木造住宅の40～80%に3kW/戸
	ケース3	3,672	同上	22,140	非木造住宅の1/3に30kW/棟(15戸/棟) 2021～2030年の新築非木造住宅の40～80%に3kW/戸 木造住宅の1/3に5kW/棟(5戸/棟)
公共施設	ケース1	2020 1,903	学校施設(73,652施設)の1/3に50kW 文化施設(29,350施設)の1/3に10kW 自治体庁舎(10,751施設)の1/3に20kW 医療・福祉施設(116,188施設)の1/3に10kW 上下水道施設(3,574施設)の1/3に100kW	2030 3,807	学校施設の2/3に50kW 文化施設の2/3に10kW 自治体庁舎の2/3に20kW 医療・福祉施設の2/3に10kW 上下水道施設の2/3に100kW
	ケース2	3,477	学校施設の1/3に100kW 文化施設の1/3に10kW 自治体庁舎の1/3に50kW 医療・福祉施設の1/3に10kW 上下水道施設(1/3に300kW)	10,430	学校施設に100kW 文化施設に10kW 自治体庁舎に50kW 医療・福祉施設に10kW 上下水道施設に300kW
	ケース3	3,477	同上	13,453	学校施設に120kW 文化施設に15kW 自治体庁舎に60kW 医療・福祉施設に15kW 上下水道施設に500kW
大型産業	ケース1	2020 3,017	建築面積(385,355,000m ²)の1/30相当の建屋の屋根・15% 敷地面積(1,453,612,000m ²)の1/10相当の工場において、敷地面積の5%・15%	2030 5,071	建築面積の1/20相当の建屋の屋根・15% 敷地面積の1/5相当の工場において、敷地面積の5%・15%
	ケース2	3,017	同上	10,207	建築面積の1/10相当の建屋の屋根・18% 敷地面積の1/4相当の工場において、敷地面積の5%・18%
	ケース3	3,017	同上	53,072	建築面積の1/2相当の建屋の屋根・20% 敷地面積の5%・20%
道路鉄道	ケース1	2020 0	0	2030 0	0
	ケース2	3,667	駅舎屋根(10,000)の1/6に50kW 法面等(223,760,000m ²)の1/10・15% 遮音壁(2,797,000m:11,188,000m ²)の1/10・15% 鉄道高架橋(1,988.851m:3,977.702m ²)の1/10・15%	14,836	駅舎屋根の1/2に100kW 法面等の1/3・18% 遮音壁の1/3・18% 鉄道高架橋の1/3・18%
	ケース3	3,667	同上	16,428	駅舎屋根の1/2に100kW 法面等の1/3・20% 遮音壁の1/3・20% 鉄道高架橋の1/3・20%
民生業務	ケース1	2020 0	0	2030 0	0
	ケース2	930	事務所ビル屋上(116453489m ²)の1/20・15% ガソリンスタンドの1/3に10kW	4,569	事務所ビル屋上の1/5・18% ガソリンスタンドの1/3に20kW
	ケース3	930	同上	8,610	事務所ビル屋上の1/3・20% ガソリンスタンドの1/2に30kW

(資料6) 普及拡大に向けた課題のリストアップ

○普及拡大に向けた課題

太陽光発電は将来の重要なエネルギー技術として大きな発展が期待されており、経済性の改善を軸にした利用拡大と産業としての国際競争力確保が重要になっている。また、太陽光発電で得られる発電量は日射に依存し変動するため、設備稼働率が低くなるなどの課題もある。このため、これらを補完する利用環境の整備が必要である。2050年に向けた太陽光発電の利用拡大、産業発展、及び国際競争力確保に向けた課題を以下にリストアップしておく。

表1 太陽光発電の経済性改善の課題

課 題	主な取り組み方向
モジュール、部材製造コストの低減	<ul style="list-style-type: none"> ・モジュール／システム機器の高性能、低コスト製造技術の開発と実用化 ・要求品質、形状などの規格化・標準化による量産化コストダウン
設置・販売コストの低減	<ul style="list-style-type: none"> ・用途に適合した最適設計(システム構成の合理化、低コスト化、簡素化) ・システム及び部材の規格化、標準化による設計合理化、工事コストの低減 ・システム設置工事の工事ユニット化、簡素化、規格化、標準化など ・電気事業法や建築基準法等の規制緩和と低コスト設計化 ・用途に応じたモジュールの選択、安価かつ簡易なモジュールの開発 ・流通の合理化、届け出などの簡素化、販売体制の改善・低コスト化
生涯発電量の増大	<ul style="list-style-type: none"> ・太陽光発電システム構成の耐久性向上、長寿命化、(寿命20年→40年へ) ・太陽光発電システムの故障診断とメンテナンス体制確立 ・システム構成・設計の高性能化による発電量ロスの低減
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・付加的効果の増大と太陽光発電経済コストとしての繰入れ ・CO₂削減やエネルギー自給など社会的効果の算定と評価

