

太陽光発電

太陽光発電は、太陽電池を利用して、太陽放射に含まれる光エネルギーを電力に変換する発電方式のことをいう。発電には太陽光エネルギーを利用し、ほかの燃料等を必要としないことや、発電設備を設置するために要する期間がほかの発電方式より短く、立地条件や環境アセスメント等の制約も少なく、導入ポテンシャルが高い点が特徴であり、現在でも日本の再生可能エネルギーの中核を担っている。日本の2013年10月末時点の太陽光発電設備導入量は、10GWを超えている。

太陽電池は、用いられる材料によりシリコン系、化合物半導体系、有機系に大別される。シリコン系は、結晶（単結晶と多結晶）および薄膜に分類される。現在使用されている太陽電池の約9割は結晶系太陽電池であり、残りがほかの太陽電池である。有機系太陽電池や、超高効率太陽電池を利用する集光型システムは、研究開発から商業生産準備段階である。

近年、ドイツやイタリアに加え、日本、米国、中国でも導入量が増えており、日本の導入量は、2012年時点で世界第5位となっている。日本では、太陽光発電の普及促進を目的に、新エネルギー・産業技術総合開発機構が「太陽光発電ロードマップ（PV2030+）」を策定し、2030年以降7円/kWhを下回る発電コストの実現を目指している。太陽光発電の普及促進に向けては、太陽電池の技術開発による高効率化・低コスト化や、導入量が急増した際の電力系統の安定化等が課題とされている。

I 技術・エネルギーの説明

太陽光発電は、太陽電池を利用して、太陽放射に含まれる光エネルギーを直接的に電力に変換するものをいう⁽¹⁾。発電には燃料を必要としないことや、運転中に温室効果ガスを排出しない点が特徴である。

太陽光発電システムは、太陽電池、集電箱、パワーコンディショナ、架台等から構成されている⁽²⁾（表1）。

表1 太陽光発電システムの構成要素

太陽電池	① 太陽電池セル	太陽光エネルギーを電気エネルギーに変換する機能を持つ基本構成素子。
	② 太陽電池モジュール	太陽電池セルを複数枚接続して必要な電圧と電流を得られるようにし、樹脂や強化ガラスなどで保護し、屋外で利用できるようにパッケージ化したもの。
	③ 太陽電池アレイ	太陽電池モジュールを直並列接続したモジュール群。
集電箱	複数の並列回路になった太陽電池出力を1つの回路として束ねる装置。	
パワーコンディショナ	太陽電池により発電された直流電力を一定の周波数・電圧に変換し、商用電源に連系して供給する交流電源装置。	
各種センサ	気象状態等をデータ化するもの（日射量計、外気温度計等）。	
データ計測装置	各装置の運転情報やセンサ情報を集積。	

（出典）新エネルギー・産業技術総合開発機構「第2章太陽光発電システムの概要」『大規模太陽光発電システム導入の手引書』2011, pp.3-4. <<http://www.nedo.go.jp/content/100162609.pdf>>; 北海道経済産業局「おひさま発電所 北海道住宅用太陽光発電 導入ガイドブック」2012.3, p4. <<http://www.hkd.meti.go.jp/hokne/20120319/guidebook.pdf>> を基に筆者作成。

*本稿の執筆時点は平成26年1月31日である。インターネット情報の最終アクセス日も平成26年1月31日である。

(1) 「太陽光発電の特徴」産業技術総合研究所ウェブサイト <http://unit.aist.go.jp/rcpvt/ci/about_pv/feature/feature_1.html>

(2) 新エネルギー・産業技術総合開発機構「第2章太陽光発電システムの概要」『大規模太陽光発電システム導入の手引書』2011, pp.3-4. <<http://www.nedo.go.jp/content/100162609.pdf>>

