



太陽光発電開発戦略

(NEDO PV Challenges)

2014年9月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

はじめに

我が国における太陽光発電に関する本格的な技術開発は、1973年のオイルショック後、通商産業省（現在の経済産業省）が石油代替エネルギーの技術開発に取り組んだ「新エネルギー技術研究開発計画」、通称「サンシャイン計画」から始まった。1974年の同計画開始から、今年で40年を迎えることとなる。

NEDOは、1980年の設立時からサンシャイン計画の推進を担う機関として太陽光発電技術の開発に取り組んできた。それまでサンシャイン計画で取り組まれていたシリコン原料の開発や、結晶シリコン系及び化合物系太陽電池の開発を引き継ぎ、低コストシリコン原料の開発や角形キャストウエハ作製技術等のシリコン基板作製技術等、実用化を支えるための技術開発も推進した。1986年には六甲アイランドで太陽電池の電力系統との連系実証実験を行う等、少しずつ技術開発の成果を社会に導入するための準備を進めてきた。系統連系実証等の成果をもとに、1992年には太陽光発電の系統連系が認められ、現在では一般的となった戸建て住宅の屋根に太陽電池を設置する住宅用太陽光発電システムの導入が始まった。

サンシャイン計画は1993年に「ニューサンシャイン計画」へと改編されたが、太陽光発電の技術開発は継続された。太陽電池は、電卓等の民生用製品や独立電源として一部実用化していたものの、電力用途として一般に普及するためには、さらに太陽電池の低価格化を進める必要があった。そこで、太陽電池の低コスト化を目指した技術開発（シリコン原料の製造工程での使用低減、省シリコンで製造可能な薄膜シリコン型、脱シリコンを目指したCIS型、GaAs型等の新たな化合物太陽電池の開発等）もNEDOプロジェクトとして開始した。

ニューサンシャイン計画は2000年で終了したが、それまでの成果が結実し、2000年代前半には、太陽電池の国内出荷額は1,000億円を超えた。また2003年には生産量、導入量とも世界の約45%を占める世界最大の太陽電池最先進国となる等、NEDOの技術開発は、太陽光発電の「初期マーケット形成」に大きな貢献をしたと言える。

2004年には、太陽光発電の更なる普及と太陽光発電産業の持続的成長を実現するための技術開発指針として、NEDOは太陽光発電ロードマップ「PV2030」を策定した。その後、ドイツをはじめとしたフィードインタリフ（Feed-in-Tariff）制度の導入等による先進国市場の拡大、太陽電池生産での新興国の躍進、太陽光発電市場の中心が欧州に移行する等の変化を考慮して、2009年にPV2030を「PV2030+」へと改定している。

その後も、太陽電池モジュール価格の大幅下落や、価格競争力を有する中国等の新興国の太陽電池メーカーのシェア拡大等、太陽光発電市場の状況は大きくかつ急速に変化した。国内の導入量も、技術開発の進展や生産規模拡大による太陽光発電システムの価格低下、導入補助金の効果により、国内の住宅用システム設置が累計100万件を突破する（太陽光発電協会プレスリリース 2012年5月17日）等、着実に進展してきたが、2012年7月の固定価格買取制度が開始によって、太陽光発電の導入はさらに加速（制度前の2012年6月末国内導入量は5.6GWであったが、2013年度末には14.3GWまで拡大（資源エネルギー庁HP））した。

平成26年4月に閣議決定されたエネルギー基本計画では、再生可能エネルギーは「現時点では、安定供給面、コスト面で様々な課題が存在するが、温室効果ガスを排出せず、国内で生産できること

から、エネルギー安全保障にも寄与できる有望かつ多様で重要な低炭素の国産エネルギー源」と位置付けられており、中でも太陽光（発電）は、「個人も含めた需要家に近接したところで中小規模の発電を行うことも可能で、系統負担も抑えられる上に、非常用電源としても利用可能である」として期待されている。