表2 今後利用すべき太陽光発電の付加価値の例

分 野	付 加 価 値 の 内 容
環境貢献	クリーンイメージ、企業イメージ向上
	CO ₂ 発生量削減効果(=森林植林同等効果、グリーン電力証書)
	都市の熱蓄積の緩和(省エネルギーの副次効果)
省エネルギー、エネルギー効率化	太陽電池モジュールによる断熱効果=エアコン電力の低減
	省エネ意識の高揚
	(電力品質改善/ホームエネルギーシステムなど)
エネルギー安全保障	エネルギー自給率の向上
	防災電源、非常電源への利用
建材・部材としての機能	建材などとの一体化による材料節約
	建材・部材のデザイン性、意匠性、多機能化、防音性

表3 法整備検討の対象に考えられる各種規則などの例

法令等	検討対象	検討すべき内容
工場 立地法	電気事業の 生産設備面積率	太陽光発電の場合でも生産設備面積率20%の適用を緩和 (準備する敷地の削減)
	緑地面積率	PV設置面積を緑地面積に算入(太陽光発電の環境保全効果を評価)
電気 事業法	電圧の維持範囲	101V±6Vの許容範囲を101V±9Vに緩和(電気事業法施行規則44条)
	低圧の上限電圧 (DC750V)	大規模システムではDC1,000V程度まで許容電圧範囲を拡大 (欧州並みの規制へ)
	工事届出	届出対象を特高連系の2,000kW以上に緩和
	点検周期	100kW未満6ヶ月に1回、100kW以上2ヶ月に1回の点検周期を、可動部 が無いので1年程度に延長
	主任技術者	適用対象を小出力20kW未満から太陽光発電では50kW未満に変更 (低圧受電を小出力発電設備へ)
建築 基準法	設計等の基準	モジュール、架台などの風圧荷重の見直し、緑化面積、容積率の緩和 など
消防法	蓄電池設備 安全性	蓄電池設備の4,800Ahセル規制の緩和、鉛電池の9.6kWh(2V/セル) の規制緩和
電力系統	系統連系：単独 運転防止確認	複数個設備連系時の単独運転防止確認の簡素化(連系協議の簡素化)、 部分的集中時の連系台数制限緩和

表4 利用及び用途の拡大に対する課題と対応の方向

課 題	主な取り組み方向
使いやすいエネル ギーへの転換	<ul style="list-style-type: none"> ・系統連系時の電力系統への負担軽減のための対応技術の開発 ・電力系統ネットワーク側での太陽光発電連系対応技術/方策の整備 ・自律度向上型システム技術の開発と実証、地域システムなどの利用形態の導入 ・広域型システムとしての電力需給の平滑化、最適化技術開発と実証
新しい用途開発	<ul style="list-style-type: none"> ・高性能化、発電量予測などを利用した、独立型の利用形態として用途の開発 (電気自動車等(蓄電機能を具備した用途)、農業用、独立型充電用途等) ・市街地、海外、大規模発電所など、用途に応じた多様な技術/製品の確保

表5 基盤整備・環境整備に対する課題と対応の方向

課 題	主な取り組み方向
信頼性の確立	<ul style="list-style-type: none"> ・太陽光発電システムの性能、耐久性、安全性、及び劣化状況などの評価技術確立 ・ユーザーにわかりやすい実用性能表示の構築 ・太陽光発電システムの認証体制の確立と運用の適正化(国際相互認証体制確立) ・国際的な規格制定への我が国としての提案と対応体制の整備 ・品質保証体制、メンテナンス体制、リサイクル体制の確立
社会的インフラの 整備、など	<ul style="list-style-type: none"> ・電力ネットワークとの連系環境の整備 ・設置に関する法規則適正化、設置環境整備(電気事業法、農地法、建築基準法など) ・環境評価など(LCA分析)社会の啓蒙と情報提供体制の確立 ・グリーン電力証書などの利用促進体制の整備