このうち、太陽電池セルを組み合わせて、太陽電池モジュールや太陽電池アレイとして使用するが太陽電池である。

太陽光発電システムには、住宅や建物の屋根等に設置される比較的小規模なものから、広大な敷地に大型の太陽電池パネルを多数設置し、大規模に発電を行う「メガソーラー」などがある。

II 技術動向・利用動向・将来動向

1 技術動向

太陽電池は、用いられる材料により、シリコン系、化合物半導体系、有機系に大別される(表2)。広く使用されているのが、シリコン系の太陽電池である⁽³⁾。シリコン系には、結晶系と薄膜系がある。結晶系は、単結晶または多結晶のシリコン基板を使用したタイプで、20%程度の発電効率を持つ。また、薄膜系は、ガラスや金属等の基板の上に、薄膜状のアモルファス(非晶質)シリコンや微結晶シリコンを形成させて作るもので、使用するシリコン量が少なく済む。大面積のものを量産できるという特徴を持つが、結晶系と比べると発電効率が低い。

化合物半導体系は、複数の元素を主原料とした半導体を光吸収層として用いたもので、製造する際のエネルギーの使用量が少なく、大面積化も容易であるという特徴を持つ。特に、銅とインジウム、セレンを原料としているCIS⁽⁴⁾系では、薄いため省資源である。CIS系のほかには、カドミウム、テルルを原料とする薄膜型のCdTe⁽⁵⁾系がある。Ⅲ-V族系化合物半導体を用いたものは多接合化し集光技術を適用したのものがある⁽⁶⁾。

また、有機系の太陽電池は、次世代太陽電池として注目されている。有機系太陽電池⁽⁷⁾は、有機物を使い、現在使われているシリコンを使わず、安価な材料で作られるうえ、その製造プロセスも従来に比べ単純化することができ、製造装置も安い点が特徴である。研究開発も着実に進み、色素増感型で13%超、有機薄膜型で11%超、これらのハイブリッド型で16%超の変換効率が報告されている⁽⁸⁾。

(3) 「太陽電池とは」太陽光発電協会ウェブサイト <<http://www.jpea.gr.jp/knowledge/solarbattery/index.html>>

(4) CISとは、非鉄金属の銅(Cu)、インジウム(In)、セレン(Se)の元素の頭文字を取ったもの。

(5) 材料であるテルル化カドミウムの化学式。

(6) 新エネルギー・産業技術総合開発機構「2 太陽光発電の技術の現状とロードマップ」『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』2010, p.3. <<http://www.nedo.go.jp/content/100107270.pdf>> なお、Ⅲ-V族系化合物半導体とは、同期表上のⅢ族(13族)元素(ガリウムなど)とV族(15族)元素(ヒ素など)を組み合わせた半導体。

(7) 「有機系太陽電池」産業技術総合研究所ウェブサイト <https://unit.aist.go.jp/rcpvt/ci/about_pv/types/Organic.html>

(8) 瀬川浩司「太陽光発電の大規模普及に向けた次世代太陽電池の開発」SCEJ 75th Annual Meeting (Kagoshima, 2010), p.1. <<http://www3.scej.org/meeting/75a/abst/XA115.pdf>> ; NREL, “Best Research-Cell Efficiencies.” <http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg>

表2 太陽電池の分類

種類		原料等	特長	課題	変換効率*	実用化状況	
シリコン系	結晶系	単結晶	シリコン	高性能・高信頼性	低コスト化	～20%	実用化
		多結晶	シリコン	単結晶より安価	高性能化	～15%	実用化
	薄膜系	シリコン	省資源、大面積	効率低い	～9%	実用化	
半導体系化合物	CIS系	銅、インジウム、セレン等	省資源、高発電量	インジウムの資源量	～14%	実用化	
	CdTe系	カドミウム、テルル	省資源、低コスト	カドミウムの毒性	～13%	実用化	
	Ⅲ族・Ⅴ族	ガリウム、ヒ素等	超高性能、集光型に利用	低コスト化	(～38%)	研究段階	
有機系	色素増感	酸化チタン、色素	低コスト化の可能性	効率、耐久性	(～13%)	研究段階	
	有機薄膜	有機半導体	低コスト化の可能性	効率、耐久性	(～11%)	研究段階	
	ハイブリッド	酸化チタン、ペロブスカイト、有機半導体等	高性能、低コスト化の可能性	効率、耐久性	(～16%)	研究段階	