我が国のエネルギー安定供給の確保や、低炭素社会実現の観点から、再生可能エネルギーの導入拡大を進めることは非常に重要である。その一翼を担う太陽光発電に関しては、その特性を十分に理解し、また、その特長を活かした導入形態を模索していくことで、太陽光発電システムの適正な導入を実現し、エネルギー供給量を着実に拡大していく事が求められる。そのためには、引き続き発電コストの低減を進めると同時に、電源としての信頼性向上電力系統への負荷軽減、新たな導入形態及び用途の拡大等、様々な開発課題の解決を進め、同時に、太陽光発電産業の発展につなげることが必要である。

本報告書では、こうした太陽光発電を取り巻く状況の急速な変化をふまえ、今後大量導入社会を着実に実現するための課題を整理した。さらに、それらを解決するための方策について検討を進め、新たな「太陽光発電開発戦略」としてとりまとめた。

本報告書は、概論、本論、参考資料で構成し、本論を以下の7章で構成している。

1. 太陽光発電戦略の目的
2. 太陽光発電をめぐる環境の変化
3. これまでの NEDO の技術開発の成果とその評価
4. 太陽光発電大量導入社会における課題
5. 太陽光発電の目指すべき姿
6. 太陽光発電開発戦略
7. 今後の技術開発の方向性

目次

I. 概要	1
II. 本論	5
1. 太陽光発電戦略の目的	6
2. 太陽光発電をめぐる環境の変化	7
2. 1 太陽光発電の導入状況（世界）	7
2. 2 太陽光発電の導入状況（国内）	9
2. 3 太陽光発電の産業動向（生産）	10
2. 4 太陽光発電の価格動向	13
2. 5 太陽光発電における産業構造の変化	16
2. 6 太陽光発電の発電コスト	23
2. 7 技術開発動向	26
3. これまでの NEDO の技術開発の成果とその評価	32
3. 1 過去の NEDO の技術開発	32
3. 2 最近の主な成果	33
3. 3 評価と課題	36
4. 太陽光発電大量導入社会における課題	37
4. 1 【課題1】国民負担の増大	39
4. 2 【課題2】長期・安定な発電能力維持の必要性	39
4. 3 【課題3】立地制約の顕在化	42
4. 4 【課題4】廃棄物大量発生への対応	45
4. 5 【課題5】グローバル競争の激化	45
5. 太陽光発電の目指すべき姿	47
6. 太陽光発電開発戦略	49
6. 1 発電コスト低減に必要な取り組み	49
6. 2 信頼性の向上	59
6. 3 立地制約の解消	60
6. 4 リサイクルシステムの確立	61
6. 5 産業の高付加価値化	62
7. 今後の技術開発の方向性	66
7. 1 高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発	67
7. 2 太陽光発電システム効率向上・維持管理技術開発プロジェクト	67
7. 3 太陽光発電多用途化実証プロジェクト	68
7. 4 太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト	70
7. 5 太陽光発電多用途化実証プロジェクト（高付加価値化）	71
III. 参考資料	73
作成体制	90

I . 概要

NEDO は、太陽光発電の早期普及を目指す技術開発戦略として太陽光発電ロードマップ (PV2030,PV2030+) を策定し、これにもとづいた技術開発を行ってきた。

しかし、2009 年の PV2030+ 策定以後、太陽電池モジュール価格の大幅下落、価格競争力を有する中国等新興国企業のシェア拡大等、太陽光発電をとりまく状況は大きく変化した。また、国内においては、固定価格買取制度の開始によって太陽光発電の導入は加速し、我が国は太陽光発電の大量導入社会の実現に着実に近づきつつある。

NEDO は、こうした太陽光発電を取り巻く状況の変化を踏まえ、今後実現する大量導入社会を支えるために必要となる課題を整理し、それらを解決するための技術的方策について検討を進め、新たな「太陽光発電開発戦略」としてとりまとめた。

本戦略の策定にあたっては、以下の点に留意した。

- (1) 太陽光発電の普及を進めるための戦略ではなく、太陽光発電普及後の社会を支える戦略として検討する。
- (2) 「発電コストの削減」だけでなく、太陽光発電の大量導入社会に必要な課題を包括的に検討する。
- (3) 我が国の太陽光発電産業の基盤強化の視点を盛り込む。

