

NEDO

再生可能エネルギー 技術白書

第2版

再生可能エネルギー普及拡大にむけて克服すべき課題と処方箋

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 編
New Energy and Industrial Technology Development Organization

第1章 再生可能エネルギーの役割

第2章 太陽光発電

第3章 風力発電

第4章 バイオマスエネルギー

第5章 太陽熱発電・太陽熱利用

第6章 海洋エネルギー

第7章 地熱発電

第8章 中小水力発電

第9章 系統サポート技術

第10章 スマートコミュニティ



第2章 太陽光発電

2.1	技術の概要.....	4
2.1.1	技術の俯瞰.....	4
	(1) 太陽電池の原理.....	4
	(2) 太陽光発電システムの構成.....	4
	(3) 太陽電池の種類.....	6
	(4) 太陽光発電システムの設置の種類と特徴.....	13
2.1.2	システム価格, 発電コスト.....	19
	(1) システム価格.....	19
	(2) 発電コスト.....	20
2.2	導入ポテンシャル, 導入目標, 導入実績.....	23
2.2.1	導入ポテンシャル.....	23
	(1) 世界.....	23
	(2) 日本.....	25
2.2.2	導入目標.....	31
	(1) 日本.....	33
	(2) 欧州.....	33
	(3) 米国.....	34
	(4) 中国.....	36
	(5) 韓国.....	37
	(6) インド.....	37
	(7) 中東およびアフリカ.....	38
	(8) 東南アジア.....	39
	(9) 豪州.....	39
2.2.3	導入実績.....	40
	(1) 世界.....	40
	(2) 日本.....	42
2.3	世界の市場動向.....	44
2.3.1	市場の現状および将来見通し.....	44
2.3.2	国別・企業別生産量シェア.....	45
2.4	各国の技術開発動向.....	47
2.4.1	日本.....	48
	(1) 国・NEDOの取り組み(1970年代～近年).....	48
	(2) 国・NEDOの取り組み(現在の国家プロジェクト).....	50
2.4.2	欧州.....	57
2.4.3	米国.....	60

2.4.4	中国	62
2.4.5	発電コスト目標	63
2.5	今後に向けた課題と克服方策	64
2.5.1	発電コストの低減	65
(1)	発電コスト	66
(2)	発電コスト低減の方策	68
(3)	発電コスト低減のシナリオと開発目標	74
2.5.2	信頼性の向上	76
(1)	PID (Potential Induced Degradation) 現象	76
(2)	技術開発の方向性	77
2.5.3	立地制約の解消	78
(2)	技術開発の方向性	80
2.5.4	リサイクルシステムの構築	81
2.5.5	新たな付加価値の創造 〈我が国の太陽光発電産業の競争力強化〉	82
(1)	川下展開の動き	82
(2)	川下展開 (発電事業へ)	82
(3)	技術開発の方向性 (太陽光発電を使いこなす)	83

第2章 太陽光発電

2.1 技術の概要

2.1.1 技術の俯瞰

(1) 太陽電池の原理

一般的な太陽電池は、太陽からの光エネルギーを直接、電気に変換する半導体の一種である。半導体にはn型半導体とp型半導体の2種類があり、一般に太陽電池は、n型とp型を積み重ねた構造となっている。表面に光が当たるとプラスとマイナスを持った粒子（正孔と電子）が発生し、マイナスの電気はn型半導体のほうへ、プラスの電気はp型半導体のほうへ移動する（図2-1）。

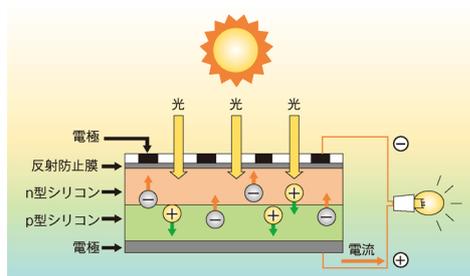


図 2-1 太陽電池（半導体系）の原理

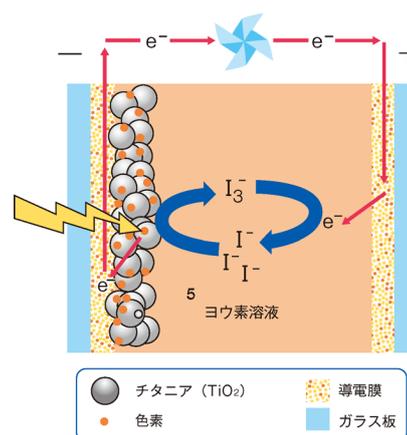


図 2-2 太陽電池（色素増感型）の原理

これに対し、色素増感太陽電池は、色素のエネルギー吸収作用によって発電する特殊な技術を用いている。一般に負極側に色素と酸化チタン（チタニア）を塗布、正極との間にヨウ素電解液を注入し、透明基板などで封入している。色素が光エネルギーを吸収し、励起したエネルギーを電子として酸化チタンに放出する。さらに、酸化チタンは電子を負極に伝える。電子を失った色素はホールとなり、電解液中にあるヨウ素イオン I⁻ を I₃⁻ へ酸化する。I₃⁻ は陽極で電子を受け取って還元され、再び I⁻ に戻る。このサイクルで発生する電子を利用することによって発電する（図2-2）。

(2) 太陽光発電システムの構成

太陽光発電の基本的なシステムは、太陽電池モジュール・アレイ、接続箱・集電盤、パワーコンディショナなどで構成する。ピークカットや防災用を目的とする際には、発電した電力をいったん蓄えて他の時間に使用する必要があるため、充放電用の蓄電池を設置する。発電管理を目的として発電した電力や日射量などを計測・記録する場合は、日射計・外気温計、データ計測装置、表示装置などを設置する（図2-3）。

太陽光発電システムの主な構成要素について以下に解説する。

1) 太陽電池セル

光起電力効果を利用し、光エネルギーを直接、電力に変換する電力機器で、太陽電池の最小単位をいう。

2) 太陽電池モジュール

複数の太陽電池セルを所定の出力が得られるように電氣的に接続したものを、長期間の使用に耐えられるようガラスや樹脂を用いて封止し、機械的強度を確保するとともに、固定設置するための枠を取り付けたものをいう。

3) 太陽電池アレイ

電圧を高めるため、太陽電池モジュールを複数枚、直列に接続したものを太陽電池ストリングと呼ぶ。太陽電池ストリングをさらに複数、並列に接続し、所定の電力が得られるように構成し、架台などに固定したものをいう。

4) 接続箱

目的の電流・電圧が得られるよう太陽電池アレイを構成するために、必要な枚数の太陽電池モジュールをつなぎ込むための端子台を備えた機器をいう。端子台機能の他に、故障や事故でストリング間に電圧差が発生したときに高電圧のストリングから他のストリングに電流が流れ込むのを防ぐための逆流防止ダイオード、誘導雷などによって発生した雷ノイズを吸収するためのサージアブソーバ、保守点検時のための直流側開閉器などが内蔵されている。

また、屋根スペースの関係で太陽電池モジュールの直列数が少なく、既定の電圧が取れない場合や、各ストリングの電圧が不均一になってしまう場合に、各ストリング間の電圧バランスを調整するためのコンバータ機能を内蔵した接続箱も商品化されている。

5) 集電盤

発電した直流電力を一つにまとめてパワーコンディショナに供給する装置をいう。

6) パワーコンディショナ (PCS)

太陽電池からの直流電力を一般の電気器具で使用可能な交流電力に変換するとともに、商用系統との連系運転や自動運転に必要な各種保護・制御機能を備えたものをいう。系統側が停電していても、スイッチの切り替えによって専用のコンセントから AC100V を出力する自立運転機能、および接続箱や昇圧コンバータの機能を内蔵したタイプのパワーコンディショナも商品化されている。

パワーコンディショナの出力容量は、一般的に、住宅用で 10kW 未満、公共・産業施設用で 10～100kW であり、家庭用 (3～5kW) では 1 台、公共・産業施設用では発電出力に合わせて複数台のパワーコンディショナが必要となる。

7) 蓄電池

電気エネルギーを化学エネルギーに変えて保存し、必要に応じて電気エネルギーとして取り出して使うことができる電気機器をいう。系統連系システムに蓄電池を設置することによって、出力変動の抑制、電力貯蔵、災害時の電力供給などが可能となる。

第2章 太陽光発電

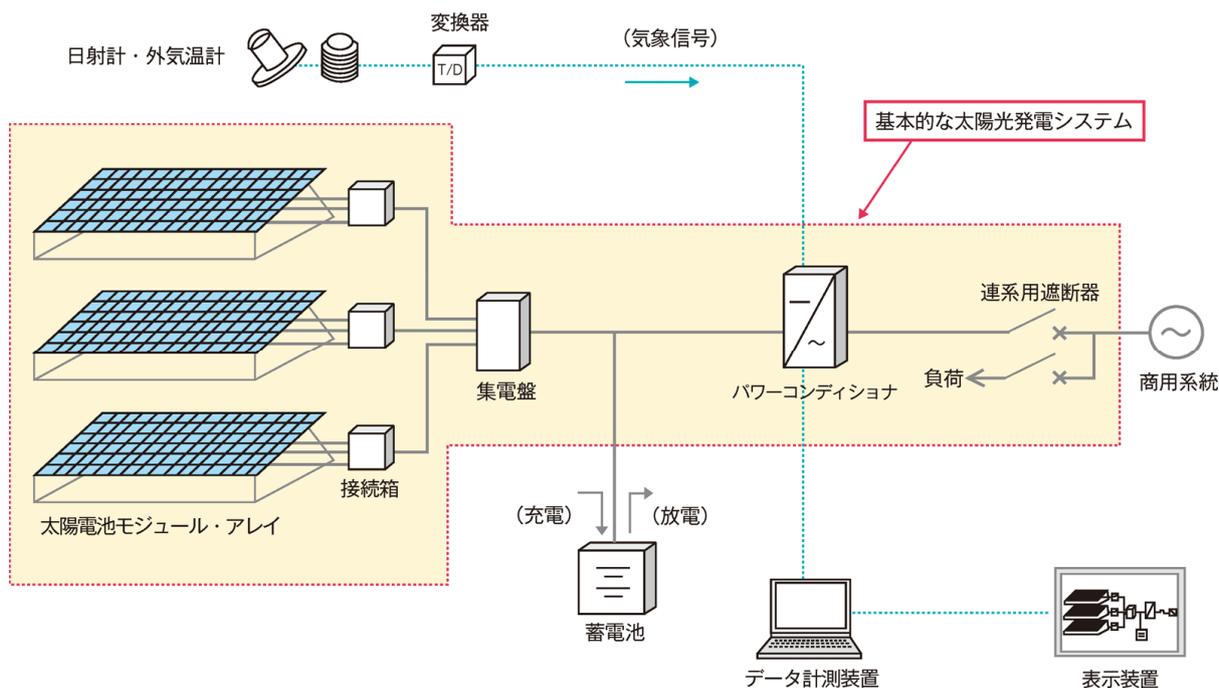


図 2-3 太陽光発電のシステム構成

(3) 太陽電池の種類

太陽光発電技術は、シリコン系、化合物系、III-V 族系、有機系に大別され、主に表 2-1 に挙げる太陽電池が開発されている。また、それぞれの太陽電池の試験研究用セルでのエネルギー変換効率の世界最高値の変遷を図 2-4 に示す。

1) 結晶系シリコン太陽電池

i) 単結晶シリコン太陽電池

単結晶シリコン太陽電池は、さまざまな太陽電池の中で最も歴史の古い太陽電池である。種結晶を基に高温で作られた円柱状の単結晶シリコンインゴット（シリコンの塊）を厚さ 160～200 μm 程度にスライスして作製する。シリコン原子が規則正しく並ぶ単結晶を用いるため、実用化されている太陽電池の中で最も変換効率が高く（市販品のモジュール変換効率で 15～20%程度）、耐久性・信頼性にも優れている。

現在、HIT（Heterojunction with Intrinsic Thin-layer）太陽電池と呼ばれる、単結晶シリコンとアモルファスシリコン¹をヘテロ接合²によって積層したハイブリッド型太陽電池がパナソニックによって開発、製造販売されている。モジュール変換率は約 19.1%と高く、単結晶シリコン太陽電池と比較して、高温時の特性低下が小さいことも特長である。

1 シリコン原子の配列が不規則なシリコン。電流が取り出しにくく、単結晶シリコンなどと比較して効率は落ちる。

2 異種材料で形成した半導体の積層構造。

表 2-1 太陽電池セルの種類と特徴

種類		特徴	変換効率※	実用化状況	主要な国内外メーカー
シリコン系	結晶系 単結晶	<ul style="list-style-type: none"> ・160～200 μm 程度の薄い単結晶シリコンの基板を用いる ・特長：性能・信頼性 ・課題：低コスト化 	～20 %	実用化	シャープ 三菱電機 パナソニック (HIT 型 ^{※※}) Yingli (中) JA solar (中) Trina (中) Hanwha-Qcells (韓独)
	多結晶	<ul style="list-style-type: none"> ・小さい結晶が集まった多結晶の基板を使用 ・特長：単結晶より安価 ・課題：単結晶より効率が低い 	～15 %	実用化	京セラ シャープ 三菱電機 Yingli (中) Trina (中) JAsolar (中)
	薄膜系	<ul style="list-style-type: none"> ・アモルファス（非晶質）シリコンや微結晶シリコン薄膜を基板上に形成 ・特長：大面積で量産可能 ・課題：効率が低い 	～9 %	実用化	カネカ シャープ 富士電機 GS Solar (中) NexPower (台)
化合物系	CIS 系	<ul style="list-style-type: none"> ・銅・インジウム・セレン等を原料とする薄膜型 ・特長：省資源・量産可能・高性能の可能性 ・課題：インジウムの資源量 	～14 %	実用化	ソーラーフロンティア Hanergy (中) MiaSole (米)
	CdTe 系	<ul style="list-style-type: none"> ・カドミウム・テルルを原料とする薄膜型 ・特長：省資源・量産可能・低コスト ・課題：カドミウムの毒性 	～13 %	実用化	国内：無し First Solar (米)
	III-V 族系	<ul style="list-style-type: none"> ・III族元素とV族元素からなる化合物セルに多接合化・集光技術を適用 ・特長：超高性能 ・課題：低コスト化 	(セル効率) ～38 %	研究段階	シャープ Amonix (米) Soitec (仏)
有機系	色素増感	<ul style="list-style-type: none"> ・酸化チタンに吸着した色素が光を吸収し発電する新しいタイプ ・特長：低コスト化の可能性 ・課題：高効率化・耐久性 	(セル効率) ～14 %	研究段階	アイシン精機 シャープ フジクラ G24Innovations (英) Dysol (豪)
	有機薄膜	<ul style="list-style-type: none"> ・有機半導体を用いて、塗布だけで作製可能 ・特長：低コスト化の可能性 ・課題：高効率化・耐久性 	(セル効率) ～12 %	研究段階	三菱化学 住友化学 JX エネルギー Heliatek (独)

※：モジュール変換効率、ただし一部は研究段階におけるセル変換効率

※※：HIT型については、2.1.1 (3) 1) i) を参照。

出典：NEDO 作成資料

Best Research-Cell Efficiencies

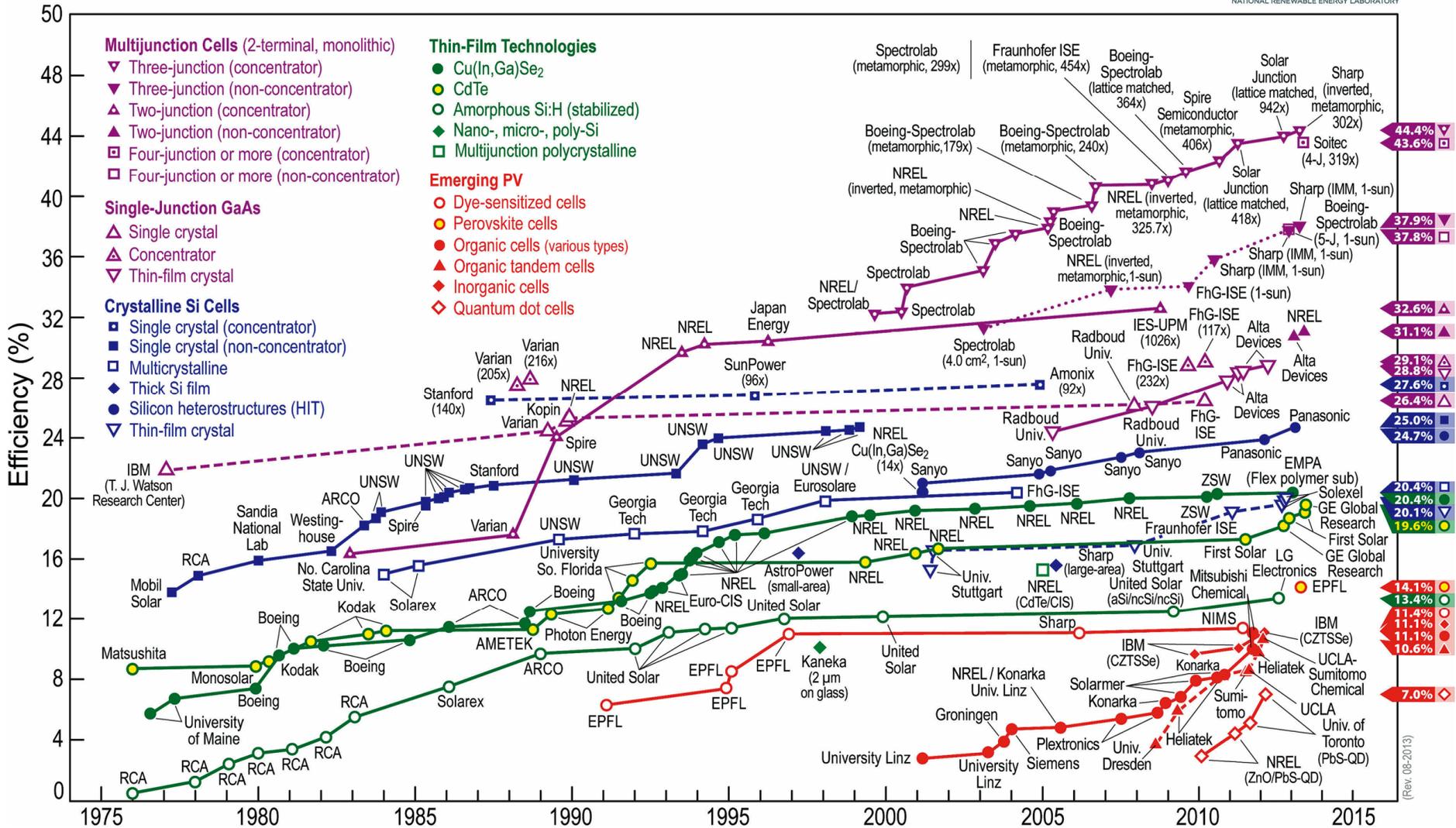


図 2-4 試験研究用の太陽電池セル変換効率の世界最高値の変遷

出典：NREL 編, Best Research Cell Efficiencies, <http://www.nrel.gov/ncpv/>, 2013/10/29 現在



図 2-5 単結晶シリコン太陽電池

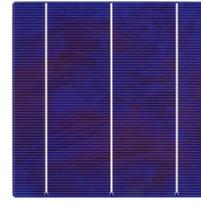


図 2-6 多結晶シリコン太陽電池

ii) 多結晶シリコン太陽電池

多結晶シリコン太陽電池は、単結晶シリコンのような一つの大きな結晶ではなく、異なった面方位を向いた比較的小さな結晶がランダムに並んでいるインゴットを、厚さ $200\ \mu\text{m}$ 程度にスライスして作製する。単結晶と比較して効率は落ちるが、安価で、製造が容易であり、効率とコストのバランスが良いため、よく普及している太陽電池である。市販品のモジュール変換効率で $14\sim 16\%$ 程度である。

2) 薄膜系シリコン太陽電池

薄膜系シリコン太陽電池は、低コスト化を目的に、シリコンの使用量を削減できる太陽電池として開発された。結晶系のようにシリコンインゴットを鋳造してから薄くスライスするのではなく、シラン (SiH_4) などの原料ガスからプラズマ CVD 法³にて基板上にシリコン薄膜を作製する。シリコン使用量は結晶系の 100 分の 1 程度にまで削減できる上、 250°C 以下の低温プロセスで製膜できるため、製造エネルギー・製造コストの削減が可能である。

シリコン原子の配列は、不規則なアモルファス状態になっているため電子の流れが悪くなり、結晶系シリコン太陽電池と比較すると変換効率が落ちる。現在、市販されているアモルファスシリコン単接合太陽電池モジュールの変換効率は 9% 程度である。しかし、夏場の高温環境下でも変換効率の低下が少ない特長を持つことから、実使用環境で有利な面もある。

高効率化の取り組みとして、結晶粒が $50\sim 100\text{nm}$ 程度の微結晶シリコンを用いて、アモルファスシリコンと微結晶シリコンを積層した多接合太陽電池⁴が実用化されている。市販品のモジュール変換効率は、薄膜系シリコン太陽電池としては最も高く、 12% 程度とアモルファスシリコン単接合太陽電池より高効率である。

薄膜であるため、基板にステンレス箔やプラスチックフィルムなどを用いたフレキシブルな太陽電池を製造できることも大きな特長の一つである (図 2-7 写真右側)。

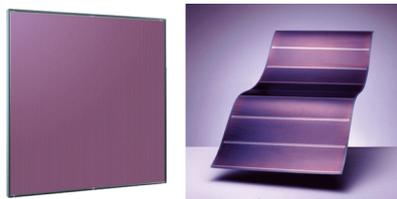


図 2-7 薄膜系シリコン太陽電池

³ CVD は Chemical Vapor Deposition の略で化学気相成長法のこと。高周波電圧などを印加することによってプラズマ化した原料ガスが、化学反応によって基板上に堆積して薄膜が形成される。

⁴ 多接合太陽電池の原理については、III-V 族系太陽電池の項を参照。

第2章 太陽光発電

3) 化合物系太陽電池

i) CIS系太陽電池

CIS系（またはCIGS系）太陽電池は、シリコンの代わりに銅（Cu）、インジウム（In）、ガリウム（Ga）、セレン（Se）などからなる化合物半導体を使用する太陽電池である。実用化されてから歴史は浅いが、薄膜で省材料などの長所を持ち、変換効率も年々着実に向上しているため、近年注目を浴びている。

一般的な結晶シリコンと比較して光の吸収率が高く、わずか $2\sim 3\mu\text{m}$ の厚さであっても光を十分吸収するため、薄膜太陽電池としては高い変換効率を得られる。市販されているCIS系太陽電池のモジュール変換効率は約13%であるが、研究室レベルでは結晶系シリコン太陽電池並みの20%超の変換効率を得られている。

また、製造工程数が結晶系シリコン太陽電池の約半分であるため、製造コストを大幅に削減することができる。量産が容易で、長辺1m以上の大面積の太陽電池を連続的に生産することが可能である。また、耐放射線性が極めて優れており、宇宙用途にも適している。薄膜系シリコン太陽電池と同様に、金属箔やプラスチック基板を用いて軽量でフレキシブルな太陽電池を作製することもできる。

希少金属であるインジウムやガリウムを使用しているため、資源制約が生じる可能性も指摘されており、代替材料としてCZTS太陽電池〔Inを亜鉛（Zn）と錫（Sn）に置き換えた太陽電池〕の開発も進められている。



図 2-8 CIS系太陽電池

ii) CdTe系太陽電池

毒性の高いカドミウムを原料として使用しており、日本では普及していないが、欧米では大規模発電所用に導入が進んでいる。米国のFirst Solar社が年間1.9GW生産し、販売している（2012年実績）。比較的低温で良質の多結晶膜を形成できるため、低コストで高効率な太陽電池として期待されている。市販されているモジュールの変換効率は約13%である。フィルムなどのフレキシブルな基板も使用可能である。



図 2-9 CdTe 系太陽電池

出典：First Solar ウェブサイト, <http://www.firstsolar.com/>

4) III-V族系太陽電池

一般に、太陽電池は p 型半導体と n 型半導体を組み合わせているが、pn 接合が 1 つだけの単接合太陽電池の変換効率は、理論的に約 30%程度が限界と考えられている。この理論限界値を向上させた太陽電池の一つが、複数の pn 接合を持つ多接合太陽電池である (図 2-10)。2 接合の場合はタンデム型とも呼ばれる。

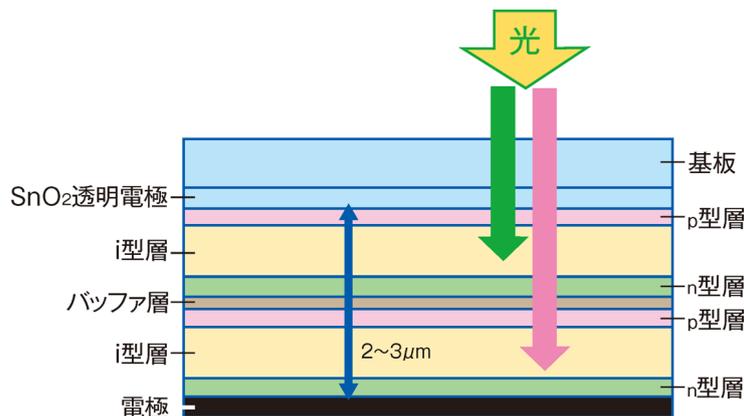


図 2-10 多接合太陽電池の基本構造の例

出典：産業技術総合研究所ホームページ, https://unit.aist.go.jp/rcpvt/ci/about_pv/types/TF-Si-tandem.gifより NEDO 作成

太陽光は、紫外線から赤外線まで幅広い波長を含んでいる。多接合太陽電池では、波長の短い光をバンドギャップ⁵の大きい表層側の太陽電池層で利用し、透過した波長の長い光をバンドギャップの小さい裏面側の太陽電池層で利用することによって、より多くの太陽光エネルギーを電力に変換できるようになる。このように、各波長に対応した太陽電池を積層し、利用できる波長域を広げることで、高効率化している。

多接合太陽電池の材料としては、III-V 族化合物半導体が有効とされている。ガリウム (Ga) などの III 族元素と、ヒ素 (As) などの V 族元素からなる化合物半導体を用いた InGaP/ (In) GaAs/Ge の 3 接合太陽電池は、変換効率 30%以上を達成している。耐放射線特性に優れ、高性

⁵ 固体中には電子が取ることを許容されるエネルギー範囲 (許容帯) と許容されないエネルギー範囲 (禁制帯) があり、エネルギーの低い帯 (バンド) から順に電子で埋まるが、禁制帯の幅をバンドギャップという。半導体の場合、電子で満たされた許容帯を価電子帯と呼び、バンドギャップ幅以上の大きさのエネルギー (光など) を受けると価電子が上の許容帯 (伝導帯という) に励起されることによって導電性が生じる。

第2章 太陽光発電

能であることから、すでに宇宙用として実用化されている。

集光型太陽電池は、小面積だが高効率な多接合太陽電池にレンズや鏡で集光することによって、高い発電効率を実現する太陽電池である。この III-V 族系太陽電池を用いた集光型太陽電池は、各国で高効率化の研究が行われており、3 接合型集光セルで 40% を超える効率を日米欧の主要機関で達成している。今後は 4 接合化によって集光時で 50% の超高効率化が可能と期待されている。NEDO の「革新的太陽光発電技術研究開発プロジェクト」では、2014 年度末の最終目標の一つとして「III-V 族系材料による高集光多接合太陽電池で 3 接合型の変換効率 45%、4 接合型の変換効率 48% を達成する」ことが掲げられている。上記プロジェクトで開発した 3 接合型セルは、4 接合型も含め非集光時変換効率の世界最高値 37.9% を記録している。3 接合型集光セルは 302 倍集光下で効率 44.4% を達成しており、4 接合化によるさらなる高効率化が期待されている。

集光型太陽電池の課題はシステムも含めた全体の低コスト化であり、さらなる変換効率の向上によって発電コストを低減させるべく、研究開発が進められている。

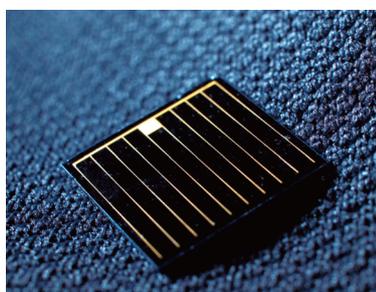


図 2-11 III-V 族系太陽電池



図 2-12 集光型太陽光発電システム

5) 有機系太陽電池

i) 色素増感太陽電池

色素増感太陽電池は、透明基板に色素と酸化チタンからなる負極と、対極である正極との間に電解液を注入した構造となっている。酸化チタンの表面に吸着した色素が光エネルギーを吸収し、励起した電子が酸化チタンに移動する原理で発電する。色素によって光の吸収効率を大幅に高めているため、色素増感太陽電池と呼ばれる。光合成型の太陽電池ともいわれている。色素を変えることによって、高効率化や色彩などデザインの付与が可能である。現在、研究レベルの小面積セルで 11.9% の変換効率を得られている。

製造が簡単で、材料も安価なことから、大幅な低コスト化が見込まれ、最終的には現在、主流の多結晶シリコン太陽電池の数割程度のコストで製造できるといわれている。しかし、電解液に蒸発しやすい有機溶媒を用いるため、耐久性が課題であり、電解液の固体化などが研究課題となっている。

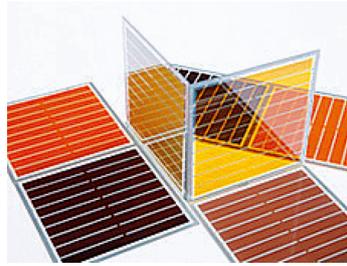


図 2-13 色素増感太陽電池

ii) 有機薄膜太陽電池

有機薄膜太陽電池は、p 型の有機半導体に導電性ポリマーを、n 型の有機半導体にフラーレン誘導体をそれぞれ用いる。2 種類の有機半導体を混ぜて溶かした液を、電極の付いた基板上に塗布して薄膜にした後、薄膜上に電極を形成するという、極めて簡易な製造方法で太陽電池を作製することができる。現在、研究レベルの小面積セルで 12.0%の変換効率が得られている。

材料の使用量が少なく、ロール to ロールなどの印刷法が使えるため、大幅な低コスト化が実現可能とされている。プラスチックフィルムにも製膜でき、さまざまな色や形にできるため、ポータブル機器用電源やウェアラブル電源など幅広い用途に展開できる。ただし、有機材料を用いるため、耐久性向上が大きな課題となっている。

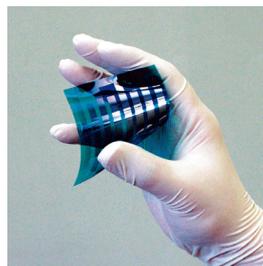


図 2-14 有機薄膜太陽電池

iii) 新たな有機系太陽電池

色素増感太陽電池・有機薄膜太陽電池が抱える効率向上・耐久性向上といった課題解決に向け、近年、色素増感の増感原理、有機薄膜の固体型太陽電池としての発電原理を融合し、効率と耐久性を両立する新たな有機系太陽電池が開発されつつある。代表的なものとしては、色素増感太陽電池の耐久性向上のための取り組みとして、有機半導体を固体電解質として利用する方法や、有機薄膜太陽電池の効率向上のため有機半導体に増感材を組み込む方法等が盛んに研究されている。特に、光電変換材料にペロブスカイト材料を用いた有機系太陽電池が近年研究の進捗が著しく、研究レベルの小面積セルで 14.1%の変換効率が得られている。

(4) 太陽光発電システムの設置の種類と特徴

太陽光発電システムの現在の主な設置の種類は、表 2-2 に示すように屋根置き型、地上設置型、建物一体型であり、それぞれについて使用される太陽電池の種類や用いられる基板に特徴がある。

また、これらの設置は立地制約が少ない場所への設置となることが多く、比較的簡単・低コストに設置が可能であるが、大量導入が進むとそのような設置場所が少なくなる。

第2章 太陽光発電

表 2-2 太陽光発電システムの用途と特徴

設置種類	特徴	主に使用される太陽電池	基板
屋根置き型	<ul style="list-style-type: none"> 住宅やビル等の屋根に設置されるタイプ。 架台に固定するため、モジュールにはガラス基板が用いられる。 設置面積が限られるため、発電効率の高い太陽電池を使用し、設置面積あたりの発電量を大きくすることが求められる。 	結晶シリコン系 化合物系	ガラス基板
地上設置型	<ul style="list-style-type: none"> 平地に設置されるタイプ。メガソーラーが代表例。 架台に固定するため、モジュールにはガラス基板が用いられる。 広い土地に設置されるため、発電効率が中程度であっても、トータルの発電コストが安くなる太陽電池が用いられる傾向にある。 	結晶シリコン系 薄膜シリコン系 化合物系	ガラス基板
建物一体型	<ul style="list-style-type: none"> 住宅やビル等の屋根材や外壁材等と太陽電池モジュールが一体化したタイプ。 デザイン性に優れていることや、屋根材とモジュール部材の共有による設備費の削減などのメリットがある。 シールータイプ⁶のガラス基板を用いることで、発電と採光/遮光が両立できるガラス建材としても活用が可能。 フレキシブル基板を用いることにより、建物の曲面に沿った設置も可能。 	薄膜シリコン系 化合物系	ガラス基板 フレキシブル 基板
集光型	<ul style="list-style-type: none"> 小面積の高効率な多接合太陽電池等にレンズや鏡で集光することにより、高い発電効率を実現可能となる。 特に、サンベルト⁶など豊富な日射量を得られる地域において有効。 	III-V 族系	Ga, GaAs 等 (発電素子の 基板)

出典：NEDO 作成資料

さらなる導入を促進する上では、水上や斜面、塩害発生のおそれがある沿岸部や地盤が弱い土地など立地制約のある設置場所に対しても簡易設置が可能となるものや、農地での農業と発電の両立など発電以外の機能との併用が可能となるもの、電気自動車や大型トレーラーなど移動体への設置が可能となるもの、といった新しい設置の種類の実用化も期待される。

⁶ 熱帯地方など、年間 2,000~2,500kWh/m² 程度の日射が得られる地域を指す。



図 2-15 屋根置き型太陽光発電システム例

出典：JPEA ウェブサイト, <http://www.jpea.gr.jp/setting/house/module/index.html>



図 2-16 平置き型太陽光発電システム例



図 2-17 建物一体型太陽光発電システム例



図 2-18 集光型太陽光発電システム例

第2章 太陽光発電

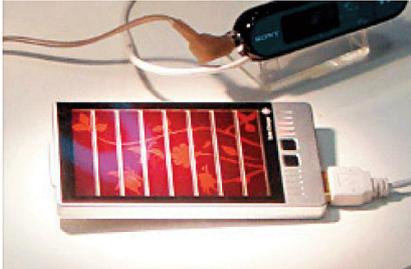
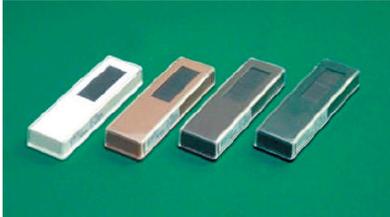
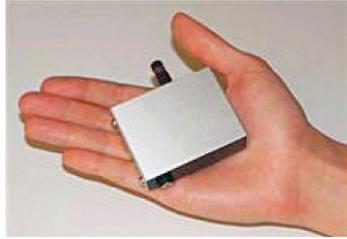
(参考) 有機系太陽電池の今後の見通し

次世代型太陽光発電システムの本命の一つとされる有機系太陽電池（色素増感太陽電池・有機薄膜太陽電池）は、将来的に大幅な低コスト化が期待されるとともに、少ない光でも発電し、真夏の暑い日でも発電量が下がりにくいといった発電上のメリット、軽量で加工が容易といった設置上のメリット、透明性やカラフル性といったデザイン上のメリットがあるとされている。

研究開発成果によって、エネルギー変換効率で10%を超え、性能としては製品化が可能な段階に入ってきたが、本分野ではまだ市場が立ち上がっていないため、有機系太陽電池の特性である「軽量・フレキシブル性」「斜めから光が入っても発電できる特性」「弱い光でも発電する特性」「透明性やカラー・デザインなどの意匠性」の観点から商品提案を進めるべき段階にきている。