(*) モジュール変換効率、ただし括弧内は研究段階におけるセル変換効率。

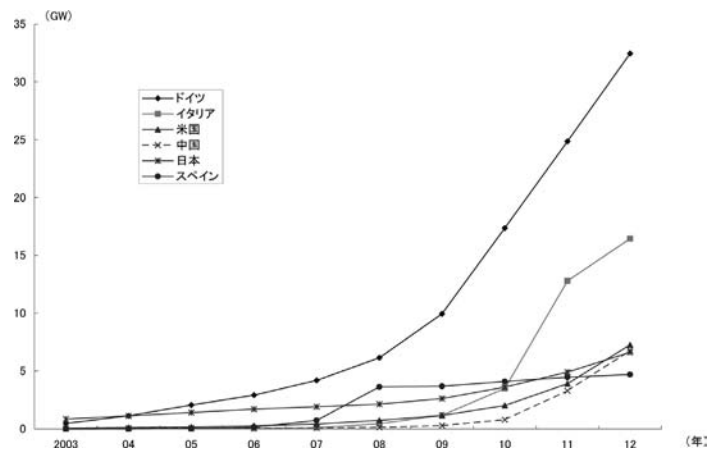
(出典) 新エネルギー・産業技術総合開発機構「第2章 太陽光発電」『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』2013, p.8. <<http://www.nedo.go.jp/content/100544817.pdf>> ; 特許庁「平成20年度 特許出願技術動向調査報告書 太陽電池(要約版)」2009, pp.1-2. <http://www.jpo.go.jp/shiryou/pdf/gidou-houkoku/solar_battery.pdf> 等を基に筆者作成。

2 利用動向

各国の太陽光発電設備の導入量をみると、2010年から2012年にはドイツやイタリアで急増している(図1)。米国、中国も導入量を伸ばしており、日本の累積導入量は2012年時点で、世界第5位となった。

なお、日本については、2012年7月の固定価格買取制度⁽⁹⁾の導入に伴い太陽光発電の設備導入量が急増しており、2013年10月末時点の太陽光発電設備導入量は、既に10GWを超えている⁽¹⁰⁾。

図1 世界の太陽光発電設備の累積導入量の推移



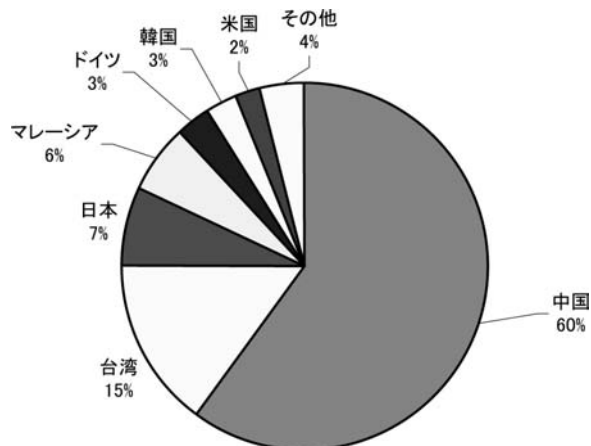
(出典) IEA, *Trends 2013 in Photovoltaic Applications*, Paris: IEA, p.75. <http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/FINAL_TRENDS_v1.02.pdf> を基に筆者作成。

