



Task 1 Strategic PV Analysis and Outreach

PVPS

Trends in Photovoltaic Applications 2021

Report IEA-PVPS T1-41:2021

太陽光発電応用の動向報告書 2021(翻訳版)



(技術開発項目)

太陽光発電主力電源化推進技術開発/動向調査等/国際技術協力プログラム
へ参画

国際エネルギー機関・太陽光発電システム研究協力プログラム (IEA PVPS)
太陽光発電応用の動向 2021
(報告 IEA-PVPS T1-41: 2021)

この「太陽光発電応用の動向 2021」報告書(“Trends in Photovoltaic Applications
2021”(ウェブ公開版))(翻訳版)は、国立研究開発法人 新エネルギー・産
業技術総合開発機構の要請により、(株) 資源総合システムが翻訳したもの
である。

IEA PVPS技術協力プログラム（IEA PVPS TCP）について

1974年に設立された国際エネルギー機関（IEA）は、経済協力開発機構（OECD）の枠組みの中での独立組織体である。技術協力プログラム（TCP）は、エネルギー安全保障及び持続可能性の未来は国際協力から始まるという信念によって創設された。同プログラムは、共通の研究と特定のエネルギー技術の応用推進に尽力している産学官の多数の専門家により成立している。

国際エネルギー機関・太陽光発電システム研究協力プログラム（IEA PVPS）は、IEAの枠組みにおける技術協力プログラム（TCP）のひとつで、1993年に制定された。IEA PVPSの使命は、「国際協力を推進して持続可能なエネルギー・システムへの転換における太陽光発電の礎石としての役割を促進すること」である。これを達成するために、加盟国・機関は、太陽光発電システムの応用に関する種々の共同研究プロジェクトを遂行してきた。各国・機関の代表で構成される執行委員会はプログラム全体を統括し、研究プロジェクトであり活動領域でもある各「タスク」活動を規定する。本報告書（太陽光発電応用の動向報告書）は、市場と産業の分析、戦略的研究について取り扱い、IEA PVPSプログラム全体から得られる太陽光発電システムに関する情報の交換と普及を推進するタスク1によって作成された。

IEA PVPS加盟国は、オーストラリア、オーストリア、ベルギー、カナダ、チリ、中国、デンマーク、フィンランド、フランス、ドイツ、イスラエル、イタリア、日本、韓国、マレーシア、メキシコ、モロッコ、オランダ、ノルウェー、ポルトガル、南アフリカ、スペイン、スウェーデン、スイス、タイ、トルコ、米国である。加盟機関は、欧州委員会（EC）、SolarPower Europe、米・Smart Electric Power Alliance（SEPA）、米国太陽エネルギー産業協会（SEIA）及びCopper Allianceである。

IEA PVPSウェブサイト：www.ica-pvps.org

著者

主たる執筆者：G. Masson（Becquerel Institute）及び貝塚 泉（（株）資源総合システム）

分析：貝塚 泉（（株）資源総合システム）、E. Bosch、G. Masson（Becquerel Institute）、Johan Lindahl（Becquerel Institute Sweden）、Eddy Blokken（シンガポール太陽エネルギー研究所（SERIS））

IEA PVPS報告国に関するデータ：Becquerel Institute（ベルギー）、（株）資源総合システム（日本）、Arnulf Jaeger-Waldau氏（欧州委員会共同研究センター（ECJRC））

IEA PVPS非加盟国に関するデータ：ドイツ太陽エネルギー産業協会（BSW）、スペイン太陽光発電組合（UNEF）

その他の欧州連合（EU）加盟国に関するデータ：ECJRC

水上設置型太陽光発電システム（FPV）に関するデータ：SERIS（シンガポール）

編集：G. Masson（IEA PVPSタスク1代表（OA, Operating Agent））

デザイン：Onehemisphere（スウェーデン）（contact@onehemisphere.se）

免責事項

IEA PVPS TCPは、IEAの下で創設された組織であるが、機能的及び法的に独立している。IEA PVPS TCPの見解、調査結果及び出版物は、必ずしもIEA事務局もしくはIEA加盟各国の見解や政策を表すものではない。IEA PVPS非加盟国のデータは、関係国の公的機関もしくは専門家によって提供された。データは発行時点で有効なデータであり、発行日の関係から複数の国のデータは推定値として捉える必要がある。

表紙の写真

コンゴ民主共和国（DRC）・マノノにおける太陽光発電システム（著作権：Enerdeal）

ISBN 978-3-907281-28-4 : Trends in Photovoltaic Applications 2021

報告書の範囲と目的

本報告書の目的は、太陽光発電市場の発展と市場における製品応用の進展を報告し、解説することである。動向は、報告国における産業の概況、政策及び非技術的要因の観点から分析されている。

本報告書は、企業や国家及び公的機関における戦略策定責任者を支援し、電力事業者やその他のエネルギー・サービス供給事業者による中期計画策定を支援するために作成されている。また、国家エネルギー政策を策定し、エネルギー計画を立案する立場にある政府関係者にとっても参考となる。本報告書の対象は、定格出力40W以上の太陽光発電応用に限定されている。提供された各国のデータは発行時点において可能な限り正確を期している。生産規模及び太陽光発電システムの価格に関するデータは精度にバラツキがある。これは報告国において太陽光発電産業界によるデータ提供協力の度合いが異なるためである。本報告書は、太陽光発電応用の動向報告書・第26報であり、2020年末時点における報告国等の太陽光発電システムの応用、市場と生産を概観し、1992～2020年の太陽光発電システムの普及拡大の動向を分析したものである。本報告書の主要データの大部分は、報告国の代表者から提供された各国の国内調査報告書（NSR、National Survey Report）や概況情報から引用している。IEA PVPS加盟国以外の国々の情報は各種情報源から引用しており、正確性を確保すべく努力はしているものの、一部のデータの信頼性については、IEA PVPS加盟国のデータの信頼性と同レベルで確保できるものではない。

謝辞

本報告書は、タスク1専門家による監修の下で作成されたものであり、タスク1専門家に格別の感謝の意を表す。また、本報告書の著者一同は、シンガポール太陽エネルギー研究所（SERIS）・Eddy Blokken氏の特別な支援に対して、深く感謝している。

緒言

2020年の世界の太陽光発電システムの設置容量は、これまでにない水準に到達した。世界で145GWdcの太陽光発電システムが設置され、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の世界的流行（パンデミック）にもかかわらず、再び記録を更新した。そして、2021年にはさらに設置容量が増加する見込みである。この驚くべき結果は、長年にわたる政策の改善、ビジネスモデルの改良及び太陽光発電システムの競争力向上によりもたらされたものである。

2021年、国際エネルギー機関（IEA）は、『太陽光発電は「史上最低水準のエネルギー・コスト」を提供するエネルギー市場の新しい王』であることを初めて認めた（訳注：2020年10月にIEAがWorld Energy Outlook 2020を発表した際にこの表現を採用した）。太陽光発電は、史上最低水準の電力価格を達成したことで、エネルギー部門の脱炭素化に向けた主要な再生可能エネルギーとして位置づけられている。その可能性は今や、建物の冷暖房や輸送、産業用途にまで広がっている。競争力を持つようになった電力源の大きな可能性を推定することは依然として困難である。2020年のパンデミックでも太陽光発電の発展が止まることはなかった。パンデミックにより世界的な展開が縮小したかどうかを分析するのはさらに複雑である。2021年には、サプライチェーンの問題により世界市場の成長が減速する可能性があったが、「太陽光発電はすべての大陸で急速に発展している」というストーリーは変わらない。

本報告書は、太陽光発電の普及と絶えまなく変化する政策情勢の主な動向に焦点を当てている。太陽光発電の開発が拡大し、発電量における太陽光発電のシェアが大きくなればなるほど、新たな課題も生じる。

最新の動きとして、エネルギー・コミュニティの台頭がある。これにより、系統運用や系統コストに関する課題、また配電網においてプロシューマー（電力消費者（consumer）でもある電力生産者（producer））による系統の適正使用に対する価格を設定するにあたっての課題など、新たな課題をもたらしている。従来から存在していたものの、以前はエコシステムにさほど影響を及ぼさなかった多くの課題が、太陽光発電の電力シェアの増加というこれまでにない状況に直面している。かつては建築物における太陽光発電の導入を支援する最も簡便な方法であったネットメタリングは、今日では徐々に自家消費制度に置き換えられている。そして、これは多くの課題への対応事例のひとつに過ぎない。

太陽光発電の応用は急速に多様化している。水上設置型太陽光発電（FPV）の累積設置容量は3GWに達し、建材一体型太陽光発電（BIPV）は成長しており、営農型太陽光発電（AgroPV）は複数の主要なIEA PVPS加盟国で強力に推進されている。また、車載型太陽光発電（VIPV）は実際の製品になりつつある。太陽光発電は、インフラ、農地、水域、道路、屋根、ファサード、砂漠、都市、車、バス、トラック、飛行機など、経済性が確保可能なあらゆる応用で進展することが期待されている。このような進展は、タスク15がBIPV、タスク17がVIPVに取り組むなど、IEA PVPSプログラムが長年にわたり取り組んできたものである。

このような進展は、市場や産業に関する数字を見れば明らかである。年々、設置容量と生産能力が桁違いに拡大しており、累積設置容量は700GW台に到達している。GW規模の市場を有する国の数や急成長する国内市場向けに太陽光発電製品を輸入する国の数の増加など、全世界で市場水準が上昇している。2020年には、公式に太陽光発電システムの年間設置容量を報告していない150ヶ国

で6GWが設置された。この数値は急増しており、前年比でほぼ倍増となった。これは、太陽光発電の基礎的条件、特にそのスケーラビリティと競争力の健全性を反映しており、今後数年間にさらに大規模な導入水準となるとみられる。

要約すると、2020年はCOVID-19のパンデミックとそれに伴う貿易や産業の混乱により、特殊な一年であった。しかし、太陽光発電は引き続き進展し、今日では全世界に導入されている。2021年には、エネルギー部門だけでなく材料部門における太陽光発電のシェア拡大を反映した価値連鎖の大きな課題が生じたものの、太陽光発電の普及ペースは加速した。太陽光発電が普及拡大すればするほど、それが依存する価値連鎖全体にこれまで以上に影響が及ぶであろう。

この見通しは、その時代がまさに始まろうとしている太陽光発電産業に関する通念を反映したものである。また、エネルギー部門全体に太陽光発電を適切に統合する方法を研究し続ける必要性も示している。

太陽光発電は、20年前の宇宙用及び独立形用途のニッチ市場から、今や、気候変動と闘い、世界を電化するための重要なツールとなっている。2020年末の設置容量に基づく既存の太陽光発電システムの二酸化炭素排出削減量は、過去最高水準の8.6億t-CO₂に達した。さらなる取り組みが必要となるが、IEA PVPSプログラムは、エネルギー部門全体を脱炭素化するための重要な選択肢の1つである太陽光発電を引き続き支援していることを誇りに思っている。

Gaëtan Masson (IEA PVPSタスク1代表)

Daniel Mugnier (IEA PVPS議長)

目次

1章 太陽光発電技術の概念と方法論について	1
太陽光発電技術	1
太陽光発電の応用と市場分野	3
主要な太陽光発電市場の開発に関する指標の調査方法	5
2章 太陽光発電市場の発展動向	6
世界の太陽光発電システム設置容量	7
太陽光発電の市場分野	14
太陽光発電の新興市場分野	19
地域別の太陽光発電の発展状況	23
米州（南北アメリカ大陸）	24
アジア太平洋	25
欧州	27
中東及びアフリカ	30
3章 政策の枠組み	34
太陽光発電市場の牽引力	35
支援制度	38
支援制度のための資金調達	45
ソフト・コスト	46
太陽光発電所の所有	47
系統連系	47
持続可能建築要件と建材一体型太陽光発電（BIPV）	49
蓄電	50
4章 太陽光発電産業の動向	52
太陽光発電の川上部門（製造企業）	53
太陽光発電の川下部門	66
5章 太陽光発電が社会に与える影響	68
経済価値	68
太陽光発電関連の雇用	72
社会政策における太陽光発電	74
気候変動の緩和	75

6章 2021年における太陽光発電電力の競争力	77
太陽電池モジュール価格	78
太陽光発電システム価格	80
太陽光発電の発電コスト	82
7章 エネルギー部門における太陽光発電	88
太陽光発電による発電量	88
太陽光発電の普及率	89
太陽光発電と他技術のインテグレーションとセクタ・カップリング	93
付録	95
図リスト	98
表リスト	100

太陽光発電応用の動向報告書 // 2021年

太陽光発電システム研究協力プログラム WWW.IEA-PVPS.ORG



2020年の太陽光発電部門における総事業価値

1600億ドル



2020年の太陽光発電市場規模

上位

5ヶ国

● 中国	48.0GW
● 欧州連合(EU)	19.8GW
● 米国	19.7GW
● ベトナム	11.1GW
● 日本	8.7GW

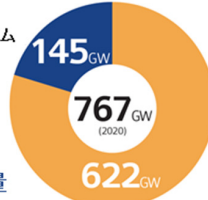
電力需要に占める
太陽光発電の貢献度



4%

2020年の
世界の電力需要に
占める太陽光発電の割合

2020年の
世界の太陽光発電システム
年間設置容量



2020年末時点の
世界の太陽光発電
システム累積設置容量

2019年末時点の
世界の太陽光発電システム
累積設置容量

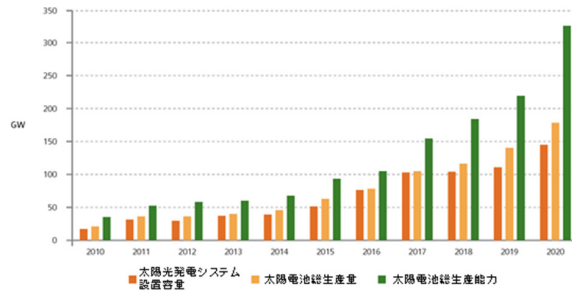
気候変動への影響



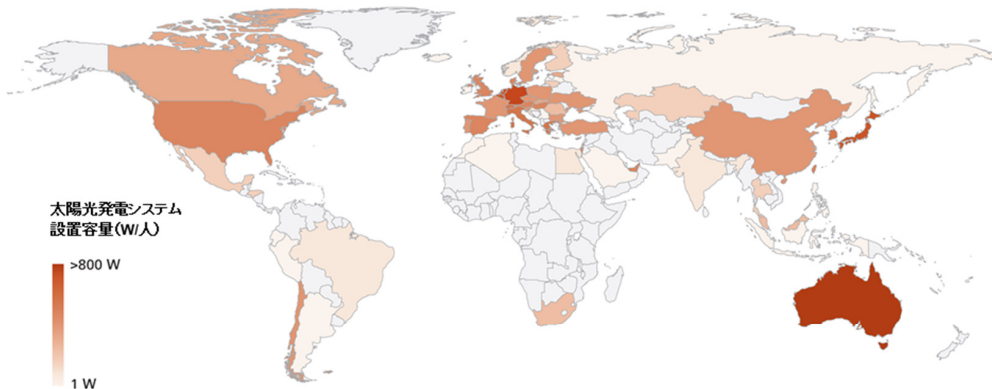
8.6

億トン/年のCO₂排出削減

2010~2020年の太陽光発電システム年間設置容量、
太陽電池生産量と生産能力(GW)



人口1人当たりの太陽光発電システム設置容量(2020年)



太陽光発電システム
設置容量(W/人)



2020年に42ヶ国が
累積設置容量で少なくとも

1GW

達成

1人当たりの太陽光発電
システム設置容量

● 1位 オーストラリア	810W
● 2位 ドイツ	648W
● 3位 日本	571W

2020年に19ヶ国が
年間設置容量で少なくとも

1GW

達成

出典: IEA PVPS、その他



1章 太陽光発電技術の概念と方法論について

太陽光発電技術

太陽光発電デバイスは、太陽光を電力に直接変換するもので、他の太陽エネルギー技術（集光型太陽熱発電（CSP）または冷暖房用の太陽熱利用）とは異なる技術である。太陽光発電システムの主なコンポーネントは、各種太陽電池セル及びこれを接続・封止して形成される太陽電池モジュール（製品）、太陽電池モジュールまたはアレイの架台、インバータ（系統連系形太陽光発電システムには必須であり、ほとんどの独立形システムにも必要）、蓄電池及びチャージ・コントローラ（独立形システムだけでなく系統連系形システムでも搭載が増加）である。

太陽電池セル、モジュール及びシステム

太陽電池セルは、太陽光発電システムの最小ユニットである。太陽電池セル・モジュールの出力を向上させるには、ウエハーすなわち太陽電池セルのサイズの拡大が簡単な方法であると認識されていることから、太陽電池セルのサイズは徐々に拡大している。最近のウエハーのサイズは、156.75mm角（M2規格）から210mm角（M12規格）の範囲である。これまでのところ、ウエハーのサイズに基準は設けられていないが、近年では、M10規格（182mm角）及びM12規格のウエハーの採用が増加している。一般的に太陽電池セルは、ウエハーをベースとする結晶シリコン系（単結晶及び多結晶シリコン）、化合物半導体系（薄膜系）または有機系のいずれかに分類される。

現在、結晶シリコン太陽電池技術は、セル生産量全体の95%超を占める。単結晶シリコン（sc-Si）太陽電池セルは、単結晶成長法によって製造されたウエハーに形成され、量産レベルでの変換効率は20～25%（単接合）である。単結晶シリコン太陽電池セルは近年市場シェアを拡大しており、結晶シリコン太陽電池セル全体の85%超を占めている。多結晶シリコン（mc-Si）太陽電池セルは、キャスト法による凝固プロセスによって製造された多結晶シリコン・ウエハーに形成される。製造コストが低いことから今も製造されているが、量産レベルの平均変換効率は約18～21%（単接合）と、単結晶品に比べて低い。

薄膜太陽電池セルは、ガラス、ステンレス鋼やプラスチック・フィルムなどの裏面材上に非常に薄い光起電性半導体材料層を堆積することによって形成される。III-V族化合物半導体太陽電池セルは、ゲルマニウム (Ge) 基板上にガリウムヒ素 (GaAs) などの発電材料を積層して形成され、25~30% (非集光) の高い変換効率が得られる。コストが高いため、通常は追尾式集光型太陽光発電 (CPV) システムや宇宙での応用に利用されている。薄膜太陽電池モジュールの変換効率は、一般的な結晶シリコン太陽電池モジュールよりも低かったが、近年ではこの状況が変化している。また、薄膜太陽電池は、原材料からモジュールを製造するまでの工程数の減少やエネルギー需要の低下によって、結晶シリコン太陽電池よりも低コストで製造できる可能性がある。商業的に利用されている薄膜材料は、カドミウム・テルル化合物 (CdTe)、銅・インジウム・(ガリウム)・セレン化合物 (CIGS及びCIS) である。アモルファス・シリコン (a-Si) 及びマイクロモルフ・シリコン (μ -Si) は、以前は市場でかなりのシェアを占めていたが、結晶シリコン太陽電池セルの価格や他の薄膜技術における変換効率の向上に追従することができなかった。

有機薄膜系太陽電池セルは、吸光活性層として色素や有機半導体を用いている。この技術への関心は高まっており、過去数年間で研究が進み、現在最も急速に進展している太陽光発電技術である。製造コストが低いにも関わらず、市場での製品化には至っていないが、開発や実証活動は進行中である。ペロブスカイト太陽電池セルを用いた、結晶シリコン又は薄膜ベースのタンデムセルの研究も実施されており、純粋なペロブスカイト製品よりも早く上市される可能性がある。2021年に、結晶シリコン・ベースのタンデム型ペロブスカイト太陽電池セルで変換効率28.0%、CIGSベースのタンデム型で23.26%を達成した。

太陽電池モジュールの代表的な定格出力は290~600Wである (技術やサイズにより異なる)。建材一体型太陽光発電 (BIPV) システム向けの、特殊な太陽電池モジュール製品 (大面積・高出力モジュール等) もある。結晶シリコン太陽電池モジュールは相互に接続された複数のセルで構成され、透明上面材 (通常はガラス) と裏面材 (通常はプラスチック・フィルムまたはガラス) で封止される。薄膜太陽電池モジュールは単層基板上に形成された太陽電池セルを透明プラスチック・フィルムまたはガラスの透明上面材により封止し、フレキシブル太陽電池モジュールまたは非フレキシブル太陽電池モジュールに形成される。変換効率は9% (有機薄膜太陽電池)、10% (アモルファス・シリコン太陽電池)、17% (CIGS及びCIS薄膜太陽電池)、19% (CdTe薄膜太陽電池) で、GaAs (非集光) では25%、CPVモジュールでは40%超の変換効率となっている。

太陽光発電システムは、複数の太陽電池モジュールによって構成され、電力系統に連系される (系統連系形太陽光発電システム) か、直列負荷に接続される (独立形太陽光発電システム)。太陽光発電システムには、太陽電池モジュールが発電する電力を系統または負荷の標準に変換させるためのインバータ、チャージ・コントローラまたは蓄電池等の様々な電気機器が含まれる。

特にBIPVシステム向けに様々な架台が開発されている。太陽電池一体型のファサード、傾斜屋根、陸屋根、合わせガラス太陽電池モジュール (不透明、半透過型)、屋根瓦一体型太陽電池などに向けた架台がある。

1軸または2軸の**追尾システム**は、近年、とりわけ直達光の比率が高い国において、地上設置型システムへの応用に関心が高まっている。こうした装置を利用することにより、エネルギー収量は固定設置式と比較して、一般的に1軸の追尾システムで10~20%、2軸追尾システムで20~30%の

増加が可能である。

太陽光発電の応用と市場分野

分散型太陽光発電システムは、**建物据付型太陽光発電（BAPV）システム**と**建材一体型太陽光発電（BIPV）システム**に分類される。BAPVシステムは既存の建物に取り付けられるもので、BIPVシステムは従来使用されてきた建材の代替として取り付けられるものである。BIPVソリューションのうち、**屋根瓦一体型太陽電池**は通常は小型で長方形の太陽電池モジュールで、建材を設置するために使われる従来の架台システムを用いて、従来の瓦やスレートと並行して設置することができる。BIPVには様々な形状や色の製品があり、大部分は両面ガラスであるが、様々な材料を用いて製造することが可能である。BIPVは複数の機能を持つように組み立てることが可能で、通常は従来の建築物の外皮ソリューション向けである。

両面受光型太陽電池モジュールは、モジュールの両面で受光する。十分な地表面反射率のある地面に設置された場合、推定エネルギー収量は固定架台で最大15%、1軸追尾システムで最大30～35%増加する可能性がある。両面受光型太陽電池モジュールは、全般的に設置コストが高額であるにもかかわらず、競争上の優位性は高まっている。実際に、砂漠地帯で近頃実施された競争力のあるプロジェクトのおかげで、両面受光型太陽電池の性能に対する市場の信頼が高まった。これにより、生産ラインを両面受光型太陽電池の生産にシフトする動きが進んでいる。また、両面受光型太陽電池を発電量モデルに当てはめる際の太陽電池性能への追加的な影響要因についての理解も深まっており、川下産業への統合が進んでいる。両面受光型太陽電池モジュールは2021年に再び注目を集めており、今後数年で電力事業用の市場においてシェアが拡大すると予想される。

水上設置型太陽光発電（FPV）システムは、水面に浮くフロートの上に設置され、ダム周辺などの場合は既存の系統に連系することが可能である。人工的水域でFPVシステムを開発することは、人口密度の高い地域での土地不足の解決策となる。水力発電と組み合わせることも可能である。

営農型太陽光発電は、農作物とエネルギーの生産を同一の場所で行う。この2種類の生産活動において光を共有することで、天候と作物の種類によっては収穫量が増加する可能性があり、さらには作物から蒸発した水分が太陽電池モジュールの稼働温度を下げることで、双方にとって有益となるケースもある。

熱電ハイブリッド太陽電池（PVT）は、太陽電池モジュールと太陽熱集熱器を組み合わせることで、太陽光を電力に変換しつつ太陽電池モジュールからの廃熱を保持し、温水を生産したり、セントラルヒーティング・システムに熱を供給する。また、太陽電池モジュールの稼働温度が下がることで、システム全体の性能を向上させることが可能になる。

車載用（車両一体型）太陽光発電システム（VIPV）は、自動車の車体に高効率太陽電池を組み込むことで、モビリティ分野での排出量削減に貢献する。太陽電池セルの技術開発によって、意匠性を配慮した自動車設計への期待と、軽量化や耐荷重性能等の技術的な要件の双方を満たすことが可能になる。**車両据付型太陽光発電（VAPV）**は、太陽電池モジュールを車両に一体化させることなく使用するものである。）。

各種ソーラー・ホーム・システム（SHS）及び**ピコ太陽光発電システム**は、チャージ・コントローラ及び蓄電池を備えた高効率照明（主にLED）との組み合わせにより、過去数年間で大きく

発展した。わずか数Wの小さな太陽電池モジュールが照明、携帯電話の充電、ラジオや小型コンピュータへの電力供給等の必要不可欠な機能を提供することができる。規模の拡張が可能なタイプのピコ太陽光発電システムが市場に参入したことから、まず小さなキットを導入し、後に負荷を追加することができるようになった。これらは、主に途上国における独立形システムによる必要最低限の電化向けに利用されている。

系統連系形太陽光発電システム

系統連系形太陽光発電システムでは、インバータ（パワーコンディショナ）が太陽電池アレイによる直流出力（DC）を交流出力（AC）に変換して系統に電力を供給する。代表的なインバータの加重変換効率は95～99%である。ほとんどのインバータは、最大出力追従制御機能（MPPT）を装備している。この機能は、太陽電池アレイの最大電力が供給できるよう、常にインバータ出力を調整する。インバータはアレイ全体に対して1基が設置されることもあり、太陽電池モジュールのストリングごとに複数のインバータが設置されることもある。また、一般に「ACモジュール」と呼ばれるインバータを内蔵した太陽電池モジュールは、電力系統に直接接続でき（系統運用者が承認している場合）、部分的な日陰の管理と設置の柔軟性を向上させる。また、最大4枚の太陽電池モジュールに接続可能な「マイクロ・インバータ」と呼ばれるインバータは、初期コストが高いにもかかわらず、太陽電池アレイのサイズが小さくても最大の性能を達成できる等、複数の利点がある。

系統連系形分散型太陽光発電システムは、電力系統に連系している顧客に電力を供給、あるいは直接電力系統（特に配電系統）に電力を供給するために設置される。顧客の敷地内の電力量計の需要家側、あるいは住宅用、業務用または産業用の建物や、自動車道路の防音壁などの建築構造物に設置されている。太陽光発電システムの規模はこの応用の決定的な特徴とはならない。一方、屋根に設置された1MW規模の太陽光発電システムは、太陽光発電の標準に照らして大規模とされることもあるが、他の形態の分散型発電では必ずしも大規模とは見なされていない。

系統連系形集中型太陽光発電システムは、集中型発電所として機能する。このシステムによる発電電力は電力顧客向けに連系されるものではなく、電力系統においても大容量電力供給以外の特定機能のために設置されるものでもない。地上設置が一般的で、近隣地区の開発とは無関係に機能する。

ハイブリッド・システムは、太陽光発電システムとディーゼル発電システムの長所を組み合わせ、ミニグリッド向けのハイブリッド応用である。燃料費の高騰による影響の軽減、運用コストの削減、従来の単独の発電システムと比べ高品質のサービス提供が可能となる。技術の融合により、例えば携帯電話の基地局のような遠隔地においても信頼性と費用効率の高い電源を提供できるという、新たな可能性をもたらしている。大規模ハイブリッド・システムは、現在ディーゼル発電を利用している大都市で利用可能であり、例えば中部アフリカでは、蓄電池と組み合わせで使用されているケースが多い。

独立形太陽光発電システム

独立形太陽光発電システムには、日射量が少ない時間帯に電力を供給するための蓄電池が必要

である。太陽光発電システムに使用されるほとんどの蓄電池はサイクル充放電型鉛蓄電池である。このほか、過充電や過放電に強いという利点がある電池（例：ニッケル・カドミウム電池、ニッケル水素電池、リチウムイオン電池）も適している。蓄電池の寿命は稼働方式や条件によって異なり、技術が進歩してはいるものの、通常5～10年である。

チャージ・コントローラ（レギュレータ）は、蓄電池を最適充電状態（SOC）に維持するために利用され、要求される電力量をユーザーに供給するほか、過放電または過充電から蓄電池を保護する。チャージ・コントローラの中には、太陽光発電システムの発電電力を最大化するために最大出力追従制御機能（MPPT）を一体化したものもある。交流電力が必要な場合には、「独立形インバータ」を用いて通常の交流機器に電力を供給することが可能である。

独立形住宅用太陽光発電システムは、電力事業者の配電網に接続されていない住宅や村落に電力を供給する。照明や冷蔵庫などの低電力負荷に電力を供給し、世界中で設置されている。配電網のない地域社会のエネルギー需要を満たすための最も競争力のある技術となりつつある。

独立形非住宅用太陽光発電システムは、地上用太陽光発電システムが最初に商業的に応用されたものであり、遠距離通信、揚水ポンプ、ワクチンの冷蔵、航行支援装置などの広範な応用の電源として利用されている。少量の電力が高い価値を持つ状況における応用であり、他の小型発電機に対する価格競争力を太陽光発電に持たせている。

主要な太陽光発電市場の開発に関する指標の調査方法

本報告書では、系統連系形及び独立形太陽光発電システム双方の設置容量を調査対象としている。慣例により、報告書の数値は太陽光発電システムの定格設置容量を示している。これらの数値はW（ワット）あるいはW_p（ワットピーク）で表記される。一部の国では、太陽光発電システム用インバータ（太陽光発電システムからの直流出力を一般的な電力系統と互換性のある交流出力に変換する機器）の容量（AC容量）を設置容量として報告している。標準の直流出力（W）（DC容量）と交流出力の差は最小で5%（変換損失）から最大で40%である（例えば、一部の系統規定では、太陽光発電システムの出力をピーク発電容量の65%に制限しているが、DC/AC比率の高さは電力事業用太陽光発電システムの進展状況を反映している）。最も正確な年間設置容量を算出するため、必要に応じてAC容量をDC容量に換算している。世界全体のデータは、正確な統計値というよりはむしろ傾向として認識すべきである。また、IEA PVPS非加盟国のデータは様々な情報源から入手しており、一部は貿易統計に基づいている。

世界で設置された太陽光発電システムのうち、一定の寿命を迎えつつあるシステムのシェアが増加している。太陽光発電システム設置の最初のブームは1990年代に遡ることから、太陽光発電システムの設置容量と発電量を計算する際には、性能損失と稼働停止を考慮する必要がある。

本報告書においては、電力需要に占める太陽光発電の寄与率は、太陽光発電累積設置容量、発電量の平均的理論値及び電力需要に関する最新の世界的なデータによって推計されている。一般的に、太陽光発電の寄与率は、特定の国や地域における市場力学を反映する最良の指標のひとつである。世界の太陽光発電寄与率の水準に地域間格差は反映されていないが、太陽光発電技術によって世界的な電力の需要増に対応できるということを示唆するものである。そのため、気候目標などを考慮するに当たり、太陽光発電の寄与率は市場成長の絶対値よりも良い指標となる。



2章 太陽光発電市場の発展動向

太陽光発電市場の発展が始まって以来、世界全体では2020年末までに767GW超の太陽光発電システムが設置され、このうち約70%は過去5年間に設置された。長い年月の間に、ますます多くの市場が世界における太陽光発電システムの設置の増加に貢献するようになり、2020年には、新たに大規模導入を実現した国の数が過去最多となった。

太陽光発電システムの設置の大部分は系統連系形であり、変動性のある太陽電池モジュールの直流 (DC) 出力を交流 (AC) 出力に変換して電力系統に逆潮流するインバータが設置されている。本報告書では、太陽光発電システム設置データの報告値は基本的にDCである (1章も参照)。国による公式の報告値がACである場合は、整合性を保つために本報告書ではDCに変換している。公式の報告がACである場合は、本報告書では容量をMW (AC) あるいはMW (DC) で示す。原則として、MWはDC容量を示している。

太陽光発電システムの登録については、IEA PVPSが報告書「Data Model for PV Systems」を発刊している (英文のみ。右記URLよりダウンロード可能)。

「Data Model for PV Systems
(太陽光発電システムの
データモデル2020年版)」
報告書のダウンロードはこちら。

https://iea-pvps.org/publications/?year_p=&task=&order=DESC&keyword=data%20model&cpt=&keytopic=



世界の太陽光発電システム設置容量

2020年末時点での世界の太陽光発電システム累積設置容量は767GWであった。

世界の太陽光発電システム年間設置容量：
前年比+31%成長

2020年の世界の年間設置容量については、現時点で一定の精度を持つ統計値は少なくとも145GWであるとみられる。新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の世界的流行（パンデミック）に関連して生じた混乱により市場の発展が遅れた国もあったとみられるが、太陽光発電システムの設置容量は過去最高を記録した。2020年上期の遅れを下期に挽回するケースもあったため、パンデミックが及ぼした実際の影響を把握することは困難である。一部のプロジェクトが遅延した可能性があるとは推測するのが合理的であろう。

IEA PVPS加盟国全体の太陽光発電システム年間設置容量は107.7GWであった。2020年のIEA PVPS加盟国は、オーストラリア、オーストリア、ベルギー、カナダ、チリ、中国、デンマーク、フィンランド、フランス、ドイツ、イスラエル、イタリア、日本、韓国、マレーシア、メキシコ、モロッコ、オランダ、ノルウェー、ポルトガル、南アフリカ、スペイン、スウェーデン、スイス、タイ、トルコ、米国である。