表6 産業発展と国際競争力確保に対する課題と対応の方向

課題	主な取り組み方向
産業発展	<ul style="list-style-type: none"> ・多様な用途や、セル／プロセスに対する先端技術の保有と技術開発力の確保 ・海外の多様な環境に対応するための幅広い技術開発と多様な商品の開発 ・海外企業との連繫、現地生産に伴う技術移転をふまえた拠点確保、枠組みの確立 ・継続した投資環境の確保と生産、供給体制の確立 ・バリューチェーン確保に向けた国際的な投資(海外投資、資源の共同開発) ・海外市場に対する先導的役割の回復に向けた戦略的な行動 ・人材育成に対する産業界による大学、研究機関への積極的な支援、雇用確保
国際競争力確保 (海外市場開拓)	<ul style="list-style-type: none"> ・戦略的共同研究開発、研究交流による情報収集、影響力の確保 (基盤整備への技術支援、海外人材育成(キーパーソン育成)) ・技術基盤の国内基盤との共有・共通化(共同研究など) ・海外の技術開発、インフラ整備、利用環境整備での国際的な投資と支援 ・海外への太陽光発電システムの積極投資と運用: CDM、JI*等の積極的な利用

*CDM (clean development mechanism : クリーン開発メカニズム)、JI (joint implementation : 共同実施)

(資料7) Grid Parity 実現に向けた技術開発の方向性

表 1 セル・モジュール製造技術に関する技術開発の方向性（備考欄には技術の対象とする Grid Parity の段階を示す。第 4 次は汎用段階。）

項目	開発テーマ	取り組みの方向	備考
【太陽電池セル・モジュールの高性能化、低コスト化、長寿命化】			
結晶シリコン 太陽電池	現状技術の改善と 開発技術の導入	既に技術開発により得られた成果の工業化、原稿技術の歩留まり改善や低コスト化などのプロセス改善。	1
	低コスト SOG-Si 製造技術	太陽電池用シリコンの安価かつ大量供給技術の開発。純度 7N 以上、2,000 円/kg 以下、10,000t/年以上が目標の目安。 また、B,P 濃度が 0.1 以上のセル性能への影響と評価も重要課題。	1
	安価な高品質基板製造	結晶欠陥の少なく、ライフタイムの長いシリコンインゴットの低コスト・高生産性製造技術の開発。単結晶、多結晶とも ライフタイム \sim 1 μ s、1,000 円/kg 以下、多結晶では結晶方位の制御が開発目標の目安。	2
	極薄基板の高生産性 スライス技術	50 μ m 程度の薄型基板を切り出せるスライス技術で、スライスコスト 20 円/枚 (15cm 角) 以下、生産性：15cm 角 5 枚/min・ 台、カーフロス 50 μ m 以下程度が展望できるスライス技術。	2
	極薄型高性能セル構造の 開発	HIT 構造（ヘテロ接合）、ポイントコンタクトなど高性能接合構造、表裏面再結合の低減、光閉じこめ技術、高品質電極構造 などを総合した高性能セル構造の開発：100 μ m 以下の極薄型実用サイズ基板で変換効率 25% を目標に。また、モジュ ール製造に配慮し裏面に電極を集約。	2
	低コスト高生産性 セルプロセスの開発	高性能セル構造の量産プロセスの開発（性能バラツキが少なく歩留まりが高い、また、材料コストの低減した低コスト、 量産型のセルプロセスの開発）。基板薄型化では基板の反り対応、ハンドリング技術も重要。歩留まり 99% 以上。	2
	高性能化への材料開発	光劣化のない高品質ナローギャップ材料の開発（a-SiGe、微結晶 SiGe:H、結晶 GeC、微結晶 Ge 等）、a-Si 薄膜を代替す る劣化のない高性能ワイドギャップ材料（ナノ結晶 SiC、a-SiC、a-SiO ₂ 3C-SiC など、基礎物性を含め）の開発、及び、 これらを使用した単接合セルの高効率化。	2
	a-Si、 μ c-Si 膜質向上	a-Si の光劣化の低減に向けた高品質化、a-Si、 μ c-Si 単接合セルの更なる高性能化。	1
	多接合による高効率化 （セル構造）	3 接合太陽電池の開発、a-Si/ μ c-Si/ μ c-SiGe、a-Si/a-Si/ μ c-Si など多接合化に向けた材料選択、多接合化に伴う界面制 御技術の開発、及びセル構造の最適化（光マネジメント、トンネル接合、各セルの接合界面の np 逆接合の最適化技術、 赤外域の光閉込強化など）。当面セル効率 20% 目標。	2
	透明導電膜の改善	セル構造、セル製造プロセスとマッチした高透過率、低抵抗の低コスト透明導電膜の開発。現状 4,000 円@ m^2 →1,500 円 \sim 1,000 円@ m^2 へ、90%透過率、10 Ω (10-4 Ω cm)。	2