このような状況において、有機系太陽電池の開発メーカーは、展示会などで試作品の公表、デモ品の実証や販売を進めているところである。

特性	軽量性・フレキシブル性	
用途	<ul style="list-style-type: none"> ■既設建築物への設置システム（工場、住宅、駅舎、バス停車所等） ■産業資材（簡易店舗、農業ハウス等） 	
開発事例	<ul style="list-style-type: none"> ■三菱化学 サンシェード用プラスチックフィルム 	<ul style="list-style-type: none"> ■日本写真印刷 温室ハウス用システム 
	<ul style="list-style-type: none"> ■ペクセル・テクノロジーズ, 日立造船 グリーンハウス用プラスチックフィルムシステム カラフル性・シースルー性のあるサンシェード 	<ul style="list-style-type: none"> ■イデアルスター 駅舎用建材一体システム 

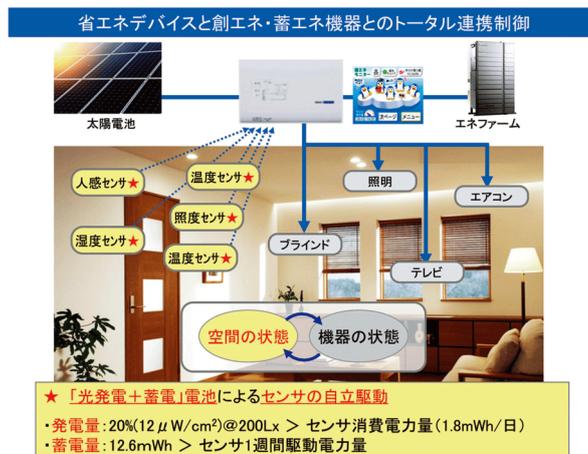
特性		斜めから光が入っても発電する特性		
用途	<ul style="list-style-type: none"> ■住宅のルーフトップ北面等 ■高層建築物（ビル・集合住宅）の壁面等 			
開発事例	<ul style="list-style-type: none"> ■ Dyesol（豪） ガラスファザードおよびメタルベースの建材一体型 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Heliatek（独） 建材一体型 		
	特性	弱い光でも発電する特性		
用途	<ul style="list-style-type: none"> ■独立電源モジュール（ブラインド・スクリーン、無線通信電源等） ■移動体（自動車、列車等） ■電子機器組み込み 			
開発事例	<ul style="list-style-type: none"> ■ソニー モバイル機器用ソーラーチャージャー 	<ul style="list-style-type: none"> ■フジクラ ワイヤレスセンサ 		
	<ul style="list-style-type: none"> ■加賀電子 無線機器「アーミン」 	<ul style="list-style-type: none"> ■ローム 屋内測位インフラ「Place Sticker」 		
	<ul style="list-style-type: none"> ■東京大学 被災地支援携帯用ライト 	<ul style="list-style-type: none"> ■ダイムラー、BASF（独） 自動車ルーフ 		

第2章 太陽光発電

特性	透明性やカラー・デザイン等の意匠性	
用途	■窓材（住宅、ビル等） ■電子広告（商業施設、商業ビル等）	
開発事例	■ソニー Hana-Akari, 発電する窓 	■日本写真印刷 AKARIE 
	■日本写真印刷 独立電源型広告掲示板 	アイシン精機 未来の樹, サイネージ・システム 

出典：各社の発表資料を基に NEDO 作成

また「弱い光でも発電する特性」を持つことから、屋内光を利用した太陽電池とセンサーネットワークとの融合も提案されている。



出典：NEDO 次世代太陽光発電カンファレンス 2012，横浜，2012/12/20，パナソニック発表資料

2.1.2 システム価格, 発電コスト

(1) システム価格

主要国における太陽光発電のシステム価格⁷を図2-19, 表2-3に示す。太陽光発電のシステム価格は、規模や太陽電池の種類, 設置場所, 用途などによって異なる。

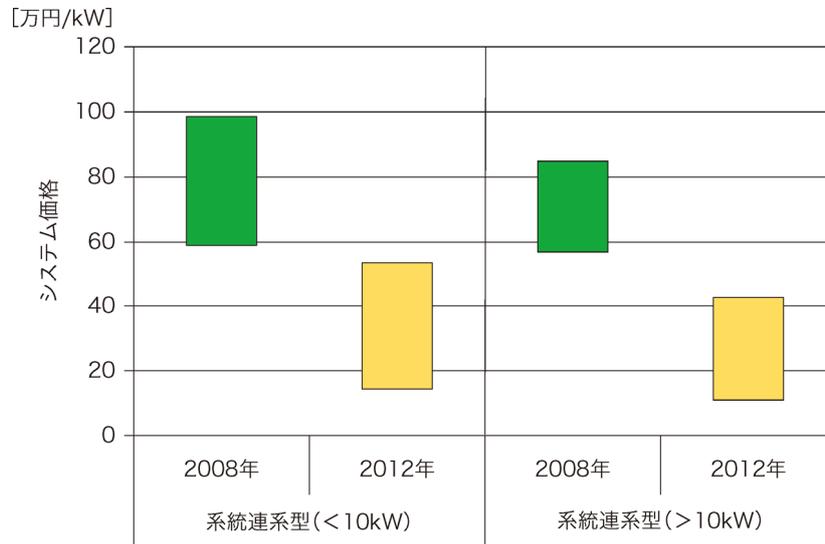


図2-19 主要国の太陽光発電システム価格 (2008-2012年)

出典：表2-3よりNEDO作成

表2-3 主要国の太陽光発電システム価格

[万円/kW]

国	系統連系型 (< 10 kW)		系統連系型 (> 10 kW)	
	2008年	2012年	2008年	2012年
日本	71	48	54	44
ドイツ	59~67	14~25	55	14~17
イタリア	84~99	21~29	64~84	11~26
米国	72~93	43	67	26~40

※：換算レートは、2008年は1ドル=103円, 1ユーロ=152円, 2012年は1ドル=80円, 1ユーロ103円を使用。

出典：TRENDS IN PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2008, (2009, IEA PVPS), 28p

TRENDS 2013 IN PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS Survey Report of Selected IEA Countries between 1992 and 2012, (2013, IEA PVPS), 64pよりNEDO作成

IEA-PVPSの資料によると、2008年時点の10kW以下の系統連系⁸型システムの価格は59~99万円/kWであったが、2012年時点では14~48万円/kWと大幅に低価格化が進んでいる。10kW以上の系統連系型システム価格においても低価格化が進んでおり、2008年時点では54~84万円/kWであったが、2012年時点では11~44万円/kWまで下がっている。図2-20は、同じくIEA-PVPSから報告された代表的な市場における太陽電池モジュールおよびシステム価格の変遷を示したものであるが、2008年から2012年にかけて大きく価格下落が進んでいることが確認できる。これは中国・台湾メーカーを中心とした生産設備への大規模な投資によって、安価な中国

⁷ 設備費 (太陽電池発電システムに掛かる費用), 設置に掛かる諸経費 (施工, 系統連系などに掛かる費用) などの合計をシステム価格と定義する。

⁸ 発電設備 (太陽光発電などの分散型電源など) を電力系統に接続して運用すること。

第2章 太陽光発電

製モジュールが拡大し、低コスト化が急速に進行しつつあること、また、ヨーロッパの経済不況によって、在庫が増加したことなどが影響していると考えられる。

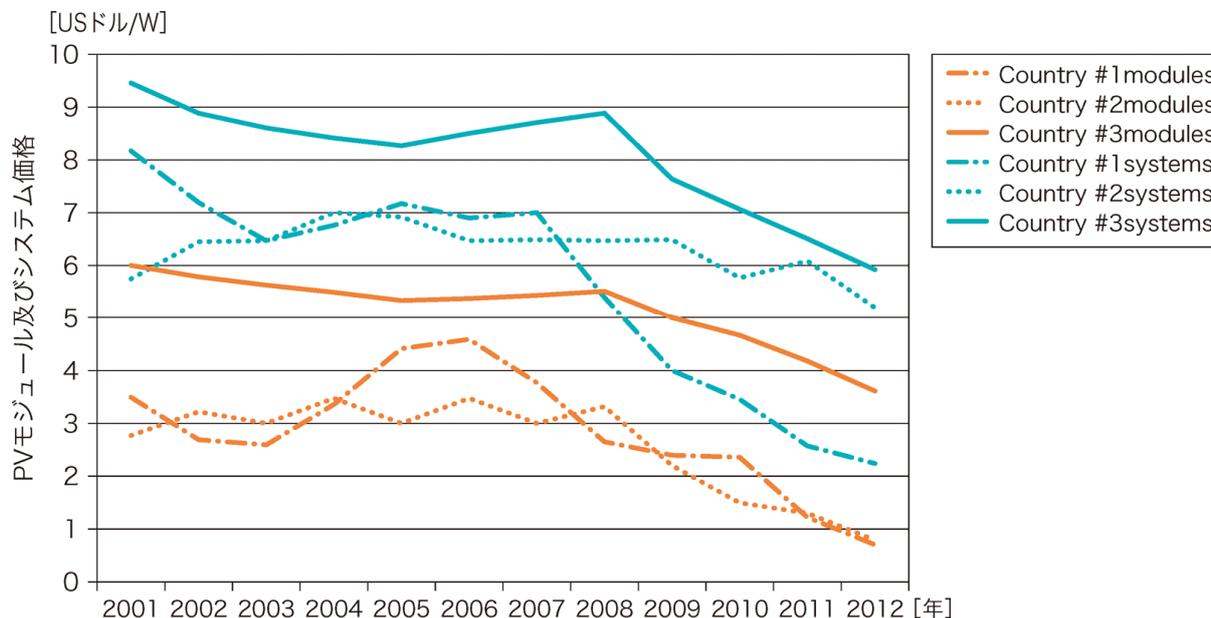


図 2-20 太陽電池モジュールおよび太陽光発電システムの主要国における市場価格推移 (US ドル/W)

出典：TRENDS 2013 IN PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS Survey Report of Selected IEA Countries between 1992 and 2012, (2013, IEA PVPS), 65p.より作成

また、日本における太陽光発電システムの最新の価格水準としては、調達価格等算定委員会において報告されており、2012年では10kW以下のシステムで42.7万円/kW、10kW以上では28万円/kWの水準にあると報告されている。これは各国と比較するとやや高い水準にあり、その要因としては、設置工事などに掛かるコストが高いこと、市場において平均から著しく高い価格で導入されているケースがあることが指摘されている。日本においても、固定価格買取制度⁹などによる太陽光発電システムの導入拡大や競争拡大によって、太陽電池単体および付属機器の低価格化が進み、太陽光発電システム価格の低下が進みつつある (図 2-21, 図 2-22, 図 2-23)。

(2) 発電コスト

2011年時点の太陽光発電の発電コストを図 2-24, 表 2-4 に示す。発電コストは、日照条件や太陽電池の変換効率、耐用年数、設置に掛かる人件費などによって各国間で幅がある。

世界の発電コストは、住宅用で約 18.2 円~36.5 円/kWh, メガソーラー用で約 15.0~29.9 円/kWh である。欧州および米国も同水準にある。2009年時点では、住宅用で 28.8~60.4 円/kWh であり、先に示したシステム価格の低下に伴い、ここ数年で大幅に発電コストの低下が進んでいる。

日本の発電コストは、導入量の約 8 割を占める住宅用系統連系型太陽光発電システムで 33.4~38.3 円/kWh, メガソーラーで 30.1~45.8 円/kWh の水準にある。システム価格が欧米などと比べて高いこと、日照条件がやや悪いことなどによって、欧米と比較すると高い水準にある。

⁹ 日本における固定価格買取制度は「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法 (平成二十三年法律第百八号)」(2012年7月1日施行)によってスタートした。

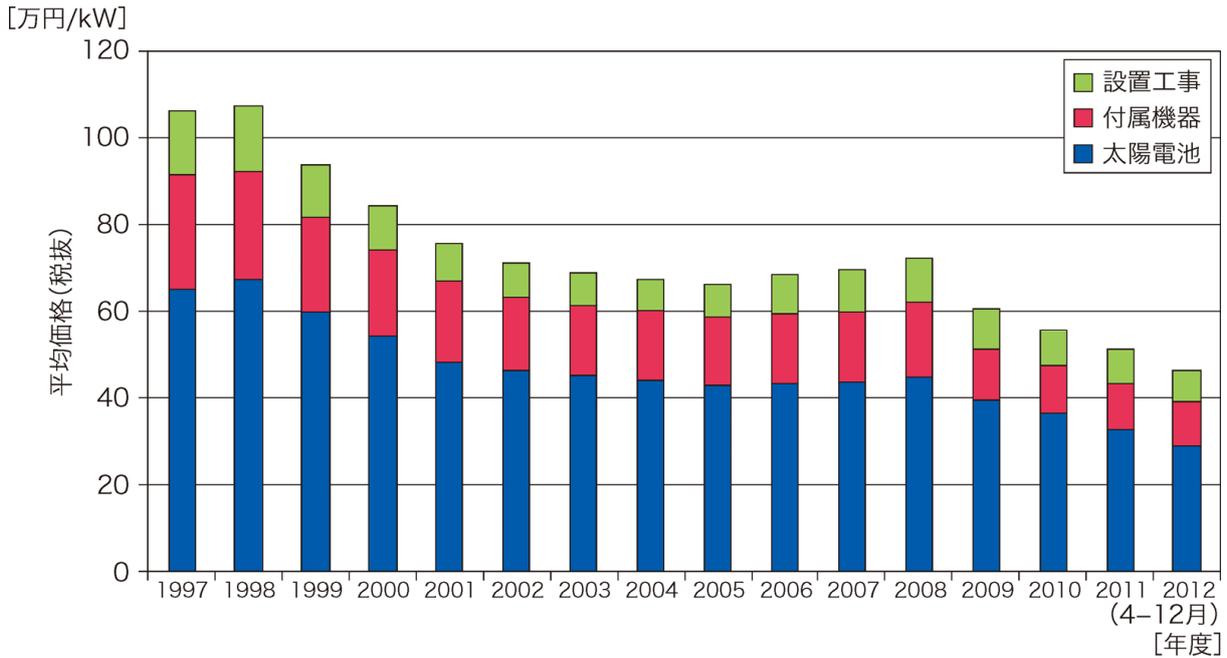


図 2-21 日本の住宅用太陽光発電システム平均価格

出典：資源総合システム，「平成 24 年度太陽光発電システムなどの普及動向に関する調査」（2013，資源エネルギー庁），17p.より NEDO 作成

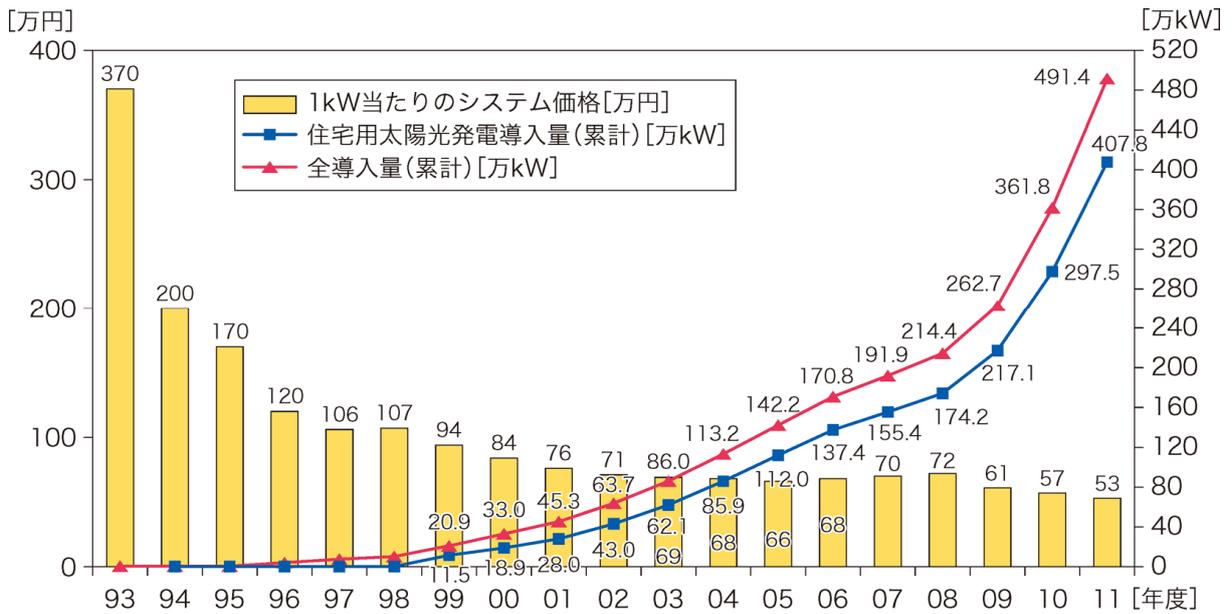
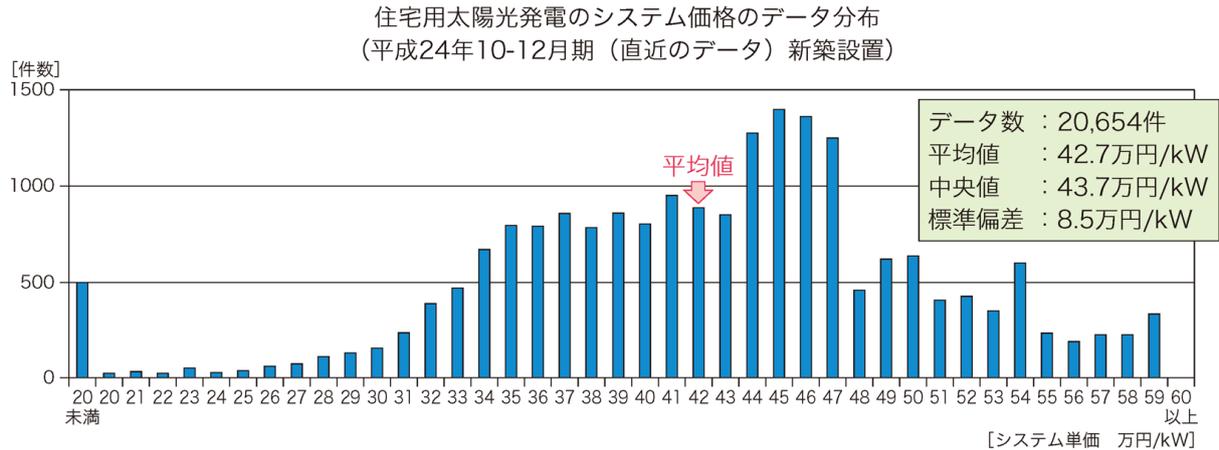


図 2-22 太陽光発電の国内導入量とシステム価格の推移

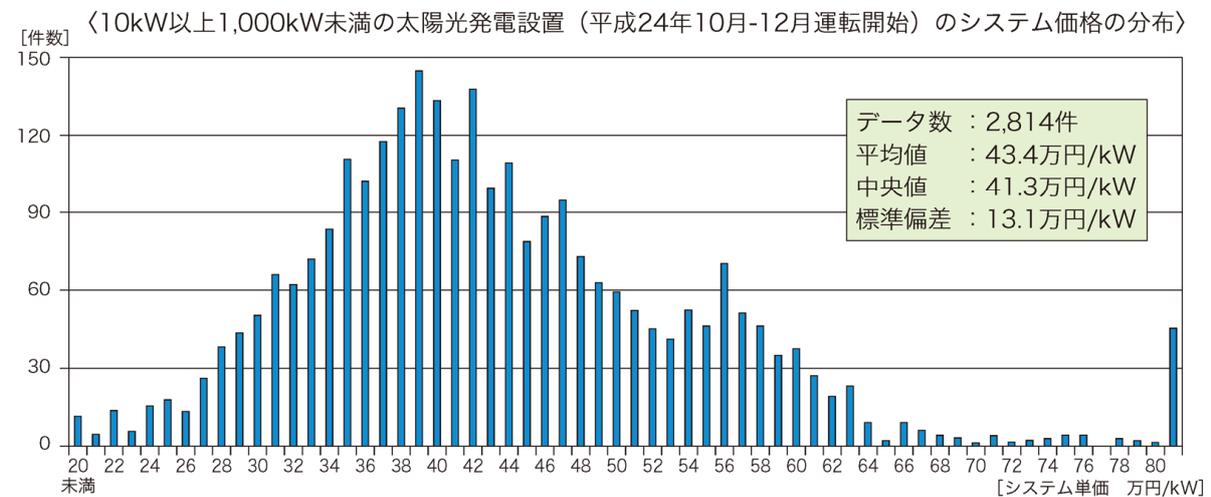
出典：「エネルギー白書 2013」（2013，資源エネルギー庁）128p.より NEDO 作成

第2章 太陽光発電

10kW未満



10kW以上 1,000kW未満



1,000kW以上

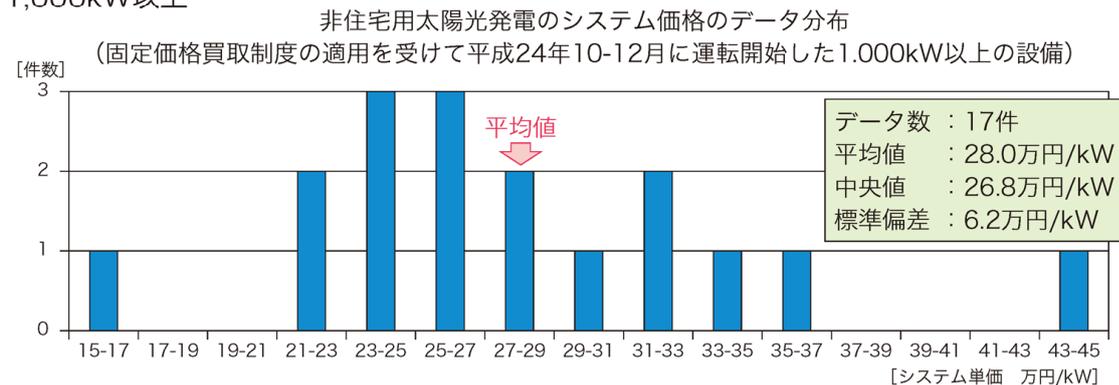


図 2-23 国内における太陽光発電のシステム価格分布

出典：第9回調達価格等算定委員会，2013/2/19，経済産業省，資料2，
http://www.meti.go.jp/committee/shotatsu_kakaku/pdf/009_02_00.pdf
 第10回調達価格等算定委員会，2013/3/6，経済産業省，資料2，
http://www.meti.go.jp/committee/shotatsu_kakaku/pdf/010_02_00.pdf
 より NEDO 作成

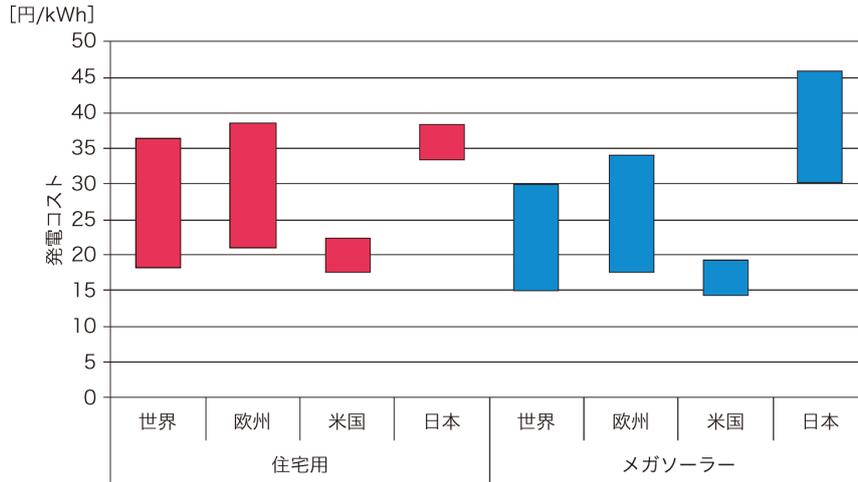


図 2-24 世界および主要国の発電コスト

出典：表 2-4 より NEDO 作成

表 2-4 世界および主要国の発電コスト

	住宅用	メガソーラー
世界	18.2~36.5 円 /kWh (0.228~0.456 ドル /kWh)	15.0~29.9 円 /kWh (0.187~0.374 ドル /kWh)
欧州	20.9~38.5 円 /kWh (0.19~0.35 ユーロ /kWh)	17.6~34.1 円 /kWh (0.16~0.31 ユーロ /kWh)
米国	17.6~22.4 円 /kWh (0.22~0.28 ドル /kWh)	14.4~19.2 円 /kWh (0.18~0.24 ドル /kWh)
日本	33.4~38.3 円 /kWh	30.1~45.8 円 /kWh

(1 ドル 80 円, 1 ユーロ 110 円にて算出)

出典：世界 Solar Energy Perspectives, (2011, IEA)

欧州 Solar Photovoltaics competing in the energy sector, (2011, EPIA)

米国 SunShot Vision Study, (2012, DOE) より NEDO 作成

2.2 導入ポテンシャル, 導入目標, 導入実績

2.2.1 導入ポテンシャル

(1) 世界

地球の表面が 1 時間に受ける太陽光エネルギーは、人類の年間エネルギー消費量に相当するといわれている。豊富な太陽光エネルギーをいかに活用するかが、世界のエネルギー問題解決に向けた重要課題の一つとなっている。

太陽光エネルギーは、地球上で最も豊富に存在する地域偏在性の少ない資源であり、日射が得られる場所であれば、太陽電池モジュールを設置することで一定の発電量を得ることができる。賦存量の大小が発電量および事業採算性に大きく影響する太陽熱発電や風力発電と比較すると、導入障壁は小さいと考えられる。

世界の年間平均日射量マップを図 2-25 に示す¹⁰。米国南西部や中東、アフリカ、豪州、南欧、インド、メキシコ、南米などの賦存量が大きく、年間 2,000~2,500kWh/m² 程度の日射が得られる。これらの地域はサンベルトと呼ばれている。サンベルトでは日射量が極めて豊富であり、他の地域に比べ、より多くの発電量が望めることから、大きな期待が掛かっている。

¹⁰ 太陽光発電の発電ポテンシャルを評価する上では、年間最適傾斜角における斜面日射量を見るのがより実態を反映する。

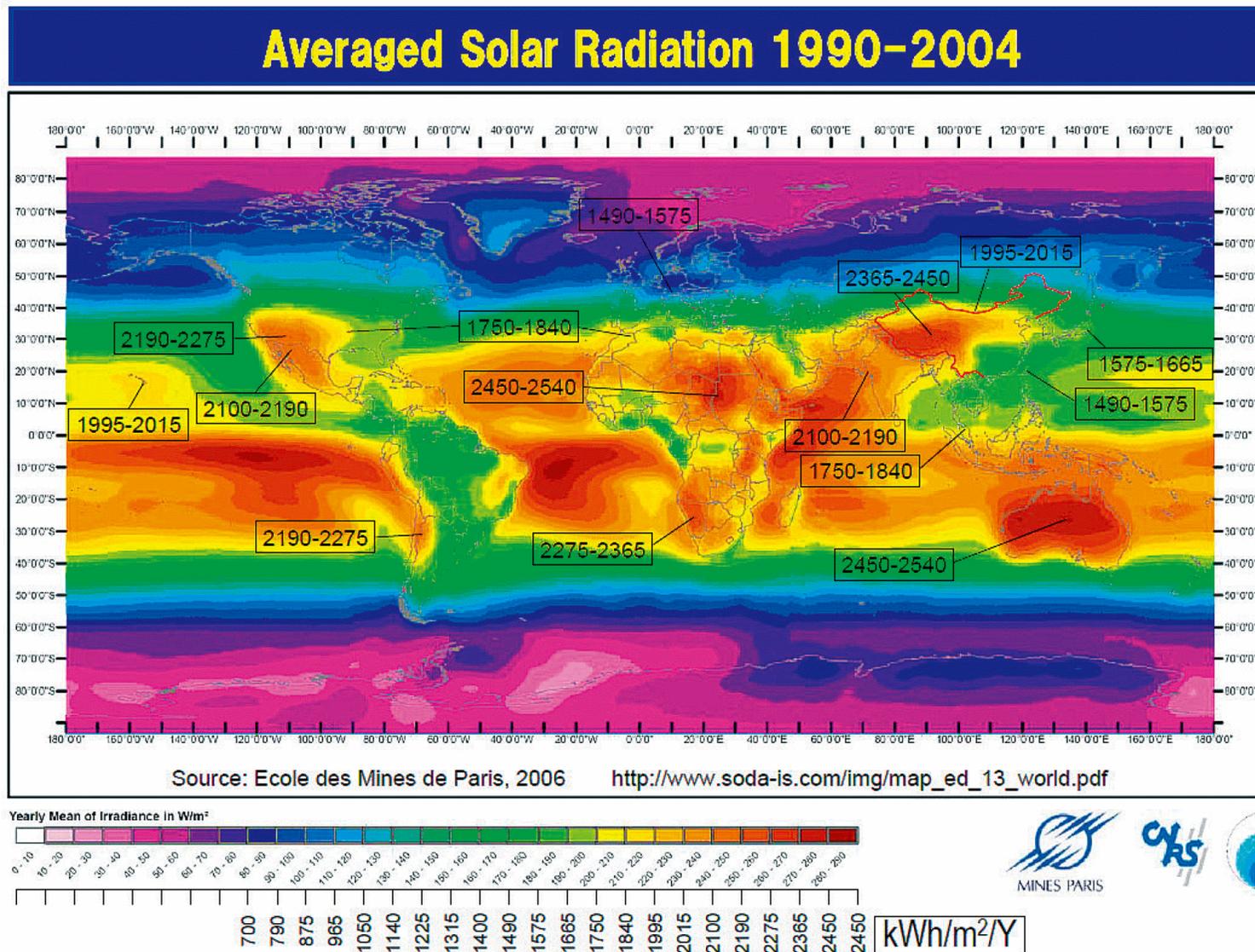


図 2-25 世界の年間日射量マップ

出典：SoDa ホームページ, http://www.soda-is.com/img/map_ed_13_world.pdf

第2章 太陽光発電

地域別には、日本ではおおむね年間 1,000~1,500kWh/m² 程度の日射が得られる。欧州では、スペインやフランス南部、イタリア南部が日射に恵まれている。米国では、モハビ砂漠を中心とする南西地域の日射ポテンシャルが高く、現在モハビ砂漠において、多数の大型太陽光発電プロジェクトが計画・提案されている。

(2) 日本

日本の年間最適傾斜角の斜面日射量を図 2-26 に示す。

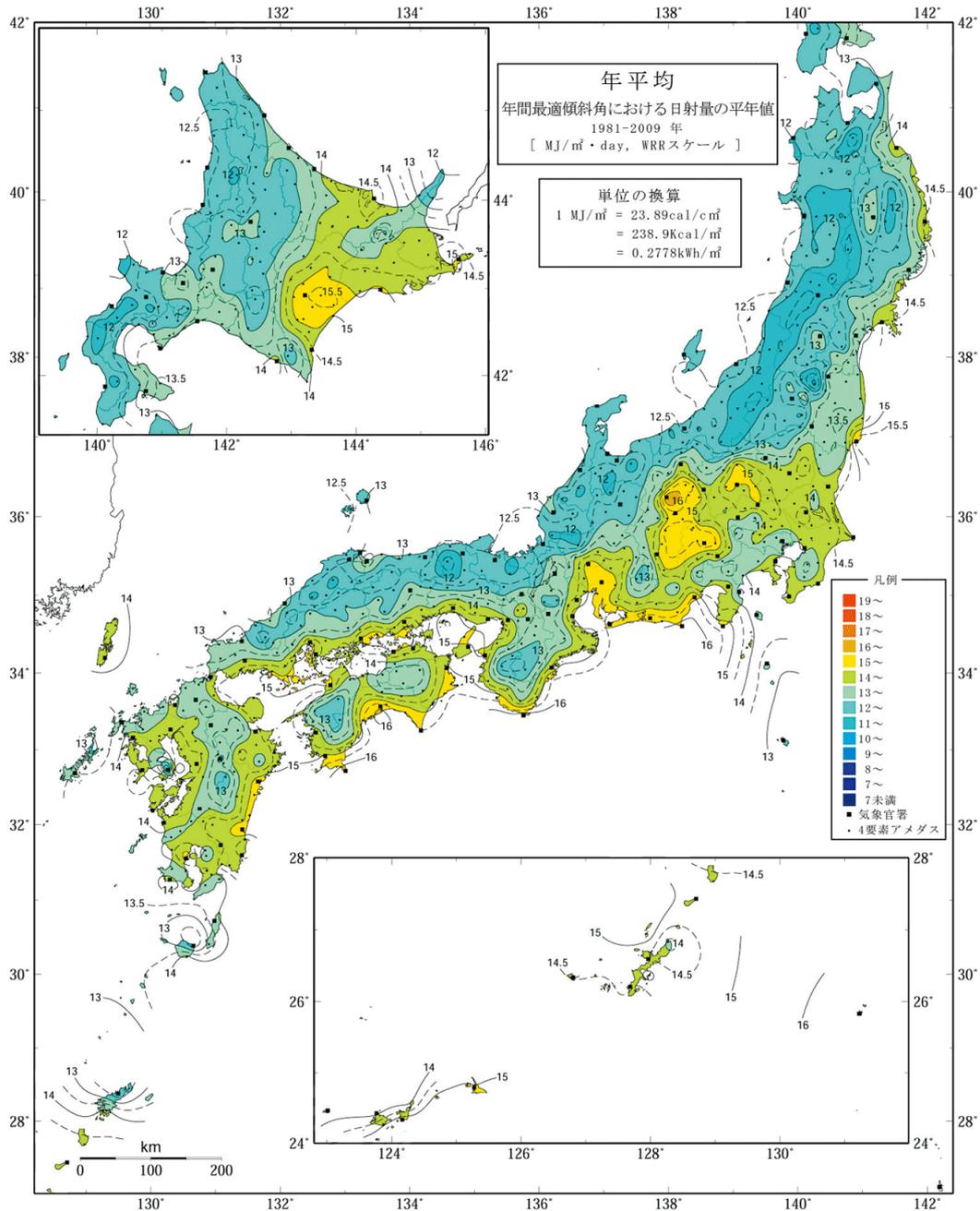


図 2-26 日本の年間最適傾斜角の斜面日射量

出典：NEDO 日射量データベース, <http://www.nedo.go.jp/library/nissharyou.html>

第2章 太陽光発電

日本では比較的、太平洋岸の日照環境がよく、特に山梨県や長野県、静岡県南西部、和歌山県南部、高知県、宮崎県などの日射量が豊富である。太陽光発電は日射が得られれば発電できることから、地域によって発電量に差はあるものの、安定した発電量が期待できる。

都道府県別の太陽光発電システム 1kW 当たりの年間発生電力量を図 2-27 に示す。住宅用太陽光発電の年間の発電量は平均約 1,000kWh/kW で、地域や年によって 1~3 割程度のばらつきがある。特に発電量が多いのは山梨県と静岡県、高知県で 1,100kWh/kW を超えている他、関東以南の太平洋側において全体的に豊富な発電量が得られる。日本の家庭の年間消費電力量は約 4,734kWh/世帯であることから、これと同等の発電量を得る場合のシステム容量としては約 4kW が必要となる。