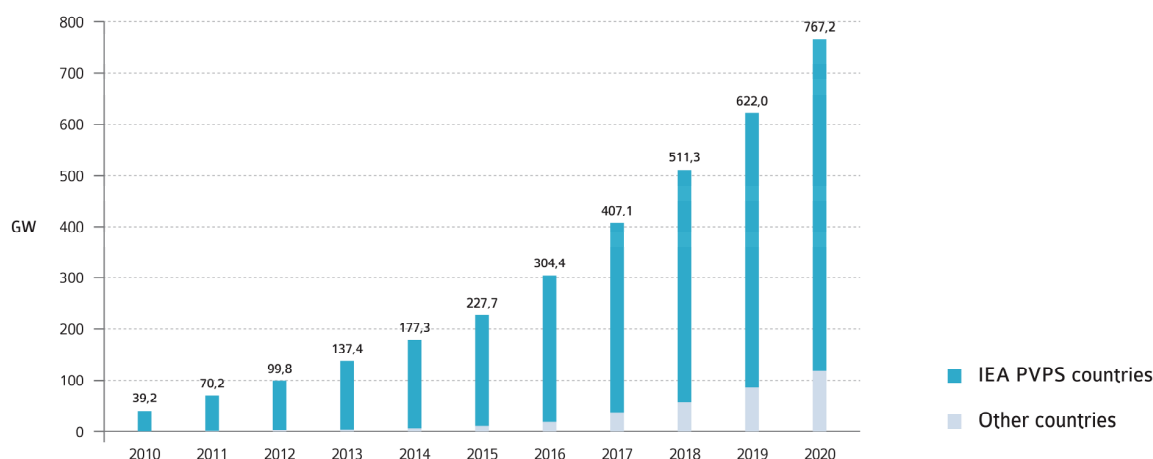


図2.1 世界の太陽光発電システム累積設置容量（GW）

出典：国際エネルギー機関・太陽光発電システム研究協力プログラム（IEA PVPS）、その他

IEA PVPSに加盟していない主要市場の累積設置容量は、2020年末時点で計148.2GWと考えられている。このうちインドの累積設置容量は47GWで、約3分の1を占めている。ベトナムは、2年にわたる太陽光発電システムの大量導入の結果、累積設置容量が16.5GWに到達した。残りは主に欧州における設置で、以前から設置の多かった市場に加えて新興市場における設置が貢献している。累積設置容量はそれぞれ、英国が約13.9GW、ウクライナが6.5GW、ギリシャが3.4GW、チェコが2.0GW、ルーマニアが1.5GW、ポーランドが3.9GW、ブルガリアが約1.2GWである。2020年末時点における累積設置容量上位を占めたその他の主要国かつIEA PVPS非加盟国は、ブラジル（7.5GW）と台湾（6GW）であった。世界中の多くの国が太陽光発電の開発に着手しているが、上記以外の国で2020年末時点の累積設置容量が大幅に拡大した国はほとんどない。アフリカ（エジプト、南アフリカ）や中東（アラブ首長国連邦（UAE））では新規開発によりGW規模の大量導入が進み、

南アフリカで4.2GW、UAEで2.8GW、エジプトで3.1GWが導入された。

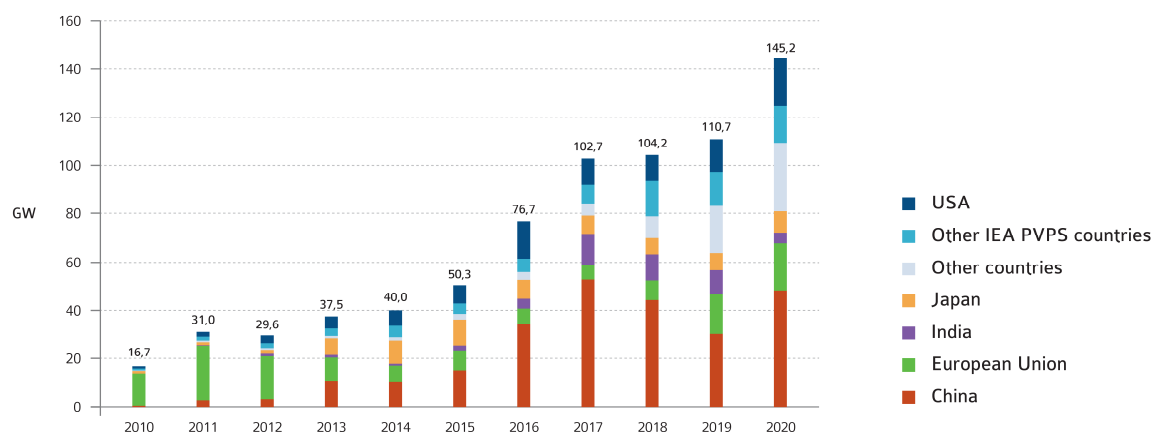


図2.2 世界の太陽光発電システム年間設置容量 (GW)

出典：IEA PVPS、その他

人口1人当たりの太陽光発電システム設置容量

人口1人当たりの太陽光発電システム設置容量では、オーストラリアがわずか数年で810W/人と世界最多を達成した。

ドイツは648W/人で第2位、次いで日本とオランダが571W/人で同率3位であった。

ベルギー (523W/人) が第5位、イタリア (365W/人) が第6位であった。スイス (343W/人)、マルタ (324W/人) が続き、ギリシャ (316W/人)、韓国 (306W/人) までの上位10ヶ国である。

大型の太陽電池モジュール1枚の出力は500W程度である。

人口1人当たり設置容量はオーストラリアが **810W/人** で世界最多

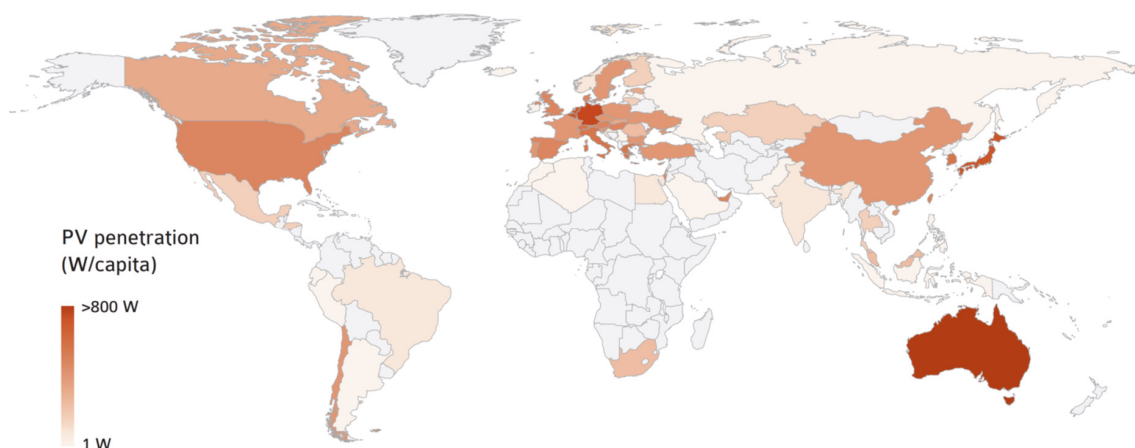


図2.3 人口1人当たりの太陽光発電システム設置容量 (W/人) (2020年)

出典：IEA PVPS、その他

太陽光発電システム年間設置容量の進展

IEA PVPS加盟国では、2020年に合計で少なくとも107GWの太陽光発電システムが新規に設置された。IEA PVPS非加盟国については、高精度で追跡を行うことはさらに困難であるが、同年に推定38GWが設置された。2020年の注目すべき動向は、パンデミックが一部の国で市場の発展を遅らせた可能性があるにもかかわらず、世界の太陽光発電市場が成長を遂げたことである。2019年同様、新興市場の成長が2020年の世界市場の成長に貢献した。

中国は、国家能源局によると8年連続で世界最大の太陽光発電市場となり、2020年には48GW以上を設置した。この水準は2018年及び2019年の導入量と同水準、あるいはそれを上回るものであった。累積設置容量は253.6GWに達し、世界最大市場の座を維持している。2020年の中国の年間設置容量は世界全体の33%を占めた。

世界第2位の欧州連合（EU）は、3年連続成長を遂げており、2020年に19.8GWの太陽光発電システムを設置し、2011年に記録した23.2GWに近づきつつある。2020年の主要市場はドイツ（4.9GW）、スペイン（3.5GW）、オランダ（3GW）で、ポーランド、フランス、ベルギーほか、数ヶ国がこれに続いた。

欧州連合（EU）をまとめて単一の市場と捉えるか、あるいは個々の市場の集まりとして捉えるかは、編集を担う執筆者の選択に委ねられている。EU各国の太陽光発電市場を国別にみた場合、ドイツは5位、スペインは9位、オランダは10位である。この場合でも、上位10ヶ国が世界の太陽光発電市場の77%を占めるという本章全体の結論は変わらない。

米国は2020年に19.7GWを設置して第3位となった。2018年及び2019年と比較すると大幅な成長であり、過去最多となった。電力事業用及び住宅用太陽光発電システムの設置容量はいずれも2019年を上回った。2020年末時点の累積設置容量は95GWに達した。

世界第4位は、11.1GWを設置したベトナムであった。設置容量の大半は分散型太陽光発電システムであった。2年連続で高水準を達成したことも重要だが、ベトナムの太陽光発電に対する意欲が市場の大きな進展につながった。市場の高成長は、市場統制の必要性和、大量の太陽光発電容量を急速に設置する能力の双方を同時に浮き彫りにしている。

日本は、2015年の10.8GWという記録的な設置容量と比較すると低水準ではあるものの、2020年には対前年比で微増となる8.7GWを設置した。

2020年の世界の年間設置容量に占める上記5ヶ国・地域の合計設置容量の比率は約75%となり、2018年の73%に匹敵し、2019年を上回るレベルであった。上記5ヶ国・地域が世界の累積設置容量に占める比率は75%である。世界の太陽光発電市場の一極集中は再び加速しており、設置容量の比率では、新興市場は従来の主要市場には及ばなかった。

上位5ヶ国に次いで、インドが4.4GWを導入した。この公式数値は、AC/DC比率に関するIEA PVPSの推定を用いた公式のACデータに基づいて再計算されたものである。2020年末時点の累積設置容量は47GW（DC）に達した。

オーストラリアでは、2019年の4.9GWをわずかに下回る4.5GWが2020年に導入された。人口を踏まえると驚異的な水準である。過去数年間にわたり、電力事業用太陽光発電システムの設置ブームとともに分散型太陽光発電システムに対する堅調な需要が見られた。2020年末時点の累積設置容量は20.8GWに達した。

韓国は2020年に過去最高の4.1GWを導入した。電力事業用太陽光発電所の比率が大きい。韓国は太陽光発電産業界でも重要な役割を担っており、Hanwhaなどの主要企業が複数存在している。

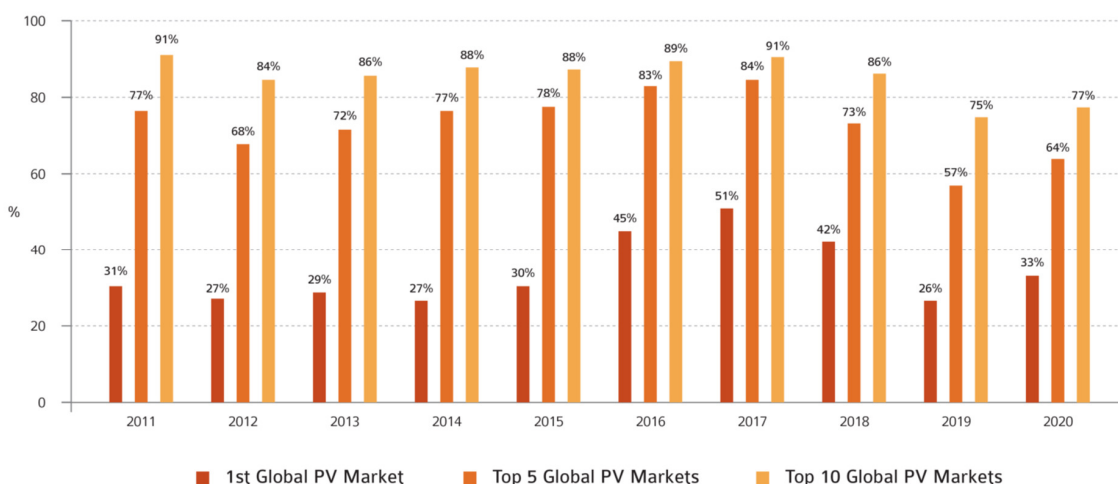


図2.4 上位国による市場シェア
出典：IEA PVPS、その他

ブラジルも、2020年に過去最高の2.9GWを導入して上位10ヶ国入りを果たした。太陽光発電市場の成長は長年にわたって停滞していたものの、今や世界の主要な太陽光発電市場のひとつとなり、これまでの水準をはるかに上回る導入の可能性を秘めている。

第10位の台湾は、数年間の停滞を経て、2020年には遂に成長を遂げ、約1.7GWを導入した。

上位10ヶ国の市場における設置容量の合計は、2020年の世界市場の約85%を占めている。世界の太陽光発電市場の成長は今なお限られた国々によって牽引されているものの、過去数年間に比べてその比率は減少しており、その他の国々の貢献が徐々に増え始めている。これまで、市場の一極集中は上位3ヶ国あるいは5ヶ国のいずれかの市場が停滞した場合の市場の安定性に対する不安を煽ってきた。図2.4に示す通り、2019年に市場の一極集中が順調に緩和した後、2020年に再び加速したが、これは主に中国の太陽光発電市場の成長によるものである。しかしながら、新市場が台頭するにつれて、中国を除いた世界の太陽光発電市場の不安定性が低下しており、その分リスクも小さくなっている。とはいえ、依然として中国市場の規模が世界の太陽光発電市場の進化を形作っている。2019年には、中国の停滞が他国の成長をほぼ打ち消し、世界の太陽光発電市場全体の成長は限定的なものとなったが、2020年は中国の設置容量が増加したことにより、世界全体の成長が最大化された。

上位10ヶ国に入るために必要な市場規模は2014年以降着実に拡大しており、2014年の843MWから、2018年には1.5GW、2019年と2020年には約3GWに増加した。これは、太陽光発電市場の世界的な成長動向を反映している一方で、年によって変動することも示している。

前述の通り、IEA PVPSは設置容量を直流（DC）容量で報告している。交流（AC）容量換算では、2020年の市場は約106GWとなる。この数値は（DC数値と同様に）、実際の数値の近似値であり、世界の全ての太陽光発電システムが同時に発電すると仮定した場合に、瞬時に発電できる最大出力の推定値である。この数値は指標に過ぎないため、いかなる場合もエネルギー生産量の計算に用いるべきではない。

表2.1 太陽光発電市場規模上位10ヶ国の変遷

順位	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年
1	イタリア	ドイツ	中国	中国	中国	中国	中国	中国	中国	中国
2	ドイツ	イタリア	日本	日本	日本	米国	インド	インド	米国	米国
3	中国	中国	米国	米国	米国	日本	米国	米国	インド	ベトナム
4	米国	米国	ドイツ	英国	英国	インド	日本	日本	日本	日本
5	フランス	日本	イタリア	ドイツ	インド	英国	トルコ	オーストラリア	ベトナム	ドイツ
6	日本	フランス	英国	南アフリカ	ドイツ	ドイツ	ドイツ	トルコ	オーストラリア	オーストラリア
7	ベルギー	オーストラリア	ルーマニア	フランス	韓国	タイ	韓国	ドイツ	スペイン	インド
8	英国	インド	インド	韓国	オーストラリア	韓国	オーストラリア	メキシコ	ドイツ	韓国
9	オーストラリア	ギリシャ	ギリシャ	オーストラリア	フランス	オーストラリア	ブラジル	韓国	ウクライナ	スペイン
10	ギリシャ	ブルガリア	オーストラリア	インド	カナダ	トルコ	英国	オランダ	韓国	オランダ
EUの 順位	1	1	2	3	3	4	5	4	2	2
上位10ヶ国に入るために必要な市場規模										
	426MW	843MW	792MW	779MW	675MW	818MW	944MW	1,621MW	3,130MW	3,036MW

出典：IEA PVPS、その他

他にも2020年に大幅な成長を遂げた国がいくつかある。そのうち、ベトナム、ブラジル、オランダなど一部の国は、過去数年の間上位10ヶ国に入っていた。メキシコ、トルコ、フランスをはじめとする多くの国々は、過去に数GWを導入し上位10ヶ国に入っていた時期もあったが、高水準の設置容量を維持することができず、上位10ヶ国に留まることができなかった。

2020年に、エジプトは2度目のGW規模の市場を達成した。主な要因は電力事業用太陽光発電所の完成で、2020年に1.5GW（DC）の太陽光発電システムを設置した。アラブ首長国連邦（UAE）では、世界で最も競争が激しかった大規模入札を通じて2020年に約1GWが設置された。自家消費政策はそれほど大きく貢献しなかったが、近い将来、補完的な牽引要因となる可能性がある。メキシコは、複雑な政策環境下で2020年に1.6GW（DC）を設置したが、今後数年間に市場が減速する可能性がある。しかし、これら3ヶ国における2020年の設置容量は大幅に減少した。

この他の国々でも、2020年には多くの太陽光発電システムが設置された。ポーランドでは2020年に約2.6GWの太陽光発電システム（主に小規模分散型システム）が設置された。台湾では約1.7GW（主に分散型システム）が設置された。トルコでは約950MW（DC）が導入された。ベルギーでは過去最高の1.1GWが導入された。

年間設置容量が1GWを超えなかったものの、相当な設置容量を達成した国は、フランス（0.97GW）、マレーシア（約900MW）、チリ（790MW）、イタリア（785MW）、イスラエル（590MW）である。

大部分の国では、累積設置容量には稼働を停止した太陽光発電所の設置容量が含まれている。これまでのところ稼働停止した太陽光発電所の設置容量は比較的少量であるものの、わずかなレベルで影響を与え始めており、一部のIEA PVPS加盟国の国家統計に誤差を生じさせる可能性がある。独立形太陽光発電システムは追跡が困難であり、大半の数値は推定値である。独立形太陽光発電システムでは、他の市場セグメントと比較して交換（リパワリングを含む）や廃棄が多く、数値の誤差につながる可能性がある。本報告書では、世界の年間・累積設置容量は様々な情報源を元に計算しており、最善を尽くしているものの、他の出版物とは数値が異なる場合がある。

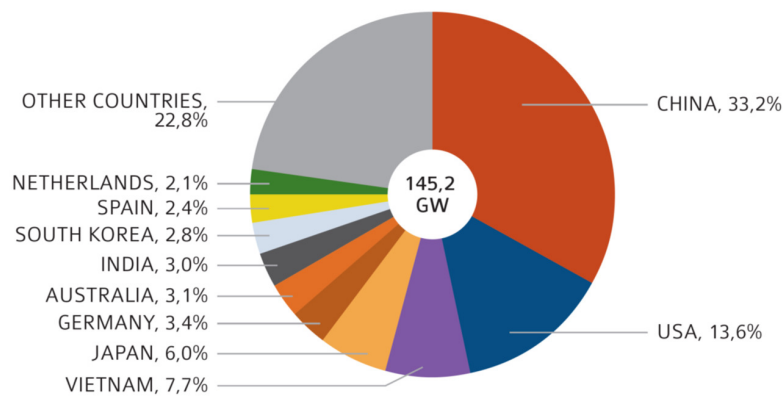


図2.5 2020年の世界の太陽光発電システム年間設置容量と国別比率
出典：IEA PVPS、その他

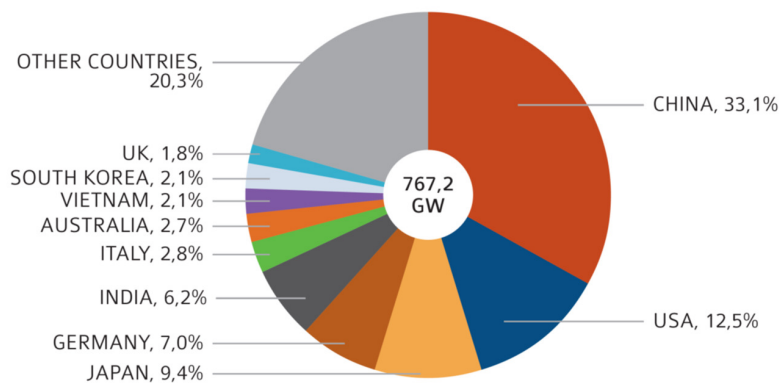


図2.6 2020年末時点の世界の太陽光発電システム累積設置容量と国別比率
出典：IEA PVPS、その他

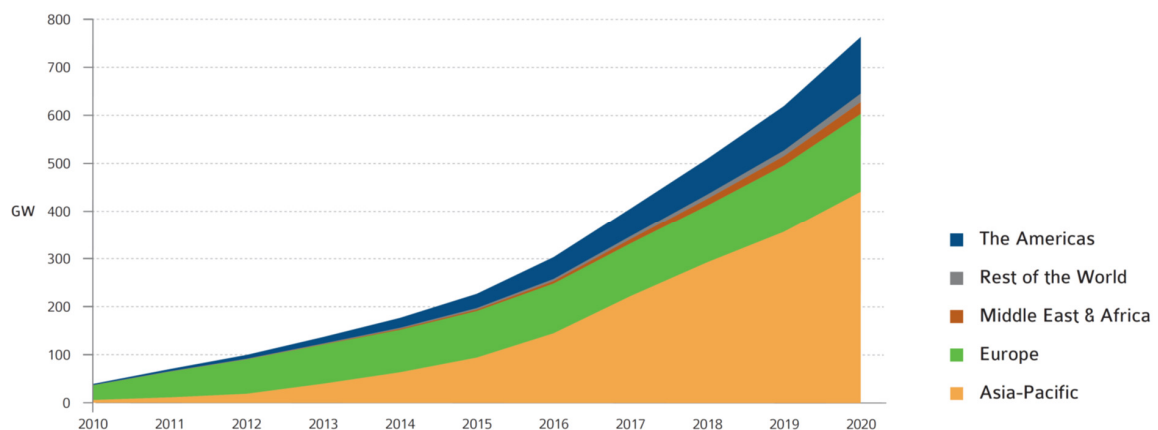


図2.7 地域別太陽光発電システム累積設置容量
出典：IEA PVPS、その他

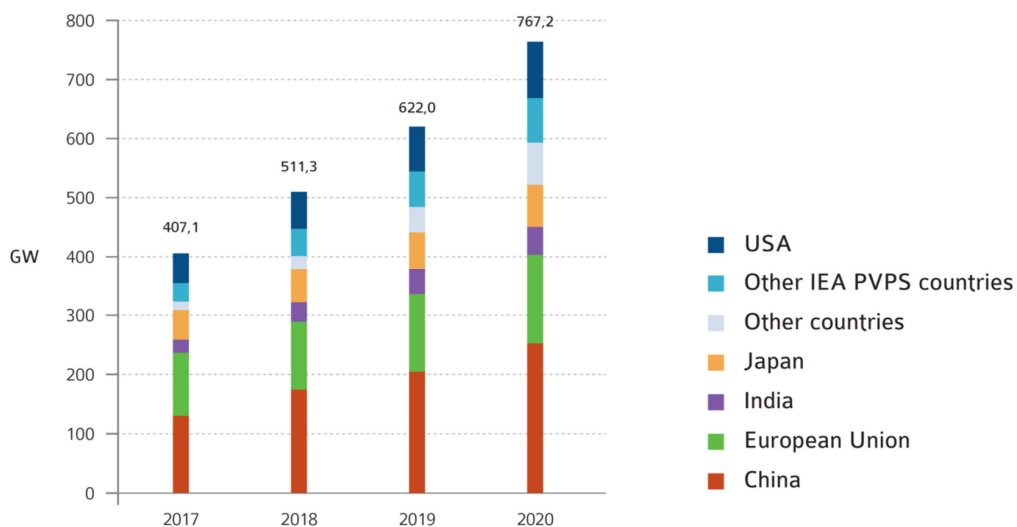


図2.8 国・地域別太陽光発電システム累積設置容量（2017～2020年）
出典：IEA PVPS、その他

太陽光発電の市場分野

2020年は太陽光発電にとって再び成長の一年となった。成長の要因は、既存の太陽光発電市場と近年太陽光発電市場が成長している国において、電力事業用太陽光発電プロジェクトが引き続き急速に増加したことである。大規模集中型システムに対して分散型システムの役割が過小評価されるべきではないが、電力事業用太陽光発電システムは今後も多くの国において発電の中心となる可能性がある。その主な理由としては、規模の経済性、送電コストの節約、自家消費向け設置の可能性が挙げられる。

2020年には、地上設置型電力事業用太陽光発電システムの設置が増加し、86GW超が設置された(2018年：64GW、2019年：70.5GW)。分散型太陽光発電システムの設置容量が2019年の41GWから2020年には59GWへと大幅に増加したものの、電力事業用太陽光発電システムは累積設置容量の約60%を占めた。これらの2つの主要分野のほか、独立形システムの設置や電力システムの末端（グリッドエッジ）における設置は増加している。

電力事業用太陽光発電：太陽光発電市場の成長の牽引役

電力事業用太陽光発電システムは、一般的に地上設置型（または水上設置型）である。電力を大量消費する施設や工場に隣接するなど、場合によっては発電電力を自家消費することも可能であるが、一般的に電力は系統に逆潮流される。

フィードイン・タリフ（FIT）制度がシンプルな制度であることから、入札制度の有無に関わらず、電力事業用太陽光発電システムは太陽光発電の新市場で成長している。最も競争力のあるプロジェクトを選定するために入札を実施する国が増加しており、これをきっかけに太陽光発電システムの発電電力の価値が大幅に低下し、太陽光発電開発の裾野が広がっている。太陽光発電電力を直接電力市場や需要家に販売する補助金を利用しない太陽光発電所（Merchant PV）や、需要家（企業）に直接販売するコーポレートPPAは多くの国で成長しているが、これまでその市場牽引力は限定的であった。

2020年の主要な動向のひとつとして、（卸電力市場や個人顧客への）売電収入のみで稼働する電力事業用太陽光発電所の開発が幅広く行われたことが挙げられる。このような開発は大半が財政的なインセンティブや政策決定からは自立しているため、実質的に無限のポテンシャルがある。一部の地域では、すでに系統の混雑による制約が生じている。系統連系を確保する目的で、可能な限り低価格の入札が行われる可能性があるため、ポルトガルなどでは入札方法の改定が行われている。

発電量を最大化するため、追尾システムを用いる電力事業用太陽光発電所の新設が増加しており、これと並行して両面受光型太陽電池モジュールの利用も比較的急速に増加している。入札における特定のルールや、卸売市場や系統サービス市場へのサービスを向上させたいという意欲に後押しされて、一部の国では蓄電システムの設置が進展している。2020年の世界の電力事業用太陽光発電所の設置容量は89GWで、2020年の市場全体の61%を占めた。また、電力事業用太陽光発電所の累積設置容量は453GWに達し、世界全体の累積設置容量の59%を占めた。

表2.2 集中型太陽光発電システム年間設置容量上位10ヶ国（2020年）

国名	導入量
中国	32.70GW
米国	14.46GW
日本	4.86GW
韓国	3.98GW
インド	3.53GW
スペイン	2.81GW
オランダ	1.95GW
ベトナム	1.55GW
エジプト	1.50GW
オーストラリア	1.42GW

出典：IEA PVPS

表2.3 集中型太陽光発電システム累積設置容量上位10ヶ国（2020年）

国名	導入量
中国	174.34GW
米国	59.76GW
インド	41.28GW
日本	27.13GW
韓国	14.65GW
スペイン	11.73GW
トルコ	9.49GW
ドイツ	9.10GW
イタリア	8.83GW
英国	7.80GW

出典：IEA PVPS

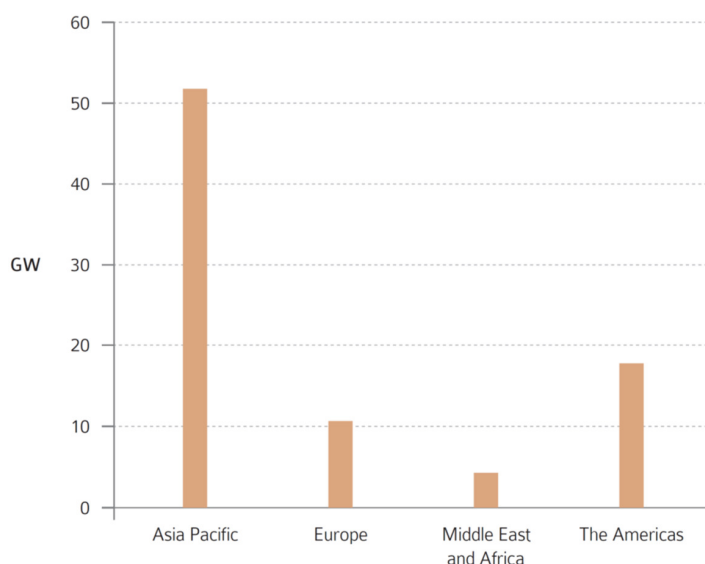


図2.9 地域別集中型太陽光発電システム年間設置容量（2020年）
出典：IEA PVPS、その他

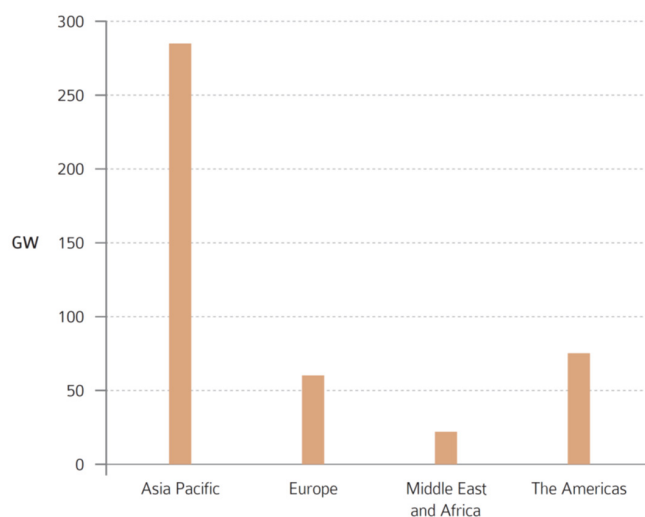


図2.10 地域別集中型太陽光発電システム累積設置容量（2020年）
出典：IEA PVPS、その他

プロシューマー：発電する消費者

プロシューマーとは、電力消費の一部を自身で発電する電力消費者である。

かつてはネットメタリング制度など純粋に経済的なインセンティブを動機としていたプロシューマーのセグメントが、自家消費のコンセプトに基づいた各種制度によって進化している。実際、太陽光発電に関する新たな制度では、消費電力と系統に逆潮流される電力を区別し、自家消費にインセンティブを与えているケースが多い。

自家消費制度を成功させるための重要な要素として、小売電気料金が挙げられる。小売電気料

金は今なお複数の国において人為的に低く抑えられている。化石燃料に対する補助金は現在も存在しており、自家消費を含む市場分野においても、太陽光発電システム設置の魅力が損なわれている。逆に言うと、太陽光発電市場は電気料金が値上がりするときに急速に成長する。全体的な傾向として、大部分の国では太陽光発電電力の自家消費が進展する方向に向かっており、多くは余剰電力に対価を提供する適切な制度（FIT制度、スポット市場価格に上乗せするフィードイン・プレミアム（FIP）、あるいはさらに複雑なネットビリング制度）を実施している。残念ながら、純粋な自家消費制度に向けた動きは、変化が急激である場合は特に、一時的に市場の停滞をもたらすことがある。しかし、市場が好況で信頼を取り戻せる場合には、自家消費は市場の牽引役になりうる。

2011年から2016年までの間、世界の分散型太陽光発電市場は約16～19GWと停滞していたが、**中国**の分散型太陽光発電市場が成長したことにより同市場は顕著な成長を見せ、世界全体で2017年の36GW以上から、2020年には49GWに増加した。

住宅用・業務用電力の消費者に向けて、共同自家消費や分散型自家消費を新たなモデルとして奨励している国が複数ある。同一建物・専有部分内の消費者が発電電力を共同利用する「共同自家消費」、公共電力系統の利用が義務づけられた地域内で消費者が発電電力を共同利用する「バーチャル（分散型）自家消費」が可能になることで、幅広い層の消費者が自家消費を利用できるようになる。こうした規制が効率的に実施されれば、プロシューマーは新たなビジネスモデルの開発が可能となり、雇用創出や地域の付加価値の創出、消費者やエネルギー・コミュニティ向けの電気料金の低下につながる。こうした発電モデルは、需給バランスを向上させ、太陽光発電システムの系統連系に好影響を与えるであろう。「バーチャル（分散型）自家消費」の場合、プロシューマーはオンサイトで集合的に電力を消費するグループを形成しているわけではない。系統利用料金を公平に負担し、離れた場所にある発電と消費が相殺されることを「バーチャル（分散型）自家消費」と呼称する。