薄膜シリコン 太陽電池	高度光閉じ込め技術の 開発	基板（透明導電膜）テクスチャ構造の最適化（特に赤外光の閉じ込め向上をねらった基板のテクスチャ構造の形成）、 中間層などを含むセル構造全体の光設計と構造最適化、裏面反射材料の開発と導入。	2
	高生産性の大面積製造 プロセス	多接合高性能太陽電池の高速大面積 CVD 製膜技術（特に微結晶シリコン膜の高速製膜技術）。10nm/s、~4m ² を目標。 （VHF-CVD、マイクロ波 CVD など、電極構造やパワー、ガスの導入方法、温度制御技術など）。	2
CIS 系太陽電池	フレキシブル太陽電池 （軽量型太陽電池）	基板の選択とテクスチャ構造などの開発、製膜条件の最適化、モジュール化技術、システム利用技術をベースにしたセ ル・モジュール構造、ロール・ツー・ロールプロセスの導入など。	2
	高性能セル構造、 材料開発	高性能がねらえるワイドギャップ光吸収材料、多接合用のワイドギャップ光吸収材料（1.7eV）、バッファ層材料の開発と、 バンドプロファイルなどセル構造の最適化、また、タンデムセル化、光マネジメントの最適化も視野に変換効率 25%以上 をねらう。薄膜化も重要な要素。	2
	大面積高性能化	大面積化による性能劣化原因究明し、大面積量産品で研究室レベルの性能実現を目指す。高品質透明導電膜も開発が必要。	1
	低コスト高生産性 プロセス技術開発	プロセスの非真空化、オールドライ化、連続生産プロセス化などを指向した大面積高性能太陽電池の低コスト高生産性プ ロセスの開発。材料歩留まりや材料使用量の削減も重要要素。	1
	軽量、フレキシブル化	フレキシブル基板の選択、結晶形成低温化処理、ロール・ツー・ロールプロセス開発、基板処理技術、低温製膜、集積化 技術等により高性能な軽量、フレキシブル太陽電池製造技術を開発。	2
超高効率太陽電池	III-V 系多接合太陽電池	4~5 接合用の新材料開発、集光型セル構造の開発、安価基板の利用技術、トンネル接合最適化。	4
	量子ナノ構造型太陽電池	量子ドット型中間バンド型材料、マルチエキシトン生成材料、ホットキャリア型材料開発とセル構造の開発・実証。	4
有機系太陽電池	低コストプロセス開発	低コスト、大面積型の MOCVD 技術、ガスコストの低減、高速製膜技術、安価基板利用技術など。	3
	高性能色素増感太陽電池	当量は効率 15%以上を目指すセル構造の開発と、耐久性の高いモジュール製造技術の開発。	3
	高性能有機薄膜太陽電池	当量は効率 10%以上を目指すセル構造の開発と性能向上、耐久性向上のための要素技術の開発。	3
太陽電池 モジュール	低コスト高耐久性 モジュール製造技術	構成材の安価材料への転換による材料コストの低減、と寿命 30 年以上の耐久性を有するモジュール構造の開発。 （極薄型セル対応のモジュール構造開発も重要）および低コスト量産型プロセス開発。 （寿命 30 年以上を目標、2030 年モジュールコスト 15 円/W 以下）	2
	機能モジュールの開発	高電圧モジュール、AC モジュール、フレキシブルモジュール、軽量モジュールなど、太陽光発電システムのトータルコ スト低減に向けた機能モジュールの開発。	1
	建材一体型モジュール	建材一体型を代表として、設計や施工に関するコストシエア低減が考えられる。建築分野との融合により建築物の設計に おける太陽光発電の組み込み等に必要な技術開発。	1