これらを踏まえ、今後の太陽光発電の発展に必要な課題として、5つの課題、すなわち「大量導入社会実現を支える4つの課題（発電コストの低減、信頼性向上、立地制約の解消、リサイクルシステムの確立）」と「産業競争力強化に必要な1つの課題（産業の高付加価値化）」を提示するとともに、それぞれの課題に対する対処方針を示した。

要点は以下のとおり。

【2020 年に業務用電力価格並の発電コスト達成】

大量導入社会での国民負担を軽減するため、業務用電力価格並の発電コスト 14 円/kWh 実現の見通しを得た。

⇒ ヘテロ接合技術やバックコンタクト技術を用いた結晶シリコン太陽電池の高効率化、大面積化、モジュール化、量産化技術の開発等により実現。

【2030 年に基幹電源並の発電コストへ】

究極の低発電コスト（従来火力発電並の発電コスト 7 円/kWh）を目指す。

⇒ 結晶シリコン太陽電池の性能向上・コスト低減追求、超高効率太陽電池の量産技術開発、真空や高温プロセスを要しない新たな太陽電池の実用化、システム効率向上、高信頼性モジュールの開発等により実現。

【新たな価値創造で世界をリード】

導入形態の多様化や新たな利用方法の開発によって、太陽光発電の裾野を拡大。2030 年の世界の太陽光発電市場を睨み、高付加価値産業（システム・サービス、新規用途）の開拓等、“世界で勝てる分野”を開発強化。

⇒ 着色、透明、フレキシブル等の意匠性、熱回収と発電のハイブリッド機能等の多機能化による太陽電池モジュールの付加価値や、独立電源利用時の配線コスト削減効果等の発電電力以外の経済価値創出、新たな低コスト設置技術の開発による導入先開拓や配電ビジネス等川下産業への展開等により実現。