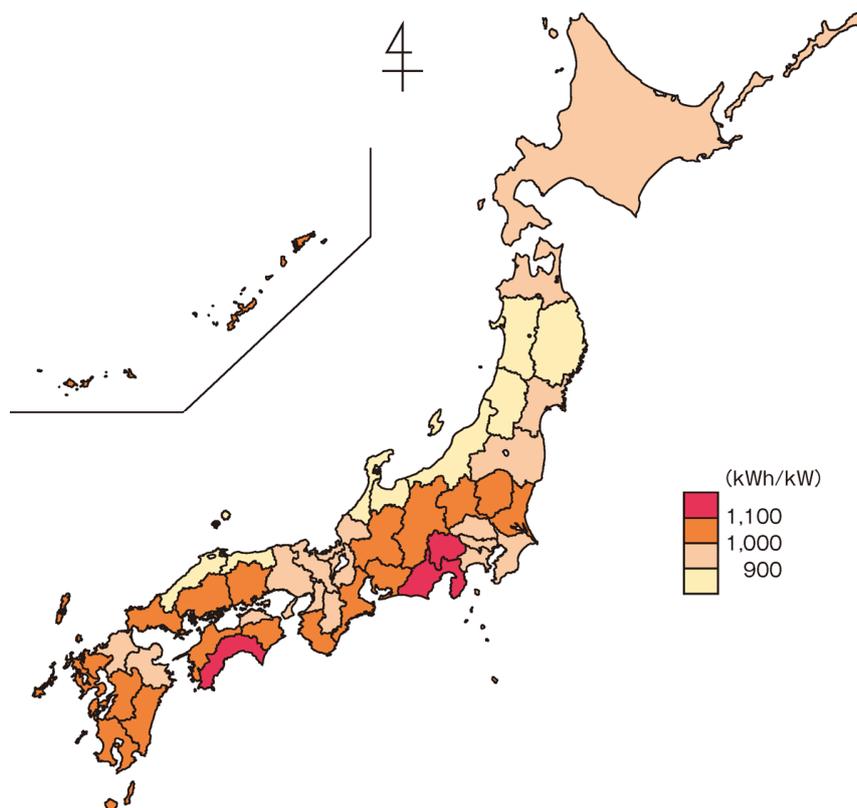


図 2-27 住宅用太陽光発電の都道府県別年間発生電力量 [kWh]

出典：過去 10 年間の kW 当たりの平均発電量，(2005，新エネルギー財団)，
<http://www.solar.nef.or.jp/josei/h18-07.pdf> より NEDO 作成

日本の導入ポテンシャル¹¹については、さまざまな試算が行われている。

住宅の導入ポテンシャルについては、経済産業省によって、屋根・屋上への設置は 65GW、側壁を加えた場合には 91GW と試算されている。非住宅については、経済産業省と環境省、農水省がそれぞれ試算を行っているが、各省によって試算の範囲や条件が異なるため、数値にはばらつきがある。公共系建物その他業務分野産業分野は 20.3GW~52GW と試算されている。低・未利用地や耕作放棄地におけるポテンシャルも大きく、環境省では 34.6GW~97GkW を見込んでおり、公共系建物と合わせた導入ポテンシャルは最大で 150GW と試算している(表 2-5, 表 2-6)。

¹¹ ここでは、導入ポテンシャルは「自然要因(標高、傾斜など)、法規制(自然公園、保安林など)などの開発不可地を除いて算出したエネルギー量」と定義する。

表 2-5 太陽光発電の導入ポテンシャル試算例（住宅、既設+新增設）

		屋根・屋上 ¹²	屋根・屋上に側壁を加えた合計
経済	戸建住宅 ¹³	49 GW	—
産業省	集合住宅	16 GW	42 GW
合計		65 GW	91 GW

出典：コスト等検証委員会報告書（2011, エネルギー・環境会議），34p.より NEDO 作成

表 2-6 太陽光発電の導入ポテンシャル試算例（非住宅、既設+新增設）

		公共系建物その他 業務分野産業分野	低・未利用地 (最終処分場、交 通・運輸分野など)	耕作放棄地等	合計
経済 産業省	側壁なし	20.3 GW ¹⁴	(18~39 GW)	(3~140 GW) ¹⁵	—
	側壁あり	44 GW ¹⁶			—
環境省	レベル 1 ¹⁷	24 GW (220 億 kWh)	16 GW (15 億 kWh)	33 GW (300 億 kWh)	59 GW (540 億 kWh)
	レベル 3 ¹⁸	52 GW (440 億 kWh)	27 GW (240 億 kWh)	70 GW (640 億 kWh) ¹⁹	150 GW (1,300 億 kWh)
農水省		—	—	55 GW (580 億 kWh) ²⁰	—

出典：コスト等検証委員会報告書，（2011，エネルギー・環境会議），34p.より NEDO 作成

農林水産省は、平成 25 年 4 月 1 日に「支柱を立てて営農を継続する太陽光発電設備などについての農地転用許可制度上の取り扱いについて」を公表している。これによって、条件付きではあるが、耕作地の利用が可能となった。2012 年度に NEDO が行った導入ポテンシャル調査の結果によれば、耕作地全面積に対して、導入ポテンシャルとして約 380GW（耕地全面積の 10% 導入が進んだ場合）が試算されている（図 2-28、図 2-29 は NEDO 調査結果の概要）。

なお、導入ポテンシャルに対する導入可能量〔経済性（固定価格買取制度、収益率など）を考慮して、導入ポテンシャルから絞り込んだエネルギー量〕は、将来的な導入目標を設定する際の重要なファクターとなるため、物理的・社会的制約などを十分に考慮した上で、現実的な試算を行うことが重要である。

- 12 物理的制約（屋根・屋上などへの設置可能比率、戸建て住宅の屋根形状）の他、耐震基準適否や戸建て住宅の空室率を考慮
- 13 戸当たり導入量として、現在の戸建て住宅の平均的な導入量（4kW/戸）を想定
- 14 屋根面積のみ（冷却塔・給水塔・保安スペースなどを除くため、屋根面積に 50% を乗じたもの）。
- 15 耕地けい畔、耕作放棄地、ビニルハウス・ガラス室。既存用途との競合や系統アクセスの有無などの制約要因を定量的に考慮することが困難なため、既存調査に示された比率を適用した場合の最小・最大の値として推計
- 16 側壁（窓・出入口・近隣建物隣接を除くため、壁面面積に 50% を乗じたもの）を含む。
- 17 設置しやすいところのみ設置する場合（例：公共系建築物などの屋根のうち 150m² 以上のもの、低・未利用地の管理施設屋根、荒廃した耕作放棄地などのうち 1,500m² 以上のもの）。
- 18 でき得る限り設置する場合〔例：公共系建築物などの屋根、壁面および窓のうち 10m² 以上のもの、低未利用地の管理施設屋根、壁面および窓ならびに未利用部分、荒廃した耕作放棄地などのうちすべて（1050km²）〕。
- 19 平成 20 年度耕作放棄地全体調査（平成 21 年 4 月）において、森林化・原野化しているなど、農地に復元して利用することが不可能な土地（農地に復元するための物理的な条件整備が著しく困難な場合などに区分された土地を対象としている）。
- 20 農林水産省「2010 年農林業センサス」および「平成 21 年度の荒廃した耕作放棄地の状況調査（平成 22 年 9 月）」に基づき、荒廃した耕作放棄地などのうち農地として利用すべき部分を除いた面積の 2/3 程度（1,100km²）を太陽光発電に活用すると仮定して算出。

第2章 太陽光発電

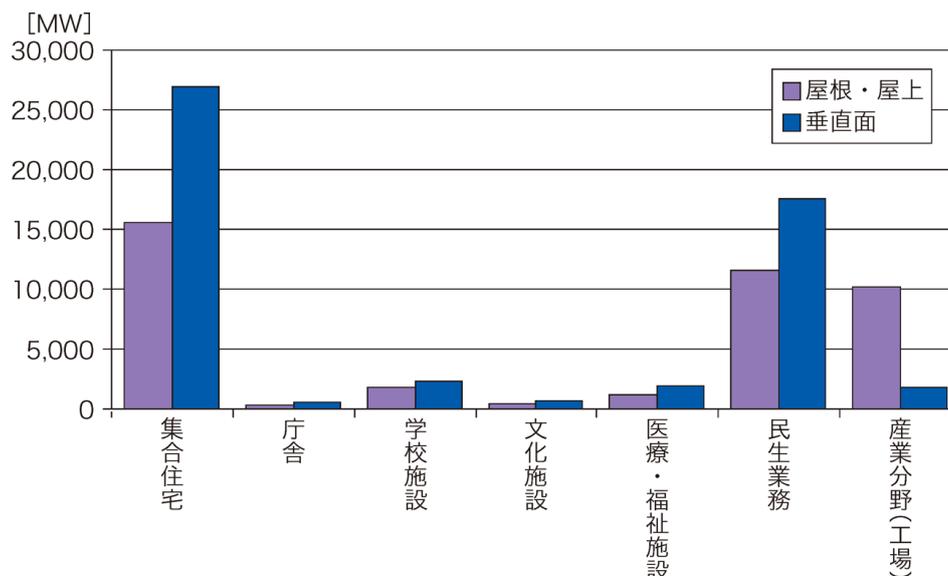


図 2-28 建物の導入ポテンシャル

出典：表 2-7, 表 2-8, 表 2-9 を基に NEDO 作成

表 2-7 建物の導入ポテンシャルの推計条件

分類	制約条件		導入ポテンシャル推計				
	物理的制約条件	その他制約条件	設置角度	想定アレイ効率	アレイ面積 [m ² /kW]	必要面積 [m ² /kW]	
集合住宅	屋根・屋上	49.9% (設置不可能面積, パネル以外必要面積除く)	33-67% (耐震基準等)	10度	15%	6.67	8.58
	垂直面	25.0% (出入り口, 近隣建物隣接面積除く)	33-67% (耐震基準等)	90度	15%	6.67	6.67
非住宅	屋根・屋上	49.9% (設置不可能面積, パネル以外必要面積除く)	36-76% (耐震基準等)	30度	15%	6.67	11.55
	垂直面	25.0% (出入り口, 近隣建物隣接面積除く)	36-76% (耐震基準等)	90度	15%	6.67	6.67

出典：みずほ情報総研編, 太陽光発電における新市場拡大等に関する検討 (2013, NEDO)

表 2-8 建物 (集合住宅) の導入ポテンシャル推計まとめ

	導入可能規模 [GW]			
	物理的制約条件	その他の制約条件	1日あたり日照時間別分布	
			5時間以上	9.0
屋根・屋上	25.2	15.5	3~5時間	4.1
			1~3時間	1.8
			1時間未満	0.5
側壁	40.3	26.7	5時間以上	15.3
			3~5時間	7.2
			1~3時間	3.2
			1時間未満	0.9

出典：みずほ情報総研編, 太陽光発電における新市場拡大等に関する検討 (2013, NEDO)

表 2-9 建物（非住宅）の導入ポテンシャルの推計まとめ [MW] ²¹

種別		屋根・屋上				側壁	
		設置角度 0 度		設置角度 30 度		設置角度 90 度	
		物理的 制約条件	その他 制約条件	物理的 制約条件	その他 制約条件	物理的 制約条件	その他 制約条件
庁舎	本庁舎	341	159	197	92	342	159
	支庁・地方事務所	273	127	157	73	273	127
	国有財産	409	190	236	110	410	191
	小計	1,023	476	591	275	1,025	477
学校施設	幼稚園	96	42	55	24	72	32
	小学校	2,865	1,230	1,654	710	2,154	924
	中学校	1,720	738	993	426	1,293	555
	高等学校	1,249	543	721	314	939	409
	中等専門学校	1	1	1	0	1	0
	高等専門学校	54	23	31	13	41	17
	大学	799	339	461	196	600	255
	短期大学	7	3	4	2	5	2
	専修大学	30	13	17	7	22	10
	保育所	190	81	110	47	143	61
小計	7,012	3,012	4,048	1,739	5,272	2,264	
文化施設	文化施設	1,253	683	724	395	1,047	571
	小計	1,253	683	724	395	1,047	571
医療・福祉 施設	医療施設（病院）	2,002	1,522	1,156	879	1,864	1,416
	医療施設（診療所）	39	29	22	17	36	27
	その他福祉施設	765	412	442	238	712	384
	小計	2,806	1,964	1,620	1,134	2,612	1,828
民生業務 施設	事務所	6,716	4,202	3,878	2,426	7,913	4,951
	店舗	6,445	4,359	3,721	2,517	5,998	4,057
	倉庫	7,977	4,421	4,606	2,553	4,287	2,376
	福利厚生施設	387	251	224	145	359	233
	ホテル・旅館	828	525	478	303	1,346	854
	文教用施設	2,995	1,665	1,729	961	2,962	1,646
	宗教用施設	1,657	639	957	369	1,267	489
	ビル型駐車場	171	138	99	80	131	105
	その他の建物	5,021	3,664	2,899	2,115	3,841	2,803
利用していない建物	199	89	115	51	173	77	
小計	32,397	19,954	18,704	11,520	28,275	17,591	
産業施設 (工場)	産業分野	29,927	17,483	17,279	10,094	2,916	1,719
	小計	29,927	17,483	17,279	10,094	2,916	1,719
合計		74,418	43,572	42,965	25,156	41,147	24,449

出典：みずほ情報総研編，太陽光発電における新市場拡大等に関する検討（2013，NEDO）

²¹ 実際の導入を考慮して、網掛けをしている「設置角度 30 度・その他の制約条件」および「設置角度 90 度・その他の制約条件」の値を、新規設置場所候補の抽出に用いるポテンシャルとしている。

第2章 太陽光発電

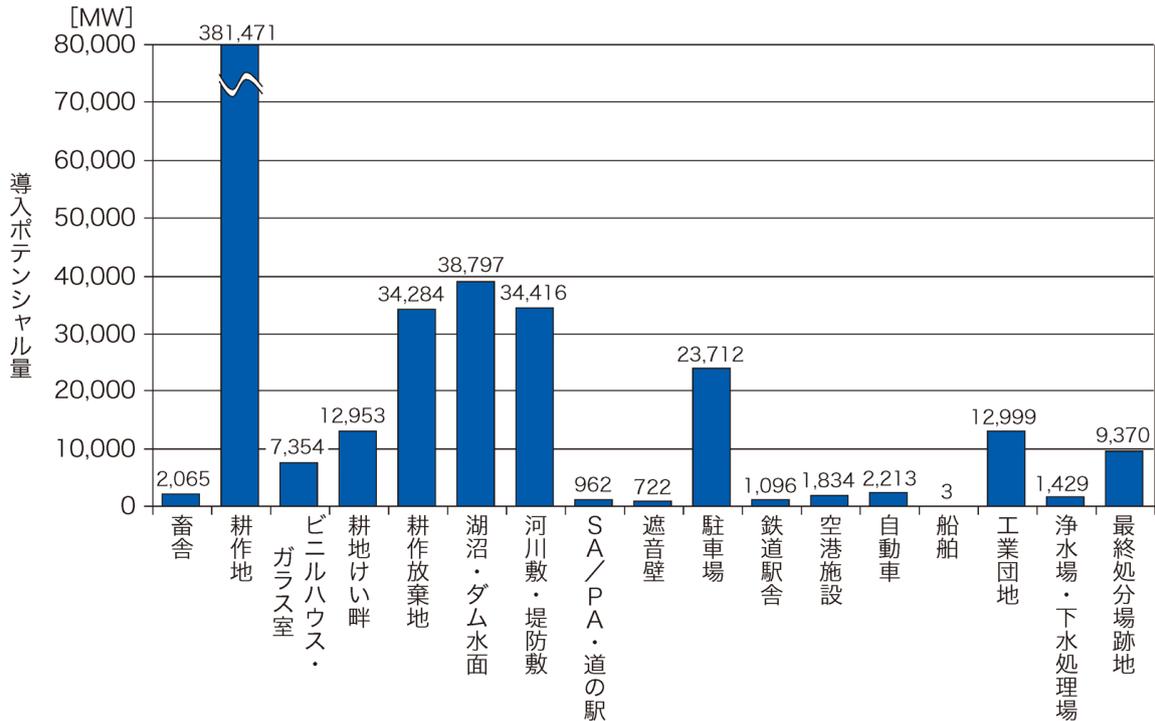


図 2-29 建物以外の導入ポテンシャル

出典：みずほ情報総研編，太陽光発電における新市場拡大等に関する検討（2013，NEDO）

表 2-10 建物以外の導入ポテンシャルの推計条件

分類	導入ポテンシャル推計			
	設置角度	想定アレイ効率	アレイ面積 [m ² /kW]	必要面積 [m ² /kW]
遮音壁, ビニルハウス・ガラス室	90度または0度	15%	6.67	6.67
自動車	乗用車 100 W 貨物車：普通車 1.5 kW, 小型車 360 W, 軽自動車 180 W			
船舶	6.75 m ² /kW			
上記以外	30度	15%	6.67	11.55

出典：みずほ情報総研編，太陽光発電における新市場拡大等に関する検討（2013，NEDO）

表 2-11 建物以外の導入ポテンシャルの推計まとめ

		面積全体[m ²]	設置可能割合 (想定)	導入可能面積 [m ²]	導入 ポテンシャル [MW]
農業関連	畜舎	29,812,571	80 %	23,850,057	2,065
	耕作地	44,059,850,000	10 %	4,405,985,000	381,471
	ビニルハウス・ガラス室	490,490,000	10 %	49,049,000	7,354
	耕地けい畔	1,870,150,000	8 %	149,612,000	12,953
	耕作放棄地	3,959,810,000	10 %	395,981,000	34,284
水上空間	湖沼・ダム水面	4,481,000,000	10 %	448,100,000	38,797
	河川敷・堤防敷	1,767,700,000	28 % (河川敷) 5 % (堤防敷)	397,500,000	34,416
交通関連	SA/PA・道の駅	11,110,606	100 %	11,110,606	962
	遮音壁	12,040,000	40 %	4,816,000	722
	駐車場	436,670,000	100 % (大型) 56 % (個人宅)	273,870,000	23,712
	鉄道駅舎	126,593,770	10 %	12,659,377	1,096
	空港施設	141,180,000	15 %	21,177,000	1,834
	自動車	74,182,454 台	—	20,500,000 台	2,213
	船舶	124,413	—	20,827	3
施設用地	工業団地	150,142,600	100 %	150,142,600	12,999
	浄水場・下水処理場	16,507,375	100 %	16,507,375	1,429
	最終処分場跡地	108,221,205	100 %	108,221,205	9,370
合計	57,661,402,540		6,468,602,047	565,680	

出典：みずほ情報総研編，太陽光発電における新市場拡大等に関する検討（2013，NEDO）

2.2.2 導入目標

日本と欧州，米国，中国，インド，中東・アフリカ，東南アジア・豪州における再生可能エネルギーおよび太陽光発電の導入目標例を表 2-12 に示す。

表 2-12 再生可能エネルギー・太陽光発電の導入目標例

	再生可能エネルギー全体	太陽光発電
日本	<ul style="list-style-type: none"> 「2030 年のエネルギー需給展望」（総合資源エネルギー調査会 需給部会，2005）において，2010 年の新エネルギーの対一次エネルギー供給比を，3.0 % に引き上げる導入目標を設置。 	<ul style="list-style-type: none"> 2008 年の福田ビジョンにおいて「2020 年までに現在の 10 倍，2030 年までに 40 倍」，2009 年の麻生総理（当時）スピーチにより，「2020 年までに現在の 20 倍」という目標を設定。
EU	<ul style="list-style-type: none"> 2007 年に，2020 年までに EU 全体の最終エネルギー消費量に占める再生可能エネルギーの割合を 20 % とする戦略を決定。 2009 年の「再生可能エネルギー導入促進に関する欧州指令」で，上記目標達成のための国別目標値を設定。 欧州連合加盟各国は国家再生可能エネルギー行動計画（NREAP）を提出 	<ul style="list-style-type: none"> 欧州再生可能エネルギー評議会は，左記指令の目標を達成するために必要な太陽光発電導入量を，2010 年に 20 TWh，2020 年には 180 TWh と試算。 欧州エネルギー技術戦略計画（SET-Plan）において，2020 年までに EU の電力消費量の 12 % を太陽光発電でまかなう目標を設定。 NREAP による 2020 年の導入目標は 80 GW。

第2章 太陽光発電

	再生可能エネルギー全体	太陽光発電
米国	<ul style="list-style-type: none"> 多くの州で、電力部門における再生可能エネルギー利用義務制度（RPS）を策定。オバマ大統領は、2025年までに25%導入という連邦RPS制度を提案。 オバマ大統領は「New Energy for America」で再生可能エネルギー由来の電力量割合を、2012年に12%、2025年に25%とする目標を発表。 	<ul style="list-style-type: none"> RPSについて、16の州が太陽光発電でまかなうべき電力の割合を規定。
中国	<ul style="list-style-type: none"> 「再生可能エネルギー中長期発展計画」（2007年9月）、「再生可能エネルギー発展第11次5ヵ年計画」（2008年3月）において、エネルギー消費総量に占める再生可能エネルギー消費量の割合を、2010年までに10%に、2020年に15%に引き上げる目標を設定。 第12次5ヵ年計画において、2015年までにエネルギー消費量に占める新エネルギーの割合を9.5%にするという導入目標を設定。 	<ul style="list-style-type: none"> 左記「中長期発展計画」において、2020年までに太陽エネルギー利用の発電設備容量を2.0GW（うち太陽熱発電を0.2GW）とする目標を設定。 第12次5ヵ年計画において、太陽エネルギー利用（太陽光・太陽熱発電の合計）の発電設備容量を21GW、2020年50GWを目標として設定。
韓国	<ul style="list-style-type: none"> 「グリーン成長国家戦略」を実践に移すための5ヵ年行動計画（2009～2013）において、再生可能エネルギー由来の電力量割合を、2013年に3.78%、2020年には6.08%まで増やすとしている 電力部門における再生可能エネルギー利用義務制度（RPA）を導入。 	<ul style="list-style-type: none"> RPAの中で、太陽光発電については、2012～2016の5年間で1.2GWの導入が義務付けられている。
インド	<ul style="list-style-type: none"> 各州において、RPS制度を実施。 “National Action Plan for Climate Change (NAPCC)”において、再生可能エネルギー由来の電力購入義務を2020年に15%と設定。 	<ul style="list-style-type: none"> 2009年11月に“National Solar Mission”を発表。2022年までに系統連系型太陽エネルギー利用の発電設備を20GW導入する目標を設定。
中東・アフリカ	<ul style="list-style-type: none"> UAEは2020年までに再生可能エネルギーによる発電の割合を7%とする目標。 チュニジアは「チュニジア・ソーラー・プラン」において、総発電容量に占める再生可能エネルギーの割合を2016年に16%、2030年に40%と目標設定。 	<ul style="list-style-type: none"> UAEでは太陽光発電のみの目標値はないが、左記目標は主に太陽エネルギーにより達成される見込み。 「チュニジア・ソーラー・プラン」において、2016年までに合計40MWの太陽光発電プロジェクトが計画されている。
東南アジア	<ul style="list-style-type: none"> タイは「AEDP 2012-2021」において、2021年までにエネルギー消費量に占める再生可能エネルギー（NGV含む）の割合を25%とする目標を設定。 マレーシアは、国家再生可能エネルギー政策・アクションプランにおいて、再生可能エネルギーの発電容量を2020年までに2,065MW、2030年までに3,484MWにする目標を掲げている。 	<ul style="list-style-type: none"> タイは左記計画において、太陽光発電の導入目標を2021年までに2GWと設定。 マレーシアは左記計画において、太陽光発電の発電容量を2020年までに175MW、2030年までに854MWにする目標を掲げている。
豪州	<ul style="list-style-type: none"> 電力供給量の20%を、2020年までに再生可能エネルギーから調達するという目標（Renewable Energy Target = RET）を設定。 	<ul style="list-style-type: none"> 左記目標達成に向けて、太陽光発電と太陽熱発電の合計で1,000MWhの発電量を目標にしたソーラー・フラッグシップ・プログラムを実施。

出典：2.2.2 導入目標 (1)～(9)に基づき NEDO 作成。

(1) 日本

日本における太陽光発電の導入目標を表 2-13 に示す。

日本の太陽光発電導入目標としては、2008年に福田ビジョンに基づき閣議決定された「低炭素社会づくり行動計画」において「2020年までに現在の10倍、2030年までに40倍」とする目標を掲げた。2009年には麻生総理（当時）のスピーチによって「2020年までに現在の20倍」とする新たな方針を掲げた。

これを受けて「長期エネルギー需給見通し（再計算）」（2009年8月）では、最大導入ケースにおける2020年の太陽光発電導入量を28GW（原油換算700万kL、2005年の20倍程度）と想定している。また、2030年には53GW（原油換算1,300万kL）が導入されると想定している。

また、2012年4月よりスタートした再生可能エネルギーの固定価格買取制度（FIT）によって、太陽光発電の本格的な普及拡大が期待されている。

表 2-13 日本における導入目標例

政策	2020年	2030年
低炭素社会づくり行動計画（閣議決定）	現在の10倍	現状の40倍
麻生総理スピーチを受けた「長期エネルギー需給見通し（再計算）」	28GW （麻生総理（当時）スピーチにより、2020年までに現在の20倍とする新たな方針を提示）	53GW

出典：低炭素社会づくり行動計画，（2008/7/29 閣議決定）環境省
長期エネルギー需給見通し，（2009，経済産業省），
<http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g90902a01j.pdf> より NEDO 作成

(2) 欧州

欧州における太陽光発電の導入目標例を表 2-14 に示す。

表 2-14 欧州における導入目標例

政策	2020年
再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令	EU全体の最終エネルギー消費量に占める再生可能エネルギーの割合を20%に引き上げるための国別目標値を設定。
Renewable Energy Technology Roadmap 20% by 2020 (EREC)	180 TWh ※上記指令を達成するために必要な太陽光発電による発電量
欧州エネルギー技術戦略計画 (SET-Plan)	EUの電力消費量の12%を太陽光発電でまかなう
欧州連合加盟国各国の国家再生エネルギー行動計画	2020年までに> 80 GWを導入

出典：DIRECTIVE 2009/28/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 April 2009, (5.6.2009, Official Journal of the European Union)
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=Oj:L:2009:140:0016:0062:en:PDF>
Renewable Energy Technology Roadmap 20% by 2020, (2008, EREC)
http://www.erec.org/fileadmin/erec_docs/Documents/Publications/Renewable_Energy_Technology_Roadmap.pdf
SET-Plan Technology Roadmap, (2009, EC),
http://ec.europa.eu/energy/technology/set_plan/set_plan_en.htm より NEDO 作成

第2章 太陽光発電

2007年3月、欧州理事会は、EUの地球温暖化対策として、EU全体のエネルギー消費全体に占める再生可能エネルギーの比率を2020年までに20%に引き上げることで合意した。これを受けて「再生可能電力推進に関する指令」²²と「バイオ燃料促進に関する指令」²³を修正、廃止する新たな指令である「再生可能な資源からのエネルギー使用の推進に関する指令」が策定され、本指令において加盟各国に法的拘束力のある数値目標が設定された。

欧州再生可能エネルギー評議会（European Renewable Energy Council：EREC）は、この目標を達成するために必要な再生可能エネルギーの種類ごとの寄与度（発電量）を試算しており、2020年には180TWhが太陽光発電によって供給されると予測している（表2-15）。これは2020年時点の欧州の電力需要予測（3,914TWh）の約5%に相当する。

表2-15 目標達成に必要なとなる太陽光発電による発電量予測

	2006年	2010年	2020年
発電量 [TWh]	2.5	20	180

出典：Renewable Energy Technology Roadmap 20% by 2020, (2008, EREC),
http://www.erec.org/fileadmin/erec_docs/Documents/Publications/Renewable_Energy_Technology_Roadmap.pdf
 より NEDO 作成

また、低炭素化社会実現に向けた技術開発戦略である「欧州エネルギー技術戦略計画（SET-Plan）」²⁴において、2020年までにEUの電力消費量の12%を太陽光発電で賄う目標が掲げられている。欧州連合加盟国では80GW以上の太陽光発電の導入を計画している。

(3) 米国

米国における太陽光発電の導入目標量例を表2-16に示す。

米国においては、国全体としての導入目標値は掲げられていない。ただし29の州政府とワシントンDC政府が、電気事業者に対して供給電力の一定割合を再生可能エネルギーで賄うことを義務付けるRPS制度を導入しており、そのうち16州は太陽光発電による電力の割合を規定によって定めている²⁵（図2-30、表2-17）。

表2-16 米国における導入目標量例

出典	2020年	2030年
RPS法	州別RPS法により規定	
New Energy for America (オバマ大統領)	(2012年) 再生可能エネルギー由来の 電力量割合：10%	(2025年) 再生可能エネルギー由来の 電力量割合：25%

出典：Barack Obama and Joe Biden, New Energy for America, DSIRE,
http://energy.gov/sites/prod/files/edg/media/Obama_New_Energy_0804.pdf
 より NEDO 作成

²² EUの全電力供給量に占める再生可能電力の割合を2010年までにEU全体で21%にするという目標を掲げ、加盟各国に目標（法的拘束力なし）を設定した指令。（Directive 2001/77/EC）

²³ 2010年までにガソリン、ディーゼル油の5.75%をバイオ燃料で代替する目標（法的拘束力なし）を設定した指令。（Directive 2003/30/EC）

²⁴ 低炭素化社会の早期実現に向けて、EU全体で共同し、低炭素化技術の研究開発および普及を加速させることを目的としたEUの技術開発戦略。

²⁵ 2013年3月時点。

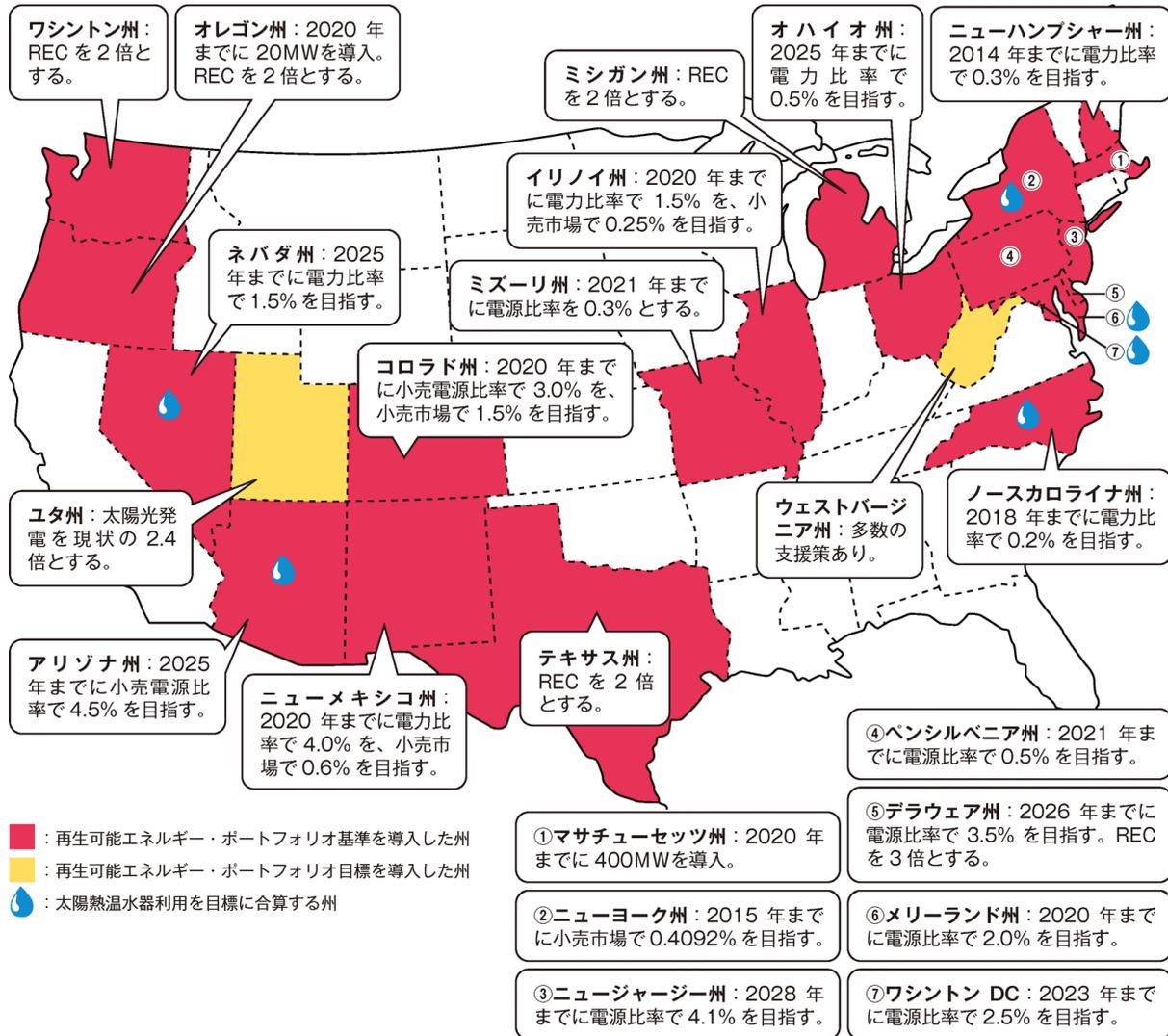


図 2-30 州別の太陽光発電に関する再生可能ポートフォリオ基準 (RPS) 導入状況 (2013年3月時点)

※RECとは、電力事業における再生可能エネルギーポートフォリオ率を高めるため、米国内で導入された再生可能エネルギー・クレジット (Renewable Energy Credit) 制度を指す。クレジットは売買可能であり、電力事業者は、クレジットを購入して自社の再生可能エネルギーポートフォリオ率にカウントすることができる。

出典: DSIRE ホームページ, <http://www.dsireusa.org/summarymaps/index.cfm?ee=0&RE=0> より NEDO 作成

また、オバマ大統領が掲げる「New Energy for America」計画では、電力消費量に占める再生可能エネルギー由来の電力量の割合を、2012年までに10%、2025年までに25%に引き上げる目標を掲げている。

第2章 太陽光発電

表 2-17 太陽光発電に関する州別 RPS の規定

州	目標（達成年）	太陽光発電による割合（達成年）
オハイオ	12.5 % (2024 年)	0.5 % (2025 年)
イリノイ	25 % (2025 年)	1.5 % (2025 年)
ペンシルバニア	~18 % (2021 年)	0.5 % (2021 年)
ニュージャージー	20.38 % (2021 年)	4.1 % (2028 年)
ノースカロライナ	私営：12.5 % (2021 年) 公営：10 % (2018 年)	0.2 % (2018 年)
メリーランド	20 % (2022 年)	2 % (2020 年)
ミズーリ	15 % (2021 年)	0.3 % (2021 年)
ネバダ*	25 % (2025 年)	1.5 % (2025 年)
コロラド	私営：30 % (2020 年) 公営：10 % (2020 年)	3.0 % (2020 年)
ニューメキシコ	私営：20 % (2020 年) 公営：10 % (2020 年)	4 % (2020 年)
ニューハンプシャー	24.8 % (2025 年)	0.3 % (2014 年)
デラウェア*	25 % (2025 年)	3.5 % (2026 年)
マサチューセッツ	15 % (2020 年)	400 MW (2020 年)
オレゴン	25 % (大規模事業者) (2025 年) 5 %~10 % (小規模事業者) (2025 年)	20 MW (2020 年)
アリゾナ	15 % (2025 年)	4.5 % (2025 年)
ワシントン DC	20 % (2020 年)	2.5 % (2023 年)

※：太陽光については、導入量を割増してカウントする優遇策あり。

出典：DSIRE, <http://www.dsireusa.org/summarymaps/index.cfm?ee=0&RE=0> より NEDO 作成

(4) 中国

中国における太陽光発電の導入目標量例を表 2-18 に示す。

表 2-18 中国における導入目標量例

施策名	2015 年	2020 年
「再生可能エネルギー中長期発展計画」	—	エネルギー消費総量に占める再生可能エネルギー消費量の割合を 15 % に引き上げ
「再生可能エネルギー発展第 11 次 5 年計画」	—	太陽光発電設備容量を 1.8 GW に引き上げ
「新エネルギー産業振興計画」	—	太陽エネルギー利用の発電設備容量を 2020 年までに 20 GW に上方修正（太陽光・太陽熱を含む）
「第 12 次 5 年計画」	太陽エネルギー利用（太陽光・太陽熱発電の合計）の発電設備容量を 21 GW	太陽エネルギー利用（太陽光・太陽熱発電の合計）の発電設備容量を 50 GW

出典：海外電力 2008 年 10 月号, (2008, 海外電力調査会) 85p.,

海外電力 2010 年 3 月号, (2010, 海外電力調査会) 17p.,

中国城市低炭経済ネット, 2012.9.13, http://www.cusdn.org.cn/news_detail.php?id=214992 より NEDO 作成

中国は「再生可能エネルギー中長期発展計画」（2007 年 9 月）, 「再生可能エネルギー発展第 11 次 5 年計画」（2008 年 3 月）において, エネルギー消費総量に占める再生可能エネルギー消費量の割合を, 2010 年までに 10% に, 2020 年に 15% に引き上げる目標を設定している。また,