表2 システム技術、技術基盤整備、国際競争力などに関する技術開発課題（備考欄には技術の対象とする普及段階を示した）

項目	開発テーマ	取り組みの方向	備考
【システム機器、高性能システム】			
システムの 低コスト化	PV用低コスト蓄電池 開発と蓄電池制御の 高性能化、最適化	太陽光発電用蓄電池については低コスト、長寿命（変動要素に対応した寿命試験や超寿命化設計、変動に強い蓄電池等）かつ安全で、エネルギー密度の高い蓄電池が必要である。ここでは材料開発や構造の改善が必要だが、量産を図ることも重要である。システムとの関連での蓄電池の制御技術（充電電の量、タイミングなどのシステム設計）が重要である。電気自動車など多用途に関連した技術の進展も視野に入れることが重要である。	2
	パワーコンディショナの 開発	低コスト化、高性能化、耐久性向上の3つの方向からの検討が必要である。低コスト化では構造や使用材料の転換が必要であるが、仕様/規格の統一により量産化を図ることも需要である。高性能化はSiC等の新材料の開発が必要である。また、耐久性では現在の寿命のポトルネックとなるコンデンサの小型化や材質の変更等が必要である。付加価値については多機能化もいる。	2
	システムの高性能化と 最適設計技術	システムの高性能化は生涯発電量を最大にするために重要である。ここでは高性能なシステム機器の利用とロスの低減による高性能化、また、用途、発電パターンに対応した蓄電池等の最適化（量と制御法など）、将来的には広域での電力需給と発電量平準化も加味したシステムの最適設計技術の開発。	2
	システム設置に関する 設計・施工技術	システム設計・施工の標準化、規格化による設置工事のコストダウンが必要。また、新たに貼り付け型やフレキシブルな多様な施工技術開発も必要。ただし、信頼性・安全性を確保した設計が最重要。交換を考慮したモジュールの規格化も重要である。	1
	付加価値評価	環境価値・リスク評価技術（LCA等）などの拡張や更新体制の確立が必要となる。また、地域コミュニティに対応した地域LCAなどの太陽光発電導入などが必要。電源価値評価技術（エネルギーセキュリティ評価等）を考慮した評価技術の確立が必要。また、環境経済学の活用による様々な効果の定量化が必要。	2
高性能システムの開発	エネルギーマネージメント手法の開発。EVやその他需要機器、その他エネルギー源との連携制御技術の開発、蓄電装置を含めた建物、地域のエネルギー管理への適用、系統の集中マネージメントとの協調、見守りサービスなどの統合、BIPV、設置場所、用途に対応した開発。	2	

【利用・用途の拡大】	
電力需要との整合性確保 新用途の開発	電力系統への調和確立 1 PV 導入量に応じた電力系統への影響解明と対策検討、(電力サイド・PV サイド)、PV 電力への品質要求レベル (基準)の明確化、安全基準など既存ルールへの適合方法の確立。
	自律度向上型 (地域) システム開発 2 地域の電力需給との調和を図った自律度向上型の太陽光発電地域システムの構築。太陽光発電の発電量予測技術、対象エリア内の PV 総発電電力の推定技術、蓄電機能の最適付帯条件検討と最適化、運用方法確立など、エネルギーマネジメントとの連携技術など。
	発電量の予測技術 1 太陽光発電の発電量の予測を (例えば「前日」など) 連系するシステムとして対応可能なスパンで予測する。また、電力系統への適用では、広域分散した系での予測方法の確立により、電力系統での発電所の運転制御を可能にする (前日、30分値)
	ミニグリッドシステム 2 太陽光発電と他のエネルギーシステムとの連系技術の開発。
	独立型システム開発 3 電源として独立利用するシステム、独立電源ユニット、AC モジュール等の開発、水素製造などとの組み合わせ。
高性能太陽光発電システム 3 変換効率 22%以上の高効率システムの開発で、用途の拡大を目指す。	
【基盤整備、環境整備】	
信頼性の確立と性能評価	太陽電池性能評価技術の確立と運用 1 太陽電池性能評価の基本となる基準太陽電池・モジュールの高精度校正技術の確立と、産業界への基準太陽電池、モジュールの供給・運用方法・体制の確立。
	新材料・構造太陽電池の性能評価技術 1 新しく開発された太陽電池の基準となる性能評価技術開発と、産業界などへの基準セルの供給体制の確立。
	発電量評価技術の開発と実用的な性能指標の策定 1 気候や地域など太陽光発電の設置条件に応じた、基準となる発電量評価技術の開発、及び、基礎データ収集のための屋外試験を含むデータ収集体制の確保。これらの成果にもとづく実用的な太陽光発電の発電量指標 (システムの発電能力指標)の策定。(セル間の比較を示す相対的な指標及び、システムトータルとしての発電性能を示す指標)
	モジュール、システムの信頼性評価技術 1 太陽電池モジュール、システムの耐久性評価方法の開発と劣化原因の解明、およびシステムの寿命の定義。寿命 30 年超の信頼性モジュールやシステムの開発に向けて、モジュール部材、構造の検討にフィードバックする。
	太陽光発電システムの安全性と確立 1 太陽光発電システムが大量に導入された時を想定した電氣的、物理的 (強度面での)、また環境面等での安全性に対する課題抽出と対応策の検討。