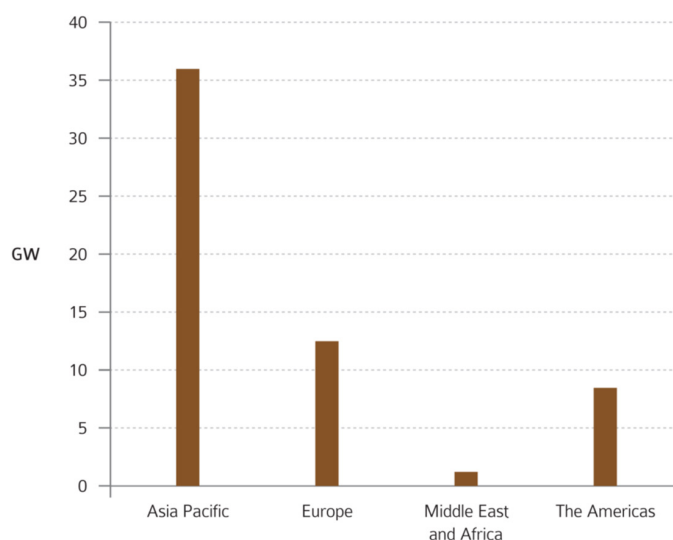


図2.11 地域別分散型太陽光発電システム年間設置容量（2020年）

出典：IEA PVPS、その他

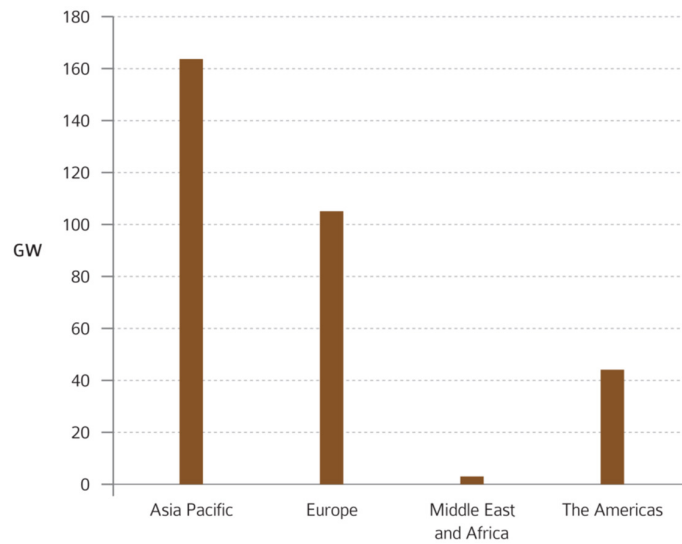


図2.12 地域別分散型太陽光発電システム累積設置容量 (2020年)
出典：IEA PVPS、その他

表2.4 分散型太陽光発電システム年間設置容量上位10ヶ国 (2020年)

国名	導入量
中国	15.50GW
ベトナム	9.58GW
米国	5.27GW
日本	3.82GW
ドイツ	3.69GW
オーストラリア	3.06GW
ブラジル	2.26GW
オランダ	1.09GW
ベルギー	1.03GW
インド	0.86GW

出典：IEA PVPS

表2.5 分散型太陽光発電システム累積設置容量上位10ヶ国（2020年）

国名	導入量
中国	78.94GW
ドイツ	44.81GW
日本	44.56GW
米国	35.73GW
オーストラリア	13.31GW
イタリア	12.82GW
ベトナム	9.96GW
フランス	6.31GW
インド	6.07GW
ベルギー	5.86GW

出典：IEA PVPS

太陽光発電の新興市場分野

2020年には、主に中国、米国及び新興市場に牽引され、集中型太陽光発電システムが引き続き世界市場の60%を占めた。前年同様、2020年も極めて競争力の高い入札が実施され、太陽光発電電力価格は過去最低を更新した。新たな競争入札が電力事業用市場の進展に貢献した。一方で分散型太陽光発電市場も2020年に約59GWと顕著に拡大し、このうち中国だけで15.5GWが設置された。イスラエルやヨルダンでの適切な政策の導入によって、中東で分散型太陽光発電市場が立ち上がったことは注目に値する。

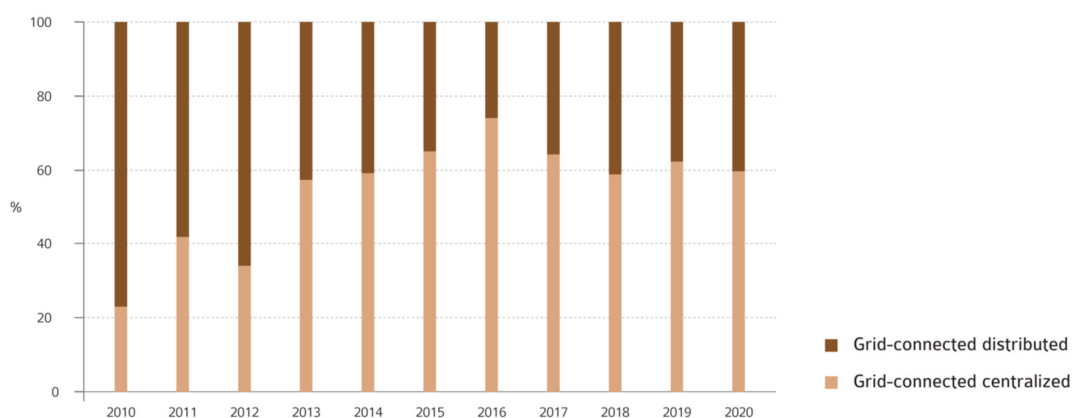


図2.13 年間設置容量における系統連系形太陽光発電システム（集中型・分散型）の比率（2010～2020年）

出典：IEA PVPS、その他

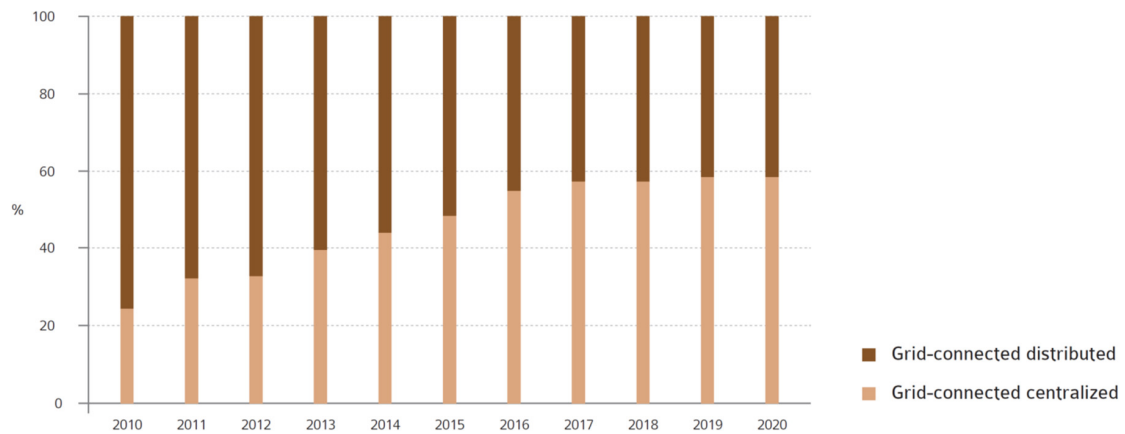


図2.14 累積設置容量における系統連系形太陽光発電システム（集中型・分散型）の比率
（2010～2020年）

出典：IEA PVPS、その他

欧州市場では初期段階から住宅用太陽光発電システムへのインセンティブを導入していたが、新興市場では初期段階から電力事業用太陽光発電システムが太陽光発電開発の大部分を占めている。これには様々な要因がある。電力事業用太陽光発電プロジェクトでは、開発事業者や金融機関は発電所を比較的短期間に建設する必要がある。そのため、電力事業用太陽光発電システムは、分散型太陽光発電システムよりも早く電力供給を開始することができる。さらに、一部の地域では入札が太陽光発電電力の魅力をより一層高めている。しかし近年では、新興市場において屋根設置型太陽光発電システムにインセンティブを付与する複数の政策が実施され、また既に確立された一部の市場においても、屋根設置型太陽光発電システムを対象とした入札が実施されるなど、電力事業用と分散型、双方が推進されている状況である。

水上設置型太陽光発電（FPV）：新たに台頭する太陽光発電市場分野

シンガポール国立大学（NUS）附属シンガポール太陽エネルギー研究所（SERIS）のデータによると、2020年には世界で688MWの水上設置型太陽光発電（FPV）システムが導入され、2021年には世界のFPVシステムの累積設置容量が3GWを超えた（図2.15参照）。SERISは、世界中で稼働中のプロジェクト約700件、計画・開発・建設段階のプロジェクト300件超に関するデータベースを保有している。

FPVは欧州、特にオランダ、フランス及び英国においても導入されているが、これまでのところ大半はアジアにあり、85%以上が東アジア及び東南アジアで導入されている。人口密度の高い地域では、水域とロードセンターが近接していることが利点となる場合が多い。従来の地上設置型太陽光発電システムでは、工業や農業との用地の取り合いや、土地代が高く採算が合わないという問題点があった。日本でFPVが早くから採用され、今日でも最多のFPVプロジェクト（約200件）が存在するのはこうした状況が背景にある。FPVはシンガポールのような都市国家への導入も可能で、同国では2021年6月に60MWのFPVシステムが稼働を開始した。また、140MWの追加導入に向けた検討調査のための公募を実施した。世界全体では、FPVの累積設置容量は中国が合計1.3GWと最大で、多くのプロジェクト開発事業者が、炭鉱跡地に地下水がたまってできた水域を利用し

てFPVプロジェクトを開発している。このような炭鉱跡地は地盤が沈下しているため工業や農業には適さない不安定な土地とみなされており、また生物の活動も不活発で太陽光発電システム導入による環境への影響が少なく済むことから、FPVプロジェクトの建設用地としてある程度理想的である。

FPVにとってさらに大きなビジネスチャンスとなるのは、既存の水力発電ダムと組み合わせた開発である。FPVと水力発電の双方が稼働する場合は（単に水力発電用のため池にFPVを設置する場合と比較して）なお好条件である。日中に太陽光発電をし、夜間に水力発電用の水をためるといった1日のサイクルに加えて、乾季と雨季がある地域では季節ごとの利点がある可能性もある。タービンやそのリアクションタイムによっては、（雲の動きに起因する）太陽光の短期的変動性を緩和し、ため池を巨大電池として利用することも可能である。公表されているFPVプロジェクト（タイ（3.5GW）、韓国（2.1GW）、ラオス（1.2GW）等）の多くは、水力発電用のため池に設置されるものである。

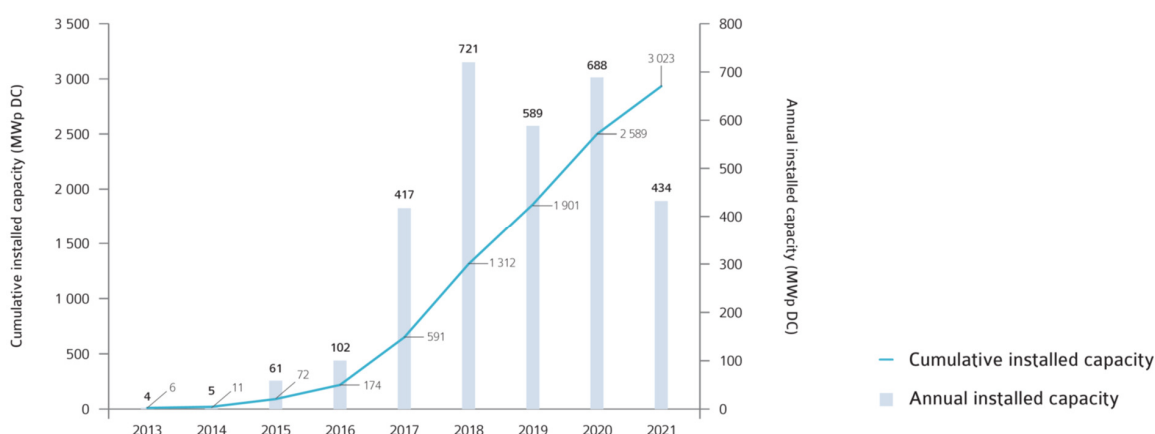


図2.15 水上設置型太陽光発電（FPV）システム設置容量（2013年～2021年第3四半期）

出典：IEA PVPS、その他

このほかに関心が高まっている分野が、沿岸部や洋上に設置されるFPVプロジェクトである。これらを実現するには更なる課題も予想されるが、同時に無限とも言えるチャンスがある。潮流、豊かな海洋生物、風、波、塩水などのあらゆる条件を考慮しなければならないため、環境面での課題が多数ある。しかし、沿岸部のFPVだけでも莫大なチャンスがあり、例えば沿岸付近の居住地域や港に近いロードセンターでエネルギーハーベスティング（環境発電）を行うことで、未利用の広大な土地を活用することができる。洋上FPVの場合、課題やコストはさらに大きくなるが、それでも石油やガスのプラットフォームへの電力供給や、洋上風力発電所の風車間の広大な水域の有効活用等の用途が考えられる。このようなケースでは、FPVプロジェクトは既存の送電インフラを利用することができる。また、太陽光発電と風力発電は利用可能な資源を相互に補完できる場合が多いという利点もある。このようなFPVの実証実験第一弾の準備が、オランダとベルギーで進められている。

稼働中のFPVシステムに使用されているフロートは、大半が高密度ポリエチレン（HDPE）プラスチック製フロートで、Ciel & Terre（仏）とSungrow FPV（中）が合わせて50%以上の市場シェア

を占めている。市場に参入する企業は増えているが、各社の設計は異なっている。例えば、Zimmermann PV-Stahlbau（独）はフロートと金属構造を組み合わせた設計で、Ocean Sun（ノルウェー）は大型プラスチックリングで膜を固定する設計である。洋上利用に向け、Oceans of Energy（蘭）やSolarDuck（蘭）等がより堅固な設計の実証実験を行っている。

営農型太陽光発電（AGRI-PV）：農地の二重利用で急成長が見込まれる

農地での太陽光発電開発は電力事業用太陽光発電システムの開発当初から存在するが、作物が太陽光発電システムに取って代われ、土地利用の大部分が発電に移行していくケースもある。営農型太陽光発電は、農業従事者が農業を補完する追加的な収入源として太陽光発電を利用するという新たな視点を提案するものである。太陽光発電システムを作物や植物の上に設置するため、日射量が少なくても育つ作物の栽培が可能である。日照の多い地域では、より効率的な開発も可能になる。また、日照りによるダメージを受けた作物を回復させる、あるいは他の地域では採算が取れない作物を育てるといった、新たなビジネスモデルの可能性もある。こうした農地の二重利用では、水平から垂直に太陽電池モジュールの傾斜角を変えられることができ、天候次第で太陽光発電電力量や作物の収穫量を最大化することができる、従来型とは異なる種類の太陽光発電システムが求められる。営農型太陽光発電を定義することは困難である。農地に設置された既存発電所の大半は、営農型発電所として適格とはいえない。一般的な営農型太陽光発電所について、太陽光発電所であることを強調するのではなく、農業と太陽光発電という土地の複合利用を実現する太陽光発電所であると定義したい。2020～2021年には、営農型太陽光発電を明確に定義し始める国（ドイツ等）や、規制強化による制約を設ける国が増加した。

建材一体型太陽光発電（BIPV）：市場の立ち上がりを期待

建材一体型太陽光発電（BIPV）市場は依然としてニッチな市場であり、正確に評価することは困難である。数多くのビジネスモデル、様々なインセンティブ、多種多様な建物や道路などのインフラがあることから、BIPV市場の評価は容易ではない。住宅の屋根瓦や屋根板、ガラスカーテンウォール、外壁ファサードに至るまで、BIPVは様々な技術による幅広い市場分野を網羅している。また、BIPV市場の規模は幅があり（BIPVの定義により異なるが）、欧州では年間300～400MW、世界ではおそらく1GWに到達しているとみられる。特注品と従来型合わせガラス太陽電池モジュールとの相違を評価することは困難である。特注の架台を用いた従来型太陽電池モジュールを採用する簡易なBIPVは、2020年に多くの欧州連合（EU）諸国で成長を遂げた。また、米国や欧州の一部の国々で見られる既製の屋根瓦などの量産品と、受注生産される特注の建築資材との間でも市場が分割されている。

独立形市場の発展

通常、独立形太陽光発電システムに関する統計は、系統連系形太陽光発電システムと同じレベルの精度をもって記録されていない。系統連系形太陽光発電システムの急速な普及により、独立形市場が相対的に縮小したため、独立形市場及び電力システムの末端（グリッドエッジ）市場を、系統連系形市場と比較するのは困難である。しかし、アジア、アフリカや中南米を中心とした村落

電化プログラムに牽引され、独立形太陽光発電システムは過去と比較して急速に進展している。

アジアとアフリカのいくつかの国では、遠隔地に電力システムを整備することの代替手段として、バックアップ・システムを備えた独立形太陽光発電システムが利用されている。独立形システムは、以下の2種類に分類される。

- ・ **ミニグリッド**（孤立型電力網とも呼ばれる）：容量10kW～10MWの小規模発電。この電力網は1種類以上の再生可能エネルギー源（太陽エネルギー、水力、風力、バイオマス）を使用して発電し、国の送電系統から隔離された限られた数の消費者に電力を供給する。バックアップは、蓄電池やディーゼル発電機である。
- ・ **独立形システム**：中央の配電網に連系されず、電化製品、住宅や小規模（製造）事業に電力を供給するもので、**ソーラー・ホーム・システム（SHS）**がその一例である。エネルギーをより長時間利用するためには、蓄電池も併設される。

この傾向は、年間を通じて太陽エネルギー資源が十分にあり、太陽光発電システムが利用可能な国特有のものである。こうした国では、太陽光発電システムは電力網がない市町村向け、あるいは農業用揚水ポンプ設備等に電力を供給するために設置されている。

太陽光発電は、従来型の系統が未整備の地域において、競争力のある電力供給の選択肢として、その存在感を増している。携帯電話が固定電話回線を持たない人々を繋いでいるのと同様に、太陽光発電は、特に「ラストワンマイル」（ユーザーへの電力供給の最後の区間）に到達するために、複雑でコストのかかる電力システムを構築することなく電力を供給する手段として認識されている。開発途上国においては、今後数年間に、照明用及びインターネットへのアクセスなどの通信向けに電力を供給する取り組みの中で、最も信頼性が高く有望な電源のひとつとして太陽光発電が推進されると予想される。

欧州、アジア及び米州の先進国の大部分ではこのような傾向は見られず、独立形応用の将来的発展は、おそらく離島においてのみ実現すると考えられる。

地域別の太陽光発電の発展状況

初期の太陽光発電の開発は、欧州、特にドイツでインセンティブが導入されたことから、欧州市場が大きく拡大し、2008年にピークを迎えた。2000年には約200MWであった世界市場の規模は、2004年の欧州市場の拡大により急成長を始め、2004年末までに約1GWとなった。2008年にはスペインが市場の発展に拍車をかけ、欧州全体で世界市場の80%超を占めるようになり、この状況は2010年まで継続した。さらに、欧州では2004年の約1GWから2007年には市場が倍増し、2009年には8GW、2010年には17GWに達した。

2011年以降は、アジア及び米州のシェアが急速に伸び始め、アジアが主導権を握るようになった。この展開は非常に顕著であり、現在も継続している。アジア太平洋地域のシェアは2020年には約58%で安定している。その後も引き続きアジアが太陽光発電の開発を主導しており、他の地域が追随している。

IEA PVPS 加盟国の詳細情報については、年次報告書（国内調査報告書（National Survey Reports、NSR）及びAnnual Report）を参照されたい。国別のさらなる詳細については、各国のIEA PVPS Task 1 代表にコンタクトされたい。

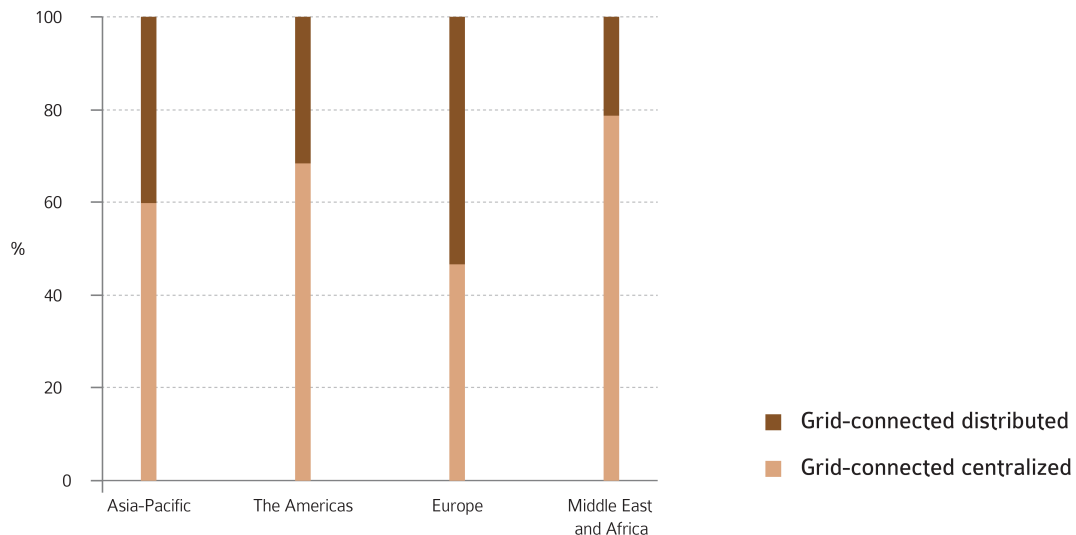


図2.16 系統連系形太陽光発電システム（集中型・分散型）の地域別年間設置容量比率（2020年）
出典：IEA PVPS、その他

米州（南北アメリカ大陸）

米州では2020年に26GWが設置され、累積設置容量は120GWとなった。大部分は米国における設置であるが、中南米の複数の国、チリ、ホンジュラスを筆頭に最近ではメキシコやブラジルで太陽光発電システムの設置が始まった。

米州では、**米国**を除いて、太陽光発電の開発は主に入札方式で進展している。分散型太陽光発電が複数の国で進展している。圧倒的な市場規模の**米国**を除くと、**カナダ**、**ホンジュラス**、**メキシコ**におけるストップアンドゴー政策（需要の喚起と抑制を繰り返す政策）などにより、近年は米州の多くの国で太陽光発電開発が不安定な状況にある。2020年は**チリ**と**ブラジル**の市場が活況であったが、**コスタリカ**や**グアテマラ**をはじめとする中米諸国でも市場の発展が見込まれている。

IEA PVPS加盟国以外では、**ブラジル**が依然として最も重要な市場である。2020年末時点における太陽光発電システム累積設置容量量は7.5GWで、大部分は分散型システムであった。

その他の国、例えば**アルゼンチン**では太陽光発電市場が進展し始めており、2020年の年間設置容量は320MWで、同年末時点の累積設置容量は約760MWとなった。最近では、**ペルー**、**ホンジュラス**、**コロンビア**でも数MWの導入が報告されている。

中南米の一部の国では、太陽光発電のための支援スキームが導入されている。**ドミニカ共和国**、**エクアドル**、**エルサルバドル**を中心に、系統連系される発電所の数が増加しており、**ウルグアイ**と**パナマ**がこれに続いている。これは米州に太陽光発電の時代が到来したことを示唆している。**ベネズエラ**のように電力ミックスにおける水力発電の比率が高い国では、太陽光発電が降雨による発電量の変動に対応するための手段となりうる。

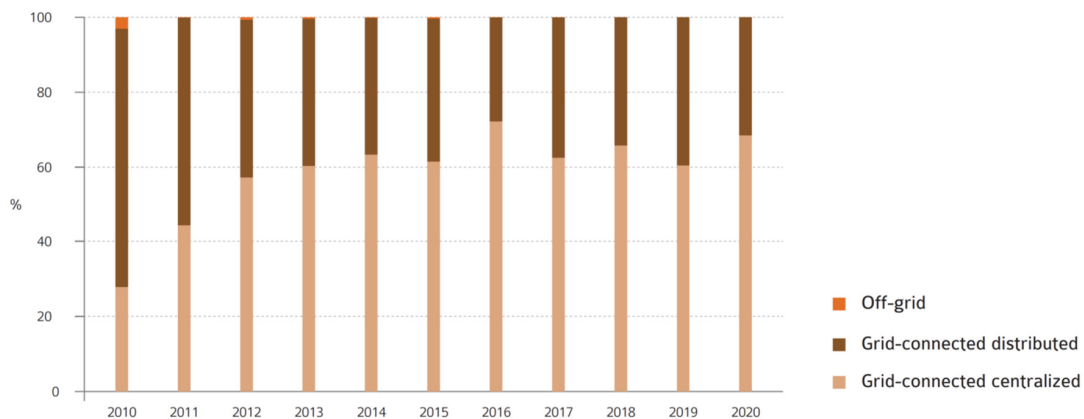


図2.17 米州におけるセグメント別の太陽光発電システム設置容量比率

出典：IEA PVPS、その他

アジア太平洋

アジア太平洋地域では2020年に約88GWが導入され、累積設置容量が約450GW超に達した。インド以外のアジア全域において市場は活況で、著しい成長を遂げた。アジア太平洋地域は、2020年の世界の太陽光発電システム新規設置容量の60%を占めた。

最も人口の多い大陸であるアジアは、以前から世界最大の太陽光発電市場に成長すると予測されていたが、それは比較的急速に実現した。過去数年の中国と日本の市場成長を別としても、アジアはIEA-PVPS加盟国であるオーストラリア、韓国、タイといった複数のGW規模市場を持つ地域となった。他国の太陽光発電市場が停滞する一方で、中国の太陽光発電市場の規模は大きく、同国はアジア及び世界の太陽光発電市場の中で最も優勢な国となった。

IEA-PVPS加盟国以外では、設置容量とポテンシャルの点で最大の市場はインドである。人口の多さと電化の必要性という点を踏まえると、インドは少なくとも中国と同等もしくはそれ以上のポテンシャルを秘めていると考えられる。インド市場は過去数年で発展したが、年間設置容量は10GW付近で停滞し、その後一連の行政的な課題や困難から2020年には4.4GWまで低下した。また、タリフの上限やセーフガード関税などいくつかの政策変更が、ルピーの下落と相まって入札手続きに影響を及ぼし、2018～2019年には入札ラウンドにほとんど応札者が現れない事例や、オフテイカー（電力を調達する電力会社や需要家）が不足した事例があった。インド政府は明確に太陽光発電支持を表明している。特に、2022年の再生可能エネルギー導入目標を225GW（太陽光発電は100GW）に引き上げたことから、急速な発展にはさらなる政策変更が必要となることを示唆している。2020年末時点で、インドの太陽光発電システム累積設置容量は47GW（DC）であった。モディ首相率いる国際太陽光同盟（ISA）は120ヶ国以上の支援を受け、2030年までに1,000GWを加盟国（新興国）に導入することを目標としている。

ベトナムでは、2019年に太陽光発電市場が本格的に始動し、同年の設置容量は5.2GW（DC）超となった（累積設置容量は5.3GW（DC））。2020年には11.1GW（DC）以上が導入され、市場は急速に成長した。このうちの大部分が屋根設置型太陽光発電システム（9.2GW（DC））であったが、電力事業用太陽光発電所（水上設置型太陽光発電（FPV）システムを含む）も1.6GW導入され、累

積設置容量は16.45GW（DC）に達した。政府は、電力事業用、屋根設置型、水上設置型太陽光発電システムのフィードイン・タリフ（FIT）を2020年に改定した。これにより、電力事業用市場のさらなる成長が可能になるとみられる。FIT制度に対して開発事業者は前向きな反応を示し、2019～2020年には政府の2020年の期待値（800MW）をはるかに上回る大規模な開発が行われた。今後数年間に同国の電力需要が急増すると予想される中、2030年の目標である12GWは、大幅な前倒しで達成された。

台湾は、2019年に1.6GW、2020年には約1.7GWを設置しており、累積設置容量は約6GWに達している。市場は20年間の買取を保証するFIT制度によって支えられている。大規模システム及び地上設置型システムは、競争入札による認可が必要である。FPVプロジェクト及び高効率太陽電池モジュールを使用するプロジェクトについては、より高額なFITが適用される。

太陽光発電システムの設置容量がGW規模に到達したこれらの3ヶ国に加えて、入札によって電力事業用太陽光発電システムの導入が牽引されているインドネシア、フィリピン、ネパール、カザフスタン等のアジア諸国においても市場は活況を呈している。

バングラデシュ政府は、人口の約半数が電気を利用できない状況にあることから、ソーラーホームシステム（SHS）やソーラーミニグリッドの開発に注力してきた。太陽光発電システムの価格低下と、入念に計画されたマイクロクレジット制度のおかげで、独立形太陽光発電システムの設置が近年爆発的に増加した。同国は2021年までに3.2GWの再生可能エネルギー導入（うち太陽光発電は1.7GW）を目標としている。

このほかにも、それぞれのペースで市場が拡大している国がある。パキスタンでは、2022年までに5GWの太陽エネルギー・システムを導入するという目標を政府が発表したことにより、今後数年でさらなるプロジェクトが稼働を開始すると予想される。

また、シンガポールの2020年末時点の累積設置容量は430MWであった。

アジアは多様性に富んだ大陸であるため、太陽光発電市場の発展からその傾向を導き出すことは困難である。しかし、インドで見られるように課題は山積しているが、市場動向は活発であり、エネルギー転換の目標に合致した太陽光発電の巨大市場は実現しつつある。この点で、アジアは太陽光発電市場の上位の座を維持し続け、太陽光発電の世界的な導入拡大への道を開き続けるであろう。

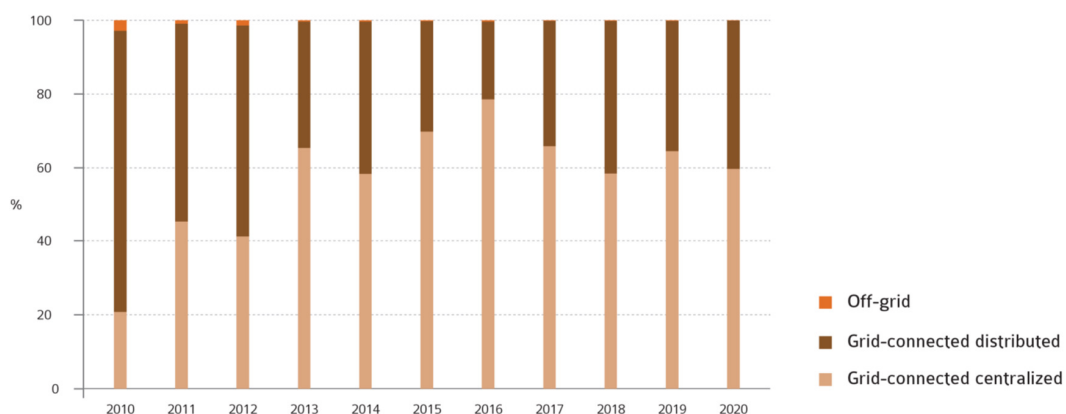


図2.18 アジア太平洋地域におけるセグメント別の太陽光発電システム設置容量比率
出典：IEA PVPS、その他

欧州

今世紀初頭、欧州は長年にわたり太陽光発電の発展を先導し、2012年までは世界の太陽光発電市場（累積）の70%以上を占めてきた。2013年から2017年には、アジアや米州を中心とした欧州以外の地域で太陽光発電システムの導入が急速に進展してきた一方で、欧州における設置容量は減少した。太陽光発電が急速に発展したことにより、エネルギー分野の多くの利害関係者から強い反発を招き、一部の国において市場が急激に縮小した。さらに、一部の国においては、買取価格の過激な減額や追加課税により、地域社会における太陽光発電システムの設置コスト低減を目的とした施策が実施された。このような現象は、世界の他の地域より先に太陽光発電の開発が速い速度で進んでいた欧州を中心に起きていた。スペイン、イタリア、チェコ、ベルギー、フランスなどでは、開発事業者やプロシューマーの信頼に影響を及ぼす複数の施策が導入された。

しかしその後、大部分の国で状況が徐々に改善され、欧州における太陽光発電システムの設置容量が増加した。2020年の動向も同様であった。競争力の向上と新たな政策によって欧州では2020年に太陽光発電市場が再び成長し、24GWが導入されて世界の太陽光発電市場の16%を占めた。欧州諸国の2020年末時点の累積設置容量は167GWに達し、世界第2位の規模となった。エネルギー市場の一部において共通の規制枠組みの恩恵を受けている欧州連合（EU）及びその加盟国と、独自のエネルギー規制を持つEU非加盟国とを区別することが重要である。

多くの欧州諸国では、FIT制度により太陽光発電市場の成長が始まった。ここ数年で、電力事業用太陽光発電では入札が標準となったが、分散型太陽光発電では自家消費（または、その類似の導入モデル）に移行した。これらは欧州における典型的な傾向ではないが、他の地域に比べて自家消費の進展は速い。共同自家消費・オフサイト自家消費が、複数の国々で進展している。過去には他の地域と比較してBIPVがより奨励されていたが、数GWが設置されて以降、BIPVはニッチな市場に留まっている。一部の国において、簡易型BIPVは順調に発展しているようである。スペインとドイツでは補助金を利用しない電力事業用太陽光発電が成長し、近い将来、大きな市場シェアを獲得する可能性がある。2020年、ポルトガルでは入札において適正額を下回る落札額が報告されたが、これは系統連系により売電だけでなく他の事業機会が生じることを示している。

欧州連合（EU）

・政策の枠組み

2018年12月に改定された欧州再生可能エネルギー指令（RED II）では、「2020年までに20%」としていた再生可能エネルギー比率目標を「2030年までに32%」に引き上げた。2019年に導入された欧州グリーンディールは、クリーンな循環型経済に移行することで資源の有効利用を促進し、生物の多様性を回復させて環境汚染を軽減することを目的とした行動計画である。欧州グリーンディールの柱となるのが、2050年までの気候中立の達成である。2020年9月、欧州委員会（EC）は2030年の気候目標を引き上げ、2030年の温室効果ガス（GHG）排出削減目標（1990年比）を55%とすることを提案した。提出された影響評価は、気候に関するこうした野心的な取り組みが実際に増加しており、経済的にも実現可能であることを示している。同影響評価によると、GHG排出量の削減目標である55%を達成するには、再生可能エネルギーの比率を約38.5%に引き上げる必要がある。