第2章 太陽光発電

同計画において、2020年までに太陽エネルギー利用の発電設備容量を2.0GWに引き上げる目標を設定し、そのうち1.8GW分は太陽光発電、0.2GW分は太陽熱発電を導入するとしている。なお、2009年に発表された「新エネルギー産業振興計画」によって、上記目標を2020年までに20GWと大きく上方修正する意向を示しており、中国のエネルギー政策における太陽エネルギー利用の位置付けは高い。

第12次5ヵ年計画（2011～2015年）では、太陽エネルギー利用の発電設備容量（太陽光・太陽熱発電の合計）を2015年までに21GW、2020年までに50GWにするという目標が掲げられている。

2009年より実施されている、BIPV（建築物一体型太陽光発電システム）への助成制度や、金太陽工程（金太陽モデルプロジェクト）によるメガソーラーや遠隔地への導入支援が奏功し、中国における太陽光発電の導入は大きく伸びている。金太陽工程は、原則的に系統連系型の太陽光発電事業に対して総投資額の50%を補助し、さらには遠隔地の独立型太陽光発電システムの設置について総投資額の70%を補助するもので、2～3年以内（2012年まで）に500MW以上の導入計画が承認されている。

(5) 韓国

韓国では「グリーン成長国家戦略」を実践に移すための5ヵ年行動計画（2009～2013）において、新エネルギーおよび再生可能エネルギーの供給割合を、2009年の2.7%から2013年に3.78%、2020年には6.08%まで増やすとしている。

また、再生可能エネルギー電力を増加させるために、電力部門における再生可能エネルギー利用義務制度（Renewable Portfolio Agreement：RPA）を導入しており、現在、大手電力会社6社を含む十数社が同制度に参加予定である。太陽光発電については、表2-19に示す導入目標が掲げられている。

表2-19 RPAにおける太陽光発電の導入目標

[MW]

	2012	2013	2014	2015	2016	合計 (新設)
太陽光	220	230	240	250	260	1,200

出典：National Survey Report of PV Power Applications in Korea 2011, (2012, IEA-PVPS) より NEDO 作成

(6) インド

インドでは2008年、地球温暖化対策の基本計画となる「National Action Plan for Climate Change (NAPCC)」が発表され、その中で電力消費量における再生可能エネルギーの割合を引き上げることが定められている。具体的には、再生可能エネルギー由来の電力の購入義務割合を2010年に5%と定め、その後10年間、毎年1%ずつ増加させるとしている。これによって、2020年には系統電力の15%が再生可能エネルギー由来の電力となる。

またインド政府は、2009年11月にNAPCCの一部である「National Solar Mission」を発表し、2022年までに系統連系型太陽エネルギー利用の発電設備を20GW導入するという目標を掲げた。同じく独立型は2GWの目標が設定されている。National Solar Missionは表2-20に示すように、3期に分けて目標設定がなされている。

第2章 太陽光発電

表 2-20 National Solar Mission における太陽光発電の導入目標

種類	Phase1 (2010-13) 目標	Phase2 (2013-17) 目標 (累積)	Phase3 (2017-22) 目標 (累積)
系統連系型発電 (屋根置き型含む)	1,000 MW	4,000~10,000 MW	20,000 MW
独立型発電および応用製品	200 MW	1,000 MW	2,000 MW

出典：Jawaharlal Nehru National Solar Mission

Towards Building SOLAR INDIA, Ministry of New and Renewable Energy, Government of India, p3-7,
http://www.mnre.gov.in/file-manager/UserFiles/mission_document_JNNSM.pdf より NEDO 作成

(7) 中東およびアフリカ

中東では、電力需要の拡大によって発電所の新設が必要となる一方、自国で産出する石油やガスを浪費するエネルギー供給構造から、外貨獲得のために化石燃料をできる限り輸出に回し、非化石エネルギーの利用を進めるという取り組みが一部の国々で始まっている。表 2-21 に中東諸国の再生可能エネルギー導入目標を示す。

表 2-21 再生可能エネルギー導入目標

国名	総エネルギー生産量に対する 再生可能エネルギー目標の割合 [%]	目標年
モロッコ	42	2020年
トルコ	30	2023年
エジプト	20	2020年
チュニジア	16	2016年
アルジェリア	10	2015年
ヨルダン	10	2020年
イスラエル	10	2020年
リビア	10	2020年
UAE	7	2020年
シリア	6.5	2020年
イラン	5	2020年
クウェート	5	2020年
カタール	公式目標なし	—
オマーン	公式目標なし	—
サウジアラビア	公式目標なし	—
バーレーン	公式目標なし	—

出典：MEED Insight (MEED) より NEDO 作成

アラブ首長国連邦 (UAE) では 2009 年 1 月、電力に占める再生可能エネルギーの割合を 2020 年までに 7%にするという目標を発表した。UAE における再生可能エネルギーへの取り組みは、アブダビ・フューチャー・エナジー・カンパニー (通称マズダール) が中心となって進められている。再生可能エネルギー技術を核とした都市づくり (マズダール・シティ) を目指しており、2009 年には 10MW の太陽光発電プラントが建設されている。また生産側にも出資しており、子会社のマズダール PV はドイツにおいて、薄膜系太陽電池の生産プラントを稼働させている。

チュニジアでは「チュニジア・ソーラー・プラン」において、総発電容量に占める再生可能エネルギーの割合を 2016 年までに 16% (1GW に相当)、2030 年に 40% (4.7GW に相当) にまで引き上げるという目標を掲げている。この中で、2016 年までに合計 40MW の太陽光発電プロジェクトが計画されている。内容は、集中型太陽光発電プラントが 2 件 (各 10MW を予定)、屋根

設置型太陽光発電システムが合計 15MW、農村部におけるポンプ用や街灯などの導入の他、太陽電池製造プラントの建設が計画されている。

モロッコは世界トップクラスの再生可能エネルギー生産国を目指し、2020年までに全電力量の42%を太陽光発電と風力発電で賄う計画である。また、欧州へのクリーンエネルギーの輸出も視野に入れている。第一段として、モロッコのワルザザードで160MW級の太陽光発電所の建設工事が始まり、2020年までに計5つの太陽光発電所を建設し、発電能力を合計で2GWまで高める計画がある。

(8) 東南アジア

タイでは2011年12月、新しい代替エネルギー開発計画（Alternative Energy Development Plan : AEDP 2012-2021）が発表され、2021年までにエネルギー消費量の25%を再生可能エネルギーおよびNGV（天然ガス自動車）で賄うという目標が設定された。タイはエネルギー源の多くを輸入化石燃料に頼っており、エネルギーセキュリティなどの観点から再生可能エネルギーの開発に力を入れている。以前の計画では、太陽光発電については2016年までに95MW、2022年までに500MWという導入目標が掲げられていたが、新しい計画の目標値は2021年までに2,000MWと、大幅に上方修正されている。タイでは再生可能エネルギーの導入推進のために、税制優遇やフィードインタリフなどの施策が実施されている。

マレーシア政府は、国家再生可能エネルギー政策・アクションプラン（National Renewable Energy Policy and Action Plan）において、再生可能エネルギーの発電容量を2020年までに2,080MW（ピーク需要の6%）、さらに2030年までに発電容量4,000MW（ピーク需要の17%）にまで高める目標を掲げている。太陽光発電については、2020年までに190MW、2030年までに1,370MW導入する目標を掲げている。政府は、太陽光発電を対象とした固定価格買取制度を2011年12月から開始している（表2-22）。

表 2-22 マレーシアにおける太陽光発電導入目標

目標年	太陽光発電	再生可能エネルギー全体
2015	65	985
2020	190	2,080
2025	455	2,865
2030	1,370	4,000

出典：Waste Management Conference 2011, (2011, Renewable Energy Development in Malaysia, Government of Malaysia) より NEDO 作成

(9) 豪州

豪州では、2020年までに、国内における電力供給量の20%を再生可能エネルギーから調達するという目標（Renewable Energy Target : RET）を設定している。目標達成に向けて、太陽エネルギー利用については、太陽光発電と太陽熱発電の合計で1,000MWhの発電量を目標にしたソーラー・フラッグシップ・プログラムを実施している。2010年には再生可能エネルギーによる発電量を2020年までに45,000GWh/年とすることが決定された。この中で大規模再生可能エネルギー目標（Large-scale Renewable Energy Target : LRET）があり、風力発電と商業規模の太陽光発電、地熱発電などのプロジェクトを対象として、2020年に発電容量で41,850GWh/年とする年間目標がある。この他、州によって固定価格買取制度が実施されている。

第2章 太陽光発電

2.2.3 導入実績

(1) 世界

図 2-31、図 2-32 に世界の上位 6 カ国および世界²⁶の太陽光発電の累積導入量の推移を示す。世界の太陽光発電市場は、ドイツやスペインにおけるフィードインタリフ (FIT) 制度²⁷やシステムコストの低減によって、2000 年以降、急激に成長した。2009 年は、2008 年末の金融危機の影響を受け、スペインなどで市場が大きく縮小したが、その後の各国の FIT 制度導入などもあって市場は回復し、2011 年の単年導入量は 30.4GW、2012 年は 31.1GW に達している。

2012 年時点で世界最大の導入国はドイツである。ドイツは FIT 制度の導入によって飛躍的に導入量を伸ばし、2005 年には日本を抜いて、累積導入量世界第 1 位に躍り出た。その後も堅調に導入量を伸ばし、2012 年は約 7.6GW の単年導入量を記録している。ドイツでは、風力発電など、その他の再生可能エネルギーの導入普及も進んでいることから、2013 年 4 月 18 日、電力需要の多い平日の昼としては、世界で初めて再生可能エネルギーの発電量が従来型発電所からの発電量を上回る実績を達成した。

スペインもドイツと同様、FIT 制度による積極的な支援策が奏功し、2008 年には単年で約 2.8GW の導入量を記録し、世界の 2 位に躍進した。しかし、FIT 制度の対象となるシステム容量に上限を設定したことに加え、2008 年末の世界金融危機の影響を受け、2009 年の単年導入量は 60MW、2010 年および 2011 年の単年導入量は 400MW には届かず、2012 年も 223MW と、2008 年と比べて大幅に縮小している。

イタリアは 2010 年から導入量が急拡大し、2011 年の単年導入量は約 9GW と、初めて単年導入量世界一となった。これは、2010 年末までに設置され、2011 年半ばまでに系統連系された太陽光発電システムに対して FIT 価格が優遇されていることが要因である。しかし、価格優遇制度の適用が終了した 2012 年は 3.3GW と導入量が大きく減少した。

米国では、ITC (企業投資課税控除)²⁸や、2008 年末の金融危機以降、導入された再生可能エネルギー助成制度²⁹、州レベルでの導入支援策などによって市場は拡大している。今後も世界の主要市場の一つとして成長が期待されており、2011 年に 1.4GW、2012 年に 3.3GW と着実に導入量を伸ばしている。

新興国の市場規模はまだ小さいが、将来的には有望市場となることが予測されている。近年、中国国内の導入量が急拡大しており、2011 年の単年導入量は 2.5GW、2012 年は 5GW と急拡大している。また多くの新興国においては、まだ無電化地域が多く、僻村などの電化率向上が大きな課題となっている。太陽電池は日射が得られる場所ではどこでも発電が可能なることから、送電線による電力供給が難しい地域の電源として適しており、新興国における市場拡大が期待される。

2000 年後半以降、太陽光発電システムの導入は急拡大しているが、導入量が増加したほぼすべての国で、FIT 制度や米国の税制優遇制度 (RPS) など、政策としての再生可能エネルギーの優遇制度が取り入れられており、優遇制度の恩恵次第で導入量が大きく影響を受けている。

²⁶ IEA-PVPS (Photovoltaic Power Systems Programme) 参加国の合計。他の国については正確な導入量データを取得するのは困難であるため、ここでは IEA-PVPS 参加国のみを対象とした。

²⁷ 固定電力買取制度 (Feed-in tariff: FIT)。エネルギーの買取価格 (tariff) を法律で定める方式の助成制度で、導入した時期によって一定期間の価格が固定される制度。

²⁸ 各種エネルギーシステムの設定投資に対して、エネルギー源別の控除率に基づいて課税控除を行う制度。

²⁹ 各種エネルギーシステムに対して、固定資産の 30%を助成する制度。

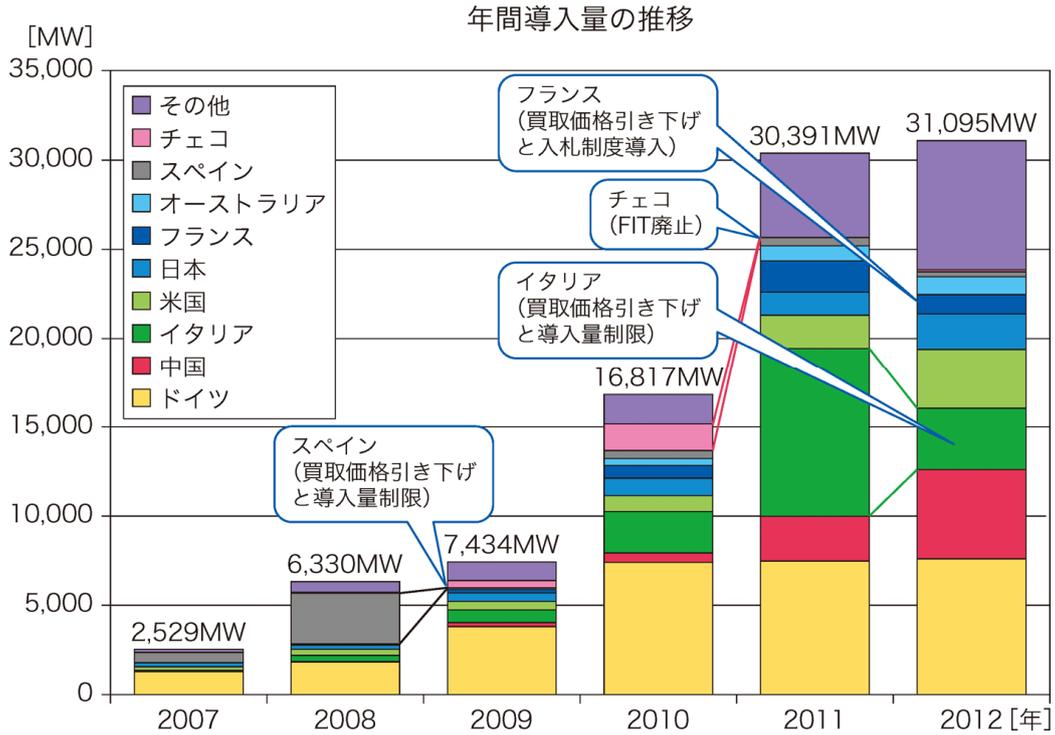


図 2-31 世界の太陽光発電の導入量推移

出典：2006～2010 年は，Global Market Outlook for Photovoltaics until 2016 (2012, EPIA)，
2011～2012 年は Global Market Outlook for Photovoltaics 2013-2017 (2013, EPIA) より NEDO 作成。

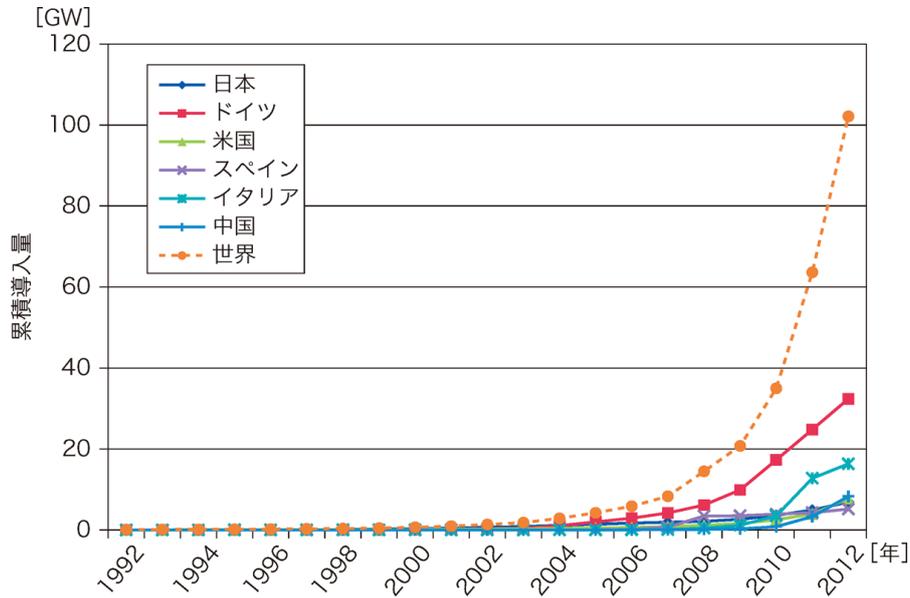


図 2-32 主要国と世界の太陽光発電の導入推移 (累積)

注：世界：IEA-PVPS 参加国の累積導入量

出典：Trends in photovoltaic applications. Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2010, (2011, IEA PVPS), および Global Market Outlook for Photovoltaics 2013-2017 (2013, EPIA) より NEDO 作成

第2章 太陽光発電

(2) 日本

日本は、2004年まで累積導入量世界第1位であったが、2005年にドイツにトップの座を明け渡した。2005年には国による「住宅用太陽光発電導入促進事業」が終了したことを受けて市場の伸びが鈍化し、ドイツとスペインに大幅に差を付けられ、2008年には累積導入量世界第3位に後退している。しかし、2009年11月、太陽光発電設備による余剰電力を買い取る「太陽光発電による電気の新たな買取制度」が開始され、2009年の単年導入量は前年比約2倍の483MWと、大幅な市場回復を見せた。2010年以降も市場は拡大している（図2-33）。

また、2011年8月26日の第177回通常国会において、再生可能エネルギーの全量固定買取制度となる「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」が成立し、2012年7月から買取が開始された。太陽光を含む各再生可能エネルギーについて、表2-23に示す買取価格が設定されている。本制度の開始を受けて、再生可能エネルギー市場への新規参入が相次いでおり、太陽光発電をはじめとする再生可能エネルギー導入が急速に進み始めている。特に太陽光においては、設備容量ベースで10kW以上の場合、調達期間が20年間となったことから、表2-24に示すように、急速に産業用途（非住宅型）の導入量が拡大している。

他方で、大規模太陽光発電所の設置計画が集中した北海道においては、一部で系統連系が困難になるなど、電力会社側の受け入れ余力を上回る系統接続申請が発生する状況に至った。そこで、政府は当面の措置として、北海道電力側に系統接続拒否の条件緩和を許可するとともに、道内の変電所に大型蓄電池を設置することを発表した。今後、さらに再生可能エネルギーを導入普及する上で、系統側の課題がネックになることを示唆している。（「第9章 手続きサポート技術」参照）

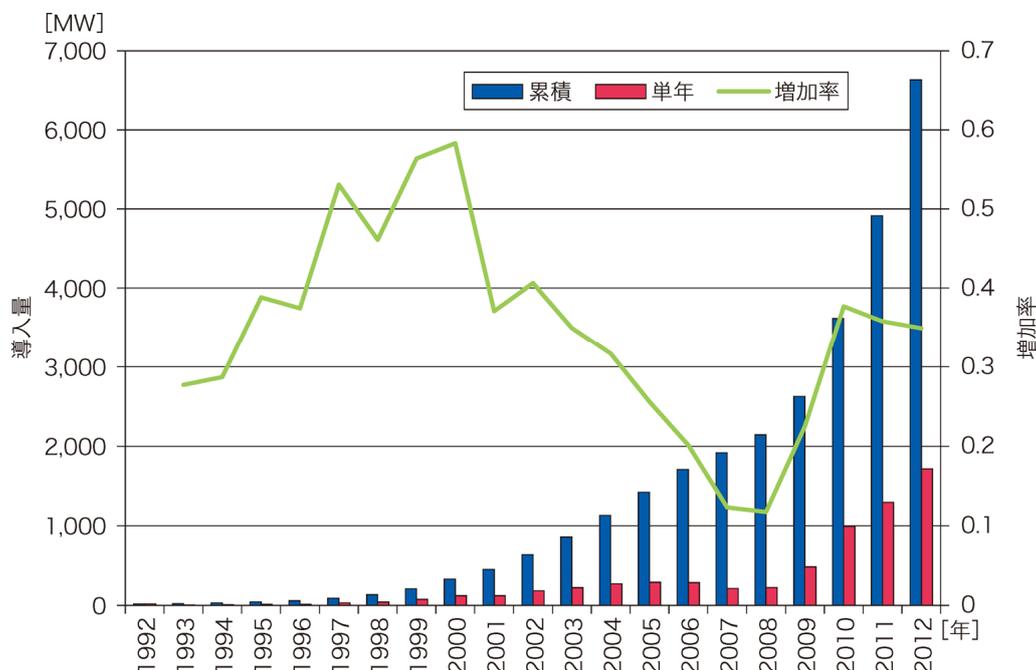


図 2-33 日本における太陽光発電の導入推移（累積・単年）

出典：Trends in photovoltaic applications. Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2012 (2013, IEA-PVPS) より NEDO 作成

表 2-23 固定買取価格制度の買取価格・期間



太陽光	10kW以上	10kW未満	10kW未満 (ダブル発電)
調達価格	37.8円(36円+税)	38円(税込)	31円(税込)
調達期間	20年間	10年間	10年間

注：平成24年度までは、太陽光発電システムの買取価格は10kW以上42円、10kW未満42円、ダブル発電（10kW未満）は34円であった。

出典：資源エネルギー庁ホームページ

(http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/kakaku.html) より NEDO 作成

表 2-24 2013年7月末までの再生可能エネルギー発電設備の導入状況

再生可能エネルギー発電設備	固定価格買取制度導入前	固定価格買取制度導入後	
	平成24年6月末までの累計導入量	平成24年度 (7月～3月末)	平成25年度 (4月～7月末)
太陽光(住宅)	約470万kW	96.9万kW	55.2万kW
太陽光(非住宅)	約90万kW	70.4万kW	169.1万kW

出典：資源エネルギー庁，2013/11/18 プレスリリース，

<http://www.meti.go.jp/press/2013/11/20131118003/20131118003-1.pdf> より NEDO 作成

第2章 太陽光発電

2.3 世界の市場動向

2.3.1 市場の現状および将来見通し

2.2.3 で示したとおり，世界の太陽光発電市場は 2000 年以降，急激に拡大しており，金融危機などの影響を受けて一時停滞したものの，今後も堅調な拡大が見込まれている。また，中国などの新興国市場も将来の有望市場として期待されている。

図 2-34 に，各国機関による太陽光発電導入量の将来見通しを示す。EPIA（欧州太陽光発電産業協会）は最も野心的であり，全世界および地域において IEA（国際エネルギー機関）より高い見通しを示している。

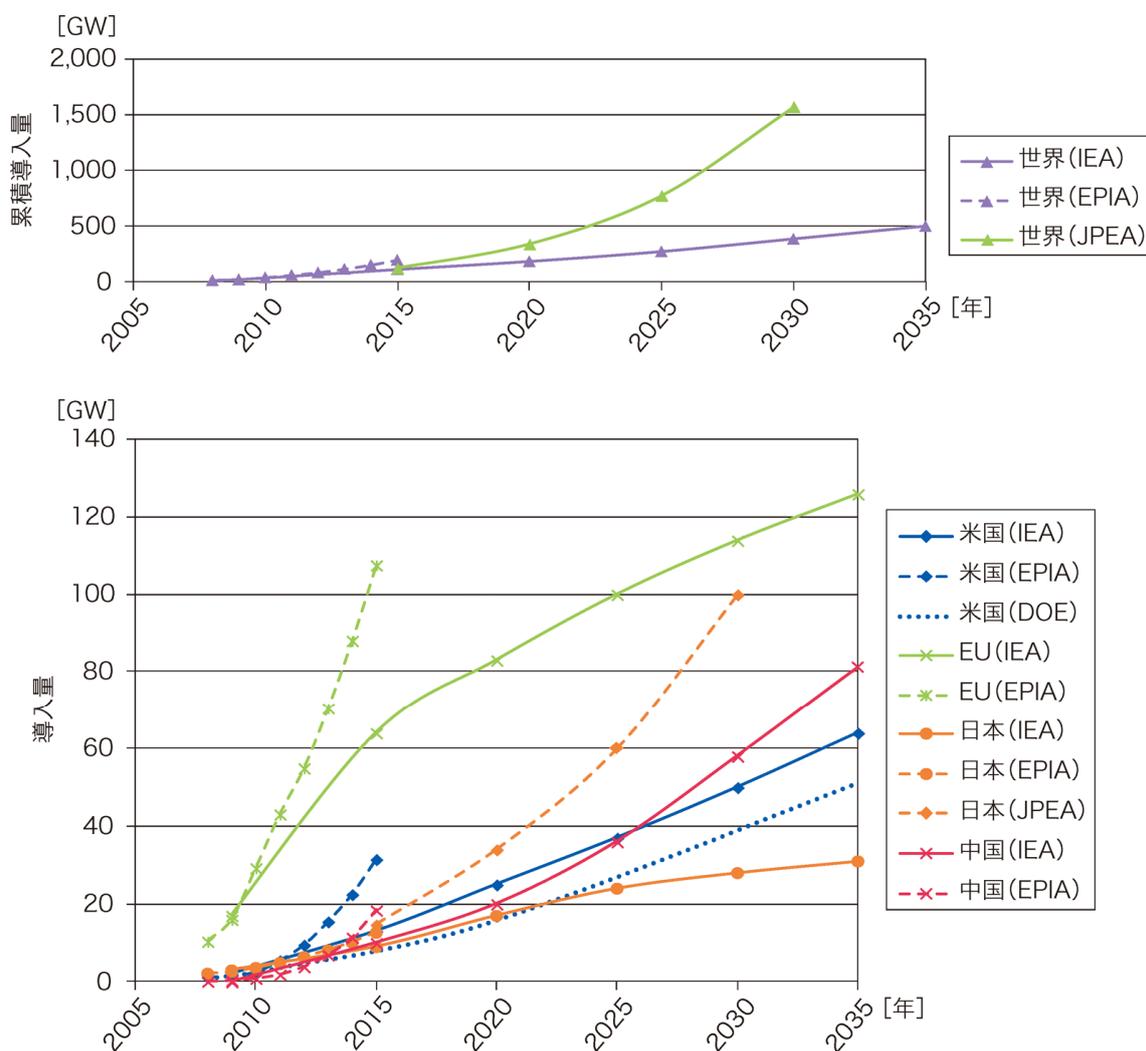


図 2-34 各国機関による太陽光発電導入量の将来見通し（上：世界，下：主要国・地域）

注：それぞれ以下のレポート・シナリオの値。いずれも現状より政策的支援を強化した場合のシナリオである。
注：EPIA は 2015 年までの見通しを示している。

IEA：World Energy Outlook (New Policies Scenario)

EPIA：Global Market Outlook for Photovoltaics Until 2015 (Policy-Driven scenario)

DOE：Annual Energy Outlook (Extended policies), JPEA：太陽光発電協会

出典：World Energy Outlook 2011, (2011, IEA), Global Market Outlook for Photovoltaics Until 2015 (2011, EPIA).

Annual Energy Outlook 2011, (2011, EPIA), JPEA PV OUTLOOK 2030 (2012, JPEA) より NEDO 作成

2.3.2 国別・企業別生産量シェア

図 2-35 に国・地域別の太陽電池セル生産量シェア推移を、図 2-36 に 2005～2012 年における太陽電池生産量上位 10 社を示す。太陽光発電の世界市場は、かつて日系太陽電池メーカーが大きなシェアを占め、2006 年までシャープが世界第一位の単年生産量（発電容量ベース）を誇り、京セラ、パナソニック、三菱電機を含めて、上位 5 社のうち 4 社を日本勢が占めていた。しかし、2000 年代半ばから欧米勢に追い上げられるとともに、近年ではコスト競争力を持つ中国・台湾勢が大きくシェアを伸ばし、2012 年の日本の世界シェアは約 6%にまで落ち込んでいる。

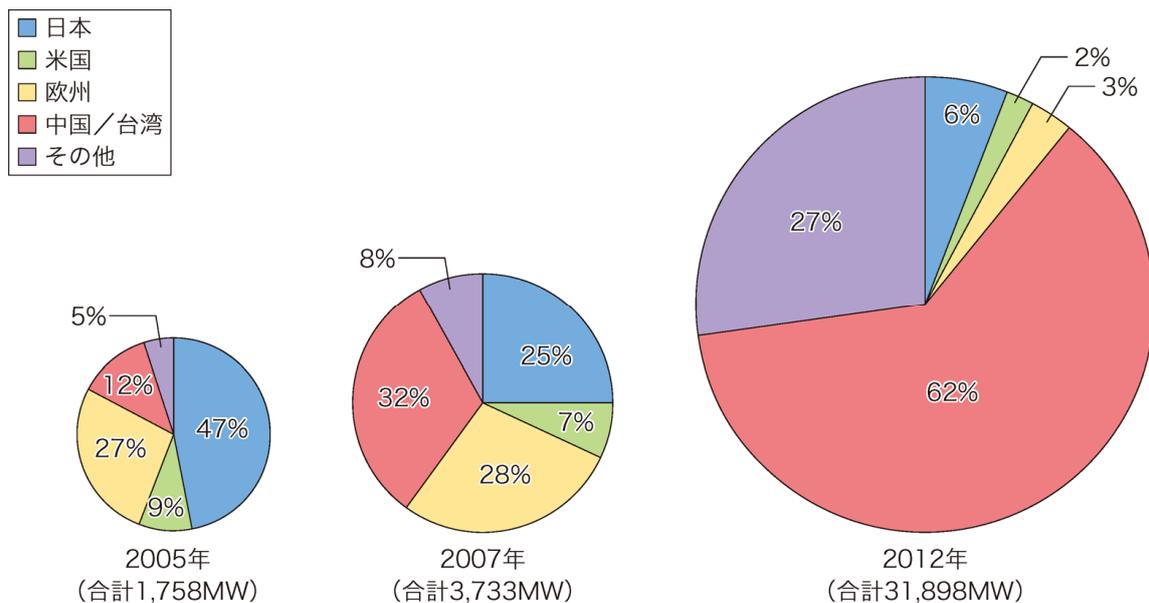


図 2-35 太陽電池セル生産量地域別シェアの推移

出典：PV News Volume 29, Number 5, (2010/5 GTM Research)

および PV News Volume 30, Number 5, (2011/5 GTM Research) より NEDO 作成

日系太陽電池メーカーが世界シェアを落とした理由の一つに、当時のシリコン原料調達の高コストが挙げられる。太陽電池と半導体の世界的な需要の拡大が重なった結果、シリコン原料の価格が大きく上昇するとともに、シリコン原料の需給が逼迫した。各太陽電池メーカーはシリコンの長期購入契約による素材の長期的な安定調達に動き、シリコン原料を確保し、生産規模を拡大したメーカーがシェアを伸ばした。結果としてシャープの2007年の生産量は前年実績を割り込み、Q-cellsに首位を譲り渡した。また、2008年前後から、当時需要が伸びていた欧州市場を狙って、中国・台湾系太陽電池メーカーが量産投資を行う一方、日系や欧州系太陽電池メーカーなどの追随が遅れたため、世界の生産量の大半を中国・台湾系太陽電池メーカーが占める状況となった。現在、ヨーロッパ市場の需要が減退しつつあるが、中国・台湾系太陽電池メーカーは、米国・日本など需要が伸びつつある国々への輸出を積極的に始めると同時に、中国国内での太陽光発電の設置を積極的に進めている状況となっている。

第2章 太陽光発電

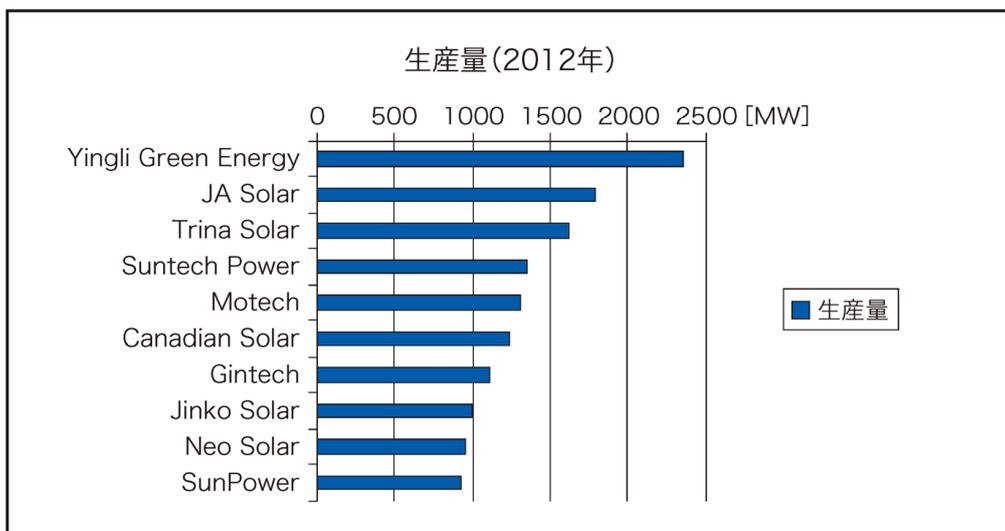
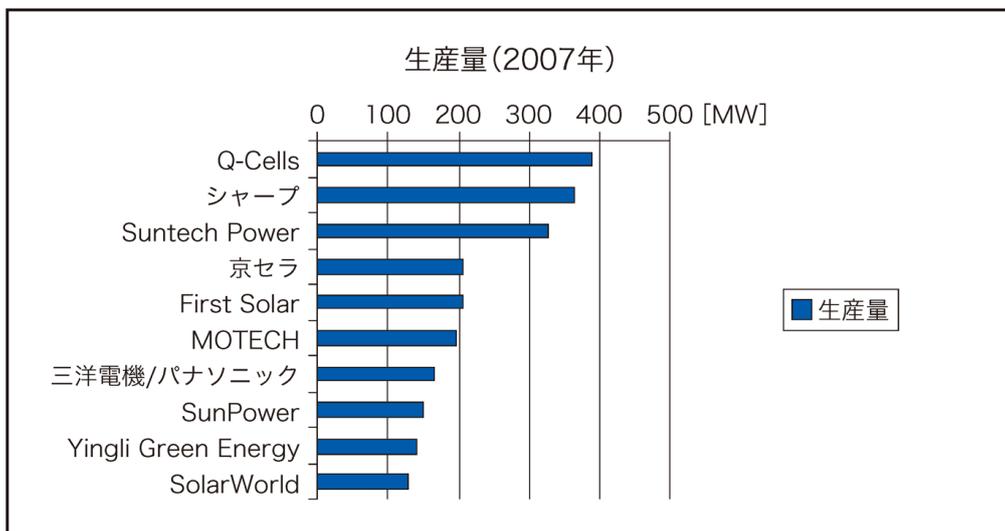
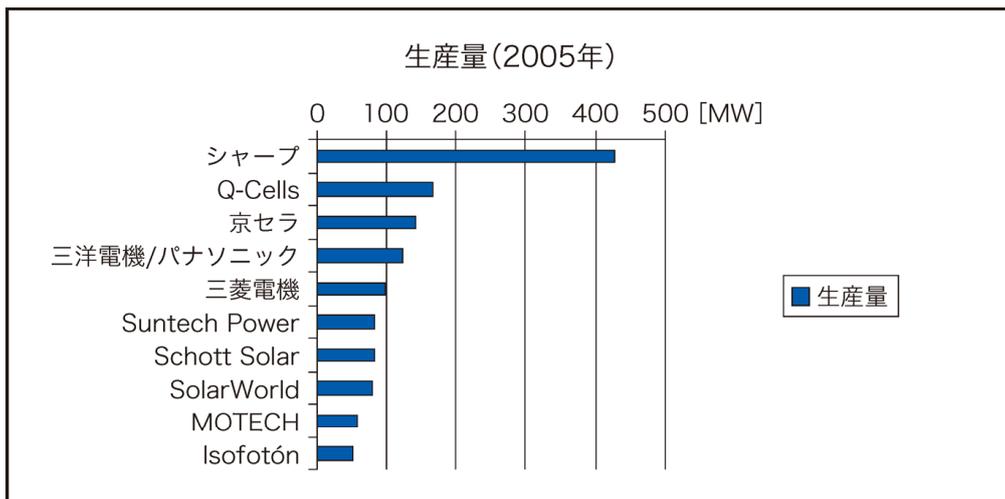