発電コストの低減に向けて、太陽光発電設備の設置形態別（非住宅用システム、住宅用システム）の「発電コスト低減シナリオ」を以下に示す。

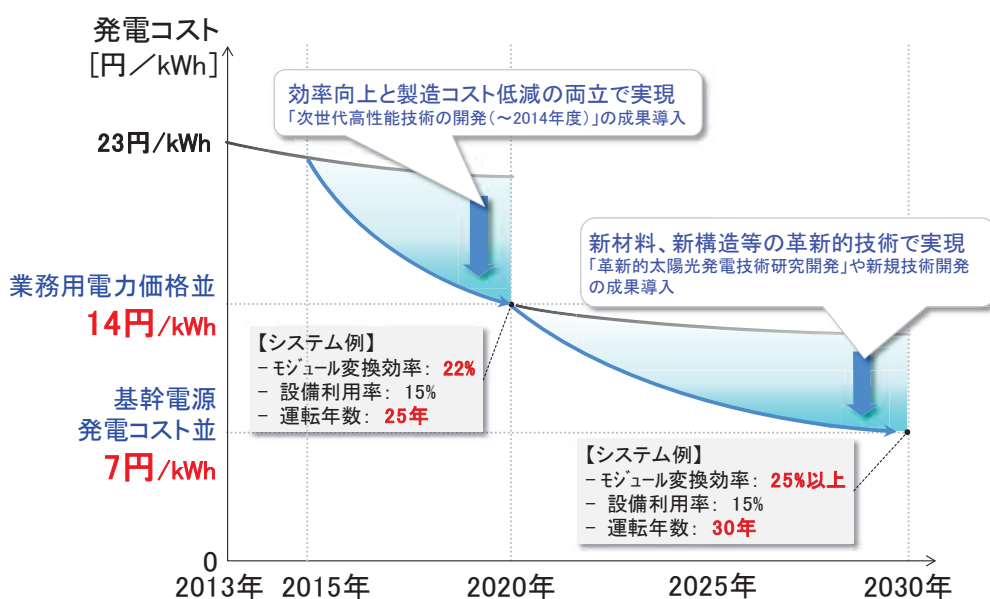


図 1-1 非住宅用システムの発電コスト目標と低減シナリオ

出典： NEDO 作成

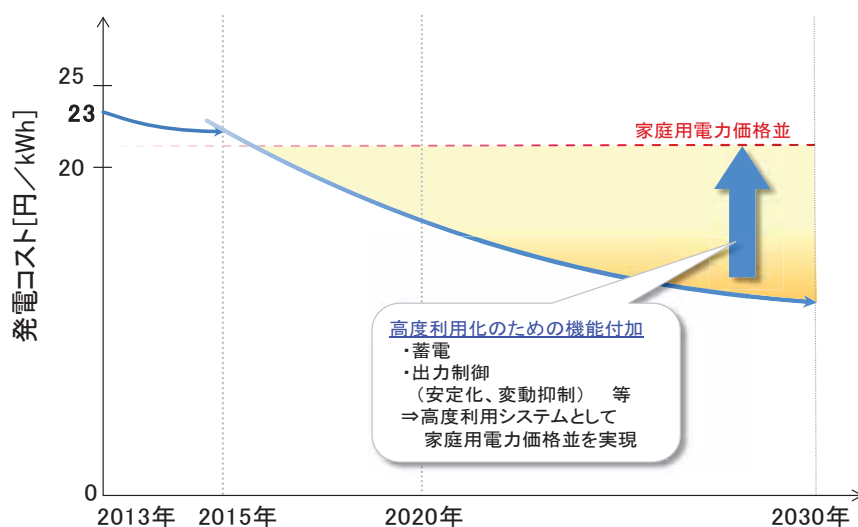


図 1-2 住宅用システムの発電コスト低減シナリオ

出典： NEDO 作成

Ⅱ. 本論

1. 太陽光発電戦略の目的

NEDOは、太陽光発電の早期普及を目指す技術開発指針として太陽光発電ロードマップ（PV2030, PV2030+）を策定し、これに基づき太陽光発電に関する技術開発を行ってきたが、2009年のPV2030+策定以後、太陽電池モジュール価格の大幅下落、価格競争力を有する中国等の新興国の企業のシェア拡大等、太陽光発電をとりまく状況は大きく変化した。また、国内では固定価格買取制度の開始によって太陽光発電の導入が急激に加速し、我が国は、太陽光発電の大量導入社会の実現間近の状況にある。

本報告書では、こうした太陽光発電を取り巻く状況の急速な変化をふまえ、大量導入社会を着実に実現し、それを支えていくために必要となる課題を新たに抽出するとともに、主として技術的方策を示すことを目的に、それらを解決する新たな「太陽光発電開発戦略」を策定した。

なお、本戦略の策定にあたっては、以下の点に留意した。

- （1）太陽光発電の普及を進めるための戦略ではなく、太陽光発電普及後の社会を支える戦略として検討する。
- （2）「発電コストの削減」だけでなく、太陽光発電の大量導入社会に必要な課題を包括的に検討する。
- （3）我が国の太陽光発電産業の基盤強化の視点を盛り込む。

これらを踏まえ、今後の太陽光発電の発展に必要な課題として、5つの課題、すなわち「大量導入社会実現を支える4つの課題」と「産業競争力強化に必要な1つの課題」を提示するとともに、それぞれの課題に対する対処方針を示した。

2. 太陽光発電をめぐる環境の変化

本章のポイント

- (1) 導入量は順調に増加。市場の中心は欧州から中国、日本を中心とするアジア及びアメリカへ。
- (2) 中国、台湾などの新興国メーカーが製造設備への投資を進めた結果、需要を上回る製造能力が存在。価格競争が激化。
- (3) セル・モジュールメーカーの多くが、発電事業への展開を強化。新たな事業モデルが求められている。

本章では、近年の太陽光発電に関連する環境の変化について、太陽光発電の導入状況、太陽光発電産業の動向、太陽光発電の価格低下の要因分析等の観点からまとめた。

2. 1 太陽光発電の導入状況（世界）

太陽光発電の導入量は順調に増加してきた。図 2-1 に世界の主要国における太陽光発電の年間導入量の推移を示す。2012 年には欧州市場の後退もあって、成長率は伸び悩んだが、2013 年は中国や日本における導入が拡大し、同年における世界の導入量は 39GW を突破したと見られている。また、表 2-1 に示すように多くの国が太陽光発電をはじめとした再生可能エネルギー導入に関する政策目標を掲げていることから、これらの国々での市場の成長が全世界的な導入量を引き続き伸ばしていくと見る報告は多い。