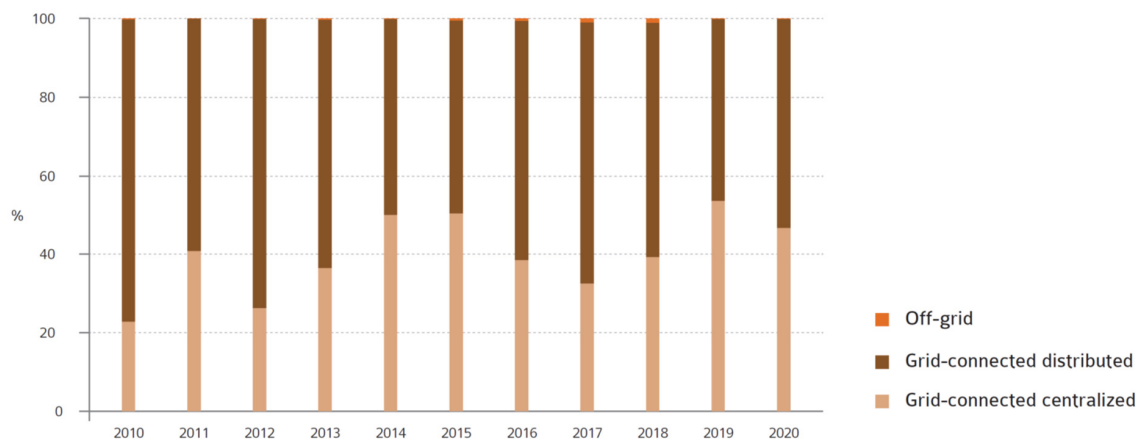


図2.19 欧州におけるセグメント別の太陽光発電システム設置容量比率
出典：IEA PVPS、その他

2021年5月31日に欧州理事会は、EUのすべての加盟国による復興レジリエンス・ファシリティ（RRF）の承認に関する正式な通知を受領した。次期長期予算と合わせると、2020～2027年の支出は2兆200億ユーロ（2兆4600億ドル）となる。

RRFの支援を受けるには、EU加盟国は各国の復興レジリエンス計画を策定し、2021～2023年の改革・投資アジェンダを策定する必要がある。各国の復興レジリエンス計画において、気候変動対策に充てる予算の比率を計画全体の予算額の37%以上とすることが求められる。

復興レジリエンス計画では、新たな国家レベルの再生可能エネルギー普及目標は設定されておらず、技術的、社会経済的、行政的な戦略プロジェクトをひとまとめにして記載している。大部分の国の復興レジリエンス計画には、太陽光発電システムの設置支援施策が盛り込まれており、再生可能エネルギー源によるグリーン水素の生成を目標として掲げている国もある。さらに、様々な計画に盛り込まれている輸送部門の電化を実現するには、さらなる再生可能エネルギー電力が必要となる。屋根設置型太陽光発電システムについては、複数の国が計画に盛り込んでいる（建物の改修に関するものが多い）。しかし、太陽光発電と風力発電の目標は合計値として示される場合が多く、各技術の目標値の算出は困難である。

総じて、復興基金は太陽光発電の普及促進にプラスの影響を与えることになるであろう。これは、2030年までにGHG排出量を1990年比で55%削減するという新たな目標を達成するためのEUの政策提案である「Fit for 55」一括法案の一部として、現行の再生可能エネルギー指令の改正で補完されるであろう。複数の国ではすでに、エネルギー転換の実現に向けたより野心的な目標達成期日を設定している。

キプロスの復興計画には、領土内で計画中の「ユーロアジア・インターコネクター」への投資も含まれている。「ユーロアジア・インターコネクター」は、クレタ島（ギリシャ）、キプロス島（キプロス）、イスラエルの電力系統を結ぶ国境を越えた海底送電網である。全長1,208kmの海底ケーブルの敷設が実現すれば、蓄電設備を増設せずに太陽光発電システムの設置容量を増加することが可能になる。2021年3月、キプロス、ギリシャ、イスラエルの3ヶ国は、送電容量1,000～2,000MW（AC）の送電網に関する覚書に署名した。2024年までに接続が完了し、2025年には稼働を開始する見込みである。

海底送電網の敷設が上記3ヶ国における太陽光発電システムの新規設置容量に与える影響は大きい。キプロスは、ギリシャとイスラエルとは異なり、再生可能エネルギーの新規設置容量に関する計画をまだ公表していない。イスラエルは、海底送電網の実現によって、2030年までに12～15GWの太陽光発電システムの新設が可能になると発表した。ギリシャは、2028年までに石炭火力発電を段階的に廃止し、2030年までに太陽光発電システムを5GW新設することを決定した。これらの実現に向けて、強力な送電網とエネルギー貯蔵の枠組みに関する計画の実現が極めて重要である。

2021年3月、ハンガリーは国内最後の石炭火力発電所の停止を、当初予定を5年前倒しして2025年に実現すると発表した。これにより、太陽光発電システムの普及が進展し、2030年目標である6.5GWを予定より早く達成する可能性がある。「2040年までに12GWの太陽光発電システム新設」という目標がどの程度前倒しで達成できるかは不明である。

ポーランドの復興計画では、屋根設置型太陽光発電システムについての記載はあるものの具体的な目標値は盛り込まれていない。しかしながら、2GWの電解装置の導入と、居住用建物における石炭暖房システムからヒートポンプへの置き換えを目指す政府の水素戦略と共に、復興計画が再生可能エネルギー電力の需要を牽引するであろう。国内の再生可能エネルギー・システム設置容量の統計を担うポーランド再生可能エネルギー研究所の予測によれば、同国の太陽光発電システム累積設置容量は国家エネルギー気候計画 (NECP) の2022年目標を上回り、2025年までに15GW、2030年までに20GWを超える見込みである。

・取り組みの現状

2020年末時点で、EUにおける太陽光発電システム累積設置容量は138GWを超えた。

このうち約55%が住宅用及び業務用の屋根設置型太陽光発電システムであった。2018年に市場が拡大に転じるまでの6年間、EUの太陽光発電市場は縮小していた。2020年にはEUで約19.8GWが新設されており、拡大傾向は継続している。上位3ヶ国はスペイン (3.5GW)、ドイツ (4.9GW)、オランダ (3GW) であった。また、ポーランドは約2.6GWの太陽光発電システムを新設して、再び上位5ヶ国入りを果たした。500MW以上を設置したのは、ベルギー、フランス、イタリア、ハンガリー、スウェーデンの5ヶ国である。

EUでは、ここ数年間で太陽光発電入札を実施する国が増え続けており、EU全体の現在の平均入札価格は35～70ユーロ/MWhに下落している。2020年にポルトガルで実施された第2回入札では、最低価格の応札があった。落札プロジェクトの入札価格は11.2ユーロ/MWhであった。

・その他の欧州諸国

IEA PVPS非加盟国では、英国が数年前まではGW規模の市場であったが、2020年の新設容量は数100MWであった。同年末時点の累積設置容量は13GW超となった。大部分を小規模太陽光発電システムが占めている。数年後には、PPAに牽引されて電力事業用太陽光発電が進展する可能性がある。

ロシアでは、「2035年までのロシアにおけるエネルギー戦略」の下、総発電量に占める再生可能エネルギー比率目標を「2024年までに4.5%」に設定した。さらに、ロシア政府は2030年の再生可

能エネルギー導入目標を25GWに設定した。2020年には約700MWが新設され、累積設置容量は約1.9GW（うち約400MWはクリミア半島に設置された）に増加した。

トルコでは、1MW未満のシステムは「認可外発電所」（発電認可を取得する必要のない発電所）というカテゴリーに分類されたことにより、市場が成長し始めた。2020年末時点で累積設置容量は9.5GWを超えた。トルコの送電事業者によれば、その大部分が「認可外発電所」である。2019年5月、トルコ・エネルギー市場規制庁（EPDK）は、3～10kWの太陽光発電システムのネットメタリングに関する新たな規則を発表した。同月に、トルコ政府は「認可外発電所」に関する規則を改定し、プロジェクトの規模を5MWまで拡大した。しかし、地上設置型プロジェクトの対象は、農業用灌漑設備、水処理施設又はごみ処理施設における公共用システムの設置のみである。

ウクライナでは、2009年に再生可能エネルギー源による発電電力を対象としたFIT制度である「グリーンタリフ」制度が導入された。同制度は、報酬の水準を調整するため、過去数年間に数回改正された。直近の改正は2020年8月に行われ、既存の発電所に対する遡及的なタリフの減額と、出力制御分の補償が導入された。ウクライナでは2020年に約1.5GWの太陽光発電システムが新規に設置され、累積設置容量は6.5GWとなった（クリミア半島における約400MW分を除く）。

中東及びアフリカ

過去10年間に、特に中東等の多くの国々で大規模太陽光発電所が新たに系統連系され、さらに多くのプロジェクトが開発段階にある。複数の国が太陽光発電プロジェクトの開発計画を策定しており、短・中期的な展望は明るい。中東は現在、太陽光発電システム設置に関して最も競争力の高い地域のひとつであり、入札を通じて締結される電力購入契約（PPA）価格は世界最低水準である。2020年には中東で約6GWが設置され、世界市場の4%を占めた。

中東・アフリカ（MEA）地域では、特にアフリカ諸国において、太陽光発電の発展は大規模市場に比べて緩やかであった。しかし、過去数年間にほぼ全ての国において太陽光発電市場の小規模な成長が見られ、一部の国では大きな成長が見られた。明確な傾向として、大部分の国がエネルギー計画に太陽光発電を盛り込み、国家目標を設定して太陽光発電を普及させるための規制の枠組みを整備している。

MEA地域では、イスラエルや最近ではモロッコのようにダイナミックな市場を展開するIEA PVPS加盟国以外の国でも、太陽光発電の開発が非常に多様化している。中東では、市場は長年にわたって主に競争入札によって牽引されてきた。分散型太陽光発電システムの設置が進展し始めたのはごく最近のことである（ネットメタリング制度は、イスラエル、ヨルダン、サウジアラビア、チュニジアで実施されている）。

電力価格が政府予算の補助を受けているケースが多いため、長年にわたり太陽光発電の競争力は限定的であった。こうした状況は徐々に変化しており、ドバイ（UAE）などでは分散型太陽光発電システムを対象とする新たな制度の構築が提案されている。入札は依然として競争力が高く、2021年初頭にはサウジアラビアで最も競争力の高い入札が実施され、最低落札価格は10.4ドル/MWhと過去最低を記録した。

急速に発展しているMEA地域のもうひとつの傾向として、政府が新たな都市や地域の開発に意

欲的であることが挙げられる。地域全体で再生可能エネルギーのモデルケースとなることを目指している。マスダール・シティ (UAE) やKing Salman Energy Park (サルマン国王エネルギー団地、SPARK) (サウジアラビア) がその実例である。

北アフリカでも状況は同様で、エジプト (予想よりも進展が遅れている)、アルジェリア、モロッコでは入札が太陽光発電市場の発展を牽引している。複数の国における国内製造の課題は、現行の政策ではまだ顕著でないとしても、本質的な課題である。国内で製造し自国の製造業を発展させたいという意欲は健在で、今後数年の太陽光発電の普及に影響を及ぼすとみられる。

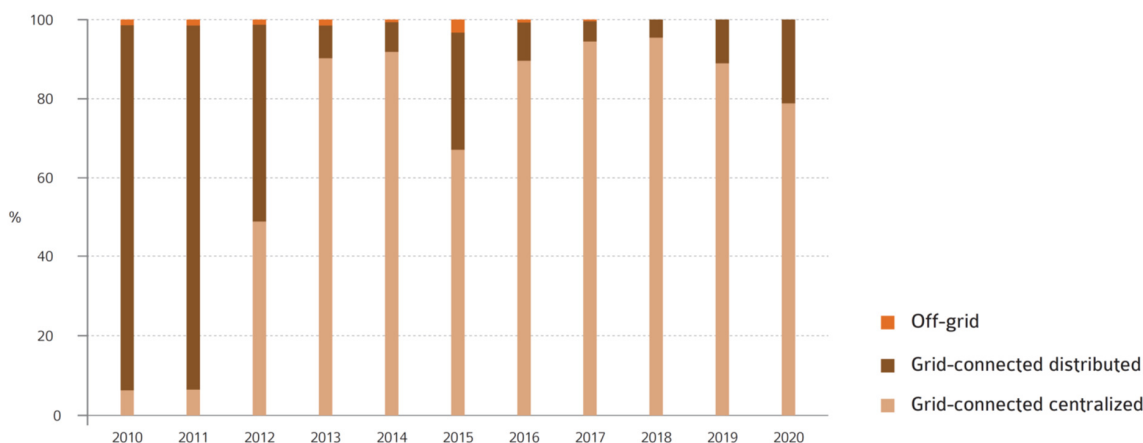


図2.20 中東及びアフリカにおけるセグメント別の太陽光発電システム設置容量比率

出典：IEA PVPS、その他

中東では、サウジアラビア、バーレーン、ヨルダン、オマーン及びアラブ首長国連邦 (UAE) 等が、再生可能エネルギーや太陽エネルギーに関する将来的な目標を策定した。入札制度は、同地域での太陽光発電開発における短期及び長期計画に不可欠である。2019～2020年に複数の入札が再び実施され、さらに多くの入札計画が発表された。UAEでは、複数の太陽光発電所の建設により3GW (DC) 近くが設置され、さらなる導入が期待される。

ヨルダンは、2030年までに1GWの太陽光発電システム設置を目標に、すでに複数の入札を実施しており、数100MWを設置した。カタールは、2020年1月に第3ラウンドとなる800MWの入札の結果を発表した。サウジアラビアは、当初目標の累積設置容量3.3GWを目指し一連の入札を実施してきたが、2020年にも入札を実施した。バーレーンは225MWの開発を発表し、オマーンは1回当たり少なくとも500MWの入札を複数回実施し、2030年までに4GWの再生可能エネルギー発電システム設置を計画している。チュニジアは500MWと70MW、リビアは100MWの入札をそれぞれ実施した。レバノンでは2020年までに180MWの導入を目指すとともに、500MW発電所の建設を検討している。

サハラ以南のアフリカでは、南アフリカは明らかな例外としても、太陽光発電市場の進展は遅れている。開発援助は、ハイブリッド太陽光発電システム向けに資金を調達するための重要なツールとなることが多く、新たな系統連系により直接的に電化を実現する。エジプトは2020年に1.5GW (DC) を設置しており、今やアフリカにおける新たな市場リーダーである。ここ数年間に導入された政策の効果が現れ始めており、市場はさらに発展する見込みである。

南アフリカは、アフリカ初の主要な太陽光発電市場であった。複数回の入札を行い、2020年末時点の累積設置容量は4.2GWに達した。これまでは太陽光発電市場の大部分が入札に牽引されていたが、今後は政府支援のもと、屋根設置型太陽光発電の進展に向けて数年間で市場は均衡を取り戻すとみられる。

上記の国々を除くアフリカでは、**アルジェリア**が数100MWを設置した。**レユニオン島、セネガル、ケニア、モーリタニア、ナミビア、ガーナ**においても、すでにある程度の容量が設置されている。コスト低下に伴い、その他のアフリカ諸国でも太陽光発電への関心が高まっている。しかし、大きな可能性を持ち、太陽光発電（特に独立形太陽光発電システム）の競争力が向上しているにも関わらず、市場はまだ本格始動していない。均等化発電原価（LCOE）は低いものの、初期投資コストが依然として高いという経済的な要因が主な導入障壁となっている。

アフリカの（特に遠隔地における）太陽光発電開発にとって最も競争力のあるセグメントは、既存のディーゼル発電機の代替となる、あるいはこれを補完する太陽光発電所である。このようなハイブリッド発電所は、**コンゴ民主共和国、ルワンダ、ガーナ、マリ、コートジボワール、ブルキナファソ、カメルーン、ガンビア、モーリタニア、ベナン、シエラレオネ、レソト**等で開発されている。

PAYG（pay-as-you-go）と称される分割払いによる設置モデルは、住宅用太陽光発電システムの消費者の資金調達難を緩和するために利用されている。このモデルには、クリーンで信頼性の高い電力へのアクセスを促進するために、さまざまな価格設定がある。

複数の大規模太陽光発電所の建設計画が発表されており、開発が進んでいる（**ブルキナファソ**（20MWと30MW）、**ナミビア**（45MWと30MW）、**ナイジェリア**（100MW）、**カメルーン**（30MWと25MWのプロジェクトが建設中）、**ケニア**（各30～80MWの複数のプロジェクト）等）。多くの国では集中型発電への需要が少ない（時には500MW未満）ことから、アフリカの電力市場の課題は根本的なものである。この点では、太陽光発電システムを系統連系することだけではなく、近隣諸国との電力系統インフラや相互接続を強化することも課題である。一方で、7億人がいまだに電力にアクセスできないアフリカの遠隔地域では、マイクログリッドや独立形太陽光発電システム（揚水システム等）が、消費者に安価な電力を供給するためにこれまで以上に大きな役割を担うことが予想される。

表2.6 太陽光発電市場の詳細統計（2020年）

国	年間設置容量 (MW)			累積設置容量 (MW)		
	分散型	集中型	合計	分散型	集中型	合計
オーストラリア	3,081	1,422	4,503	13,618	7,205	20,823
オーストリア	336	4	341	2,020	23	2,043
ベルギー	1,031	17	1,048	5,858	150	6,008
カナダ	79	121	200	1,462	2,063	3,525
チリ	54	737	790	74	3,411	3,484
中国	15,500	32,700	48,200	79,300	174,340	253,640
デンマーク	36	228	264	1,242	383	1,624
フィンランド	98	0	98	313	0	313
フランス	513	460	973	6,339	4,581	10,920
ドイツ	3,685	1,200	4,885	44,806	9,095	53,901
イスラエル	590	0	590	1,447	1,103	2,550
イタリア	615	170	785	12,819	8,831	21,650
日本	3,819	4,857	8,676	44,739	27,129	71,868
韓国	145	3,975	4,120	1,240	14,648	15,888
マレーシア	0	883	883	487	1,813	2,300
メキシコ	390	1,183	1,573	1,215	5,358	6,574
モロッコ	0	0	0	0	0	206
オランダ	1,090	1,946	3,036	4,227	5,683	9,910
ノルウェー	40	0	40	160	0	160
ポルトガル	47	123	170	467	610	1,077
南アフリカ	500	800	1,300	1,000	3,172	4,172
スペイン	715	2,813	3,528	1,877	11,726	13,603
スウェーデン	460	47	506	1,143	83	1,226
スイス	475	0	475	2,973	0	2,973
タイ	0	49	49	650	2,928	3,578
トルコ	0	958	958	10	9,494	9,504
米国	5,268	14,457	19,725	35,731	59,764	95,495
IEA PVPS 加盟国合計	38,556	69,150	107,716	265,216	353,593	619,016
IEA PVPS 非加盟国合計	21,012	16,501	37,513	52,877	95,557	148,227
合計	59,605	85,624	145,229	318,430	448,813	767,243

出典：IEA PVPS、その他



3章 政策の枠組み

太陽光発電システムの初期の発展においては、多くの市場が太陽光発電の電力コストと従来の電力源の価格とのギャップを埋めることを目的とした広範な支援政策の展開により推進されてきた。これらの支援政策スキームは、地域の特性に応じて多様な形態がとられ、市場の進展や政策の変更に対応するために進化してきた。

近年、太陽光発電の競争力の高まりにより、多くの市場セグメントが財政的支援に頼らずに発展できるようになった。太陽光発電の競争力に関する緊急性がそこまで高くないことから、新たな政策の大部分は、自家消費制度による分散型太陽光発電システムの開発にも焦点を当てている。また同時に、電力事業用太陽光発電システムの開発では、電力購入契約（PPA）として知られる、需要家との電力供給契約の発展が見られ始めている。しかし、まだ、すべてのセグメント及び地域において太陽光発電の競争力が保証されているわけではない。さらに、太陽光発電電力の普及拡大により平均的な電気料金が低下するため、今後も数年は、コスト障壁及び投資障壁を克服するために、対象を絞った財政的インセンティブが多くの国において必要となるであろう。

分散型太陽光発電システムの支援施策及び自家消費政策は、消費者がプロシューマー（電力消費者（consumer）でもある電力生産者（producer））になるための規制環境を整備するものであることから、非財政的インセンティブと考えられる可能性がある。しかし、これらの政策は、特に系統コスト及び税金に関して微調整が必要であることから、間接的な財政的インセンティブと考えられる場合もある。以下に詳細に説明する自家消費政策は、一般的に、太陽光発電の自家消費を発展させるために規制枠組みを簡素化し、それぞれの状況に適合させるものである。「ネットメタリング制度」や、「ネットビルディング制度」、または「フィードイン・プレミアム（FIP）制度」等の様々なスキームを通じて、自家消費に対する財政的支援を継続している国もある。

太陽光発電の発展を支援する直接的政策に加え、その他の間接的政策も、太陽光発電や一部の技術の発展に多大な効果をもたらしている。例えば持続可能建築要件は、太陽光発電市場の長期

にわたる発展を支える上で、今まで以上に必要不可欠なものとなるであろう。

今日、気候政策は間接的な効果をもたらしているが、再生可能エネルギー源の競争力向上も支えている。太陽光発電の競争力を高め、その開発を加速させるために「炭素」税を大幅に増税する意欲を示している国もある。

持続可能性に関する政策は、よりクリーンな産業と、いくつかの特定技術を推進しており、温室効果ガス排出のほか、危険物、大気汚染、土壌汚染等にも重点を置いている国も複数存在する。

系統連系規程と系統料金は、太陽光発電のみに適用されるものではないが、太陽光発電が発展するエコシステムを形成し、一方で開発事業者やプロシューマーへの制約を増加・軽減させるものである。

本章では、現行の政策と、それらの政策がどのように太陽光発電の発展に貢献してきたかに焦点を当てている。ここではまた、各国での発展に注目し、太陽光発電市場が政策の変化にどのように反応したかについても検証を行っている。

最後に、太陽光発電開発の分野横断的な側面は、建築部門や輸送部門のほか、農業、都市環境、水域（海洋も含む）、産業プロセス等において、太陽光発電にさらなる規制や政策が導入されることも示唆している。

太陽光発電市場の牽引力

市場は常に複数の規制やインセンティブの組み合わせによって牽引されていることから、市場牽引力に関する問題は複雑である。本章の図では、各マクロ分野（分散型/集中型）における主要な牽引力に焦点を当てているが、その他の牽引力も重要な役割を果たしている。これは、太陽光発電の主要な牽引力の一般的な兆候とみなされるべきである。

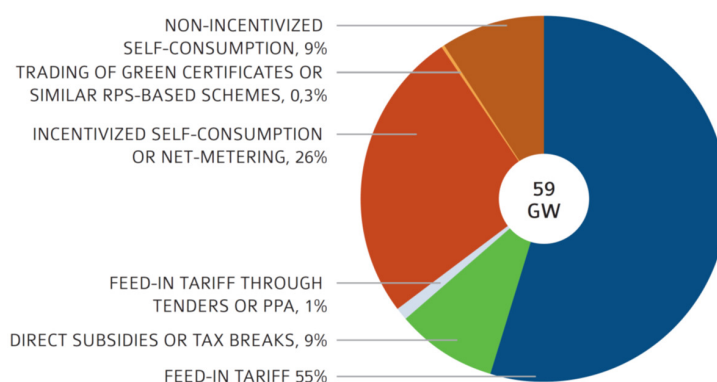


図 3.1A 2020 年の分散型太陽光発電市場の主な牽引要因
出典：IEA PVPS、その他

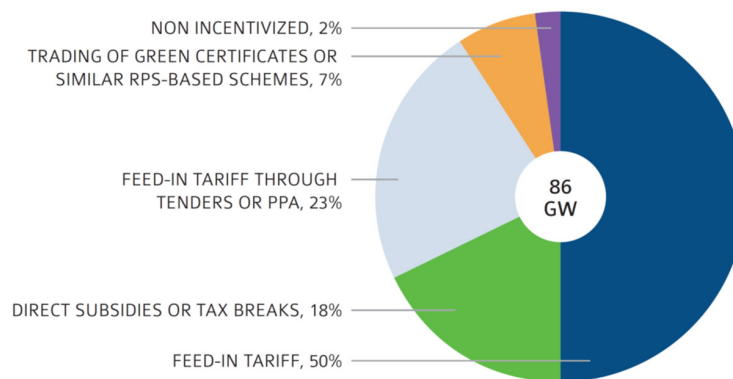


図 3.1B 2020 年の集中型太陽光発電市場の主な牽引要因
出典：IEA PVPS、その他

図3.1A、図3.1B及び図3.2は、2020年の世界の太陽光発電市場の約5%が支援制度または適切な規制枠組みのいずれにも依存していないことを示している。つまり、これらは財政的支援を受けず、入札や類似のスキームの枠外で開発されたプロジェクトであったということになる。これは過去数年と比較して顕著な進展である。自家消費に基づく小規模分散型システムの導入が最初に発展した分野であるとするれば、電力事業用太陽光発電システムの分野においては、補助金に頼らないモデルが本格化している。この傾向は明白で、**スペインとチリ**では、発電電力を企業の需要家に販売する太陽光発電所が出現し始め、**オーストラリア、ドイツ、米国、デンマーク**、そして最近では**イタリアとスウェーデン**のプロジェクト開発事業者もこれに続いている。太陽光発電の競争力の条件を考慮すると、このような国の数は、急速に増加することが予想される。

電力事業用太陽光発電所の入札は、数年前から大幅に増加し始め、約23%が入札によって導入された。一方、屋根設置型太陽光発電プロジェクトを対象とした入札が（**バングラデシュ、バーレーン、インド、フランス、ミャンマー**等で）拡大し、その比率が増加することが予想されるものの、分散型市場における入札プロジェクトの寄与率は1%にすぎない。入札が屋根設置型太陽光発電システムの開発、さらには建材一体型太陽光発電（BIPV）システムの設置に適しているかどうかについては、大いに議論の余地がある。**フランス**ではこのような入札が試みられたが、設置容量はごくわずかであった。世界市場における競争入札の割合が2017年までの7%から14%に増加したこと（集中型太陽光発電市場の23%）は、産業界にとって今のところ大きな懸念材料にはなっていない。しかしながら、多くの国が電力購入契約（PPA）を供与するための入札制度に移行しており、今後数年間で入札制度に移行する国の数がさらに増加することが予想される。そのため、価格競争が厳しい入札で利益幅が減少することにより、一部の市場セグメントにおいては長期安定性が脅かされる可能性があり、これにより市場集中がより高まる。これは、2021年に、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の世界的流行の影響を受けた大幅な価格上昇によって一部の開発事業者が落札済みの入札案件において競争力を維持することが非常に困難になっていることから、すでに明らかになっている。

世界全体で設置された太陽光発電システムの約52%は、発電量の一部または全量に対し、予め定められた買取価格が付与されている（分散型：55%、集中型：50%）。長年にわたり、FIT制度によって牽引された市場のシェアは顕著に減少していないが、FITの買取価格は世界的に低下傾向に

ある。FITの低下傾向は、太陽電池価格の低下と連動している。2021年には太陽電池価格が上昇したため、FITの買取価格が引き上げられない限り、一時的に市場の進展にブレーキがかかる可能性がある。

太陽光発電の支援形態で3番目に多かったのは直接的補助金で、世界市場の約15%、分散型市場の9%、集中型市場の18%を占めた。補助金で賄えるのは総設置コストの一部に限られているケースが多い。補助金は財源とする公的資金に限りがあるため、太陽光発電システムの設置容量の制約要因となるものの、導入が容易であるため利用されている。

ネットメタリングやネットビリング等のメカニズムによる支援を受けた自家消費制度は分散型太陽光発電市場の26%を占め、設置容量はこれまでと比べて大きく増加した。イタリアの「Scambio Sul Posto」（ネットビリング制度）をはじめとして、イスラエル、ドイツ等、各国には様々な形の自家消費制度に対する支援が存在する。一部の市場ではネットメタリング制度が廃止されつつあるが、タイやエクアドル等では最近、住宅用太陽光発電システム所有者に対するネットメタリング制度が導入された。ネットメタリング制度は、依然として分散型太陽光発電市場を活性化させる簡便な方策であるが、将来的には自家消費への移行が求められる。

グリーン証書及び再生可能エネルギー・ポートフォリオ基準（RPS）に基づく類似のスキームは、設計が非常に複雑であることから市場シェアは低く、約4%で安定していた。グリーン証書取引は、ベルギー、ノルウェー、ルーマニア及びスウェーデンなどで現在も行われている。RPSに基づく類似の制度は、オーストラリアや韓国などで実施されている。

インセンティブは、各種の公的機関や、時には電力事業者から付与され、単独で、または複数のインセンティブを組み合わせる利用できる。財政状況に対応して頻繁に政策が変更されるため、一般に、これらのインセンティブの有効期間は非常に短い。政府だけでなく、地方自治体も重要なインセンティブや補助的な普及政策を提供している。地方自治体は再生可能エネルギー開発への関与を深めており、さらなる優遇策を提供する可能性もある。

国や地方自治体によるインセンティブが存在しない場合やインセンティブを補完する目的で、電力事業者が顧客に対して特別な導入支援制度を提供しているケースもある。

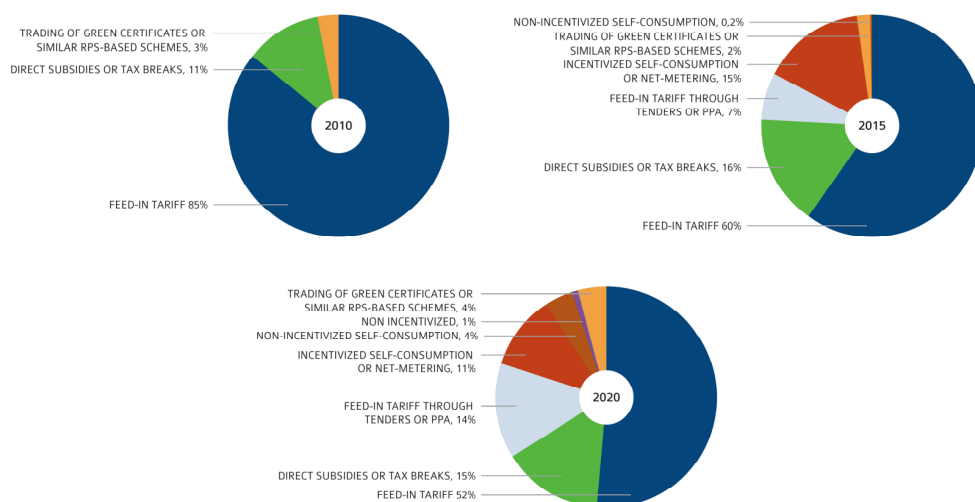


図 3.2 太陽光発電市場におけるインセンティブと実現要因の進展（2010年、2015年、2020年）

出典：IEA PVPS、その他

支援制度

電力購入契約（PPA）を含むフィードイン・タリフ（FIT）制度

フィードイン・タリフ（FIT）制度のコンセプトは非常にシンプルである。太陽光発電システムによる電力が系統に逆潮流される場合に、一定期間定められた価格で買い取ることを保証するものである。理論的には、買取価格はインフレ率に連動させることが可能であるが、このようなケースは稀である。FIT制度では通常、太陽光発電電力は、設置場所での消費量よりも、系統に逆潮流される量が多くなるのは当然のことである。しかし系統に逆潮流する余剰電力の買取価格を低く設定することにより、FIT制度を用いて自家消費プロジェクトを奨励することが可能である。

IEA PVPS加盟国のうち、2020年にFIT制度を実施した国は16ヶ国（オーストラリア、オーストリア、カナダ、中国、フランス、ドイツ、イスラエル、イタリア、日本、オランダ、ポルトガル、スウェーデン、タイ、スイス、トルコ、米国）であった。太陽光発電の発展の初期段階と比較するとその魅力は若干低下したものの、FIT制度は依然として太陽光発電システム導入の主要な牽引力となっている。一方で、中国のように段階的廃止を発表した国もある。

・国家レベルあるいは地方自治体レベルでのFIT制度

国によって、FIT制度は国家レベルで制定される場合（中国、日本、ドイツ等）と、地方自治体により制定される場合（オーストラリア、カナダ、インド等）とがある。また、同じ国の中でも地域により制度の導入状況が異なる場合や、制度の特徴が異なる場合がある。また、政策の枠組みとは別に、顧客の囲い込みを強化する手段として電力事業者が独自にFIT制度を提供しているケースがある（オーストリア、スウェーデン、スイス）。

・FITの自動/臨時調整

FIT制度は依然として太陽光発電を開発するための非常に簡易な手段であるが、安定的な市場の発展を確実にするために、定期的な微調整が必要である。実際に、FIT制度による買取価格の水準と太陽光発電システムの有効原価の間に不均衡が生じた場合、市場は制御不能な成長を遂げることになる（特にFIT制度における買取価格支払いのための予算に制限がない場合）。支援資金額に上限のないFIT制度を導入した国で起きた市場過熱の大半は、予測不能な太陽光発電システム価格の急落にFIT水準の見直し速度が追いつかなかったことが原因である。この状況は、欧州諸国における初期の市場を中心に、制御不能な市場成長を引き起こした。2008年にスペイン、2010年にチェコ、2011年にイタリア、2012年にベルギーで市場が過熱し、2015～2017年には中国においてもある程度の市場過熱を引き起こした。その他の多くの国でも、程度は低いものの同様の状況が発生している。残念なことに、このような市場過熱が予算を圧迫し、太陽光発電に対する世論にマイナス影響を与え、これらの市場の大部分では回復に何年もの歳月を要し、近頃ようやく再成長がみられるようになった。

こうした状況を受け、多くの国では、経時的にFIT価格を低減する制度を採用したり、予算を制限したりした。ドイツでは、政府があらかじめ定めた導入目標よりも速く市場が拡大した場合には、FIT価格を月単位で調整し、太陽光発電の投資収益率を低下させることが可能である。また、FIT制度が支援する容量の上限を設定していたが、さらなる市場の発展を可能にするため、2020年

に上限を撤廃した。フランスとイタリアでは、FIT価格の低減は設置率と経済指標に基づき定められる。日本や中国等では、市場に基づいて定期的にFIT価格を低減している。