図 2-36 太陽電池セルの生産量ランキング (2005~2012年)

出典：2010年まで PV News, GTM Research, 2011年から資源総合システム作成資料より NEDO 作成

2.4 各国の技術開発動向

太陽光発電の起源は、1954年の米国のベル研究所における世界初の単結晶シリコン太陽電池の発明に遡る。以降、日米欧を中心に研究開発が進められ、飛躍的な発電性能の向上、低コスト化が進んできた。現在も、火力発電などの従来電源に対してコスト競争力を持つ、グリッドパリティ³⁰の達成を目指し、高効率化、低コスト化に向けてさらなる技術開発が進められている。

現在、太陽光発電システムの研究開発では、主に表 2-25 に示す技術課題が考えられており、各国の国家プロジェクトや、民間企業での自主的な取り組みによる研究開発が進められている。

本章では、日本、欧州、米国における技術開発動向を概観する。

表 2-25 太陽光発電の主要技術課題

対象		技術課題
セル・モジュール	結晶シリコン太陽電池	<ul style="list-style-type: none"> ・低コストシリコン製造技術 ・低コスト・高品質シリコンインゴット製造技術 ・極薄基板の高生産性スライス技術 ・高性能接合構造（ヘテロ接合） ・光閉じ込め技術（表面テクスチャー、裏面反射） ・表面・パルクパッシベーション技術 ・高性能電極構造 ・低コスト・高生産性セル製造プロセス
	薄膜シリコン太陽電池	<ul style="list-style-type: none"> ・アモルファスシリコン・微結晶シリコン膜質の向上 ・高性能多接合太陽電池 ・ワイドギャップ新材料 ・透明電導膜の改善 ・高度光閉じ込め技術 ・高生産性・大面積製造プロセス ・フレキシブル太陽電池形成技術
	CIS系太陽電池	<ul style="list-style-type: none"> ・大面積化による性能劣化の防止 ・高性能セル構造・材料開発（界面制御技術、高品質ワイドギャップ光吸収材料等） ・低コスト・大面積・高生産性製造プロセス技術 ・軽量化・フレキシブル化
	集光・革新型太陽電池	<ul style="list-style-type: none"> ・III-V系多接合太陽電池用新材料（多接合用） ・低コスト製造プロセス ・量子ナノ構造型太陽電池
	色素増感太陽電池 有機薄膜太陽電池	<ul style="list-style-type: none"> ・高性能・高耐久性・低コストセル構造 ・モジュール製造技術 ・大面積化技術 ・多接合化技術 ・高効率固体型色素増感太陽電池
	モジュール関連技術	<ul style="list-style-type: none"> ・低コスト・高耐久性モジュール技術 ・機能性モジュール（フレキシブル化、軽量化等） ・建材一体型モジュール ・リサイクル・リユース技術

³⁰ 再生可能エネルギーによる電力の発電コストが、系統電源の発電コストと同等のコスト競争力を持つこと。

第2章 太陽光発電

対象		技術課題
システム	システム関連技術	<ul style="list-style-type: none"> ・システム全体の高性能化・最適設置技術 ・システムの低コスト設計・施工技術 ・低コスト・高性能・高耐久性インバータ ・低コスト・高性能・高耐久性太陽光発電用蓄電池 ・単独運転検出・解列・自律運転技術 ・発電量予測技術 ・自律度向上型地域システム開発（地域 EMS、電力需給調和技術等） ・独立型システム開発
	基盤整備・環境整備	<ul style="list-style-type: none"> ・発電量評価技術の開発、実用的な評価指標の策定 ・太陽光発電システムの安全性の確立 ・認証体制の確立、規格制定 ・故障診断技術

出典：NEDO 作成資料

2.4.1 日本

日本は太陽光発電の技術開発において先導的役割を担ってきた。日本における技術開発の歴史は古く、1954年に米国のベル研究所で世界発の単結晶シリコン太陽電池の発明が発表された翌年、日本においても太陽電池の試作品が製作された。1954年にはシャープが太陽電池の研究開発を開始し、1960年代前半には単結晶シリコン太陽電池の量産を開始した。

以降、結晶シリコン系太陽電池を中心に、国による技術開発プロジェクトや太陽電池メーカー各社において技術開発が進められ、近年では、薄膜シリコン系太陽電池、化合物系太陽電池の技術開発も進み、商用化、拡販に至っている。

(1) 国・NEDOの取り組み（1970年代～近年）

太陽電池は、エネルギー政策上の最重要技術の一つとして、国家プロジェクトとして技術開発が進められてきた。太陽電池に関する国家プロジェクトは、1970年代のオイルショック以降に本格化し、サンシャイン計画（1974～1992年）³¹およびニューサンシャイン計画（1993～2000年）³²において、NEDOが主導的役割を果たしながら、結晶シリコン太陽電池、薄膜シリコン太陽電池、CIS太陽電池、有機系太陽電池（色素増感、有機薄膜）の技術開発を実施してきた。

また、太陽電池の普及促進を目的とした実証研究も技術開発と併行して進められ、世界に先駆けて住宅用系統連系システムの実証を行うなど、1990年代半ばには系統連系システム技術を確立してきた（図 2-37）。

2004年には太陽光発電ロードマップ「PV2030」、2009年にはその改訂版である「PV2030+」を策定し、その中で、太陽電池の発電コスト目標として、2010年に23円/kWh程度（家庭用電力料金並み）、2020年に14円/kWh程度（業務用電力料金並み）、2030年に7円/kWh程度（汎用電源並み）をそれぞれ設定した。

³¹ 将来的にエネルギー需要の相当部分を賄い得るクリーンなエネルギーの供給を目標として、太陽、地熱、石炭、水素エネルギーの4つの石油代替エネルギー技術について重点的に研究開発を実施した計画。

³² エネルギーセキュリティを目的として進められてきた新エネルギーや省エネルギーに関する各計画に、地球環境保護という目的を追加し、総合的に推進するとした計画。

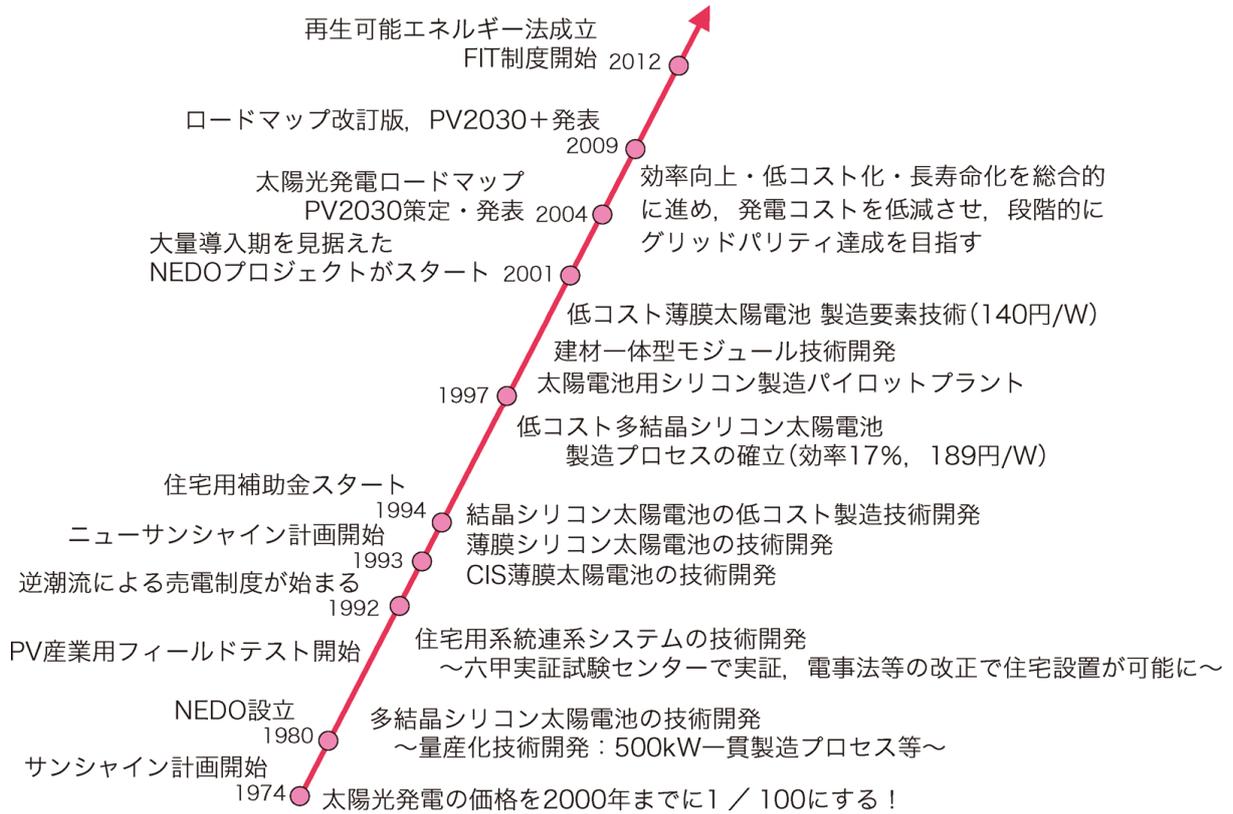


図 2-37 NEDO の太陽光発電技術開発の経緯

出典：NEDO 作成資料

2006 年以降の NEDO 太陽光発電技術開発プロジェクトの概要を図 2-38 に示す。

短期的課題としては、太陽光発電システムに関する新規技術を生産現場に円滑に導入する際に必要な量産化技術、高性能化技術、工業化技術、各種要素技術などに関する研究開発を行うことを目的として「太陽光発電システム実用化加速技術開発（2005～2007）」「太陽光発電システム実用化促進技術開発（2008～2009）」を実施した。

中長期的課題としては、既存電力に匹敵する発電コストを目指し、従来の技術とは異なる新しい発想の材料、構造、製造方法による太陽電池や、システム技術など、大幅な低コスト化の可能性を持った要素技術を開発することを目的として「太陽光発電システム未来技術研究開発（2006～2009）」を実施した。

加えて、共通課題としては、太陽電池セル・モジュールおよび太陽光発電システムの評価方法、試験方法などの整備、および太陽電池の環境負荷低減技術（太陽光発電システム構成機器などのリサイクル・リユースに関する要素技術、その他環境関連技術など）の開発を目的として「太陽光発電システム共通基盤技術研究開発（2001～2009）」を実施した。

2013 年時点で実施中のプロジェクトについては、改めて次の項目で述べる。

第2章 太陽光発電

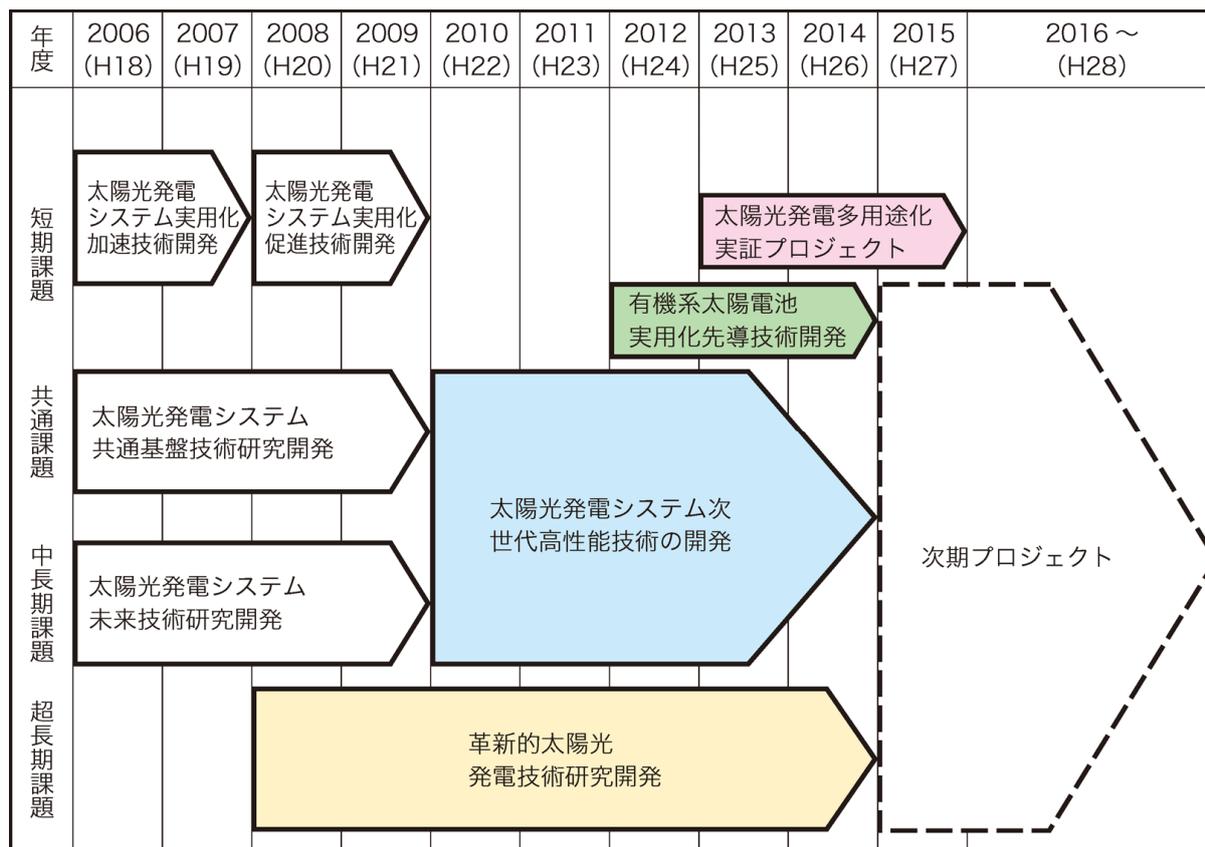


図 2-38 NEDO の太陽光発電技術開発プロジェクト

出典：NEDO 作成資料

(2) 国・NEDOの取り組み（現在の国家プロジェクト）

「2.3 世界の市場動向」で述べたように、太陽光発電市場は急激な発展を遂げつつある一方、我が国の太陽光発電産業の国際競争力は相対的に低下しつつある。このような大きな変化に対応するため、NEDO は技術開発面での対応を継続しつつ、国際競争力を強化するため、2009 年 6 月に「太陽光発電ロードマップ PV2030+」を発表した。

PV2030+では「2050 年までに CO₂ 発生量半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」を目指し、「2050 年までに我が国の 1 次エネルギー供給の 10%程度を太陽光発電が賄い、CO₂ 削減に貢献する」ことをコンセプトとしている。

PV2030+で示す技術開発の取り組みの方向性として、段階的な発電コストの低減（グリッドパリティの実現）の達成を軸としつつ、図 2-39 に示すように短期、中長期、超長期的視野での取り組みと、周辺産業などと協力した課題解決を行うこととした。

なお「太陽光発電ロードマップ PV2030+」策定後、太陽光発電市場のビジネス環境が大きく変動していることから、NEDO ではロードマップの見直しを進める予定である。

以下、現在 NEDO が推進するプロジェクトを説明する。

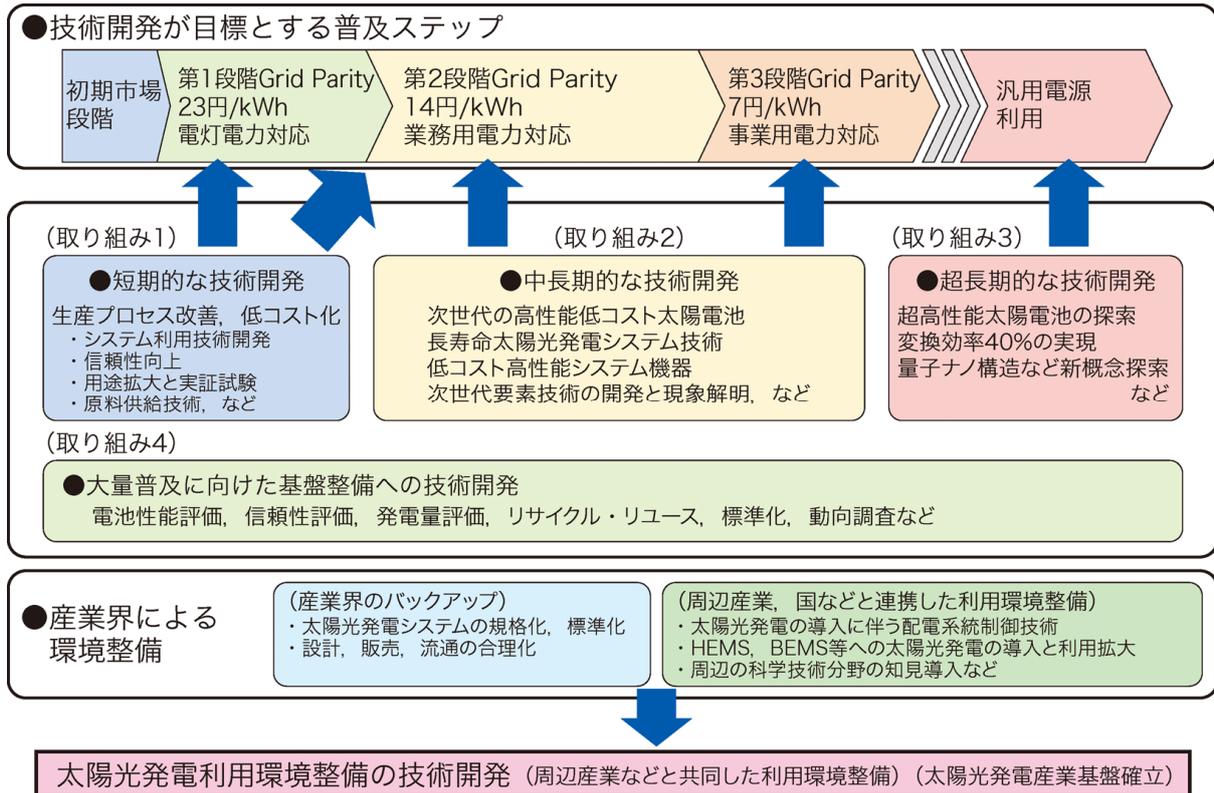


図 2-39 PV2030+における技術開発の考え方

出典：NEDO 作成資料

i) 革新的太陽光発電技術研究開発 (超長期課題)

2050年にCO₂排出量半減を実現するための画期的な太陽光発電技術を開発することを目的として、2008年から2014年までの7ヵ年計画で「革新的太陽光発電技術研究開発」を実施している。本プロジェクトでは、以下に示す4テーマを実施している。

1. ポストシリコン超高効率太陽電池の研究開発 (東京大学グループ)

III-V族による3~4接合の太陽電池を高倍集光(1000~5000倍)した高効率太陽電池。中間発電層の材料、量子超格子構造を開発、バンドギャップバランスを理想化し、短波長から長波長まで効率良く吸収して変換効率48%を実現する。また、単層の太陽電池で理論効率60%といわれている量子ドット超格子型太陽電池などの新概念の太陽電池を創出する。

2. 高度秩序構造を有する薄膜多接合太陽電池の研究開発 (産業技術総合研究所グループ)

最適な複数バンドギャップを有する高度秩序薄膜材料を新たに作成。これに波長選択型導電層を介してメカニカルスタックし、シリコン系3接合、化合物系4接合太陽電池を形成。また、プラズモン効果などの光マネジメント技術、多重エキシトン生成、二光子利用技術などの新原理を検証・利用し、変換効率30%の太陽電池を開発する。

3. 低倍率集光型薄膜フルスペクトル太陽電池の研究開発 (東京工業大学グループ)

40%超の高効率化のために、ワイドギャップからナローギャップの広い禁制帯幅の領域で、今までにない光吸収層材料を開発。また、広い波長範囲で有効に光子を利用するための光のマネジメント技術を開発。これらの要素技術を基に、5~6接合からなる低倍率集光型薄

第2章 太陽光発電

膜太陽電池を試作し、性能を確認する。

4. 高効率集光型太陽電池セル、モジュールおよびシステムの開発（日 EU 共同開発）

日本と EU の技術・知見を結集し、戦略的に連携して、世界最高水準となるセル変換効率 45% 以上の高効率な集光型太陽電池の実現を目指し、技術を開発する。特に、欧州でのフィールドテストや、日・欧での共同シミュレーションを実施しつつ、新材料・新構造を開発、セル・モジュールを開発・評価する。さらに集光型太陽電池の測定技術に関する標準化活動などを行う。

ii) 太陽光発電システム次世代高性能技術の開発（中長期課題・共通課題）

太陽光発電の導入規模を 2020 年に現状の 20 倍（28GW）、2030 年に 40 倍（53GW）にする目標達成に向けた技術開発として、モジュール高効率化およびコスト低減の観点から、各種太陽電池の変換効率の向上、原材料・各種部材の高機能化、モジュール長寿命化、評価技術などの共通基盤技術などを開発することを目的として、2010 年から 2014 年までの 5 年計画で「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」を実施している。具体的な技術開発目標は、PV2030+ で掲げた、発電コストを 2020 年に 14 円/kWh（業務用電力料金並み）、モジュール製造コストを 2020 年に 75 円/W、モジュール変換効率を 2020 年に 20% を達成することである。研究開発テーマごとの研究開発内容・達成目標を表 2-26 に示す。

表 2-26 太陽光発電システム次世代高性能技術開発における研究開発内容・達成目標

研究開発テーマ	達成目標	実施機関（2013 年度）
結晶シリコン系太陽電池	<p><u>コスト低減</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 結晶シリコンを安価に製造する技術として、カーフロス 120 μm 未満、またはカーフを生じない新たな製法等を確立 <p><u>高効率化</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 厚さ 100 μm 程度、15 cm 角のセルにおいて、変換効率 25 % 以上、モジュールの変換効率 20 % 以上 15 cm 角程度のセルにおいて、キャリア寿命 400 μsec（拡散長約 2 mm）以上 	カネカ/岐阜大学/京セラ/九州大学/クリスタルシステム/コベルコ科研/コマツ NTC/産業技術総合研究所/シャープ/東京工業大学/名古屋大学/豊田工業大学/ナミックス/奈良先端科学技術大学院大学/兵庫県立大学/物質・材料研究機構/三菱電機/明治大学/山梨大学
薄膜シリコン系太陽電池	<p><u>高効率化</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 30 × 40 cm 基板に製膜した 2 接合以上の多接合薄膜シリコン太陽電池においてモジュール変換効率 14 % 以上（安定化効率） <p><u>製造コスト低減</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 幅 1 m 以上の基板において製膜速度 2.5 mm/sec 以上、膜厚分布 ± 5 % 以下 	カネカ/太陽光発電技術研究組合（カネカ/産業技術総合研究所/パナソニック/シャープ/東京エレクトロン/三菱重工業）

研究開発テーマ	達成目標	実施機関（2013年度）
CIS・化合物系太陽電池	<u>CIS系高効率化</u> ・サブモジュール（30 cm角程度）で変換効率 18 %以上 ・小面積セル（1 cm角程度）で変換効率 25 %以上 <u>CIS系製造プロセスの開発</u> ・軽量基板上での製造技術や、新規な低コスト製造プロセス等により製造したサンプルを供試 <u>集光型太陽電池の低コスト化開発</u> ・開発した光学系や追尾架台等を用いたモデルシステムを実際に建設し、そのコストを基にプラント建設コストを算出	アルバック／鹿児島大学／昭和シェル石油／筑波大学／豊橋技術科学大学／富士フィルム／ホンダソルテック／龍谷大学
色素増感太陽電池	<u>高効率化</u> ・セル変換効率（安定化効率）15 %（1 cm角程度）以上 ・モジュール変換効率（安定化効率）10 %（30 cm角程度）以上 <u>モジュール化・耐久性向上</u> ・JIS規格 C8938 の環境試験・耐久性試験（温湿度サイクル、耐熱性、耐湿性、温度サイクル、光照射の各試験）において相対効率低下 10 %以内	九州工業大学／山形大学／ゲンゼ／シャープ／信州大学／新日鉄住金化学／住友大阪セメント／桐蔭横浜大学／東京理科大学／フジクラ／富士フィルム／メルク
有機薄膜太陽電池	<u>高効率化</u> ・セル変換効率（安定化効率）12 %（1 cm角程度）以上 ・モジュール変換効率（安定化効率）10 %（30 cm角程度）以上 <u>モジュール化・耐久性向上</u> ・JIS規格 C8938 の環境試験・耐久性試験（温湿度サイクル試験、耐熱性試験、耐湿性試験、温度サイクル試験、光照射試験）において相対効率低下 10 %以内	東芝／住友化学／出光興産／京都大学／パナソニック／早稲田大学
共通基盤研究	以下の研究開発項目を実施する。 i) 発電量評価技術等の開発 ii) 信頼性及び寿命評価技術の開発 iii) リサイクル・リユース技術の開発 iv) 共通材料・部材・機器及びシステム関連技術開発 v) 標準化支援事業及び IEA 国際協力事業等	気象研究所／北九州産業学術推進機構／岐阜大学／産業技術総合研究所／資源総合システム／太陽光発電技術研究組合／東京大学／日本気象協会／積水化学工業／三菱樹脂／デュボン／日清紡ホールディングス／ポリプラスチックス／三菱化学／ナノフォトニクス工学推進機構／みずほ情報総研／資源総合システム

出典：NEDO 作成資料

iii) 有機系太陽電池実用化先導技術開発（短期課題）

有機系太陽電池を使用した太陽光発電システムを設計・試作し、その性能や品質を実証・評価して実用化に向けた課題を抽出、技術開発へのフィードバックによる有機系太陽電池の実用化の促進を目的として、2014年～2016年の3ヵ年計画で「有機系太陽電池実用化先導技術開発」プロジェクトを実施している。本プロジェクトでは、実証研究に加えて、有機系太陽電池の市場要件（コスト・発電量・設置条件・耐久性・信頼性・デザインなど）を把握し、用途開拓も目標に掲げている。本プロジェクトでは、次に示す5テーマを実施している。

第2章 太陽光発電

1. 有機薄膜太陽電池の生産プロセス技術開発および実証化検討 (三菱化学)

軽量、薄膜、フレキシブル性といった特性を有する有機薄膜太陽電池を用いて、建材一体型、車載型といった利用形態を想定した実証試験を行う。

2. 色素増感太陽電池モジュールの実証評価 (シャープ・フジクラ)

太陽光の入射角依存性や光量依存性が少なく、発電特性に優れたガラス基板型色素増感太陽電池を用いて、電力用途を想定した実証試験を行う。

3. 色素増感太陽電池の市場創出開発 (日本写真印刷)

カラフル性やシースルー性といった意匠性に優れたガラス基板型色素増感太陽電池を用いて、太陽電池広告やフットライトといった高付加価値製品を想定した実証試験を行う。

4. プラスチック基板 DSC 発電システムの開発 (日立造船)

軽量・フレキシブルで、シースルー性のあるプラスチック基板型色素増感太陽電池を用いて、農業用ハウスやサンシェードといった利用形態を想定した実証試験を行う。

5. プラスチック色素増感太陽電池の実用性検証 (太陽誘電・ビフレステック)

軽量・フレキシブルで、可搬性に優れた光ディスク型のプラスチック基板型色素増感太陽電池を用いて、電力用途を想定した実証試験を行う。

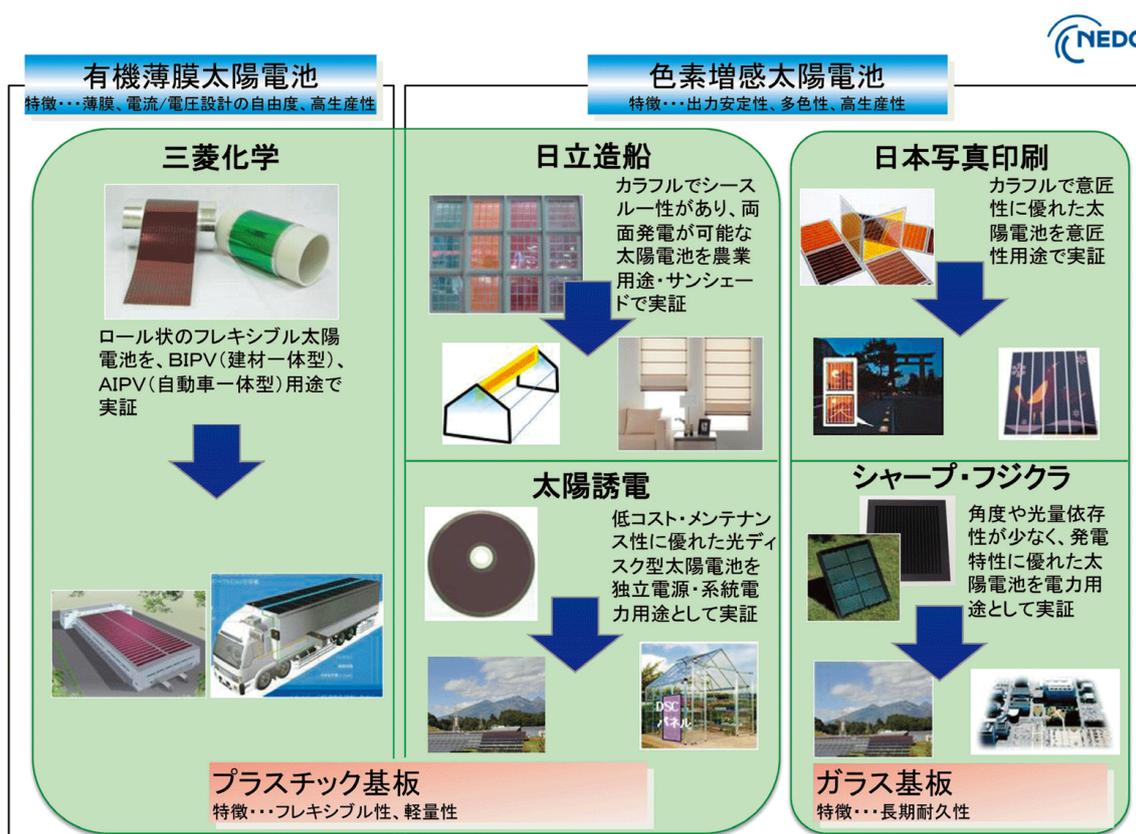


図 2-40 有機系太陽電池実用化先導技術開発実証事業のイメージ

出典：NEDO 作成資料

iv) 太陽光発電多用途化実証プロジェクト（短期課題）

太陽光発電の普及に向けて、発電コスト低減を主軸とした「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」などの事業を進めているが、さらなる大量導入を実現する上で、設置場所および用途の拡大が重要となっている。設置場所や用途によって、設置コストが割高となるケースや、発電コスト以外の付加価値が要求されるケースなども報告され、発電コスト低減以外での課題解決も求められている。そこで、太陽光発電の導入量の拡大と高付加価値産業の創出を目的に、2013年度からの3年間の事業として、次の事業を実施している。

1 太陽光発電多用途化実証事業

導入ポテンシャルがおおむね把握できており、導入価値が高いと考えられる建物、農業関係地帯、傾斜地、水上の4分野について、導入課題を克服するための実証を行う。

2 太陽光発電多用途化可能性検討事業

導入ポテンシャルは未確定であるが、社会的効果・関連産業への効果などが高いと考えられる領域については、導入した場合の市場規模と波及効果、導入課題などについて調査し、有望な市場となり得るか判断するための導入可能性調査を行う。



図 2-41 太陽光発電多用途化実証プロジェクトのイメージ

出典：NEDO 作成資料

v) 低炭素社会に資する有機系太陽電池の開発 [最先端研究開発支援プログラム日本学術振興会]

総合科学技術会議が採択し、日本学術振興会が助成する「最先端研究開発支援プログラム」の一課題として、「低炭素社会に資する有機系太陽電池の開発」がある。本プログラムは、総合科学技術会議が、日本全国から応募があった研究者の中からトップの30人（中心研究者）を選び、1人の中心研究者に約15億～60億円のプロジェクトを任せる制度であり、プログラム期間は2009～2013年度、予算規模は総額1,000億円である。本プログラムでは、中心研究者の一人として、

第2章 太陽光発電

東京大学瀬川浩司教授が提案した「低炭素社会に資する有機系太陽電池の開発」が太陽電池関連テーマとして採択され、約 32 億円の研究予算が割り当てられている。

「低炭素社会に資する有機系太陽電池の開発」では、有機系太陽電池を早期に実用化するため、基礎科学を担当する大学からデバイスを作る企業まで分野の垣根を超えて結集、中心研究者が見出した新原理と新素材を活かし、色素増感太陽電池、有機薄膜太陽電池、広帯域波長可変ハイブリッド太陽電池の開発を実施している。

vi) 科学技術振興機構による取り組み

科学技術振興機構では、戦略的創造研究推進事業として、課題達成型基礎研究を推進する「CREST」、温室効果ガスの削減を着実に進めていくための「ALCA」（先端的低炭素化技術開発）、研究者個人を支援する「さきがけ」が実施されている。

「CREST」では「太陽光を利用した独創的クリーンエネルギー生成技術の創出」研究領域が 2009 年から始まっている。本研究領域では、太陽光発電技術、および太陽光エネルギーによって水素などを生成する化学燃料生成技術、電気エネルギーと化学燃料を同時に生成する技術なども含め、将来の独創的クリーンエネルギー生成に資する研究課題が採択されている（表 2-27）。各課題は、年間 4 千万円～2 億円の予算の範囲内で採択されている。

表 2-27 「CREST」採択テーマ

採択年	採択テーマ	採択先
2009 年	アモルファスシリコンの光劣化抑止プロセスの開発	大阪大学
	界面局所制御による光・キャリアの完全利用	兵庫県立大学
	色素増感太陽電池におけるデバイス物性に関する研究	物質・材料研究機構
	有機太陽電池のためのバンドギャップサイエンス	自然科学研究機構分子科学研究所
	励起子吸収による増感を利用した高効率太陽電池の研究	早稲田大学
2010 年	大気圧プラズマ科学に基づく新たな Si 材料創成プロセスの開発	大阪大学
	Next 次世代を目指す化合物薄膜太陽電池の高性能化	長岡工業高等専門学校
	シリコン基板上窒化物等異種材料タンDEM太陽電池の研究開発	大阪市立大学
	シリサイド半導体 pn 接合による Si ベース薄膜結晶太陽電池	筑波大学
	Cat-CVD など新手法による太陽電池高効率化	北陸先端科学技術大学院大学
2011 年	革新的塗布型材料による有機薄膜太陽電池の構築	奈良先端科学技術大学院大学
	集光型ヘテロ構造太陽電池における非輻射再結合損失の評価と制御	京都大学
	フォトニック・ナノ構造を活用した新しい光マネジメント技術の開発	京都大学
	固液界面反応設計による新規高純度シリコン材料創製プロセスの構築	早稲田大学

出典：CREST ホームページ (<http://www.jst.go.jp/kisoken/crest/>) より NEDO 作成

「ALCA」では「太陽電池および太陽エネルギー利用システム」研究領域が 2010 年から始まっている。本研究領域では、従来型の太陽電池と比較して格段に高いエネルギー変換効率を有する太陽電池や、新素材の採用や大面積製造技術に基づいた大幅な低コスト化が可能な太陽電池、および太陽エネルギー利用システムの開発課題が採択されている（表 2-28）。各課題は、年間 3 千万円以内の予算の範囲内で採択されている。