一方で、国別の導入量に着目すれば、導入量が急増、急減している国があることがわかる。これらの国は、固定価格買取制度によって導入量が急拡大し、買取価格の低下や制度見直しによる事業性低下によって導入量が減少した国である。すなわち、太陽光発電が未だ政策主導の市場となっていることを示している。

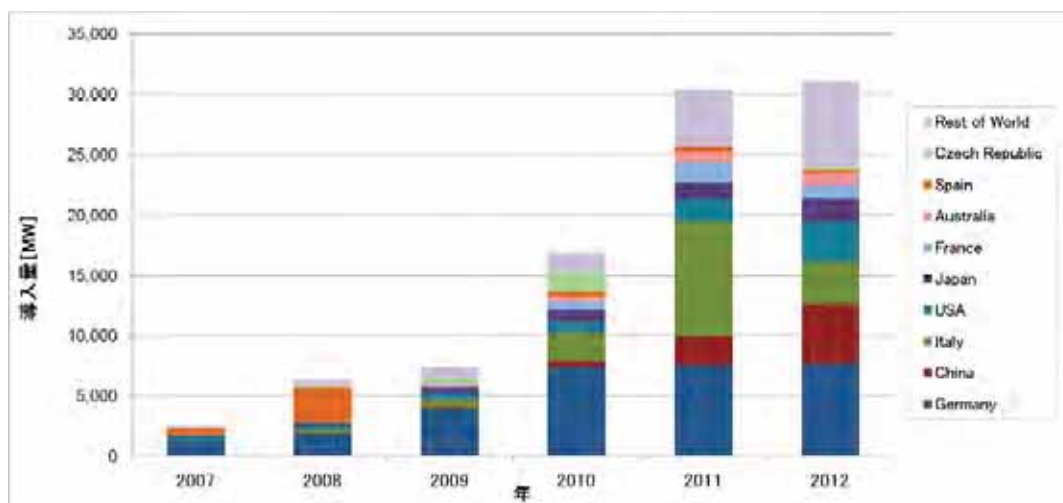


図 2-1 世界の太陽光発電の導入量推移

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）をもとに
NEDO 作成

表 2-1 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"> エネルギー基本計画（平成 26 年 4 月）で、「これまでのエネルギー基本計画で示した水準を更に上回る水準の導入を目指し」としている。 「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 20TWh、2020 年には 180TWh と試算。 欧州エネルギー技術戦略計画（SET-Plan）において、2020 年までに EU の電力消費量の 12%を太陽光発電でまかなう目標を設定。 NREAP による 2020 年の導入目標は 80GW。
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"> 第 12 次 5 ヶ年計画において、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"> 2013 年に国家能源局は、太陽光発電の発電設備容量を 2015 年までに 35GW、2020 年までに 100GW を目標として設定すると発表。
韓国	<ul style="list-style-type: none"> 政府発表によると、一次供給エネルギーに占める再生可能エネルギーの比率を 2015 年に 4.3%、2020 年に 6.1%、2030 年に 11%を目標として設定。 2012 年より、政府が発電事業者に対して総発電量の一定比率を再生可能エネルギーで供給することを義務付ける制度(RPS)を導入。 	<ul style="list-style-type: none"> RPS 制度の中で、太陽光発電については、2012～2015 年の 4 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	<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：“Technology Roadmap Solar photovoltaic energy”（2010, IEA）、Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC、“Renewable Energy Technology Roadmap 20% by 2020”（2008, EREC）、DSIRE ホームページ（<http://www.dsireusa.org/>）、“New Energy for America”（2009, Barack Obama and Joe Biden）、海外電力（2008 年 10 月号、2010 年 3 月号、海外電力調査会）“Annual Report 2013”（IEA-PVPS）、“National Action Plan On Climate Change”（2008, インド政府）、“Jawaharlal Nehru National Solar Mission”（2009, インド政府）、UAE Yearbook 2010、“Tunisian Solar Plan”（2010, STEG）、“AEDP 2012-2021”（タイ王国エネルギー省・代エネ・効エネ局(DEDE)）、“Renewable Energy Development in Malaysia”（2011, Waste Management Conference 2011 マレーシア政府資料）、オーストラリア貿易促進庁ホームページ、“PV IN AUSTRALIA 2011”（2012, ASI）, PVPS Annual Report 2011