・入札制度とオークション制度

入札制度は、資金上限が間接的に設定されたFIT制度を供与するためのひとつの方策である。この制度は、太陽光発電電力の競争力を高めるという明確な目標を持って、世界中の多くの国で採用されている。応札者は互いに競合しなければならないことから、入札価格を可能な限り下げ、利益幅を減少させる傾向がある。現在、競争入札の制約の下でいかに低価格で応札できるか、という状況が示されている。しかし、このような低価格入札は、資本コストが極端に低く、機器コストも低く、またリスクヘッジの必要性が低い場合のみ実現可能であると広く認識されている。したがって、全ての入札が太陽光発電の平均価格を代表しているわけではなく、非常に競争力のある開発事業者による例示的価格が示されていると考えられる。

国際的な入札における低価格落札に向けた競争は、太陽光発電の電力価格を押し下げる原動力になっており、プロジェクト開発事業者は、太陽電池モジュールのコストと金利のさらなる低下の予測を考慮に入れた上で入札しはじめている。実際、一部の国では、入札価格が急激に低下するケースや、落札するために低価格で入札し無事落札したものの契約価格での電力供給ができなくなるという、いわゆる「勝者の呪い」が生じる結果となった。投資の減少については、太陽光発電プロジェクトの資金として使用される資本コストを左右しプロジェクトの総コストの大部分を占める金利の面からも考える必要がある。

入札制度

入札制度の潜在性は、まだ完全には活かされていない。入札は、当面は主に、太陽光発電の開発及びコストの枠組みを構築するものとして利用されている。規制当局にとっては、これは最大容量の決定と最も低価格で最適な発電所の開発を提案することを意味する。しかし、入札はさらに発展しつつあり、発電容量開発において、より大規模で長期的なロードマップの一部を担う可能性もある。送電系統運用者と共同でスマートに計画を策定することで、入札は特定技術の一定容量の開発を可能にし、系統を最適化しエネルギー転換をスマートに計画できる。この原則は、屋根設置型太陽光発電システムの開発にも適用できる。

入札制度は、過去数年間にわたり全世界で成功を収めている。欧州でもこの傾向は同様で、複数の国が入札制度を導入あるいは再導入した。フランス、ドイツ、ギリシャ、ポーランド、ポルトガル、エストニア、スペイン等では、複数の市場セグメントで入札制度が導入・再導入された。フランスでは、一部の市場セグメントで入札を実施しており（100kW超の太陽光発電システムでは簡略版の入札、250kW超の太陽光発電システムは全件対象）、ドイツでは電力事業用の発電所を対象とした入札を実施している。

中東及び北アフリカでは、エジプト、イスラエル、ヨルダン、モロッコ、南アフリカ及びアラブ首長国連邦（UAE）で入札が実施された。世界のその他の地域では、多くの国が太陽光発電所に電力購入契約（PPA）を供与するために入札制度を導入した。中南米では、主な例として、アルゼンチン、ブラジル、チリ、メキシコ及びペルーが同様の入札を実施した。アジアでは、インド、ネパール及びスリランカが入札制度を開始した。アフリカ南部では、ナイジェリア、セネガル、

チュニジア及びマラウイが入札制度を導入した。

発電技術を特定した入札が行われるケースも多いが、デンマーク、エストニア、イタリア、リトアニア、オランダ、ポーランド、英国及び南アフリカでは、技術を特定しない入札が導入されている。後者の場合、太陽光発電は他の電源との競合にさらされる。フランス、ドイツ、イタリア等では、複数の技術特定入札と並行して、太陽光と風力発電の混合入札を試験的に実施している。

スペインは、電力価格や発電容量ではなく、必要な支援レベルを基にした入札を導入している。この入札プロセスにおいて、入札者は基準となる発電所への初期投資の標準額に対する割引額を提示する。事前に定められた発電容量を上限として、最低価格が落札されることになる。この入札も技術を特定してはいないものの、事実上、太陽光発電と風力発電のみを対象としている。

競争入札を利用して、特定技術の促進や、現地生産等の追加制約を課して地域産業を強化することもできる。こうした要件によって、アフリカ諸国の一部（アルジェリア、モロッコ及び南アフリカ等）では、太陽電池モジュールの現地生産が展開されるようになった。複数のパラメータに基づき、FIT価格を調整している。例えばトルコでは、現地産品使用要件を満たした場合には、通常のFIT価格にプレミアムを上乗せしている。一部の国では現地産品のパラメータについて議論が行われ、インセンティブの付与を決定する際の主要な、あるいは二次的な追加要素としてパラメータを使用している。

要約すると、FIT制度は、現在も住宅用小規模屋根設置型太陽光発電システムから大型の電力事業用太陽光発電システムまで、あらゆる規模の系統連系形太陽光発電システムを対象とする最も一般的な支援制度である。容易に実施できることから、FIT制度は今後も太陽光発電向けの規制枠組みとして世界で最も利用度が高い支援制度であり続けるとみられる。

フィードイン・プレミアム (FIP) 制度

複数の国では、FIT制度がフィードイン・プレミアム (FIP) 制度に置き換えられている。電力卸売市場価格にプレミアムを上乗せして支払うというコンセプトで、固定プレミアムと変動プレミアムがある。ドイツとオランダでは、太陽光発電電力の買取価格は、変動性FIP制度に基づき、運用プレミアムなどのFITより若干高い価格を適用するために卸電力市場価格の平均に上乗せして支払われており、スウェーデンでは、小規模分散型太陽光発電システムに対して固定プレミアムを適用している。想定価格と電力市場価格との差異を補填することにより一定価格を保証する「差金決済契約 (CfD) 制度」は、FIP制度に相当する。

コーポレートPPA

一般的に、FIT制度では公的機関や電力事業者により買取価格が支払われているが、一部の国では電力購入契約 (PPA) の締結を義務づけているケースもある。例えばチリにおいては、アタカマ砂漠北部に建設された太陽光発電所は、利益を生み出すために (太陽光発電電力が低価格となり、電力市場での取引が進んでいるとはいえ) 地元企業とのPPA締結の機会を模索する必要があった。このような発電所は、公的なFIT制度ではなく民間企業とのPPAに依存しているため、非常に競争力が高いと考えられる。

スペインは、少なくとも欧州においてはPPA市場を先導していると考えられる。過去数年にわたり、発電事業者と需要家の間で締結される二者間PPAが増加している。均等化発電原価（LCOE）の低下により、新しい市場セグメントの開発が可能になり、最近では、デンマーク、ドイツ、イタリア及びスウェーデンで補助金に頼らないPPAも登場し始めた。

米国及びオーストラリアでもPPAが市場シェアを拡大しつつある。カリフォルニア州においては、過去数年で多くのPPAが承認され、時には記録的な低価格が実現した。PPAでは、必ずしも発電所と物理的に接続されていない場合でも太陽光発電電力が調達可能であるため、自社の温室効果ガス排出量削減のためにPPAを活用する大企業が増えている。

再生可能エネルギー・ポートフォリオ基準（RPS）とグリーン証書

一般的に「再生可能エネルギー・ポートフォリオ基準」（RPS）と呼ばれる規制の枠組みは、割当量を課すことで再生可能エネルギーの開発を促進することを目的としている。政府当局が全ての電力事業者に対し、自社で発電するか、あるいは市場から特別な証書を購入する形で一定割合の再生可能エネルギー源による電力の利用を義務付けている。これらの証書は一部では「グリーン証書」と呼ばれており、入手可能な場合には、再生可能エネルギー発電事業者は、その証書の市場価格に基づいて変動する電力料金を受け取ることができる。この制度には多様な形式がある。米国では、州によるインセンティブの大部分は、再生可能エネルギー・ポートフォリオ基準（RPS）の法制化によって推進されてきた。再生可能電力基準（RES）とも称される RPS では、電力供給事業者は特定の期日までに目標量の再生可能エネルギーを購入または発電する必要がある。ベルギーの各地域、ノルウェー、ルーマニア及びスウェーデンでは、太陽光発電システムは発電量1MWh 毎に特定の数のグリーン証書を受け取ることができる。太陽光発電に対しては、他の再生可能エネルギーとの差別化を図るため、応用種別及び規模に応じて優遇倍数カウントが適用されている。例えば、韓国では水上設置型太陽光発電システム及び蓄電設備を備えた太陽光発電システムに対して異なる優遇倍数カウントを適用している。ベルギーでは、3 地域すべてにおいて、業務用（C&I）セグメントでグリーン証書の取引が行われている。ルーマニアも割当制度を導入しているが、2014年にはグリーン証書の価値が下落した。英国は、大規模太陽光発電プロジェクトに適用される再生可能エネルギー義務証書（ROC）と呼ばれる制度を2015年まで継続して実施していたが、2016年に他の制度に代替された。特筆すべき事項として、スウェーデンとノルウェーは、国境を超えたグリーン電力証書制度を共同で運用している。

直接的補助金及び税額控除

太陽光発電は、保守費用が限定的かつ燃料コストが不要であるが、初期投資が高額であることが特徴として挙げられる。このため一部の国では、太陽光発電を奨励するため、初期投資額を低減するための政策を実施している。直接的補助金は、オーストリア、オーストラリア、カナダ、フィンランド、イタリア、日本、韓国、リトアニア、ノルウェー及びスウェーデン等で実施された。これらの補助金は本来、政府予算の一部であり、資金に応じて設置容量に上限が定められている。

税額控除は、ベルギー、カナダ、日本、フランス、その他の様々な国で活用されている。イタリ

アは、小規模太陽光発電所を対象とした税額控除を実施している。**米国**では2015年に、投資税額控除（ITC）を延長するべきか、あるいは早急に段階的廃止措置をとるべきかという激しい議論が行われた。最終的に、少なくとも2019年末までは現行の制度を継続するという結論に至った。

「炭素」税

二酸化炭素の排出を伴う技術の外部コストに対して費用を課すことにより再生可能エネルギーの発展を間接的に支援する方策として、炭素税の課税に向けた試みがなされてきた。最も重要な規制は、排出される二酸化炭素にトン単位で価格をつけることを目指した**欧州連合**域内排出量取引制度（ETS）である。これまで、炭素価格が低く設定されていたため、実際には太陽光発電やその他の再生可能エネルギーの開発に対するインセンティブとはならなかった。炭素市場における排出枠の余剰を減少させ、将来起こりうる有事に対して欧州連合（EU）のETSのレジリエンスを強化するために、市場安定化リザーブ（MSR）が導入された。EUはこの制度をさらに強化する計画で、2019年から2023年にかけて、リザーブに組み込まれる排出枠の量を流通する余剰排出枠の24%に倍増させ、さらに今後数年の間に他の方策も導入する可能性がある。

欧州以外で対策が早かった国のひとつが**日本**で、2012年にカーボンプライシングを導入した。最近では、2018年に**カナダ**で国家レベルのカーボンプライシング計画が発効した。カーボンプライシングの枠組みは連邦政府が統括しているものの、州及び準州は、税制及びキャップ・アンド・トレード制度等の独自の政策を実施している。**中国**では、独自のキャップ・アンド・トレード制度が2017年12月から開始されたが、取引市場の第1フェーズでは、発電事業者のみが対象となっている。2019年6月には**南アフリカ**でも炭素税が導入された。

世界の温室効果ガス排出量のうち、カーボンプライシングによるイニシアチブの対象となっている排出量のシェアは現在約20%で、主に**中国**とEUが貢献している。

2015年のCOP21におけるパリ協定の締結は、二酸化炭素を排出しない技術に向けた新しい時代へのスタートと、二酸化炭素を排出しない電力システムへの移行を加速する必要性を示唆するものであった。こうした側面において、太陽光発電はカーボンプライシングの普及により大きな恩恵を受け、二酸化炭素排出を伴う技術が市場から排除されることになるであろうという見方もある。

自家消費とネットメタリング

屋根設置型太陽光発電システムの潜在性を考えると、将来的に太陽光発電市場の一部は、電力を現地供給する建物設置により構成されるということは論理的な見解である。太陽光発電の電力コストの低下により、電力事業者の系統から供給される小売電力と直接的に競争する状況がもたらされている。また、複数の国ではすでに設置場所での電力消費を認めるスキームを採用している。こうしたスキームは、自家消費制度やネットメタリング制度と呼ばれることが多い。

これらのスキームは、太陽光発電システムの所有者が需要地や遠隔地で発電した電力によって、自身の電力料金を相殺することを認めている（**メキシコ、ブラジル、フランス**）。電力消費と太陽光発電電力との相殺を認める様々なスキームが存在し、実際に電力の流通量を相殺する場合もあれば、金銭のフローにより相殺する場合もある。制度の詳細は多様であるが、その基本は類似している。自家消費電力に対して系統税や賦課金が課される場合は、電気料金の節約が減少する可

能性がある。固定系統料金（設置容量に基づく系統料金）も、プロシューマーの収益に悪影響を及ぼしうる。過去数年には、ドイツやスペイン、ベルギー等で、プロシューマーに対する太陽光発電電力への課税が開始された。これらの税金は、既存の設備に対しても遡及的に適用されて収益の減少をもたらしたため、大部分が法廷闘争に持ち込まれ、最終的に延期または撤回される結果となった。

自家消費制度とネットメタリング制度は電力フローにおける電力の相殺を基本とするが、その他の制度も存在している。イタリアの「Scambio Sul Posto」（ネットビリング制度）では、消費電力と系統に逆潮流される電力、それぞれに異なる料金が設定されている。イスラエルでは、ネットビリング制度が同様の原理で運用されている。自家消費制度に関しては、同じ用語が場合によって異なる規制を意味することがあるため、注意が必要である。カナダでは、マニトバ州とサスカチュワン州でネットビリング制度が実施されているが、その他の全州では何らかの形でネットメタリング制度を導入している。その最たる例として、米国では「ネットメタリング」という用語が州によって異なる自家消費制度を示す言葉として用いられている。

自家消費制度を現在と将来でより詳細に比較するために、IEA PVPSは自家消費政策を分析・比較するための包括的ガイドラインを発行した。この「太陽光発電自家消費政策の総括（Review of PV Self-Consumption Policies）」では、同じ用語を使っても根本的に異なることを意味することもあるスキームを、理解・分析・比較するための方法論を提案している。また、系統運用者から電力事業者に及ぶ全てのステークホルダーのビジネスモデルに影響を与える最も重要な要素の解析も提案している。

・系統に逆潮流される太陽光発電の余剰電力

従来の自家消費制度の下で補償を受けるためには、太陽光発電システムが発電した直後あるいは10分/15分以内に電力を消費することが前提とされている。そのため、自家消費されない太陽光発電電力は系統に逆潮流される。

現在、この余剰電力の価値を定める方法が複数存在する。

- ・余剰電力に対する最低価格は「0」：太陽光発電による余剰電力は系統に逆潮流されても補償されない。
- ・余剰電力に電力市場価格を適用：プレミアムは「有り」、「無し」の2つのケースがある。
- ・余剰電力にFIT制度により定められた買取価格を適用：国により、この買取価格は小売電力価格よりも低いケース、高いケースがある。
- ・小売電力価格を適用（ネットメタリング）：追加インセンティブが付与されるケース、あるいは追加課税を伴うケースがある。

ネットメタリング制度では、1ヶ月から数年間と、より長期間にわたる相殺を認め、翌月以降に消費・発電電力の余剰分を持ち越せる制度もある。ベルギーでは、同制度は10kW未満の太陽光発電システムを対象としているが、一部の地域では今後数年以内に廃止される見通しである。米国では、ネットメタリング制度は州ごとに異なり、支払い期間も大きく異なる。近年、一部の太陽光発電新興市場ではネットメタリング制度が実施されている（チリ、イスラエル、ヨルダン、UAE（ドバイ）及びチュニジア）。

・太陽光発電コミュニティ・共同自家消費

共同自家消費は、一般的には太陽光発電システム設置場所における複数の利用者間での電力の共有を可能にするが、個別の建物間での電力の共有も可能である。集合住宅または集合的なサイトにおける自家消費では、1基以上の発電システムから、あらかじめ定められた分割キー (split key) を用いて、複数の消費者に電力を供給することが可能である。集合住宅がこの典型例で、1基の太陽光発電システムが建物内の複数または全ての消費者に電力を供給している。

欧州では大部分の国で自家消費が認められているが、さらに前進することを決定し、「Clean Energy for All Europeans (全ての欧州市民にクリーン・エネルギーを)」と呼ばれるエネルギー政策に関する包括提案(「クリーン・エネルギー・パッケージ」)を全面的に改訂した。欧州連合(EU)は、新たなエネルギー・イニシアチブに向けて、エネルギー市場の設計と枠組みに関する新規定を導入した。具体的には、再生可能エネルギー指令(RENII)及び電力市場指令(EMDII)の実際の改訂版では、個人及び共同自家消費の活動に関する基本的な定義と要件が規定されている。さらに、クリーン・エネルギー・パッケージは、エネルギー・コミュニティを欧州の法規制に組み込み、これにより市民がエネルギー・システムへの参加を共同で組織化できるようにしている。EUの規定は加盟各国における実施に向けたガイドラインを提供しているものの、例えば共同自家消費における境界や上限に関する詳細は国家レベルで実施されている。

太陽光発電システム設置場所での共同消費に関して、フランス、オランダ及びイタリアで最先端の法的枠組みが導入されている。ドイツの「テナント電力法(Mieterstromgesetz)」は、建物の所有者による発電及びテナントへの売電を可能にしており、これにより投資を魅力的なものとしている。英国も、共同プロシューマーに有利な枠組みを導入した。ベルギー、クロアチア、ポルトガル等では、複数の定義付けがなされたものの、まだ本格的な実施には至っていない。

米国では、地域マイクログリッドが登場し、電力消費コストの削減と、蓄電とバックアップ電源による地域のレジリエンスを提供している。オーストラリアでは、地域所有の再生可能エネルギー・システムを通じて住民が再生可能エネルギー・プロジェクトに投資することが可能で、地域社会における排出量をネットゼロにできる場合もある。韓国のソウル特別市におけるエネルギー自給自足コミュニティでは、参加者は省エネ及び太陽光発電システムの導入によりエネルギー・コストの削減が可能となった。

・オフサイト自家消費・「バーチャル」自家消費

自家消費が需要地における発電と電力消費の相殺と理解される一方、分散型(または「バーチャル」)自家消費は、需要地外(オフサイト)での発電と消費までを網羅し、臨時の系統料金も含めた多様な可能性を切り拓くものである。この点において、地域レベルのプロシューマーが支払う系統利用料は、地方・全国レベルのプロシューマーに比べて少なくなる。こうした政策は一部の国(オーストラリア、オランダ、フランス、リトアニア、メキシコ、スイス等)で試験運用されている。オーストラリアやスイスでは、公的な規制が発表されるよりも前にパイロット・プロジェクトを開始した電力事業者もあった。パイロット・プロジェクトでは、太陽光発電投資及びバーチャル蓄電と革新的な製品とを組み合わせる動きがすでに始まっている。こうした動きは、太陽光発電の新たな市場セグメントを切り開く可能性があり、今後数年の間に精査されるとみられる。

このようなスキームが生み出す複雑な問題、特に系統の使用、複数のメーター間での電力の相殺に関する法的な側面及びスキームの革新的な側面に関する問題は存在するが、バーチャル自家消費は、エネルギー転換に向けた太陽光発電の統合を容易にし、よりスマートな建物の開発を支援し、電気自動車（EV）への移行を加速するものであると認識されている。

このような概念によってもたらされた機会は多岐にわたる。具体的には、住宅用太陽光発電システムの発電電力を使ってオフィスでEVの充電ができるようになる。また、小さな都市では、消費電力に応じて、全ての公共施設で太陽光発電電力を共有できたり、近郊の土地に電力事業用太陽光発電所を建設して村落の電力を賄うことができたりする。選択肢は多くあり、公平な系統料金は誰にも平等に便益があることを意味する。需要地以外で太陽光発電電力を利用するには、公共系統や配電線、場合によっては送電線を利用する必要があり、そのような利用には公平な料金が課されるべきである。太陽光発電が競争力を持つにつれてこのような概念が生まれ、適切な規制のもとで飛躍的に発展していく可能性がある。

支援制度のための資金調達

これらのインセンティブの原資は、税金あるいは少なくとも欧州では最も一般的な電力料金に上乗せされた特定の賦課金である。一部の国では、競争力を維持し、炭素リーケージを回避するために、エネルギー多消費型産業や大口需要家は賦課金の支払いを免除されている。

財政的インセンティブの総コストを管理するために、毎年の予算額に上限額を設けている場合もあり、その場合は先着順が適用される。過去には、FIT制度の資金に対する年間上限額を定めていない国も多かったことから、**日本、中国、ドイツ、イタリア、スペイン**等多くの国で太陽光発電市場の急速な発展が促進された。以下に一部の国の例を示す。

オーストラリアでは、太陽光発電の入札は、州政府、地方自治体、小売電気事業者及びオーストラリア再生可能エネルギー局（ARENA）がそれぞれ実施している。様々な資金支援制度を備えた独自のプロセスがあり、最も一般的なのは、発電電力に対するPPAや、再生可能エネルギー証書（REC）、またはその両方である。**ベルギー**では、割り当てられた再生可能エネルギー電力量を発電できない場合、電力事業者はグリーン証書を購入する義務がある。これにかかるコストは透明化される。しかし、太陽光発電事業者がこれらの証書を販売できない場合には、送電系統運営者が電力料金を通じて顧客に再請求する形で証書を購入する。**カナダ**では、太陽光発電支援施策は州・準州ごとに異なる。現在、連邦政府、州政府及び地方自治体による複数の助成プログラムが、需要家側の太陽光発電システムの設定コストに対してリベートを提供しており、その費用は一般財源で賄われている。**中国**は、より競争力のあるスキームへと移行しているところである。当初の基準買取価格は2019年に指導価格に変更され、競争入札の上限価格となった。住宅用システム向けを含む自家消費システムに対する補助の水準は引き下げられた。

デンマークでは、主に国有系統運用者（TSO）が管理する公共サービス義務（PSO）によって太陽光発電システムに対する資金を調達してきた。2016年までは、売電量1kWh毎に少額の賦課金が徴収された。その後、将来的には再生可能エネルギー支援制度の資金に国家予算を充当することが決定された。**フランス**では、指定共同電力買取業者（EDF、その他の認可組織、または一部の地域では地方公共配電系統管理者）が、事業者に対して（フィードインPPA、フィードイン・プレミ

アム (FIP)、ボーナス等により) 対価を支払う。共同電力買取業者の超過コストは、国家予算 (エネルギー転換) の特別会計から支払われる。特別会計は、ガソリン及びガソリン製品が輸送や暖房用のエネルギー源として使用される場合に課される税金を財源としている。超過コストは、全国の電力市場における日中のスポット価格の月間平均の代表的な加重発電曲線に基づいて算出される。ドイツでは、全ての再生可能エネルギー源の費用を賄う再生可能エネルギー法 (EEG) 賦課金を全ての電力消費者が支払っているが、大規模電力消費産業は支払いを免除されている。2014年以降、10kW超の太陽光発電システムのプロシューマーは、太陽光発電電力の消費について、この賦課金の40%を支払わなければならない。最終消費者は、この賦課金に付加価値税 (19%) を上乗せした金額を支払う必要がある。前年の太陽光発電の貢献度は、風力発電と比較すると低いと考えられている。

イタリアは、かつてのFIT制度におけるすべての買取額の前原資としての、太陽光発電に対する年間支払いの上限額を67億ユーロに設定した。この費用はすべて、電気料金の一部で賄われている。日本では、再生可能エネルギーによる発電を普及促進するために、一般家庭に課される賦課金が採用されている。製造企業等の電力を大量消費する需要家は賦課金減額措置を受ける権利がある。韓国では、太陽光発電インセンティブにかかる費用は、主に中央政府及び地方政府 (納税者) が負担している。一部の費用は、再生可能エネルギー・ポートフォリオ基準 (RPS) を義務付けられた電力事業者21社が負担していることから、間接的に電気料金に影響を及ぼしている (電気料金は政府の管理下にある)。マレーシアでは、FIT制度は電力顧客が支払う再生可能エネルギー基金 (RE Fund) によって支えられている。電力使用量が300kWh/月を超える消費者は、RE Fund向けに、電力料金の1.6%を追加で支払う義務を負う。

スペインでは、電気料金を原資とする再生可能エネルギーを対象とした特定の買取制度が採用されている。補助金や代替モビリティ向けの高効率・持続可能モビリティ・インセンティブ (MOVES) 等のプログラムは、少なくともその一部はEUの欧州地域開発基金から資金提供を受けている。地方税の減免については、地方自治体が資金源となっている。米国では、投資税額控除 (ITC) は連邦予算によって間接的に賄われている (連邦予算は支出されていないが、太陽光発電の普及に要するコストにより潜在的な歳入が減少している)。連邦政府による支援に加え、太陽光発電プロジェクト開発事業者は、州及び市町村レベルのインセンティブを受けることも可能である。その形態は、初期設置コストへの助成金 (リベート)、発電量ベースのインセンティブ、州の税額控除、再生可能エネルギー証書 (REC) の取引、固定資産税控除、低利融資など様々である。連邦政府及び州政府によるインセンティブは、分野やシステム規模 (電力事業用/分散型) により異なる。

ソフト・コスト

各国において太陽光発電の普及を開始するにあたって、財政的支援制度が常に成功を収めてきた訳ではない。十分に設計された支援制度でも、不適切かつ高コストな行政上の障壁が原因となり、失敗に終わった事例は複数ある。過去数年に、許認可プロセスを簡略化した多くの国では様々な成果が上がり、進展が報告された。リードタイムは、太陽光発電の急速な発展にとっての障壁となるだけでなく、法的費用及び行政手続き費用を補うためにコストが増えるというリスクにな

り得る。

ソフト・コストは、一部の国において従来同様高いレベルにあるが、**日本や米国**などの一部の主要市場においては価格が低下し始めている。例えば、**日本及び米国**の市場において、住宅用システムの価格は依然として欧州主要市場の価格を大幅に上回っている。その理由として、設置業者が既存のインセンティブに対応していることが考えられる。一部の主要市場において最終システム価格の低下が加速しないことを説明する理由については、様々な他の要因が組み合わさっていると考えられる。加えて、一部の国における追加的規制が、最良ケースと比較してソフト・コストを上昇させる傾向があるように見受けられる。機器価格の低下によって得られる利益を相殺しないよう、ソフト・コスト上昇の要因については今後数年をかけて精査すべきである。

太陽光発電所の所有

最近まで、太陽光発電市場の大部分は、太陽光発電所の所有に基づいた従来のビジネスモデルが中心であった。屋根設置型システムに関しては、従来は太陽光発電システムの所有者がその建物の所有者であることがより明確であった。しかし、必要発電容量に対する初期投資が高額であるため、特に**米国**や**欧州**の一部の国で、様々なビジネスモデルの開発が進んでいる。例えば、設置システムの所有や出資という意味合いを含まない、サービス契約として太陽光発電による電力を売るというアイデアによって、電力供給サービスとしての太陽光発電が、米国の住宅用太陽光発電市場に大きく貢献している。これらのビジネスモデルは、太陽光発電を長期契約の対象とすることで契約者にとっての不確実性を低減できるため、今後数年で太陽光発電部門を大きく変える可能性がある。米国では、こうしたビジネスモデルがすでに住宅用太陽光発電システム市場の50%超を占めており、**ドイツ**、**オーストリア**、**スウェーデン**及び**スイス**の一部の電力事業者も同様の提案を開始している。なお、太陽光発電システムを主軸製品として提案する専門企業（SolarCity、Sunrun等）が存在している点で、米国の事例は革新的である。このようなサービスは、資金調達やシステムの稼働に関する多くの問題を解決し、プロシューマーにとっての長期的な不確実性を低減できるため、近い将来において分散型太陽光発電市場を推進するために必要な展開としてさらに成長する可能性がある。

同様に、過去数年のアフリカ諸国でのソーラー・ホーム・システム（SHS）及び太陽光発電キットの普及においては、**pay-as-you-go（PAYG）**方式の資金調達モデルが大きく成功しており、同モデルにより住宅用及び独立形太陽光発電市場がさらに進展すると期待される。**PAYG**モデルは、プリペイドの携帯電話支払いスキームから直接着想を得たものであり、利用者は、月額料金または必要に応じた料金を支払い、支払額が所定の額になった段階で太陽光発電キットを所有するという仕組みである。

系統連系

複数の国で電力システムにおける太陽光発電の比率が拡大しており、電力系統への統合が喫緊の課題となりつつある。一部の国では、一時的あるいは恒久的な出力制御ルールを策定し、系統強化や系統混雑をひとまず回避している。**中国**では、系統の適切性が依然として重大な課題となっているため、政府は大規模な電力事業用太陽光発電所よりも分散型太陽光発電システムの開発

を将来的に優遇する方向へとシフトした。

興味深いことに、多くの系統運用者が太陽光発電の普及拡大を予測しており、その影響を評価している。2019年にフランスの系統運用者であるRTEは、午前中のピーク時間帯の発電アデカシー（訳注：基幹電力系統がいつでも消費者が必要とする電力量を供給できる能力）における太陽光発電の大量開発のプラス効果について明確な評価を発表した。また、フランスでは高圧系統の強化にかかるコストが1ユーロセント/kWhを大きく下回ることから、フランス国内の電力系統においては、数10GWの太陽光発電システムにかかる調整コストはごく少額であるとの結論に達した。多くの系統運用者が同様のシナリオ策定と試算を行っていることから、太陽光発電開発の重要性が増していることが分かる。

系統連系規程

系統連系規程や規制が厳しいほど、太陽光発電システムの系統連系は複雑になり、それによりコストが増加する。例えば周波数応答や出力制御といった電力系統の安定化サービス（アンシラリーサービス）を系統へ提供する必要性が高まっていることは、太陽光発電システムにとっての系統連系の本質を変容させ、価格上昇と収益低下をもたらす可能性がある。これが太陽光発電ソリューションの競争力に影響を与える。

欧州連合（EU）では、加盟国間の系統連系規程の調和を図るため、系統連系規程の見直しが実施されており、これにより太陽光発電システムへの制約はさらに強化されることになる。オーストラリアでは、特定の系統連系規程が太陽光発電向けに整備されており、今後さらに発展していくとみられる。メキシコでは、入札プロセスにおいて、系統に関する特定の要件が入札者に課せられた場合もある。いかなる場合も、系統連系に関する政策は、太陽光発電システムが大量導入された地域における設置規制の必要性と共に、今後数年以内に重要な課題となるであろう。

系統利用料と税

系統利用料もまた重要な要素であり、特に分散型太陽光発電システムの自家消費における競争力に関係している。太陽光発電ソリューションの競争力は、需要家の電力料金を減額する能力に左右されるため、系統利用料はその成果に甚大な影響を与える。一部の国では、系統利用料を発電量に応じた料金からシステム容量に応じた料金に移行することが議論されている。系統利用料を満額支払わなければならない場合、電力の大部分をオンサイト発電している場合でも、分散型太陽光発電システムの収益性は多大なる影響を被ると考えられる。この背景には、プロシューマーや半自立型のエネルギー・コミュニティがニューノーマル（新たな常識）となった場合に、系統運用者の収入が減少し、収益が悪化することで電力系統への投資や系統保全能力が大幅に低下するのではないかという懸念がある。

分散型自家消費の例は、正しい系統利用料の把握と、実際の系統の利用に応じた公平な料金をプロシューマーに課すことの重要性を示している。一部の国におけるe-モビリティ（輸送部門の電化）の急速な発展を伴う電力事情の変化、分散型蓄電の進展及び今後予想される暖房の電化については、系統料金を原資として提供することになる様々なインセンティブの中で適切なバランスを見つけるために長期的な分析を行う価値がある。

電力事業者や、場合によっては系統運用者から、ネットメタリング制度に対する反対の声が高く高まった。系統及び電力事業者への太陽光発電の恩恵が追加費用を補填するという議論がある一方で、それとは反対の議論を推し進めているケースもある。ベルギーでは、系統運用者の財務水準を維持するために系統税を導入しようとする試みが裁判所で差し止められたが、その後、再び導入された。後に系統税は廃止されたが、これにより収益モデルが縮小するのではないかという系統運用者の懸念が浮き彫りになった。ドイツでは、2013年に始まったプロシューマーの賦課金負担に関する議論がようやく結論に達した。再生可能エネルギー法（EEG）の賦課金は、自家消費電力に対して部分的に課されている。イスラエルでは、ネットビリング制度に、系統のバックアップ費用及び変動制御費用を補償するための系統運用料金が導入されている。概して欧州では、系統利用料について複数の規制当局が発電量ではなくシステム容量に応じた料金を導入することが見込まれている。これにより、屋根設置型システムが太陽光発電市場の主体となっている状況を一変させ、一部の国では太陽光発電の競争力獲得が遅れる可能性がある。

持続可能建築要件と建材一体型太陽光発電（BIPV）

太陽光発電の発展において建築分野は主要な役割を担っており、太陽光発電が競争力を持ちつつある国において、持続可能建築要件は太陽光発電を普及させるための牽引力となっている。こうした規制には新築の建物（住宅用及び業務用）への要件と、一部のケースでは売却不動産も対象とした要件がある。建物のエネルギー・フットプリントを削減するための一連の選択肢に太陽光発電が含まれる場合もあれば、建物の開発に太陽光発電を含めることが特別に義務付けられている場合もある。

韓国では、公共の建物に対する新・再生可能エネルギー・システム設置令により、床面積が1,000m²を超える新築公共建物について、電力消費量の10%超を新・再生可能エネルギー源で賄うことを義務付けている。ベルギーでは、フランダース地方で類似の施策が2014年から導入されている。導入後の最初の調査結果によれば、新築建物の85%超に太陽光発電システムが設置された。デンマークでは、エネルギー・フットプリントの削減に向けて、国家建築基準に太陽光発電を組み込んでいる。EU全加盟国を対象に、新たな欧州指令となる、建物におけるエネルギー性能に関する欧州指令（EPBD）により、建物における電力消費の削減方法を模索することが義務づけられるとみられる。これにより、2020年以降は分散型エネルギー源が有利になると考えられ、中でも太陽光発電が最も発展するとみられる。