(9) 一定の期間・価格で再生可能エネルギーを買い取ることを、電気事業者等に義務付ける制度。詳しくは、第2章第1節 再生可能エネルギーの普及促進策を参照。

(10) 資源エネルギー庁「再生可能エネルギー発電設備の導入状況を公表します」『News Release』2014.1.10. <<http://www.meti.go.jp/press/2013/01/20140110002/20140110002-1.pdf>>

また、2012年の太陽電池生産量の国別割合をみると、中国が6割を占めている（図2）。

図2 太陽電池生産量の国別割合（2012年）



（出典）IEA, *Trends 2013 in Photovoltaic Applications*, Paris: IEA, p.52. <http://www.ie-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/FINAL_TRENDS_v1.02.pdf> を基に筆者作成。

3 将来動向

IEAは、太陽光発電設備の累積導入量が2020年までに210GW、2030年までに872GW、2040年までに2,019GW、2050年までに3,155GWにまで増加すると予想している⁽¹¹⁾。また、太陽光発電の年間発電量が、2020年に298TWh、2030年に1,247TWh、2040年に2,907TWh、2050年に4,572TWhに達すると予測している⁽¹²⁾。4,572TWhは、2050年の予想総発電量の11%に相当する⁽¹³⁾。

III 資源・エネルギーの賦存量・導入ポテンシャル

太陽光発電は発電に関する場所や規模の制約が少ないうえ、環境アセスメントによる制限もほとんどなく、発電可能な場所の選定も比較的容易であるため潜在的な導入量が多い。

太陽光エネルギーの賦存量をみると、世界では年間2,000～2,500kWh/m²程度の日射量が得られる地域があり、米国南西部、中東、アフリカ等がこれに当たる⁽¹⁴⁾。

日本では、環境省が「平成24年度 再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備報告書」で、法規制や居住地からの距離、土地用途、利用技術などの種々の制約要因を考慮したうえで導入可能な設備容量「導入ポテンシャル」を算出している⁽¹⁵⁾。また、同報告書では、固定価格買取制度で異なる買取価格・期間を設定した3つのシナリオ別に事業採算性を考慮した導入可能量が推計されている（表3）。

(11)IEA, *Technology Roadmap Solar photovoltaic energy 2010*, Paris: IEA, p.18. <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/pv_roadmap.pdf>

(12)*ibid.*, p.17.

(13)前掲注(6), p.20.

(14)Meteonorm, “Yearly sum of Global Horizontal Irradiation (GHI).” <http://meteonorm.com/fileadmin/user_upload/maps/gh_map_world_v7.png>

その試算によると、太陽光発電では、公共用建築物や発電所・工場等、低・未利用地、耕作放棄地を活用することで、最大で146.88GWの導入が可能である。ただし、事業採算性を考慮すると、固定価格買取制度の導入を前提とし、11.31GW～105.53GWが導入できると推計されている。

表3 太陽光発電のシナリオ別導入可能量の試算

	導入ポテンシャル (設備容量：GW)	シナリオ別導入可能量（設備容量：GW）		
		第1シナリオ	第2シナリオ	第3シナリオ
買取価格・期間	—	30円/kWh・20年間	35円/kWh・20年間	40円/kWh・20年間
公共系建築物	23.18	4.11	12.63	20.32
発電所・工場等	28.97	6.60	15.80	20.71
低・未利用地	27.36	0.60	3.85	13.32
耕作放棄地	67.37	0.00	34.05	51.18
合計	146.88	11.31	66.33	105.53

(出典) 環境省「平成24年度 再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備報告書」2013.6, p.77. <<https://www.env.go.jp/earth/report/h25-03/full.pdf>> を基に筆者作成。

IV 経済性

太陽光発電のシステム価格は、太陽電池モジュール、付属機器、設置工事費から構成される。日本について、太陽光発電普及拡大センターにおける2012年4月から12月の交付申請データ(合計174,258件)に基づく、交付申請を完了した住宅用太陽光発電システム一式の平均価格は46万3664円/kWであり、その内訳は、太陽電池モジュールが28万9800円/kW、付属機器が9万9256円/kW、設置工事に係る費用が7万4609円/kWであった。システム価格は低下し続けており、前年度に比べ、平均システム価格9.5%の低減となった⁽¹⁶⁾。