2. 2 太陽光発電の導入状況（国内）

2013 年度末までの国内導入量を図 2-2 に、2012 年の固定価格買取制度の開始の前後における導入量を表 2-2 に示す。

まず、固定価格買取制度開始前では、2006 年の住宅用補助金の終了により一時ペースダウンするものの、2009 年の補助金再開の効果もあって、導入量は増加傾向にあったといえる。その内訳は、多くが住宅用であり、非住宅用システムの導入割合が 1~2 割程度であった。

一方、固定価格買取制度開始後は、急速に導入量が増えており、制度開始後 2 年足らずの 2013 年度末までに 8.7GW もの設備が導入、稼働した。このうち、約 74%が非住宅用システムとなっており、制度開始前までと大きく異なる構成を示している。これは、発電事業を意図した中大規模設備導入が急速に拡大したことが大きな要因として挙げられる。また、住宅用システムについては、構成比としては低下したものの、導入量としては堅調な導入が進んでいると見ることができる。

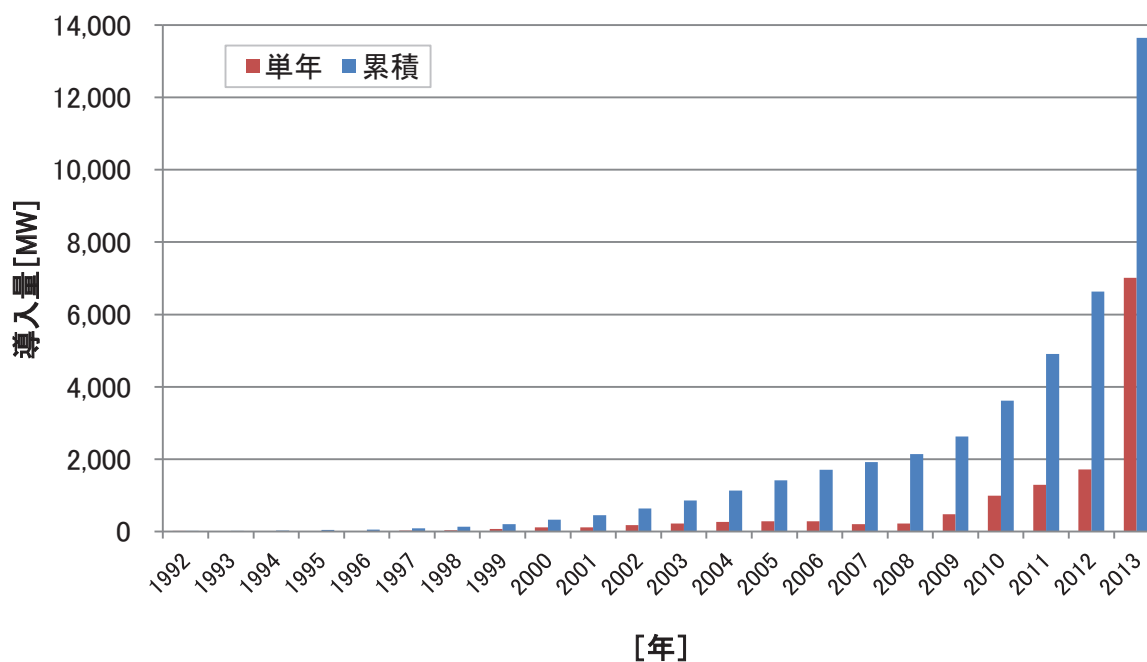


図 2-2 日本における太陽光発電の導入推移（累積・単年）

出典：IEA PVPS, Trends in photovoltaic applications. Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2012(2013/11)及び PVPS Report Snapshot of Global PV 1992-2013(2014/3)をもとに NEDO 作成