持続可能建築要件を特徴付けるコンセプトは次の2点である。

- ・エネルギー消費がほぼゼロの建物（Near ZEH）（電力消費量が削減されたものの、わずかに発電量を上回っている状態）
- ・ポジティブ・エナジー・ビルディング（PEB）（電力消費量よりも発電量が多い建物）

多くの国で競争力が向上してきた昨今、これらのコンセプトは、建物への太陽光発電システム利用を推進する方向で影響を及ぼすであろう。

建材一体型太陽光発電（BIPV）への支援施策は、数年前には非常に一般的であり、特にイタリアとフランスではBIPV支援施策により設置容量が大幅に増加し、両国の累積設置容量は5GW近くに拡大した。その後、BIPV支援施策は大幅に削減され、現在ではBIPVに特化したインセンティブ

を実施している国は**中国、韓国及びスイス**以外にほとんどない。これまでの支援施策では、**BIPV**システム設置の簡素化を目的として従来型太陽電池モジュールの利用を支援していたが、その結果インセンティブが濫用され、**BIPV**施策の制約が強化された。その後、複数の事例において、より制約の多い建物据付型太陽光発電（**BAPV**）施策が策定され、**BIPV**の開発に対する制約を強めている。その一例として、**フランス**では入札対象外のプロジェクトは**100kW**以下に制限されており、これにより事実上**BIPV**は**BAPV**との競合を余儀なくされ、**100kW**超のシステムについては全てのケースで**BAPV**が選択されている。**BIPV**は建物の外皮を対象としているため、電力消費の選択肢ではなく、建物の外皮に基づいて上限が設定されている。このようなケースでは、今後数年間の**BIPV**開発は確実に限定されるであろう。**BIPV**は、その大規模な開発によってもたらされた大幅な価格低下による恩恵を**BAPV**ほど受けなかったため、財政的インセンティブの不足は**BIPV**の魅力を減少させている。

蓄電

蓄電に関しては、現段階においては、開発に向けてのインセンティブが引き続き付与されている。一部の象徴的な企業が最新の蓄電池を提案する一方、実際の市場はより複雑であり、財政的支援なしでは競争力が低い状態が続いている。

2018年までに蓄電システムに特化したインセンティブを導入した国は、**オーストラリア**や**ドイツ**など特定の国に限られた。しかし、蓄電システムのコストは急激に低下しており、蓄電システムはますます多くの市場で魅力を増している。2019年までに太陽光発電システムに併設する蓄電システムの導入を奨励する法律を公布した国の中で、**オーストリア**及び**イタリア**は（小規模太陽光発電所と蓄電池との組み合わせを対象に）税額控除を導入し、**スイス**の一部の州には補助金制度が導入されている。**ベルギー**のフランダース地域では、蓄電池を購入する際にリベートが提供されていた。

ドイツでは、適格太陽電池モジュールの最大**25%**が、2016年～2018年にソフトローン及び投資助成金を活用して設置され、このプログラムは2020年まで延長された。**スウェーデン**では、政府が個人住宅向けの蓄電システム導入を対象とした直接投資補助金を導入し、これにより2019年の蓄電システム総容量は**6,362kWh**に拡大した。**米国**では、カリフォルニア州をはじめとする複数の州が、適格の分散型エネルギー・システムを対象としたリベートを提供している。

中国では、2017年に国家発展改革委員会が「エネルギー貯蔵技術の促進と産業発展に関する指導意見」を発表した。同指導意見では、再生可能エネルギーの革新的利用の促進と系統を支援し、蓄電が電力系統の安定化サービス（アンシラリーサービス）市場に参入できるようにするため、蓄電システムの開発を呼びかけている。中国は世界的に重要なリチウムイオン蓄電池生産国であり、EV市場は世界最大である。

フランスでは、2011年～2017年に島嶼部において、蓄電システム併設型太陽光発電システムの入札を数回実施した（**コルシカ**：**15MW**、**レユニオン**及び**マヨット**：**17.5MW**、**グアドループ**、**仏領ギアナ**、**マルティニーク**、**サンバルテルミー**、**サンマルタン**：**17.5MW**）。2020年には、低炭素技術により系統に適応性を持たせることを目的とした入札を開始し、これにより選定されたプロジェクトの約3分の2は蓄電池を、残りのプロジェクトはロードシフトを採用している。

日本もまた、蓄電池導入プロジェクトの拡大に取り組んでいるが、補助金が限られているという課題がある。過去数年間にわたり、住宅用蓄電池に対する補助は、ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス（ZEH）の開発を加速させるための補助金プログラムの一環であった。

2016年以降、韓国では政府がピーク時の負荷を低減するためにエネルギー貯蔵システム（ESS）を奨励している。現行制度では、消費者は電力使用料を最大50%節約することが可能である。政府はまた、ESSを備えた太陽光発電システムについて、非常に魅力的な再生可能エネルギー証書（REC）の優遇倍数カウントを提供している。これは一時的な補助金であり、2020年には減額が予定されている。

太陽光発電電力向け蓄電の発展は、日中の大部分を系統に接続しているEVによって大規模に実現され、それにより、単純な蓄電池よりも大規模に蓄電と消費者への電力供給が可能になるであろうと一部では考えられている。このようなVehicle to Grid（V2G）の概念について、オランダ、スイス、日本をはじめ複数の国で調査と試験が行われている。



4章 太陽光発電産業の動向

本章では、太陽光発電製造業の川上部門の概要を示す。内容は主に川上部門、すなわち太陽電池の材料（シリコン原料、インゴット、ブロック/ブリック及びウエハー）、太陽電池セル、太陽電池モジュール及び周辺機器（BOS）コンポーネント（インバータ、架台、チャージコントローラ、蓄電池、その他機器）の生産に関するものである。また、2020年から2021年前半にかけての太陽光発電部門の川下部門（プロジェクト開発や運用・保守（O&M）を含む）の概要も示す。本章は太陽光発電産業の概要を説明するものであり、IEA PVPS加盟国における太陽光発電産業に関する詳細情報については、各国の国内調査報告書（National Survey Reports、NSR）を参照されたい。

前述の通り、2020年には世界の太陽光発電システム設置容量が増加し、また2021年にはさらなる生産能力の拡張が見込まれる中、過去数年と同様にポリシリコン、インゴット、ウエハー、太陽電池セル・モジュールの生産量と生産能力は設置容量の増加よりも速いペースで増加した。中国は引き続き太陽電池セル・モジュールの最大の生産国かつ消費国であり、世界の太陽光発電の需要と供給において、中国の太陽電池市場は大きな影響を及ぼしている。2020年末までは、需要と生産能力の乖離は、ポリシリコンから太陽電池モジュールに至るまで、太陽光発電価値連鎖全体のさらなる価格低下に貢献していた。しかし2021年には、ポリシリコン工場の事故や、材料不足（特に太陽電池モジュール用ガラス）による太陽電池モジュールの価格上昇が報告された。2021年の前半には、生産能力を拡張したウエハー製造企業によるポリシリコン需要が増えたため、ポリシリコン価格のさらなる上昇が報告された。高額な輸送費及びその他の要因による太陽電池モジュール価格の急騰が顕著であった。今後数年で世界市場が成長すると予測されているものの、太陽電池モジュールの価格上昇によって、電力事業用プロジェクトが遅延する可能性がある。地域の価値連鎖維持、輸送費の削減、経済回復を支えるための雇用創出、カーボンフットプリントの低い環境に優しい生産活動の強化を目的として、太陽光発電製品の現地生産の必要性が議論された。

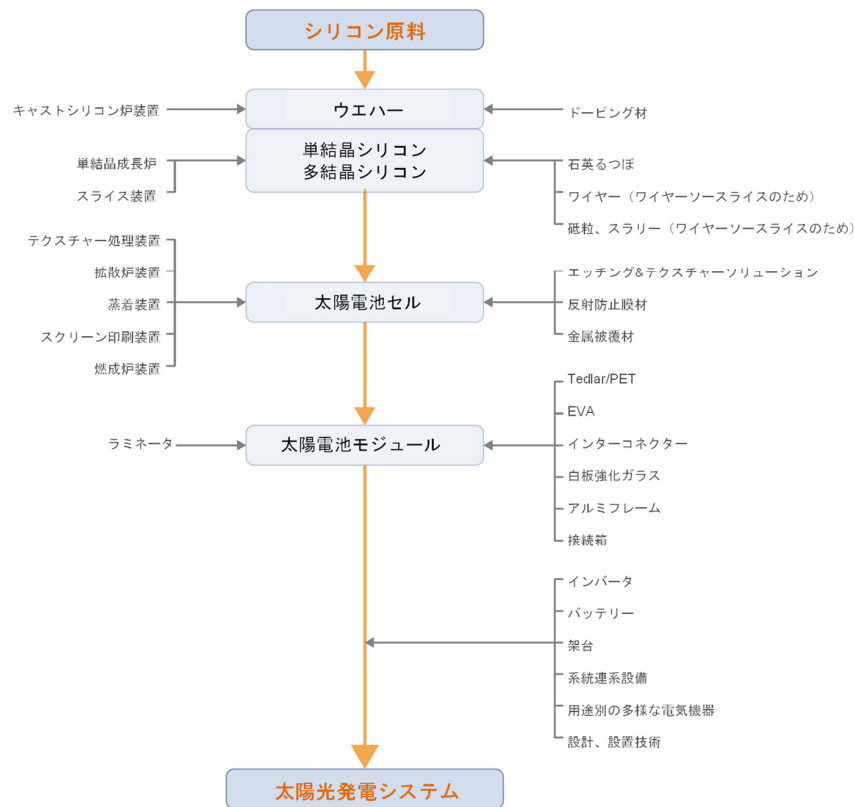


図 4.1 太陽光発電システムの価値連鎖（結晶シリコン太陽電池技術の場合）

出典：IEA PVPS、その他

太陽光発電の川上部門（製造企業）

本項では、結晶シリコン太陽電池技術と薄膜太陽電池技術の価値連鎖の動向を概説する。図4.1に示すように、太陽光発電システムは様々な製造工程と材料で構成されているが、本項ではポリシリコン、インゴット/ウエハー/太陽電池セル、太陽電池モジュール（結晶シリコン及び薄膜太陽電池）の主な動向に焦点を当てている。

ポリシリコンの生産

ウエハーをベースとする結晶シリコン太陽電池技術は、太陽電池セル製造において依然として主流技術である。それを踏まえて、本項ではウエハーをベースとした生産プロセスに焦点を当てる。一部のIEA PVPS加盟国はシリコン原料、インゴット、ウエハーの生産を報告したが、各国の国内調査報告書（National Survey Reports、NSR）に記載された太陽光発電産業のサプライチェーンに関する情報は完全なものではない。そのため、本項では太陽光発電の価値連鎖の川上部門の背景について、追加的情報を含めて説明する。

2020年の世界のポリシリコン生産量（半導体グレードのポリシリコンを含む）は約520,500tであった。太陽電池向けポリシリコンの生産量は、2019年の469,000tから2020年には約486,000tに増加し、半導体向けポリシリコンの生産量は34,600tであった。2020年の太陽電池向けポリシリコンの生産量は、ポリシリコン総生産量の約93.4%を占めた。

2020年末時点の世界のポリシリコン生産能力は、推定627,000t/年であった。世界の太陽光発電市

場の成長に伴い、ポリシリコンの生産能力はこれまで増加を続けてきたが、2020年の生産能力は、複数の製造企業の撤退により、2019年から74,000t/年減少した。2020年のTier 1製造企業（大手6社）の生産能力の合計は約260,800t/年となり、世界の生産能力の約41%を占めた。主に中国における生産能力拡張によって、世界のポリシリコン生産能力は再び増加に転じ、2021年末までに813,000t/年に達する見通しである。

太陽電池セル・モジュールの高効率化とウェハーの薄厚化などの原材料使用量低減の取り組みにより、ウェハー1W当たりを使用するポリシリコンの量（ポリシリコン消費原単位）は、年々低下している。2019年は、太陽電池セルには推定で平均3.2g/Wのポリシリコンが使用されていたが、2020年には平均3.1g/Wまで減少した。2010年の6.8g/Wと比較すると、ポリシリコン消費原単位は7.6%/年のペースで減少したことになる。

2020年前半は、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の世界的流行により引き起こされた太陽光発電市場の低迷により、ポリシリコン価格は低下を続けた。2020年6月末時点で報告されたポリシリコンのスポット価格は6.19ドル/kgであった。7月には、火災事故により、中国にある2ヶ所のポリシリコン工場が生産を停止した。また、別のポリシリコン工場では、豪雨による電気設備の故障により生産を停止した。2020年8月にはポリシリコン価格の一時的な上昇がみられ、スポット価格は10.86ドル/kgに上昇した後、一時的に約9ドル/kgに下落、2020年12月末時点で10.57ドル/kgと報告されている。2021年には、生産能力を拡張したウェハー製造企業からの需要増と世界の太陽光発電市場の成長に対する期待から、ポリシリコン価格のさらなる上昇が報告された。2021年1月末時点におけるポリシリコンのスポット価格は11.47ドル/kgに達し、さらに2021年5月には28.72ドル/kgにまで上昇した。2021年6月、中国太陽光発電産業協会（CPIA）は政府に対し、ポリシリコン価格の急騰への対処を求める提言を発表した。その後わずかな価格低下が確認されたが、2021年8月時点の価格は28ドル/kgと依然として高かった。ポリシリコンの生産能力は2021年時点の813,000t/年から2022年末までに倍増超となる1,640,000t/年に拡張される見込みであることから、2022年には価格が安定すると予想されている。

大手ポリシリコン製造企業の大半は、半導体産業向けのポリシリコンの製造プロセスとして考案されたシーメンズ法を採用している。シーメンズ法によるポリシリコンは、ポリシリコン総生産量の98%を占めたと推定される。生産効率の向上が報告されており、ポリシリコン製造プロセス全体の電力消費量は、2019年の70kWh/kgから2020年には66.5kWh/kgに減少した。還元プロセスでの電力消費量の低減は、①大型の還元炉の開発と実用化、②炉の内壁素材の向上、③従来のシリコン・チューブをシリコン芯に変更したこと、④ガスの配合を調整したこと、により達成されている。プロセスの最適化や規模の経済により、さらに電力消費量を低減でき、ポリシリコン価格の低下に貢献すると考えられる。ポリシリコンの製造には、シーメンズ法のほかに流動床（FBR）法が用いられているが、単結晶シリコン太陽電池モジュール向けには高純度ポリシリコンが必要であるため、FBR法の需要は減少傾向にある。

IEA PVPS加盟国のうち、2020年の主な太陽電池向けポリシリコン生産国は、これまで同様に中国、ドイツ、米国、マレーシア、韓国及びノルウェーであった。中国は引き続き世界最大のポリシリコン生産国かつ消費国となった。米国におけるポリシリコン生産も報告されているが、中国政府が米国製ポリシリコンに関税を課していることから、生産されたポリシリコンの大半は半導

体産業に使用された。図4.2に、ポリシリコン生産量の国別シェアを示す。

中国の報告によれば、同国の生産量は引き続き増加し、2020年には世界の総生産量の76%に当たる396,104tに達した。2020年の中国のポリシリコン生産能力は世界全体の生産能力の75.2%を占め、2019年の69.0%から6.2ポイント増となった。生産量に関しては、2020年の中国のポリシリコン生産量は世界の生産量の76%を占め、2019年の67.3%から8.7ポイントの増加となった。中国は2020年に、73,095tのポリシリコンをドイツ及びマレーシアから輸入した。

国別のポリシリコン生産量で第2位のドイツは、ポリシリコン国内生産能力が60,000t/年を上回っている。カナダ、米国及びノルウェーでは、生産コストを削減するために冶金法によるポリシリコン生産が報告されている。Silicor Materials（米）は、アイスランドに生産工場を建設中であると報道されている。REC Solar（ノルウェー）は、2020年に約6,500tのポリシリコンを生産したと推測される。

米国は2021年に、強制労働疑惑を理由に、中国を拠点にポリシリコンの主原料である金属ケイ素（シリコン）を生産するHoshine Silicon Industryからの材料の輸入禁止を決定した。この措置により将来的に生産地が変わる可能性はあるものの、当面は中国が世界最大のポリシリコン生産国の地位を維持するとみられる。

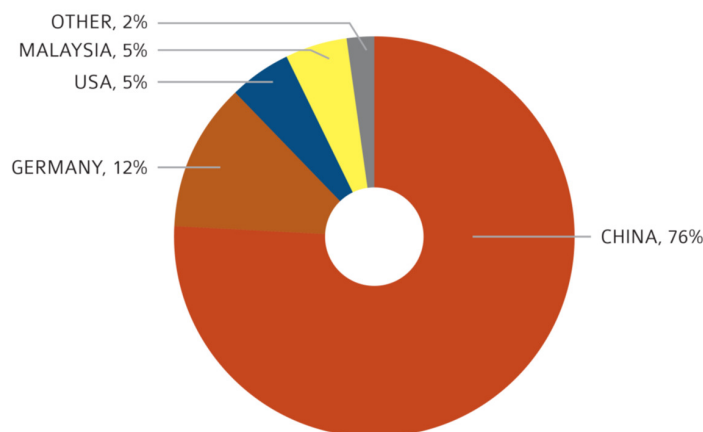


図 4.2 2020 年のポリシリコン生産量の国別比率

出典：IEA PVPS、（株）資源総合システム

インゴット及びウエハー

単結晶シリコン・インゴット及び多結晶シリコン・インゴットを製造するための基本的な材料はポリシリコンである。インゴットはまず塊やブロックとして形成され、その後薄いウエハーに加工される。従来のシリコン・インゴットには、単結晶シリコン・インゴットと多結晶シリコン・インゴットの2種類がある。単結晶シリコン・インゴットは、純度と個々のドーパントの含有量により仕様は異なるがマイクロエレクトロニクス応用向けにも製造されている。一方、多結晶シリコン・インゴットは太陽光発電産業のみで利用されている。

インゴット製造企業の多くはウエハーも製造している。大手インゴット/ウエハー製造企業に加えて、一部の太陽電池セル・モジュール製造企業も自社用のシリコン・インゴット及びウエハーを製造している。垂直統合型の手太陽電池モジュール製造企業の中には、コスト削減の圧力を

受けて、コストと品質の両面で優位な専門製造企業からのウエハー調達にシフトしている企業もある。

2020年には、2019年（142GW）から18%増となる約167.7GWの結晶シリコン・ウエハーが生産されたと推定される。2020年時点の世界のウエハー生産能力は、2019年の185GW/年から17.7%増の約218GW/年になったと推定される。大手ウエハー製造企業は、引き続き生産能力の拡張を発表しており、2021年末までには、世界の生産能力は435GW/年を超える可能性がある。生産能力拡張の主な要因は、新工場設立のほか、技術向上による生産能力拡張である。注目すべきは、高効率太陽電池モジュールの需要により、多結晶シリコン・ウエハーの生産能力及び生産量は減り、単結晶シリコン・ウエハーの生産能力及び生産量は増えていることである。

図4.3に示すように、**中国**は世界のウエハー生産量の96%以上を占めている。単結晶シリコンの生産拡大に投資したことにより、2020年に中国が生産した結晶シリコン・ウエハーは前年比19.8%増の161.4GWとなった。このうち輸出量は2019年（27.3GW）と同水準の約27GWで、結晶シリコン・ウエハー生産量全体の約16.7%を占めた。このうち、単結晶シリコン・ウエハーの輸出量は前年比24.5%増の約23.9GW、多結晶シリコン・ウエハーの輸出量は前年比61.7%減の約3.1GWであった。

結晶シリコン・ウエハーのスポット価格は、概ねポリシリコン価格に追随する形で推移してきた。2020年1月には多結晶シリコン・ウエハーの価格が約0.174ドル/枚、単結晶シリコン・ウエハーの価格が0.369ドル/枚であった。2020年12月には、多結晶シリコン・ウエハーのスポット価格が0.152ドル/枚に低下したのに対し、単結晶シリコン・ウエハーの価格水準は0.344ドル/枚であった。需要の停滞により、多結晶シリコン・ウエハーの価格が大幅に低下し、1年を通じて多結晶シリコン・ウエハーと単結晶シリコン・ウエハーの価格差が広がった。

結晶シリコン・ウエハー生産量のうち、単結晶シリコン・ウエハーが90.2%を占めた。このうちp型は86.9%、n型は3.3%であった。

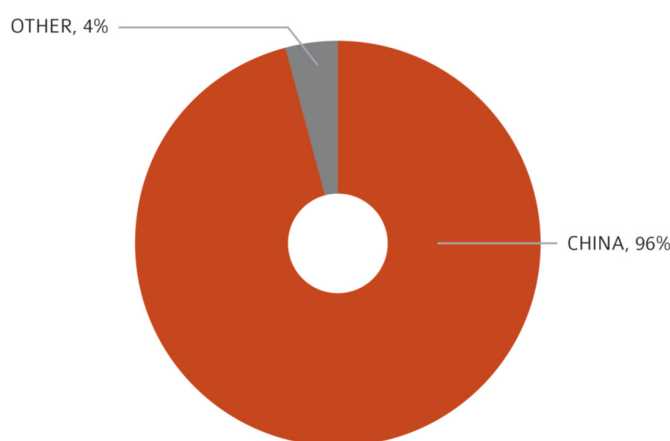


図4.3 2020年の太陽電池向けウエハー生産量の国別比率
出典：IEA PVPS、（株）資源総合システム

2020年の注目すべき動向は、高出力太陽電池モジュールに大型ウエハーが採用されたことである。単結晶シリコン・ウエハーでは、156.75mm角ウエハーから158.75mm角ウエハーに移行した。中国太陽光発電産業協会（CPIA）によれば、2020年には156.75mm角のウエハーのシェアが61%から17.7%に激減した。2020年の主流は158.75mm角（G1）及び160～166mm角で、合わせて77.8%を占めた。大型ウエハー（182mm角及び210mm角）のシェアは依然として小さく、4.5%にとどまった。2021年には大型ウエハーのシェアは50%にまで拡大し、次いで160～166mm角製品が45%を占めると予想されている。しかし、ウエハーの機械的強度による不具合、大型太陽電池モジュールの輸送及び重量増加による取り扱い等、様々な問題が起こる可能性があるため、大型ウエハーの太陽電池セルへの採用については注視する必要がある。太陽電池セル・モジュールの生産プロセスにおけるさらなるコスト削減のためには、標準化が必要である。2020年7月、JA Solar（中）、JinkoSolar（中）、LONGi Green Energy Technology（中）をはじめとする大手7社は、182mm角のウエハーを標準サイズとして使用することを提案した。

サイズの大型化と同様に、コスト削減と高性能化に向けた取り組みも前進した。2020年以降にはウエハーのさらなる薄厚化が報告された。例えばLONGi Green Energy Technology（中）はウエハー厚を180μmから175μmに薄厚化し、Zhonghuan Semiconductor（中）は160μm厚・210mm角ウエハーを発売した。光誘起劣化（LID）に対応し、出力を増加させるため、複数の企業がガリウムドープ・ウエハーを商品化したと報告している。

中国と比較すると生産規模ははるかに小さいが、2020年には中国以外の国々における生産も報告された。中国以外では、マレーシア（3GW）、ベトナム（1.3GW）、ノルウェー（1GW）及び台湾（1GW）におけるウエハー生産が報告された。フランスでもウエハー生産が行われたが、2020年の生産量は100MW以下であった。

複数の国が生産能力の新設を報告している。スペインでは、Aurinka Photovoltaic（スペイン）が2020年末までにウエハー生産を開始すると発表した。Greenland Gigafactory（スペイン）は垂直統合型の太陽電池製造を確立する計画の一環として、スペイン・セビリアにウエハー生産工場を建設する計画を発表した。トルコでは、Kalyon Solar Technologiesがウエハー生産を含む500MW/年の太陽電池生産工場を開設した。インドでは、電力事業用プロジェクトの開発権と組み合わせた太陽電池工場設立計画の一環として、複数の企業がウエハーの生産を計画している。ロシアではHevel Solar（ロシア）がヘテロ接合型（HJT）太陽電池セル・モジュール生産の一環として、生産能力1.3GW/年を計画している。

米国や欧州では、複数の新興企業が従来型のインゴット成長やワイヤーソーを使用しないカープレスのウエハー製造プロセスを開発している。1366 Technologies（米）は、ダイレクト・ウエハー技術を採用した2GW/年のウエハー生産設備を建設するために、3億ドルを投資する予定である。Nexwafe（ドイツ）は、5MW/年のパイロットラインを用いて実証段階にある同社のエピウエハー技術の商品化に向け、数百万ユーロの資金を調達した。

このほか、Leading Edge Crystal Technologies（米）やCrystal Solar（米）も新技術に取り組んでいる。

太陽電池セル及びモジュールの生産

2020年の世界の太陽電池セル（結晶シリコン太陽電池セル及び薄膜太陽電池セル）生産量は、2019年（144GW）から20%増の約178GWと推定される。2020年末時点の世界の太陽電池セル生産能力は約257GW/年で、2021年末には300GW/年に達すると予想される。前年と同様、**中国**は世界最大の太陽電池セル生産国であった。中国の2020年の太陽電池セル生産量は約135GWで、前年比22%増（2019年：144GW（訳注：原文ママ、2019年生産量は110GW））となった。中国は生産能力を拡張しており、2020年末時点の太陽電池セル生産能力は約200GW/年であった。

図4.4に示すように、中国の太陽電池セル生産量は世界の生産量の78%を占めている。

中国以外で太陽電池セルの生産を報告した国は、**マレーシア**（11.6GW）、**ベトナム**（9.4GW）、**韓国**（6.3GW）及び**タイ**（4.3GW）である。**欧州**、**米国**、**インド**及び**日本**からも生産が報告された。タイ及びベトナムは、米国におけるセーフガード関税の非対象国であり（訳注：原文ママ、セーフガード関税ではなく中国製品向けの反ダンピング関税（AD）と反補助金関税（CVD）が適用除外）、生産量及び生産能力が増加している。2020年時点の太陽電池セル生産能力は、タイが7GW/年、ベトナムは11GW超/年であった。米国では、First SolarによるCdTe薄膜太陽電池の生産が主体である。結晶シリコン太陽電池セルについては、高効率品に対する需要が引き続き高まっている。

多結晶シリコン太陽電池セルのシェアは、2018年の約54%から2019年には35%まで低下し、2020年には14.5%に落ち込んだ。太陽光発電国際技術ロードマップ（ITRPV）2021年版報告書によると、PERC技術のシェアは2020年に76%に達し、従来のBSF技術のシェアは15%に低下した。高効率技術のシェアは依然として比較的小さく、TOPConは5%、IBCは2%、ヘテロ接合（HJT）は2%にとどまった。しかし、これらの技術に対する投資は2020年も活発に行われた。20を超える企業がHJT技術の生産及び商品化を計画している。HJTの新規生産能力の発表は、合計約40GW/年に達した。

主な太陽電池モジュール製造企業は、変換効率向上に向けた投資を続けており、PERC構造又はPERT構造用パッシベーション・プロセスの改良、4本以上のバスバーの採用、マルチバスバー配線やバスバーの無い配線の採用等により、変換効率の向上を目指している。電極に使用する銀の消費量削減も、太陽電池セル製造部門における課題のひとつである。

世界の太陽電池モジュール（結晶シリコン太陽電池モジュール及び薄膜太陽電池モジュール）の生産量は2019年の140GWから増加し、2020年には178GWとなった。世界の太陽電池モジュール生産能力は、2019年の220GW/年から2020年には327GW/年に増加した。生産能力の新設に対する投資が進んでおり、公表されている計画が全て実現した場合、世界の公称生産能力は2021年末までに約400GW/年に到達する可能性がある。

図4.5に示すように、2019年と同様に**中国**が引き続き世界最大の太陽電池モジュール生産国であった。2020年の太陽電池モジュールの合計生産能力は前年比61.4%増の約244GW/年、生産量は前年比26.4%増の124.6GWであった。2020年の太陽電池モジュールの輸出額は、前年比2.6%増の約169.9億ドルと太陽光発電製品の総輸出額の86%を占め、前年より2.6ポイント増加した。太陽電池モジュール輸出量は約78.8GWと総生産量の63.2%を占め、過去最高を記録した。

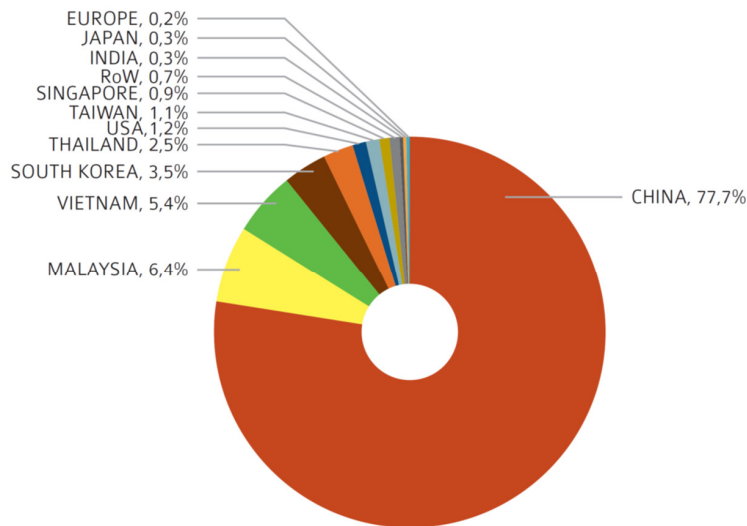


図 4.4 太陽電池セル生産量の国別比率（2020 年）
出典：IEA PVPS、（株）資源総合システム

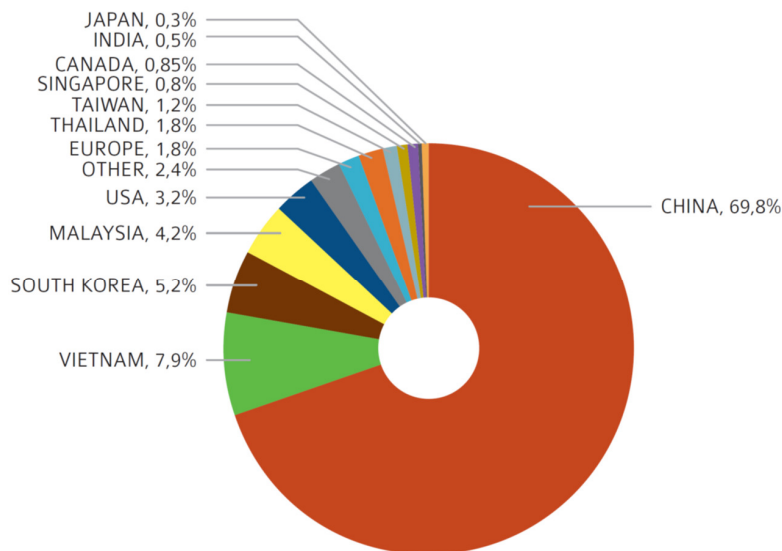


図 4.5 太陽電池モジュール生産量の国別比率（2020 年）
出典：IEA PVPS、（株）資源総合システム

2020年の太陽電池モジュールの国別生産量は、中国に次いでベトナム（14.13GW）が世界第2位で、初めて上位5ヶ国入りを果たした。太陽電池セルに関する項で述べた通り、ベトナムでは、米国による関税を回避するため太陽電池モジュールの製造が積極的に行われており、2020年末時点で複数のTier 1製造企業がベトナムに合計18.3GW/年の製造施設を設立した。第3位は韓国で約9.29GWを生産した。マレーシアは第4位で約7.42GWを生産、米国は5.73GWを生産し第5位であった。この他の主要IEA PVPS加盟国では、日本、ドイツ、オーストラリア、オーストリア、ベルギー、カナダ、メキシコ、デンマーク、フランス、イタリア、フィンランド、スウェーデン、トルコ

及び南アフリカも太陽電池モジュールの生産能力を保持している。太陽電池モジュールを生産している主なIEA PVPS非加盟国は、シンガポール、台湾、ベトナム、インド及びポーランドである。ロシア、アルジェリア、ブラジル、モロッコ、ガーナ、サウジアラビア、インドネシアなどでも生産拠点が設立されている。

インドの太陽電池モジュール生産能力は7GW/年で、国内のサプライチェーン構築に向けた政府施策により、新たな生産能力増強が計画されている。インド政府は生産拠点構築を含む太陽光発電プロジェクトの入札を実施しており、複数の企業が選定された。トルコでも同様の入札が実施された。これらの施策に加え、輸送コスト低減の必要性、景気回復及びエネルギー転換に向けた労働力確保のための方策、持続可能な生産活動へのニーズ等の理由から、太陽光発電市場が発展している場所に隣接する地域において生産工場の設立が増加することが予想される。

図4.6は、太陽電池モジュールの技術別生産量を示している。結晶シリコン太陽電池モジュールは2020年の世界の太陽電池モジュール生産量の96.4%を占め、前年比微増となった。変換効率の向上や高出力化が求められていることから、単結晶シリコン太陽電池モジュールのシェアは2020年に62%から82%へと大幅に増加した。薄膜太陽電池モジュールのシェアは、2019年の4.0%から2020年には3.6%とわずかに減少した。