太陽光発電システムの製造コストは、技術の進歩や量産効果によって、「普及量が2倍になるとだいたい2割安くなる」と考えられている⁽¹⁷⁾。また、流通・工事費についても、市場の拡大に伴い価格が低下すると考えられている。このため、太陽光発電の導入量を増加させるための政策支援によって、生産量が増大すれば、製造コストが低下し、発電コストを大幅に抑制することも可能になると考えられている。

V 技術的課題

新エネルギー・産業技術総合開発機構 (New Energy and Industrial Technology Development Organization: NEDO) は、太陽光発電の持続的な発展と普及拡大に向けた今後の技術開発の方向性を示すために2009年に「太陽光発電ロードマップ (PV2030+)」を策定した。PV2030+では、2050年の国内の一次エネルギー需要の5%から10%を太陽光発電で賄うことを目標にし、

(15) 環境省「平成24年度 再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備報告書」2013.6, p.7. <<https://www.env.go.jp/earth/report/h25-03/full.pdf>>

(16) 経済産業省資源エネルギー庁 (委託先 株式会社資源総合システム)『太陽光発電システム等の普及動向に関する調査』2013, p.8. <http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2013fy/E002502.pdf>

(17)「太陽光発電工学研究センター 太陽光発電のコスト」産業技術総合研究所ウェブサイト <http://unit.aist.go.jp/rcpvt/ci/about_pv/economics/cost.html>

そのために必要な太陽光発電の導入量を2030年にまでに年間6GWから12GW、2050年までに25GWから35GWとしている⁽¹⁸⁾。

PV2030+は、発電コスト目標を2020年までに14円/kWh程度、2030年までに7円/kWh程度、2050年までに7円/kWh未満と定め、2030年までに必要となるモジュール変換効率やそのほかの技術目標について設定し、目標を実現するための技術開発課題を提示している⁽¹⁹⁾。例えば、モジュールの低コスト化やパワーコンディショナの耐久性の向上等が掲げられている（表4）。

表4 PV2030+の技術開発の目標

項目	主な開発内容	
モジュール製造	製造コスト（円/W）	モジュールの高効率化、低コスト・高生産性プロセス、長寿命化
	高性能化	既存太陽電池の技術革新
	寿命延長	モジュール構造、モジュール材料の検討
	原料問題対応技術	高純度シリコン供給技術、シリコン使用量の削減、省シリコン、希少資源対策
システム構成要素	パワーコンディショナ	耐久性向上、多様化・高効率化・低コスト化・IT機能統合化
	PV用蓄電技術	長寿命蓄電池、軽量・長寿命化、新型電力貯蔵
	設置工事、販売経費	現状の1/3から1/2

（出典）新エネルギー・産業技術総合開発機構『太陽光発電ロードマップ（PV2030+）』2009.6, p.47. <<http://www.nedo.go.jp/content/100116421.pdf>> を基に筆者作成。

また近年、大規模な太陽光発電設備で、電圧誘起出力低下（Potential Induced Degradation: PID）現象の発生が問題となっている。同現象は、「高電圧の太陽光発電システムにおいて、太陽電池セルとそれを支える金属フレームなどの間で漏れ電流が発生し、モジュールそのものの出力の低下を招く現象のことをいう」⁽²⁰⁾。特に発電事業を行っている場合、PID現象は収益に大きな影響を及ぼすため、PID現象を防止し安定的に発電量を確保するための技術開発が必要とされている⁽²¹⁾。

加えて、太陽光発電設備の導入が進むなか、電源を安価に系統に接続ができる場所が少なくなっているため、これまで導入が進まなかった建物の壁面や水上等に太陽電池パネルを設置するための技術開発も重視されている⁽²²⁾。