表 2-28 「ALCA」採択テーマ

採択年	採択テーマ	採択先
2010年	高効率・低コスト色素増感太陽電池の開発	京都大学
	液体シリコン塗布プロセスによる高性能太陽電池	北陸先端科学技術大学院大学
	III-V 族窒化物太陽電池の高効率化と集光型デバイスへの展開	物質・材料研究機構
	ハイブリッドナノカーボン太陽電池の創成	名古屋大学
	非真空プロセスによる未来型化合物薄膜太陽電池の高性能化技術開発	東京工業大学
	シリコン/ゲルマニウム新型積層構造太陽電池の開発	島根大学
	マジック超構造による窒化物太陽電池スマートイノベーション	千葉大学
2011年	超高効率エネルギー変換スピノーダル・ナノテクノロジー	大阪大学
	太陽光による二酸化炭素の資源化を可能とする革新的光触媒系の創製	東京工業大学
	半導体ナノ粒子を原料としたエネルギー変換量子デバイスの創成	大阪大学
	光とキャリアを完全利用するナノ構造体・結晶シリコン融合太陽電池	名古屋大学
	液晶科学に基づく革新的塗布型有機太陽電池の開発	大阪大学
	規則構造と相界面の制御による太陽熱利用型の熱電材料創製	東京工業大学
	IV 族元素による環境調和型 Si 系クラスレート太陽電池の開発	岐阜大学
	多層セル型太陽電池用 IV 族多元系混晶の結晶成長と界面構造制御	名古屋大学
2012年	高温フォトリソによる高度太陽エネルギー利用	東北大学
	ナノカーボンによる新規太陽電池の創製	九州大学
2013年	有機薄膜太陽電池の結晶性理想構造の共蒸発分子誘起結晶化法による実現と高効率化	自然科学研究機構 分子科学研究所
	テラワット PV 世代の薄膜太陽電池の開発	産業技術総合研究所
2013年	有機無機ハイブリッド高効率太陽電池の開発	桐蔭横浜大学
	高効率太陽光発電用レクテナの開発	電気通信大学
	太陽光励起レーザー・単色型太陽電池結合発電	名古屋大学

出典：ALCA ホームページ (<http://www.jst.go.jp/alca/outline.html>) より NEDO 作成

2.4.2 欧州

欧州（EU）では、加盟各国共同で研究活動を行うための支援計画として、欧州フレームワーク計画（FP）³³を定め、国家横断的な技術開発を行っている。図 2-42 に、FP の予算の推移を示す。FP 予算は年々増加しており、現在遂行中である FP7（2007～2013）では約 500 億ユーロの予算が充当された。

図 2-43 に、FP6（2003～2006 年分）および FP7（2007～2009 年分）における太陽電池への研究開発投資内訳を、表 2-29 に FP7 の主要な太陽電池関連プロジェクトを示す。

FP6 においては、合計で約 105 百万ユーロが支援された。技術別の内訳を見ると、結晶シリコンおよび薄膜シリコン太陽電池への予算が全体の約 5 割を占めている。また、建材一体型太陽電池、次世代太陽電池（色素増感、有機薄膜など）にも多くの予算が配分された。

FP7 においては、2007～2011 年に約 195 百万ユーロの予算が割り当てられている。結晶シリコン太陽電池については、企業や各国による当該技術に対する研究開発投資が増加していることもあり、FP7 における予算配分額は FP6 と比較して小額にとどまっている。薄膜シリコン太陽電池には引き続き多くの予算が使用されており、現時点で FP6 とほぼ同額の支援が行われている。また、集光型太陽電池へはすでに FP6 の 2 倍以上の支援が行われている他、FP6 にはなかった「製造装置・製造プロセス」に対し、薄膜シリコン太陽電池に多くの予算が配分されている。有機系太陽電池などへの投資も活発である。

³³ 欧州フレームワーク計画（FP）とは、欧州連合（EU）における科学分野の研究開発への財政的支援制度。1984 年の FP1 から始まり、現在は FP7（2007～2013）が実施されている。

第2章 太陽光発電

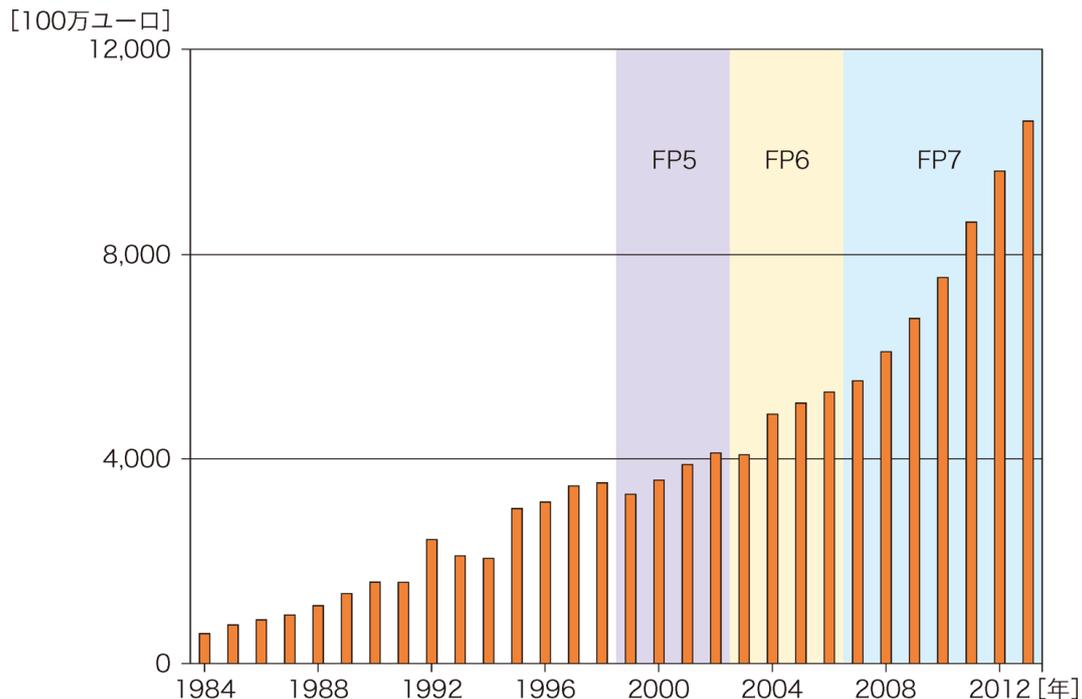


図 2-42 欧州フレームワーク計画 (FP) 予算の推移 (1984~2013)

出典：RTD info, Inside the Seventh Framework Programme (2007, EC)

http://ec.europa.eu/research/rtdinfo/pdf/rtdspecial_fp7_en.pdf より NEDO 作成

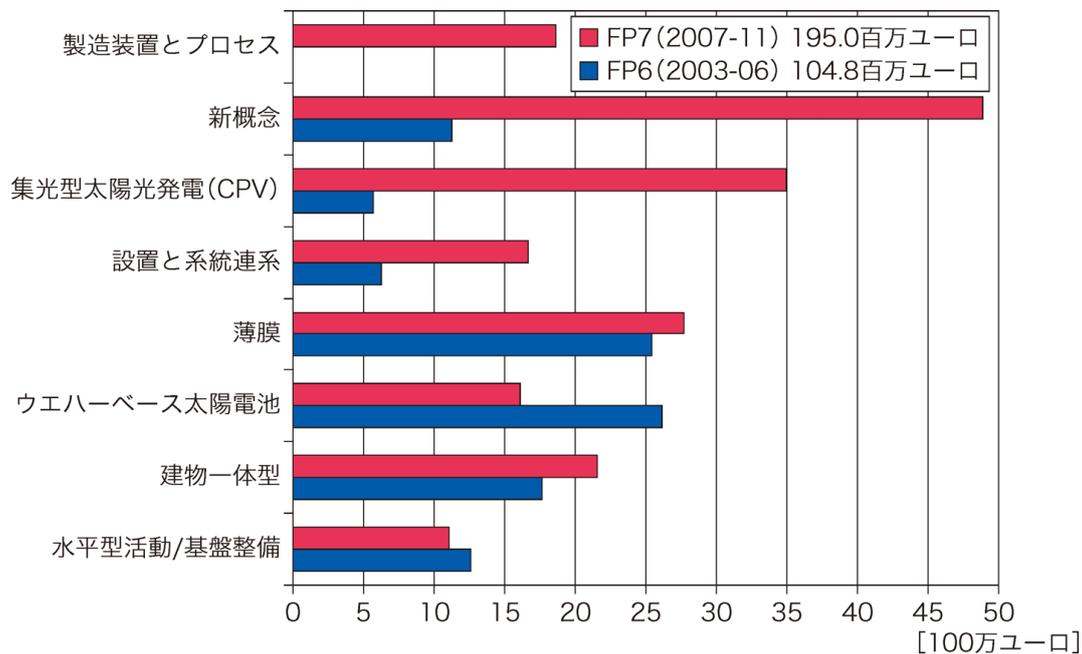


図 2-43 FP6・FP7 の太陽光発電関連予算の内訳

出典：「太陽光発電技術開発動向等の調査」, 資源総合システム (2012, NEDO) 55p.

表 2-29 FP7 の主要な太陽電池関連プロジェクト

	プロジェクト名	概要	予算 [百万ユーロ] (うち EC 出資分)	期間
製造装置・プロセス	SOLASYS	次世代太陽電池セル/モジュールレーザー製造システムの開発	5.99 (5.29)	2008/9/1～2011/8/31
	ULTIMATE	高耐久・高効率のモジュール製造用超薄型太陽電池セルの開発	6.35 (3.98)	2008/10/1～2011/9/30
集光型太陽電池	APOLLON	高効率インテリジェント集光型太陽電池モジュール/システムの開発に向けた多角的アプローチ	11.74 (8.26)	2008/7/1～2013/6/30
	NACIR	集光型太陽電池の最先端企業によるコンソーシアムの形成と高性能化に係る技術開発	7.11 (4.40)	2009/1/1～2012/12/31
	NGCPV	次世代集光型太陽電池セル, モジュール, システムの開発	6.53 (5)	2011/6/1～2014/11/30
次世代太陽電池	ASPIS	新コンセプト集光型太陽電池の開発 (太陽追尾技術+平板モジュール内における集光技術)	3.76 (2.88)	2009/1/1～2011/12/31
	EPHOCCELL	分子内・分子間のエネルギー伝達に係る調査研究	3.42 (2.50)	2009/2/1～2013/1/31
	IBPOWER	高効率・低コスト太陽電池のための中間バンド材料および太陽電池セルの開発	4.61 (3.49)	2008/2/1～2012/1/31
	ROBUST DSC	高効率・高耐久色素増感太陽電池のセル/モジュールの開発	5.32 (3.98)	2008/2/1～2011/1/31
	SOLAMON	次世代薄膜太陽電池セルのためのプラズモンナノ材料の開発	2.09 (1.60)	2009/2/1～2011/1/31
	ROD SOL	無機材料によるナノロッド薄膜太陽電池セル (ガラス基板) の開発	4.08 (2.70)	2009/1/1～2011/12/31
薄膜シリコン系太陽電池	HELATHIS	高効率大面積薄膜 Si 太陽電池モジュールの開発	3.13 (2.10)	2010/1/1～2012/12/31
	HIPOCIGS	直列製造ラインによる高効率・低コストフレキシブル CIGS 太陽電池の開発	5.02 (3.64)	2010/1/1～2012/12/31
	SILICON LIGHT	高品質・高集光性能 薄膜シリコン太陽電池セルの開発	8.85 (5.78)	2010/1/1～2012/12/31
	THINSI	低コストシリコン基板を用いた薄膜シリコン系ハイブリッド太陽電池の開発	6.19 (4.12)	2010/1/1～2012/12/31
	AGATHA	薄膜系太陽電池光閉じ込め技術の開発	2.43 (1.71)	2010/9/01～2013/8/31
結晶シリコン系太陽電池	HETSI	a-Si と c-Si を使用したヘテロ接合太陽電池セルの開発	5.05 (3.40)	2008/2/1～2011/1/31
	POLYSIMOD	多結晶シリコン太陽電池モジュール (ガラス基板) の改良	6.05 (4.50)	2009/12/1～2012/11/30
	HIGH-EF	ダイオードレーザーと固相結晶化プロセスの組み合わせによる大粒径・低負荷薄膜多結晶太陽電池	4.46 (2.86)	2008/1/1～2010/12/31
	SUGAR	Silicon sUBstrates from an inteGrated Automated pRocess	5.76 (3.72)	2010/10/1～2013/9/30
	20PLS	100 μm 以下の高効率単結晶薄膜太陽電池 (発電効率 20%) の開発	7.01 (4.88)	2010/10/1～2013/9/30
	R2M-SI	高効率単結晶薄膜太陽電池製造技術の開発 (発電効率 20% 以上)	3.9 (2.83)	2010/10/1～2013/9/30

第2章 太陽光発電

	プロジェクト名	概要	予算 [百万ユーロ] (うち EC 出資分)	期間
有機系太陽電池	ESCORT	高効率ハイブリッド型有機系太陽電池の開発	1.76 (1.34)	2010/9/01～ 2014/8/31
	LARGECELLS	大面積ハイブリッド型有機系太陽電池の開発	2.17 (1.65)	2010/9/01～ 2013/8/31
	MOLESOL	高効率色素増感高分子太陽電池の開発	3.59 (2.45)	2010/10/1～ 2013/9/30

出典：EC ホームページ (http://cordis.europa.eu/fp7/projects_en.html) より NEDO 作成

欧州では、欧州太陽光発電技術プラットフォーム（European Photovoltaic Technology Platform：PVTP）が太陽光発電の長期ビジョンとして、2030年までとその後の長期について、欧州の太陽光発電の発展目標とその達成に必要な研究開発のマイルストーンを定めた戦略的研究計画（Strategic Research Agenda：SRA）を策定している。SRAの目標値を表2-30に示す。この目標が達成できれば、2030年には欧州のほぼ全域においてグリッドパリティが実現される。

表 2-30 戦略的研究計画（SRA）における発電コスト目標

	2020年	2030年	長期可能性
標準ターンキー太陽光発電 100 kW システム価格 (VAT 除く)	1.5 ユーロ /Wp	1.0 ユーロ /Wp	0.5 ユーロ /Wp
標準太陽光発電コスト (南欧)	0.10 ユーロ /kWh	0.06 ユーロ /kWh	0.03 ユーロ /kWh
標準システム・エネルギー回収期間 (南欧)	< 0.5 年	< 0.5 年	0.25 年

出典：European Photovoltaic Technology Platform, A Strategic Research Agenda for Photovoltaic Solar Energy Technology Edition 2 (2011/9, EC) より NEDO 作成

2.4.3 米国

米国は、2006年に発表された「先端エネルギー計画（AEI）」の一貫である「ソーラー・アメリカ・イニシアティブ（SAI）」の下、2015年までに太陽光発電のグリッドパリティを達成することを第一目標に、各種技術開発プログラムに取り組んできた。SAIは、2009年に終了し、その成果は、米国省エネルギー・再生可能エネルギー局（EERE）が主導する Solar Energy Technologies Program（SETP）に引き継がれることとなった。

2011年2月には、新たな技術開発戦略として「Sunshot イニシアティブ」が発表された。Sunshot イニシアティブは、2020年までに太陽光発電システムの総コストを75%削減し、1ワット当たり約1ドル（kWh当たり約6セント）まで引き下げることを目標としており、補助金を投入することなく他のエネルギーに対するコスト競争力を獲得し、世界市場における米国の優位性を回復することを狙いとしている。同イニシアティブは、次の3つテーマに焦点を当て、太陽光発電に係るあらゆるコストの削減を目指している。

- ・太陽光発電技術に係るコスト削減
- ・太陽光発電の系統連系に係るコスト削減
- ・太陽光発電の設置・運用に係るコスト削減

現在、Sunshot プログラムの一環として、太陽光発電関連の先進製造プロセスの開発を支援する「Sunshot 先進製造パートナーシップ（SunShot Advanced Manufacturing Partnerships）」を SETP において実施している。

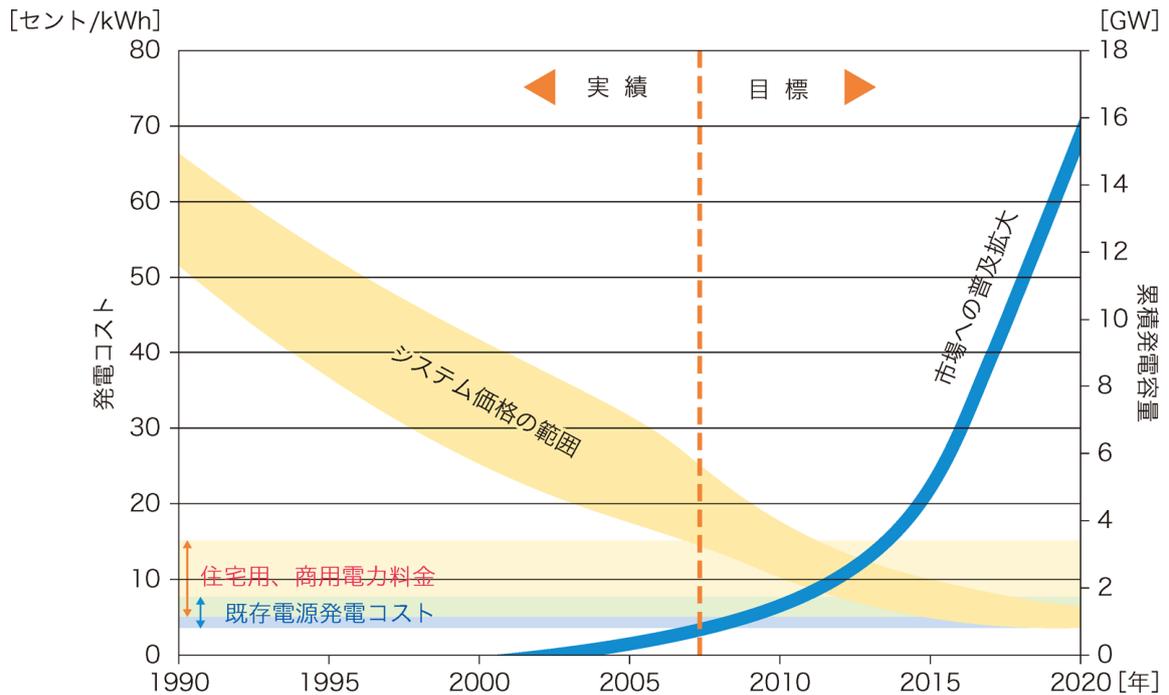


図 2-44 ソーラー・アメリカ・イニシアティブ (SAI) における太陽光発電コスト目標

出典：U.S.Department of Energy, Solar America Initiative,
http://www1.eere.energy.gov/solar/solar_america/index.html より NEDO 作成

表 2-31 SETP 主要サブプログラムの予算推移 [1,000 ドル]

研究分野	2009年	2009年ARRA	2010年	2011年	2012年	2013年要求
イノベーション					79,606	70,045
新技術					126,446	117,055
太陽光発電システム	124,540	47,600	125,778	152,000		
集光型太陽熱発電	24,310	31,000	49,023	98,200		
システム						
インテグレーション	12,120	24,200	23,055	30,698	68,090	93,400
市場障壁	14,030	14,800	23,540	21,500	10,551	25,589
太陽光電力・エネルギーイノベーションハブ			22,000			
中小企業向け支援 (SBIR/STTR)					4,258	3,911
総計	175,000	117,600	243,396	302,398	288,951	310,000

出典：The Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE) ホームページ,
http://www1.eere.energy.gov/office_eere/index.html より NEDO 作成

SETP は、複数のサブプログラムに分けられており、それぞれのサブプログラムごとに表 2-31 に示す研究開発予算を設定している。

太陽光発電サブプログラムにおける主要な技術開発プログラムを表 2-32 に示す。SunShot 先進製造パートナーシップを含む各種プログラムが進行しており、萌芽的技術や次世代技術から、実用化に近い技術、分野横断的技術、系統連系技術などについて、産官学の連携の下、技術開発が進められている。

第2章 太陽光発電

表 2-32 SETP における主要な研究開発プログラム

テーマ/概要	実施プログラム	概要
システム開発と製造プロセス	SunShot 先進製造パートナーシップ	太陽光発電のコスト削減を目標に、太陽光発電関連の先進製造プロセスの開発を支援する。
	テクノロジー・パスウェイ・パートナーシップ (TPP)	早期に大量生産・低コスト化が可能な段階にある太陽電池コンポーネント、システムについて、実証試験や技術間の相互連携を行う。産業主導型のプロジェクト。
	大学における製品・製造プロセス開発	大学における技術開発を支援し、実製品および製造プロセスの改良、商用化につなげることを目標とする。
	サプライチェーンと分野横断的技術開発	太陽電池産業に影響を与える、共通技術・材料の改良により、製品・製造コストを削減することを目標とする。
プロトタイプ開発とパイロット生産	太陽光発電技術インキュベーター	新しい製品・製造プロセスの商用化の可能性を探るとともに、国内企業の育成を図る。2012年までに商用化に向け、太陽電池コンポーネント・システムのプロトタイプ開発、技術課題の解決を図る。
新規デバイスおよび製造プロセス	次世代太陽電池プログラム	革新的な次世代太陽電池のおよび製造プロセスを開発する。太陽電池セルおよび製造プロセスのプロトタイプを2015年までに完成させ、2020~2030年までに商用化することを目標とする。
	太陽光発電技術プレインキュベーター	小規模企業における、太陽電池のコンセプト開発から商業的に実現可能なプロトタイプ開発 (2012年まで) への移行を支援する。

出典：EERE ホームページ (http://www1.eere.energy.gov/office_eere/index.html) より NEDO 作成

米国ではこの他、再生可能エネルギーに関する革新的な技術開発を行う拠点として、米国エネルギー省 (DOE) の下部組織となるエネルギー高等研究計画局 (ARPA-E) を 2009 年に設立した。ARPA-E は、国防総省の国防高等研究計画局 (DARPA) をモデルとする DOE の新組織であり、連邦科学アカデミーによる報告書によって提案され、オバマ政権下で米国復興再投資法 (ARRA) に盛り込まれた。

ARPA-E は、輸入石油消費量の低減、地球温暖化ガスを含むエネルギー由来の排出ガスの低減、省エネルギーの促進、先進的エネルギー技術の開発と普及において米国の技術的リーダーシップの維持を目的に、米国の経済強化とエネルギー安全保障に資する研究に資金を提供している。

現在、ARPA-E における太陽光発電分野での技術開発としては、次の内容を実施している。

- ・自立追尾型集光型太陽電池
- ・フルスペクトル型超高効率太陽電池
- ・InP ウェハを用いた格子整合型太陽電池
- ・有機系太陽電池

2.4.4 中国

中国では、急速な経済成長に伴うエネルギーの確保が喫緊の課題であり、化石エネルギーなどの確保が最優先課題である一方で、地球温暖化対策への対応やエネルギー源の確保のために、省エネルギーや再生可能エネルギーの導入も積極的に進めており、エネルギー政策の重要な柱の一つとなっている。2012 年には、中国は世界最大の太陽電池生産国となり、輸出産業としても大きく貢献していることから、発電の研究開発や普及促進についても強化している。

2011 年から開始した「第 12 次 5 ヵ年計画」では、2012 年 2 月に工業・情報化部 (中国工業和信息化部) が太陽光発電に関する「太陽光発電十二五発展計画」を策定した。その方針を受けて研究開発プログラムを含めた施策方針が打ち出された。第 12 次 5 ヵ年計画 (2011~2015 年) に

おける研究開発目標を表 2-33 に示す。

表 2-33 中国の第 12 次 5 ヶ年計画における主要な研究開発目標

2015 年までの 目標	<ul style="list-style-type: none"> ・ポリシリコン生産量はトップ企業が 5 万 t/年、大手は 1 万 t/年とする。 ・太陽電池生産量はトップ企業が 5 GW/年、大手は 1 GW/年とする。 ・太陽電池メーカーの年間売上高は、1000 億元超が 1 社、500 億元超が 3~5 社とする。 ・製造装置メーカーの年間売上高は 10 億元超が 3~4 社とする。 									
主な目標	<ul style="list-style-type: none"> ・変換効率： <ul style="list-style-type: none"> 単結晶シリコン太陽電池で 21 %。多結晶シリコン太陽電池で 19 %。 薄膜シリコン太陽電池で 12 %。 ・国産化率 80 %以上。 ・ブランド力をもつ企業を育成。 ・あらゆる革新技術を掌握 ・太陽電池コスト目標 <table style="margin-left: 40px; border: none;"> <tr> <td>太陽電池モジュール製造コスト</td> <td>2015 年 7,000 元 /kW</td> <td>2020 年 5,000 元 /kW</td> </tr> <tr> <td>太陽光発電システムコスト</td> <td>2015 年 13,000 元 /kW</td> <td>2020 年 10,000 元 /kW</td> </tr> <tr> <td>発電コスト</td> <td>2015 年 0.8 元 /kWh</td> <td>2020 年 0.6 元 /kWh</td> </tr> </table> ・議事単結晶技術を開発。 ・ウェハーの厚さ 150~160 μm のワイヤソーの開発。 ・1,000 t/年級の半導体用ポリシリコン工場の建設。 	太陽電池モジュール製造コスト	2015 年 7,000 元 /kW	2020 年 5,000 元 /kW	太陽光発電システムコスト	2015 年 13,000 元 /kW	2020 年 10,000 元 /kW	発電コスト	2015 年 0.8 元 /kWh	2020 年 0.6 元 /kWh
太陽電池モジュール製造コスト	2015 年 7,000 元 /kW	2020 年 5,000 元 /kW								
太陽光発電システムコスト	2015 年 13,000 元 /kW	2020 年 10,000 元 /kW								
発電コスト	2015 年 0.8 元 /kWh	2020 年 0.6 元 /kWh								

出典：第 12 次 5 ヶ年計画・太陽光発電産業発展計画，(2011/2，中国国家発展改革委員会)より NEDO 作成

なお，中国政府は 2012 年末，供給過剰で経営不振に陥っている太陽光発電業界の再編を促し，生産能力の削減を後押しする一方，補助金制度の拡充で国内需要を刺激する方針を示した。同方針は，温家宝首相（当時）が主催する国务院の常務会議で決定され，産業構造の調整および技術の進歩を加速する，産業の秩序ある発展を規範化する，積極的に中国国内の太陽電池応用市場を開拓する，政策による支援を整備する，市場構造の作用を十分に発揮させ，政府の介入を減少し，地方による保護を禁止する——の 5 項目が柱となっている。

2.4.5 発電コスト目標

日米欧の発電コスト目標の比較を表 2-34 に示す。各国とも既存電源（5~7 円/kWh 程度）に対するグリッドパリティの達成を目的に，意欲的な将来目標を掲げている。目標達成年については，米国が一足早く 2020 年に 6 セント/kWh を達成することを想定している。

第2章 太陽光発電

表 2-34 主要国・主要機関の発電コスト目標

	出典	区分	設定目標		
			現在	2020年	2030年
日	PV2030 + (2009)	-	(2010年) 23円 /kWh	14円 /kWh	7円 /kWh
米	SunShot (2012)	住宅	(2010年) 22-28 USセント /kWh	5.5-7.5 USセント /kWh	-
		商業ビル	(2010年) 25-34 USセント /kWh	6.5-8.5 USセント /kWh	-
		発電事業	(2010年) 18-24 USセント /kWh	4.5-6.0 USセント /kWh	-
EU	SRA (2011)	100 kW-sys	(2010/11年) 19 EUR セント /kWh	10 EUR セント /kWh	6 EUR セント /kWh
中	第12次5ヵ年計画	発電事業	(2009年) 1.5 元 /kWh	0.6 元 /kWh	-
IEA	IEA PV Technology roadmap (2010)	住宅	(2008年) 36-72 USセント /kWh	16-31.5 USセント /kWh	10-20.5 USセント /kWh
		商業ビル	(2008年) 30-60 USセント /kWh	13-26 USセント /kWh	8.5-17 USセント /kWh
		発電事業	(2008年) 24-48 USセント /kWh	10.5-21 USセント /kWh	7.0-13.5 USセント /kWh

注：EUの発電コスト目標は欧州南部における標準的システムによる発電コストとしている。
 出典：2.4.1～2.4.4節より NEDO 作成。

2.5 今後に向けた課題と克服方策

国の導入目標（2.2.2 (1) 参照）や導入見通し（2.3.1 参照）のいずれにおいても、太陽光発電に対しては、高い導入量が期待されている。2012年7月からの固定価格買取制度の開始に伴い、国内でも太陽光発電が本格的に普及し始めているものの、長期導入目標を達成するためには、高い導入率を持続しなければならない。しかし、導入を妨げる課題が、固定価格買取制度の開始後1年で顕在化しつつある状況といえる。

図 2-45 は、導入量を一定とした場合の2030年の推定累積導入量を示している。固定価格買取制度開始初年度の導入量が約2.0GWであり、2013年度はさらなる伸びが期待されているが、長期にわたってこの導入量を維持するのは容易ではないと想定される。

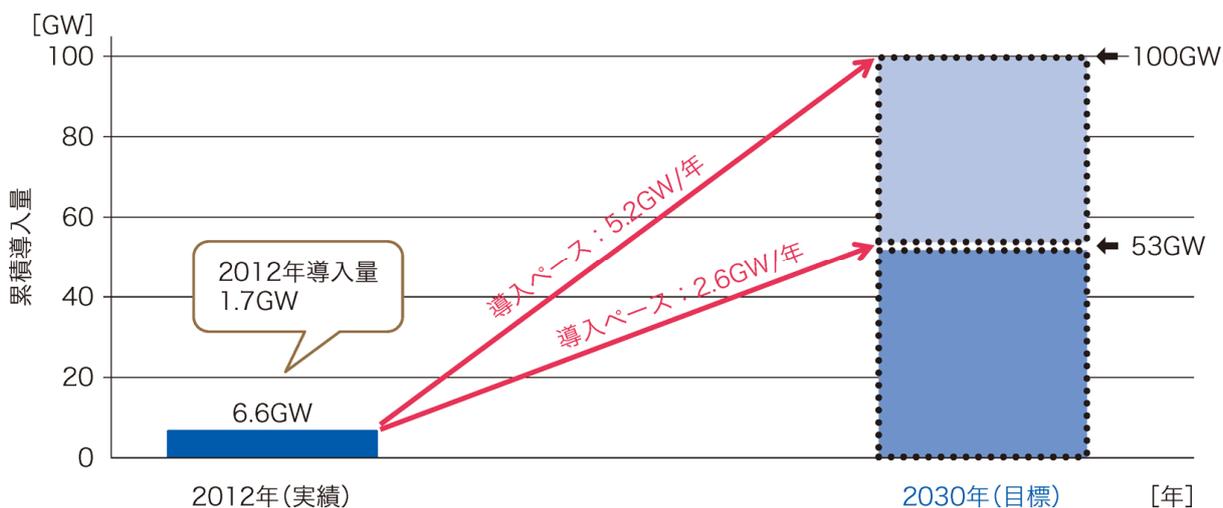


図 2-45 大量導入社会実現に向けて必要となる年間導入量

出典：NEDO 作成資料

また、大量導入を支えるべき太陽光発電産業の内部では、従来この業界の主役であったセル・モジュールメーカーが市場価格の低下に苦しむ一方で、施工・発電事業などの川下産業が急成長しており、産業の構造が変わりつつある状況といえる。

本節では、太陽光発電の大量導入社会実現に向けて解決すべき主な課題などを整理し、進めるべき技術開発の方向性について述べる。

2.5.1 発電コストの低減

2.4 章までで述べたように、太陽光発電のシステム価格は着実に低下し、生産量・導入量も順調に拡大しているように見える。しかし、2.2.3 (1) でスペインやイタリアの事例を紹介したように、依然、市場拡大を支えているのは固定価格買取制度であり、買取価格が低下すれば、導入量が大きく減少する構造にある。太陽光発電の発電コストが他の電源よりも高い状況では、固定価格買取制度を維持しなければ、導入量を維持できないと考えられる。

しかし、固定価格買取制度は、電力需要家の賦課金で賄われている以上、将来に向かって買取価格を引き下げなければ、電力料金に占める賦課金の上昇が止まらなくなる。

我が国の固定価格買取制度では、買取費用を電気料金と合算して回収する再生可能エネルギー賦課金で賄う。2013年度の我が国の標準家庭における賦課金負担は約0.40円/kWhとされているが、太陽光発電を始めとする再生可能エネルギーの普及が進めば、今後、賦課金の増加が見込まれる。

2000年から固定価格買取制度を開始し、累積導入量が32.4GWに達しているドイツ（2012年末現在）では、日本の再生エネルギー賦課金に相当するサーチャージ費用が、5.28ユーロセント/kWhに達している（表2-35）。

電力需要家の負担を抑えつつ、持続的な導入普及を実現するためには、買取価格を引き下げても導入した者が利益を得られるような「発電コスト」を実現することが必要である。

本節では、発電コストの構成要素を分析し、発電コスト低減に有効な要素を見出し、発電コスト低減のシナリオを示す。

表 2-35 再生可能エネルギー賦課金（日本とドイツの現状）

	日本 ¹⁾		ドイツ ²⁾
	2012年度	2013年度	2013年
標準家庭の電気料金（円）	7,000程度		10,209 (83ユーロ/月)
賦課金単価（円/kWh）	0.29	0.40	6.494 (5.28ユーロセント/kWh)
標準家庭の負担水準 (300 kWh/月使用)（円/月）	87	120	1,943 (15.8ユーロ/月)

注：金額は、全国平均。1ユーロ123円で換算。

出典：1) は、第8回調達価格等算定委員会，2013/1/21，経済産業省，資料2，

http://www.meti.go.jp/committee/gizi_0000015.html#chotatsu_kakaku より NEDO 作成。

2) は、BDEW（ドイツ連邦エネルギー・水道事業合会），2013/5/23 プレスリリース，

[http://www.bdew.de/internet.nsf/id/05B6EBC2BF77350DC1257AD700582730/\\$file/130527_BDEW_Strompreisanalyse_Mai%202013_presse.pdf](http://www.bdew.de/internet.nsf/id/05B6EBC2BF77350DC1257AD700582730/$file/130527_BDEW_Strompreisanalyse_Mai%202013_presse.pdf) より NEDO 作成。

第2章 太陽光発電

[ユーロセント/hWh]

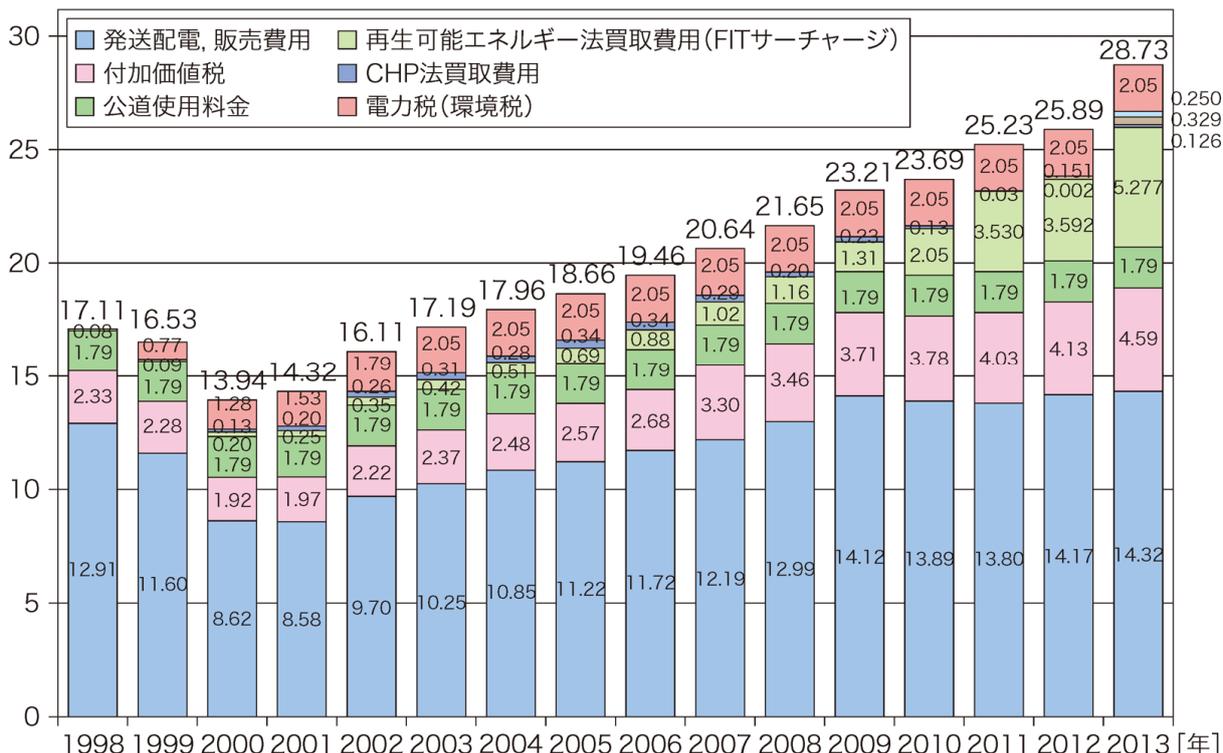


図 2-46 ドイツにおける平均的家庭需要家の電力料金単価の推移

注：家庭の平均的年間需要を 3,500kWh と仮定。

出典：BDEW（ドイツ連邦エネルギー・水道事業協会），2013/5/23 プレスリリース，

[http://www.bdew.de/internet.nsf/id/05B6EBC2BF77350DC1257AD700582730/\\$file/130527_BDEW_Strompreisanalyse_Mai%202013_presse.pdf](http://www.bdew.de/internet.nsf/id/05B6EBC2BF77350DC1257AD700582730/$file/130527_BDEW_Strompreisanalyse_Mai%202013_presse.pdf)
より NEDO 作成