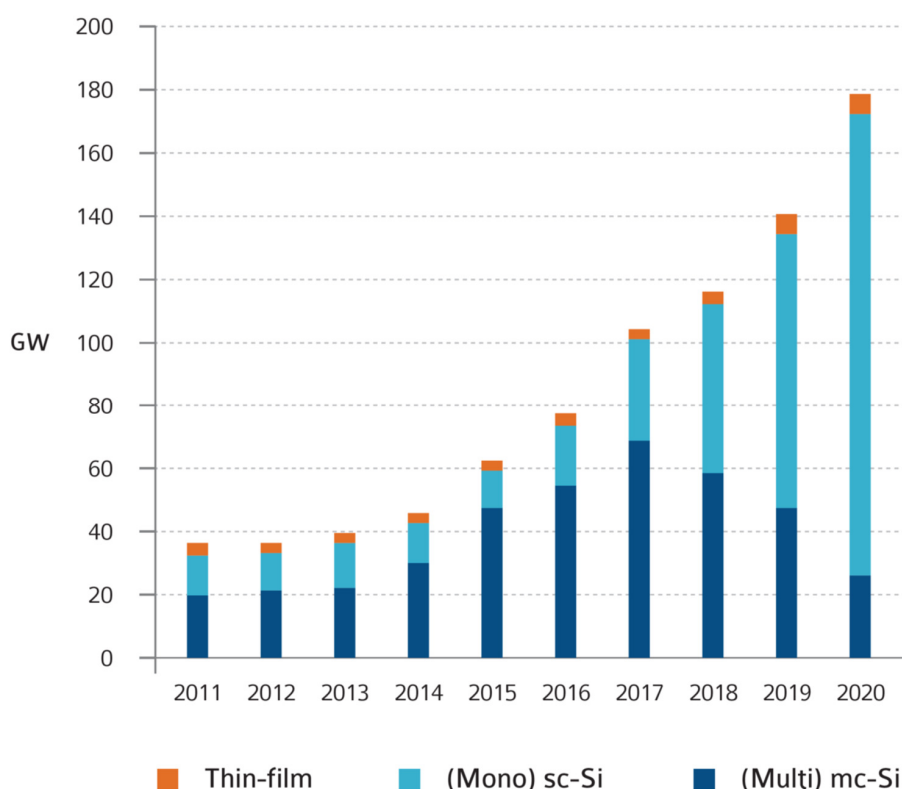


図 4.6 太陽電池モジュールの技術別生産量（2011～2020 年）（GW）

出典：IEA PVPS、（株）資源総合システム

表4.1に太陽電池セル生産量及び太陽電池モジュールの生産量・出荷量の世界上位5社を示す。いずれも結晶シリコン太陽電池製造企業である。太陽電池セルの生産量ランキングでは、セル生産に注力するTongwei Solar（中）が2020年に21.4GWを生産（2019年比60%増）し、首位の座を維持した。太陽電池モジュール生産量では、LONGi Green Energy Technology（中）が26.6GWを生産し首位となった。JinkoSolar（中）は2位となり、Trina Solar（中）がそれに続いている。これらの主要企業は2021年以降にさらなる生産能力拡張を計画しているため、生産能力で30GW/年規模の製造企業が現れる可能性が高い。

表4.1 太陽電池セル生産量及び太陽電池モジュール生産・出荷量の世界上位5社（2020年）

順位	太陽電池セル生産量 (GW)		太陽電池モジュール生産量 (GW)		太陽電池モジュール出荷量 (GW)	
	企業名	生産量	企業名	生産量	企業名	出荷量
1	Tongwei Solar（中）	21.4	LONGi Green Energy Technology（中）	26.6	LONGi Green Energy Technology（中）	24.5
2	LONGi Green Energy Technology（中）	17.6	JinkoSolar（中）	17.6	JinkoSolar（中）	18.8
3	Shanghai Aiko Solar Energy（中）	13.3	Trina Solar（中）	16.4	Trina Solar（中）	15.9
4	JA Solar Technology（中）	11.3	JA Solar Technology（中）	14	JA Solar Technology（中）	15.9
5	JinkoSolar（中）	10	Canadian Solar（カナダ）	11.4	Canadian Solar（カナダ）	11.3

注：生産量は製造企業自身の生産量。出荷量には委託生産やOEM調達を含む

出典：（株）資源総合システム（一部推定）

結晶シリコン太陽電池の分野では、太陽電池セルの変換効率向上に伴い、太陽電池モジュールの出力も向上している。高効率太陽電池セルやハーフカットセル、1/3カットセル、マルチカットセルを使用した高出力の太陽電池モジュールが発表されている。2020年には、ハーフカットセル構造が太陽電池モジュールの約8割を占めたと報告されている。前述の通り、大型ウエハーを用いた太陽電池モジュールの実用化が始まっている。また、リボン電極を使用せずに太陽電池セル端を積み重ねる、瓦積み（Shingled）技術を用いた太陽電池モジュールやシームレスはんだ付けなどの技術も採用されている。こうした技術により太陽電池モジュールの出力が向上しており、500W超、600W超の結晶シリコン太陽電池モジュールが実用化され、市場にいち早く導入されている。また、発電量の増加、均等化発電原価（LCOE）の低減、高収益化を目的として、PERCセルやヘテロ接合セルを使用した両面受光型太陽電池モジュールが増加していることも報告されている。電力事業用太陽光発電所では、両面受光型太陽電池モジュールと一軸追尾システムを組み合わせると最も低いLCOEを実現できるとみられている。両面受光型モジュールは営農型太陽光発電システムや水上設置型太陽光発電システムでも利用されている。2023年末までに両面受光型太陽電池モジュールのシェアは50%に達する可能性があると考えられている。

薄膜技術に関しては、2020年に約6.5GWの薄膜太陽電池モジュールが生産された。このうち5.5GWが、First Solar（米）によるCdTe薄膜太陽電池モジュールであった。その他の薄膜技術につ

いては、2020年に約1GWのCIGS薄膜太陽電池モジュールが生産されたが、これは2019年から半減した。薄膜太陽電池モジュールは、主にマレーシア、米国、日本、ドイツ、中国で生産されている。多くのIEA PVPS加盟国では、CIGS薄膜太陽電池モジュールの研究開発と実用化に向けた取り組みとして、変換効率及びスループットの向上と、太陽電池モジュールのサイズの拡大に焦点を当てている。

2020年には、1GW弱の建材一体型太陽電池（BIPV）モジュールが生産されたとみられる。このうち700MW超が結晶シリコン太陽電池モジュールであった。BIPV向けの薄膜太陽電池モジュールのシェアは、曲面、光透過機能付きの窓や天窓、あるいは軽量太陽電池モジュールを必要とする用途など、特定用途向けのシェアが増加する見込みである。

2020年には太陽電池モジュールの価格上昇が見られ、2021年上期まで継続した。新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の流行による需要低下により、太陽電池モジュールの平均スポット価格は2019年末の21.1セント/Wから徐々に低下し、2020年7月末には17.8セント/Wとなった。2020年8月以降は、事故による一時的なポリシリコンの供給不足及びガラスやその他の材料の価格上昇が見込まれた影響で、太陽電池モジュール価格は徐々に上昇した。単結晶シリコン太陽電池モジュールのスポット価格は、2020年末には19.2セント/Wとなり、2021年にはさらに上昇して、8月末には23.4セント/Wに達した。2020年下期に報告されたガラスの不足は、中国政府が生産能力拡張を許可する決定を下したことと、ガラス製造企業が既存工場を太陽電池電用ガラス製造に転換したことによって緩和されている。新たに増強された生産設備が2022年第1四半期までに稼働を開始した場合、太陽電池用ガラスの生産能力は48%増加する見込みと報告されている。前述のとおり、ポリシリコン価格は前年よりも高く、これが現在の高水準な太陽電池モジュール価格に影響を及ぼしている。材料コストの上昇に加えて、輸送コストの高騰も太陽電池モジュール価格に影響を及ぼしている。ポリシリコンの生産能力拡張に伴い、太陽電池モジュール価格の安定化が見込まれている一方で、輸送コストをはじめとするその他のコスト上昇要因が減少するかどうかについては現時点では不明である。

図4.7に、世界の太陽光発電システム年間設置容量、太陽電池モジュールの生産量及び生産能力の推移を示す。2020年の太陽光発電システム設置容量は139GWに伸びた。2020年の太陽電池モジュール生産量は179GW、2020年末時点の生産能力は327GW/年と推定される。2020年の太陽電池モジュールの生産設備稼働率は55%であった。生産能力の数字にはもはや競争力を持たない古い設備や稼働していない設備の能力も含まれており、2020年の実効生産能力は約260GW/年レベルであることに留意する必要がある。公表されている太陽電池モジュールの新規生産能力を加えると、2022年末には生産能力が400GW超/年となる見通しである。

高効率多接合太陽電池セル・モジュール（主にIII-V族材料を使用）が生産されており、主に衛星や無人航空機、集光型太陽光発電（CPV）システムに用いられている。車載用の高効率多接合太陽電池は、研究開発や実証の段階にある。この分野では、ドイツ、米国、フランス、日本及びスペインが積極的に活動している。結晶シリコンや多接合セルを用いたタンデム型太陽電池セルに関する研究開発も、これらの国で積極的に行われている。高効率セルを用いた水素合成の研究・実証も行われている。空間効率が良いため、CPVの営農型太陽光発電への応用も研究されている。

変換効率が短期間で急速に向上したことから、2020年以降、ペロブスカイト太陽電池セル・モ

ジュールの量産化に向けた取り組みが続々と報告された。中国では、Hangzhou Microquanta Semiconductor（中）が、2021年にペロブスカイト太陽電池工場の建設を開始した。将来的には生産能力5GW/年を目指している。GCL Optoelectronics（中）は、2021年3月に生産能力100MW/年の生産ライン構築に向けた資金調達を発表した。これらの中国企業に加え、Wonder Solar（中）は1GW/年の工場の建設を目指し、生産能力200MW/年のパイロットラインを設立する計画を発表した。Saule Technologies（ポーランド）は、2021年5月にフレキシブル・ペロブスカイト太陽電池セルの製造工場を完成させた。Oxford PV（英）は、生産能力100MW/年のペロブスカイト/結晶シリコンタンデム太陽電池製造ラインを2021年7月に完成させた。

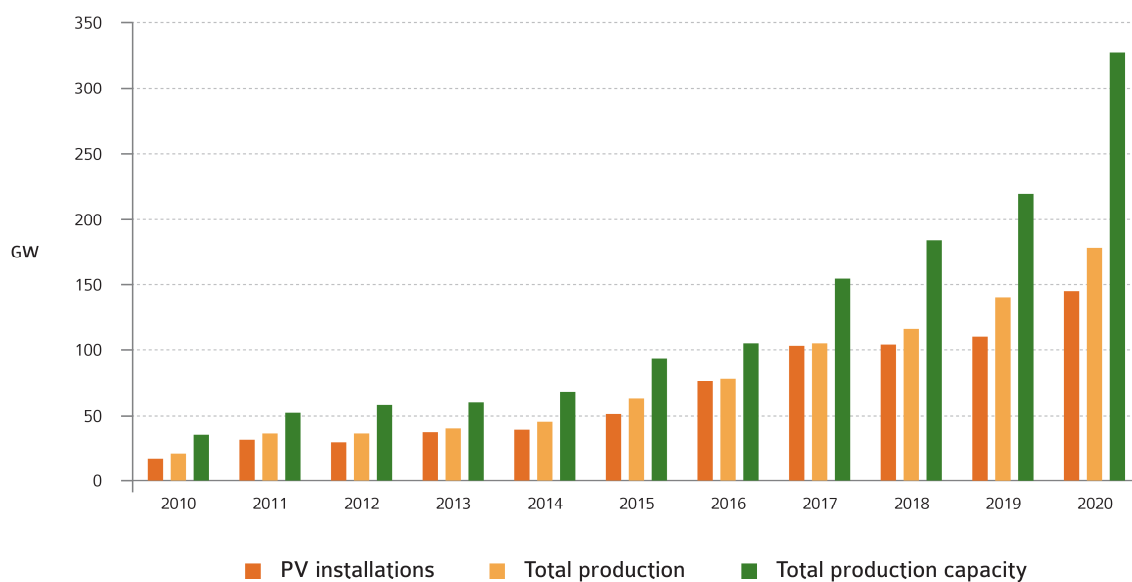


図 4.7 2010～2020 年の世界の太陽光発電システム年間設置容量、太陽電池生産量と生産能力 (GW)

出典：IEA PVPS、(株) 資源総合システム

表 4.2 太陽電池モジュールの生産量及び生産能力の実績推移

年	年間生産量 (MW)			生産能力 (MW/年)			
	IEA PVPS 加盟国	IEA PVPS 非加盟国	合計	IEA PVPS 加盟国	IEA PVPS 非加盟国	合計	設備 利用率
1993	52		52	80		80	65%
1994	0		0	0		0	0%
1995	56		56	100		100	56%
1996	0		0	0		0	0%
1997	100		100	200		200	50%
1998	126		126	250		250	50%
1999	169		169	350		350	48%
2000	238		238	400		400	60%
2001	319		319	525		525	61%
2002	482		482	750		750	64%
2003	667		667	950		950	70%
2004	1,160		1,160	1,600		1,600	73%
2005	1,532		1,532	2,500		2,500	61%
2006	2,068		2,068	2,900		2,900	71%
2007	3,778	200	3,978	7,200	500	7,700	52%
2008	6,600	450	7,050	11,700	1,000	12,700	56%
2009	10,511	750	11,261	18,300	2,000	20,300	55%
2010	19,700	1,700	21,400	31,500	3,300	34,800	61%
2011	34,000	2,600	36,600	48,000	4,000	52,000	70%
2012	33,787	2,700	36,487	53,000	5,000	58,000	63%
2013	37,399	2,470	39,869	55,394	5,100	60,494	66%
2014	43,799	2,166	45,965	61,993	5,266	67,259	68%
2015	58,304	4,360	62,664	87,574	6,100	93,674	67%
2016	73,864	4,196	78,060	97,960	6,900	104,860	74%
2017	97,942	7,200	105,142	144,643	10,250	154,893	68%
2018	106,270	9,703	115,973	165,939	17,905	183,844	63%
2019	123,124	17,173	140,297	190,657	28,530	219,187	64%
2020	156,430	23,044	179,474	289,581	37,095	326,676	55%

注：中国は2010年よりIEA PVPSに加盟しているが、中国による生産量及び生産能力の数値は2006年以降の統計に含まれている

出典：IEA PVPS、(株)資源総合システム

周辺機器（BOS）製造・供給企業

周辺機器（BOS）コンポーネントの製造・供給企業は、太陽光発電の価値連鎖の重要な部分を占めており、太陽電池モジュール価格の下落に伴い、システム・コストに占めるBOSコンポーネントの割合が増加している。そのため、BOS製品の製造は、太陽光発電産業全体における重要な部門となっている。

インバータ技術は、太陽光発電システムの中核として、新たな系統連系規程によってシステムの安定性を支えるものとして、ますます重要視されている。新たな系統連系規程では、太陽光発電用インバータがシステムの運用・保護に確実に、かつ積極的に貢献することを要求しているため、現在、高度な制御機能及び相互通信機能を備えた新たなインバータが開発されている。これらの機能により、太陽光発電所は、無効電力やアンシラリーサービスの提供等、系統運用を能動的に支援できるようになる。分散型太陽光発電システムの場合、先進的なインバータが蓄電池の管理、通信、モニタリング、家電の制御、電気自動車（EV）の充電にとって重要な役割を果たす。

太陽光発電用インバータは、中国、日本、韓国、オーストラリア、米国、カナダ、ドイツ、スペイン、オーストリア、スイス、デンマーク、イタリア及びタイなど多くのIEA PVPS加盟国で生産されている。当初、太陽光発電用インバータのサプライチェーンは国の規程や規制の影響を受けており、各国・地域の製造企業がそれぞれの太陽光発電市場において優勢となる傾向があった。しかし、中国市場の成長とともに、電力事業用市場と分散型太陽光発電市場の両方において中国製品が優勢となり、コスト削減が進んだ。中国太陽光発電産業協会（CPIA）によれば、2020年の中国におけるインバータの総生産量は約100GWに達し、2019年（73.5GW）から36%増加した（中国以外の企業向けのOEM生産を除く）。インバータ生産における中国のシェアは、2019年から7ポイント増の約67%であったと推定される。

インバータは主に、分散型太陽光発電システム用のストリング・インバータと電力事業用のセントラル・インバータの2種類に分類される。住宅用太陽光発電市場向けの代表的な製品は定格出力が1～10kWで、系統連系は単相（欧州）または分相（米国、日本）である。150～200kWのストリング・インバータは、電力事業用太陽光発電プロジェクトにも使用されている。ストリング・インバータは、インバータ市場全体の約64%を占めている。電力事業用としてはセントラル・インバータが利用されており、3～4MWのセントラル・インバータが一般的であるが、5MWのインバータも販売されている。1,500Vまでの直流（DC）高電圧大容量インバータは、周辺機器（BOS）コストを削減できる。

インバータ製造企業の中には、IoT（モノのインターネット）やAI（人工知能）などのデジタル技術を活用し始めた企業もある。インバータ製造企業は、蓄電池とEVの充電を組み合わせ、スマート・モニタリングとエネルギー管理ソリューションを提供している。AI及び機械学習の故障検出への応用や発電の最適化は、運用・保守（O&M）コストの削減に貢献した。さらに、インバータ製造企業は、老朽化した太陽光発電所が存在する国・地域（主に欧州）において、O&M事業及びリパワリング事業に参入した。

上述した従来型のインバータに加え、モジュールレベル・パワーエレクトロニクス（MLPE）も特定の市場で拡大している。米国の住宅用市場では、米国電気工事規程（NEC）が求めるラピッドシャットダウンに対応するため、マイクロインバータ及びDCパワーオプティマイザ（モジュール

ルレベルで動作)が広く採用されている。MLPEを使用することで、日陰による影響を受ける太陽光発電システムの出力が増加し、火災時の迅速なシャットダウンをより効率的に実現することがわかっている。

追尾システム、太陽光発電用コネクタ、直流スイッチ・ギア、監視システムなどの専用コンポーネントの生産は、多くの大規模電気機器製造企業にとって重要な事業である。電力事業用太陽光発電所の増加に伴い、一軸追尾システムの市場が拡大している。IHS Markitによると、2020年の世界における一軸追尾システムの出荷量は前年比40%増の45GWに達した。2020年には、一部の大手追尾システム製造企業が株式市場に上場した(スペインのSoltec及び米国のArray Technologies)。電力事業用プロジェクトの均等化発電原価(LCOE)削減の圧力を受け、特定の地域では一軸追尾システムの採用がスタンダードになりつつある。米国では、すでに電力事業用プロジェクトの88%に一軸追尾システムが採用されている。

太陽光発電の川下部門

太陽光発電産業における川下部門の概要を、図4.8(電力事業用プロジェクトの例)に示す。

プロジェクト開発事業者による太陽光発電所の開発は、入札に基づき電力購入契約(PPA)を保証している国や、FIT制度やその他の制度を導入している国で積極的に行われている。独立系発電事業者(IPP)や投資家に対して太陽光発電所を販売する開発事業者がいる一方で、自己資産として太陽光発電所を所有する開発事業者もいる。

太陽光発電システム(電力事業用が中心。大規模業務用(C&I)も含む)の設計、調達及び建設を行う企業をEPCと称している。EPCには、専門企業のほか、太陽光発電システムの設置を行っているゼネコン企業が含まれる。総合的な太陽光発電開発事業者は、自社でEPC及び運用・保守(O&M)サービスを実施する場合もある。太陽光発電所を開発し所有する企業もあれば、EPCを提供し、IPPに売却するまでの間、太陽光発電所を所有する企業もある。一般的に、電力事業用プロジェクトはIPPが(エクイティ投資家と共に)所有し、発電電力を長期のPPAに基づき電力事業者に販売する。エクイティ投資家やその他の金融機関もエクイティや融資の提供者として太陽光発電プロジェクト開発における重要な役割を果たしている。

電力市場が自由化されている地域では、再生可能エネルギー電力を調達する民間企業に対し、太陽光発電電力を売電するケースもある。このようなケースはコーポレートPPA(CPPA)と称されている。Bloomberg NEF(BNEF)によると、2020年に世界全体で締結されたCPPAは計23.7GWに達し、クリーン電力への需要に後押しされて2019年の20.1GWから増加した。CPPAの主要市場は米国と欧州であるが、中南米や中東・アフリカ(MEA)、アジア太平洋地域でも契約事例が増加している。国有電力事業者が市場を独占している国では、CPPAは許可されていないか、特殊な場合にのみ許可されている。

川下部門では、電力事業者の子会社、太陽電池モジュール又はポリシリコン製造企業の子会社、従来型エネルギー事業者、石油関連エネルギー事業者など様々な業種の企業が事業を展開している。大手太陽光発電プロジェクト開発事業者は海外展開を加速させており、新興市場であるアフリカ、中東、東南アジア諸国連合(ASEAN)地域及び中南米での事業展開を活性化させている。海外事業を活発に展開しているプロジェクト開発事業者は増加している。

川下部門において複数の垂直統合型企業が事業を展開していることも注目すべき動向である。これらの企業は太陽電池モジュール又はポリシリコンを生産し、太陽光発電プロジェクトを開発し、EPCやO&Mサービスを提供している。JinkoSolar（中）、Canadian Solar（カナダ）、Hanwha Solutions（韓）などの結晶シリコン太陽電池モジュール製造企業も川下部門で積極的に事業を展開している。大手ポリシリコン製造企業の中では、GCL-Poly Energy（中）やOCI（韓）が川下部門の国際的な事業に投資している。



図 4.8 川下部門の概要（電力事業用太陽光発電システム）

出典：IEA PVPS、その他

オーストラリア、米国、ポルトガル、南アフリカ、インド等において、入札やその他の枠組みの下で太陽光発電+蓄電池プロジェクトが発表されている。このようなプロジェクトは、系統電力貯蔵市場の主要なドライバーとなると想定される。出力変動のある再生可能エネルギー電力の増加に伴い、一部の国・地域では蓄電池の導入目標やインセンティブを設けている。一例として、中国国家発展改革委員会（NDRC）は、2025年までに30GWの蓄電システムを導入する意向を2021年7月に発表した。韓国では、RPS制度の下、再生可能エネルギー証書（REC）を優遇倍数で発行する施策により、太陽光発電+蓄電池プロジェクトの開発が増加している。太陽光発電+蓄電池プロジェクトに加え、太陽光発電+風力発電、太陽光発電+揚水発電といったハイブリッド・プロジェクトも、出力変動のある再生可能エネルギー源を支援する施策の1つとして報告されている。

分散型太陽光発電における川下部門の状況は電力事業用太陽光発電とは異なっている。住宅用及び業務用（C&I）の分散型太陽光発電システムは、米国、オーストラリア、ドイツ、日本など、太陽光発電システムの導入がすでに進展している国で開発されており、分散型蓄電池の需要が高まっている。これらの国では、第三者所有（TPO）のビジネスモデルを採用する企業や太陽光発電システム設置事業者などが太陽光発電システムと組み合わせた蓄電システムを提供している。電気自動車（EV）の急速な普及により、需要地に設置する蓄電池として、分散型太陽光発電システムの展望を変容させる可能性があることに留意する必要がある。

アフリカ諸国をはじめとした無電化地域に独立形太陽光発電システムを設置する事業も非常に活況である。小規模独立形太陽光発電事業は、取扱い手数料と使用料を分割で支払うpay-as-you-go（PAYG）モデルや購入オプション付きのレンタルにより活況を呈している。PAYGモデルは主に電力へのアクセスが困難な国・地域で実施されている。Global Off-Grid Lighting Association（GOGLA）によると、2020年にはアフリカ地域を中心に2億7300万ドル～3億2300万ドルが独立形太陽光発電システムに投資された。電力へのアクセスが困難な地域における独立形太陽光発電システムの普及は、雇用、健康、教育、男女平等、貧困削減といった持続可能な開発目標（SDGs）の達成など、各方面から社会の発展に貢献している。



5章 太陽光発電が社会に与える影響

太陽光発電分野は、経済、社会及び環境に重大な影響を与えている。これらの3分野にプラスの影響を与えているということは、太陽光発電が持続可能性の追求に大きく貢献していることを示している。

経済価値

太陽光発電部門の2020年の売上高は、約1600億ドルに達した。これは、太陽光発電市場の規模（年間設置容量及び累積設置容量）、並びに各市場セグメントと国に特有の設置及び運用・保守（O&M）の平均価格価値に基づいて計算される。

太陽光発電部門の売上高
1600 億ドル

特にO&Mに関連する売上高は、保守契約及びコストが多様であることから、詳細には検討されていない。しかし、O&Mに関連する世界全体の売上高は、約65億ドル/年と推定される。算出に用いられた前提から、この値は低めに推定されていると考えられる。交換やリパウリングにかかる費用は明確になっていないため、売上高の推定値には含まれておらず、またリサイクルの価値も考慮されていない。O&Mコストは時間の経過とともに低下しており、太陽光発電システムの一部は、通常の契約下では保守は行われていない（特に住宅用屋根設置型太陽光発電システム。ただし監視が行われている場合を除く）。O&Mコストの実質的な価値は、おそらくこの値よりも高く、全ての運用を含めると100億ドル/年を上回ると考えられる。

年間市場の成長と並行して、世界全体の太陽光発電システム設置の事業価値は、昨年比で約20%増加した。本報告書の推定においては、世界全体のO&Mの価値も上昇した。老朽化した発電所やリパウリング運用によって、太陽光発電の経済価値全体においてO&M分野が今後成長することは考慮に入れるべきである。

O&M
65 億ドル

太陽光発電分野の経済価値については、価値連鎖全体の貢献度の評価ではなく、太陽光発電システムの設置数に基づいて評価している。太陽光発電産業全体の事業価値の評価は、生産拠点が

分散していることや多国籍企業が存在するため、概してより複雑である。IEA PVPS加盟国の主要な太陽光発電システム製造国における太陽光発電産業の具体的な事業価値の概算を、以下の項に詳しく示す。

GDPに対する貢献度

図5.1に、IEA PVPS報告国における国内総生産（GDP）に対する太陽光発電分野の推定事業価値の比率を示す。これらの数値は、上述の通り、各国の国内太陽光発電市場に基づいて算出されたものであり、輸出入は考慮されていない。輸出相手国の太陽光発電市場を通じて事業価値を高めることで輸出の恩恵を受けている国がある一方で、巨額の輸入により負の影響を受けている国もある。しかしながら、前述の通り、太陽光発電市場では統合が進んでおり、太陽光発電価値連鎖の各段階での貢献度を個別に評価することは極めて難しい状況である。

図5.1に示す通り、太陽光発電の事業価値は、前年とほぼ同様、調査対象となった全ての国において国内総生産（GDP）の0.4%未満であり、ほとんどの国で0.05%を上回った。一般的な視点では、GDPに対するシェアの数字は、たとえ10倍したとしても、エネルギー転換への投資が合理的な範囲に留まり、財源の可用性を大きく変更するものではないということを示している。

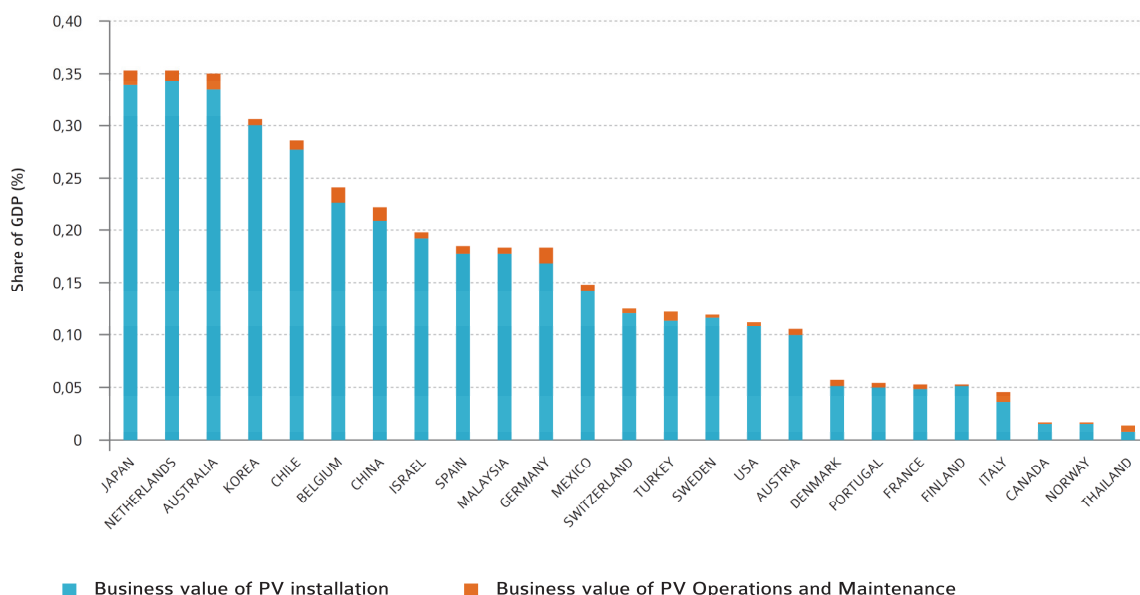


図 5.1 太陽光発電市場の GDP に対する事業価値（%）（2020 年）
出典：IEA PVPS、その他

表5.1 太陽光発電の事業価値の上位10ヶ国

順位	国	億ドル
1	中国	330
2	米国	230
3	日本	180
4	ドイツ	70
5	韓国	50
6	オーストラリア	50
7	オランダ	30
8	スペイン	29
9	メキシコ	16
10	フランス	14

出典：IEA PVPS、その他

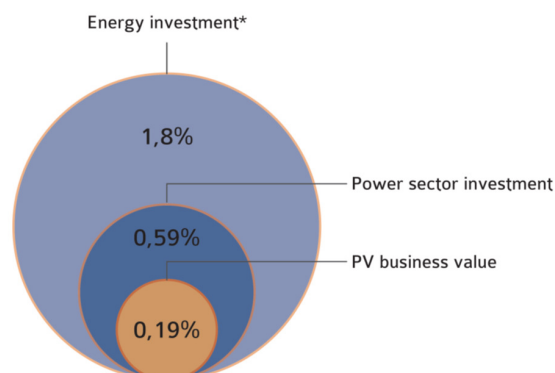


図 5.2 世界の GDP に対する太陽光発電の事業価値及びエネルギー分野への投資の貢献度 (%)

出典：IEA PVPS、その他

*電力分野、燃料供給、最終消費・効率化への投資

太陽光発電産業の事業価値

本報告書においては、市場統合の水準が異なるため、太陽光発電の価値連鎖全体の様々な段階の貢献度について詳細に評価することはほぼ不可能であるが、太陽光発電産業の事業価値を概算で評価し、IEA PVPS 加盟国の主な製造国についての結果を詳細に示している。

太陽光発電産業の事業価値については、4 章で詳しく述べた通り、薄膜技術を含む、ポリシリコン、ウエハー、セル、モジュールの各国の生産量とそのシェア及びこれら 4 分野の平均推定価格に基づいて評価する。考慮される価格は加盟国が報告する平均価格に基づく。機器及び材料は、この計算値に含まれているものとする。周辺機器 (BOS) はここでは考慮しない。

2020 年の世界全体の太陽光発電産業の事業価値は、約 440 億ドルと推定される。図 5.3A、図 5.3B 及び図 5.3C に、IEA PVPS 加盟国の主な太陽光発電製品製造国の太陽光発電産業の事業価値について、価値連鎖の各段階における各国の絶対値と相対的シェア、及び GDP に対するシェアを示す。

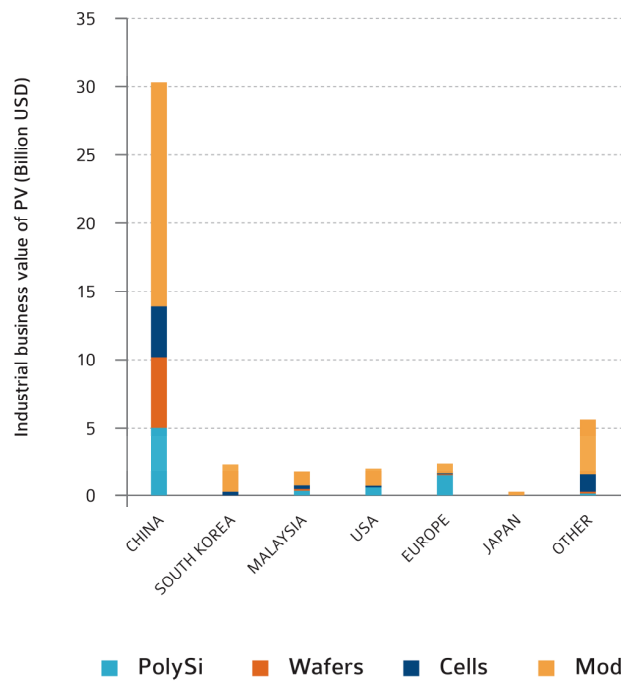


図 5.3A 太陽光発電産業の絶対的事業価値 (単位: 10 億ドル) (2020 年)
出典: IEA PVPS、その他

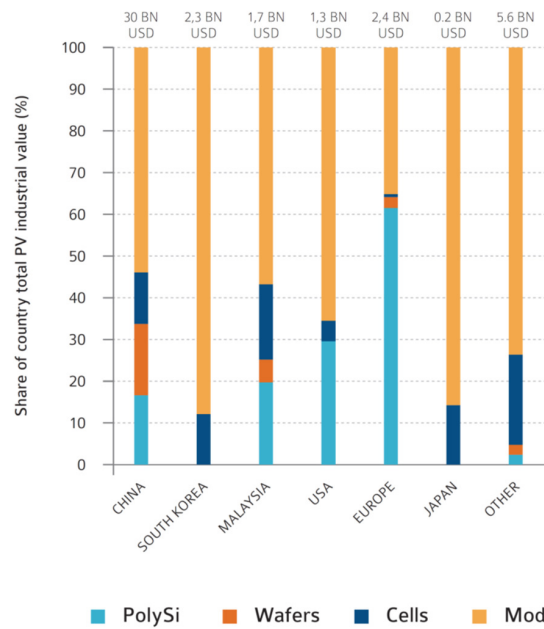


図 5.3B 価値連鎖における太陽光発電産業の事業価値 (%) (2020 年)
出典: IEA PVPS、その他

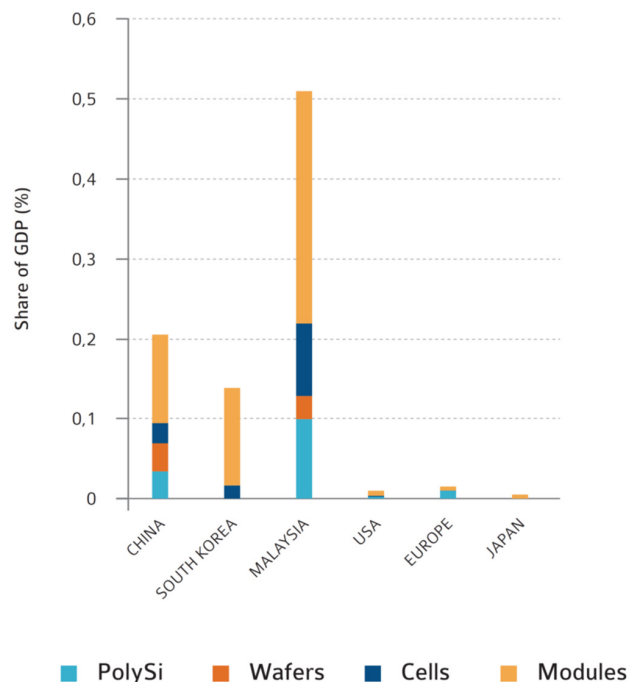


図 5.3C 太陽光発電産業の GDP に対する事業価値 (%) (2020 年)