	認証体制の確立、規格制定など	セル及びモジュール及びシステムの認証技術と体制確立、海外との相互認証や後発国に対する技術指導、あるいは国際的な規格制定に対する提案など、技術開発をベースとした活動。	1
	故障診断技術	太陽光発電システムの運用中の故障や不具合の診断・表示技術の開発。部品交換などのメンテナンス体制との組み合わせで太陽光発電システムの寿命延長を図る。	2
インフラ整備	モジュールリサイクル	モジュール構造のリサイクルに向けた最適化を含むリサイクルに関する技術開発。及び資源回収。	3
	規制緩和などへの技術開発	太陽光発電の周辺の利用環境整備に関連した電気事業法、工場立地法、農地法などの既存法令などに対する規制緩和に向けた、実証試験や技術的なデータの収集に対する取り組み。	2
	社会環境整備推進	LCA 分析評価など導入に関する社会環境整備推進に向けた取り組み。	2
【産業発展と国際競争力確保】			
産業発展と国際競争力確保	海外技術基盤整備に対する支援	海外諸国の技術基盤整備に向けた共同研究や技術指導、技術支援、技術者教育、システムインテグレーションの育成。	2
	海外でのシステム実証試験と課題の解決	海外での太陽光発電システムのニーズ探索と利用技術の確立と導入実績の確保、人材交流。	2
	システム設計・施工の教育	システムの設計に関する公衆安全確保のための技術教育体制の確立、マニュアルの作成。	1
	(先端技術開発)	(太陽光発電の低コスト高性能化技術開発の実施＝デバイス開発とプロセス開発)	2

表3 超高効率太陽電池に関するシーズ探索研究の方向性(2014年までに到達すべき技術と目標レベル)

課題	取り組みテーマ	2014年までに到達すべき技術	2014年までに到達すべきレベルの目安
多接合型太陽電池	高倍率集光対応多接合太陽電池	既に目標に近い高性能が得られており、より高効率かつ実用に近い技術を目指す。	非集光 η : 35% 集光 η : 45%
	大面積型(薄膜系)の多接合太陽電池	変換効率40%に向け、現状の薄膜多接合セルの限界を超える性能を越える技術の実証。	η : 25%
	量子ドット型多接合太陽電池	現状の薄膜多接合セルの限界を超える性能を越える技術の可能性確認。	η : 15%
量子ナノ構造太陽電池	中間バンド構造太陽電池 ホットキャリア太陽電池 マルチエキシトン生成効果型太陽電池	超高性能の可能性を持つ新しい概念の技術であり、原理の検証を経て、新規太陽電池技術としての性能発現を実証する。	η : 10%
デバイス周辺の光マネジメント技術	光マネジメント技術による高性能化	必要な新規材料の開発と太陽光発電光電への適用効果の実証、及び、材料特性向上の可能性確認	太陽電池への適用によるエネルギー変換効率向上の実証
	波長変換技術の適用		
その他の新規概念セル	TPV技術、プラズモン太陽電池、非半導体pn接合型太陽電池等	将来、超高性能な太陽光発電技術となりうる技術実証	η : 10%

「太陽光発電ロードマップ（PV2030+）」

「2030年に向けた太陽光発電ロードマップ（PV2030）に関する
見直し検討委員会」報告書

2009年（平成21年）6月

発行：独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番

電話 044-520-5270（新エネルギー技術開発部）

事務局：株式会社 資源総合システム