(1) 発電コスト

発電コストの最も基本的な構成は、**式 2-1** のように表現することができるが、試算に用いられる費目やその条件、算出方針等はさまざまである。そこで、固定価格買取制度の買取価格算定や、海外のロードマップなどで発電コスト算定に用いられている情報を**表 2-36**に整理した。

本節では、我が国の固定価格買取制度の「買取価格」を決定している調達価格等算定委員会の方法を主に参照して発電コストを試算することとした。ただし「発電コスト」の算出が目的であるため、発電事業における利潤は考慮に入れず、割引率を設定して算出する。

式 2-1 発電コスト算定式

$$\text{発電コスト[円/kWh]} = \frac{\text{建設費[円]} + \text{運転維持費[円]} + \text{廃棄処理費[円]}}{\text{運転年数内総発電量[kWh]}}$$

<各費目の算出例>(定率償却の場合)

$$\text{運転年数内総発電量[kWh]} = \sum_{k=1}^N ((C * (1-d)^{k-1} * 24 * 365 * u) / (1+r)^k)$$

$$\text{建設費(償却費)[円]} = \sum_{k=1}^{n'} (((P+Lc+G)*C) * (1-\text{償却率})^{k-1} * \text{償却率}) / (1+r)^k$$

$$+ \sum_{k=n'}^{n'} (((P+Lc+G)*C) - \sum_{i=1}^{n-1} (((P+Lc+G)*C) * (1-\text{償却率})^{i-1} * \text{償却率}) * \text{改定償却率}) / (1+r)^k$$

$$\text{運転維持費[円]} = \sum_{k=1}^N (((P + Lc+G)*C) * (1-\text{減価率})^{k-1} * 0.014 / (1+r)^k)$$

$$+ \sum_{k=1}^N (((P + Lc+G)*C) * m / (1+r)^k)$$

$$+ \sum_{k=1}^N (W / (1+r)^k)$$

$$+ \sum_{k=1}^N (((P + Lc+G)*C) * m + W) * a / (1+r)^k$$

$$+ \sum_{k=1}^N (Lr * S * C / (1+r)^k)$$

$$\text{廃棄処理費[円]} = ((P + Lc+G)*C) * f / (1+r)^N$$

…「n」は改定償却率が適用される年数

…「n'」は残存簿価が1円になる年数

…固定資産税 (N年以内に資産評価額が取得価格の5%となる場合、式の修正が必要。)

…修繕費・諸費

…人件費

…一般管理費

…土地賃借料

表 2-36 発電コスト算出の入力項目に関する比較

考慮する項目		国内				(参考) 海外のロードマップ			
		PV2030 + (2009)	コスト等検証委員会 (2011)		調達価格等算定委員会 (2012)		IEA PV Technology roadmap (2010)	A Strategic Research Agenda for Photovoltaic Solar Energy Technology (2011)	SunShot Vision Study (2012)
			メガソーラー	住宅	非住宅 (10 kW 以上)	住宅 (10 kW 未満)			
考慮する項目	前提	運転年数	●	●	●	●	●	●	
		割引率 (金利)	●	●		●	●	●	
		IRR			●				
		法定耐用年数		●	●				
		固定資産税		●	●				
	建設費	法人事業税			●				
		システム単価	●	●	●	●	●	●	
		系統接続費用			●				
	運転維持費	土地造成費			●				
		修繕費		●	●				
		諸費		●	●				
		人件費		●	●		(システム価格の 1%/年)	(システム価格の 1%/年)	
		一般管理費		●	●			(PCS 使用年数, 交換費用も考慮)	
	収益	土地賃借料			●				
		年間発電量 (算出根拠)	● (設備利用率)	● (設備利用率)	● (設備利用率)	● (システム出力係数, 日射量)	● (システム出力係数, 日射量)	● (システム出力係数, 日射量)	
撤去費用	出力劣化率								
	廃棄処理費用		●	●			●		

出典：NEDO 作成資料

(現状の発電コスト (調達価格等算定委員会から IRR を除いて算出))

- ・住宅 (新築) : 27.2 円/kWh (システム単価 43.1 万円/kW として算出)
- ・非住宅 : 26.7 円/kWh (システム単価 28.0 万円/kW として算出)

第2章 太陽光発電

表 2-37 入力パラメータ

	項目	記号	例：住宅用 (10 kW 未満)	例：非常宅 (10 kW 以上)	参照元
前提	運転年数	N[年]	20[年]	20[年]	非住宅は「調達価格等算定委員会」、住宅用も、非住宅と同等という前提をNEDOにて設定。
	割引率（金利）	r[%/年]	3[%/年]	3[%/年]	「コスト等検証委員会」
	IRR	-	-	-	
	法定耐用年数	17[年]	17[年]	17[年]	平成25年度現在で適用されている法定耐用年数。
	固定資産税	1.4[%/年]	-	1.4[%/年]	「コスト等検証委員会」
	法人事業税	-	-	-	考慮に加えるかは検討中だが、現時点では考慮していない。
初期費用 (建設費)	システム容量	C[kW]	4[kW]	2,000[kW]	「調達価格等算定委員会」におけるJPEAヒアリング結果
	設置に必要な面積*	S[m ² /kW]	-	15[m ² /kW]	「調達価格等算定委員会」におけるJPEAヒアリング結果から算出。
	システム単価* (モジュール等機器費用+工事費用)	P[円/kW]	431,000[円/kW]	280,000[円/kW]	住宅用は、平成24年4月～12月の新築向け平均単価（経済産業省「太陽光発電システム等の普及動向に関する調査（平成24年度）」より） 非住宅は、「調達価格等算定委員会」より
	系統接続費用	G[円/kW]	-	13,500[円/kW]	「調達価格等算定委員会」におけるJPEAヒアリング結果。
	kWあたり土地造成費	Lc[円/kW]	-	1,500[円/kW]	「調達価格等算定委員会」
	面積あたり土地造成費	Lc[円/kW]/S[m ² /kW]	-	100[円/m ²]	「調達価格等算定委員会」の値を参考にNEDO算出。
	修繕費・諸費	建設費の m[%/年]	建設費の 1[%/年]	建設費の 16[%/年]	「調達価格等算定委員会」
運用費用	人件費	W[円/年]	-	3,000,000[円/年]	「調達価格等算定委員会」
	一般管理費	修繕費・諸費・人件費の a[%/年]	-	修繕費・諸費の 14[%/年]	「調達価格等算定委員会」
	面積あたり土地賃借料	Lr[円/m ²]	-	150[円/m ²]	「調達価格等算定委員会」
	kWあたり土地賃借料	Lr[円/m ²]*S[m ² /kW]	-	2,250[円/kW]	「調達価格等算定委員会」の値を参考にNEDO算出。
収益 (発電能力)	設備利用率	u[%]	12[%]	12[%]	「コスト等検証委員会」
	出力変化率	d[%/年]	-	-	
廃棄	廃棄処理費用	建設費の f[%]	-	建設費の 5[%]	「調達価格等算定委員会」

※太陽電池モジュールの変換効率は、「システム単価」と「設置に必要な面積」に影響する。
たとえば、変換効率が向上した場合、架台物量や工事人工等の低減、造成面積・土地賃借面積の縮小によって、費用の低減が期待される。

出典：NEDO 作成資料

(2) 発電コスト低減の方策

太陽光発電の発電コストの低減に必要な対策を検討するため、現状の発電コストをベースに、入力パラメータごとの発電コストに対する感度分析を行った。結果を図 2-47 に示す。

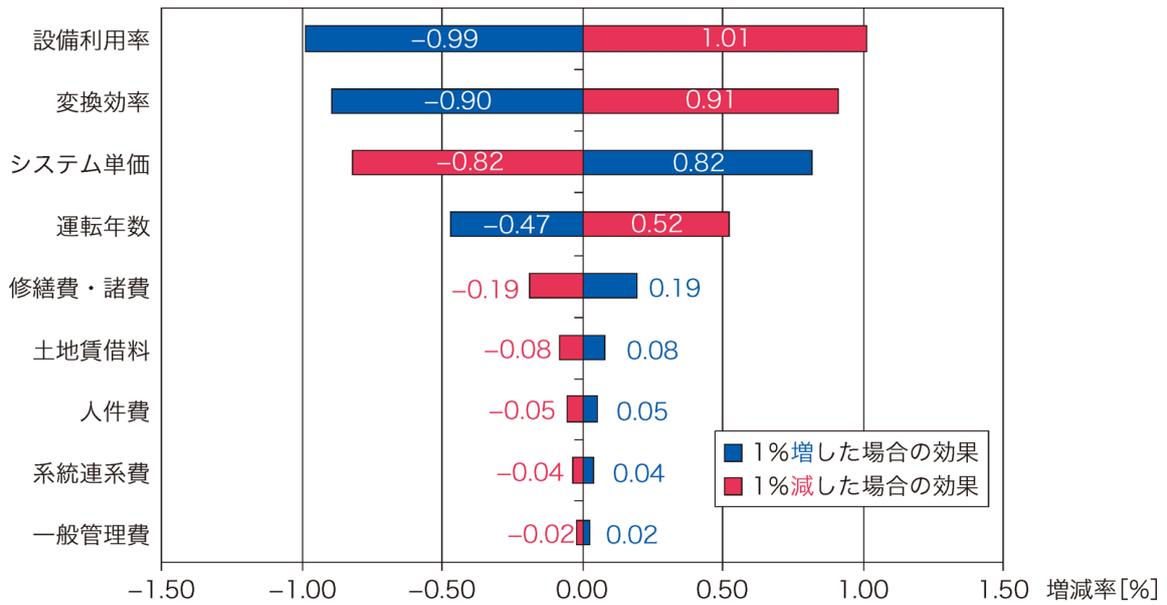
なお、本感度分析では、表 2-37 の条件で算出した発電コストにおいて、入力パラメータをそれぞれ±1%した際の発電コストを算出し、ベースの発電コストに対する増減率を算出した（運転年数のみ±5%（±1年）増減した際の発電コストを算出し、ベースの発電コストとの差を5分の1し、増減率を算出。変換効率の増減は、システム単価と土地賃借料に逆数で反映させた）。

感度分析の結果からは「設備利用率の改善」「変換効率の向上」「システム単価の削減」「運転年数の長期化」「修繕費の削減」の順に太陽光発電の発電コスト低減に有効である。

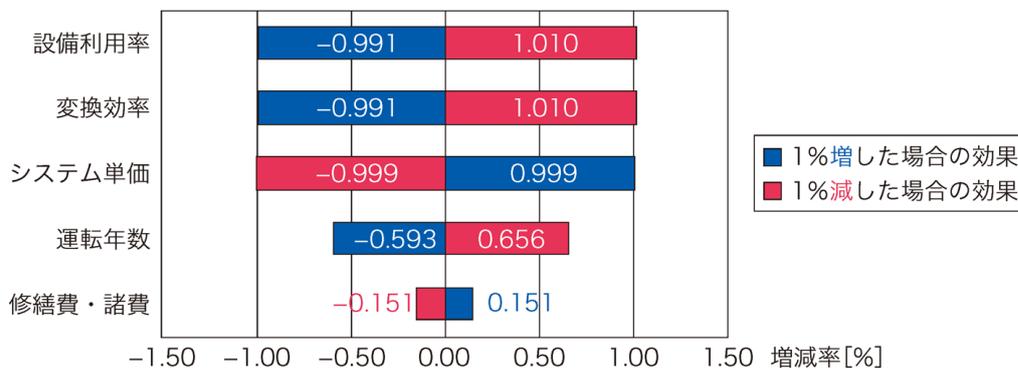
ここからパラメータごとに発電コスト低減の可能性を検討する。

1) 設備利用率

設備利用率は、想定する期間において、対象設備が定格出力で運転した場合に得られる電力量に対する実際に得られた発電電力量の比率で、設備のスペックに対する実績を評価した指標である。一般に式 2-2 で算出される。



(a) 非住宅(メガソーラー)



(b) 住宅用システム

図 2-47 感度分析の結果

出典：NEDO 作成資料

太陽光発電の定格出力は、規定された基準状態での測定値をもって決定されるため、例えば日射条件が比較的、優れた場所にシステムを設置すると、出力が増加し、設備利用率を向上させることができる。また、日射条件のみならず、太陽電池モジュールや周辺機器なども合わせた太陽光発電システム全体の設計次第でも、設備利用率に影響することとなる。このように、大別すると日射条件などの設置環境と、機器性能やシステム設計などの技術力が発電電力量に影響し、設備利用率の値として表現されるが、図 2-48 のように複雑に関係する要素を把握し、日射環境の優れた場所の選定だけでなく、太陽電池をはじめとした個々の技術の向上とシステム全体の最適化を進めることが、発電量の増大（設備利用率の改善）、すなわち発電コスト低減へ寄与することとなる。

第2章 太陽光発電

$$\text{設備利用率 [\%]} = \text{発電電力量 [kWh]} / (\text{定格出力 [kW]} \times \text{歴時間数 [h]}) \times 100$$

・・・(式 2-2)

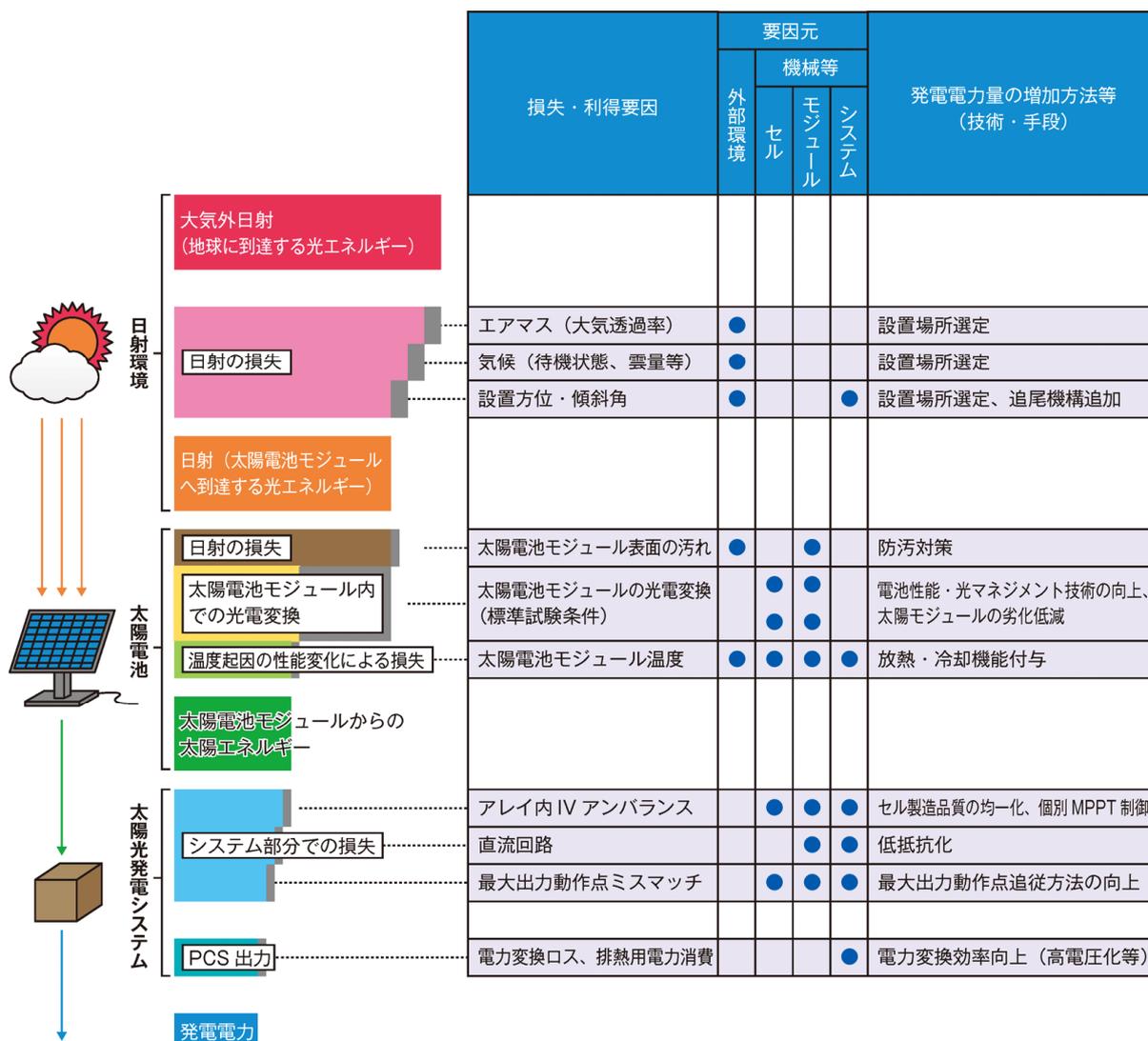


図 2-48 太陽光発電システムにおけるエネルギー損失の構造

出典：NEDO 作成資料

2) 変換効率の向上

変換効率向上は、発電コスト低減に直接的に寄与する。このため、世界中の企業、研究機関が変換効率向上技術を競っている。

なお、変換効率向上による発電コスト低減効果が大きいのは、単位発電量当たりの必要面積の低減によって、モジュールや BOS (Balance of System) などの初期費用、土地賃借料などの運転維持費など、さまざまな面でコスト削減効果が得られるためである。

しかし、変換効率の高い太陽光発電セル、モジュールは、一般にその製造コストも高くなることから、システム単価が上昇しがちである。当然のことながら、発電コスト低減のためには、変換効率の向上とシステム単価の低減をバランスよく実現しなければならない。

3) システム単価の低減

近年の発電コスト低減に大きく寄与したのが、システム単価の低減である。ここでいう「シス

「システム単価」とは「太陽電池モジュール」と、BOS と呼ばれる「PCS など周辺機器の調達に係る費用と設置に係る工事費」で構成される「システム価格」を指す。図 2-21 に示されるように、システム価格は年々、低下している。システム価格低減は、機器類の価格低減効果が大きかった。そこで、システム単価の約 6 割を占める太陽電池価格の低減の背景について述べる。

結晶シリコン太陽電池のコスト構造は、シリコン原料費、インゴット・ウエハ化工程、セル化工程、モジュール化工程に大別できるが、近年の価格低減に大きく寄与したのは、シリコン原料価格の低減であり、モジュール価格を大きく押し下げている（図 2-49）。

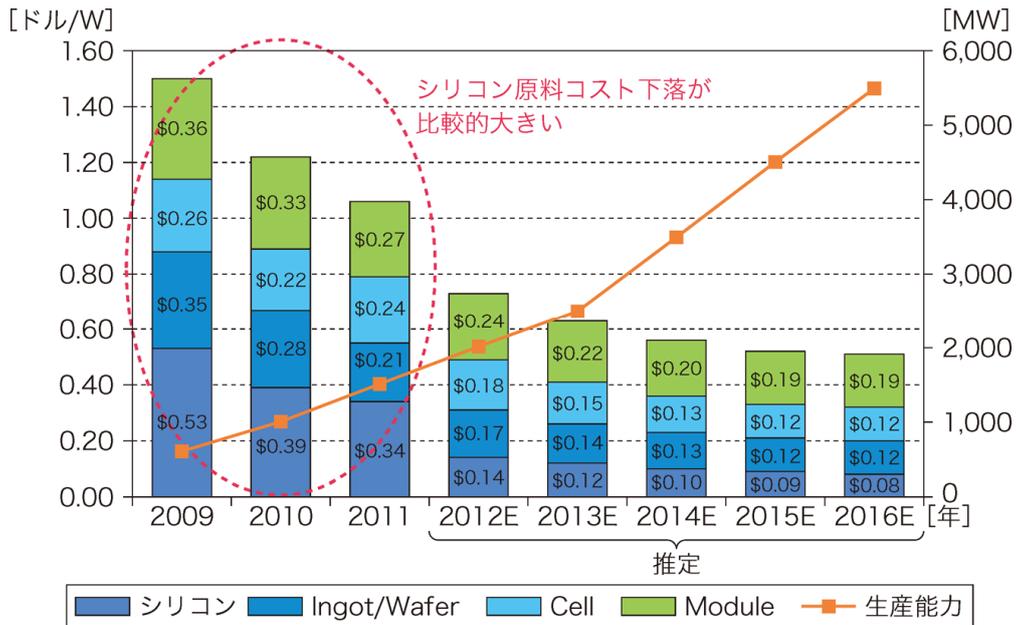


図 2-49 結晶 Si 太陽電池モジュールの工程別コスト推移

出典：PV TECHNOLOGY, PRODUCTION AND COST OUTLOOK: 2012-2016, (2012, GTM Research), 17p. より NEDO 作成

次にシリコン原料価格の推移を表 2-38、図 2-50 に示す。

2005 年から 2008 年頃までは、欧州を中心に進められる導入補助政策によって需要が拡大するとの見通しから、シリコン原料製造設備および太陽電池製造設備が増強されたが、需要の縮小、需要の伸び悩みによって供給量が過剰となり、2009 年にはシリコン原料と太陽電池モジュールの価格が急落した。

その後、需要の回復によって一時、価格下落は減速したものの、需要回復は予想より小さく、供給過剰状態となって価格は漸減した。2013 年は、若干の価格回復の兆しがあるとの指摘もあるが、供給過剰の状態はしばらく続く見込みである（図 2-51）。

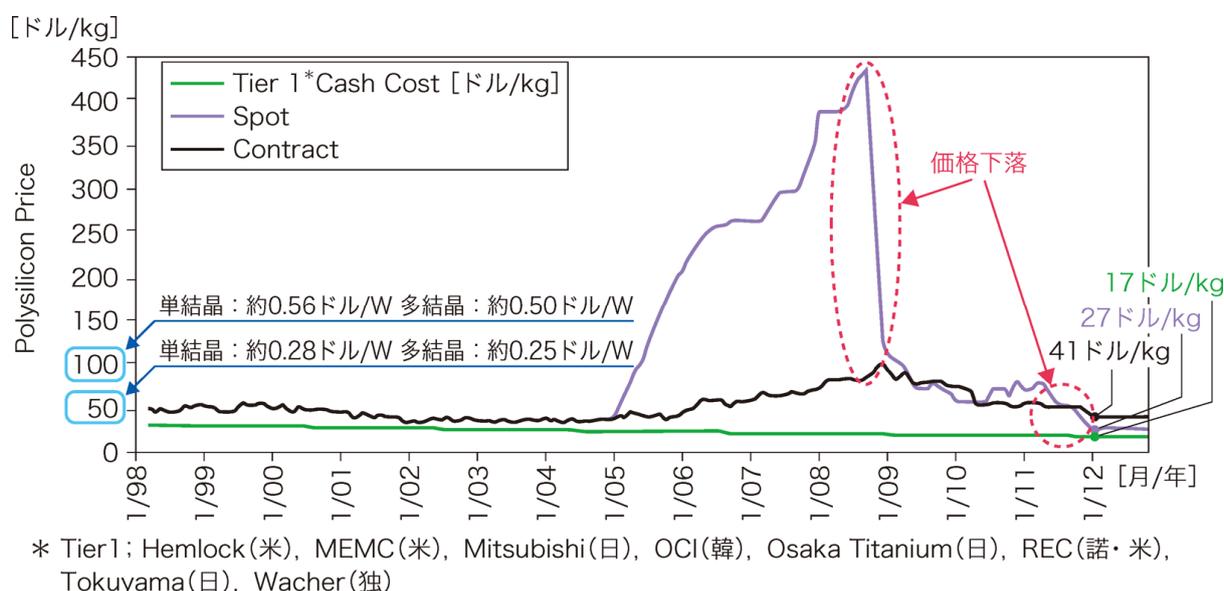
なお、供給過剰の状態は、原料シリコン分野に限らず全工程で指摘されている（図 2-52）。技術革新ではない市場主導の価格下落の傾向は、生産能力が調整されない限り、しばらく続く可能性がある。この過剰な価格競争が長期にわたって続けば、企業経営の悪化を招き、持続可能な産業としての成長を阻害する可能性があるため、価格競争に耐え得るコスト低減技術の開発が期待されている。

第2章 太陽光発電

表 2-38 シリコン原料の需給バランスと価格の推移

年	需給バランス	価格	概要
2005～2008	需要 > 供給	↗	シリコン原料不足によりスポット価格が高騰。長期売買契約における取引価格も徐々に上昇。
2009	需要 < 供給	↘	シリコン製造設備の増強、シリコン原料の需要低下（リーマンショック等による不況）により供給過剰に。スポット価格が暴落。長期売買契約価格とスポット価格が同水準となる。
2010	需要 = 供給	→	需要が立ち直りを見せ始め、需給バランスが改善したことで価格下落が減速。
2011	需要 < 供給	↘	需要増加の予想により一時的に価格がやや上昇したものの、予想より需要は少なく供給過剰となり、スポット価格が下落。スポット価格との価格差が広がる長期売買契約については価格の見直しが行われるが、その間もスポット価格は継続的に下落。

出典：NEDO 作成資料



* Tier1: Hemlock(米), MEMC(米), Mitsubishi(日), OCI(韓), Osaka Titanium(日), REC(諾・米), Tokuyama(日), Wacher(独)

図 2-50 太陽電池用シリコン原料価格の推移

出典：POLYSILICON 2012-2016: Supply, Demand & Implications for the Global PV Industry, GTM Research. より NEDO 作成

4) 運転年数

運転年数も発電コスト低減への寄与が大きい要素の一つである。太陽光発電は、燃料不要のシステムであり、得られる発電量の収益が維持コストを上回る限り、運転年数の増加は発電コスト低減につながる。

しかし、太陽光発電システムも永久に運転が可能というわけではない。設置環境側の制約によって、まだ発電可能な状態であっても運転停止や、太陽光発電システムそのものの撤去が必要となるケースも考えられる。例えば、既設の戸建て住宅の屋根に設置した場合、住宅の建て替え時期が運転年数を制限する可能性がある。また、借地に地上設置型の太陽光発電を設置した場合は、借地の契約年限次第で太陽光発電システムを撤去しなければならない可能性がある。したがって、発電コストを検討する場合、使用環境ごとの稼働年数を考慮することが必要である。

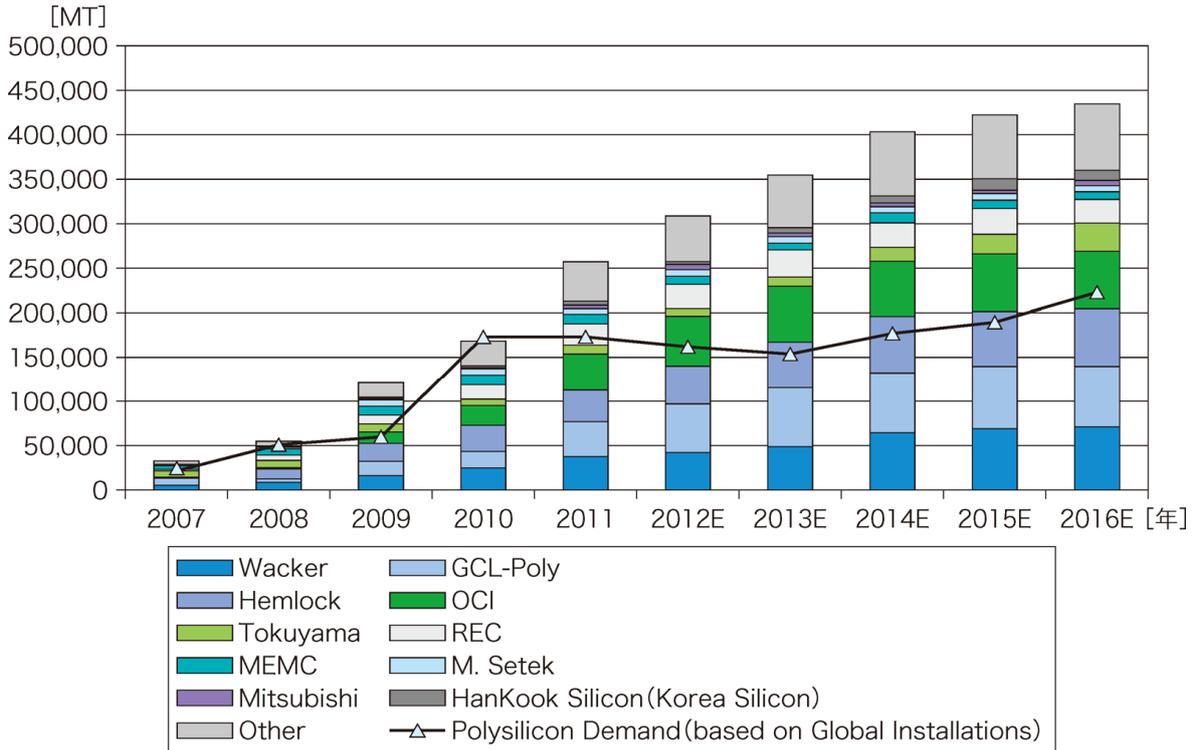


図 2-51 太陽電池用シリコン原料製造容量と需要

出典：PV TECHNOLOGY, PRODUCTION AND COST OUTLOOK: 2012-2016, GTM Research, 123p. より NEDO 作成

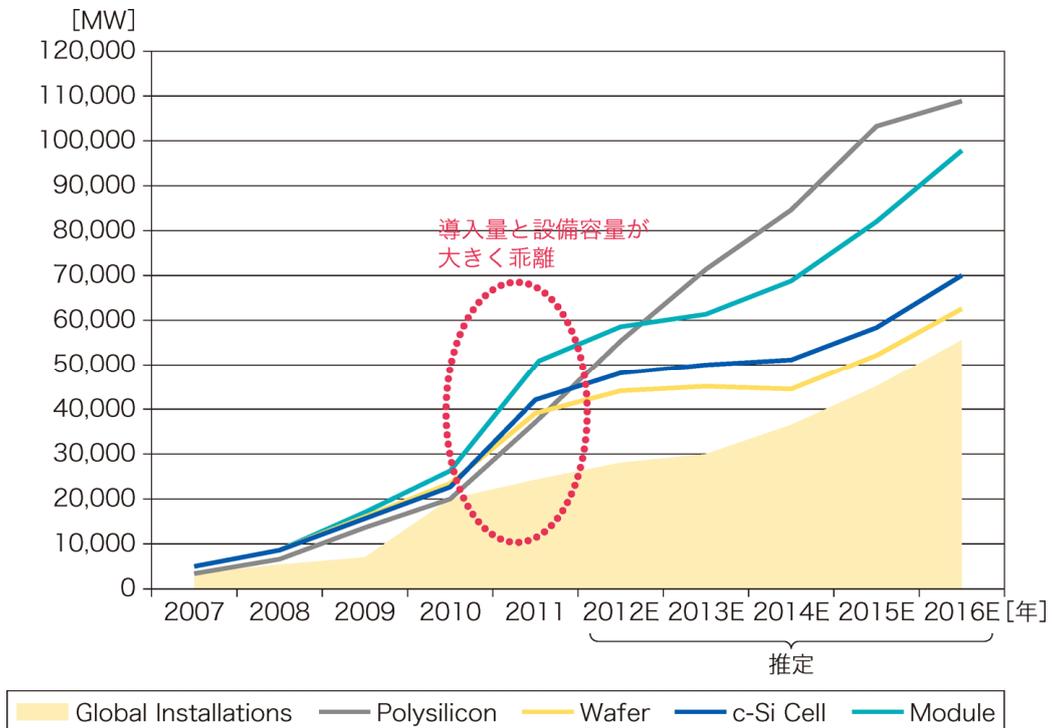


図 2-52 導入容量と工程別装置容量の比較

出典：PV TECHNOLOGY, PRODUCTION AND COST OUTLOOK: 2012-2016, GTM Research, 16p. より NEDO 作成

第2章 太陽光発電

また、太陽光発電システムの使用期間中は、当然のことながら、太陽光発電システムが順調に稼働することが必要である。そのためには、構成機器、設備の寿命、太陽電池モジュール自体の劣化などによる制約が生じないように、太陽電池モジュールや機器類の長寿命化技術の開発が重要である。こうした信頼性向上技術の開発によって、次項で述べる運転・維持経費の低減も可能となる。

5) 運転・維持経費（O&Mコスト）

初期コストに対して、維持、運転に係るコストを O&M（Operation & Maintenance）コストという。表 2-37 の発電コスト算定時に用いた入力パラメータでは、修繕費・諸費、人件費、一般管理費を O&M コストとして整理している。

日本における太陽光発電は、住宅用システムが代表的なシステム形態として導入が進められてきたが、住宅用システムの一つの利点として「メンテナンスフリー」が挙げられており、O&M コストはあまり考慮されていなかった。しかし、今日では大規模太陽光発電所の設置が進んでおり、住宅用システムとは異なる運用をしていく必要があり、O&M が無視できないコスト要因となる。

修繕費・諸費は、主として PCS の交換費用が見込まれており、その寿命を延ばすことができれば費用低減に寄与する。また、太陽光発電設備には可動部がほとんどない上、発電時の出力変動も大きいので、故障などによる発電量低下を発見しにくく、場合によっては気付かないうちに発電量の低下が進行するが、発電量確保のための点検や保守作業などを行えば、その分のコストが追加される。このように、多くの発電量を取得して発電コストを低減させるためには、さまざまなコスト要因を把握し、適正化を目指す必要がある。

(3) 発電コスト低減のシナリオと開発目標

発電コスト低減のための方策について述べてきたが、設置環境、使用方法によって目指すべき目標や方向性が異なるため、使用方法別（「非住宅（メガソーラー）」と「住宅システム」）に発電コスト低減のシナリオを示す。

1) 「非住宅用システム」の発電コスト低減シナリオ

「非住宅用システム」は、主として系統への電源供給（売電）を目的として設置される。現在は固定価格買取制度によって買取価格が優遇されているが、太陽光発電が系統に接続される「電源」として定着するためには、従来型電源と比べて遜色ない発電コストを目指すべきである。そこで、従来型電源、すなわち基幹電源並みの発電コストを目指すこととする（図 2-53）。

NEDO で取り組んでいる技術開発プロジェクトで、具体的なコスト評価が可能な「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」の開発目標「発電コスト 14 円/kWh（O&M 抜き）」は達成見込みだが、その後さらなる発電コストの低減が必要である。これを実現するためには、従来進めていた「セル・モジュールの低コスト化、高効率化」に加え、「周辺機器・部材の低コスト化、長寿命化」、「システム効率の向上」、「O&M 技術の高効率、低コスト化」などの技術開発が必要である。