VI 技術を取り巻く社会経済状況

太陽光発電のさらなる利用拡大や技術開発を進めていくためには、工業製品としての信頼性の確立や社会的インフラ整備が不可欠である。太陽光発電システムの信頼性の確立に向けては、変換効率や発電量などを評価する技術の開発と、認証や品質保証などの利用体制の確立が、社会的インフラ整備では、リサイクル・リユース体制の整備等が必要とされている⁽²³⁾。

また、太陽光発電関連産業は、エネルギー供給の観点のみならず、経済成長や雇用創出の観

(18)新エネルギー・産業技術総合開発機構『太陽光発電ロードマップ（PV2030+）』2009, pp.4-6. <<http://www.nedo.go.jp/content/100116421.pdf>>

(19)同上, p.46.

(20)日東工業株式会社「技術資料」2013.3. <<http://ntec.nito.co.jp/news/pdf/0000003708.pdf>>

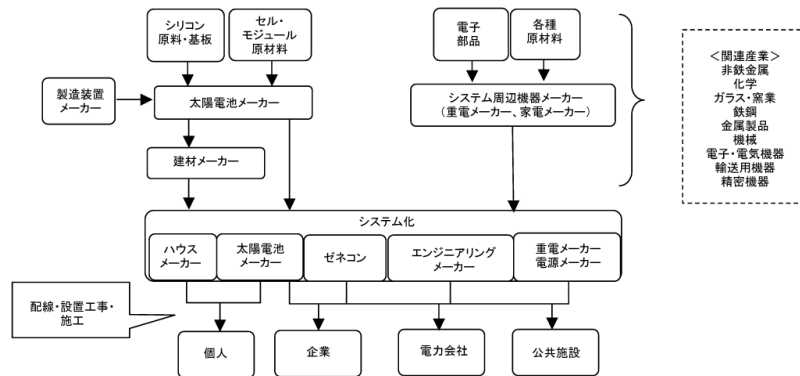
(21)新エネルギー・産業技術総合開発機構「第2章太陽光発電」『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』2013, p.90. <<http://www.nedo.go.jp/content/100544817.pdf>>

(22)同上, pp.92-93.

(23)新エネルギー・産業技術総合開発機構 前掲注(18), pp.44-45.

点からも重要な意義を有している。太陽光発電事業は、シリコンなどの原材料の供給から、太陽電池セルやモジュールの製造、発電設備の周辺機器の製造、さらに発電設備へのシステム化とその販売・設置に至るまで様々な工程から成っており、太陽光発電の関連企業には、セルを製造する企業や、セルをモジュール化する企業、販売・設置に関するサービスを提供する企業など、多種多様な企業が存在し、裾野が広い（図3）。

図3 太陽光発電関連産業の連関構造



(出典) 総合資源エネルギー調査会第15回新エネルギー部会配布資料「太陽光発電産業について」(株式会社資源総合システム代表取締役一木修氏プレゼン資料) 2006.3.24, p.10. 経済産業省ウェブサイト <<http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g60414k03j.pdf>> を基に筆者作成。

他方、世界的に太陽光発電の市場をみると、新興国を中心に太陽電池の大規模生産と低コスト化が進められるとともに、供給過剰により、太陽光発電設備の価格が大幅に下落している⁽²⁴⁾。日本の国際競争力の確保に向けては、海外市場で技術基盤を整備したり、共同研究開発を進めたり、キーパーソンの育成・確保等を通し、海外と国内で共有の技術基盤をさらに構築していくことが重要と考えられている⁽²⁵⁾。

みずほ総合研究所株式会社 社会・公共アドバイザー一部
 つかごし ゆか
 政策・経営研究グループ 研究員 塚越 由郁

(24) 経済産業省資源エネルギー庁 (委託先 株式会社資源総合システム) 前掲注(16), p.240.

(25) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 前掲注(18), p.45.