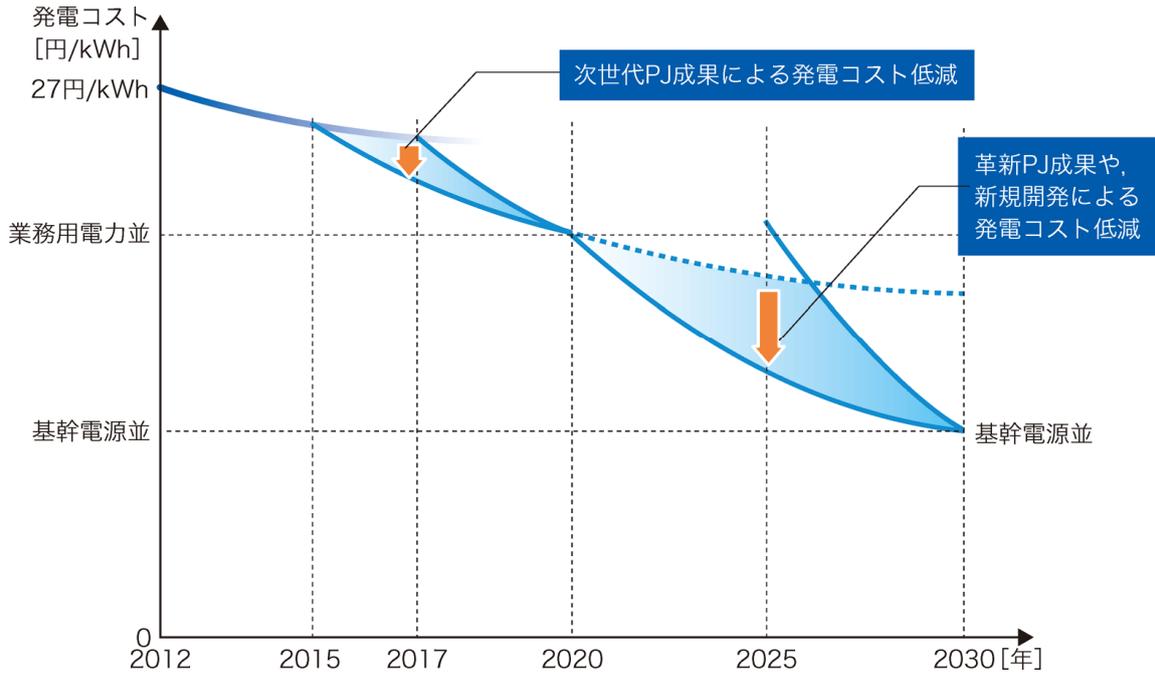


図 2-53 非住宅用システム（メガソーラー）の発電コスト低減シナリオ

出典：NEDO 作成資料

2) 住宅用システムの発電コスト低減シナリオ

「住宅用システム」では、家庭用電力並みの発電コスト実現を目前にしている。まだ BOS コストが高いなどの課題はあるものの、家庭用電力に対する「グリッドパリティ」は実現する見込みである。

しかし、これまで国内の住宅用システムの導入件数は 5%に満たない（戸建て住宅の世帯数、約 27 百万戸に対して、導入件数は約 1.2 百万戸）。

今後さらに「住宅用システム」の大量導入を進めていくためには、発電コストを一層、低減して、買取価格の低減を進める他、系統への負荷低減、家庭使用における付加価値の創出が必要である。その一例として、太陽光発電単独で家庭用電力並みのグリッドパリティを達成後、出力の安定化や系統への負荷低減を目的として、蓄電機能と組み合わせた「高機能システム」を本格導入し、発電（利用）コストでグリッドパリティ達成を目指す（図 2-54）。

第2章 太陽光発電

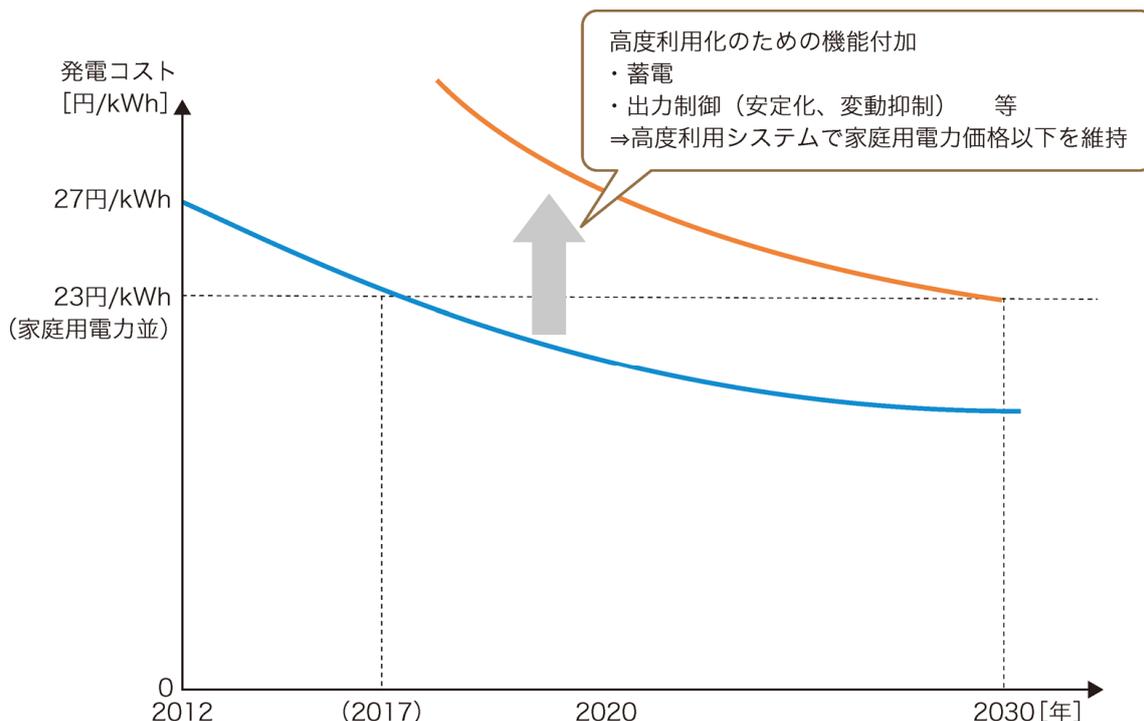


図 2-54 住宅用システムの発電コスト低減シナリオ

出典：NEDO 作成資料

2.5.2 信頼性の向上

過去数年間にわたる厳しい価格競争の結果、製造コストを引き下げるために、製品の品質低下を招いているのではないかと指摘がある。太陽光発電は長期間稼働させないと事業が成立しないので、その信頼性は普及の大きな鍵を握る。

従来、メンテナンスフリーといわれていた太陽光発電であるが、現実的には、維持・運転費用は無視できない。特に大規模発電システムの場合は事業性に影響するため、重要な問題である。こうした費用を抑制するためにも、信頼性向上は重要である。

本節では、出力低下を招く劣化現象の一つであり、近年、注目を集めている PID 現象を取り上げて、信頼性評価に関する技術開発の重要性について述べる。

(1) PID (Potential Induced Degradation) 現象

太陽光発電を普及拡大させるには、長期にわたって導入時に想定した発電量を得ることができ「信頼性」の確保が必要である。しかし、近年、大規模太陽光発電設備で PID (Potential Induced Degradation: 電圧誘起出力低下) 現象と呼ばれる急激な出力低下が発生し、問題となっている。PID 現象が発生すると収益に大きな影響を及ぼすため、発生を防ぐ技術の開発が求められている。

こうした信頼性に対する関心の高まりを受けて、さまざまな評価試験が行われている。

図 2-55 は、ドイツのフラウンホーファ研究所が、太陽電池メーカー 13 社の製品を対象に独自の PID 現象再現試験を実施した結果である。13 社のうち 4 社の製品は試験環境下で出力を保持することが確認されたが、他の製品は出力低下が見られる結果となった。また、図 2-56 は、電気安全環境研究所研究事業センター、佐賀県工業技術センターおよび産業技術総合研究所が行った試験結果である。ここでいうチャンバー法は、高温高湿試験槽で最大許容システム電圧を持続的

に掛け続ける試験法、水張り法は水をモジュール受光面に張り、樹脂フィルムで水の蒸発を押さえた状態で最大許容システム電圧を持続的に掛け続ける試験法を指す。試験の結果、出力低下が生じた太陽電池モジュールがあったが、試験法の違いによって、それぞれ結果も異なっている。

このように、PID 現象を再現するためのさまざまな取り組みがなされているが、自然環境下で長期間使用される太陽電池モジュールの劣化現象にはさまざまなものがあり、それらすべてを再現できる適切な試験方法は確立されていない。

(2) 技術開発の方向性

太陽光発電事業は、長期間にわたって一定の発電量を確保することが求められる。想定した発電量が得られなければ、事業そのものが成り立たない。出力低下を回避する技術はもちろん、将来の発電量を推定できる技術の確立と、その標準化が求められている。

NEDO では、太陽光発電システム次世代高性能技術の開発において、評価技術の開発に取り組んできたが、今後、こうした取り組みの加速と、標準化に向けた取り組みの強化が必要である。

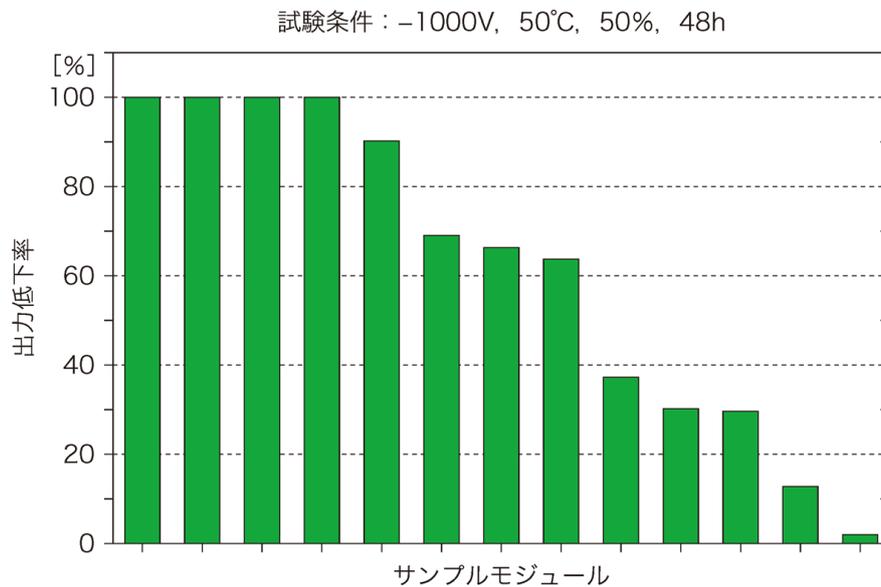
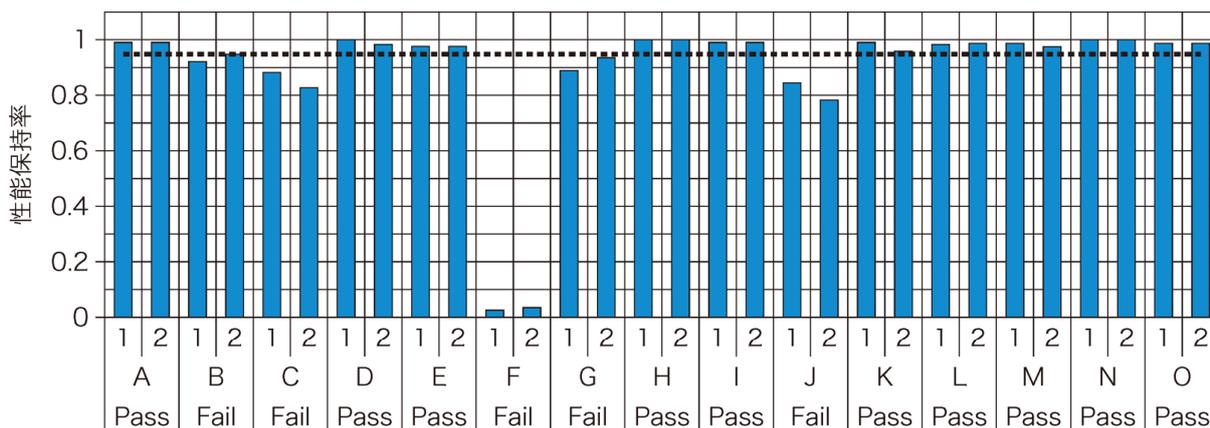


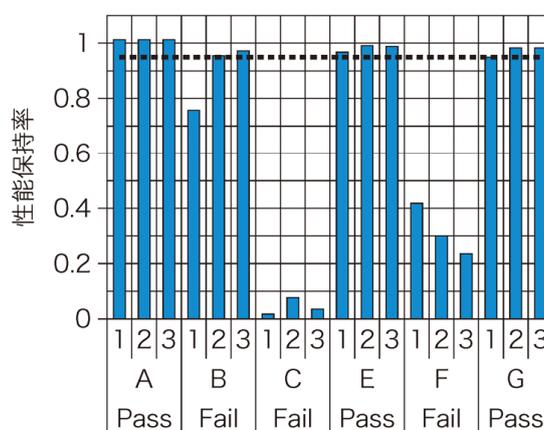
図 2-55 PID 現象再現試験の実施例 (1)

出典：Fraunhofer, 2012/6/11 プレスリリース, <http://www.en.csp.fraunhofer.de/aktuelles/details/id/51/>
より NEDO 作成

第2章 太陽光発電



(a) チャンバー法による試験後出力



(b) 水張り法による試験後出力

図 2-56 PID 現象再現試験の実施例 (2)

出典：増田幸治 他，市販太陽電池モジュールによる Potential Induced Degradation 試験の系統比較，太陽エネルギー，Vol.39, No.1 (2013)，pp.100-100より NEDO 作成

2.5.3 立地制約の解消

1) 顕在化しつつある立地制約

これまで住宅用システムが中心であった我が国においても，大規模太陽光発電所の設置が進んでいる。しかし，導入が進むにつれて，賃借料を必要としない所有地への設置から，借地の活用事例が増加することから，土地造成費用や系統連系費用などの初期コストがあまり掛からない適地の土地賃借料の上昇が指摘されている。また，初期コストがあまり掛からない適地が少なくなれば，土地造成費用や系統連系費用などの初期コストが掛かる土地に設置せざるを得なくなる。土地造成費用や系統連系費用などの初期コストの上昇は，今後の導入拡大を減速させる可能性がある。

資源エネルギー庁「平成25年度調達価格検討用基礎資料（2013.1.21）」から抜粋。

土地賃借料について

「太陽光発電協会や発電事業者から聴取したところによれば、現在建設中又は計画中の案件では、土地賃借料が150円/m²を上回るものも多く、土地賃借料が上昇しているとの報告を受けている。」

土地造成費について

「土地造成費が掛かっている限られたサンプルでは、今年度の調達価格決定の際に想定したコストよりも、実際には相当高い土地造成費が必要になっている。」

さらに、系統への接続容量の限界も顕在化し始めた。太陽光発電のような天候による出力変動のある電源が大量に接続された場合、安定した電力供給に支障を来す可能性がある。欧州では、そのような例がすでに発生し問題化している。

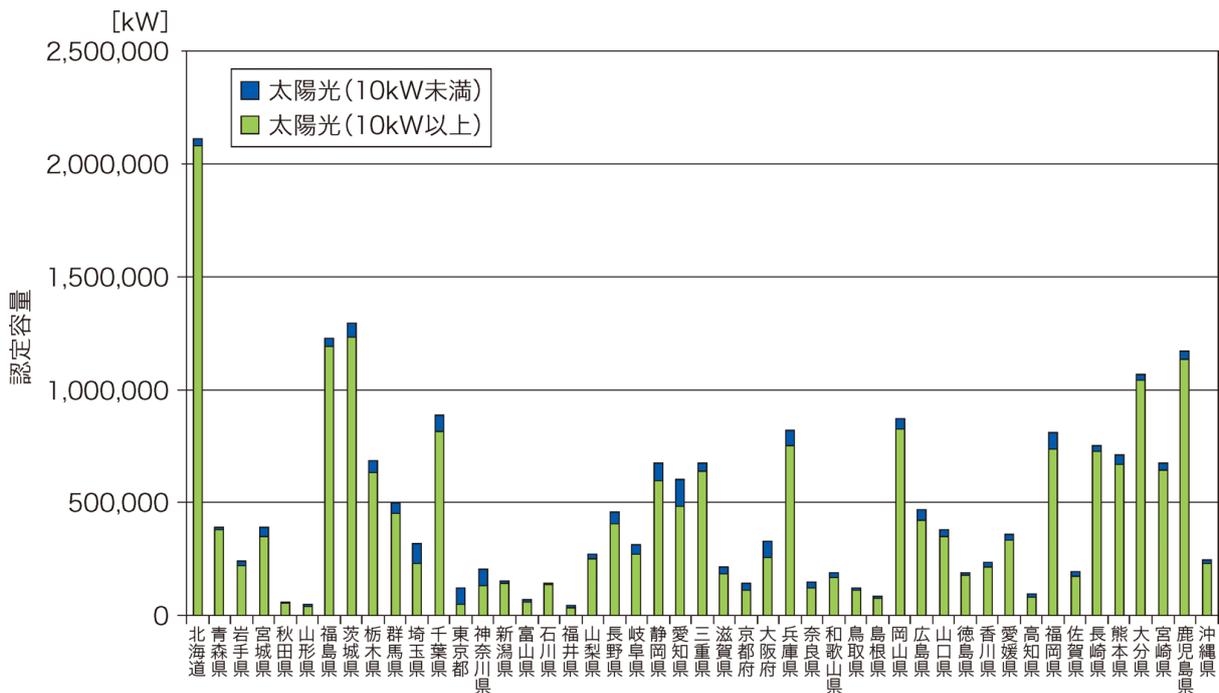
我が国においても、北海道における大規模太陽光発電の接続については限界に近付きつつあるとされる。図2-57に都道府県別の導入予定量（固定価格買取制度、認定設備容量）を示す。特定地域に導入が偏っている様子が分かる。

こうした状況を踏まえ、資源エネルギー庁および北海道電力では、①接続可能量拡大のための特定地域に限った接続条件の改正、②大型蓄電池の変電所への導入による再エネ受け入れ枠の拡大、③電力システム改革に則った広域系統運用の拡大、の対応策を採ることとした（平成25年4月17日資源エネルギー庁ニュースリリース）。

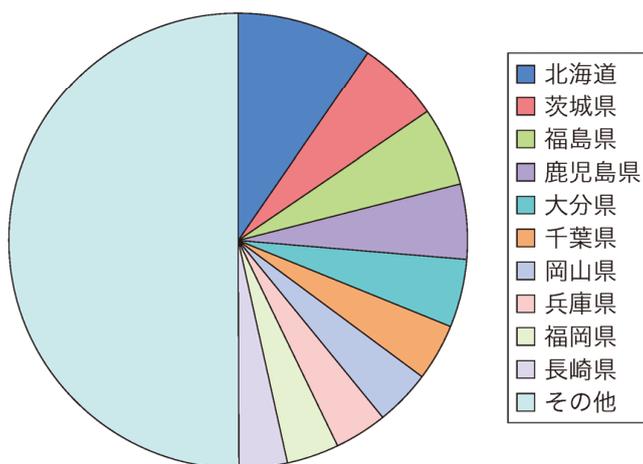
また、配電用変電所において、当該変電所から供給している電気の量を、当該変電所に流れてくる電気の量が上回る事態（バンク逆潮流）が発生し得るケースも増えており、これを回避するための対策に要する費用負担が求められる可能性も出てきた（2013年5月31日 経済産業省「電気設備の技術基準の解釈の一部改正（バンク逆潮流制限に係わる規定）について」）。

このように、太陽光発電設備も、どこでも設置、系統接続できるわけではなく、安価に系統接続できるような適地は少なくなりつつある状況である。

第2章 太陽光発電



(a) 太陽光発電設備導入状況(都道府県別認定設備容量)



(b) 太陽光発電設備導入状況(都道府県別認定設備容量割合)

図 2-57 固定価格買取制度による都道府県別の設備認定実績 (2013 年 7 月末時点)

出典：資源エネルギー庁，2013/11/18 プレスリリース，
http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/dl/setsubi/201302setsubi.pdf
 より NEDO 作成

(2) 技術開発の方向性

こうした課題を解決して導入拡大を着実に進めていくためには、従来、規制や設置コストなどの理由によって導入が進まなかった分野への設置を進めることが必要である。設置可能場所が広がれば、設置場所獲得競争は緩和され、賃借料などの導入コストの低減効果が期待できる。また、新たな設置方法が開発され、需要地に隣接した環境での太陽光発電が可能になれば、系統接続を回避し、系統側への負担を軽減できる可能性も期待できる。こうした効果を狙い、NEDO では、太陽光発電の導入が進まない未利用領域分野への太陽光発電導入拡大を目的とした「太陽光発電

多用途化実証プロジェクト(2013～2015年)を実施するなどの技術開発を強化していく(図2-41)。また、これらの取り組みを通じ、低コスト設置技術や高付加価値機能の開発による、太陽光発電の差別化技術を創出する。

2.5.4 リサイクルシステムの構築

これまで、大量導入に向けた課題とその対応策について述べてきた。一方で、大量導入が実現した後に生じる問題もある。太陽光発電も永久に使用できるわけではなく、大量導入された後の大量廃棄に備える必要がある。すでに「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」の国会審議において、次の附帯決議がなされている。

参議院経済産業委員会「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法案に対する附帯決議(2011.8.25)」より抜粋。

政府は、本法施行に当たり、次の諸点について適切な措置を講ずべきである。

(略)

五 再生可能エネルギー発電設備については、これらの耐用年数経過後において大量の廃棄物の発生を防ぐ観点から、設備のリサイクルシステム構築等、早急に必要な措置を講ずること。

(略)

NEDOでは、太陽光発電システム次世代高性能技術の開発プロジェクトにおいて、さまざまな太陽電池モジュールの処理に対応した汎用リサイクル技術の開発を進めているが、リサイクルシステム構築を実現するためには、現場での解体・回収を含めた総合的なリサイクル技術の開発が必要である。

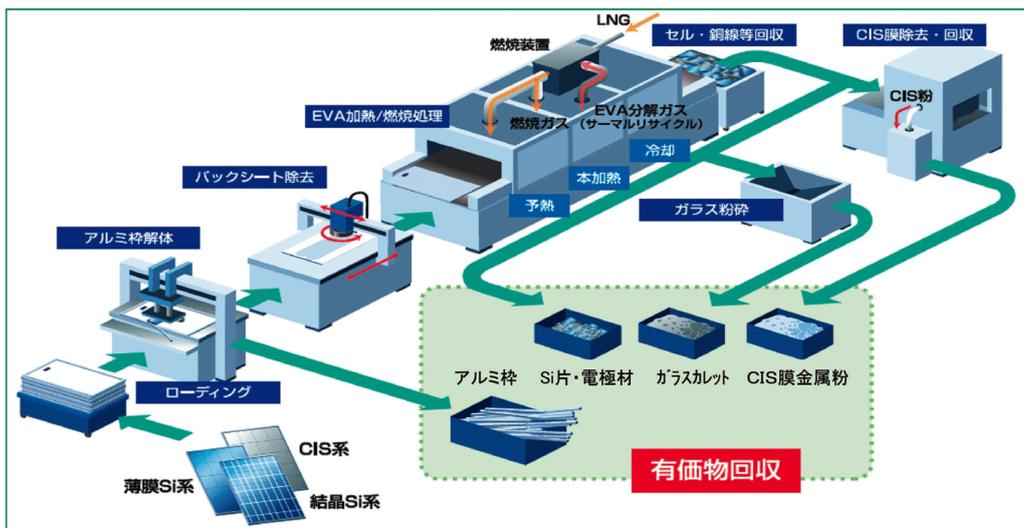


図2-58 NEDOプロジェクトで開発中のリサイクル一貫処理フロー

出典：NEDO 作成資料

第2章 太陽光発電

2.5.5 新たな付加価値の創造 〈我が国の太陽光発電産業の競争力強化〉

(1) 川下展開の動き

固定価格買取制度の開始を受け、太陽光発電市場に新規参入する事業者が増えている。異分野からの参入も多い。

これまで太陽光発電を支えてきたセル・モジュールメーカーも、発電事業への展開を急いでいる。これには、太陽電池モジュールの低価格化の進展が影響している。表 2-39 に、太陽光発電分野の市場規模の推移を示す。加減速はあるものの市場成長を続けていると評価できるが、生産量・出荷量の伸びに比べ、生産額・出荷額の伸びが小さい。これは「セル・モジュールを作って売る」市場に依存している、市場の成長にいずれ限界がくることを示唆している。

表 2-39 太陽光発電分野の市場規模

	2010年度 実績		2011年度 実績		2012年度 見込		2013年度 予測
	額/量	成長率	額/量	成長率	額/量	成長率	
国内生産額 (百万円) ^{※1}	914,298	41.1%	964,718	5.5%	1,398,538	45.0%	増加
全出荷額 (百万円) ^{※1}	1,014,754	39.1%	1,011,048	▲0.4%	1,539,835	52.3%	増加
国内生産量 (MW) ^{※2}	895	62.0%	1,102	23.1%	2,281	107.1%	
全出荷量 (MW) ^{※2}	2,539	52.2%	2,686	5.8%	4,371	62.8%	

出典：2012年度光産業国内生産額、全出荷額調査結果について、光産業技術振興会、2013/3/15,4-9p.

および、太陽光発電協会統計資料 (<http://www.jppea.gr.jp/document/figure/index.html>) より NEDO 作成

(2) 川下展開（発電事業へ）

これまで、日本の太陽光発電市場は、住宅屋根置き型の太陽光発電システムを中心に発展してきた。2012年に開始した固定価格買取制度によって、当初から大規模な発電設備の設置が進むことは予想されていたが、当初の想定を超え、住宅屋根置き型以上「メガ」サイズ未満の中規模太陽光発電所（10～1,000kW未満）の設置申請が急増した。

こうした新たなボリュームゾーンの誕生によって、工場・マンション・アパート・遊休地などのオーナーを対象とした販売・施工ビジネス、O&M ビジネス、保険商品などの新たなビジネスを生みつつある。また、一部の地域では住民が資金を出し合い、共同で太陽光発電所を建設し、売電収入を得るといった事例も増えつつある。

固定価格買取制度導入前の市場の主な担い手は大手のセル・モジュールメーカーやハウスメーカーであったが、固定価格買取制度導入後は業種を超えた参入、地場企業の参入が相次ぎ、産業全体の裾野が大きく広がりつつある。

海外においても状況は同様で、太陽光発電の川下産業における雇用が今後、とりわけ増加することが試算されている（表 2-40）。

表 2-40 太陽光発電産業における雇用創出効果（世界）

Value chain position	2008 MW	2008 jobs per MW	2008 jobs total	2025 MW	2025 jobs per MW	2025 jobs total
Operation	14,700	0.6	8,820	340,323	0.6	204,194
PV project construction	3,480	5	17,400	19,500	2.9	70,570
Rooftop installation	2,320	20	46,400	19,500	8.8	171,649
Silicon & wafers	5,800	3.5	20,300	39,000	1.3	50,720
Cell manufacture	5,800	5	29,000	39,000	1.9	72,457
Module manufacture	5,800	6	34,800	39,000	2.2	86,948
Inverters	5,800	1.3	7,540	39,000	0.8	31,143
Research	5,800	0.4	2,320	39,000	0.15	9,582
Development & services	5,800	0.2	2,320	39,000	0.4	15,600
total			168,900			672,139

出典：New Energy Finance Insight Service Research Note “Net Job Creation to 2025”, (2009/6/7 Bloomberg) .
より NEDO 作成

(3) 技術開発の方向性（太陽光発電を使いこなす）

太陽光発電産業・市場の動向を踏まえ、太陽光発電分野における新たな事業・産業創出を加速するためには、これまでと異なるアプローチが必要となってくる。すなわち、太陽光発電のための技術開発ではなく、太陽光発電を使うための技術開発である。発電コストとは異なる新たな高付加価値モジュールの開発や、新たな「使い方」の創造によって、価格競争からの脱却を目指す。

こうした取り組みの第一歩として、NEDO では、**図 2-40** に示す「有機系太陽電池実用化先導技術開発」を 2012 年度から開始している。このプロジェクトは、さまざまな付加価値創造が期待できる有機系太陽電池の実用化促進を主眼とした事業であり、さまざまな応用例が提案されている。今後は、太陽電池のタイプを問わず、新たな付加価値創造につながる技術の開発を進めていく考えである。

第2章 参考文献

- (1) ソーラー住宅の普及促進に係る課題検討委員会編, 住宅用太陽光発電システム設計・施行ガイドライン補足, (2011, 経済産業省)
- (2) HIT245 α シリーズのモジュール変換効率, (パナソニックホームページ), <http://panasonic.co.jp/corp/news/official.data/data.dir/2013/06/jn130605-1/jn130605-1.html>
- (3) カネカ プレスリリース, (2010/6, カネカ), <http://www.kaneka.co.jp/news/n100607.html>
- (4) ソーラーフロンティア プレスリリース, (2013/1, ソーラーフロンティア), <http://www.solar-frontier.com/jpn/news/2013/C014760.html>
- (5) シャープ プレスリリース, (2013/4, シャープ), <http://www.sharp.co.jp/corporate/news/130424-a.html>
- (6) シャープ プレスリリース, (2013/6, シャープ), <http://www.sharp.co.jp/corporate/news/130614-a.html>
- (7) Best Research Cell Efficiencies, (NREL), <http://www.nrel.gov/ncpv/>
- (8) Heliatek プレスリリース, (2013/1, Heliatek), http://www.heliatek.com/newscenter/latest_news/neuer-weltrekord-fur-organische-solarzellen-heliatek-behauptet-sich-mit-12-zelleffizienz-als-technologiefuhrer/?lang=en
- (9) Solar cell efficiency tables (version 42), Wiley Online Library, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pip.2404/abstract>
- (10) 調達価格等算定委員会資料, (資源エネルギー庁), http://www.meti.go.jp/committee/gizi_0000015.html
- (11) World Energy Outlook 2011 (2011, IEA)
- (12) TRENDS IN PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2008, (2009, IEA PVPS)
- (13) TRENDS 2013 IN PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS Survey Report of Selected IEA Countries between 1992 and 2012, (2013, IEA PVPS)
- (14) エネルギー白書 2013, (2013, 資源エネルギー庁), <http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2013/index.htm>
- (15) Solar Energy Perspectives, (2011, IEA)
- (16) Solar Photovoltaics competing in the energy sector, (2011, EPIA)
- (17) SunShot Vision Study, (2012, DOE)
- (18) SoDa ホームページ, http://www.soda-is.com/img/map_ed_13_world.pdf
- (19) 過去 10 年間の kW 当たりの平均発電量, (2005, 新エネルギー財団), <http://www.solar.nef.or.jp/josei/h18-07.pdf>
- (20) 太陽光発電における新市場拡大等に関する検討, (2013, NEDO)
- (21) 平成 22 年度新エネルギー等導入促進基礎調査事業 (太陽光発電および太陽熱利用の導入可能性に関する調査), (2011, 資源エネルギー庁)
- (22) 待機時消費電力調査報告書, (2005, 資源エネルギー庁)
- (23) 平成 22 年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査, (2011, 環境省)
- (24) 再生可能エネルギー導入を促進するための農山漁村のポテンシャルの活用, (2011, 農林水産省), 第 1 回エネルギー・環境会議, 資料 6
- (25) 低炭素社会づくり行動計画, (2008/7/29, 環境省)
- (26) 長期エネルギー需給見通し, (2009, 経済産業省), <http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g90902a01j.pdf>
- (27) DIRECTIVE 2009/28/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 April 2009, (5.6.2009, Official Journal of the European Union), <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=Oj:L:2009:140:0016:0062:en:PDF>
- (28) Renewable Energy Technology Roadmap 20% by 2020, (2008, EREC), http://www.erec.org/fileadmin/erec_docs/Documents/Publications/Renewable_Energy_Technology_Roadmap.pdf
- (29) SET-Plan Technology Roadmap, (2009, EC), http://ec.europa.eu/energy/technology/set_plan/set_plan_en.htm
- (30) Renewable Energy Technology Roadmap 20% by 2020, (2008, EREC), http://www.erec.org/fileadmin/erec_docs/Documents/Publications/Renewable_Energy_Technology_Roadmap.pdf
- (31) DSIRE ホームページ, New Energy for America, (2009, Barack Obama and Joe Biden), http://energy.gov/sites/prod/files/edg/media/Obama_New_Energy_0804.pdf
- (32) 韓国「低炭素グリーン成長基本法」— 経済と環境が調和した発展に向けて (外国の立法 243), (2010/3, 国立国会図書館調査および立法考査局)
- (33) PV IN AUSTRALIA 2011, (2012, ASI)
- (34) IEA PVPS Australia National Survey Report 2011, (2011, IEA PVPS)
- (35) DSIRE ホームページ, <http://www.dsireusa.org/summarymaps/index.cfm?ee=0&RE=0>

- (36) 海外電力 2008 年 10 月号, (2008, 海外電力調査会)
- (37) 海外電力 2010 年 3 月号, (2010, 海外電力調査会)
- (38) 中国城市低炭経済ネット, (2012/9/13), http://www.cusdn.org.cn/news_detail.php?id=21499
- (39) National Survey Report of PV Power Applications in Korea 2011, (2012, IEA-PVPS)
- (40) Jawaharlal Nehru National Solar Mission Towards Building SOLAR INDIA, (NNRE), http://www.mnre.gov.in/file-manager/UserFiles/mission_document_JNNSM.pdf
- (41) MEED Insight (MEED)
- (42) Waste Management Conference 2011, (2011, Renewable Energy Development in Malaysia, Government of Malaysia)
- (43) Global Market Outlook for Photovoltaics until 2016, (2012/5, EPIA)
- (44) Global Market Outlook for Photovoltaics 2013-2017, (2013/5, EPIA)
- (45) Trends in photovoltaic applications. Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2010, (2011, IEA PVPS)
- (46) Trends in photovoltaic applications. Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2012, (2013, IEA PVPS)
- (47) 資源エネルギー庁ホームページ, <http://www.enecho.meti.go.jp/saiene/kaitori/kakaku.html>
- (48) Global Market Outlook for Photovoltaics Until 2015, (2011, EPIA)
- (49) Annual Energy Outlook 2011, (2011, EPIA)
- (50) JPEA PV OUTLOOK 2030, (2012, JPEA)
- (51) PV News Volume 29, Number 5, (2010/5, GTM Research)
- (52) PV News Volume 30, Number 5, (2011/5, GTM Research)
- (53) CREST ホームページ, (<http://www.jst.go.jp/kisoken/crest/>)
- (54) ALCA ホームページ, (<http://www.jst.go.jp/alca/outline.html>)
- (55) RTD info, Inside the Seventh Framework Programme, (2007, EC), http://ec.europa.eu/research/rtdinfo/pdf/rtdspecial_fp7_en.pdf
- (56) EC ホームページ, (http://cordis.europa.eu/fp7/projects_en.html)
- (57) European Photovoltaic Technology Platform, A Strategic Research Agenda for Photovoltaic Solar Energy Technology Edition 2, (2011/9, EC)
- (58) Solar America Initiative, (DOE), http://www1.eere.energy.gov/solar/solar_america/index.html
- (59) EERE ホームページ, http://www1.eere.energy.gov/office_eere/index.html
- (60) 第12次5ヵ年計画・太陽光発電産業発展計画, (2011/2, 中国国家発展改革委員会)
- (61) BDEW プレスリリース, (2013/5/23, ドイツ連邦エネルギー・水道事業合会), [http://www.bdew.de/internet.nsf/id/05B6EBC2BF77350DC1257AD700582730/\\$file/130527_BDEW_Strompreisanalyse_Mai%202013_presse.pdf](http://www.bdew.de/internet.nsf/id/05B6EBC2BF77350DC1257AD700582730/$file/130527_BDEW_Strompreisanalyse_Mai%202013_presse.pdf)
- (62) PV TECHNOLOGY, PRODUCTION AND COST OUTLOOK: 2012-2016, (2012/6, GTM Research)
- (63) Fraunhofer プレスリリース, (2012/6/11, Fraunhofer), <http://www.en.csp.fraunhofer.de/aktuelles/details/id/51/>
- (64) 増田幸治 他, 市販太陽電池モジュールによる Potential Induced Degradation 試験の系統比較, 太陽エネルギー, Vol.39, No.1 (2013), pp.100-100.
- (65) 資源エネルギー庁プレスリリース, (2013/11/18, 資源エネルギー庁), <http://www.enecho.meti.go.jp/saiene/kaitori/dl/setsubi/201302setsubi.pdf>
- (66) 2012 年度光産業国内生産額, 全出荷額調査結果について, (2013/3/15, 光産業技術振興会)
- (67) 太陽光発電協会統計資料, <http://www.jpea.gr.jp/document/figure/index.html>
- (68) New Energy Finance Insight Service Research Note “Net Job Creation to 2025”, (2009/6/7, Bloomberg)