出典：IEA PVPS、その他

中国は、太陽光発電価値連鎖の全ての段階において圧倒的に優勢な製造国であり、太陽光発電産業（ポリシリコン、ウエハー、セル、モジュール）が GDP の約 0.2% を占める。注目すべきはマレーシアの太陽光発電産業で、生産量は少ないものの、同国の GDP に占める太陽光発電の事業価値のシェアは中国と比較して非常に高く、0.5% を上回っている。韓国は約 0.15% で、それ以外の国は 0.03% 以下である。

周辺機器（BOS）産業は、ますます分散化が進んでおり、多くの国で生産が行われている。ここでは計算には入れないが、このような分析は、太陽光発電産業が各国の経済全体に及ぼす影響の範囲を把握するには理にかなっていると言えるであろう。

太陽光発電関連の雇用

図 5.4 に、IEA PVPS 報告国における太陽光発電関連の雇用者数の概要を示す。報告された数値は、「IEA PVPS 国内調査報告書」及び、IRENA の雇用データベースなどから取得したものである。これらの数値は、太陽光発電産業の川上部門と川下部門それぞれの前提条件と活動分野により大きく異なり、最良ケースの推定値を示していることに留意されたい。

算出に用いた方法論では、報告国から提供された川上（産業）及び川下（設置及び O&M）の雇用者数に関するデータから開始し、各国の労働市場に応じて他の市場分野についての推定を行っている。そのため、高コストで小規模な労働市場を持つ先進国と、手頃な価格の労働力を持つ新興国とのあいだに差異が生じている。製造活動の雇用者数は、産業報告書及び付加的情報に基づいており、同じ方法論に基づいて分類される。数値が公式な雇用者数と異なる場合には、常に公式な数値を採用した。設置関連の雇用者数は、全て概算値である。

本報告書では、2020 年末時点の世界全体での太陽光発電分野の推定雇用者数を 350 万人と推計

している。材料及び機器を含む川上部門の推定雇用者数は 110 万人、O&M を含む川下部門は 240 万人であった。

中国は、世界最大の太陽光発電製品製造国であり、太陽光発電システム設置容量の点でも最大の市場として、太陽光発電関連の雇用を大きく牽引している。2020 年の中国における太陽光発電関連雇用者数（常勤換算、FTE）は約 190 万人で、中国以外のほぼ全ての国と比較して非常に多い雇用者数である。数字が一桁違うが、欧州連合（EU）全体の FTE 総数は約 18.5 万人、米国は約 15 万人で IEA PVPS 加盟国の中で第 3 位である。第 4 位は日本で、FTE は約 9 万人であった。一般的に、太陽光発電関連雇用の拡大は市場の発展と相関関係にある。設置関連の雇用は一時的な場合が多く、市場力学に左右される。結論として、太陽光発電分野の川下部門で働く人の数は、2020 年には世界で 240 万人であった。

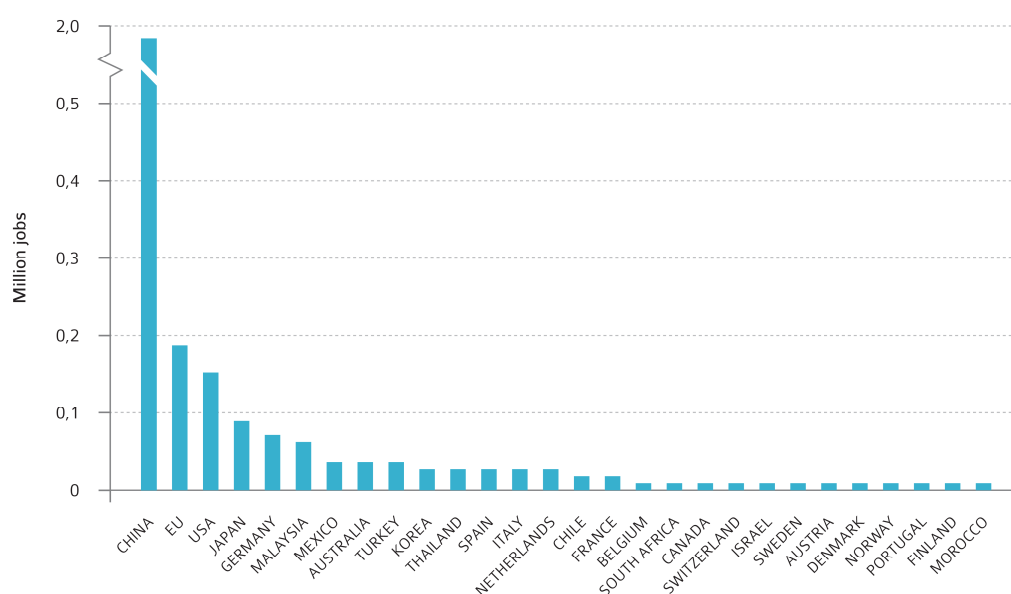


図 5.4 世界の太陽光発電関連雇用者数（国別）

出典：IEA PVPS（国内調査報告書）、IRENA（REsource データベース）

太陽光発電分野における雇用情勢は、太陽光発電の市場及び産業の変化とともに進展している。太陽光発電分野における雇用者数の動向は、太陽光発電産業の発展状況や、サプライチェーンのグローバル化及び地理的な差別化状況を反映している。

製造活動よりも労働集約的である開発や設置に焦点を当てると、設置容量 1MW あたりの平均 FTE 強度は約 15 であることがわかる。しかし、これらの数値は、国によって大きく異なり、さらに市場分野によっても大きく異なる。一般に、小規模太陽光発電システムは、電力事業用太陽光発電システムよりも多くの雇用を創出する。太陽光発電の価値連鎖全体が研究から製造まで、頭脳労働を生み出す一方で、O&M は多くの肉体労働を創出する。川上部門が 1MW あたり FTE で約 5 人の雇用を創出するのに対し、川下部門では 1MW あたり約 15 人であった。

2020 年の世界全体における太陽光発電分野の推定雇用者数は計 350 万人で、太陽光発電は再生可能エネルギー全体の総雇用者数の約 3 分の 1 を占め、世界の再生可能エネルギー部門の雇用者

数で第1位を維持している。

太陽光発電が主流技術として台頭したことにより、価値連鎖のあらゆるレベルで国内生産と雇用創出への需要が呼び起こされた。IEAPVPS加盟国だけを見ても、近年、**カナダ、フランス、モロッコ、トルコ、米国**のように各種制度を通じて国内生産を推し進めている国が複数ある。自国内での太陽光発電コンポーネント製造に多数の製造企業を呼び込むことに成功した国もある。これまでのところ、**マレーシア**は最も成功した事例である。このほか、**チリ**や**南アフリカ**等、国内生産実現の可能性に注目している国もある。

社会政策における太陽光発電

太陽光発電は、経済における直接的な価値と雇用の創出に加えて、設置及び発電が行われる国の繁栄に貢献しており、適切な政策を実施すれば、社会的なレベルでもプラスの影響をもたらす。本項ではその主な事例を挙げる。

アフリカ及びアジアにおける独立形太陽光発電市場の発展(2章を参照)で示されているように、太陽光発電は、電力系統に連系されていない遠隔地において電力へのアクセスを強化する、競争力のある選択肢となり得る。電力へのアクセスが改善されると、その結果として、遠隔地におけるビジネスに収益をもたらす、労働時間を短縮し、子供が勉強できる時間が長くなり、雇用の創出・強化につながる。電化は、貧困を削減し、教育環境を向上させるための重要な要素であり、世界中の多くの地域の女性と子どもの生活水準に直接影響を与えるものである。その点で、太陽光発電は電化の選択肢として注目に値するものである。

中国では、2015年末に電化率100%が達成されたため、2016年以降、系統連系されていない遠隔地における電化に向けた政府の支援プロジェクトは行われていない。しかし、太陽光発電を利用した大規模な貧困緩和プログラムが開始された。同プログラムでは、特に中国東部の最も深刻な貧困地域において、1世帯当たり約5kWの太陽光発電システムを設置することで、約200万世帯の生活水準の向上を目指している。これにより、対象世帯は太陽光発電電力の売電を通じて、年間3,000元以上の追加収入を得ることができるようになる。2020年は、2018年に制定された政策が継続された。

マレーシアでは、政府の優先事項は依然として村落電化であり、2025年までに電化率100%を計画している。村落電化は、官民連携によって電力事業者とともに実施されている。遠隔地のサラワク州では、サラワク州村落電化代替プログラム(SARES、Sarawak Alternative Rural Electrification Scheme)が2016年に開始されて以来、192村において約5,000世帯が電化されており、2019年に表彰を受けた(訳注: ASEAN Energy Award)。同プログラムでは太陽光発電システムやハイブリッド・システムに加え、小水力発電システムが用いられることが多い。

韓国のソウルでは、ソウル特別市政府の財政支援により、非営利団体のEnergy Peace FoundationとSolar Terraceが、電力供給が不安定な100世帯に30kWの小型太陽光発電システム(1世帯あたり300W)を設置した。韓国では、夏期の電気料金の負担を減らすために、こうしたタイプの小型太陽光発電システムの設置が一般的になっている。

イタリアでは、サルデーニャ州ポルト・トレス市が、イタリア国営電力管理局(GSE)と協力して、2017年に「reddito energetico(電力収入)」と称されるプログラムを導入した。同州は、太陽光

発電システムの購入に公的資金を割り当て、「電力貧困」状態にある世帯にローンで販売し、太陽光発電電力の自家消費の恩恵を受けられるようにして、電気料金を削減できるようにした。ネットビリング制度（「Scambio Sul Posto (SSP)」）による収益は、発電所の保守や、他の世帯向けの別のシステムの購入等の資金源として公的資金に充当される。同プロジェクトに続き、他の市町村や地域においても同様のプロジェクトが計画・実施されている。

オーストラリアでは、2020年に各州政府が無利子ローン、リベート、完全補助など、数多くの低所得世帯向け太陽エネルギー施策を発表した。

一般に、先進国と開発途上国では、低価格の太陽光発電電力をより多くの家庭に普及させることで、貧困を緩和することができる。これにより、社会支援プログラムとして、とりわけまだ広く認知されていない「電力貧困」を解消するための機会が提供される。特に、太陽光発電開発に資金を提供し始めた欧州諸国では、太陽光発電は、コスト高のエネルギー源で、電力価格を上昇させるものと認識されている。しかし、2021年における太陽光発電の実態は、低所得者のために電力価格を下げ、学校から老人ホームを含む、低価格公営住宅や公共建物のエネルギー・コストを削減し、全ての人々にとっての電力アクセスを向上させるという大きな機会を表すものとなっている。

気候変動の緩和

気候変動は、社会が克服しなければならない重要な課題の一つであり、太陽光発電は、温室効果ガス排出量を削減するための主要なソリューションの一つであるのは間違いない。

エネルギー起源の二酸化炭素排出量は、世界全体の排出量の大部分を占めており、2020年のエネルギー関連の排出量は、二酸化炭素換算で306億t/年と見積もられている²。

グリッド・ミックスにおける太陽光発電の比率が増加すると、発電によって生じる二酸化炭素排出量が大幅に削減される。2019年の世界全体の電力における平均炭素強度は約475g CO₂/kWh³であったが、太陽光発電電力 kWh あたりの二酸化炭素排出量は、技術と日射条件により異なるものの、ライフサイクルベースで15g CO₂/kWh という低い値になる可能性がある（IEA PVPS タスク12の持続可能性に関するデータ及び同タスクの研究者が公開したデータベースをもとに算出）。

太陽光発電によって削減される年間ベースの二酸化炭素総排出量は、2020年末時点の太陽光発電システム累積設置容量に基づく年間発電量を考慮し、これらの発電量が、太陽光発電システムが設置されている国の個別のグリッド・ミックスによる発電量と同量の電力量に置き換わることを考慮して算出される。太陽光発電電力の年間発電量は、太陽光発電システムの等価システム稼働時間と、各国の日照状況に応じた国ごとの発電量をもとに算出される。ライフサイクルベースの太陽光発電電力とグリッド・ミックス電力の国別二酸化炭素排出係数（gCCO₂/kWh）は、IEA PVPS タスク12のデータベースを利用している。

この方法論を利用して算出すると、現在導入されている太陽光発電システムによって削減される二酸化炭素相当量は、年間8.6億tと算出される。今日、世界全体の電力需要に占める太陽光発電の割

二酸化炭素排出削減量
8.6億 t-CO₂eq

² 国際エネルギー機関（IEA）「Global Energy Review 2020」（2020年7月）

³ 国際エネルギー機関（IEA）「Global Energy & CO₂ Status Report 2019」

合は約4%であるが、電力部門における二酸化炭素排出量の4%以上が太陽光発電により削減されている。これは基本的に、中国やインドなど、炭素強度の高いグリッド・ミックスを持つ国に太陽光発電システムが大量に設置されているという事実に基づいている。

図5.5に、二酸化炭素排出削減量の上位30ヶ国で削減された二酸化炭素排出量を示す。世界全体で太陽光発電システムによって削減された二酸化炭素排出量のうち、約97%をこの30ヶ国が占めた。各国の太陽光発電システム設置容量と、グリッド・ミックスの炭素強度を示した本図は、世界全体で削減された排出量に対する各国の貢献度の違いと、それぞれのグリッド・ミックスの影響の大きさを明確に示している。エネルギー・ミックスにおける二酸化炭素排出量が大きい国ほど、太陽光発電システムの設置が排出量の削減に貢献する割合は高まる。

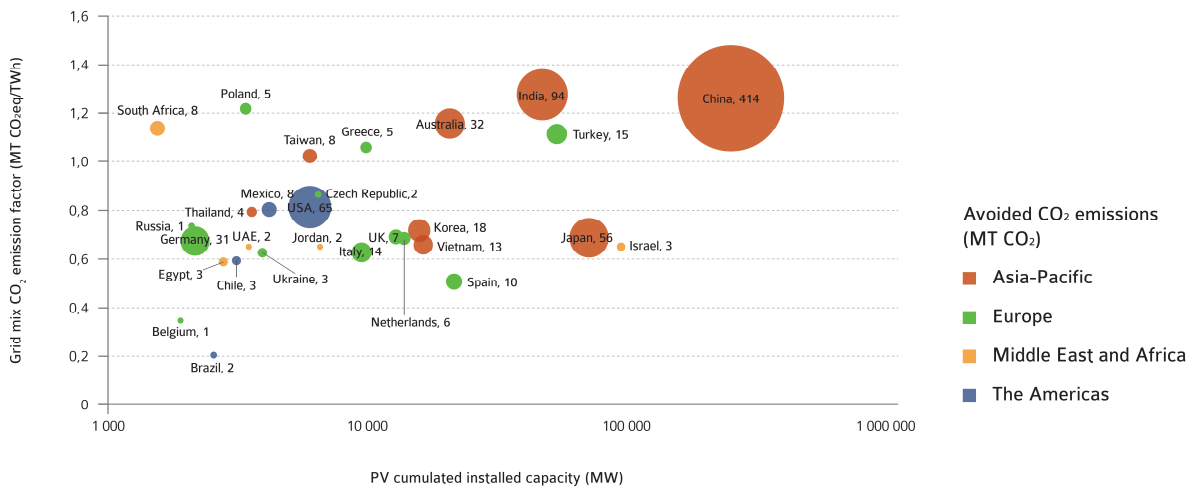


図5.5 太陽光発電による二酸化炭素排出量の年間削減量
出典：IEA PVPS、その他

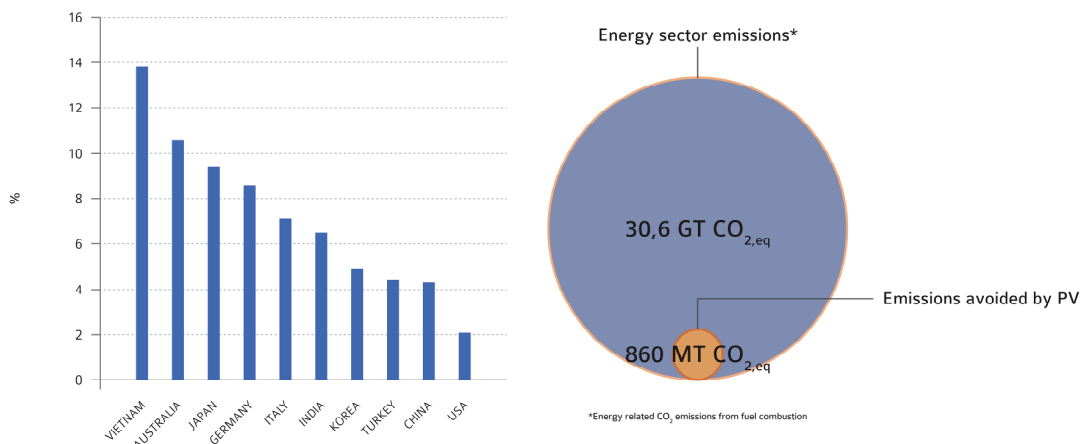


図5.6 エネルギー部門の総排出量に対する二酸化炭素排出削減量の比率 (%)
出典：IEA PVPS、その他

*燃料の燃焼に伴うエネルギー起源の二酸化炭素排出量



6章 2021年における太陽光発電電力の競争力

近年、太陽光発電業界が経験した急速な価格下落は、財政的支援施策が限定的、あるいは全く存在しない多くの地域においても太陽光発電システムを普及させる可能性の扉を開いた。しかしながら、太陽光発電システムが従来型電力源に対して完全な競争力を有するには、その道程において、現在顕在化している課題に対する多くの疑問を解決し、革新的な財政的解決策を生み出せるかどうかは鍵となる。

本章は、IEA PVPS報告国における太陽電池モジュール及び太陽光発電システム価格調査の結果を示し、太陽光発電が競争力を有する地域・分野を定義することを目的とする。競争力のシミュレーションに関わるパラメータの数を考慮して、本章では主に主要国における相対的な状況を取り上げる。太陽光発電システム価格は平均値であるケースが多く、常にセグメントごとに考察すべきものである。

競争力の問題は、従来型技術向けに作られた市場環境によって時に従来型のインセンティブによって歪められてきた。この点は、常に熟慮されるべきである。過去40年の間に数ヶ国で急速な原子力発電の開発が行われたが、これは、市場が方向性を決めるのではなく政府によって方向性を強制された、政策主導の投資についての完璧な例である。石油・ガス市場もまた、統制されないことが極めて重要であると考えられてはいるものの、政策主導型エネルギーの完璧な例である。それゆえ太陽光発電の競争力についても同じ側面から考えるべきであり、競争力が規制や財政支援とは無関係なものであると単純に捉えるべきではない。電力事業者にとって太陽光発電が（ガスよりも）石炭の明確な代替となるためには、経済的な側面以外でもさらなる障壁がある。規制や融資の枠組みが適切に整備されていないため、収益性がない多くの石炭火力発電所が稼働を続けており、多くの石炭火力発電所が座礁資産となりつつある。さらに、石炭の代替技術を選択する際、純粋な経済性によって動機付けされていないケースが多く、ガス火力発電による電力に有利な電力料金及び市場設計が偏重されている。すべての電力源は、こうした支援による恩恵を

る程度受けているため、太陽光発電の競争力についても注意深く検討する必要がある。太陽光発電ソリューションの競争力を高める鍵となる要素について、以下で考察する。

太陽電池モジュール価格

太陽光発電市場の最初の発展段階においては、初期のプロトタイプから始まり、小規模な製造へと成長し、太陽光発電システムの累積設置容量が約2GWまで拡大した。この第1期では、18%の習熟率に応じて価格が低下し、太陽光発電システムの累積設置容量はさらに成長を続けた。ここから、累積設置容量が約10GWに達するまで価格が安定した。なお、この時期はポリシリコンの入手が困難であったため、太陽電池モジュール価格は高い水準で維持されていた（第2期）。その後、今日に続く第3期が始まり、特に中国で太陽光発電システムの大量生産が開始された。設置容量が10GWから現在の水準まで拡大したこの10年間に、規模の経済性によって41%という極めて高い習熟率が達成された。

図6.2に太陽電池モジュールの価格分布を示す。2020年には、太陽電池モジュールの価格は世界的に安定した。

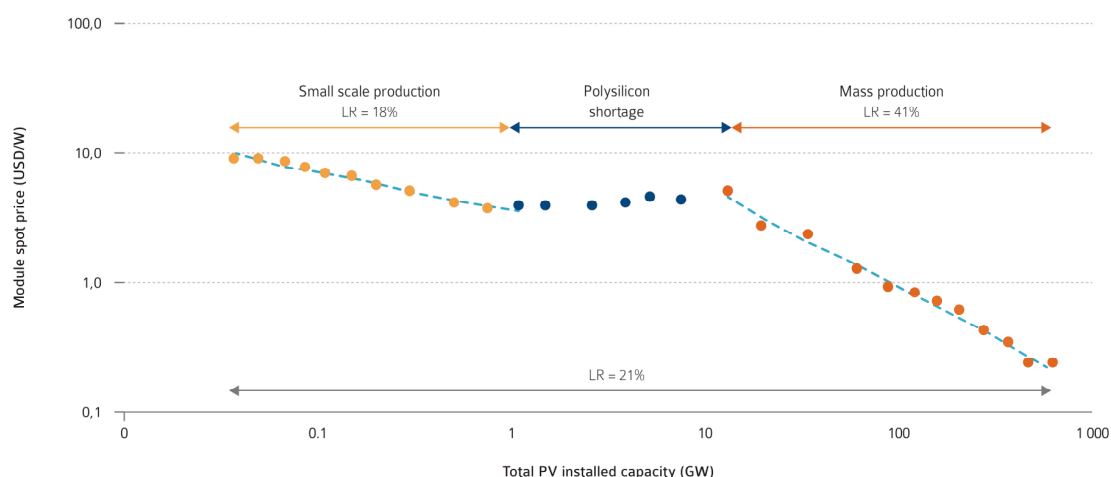


図 6.1 太陽電池モジュールのスポット価格の習熟曲線（1992～2020年）

出典：IEA PVPS、Becquerel Institute

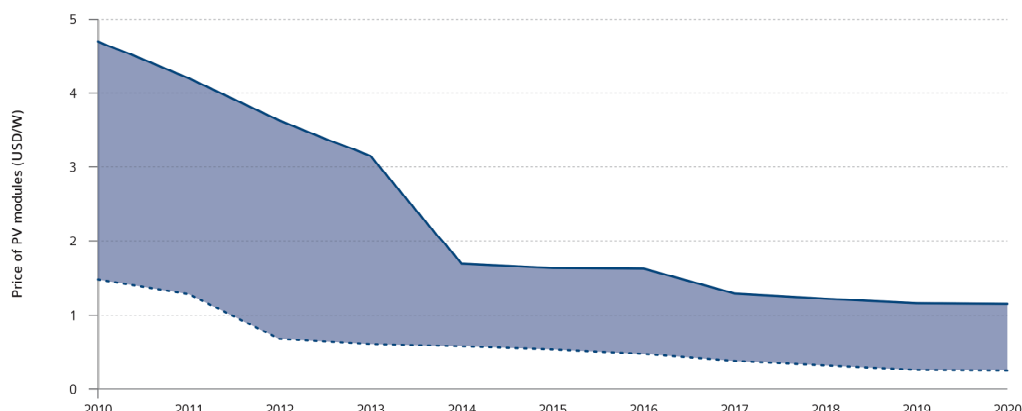


図 6.2 太陽電池モジュールの価格分布

出典：IEA PVPS、その他

2020年の太陽電池モジュール価格（図6.3参照）は、平均すると、系統連系形太陽光発電システムの最低実現価格として報告されている価格の約40～50%を占めている。報告国における2020年の太陽電池モジュール最低価格は、0.20ドル/Wをわずかに上回った。この価格は、大量取引や2021年以降の設置向けと考えられる。なお、2020年末時点の電力事業用太陽光発電所向けのモジュール価格は、平均を下回る約0.20ドル/Wまで低下したと報告されている。

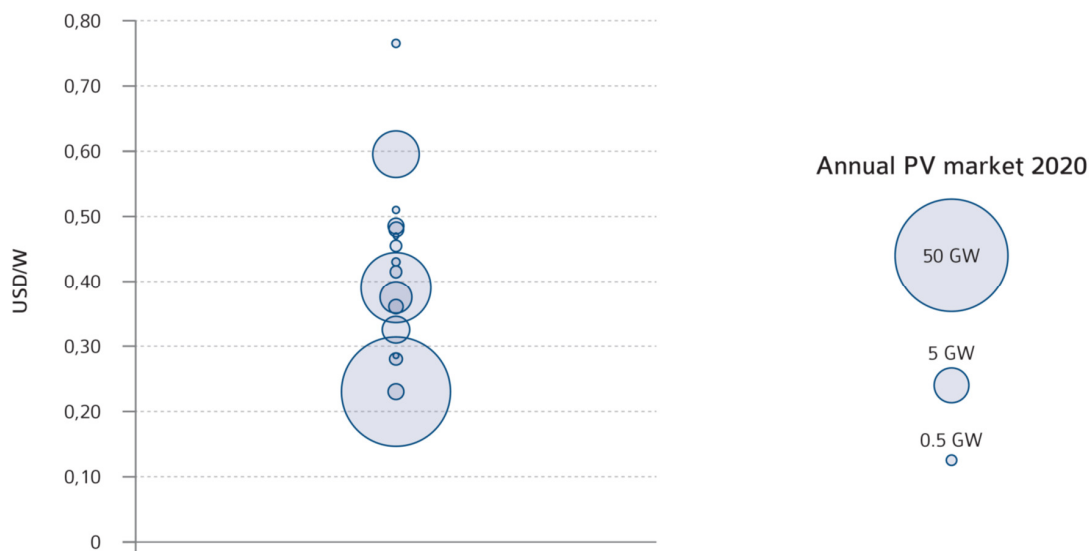


図 6.3 IEA PVPS 報告国における指標的太陽電池モジュール価格（ドル/W）（2020年）

出典：IEA PVPS、その他

2018年5月の中国政府の政策変更により、需要と供給の間に新たな不均衡が生じた。世界の太陽光発電市場が停滞している間、2017年と2018年に価値連鎖における全てのセグメントで数10GWの生産能力が追加された。それに続く価格低下によって、複数のプロジェクト開発が加速し、2020年の市場成長に少なくとも部分的には貢献したと考えられる。2021年には、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の世界的流行がまず需給に影響を与え、その後価格に影響を与え始めた。

0.20ドル/W未満の価格は、ほとんど利益を生み出すことができず、通常、多くの企業は生産量の大部分をこのような低価格で販売することはない。また、生産コストも低下しているとはいえ、このような価格は多くの企業の平均生産コストを明らかに下回るとみられる。最も競争力のある製造企業の収益を精査すると、平均販売価格はこのような低価格を上回っている模様である。また、既存の生産ラインよりも生産コストが大幅に低い新たな生産ラインでシステムを製造した場合、このような低価格が実現すると考えられる。最も競争力のある薄膜技術は、従来の結晶シリコン技術よりも優れている可能性もある。セルやモジュールレベルでのコスト改善はみられなかったものの、ポリシリコンやウエハーのコストの低下によって、一部の太陽電池モジュールの価格が低下している。

太陽電池モジュール価格が依然として高い市場もある。例えば、日本の価格は常にドイツや米国よりも高い。大半の製造企業の平均販売価格は概して0.3ドル/W台である。

太陽光発電システム価格

報告されている太陽光発電システムの価格は、システムの規模、設置場所、顧客層、系統連系の有無、技術的仕様、また全てのコンポーネントの実質的コストの末端価格への反映度合などの様々な要因により、大幅に異なる。詳細な情報については、IEA PVPSウェブサイト（www.ica-pvps.org）に掲載の各国の国内調査報告書（NSR）を参照されたい。

図6.4に、2020年の世界における太陽光発電システムの価格分布を示す。世界の太陽光発電市場の約65%において、システム価格は1ドル/Wを下回っていることが示されている。大規模分散型太陽光発電システムの価格は約0.75ドル/W以上であったが、電力事業用太陽光発電システムの価格は、0.55ドル/Wと低価格であった。水上設置型太陽光発電（FPV）と建材一体型太陽光発電（BIPV）のソリューションの市場開発が低調であることも示唆されている。BIPVは、価格が大幅に異なる一連のセグメントと見なすことができる。独立形システムも同様の状況に見舞われており、状況により価格は異なる。一般的に、価格帯は全ての太陽光発電分野で前年より減少した。

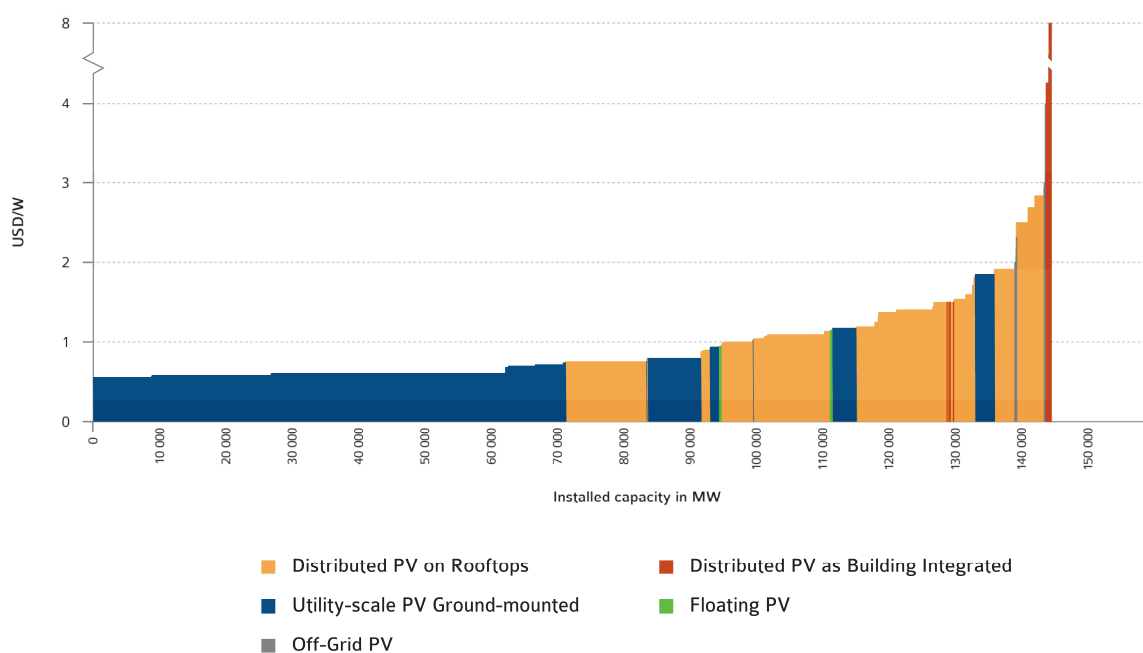


図 6.4 2020 年の太陽光発電市場の価格分布

出典：IEA PVPS、Becquerel Institute

平均して、独立形太陽光発電システムの最低価格は、系統連系形太陽光発電システムの最低価格よりも大幅に高い。これは主に、独立形太陽光発電システムは設置場所へのアクセスに比較的高い輸送コストがかかることが原因である。実際、大規模な独立形太陽光発電システムは、多くの場合系統から離れた場所に設置されており、主要な都市や高速道路からも離れている。そのような場所への設置は価格も高くなるが、コンポーネントの輸送費や技術者の費用によっても価格は異なる。言うまでもなく、保守費用も高額になる。2020年には、独立形太陽光発電システムの最低価格は、応用種別に関わらず一般的に約2～6.5ドル/Wであったが、一部の特定の応用ではこれより高かった可能性がある。図6.5には報告されている太陽光発電システムの価格帯の広さが示

されているが、これは国ごと、あるいはプロジェクトごとに特有の要因によるものである。最高価格帯は設置容量が非常に小さいため、本章の図には含まれていない。また、独立形システムの価格は平均化されている。

水上設置型太陽光発電（FPV）システムについては、2020年には特に東南アジアや欧州において設置が増加した。しかしながら、実勢価格を特定するためには、さらなる導入進展が必要である。

大部分の報告国における太陽光発電システムや価格に関する追加情報（VAT（付加価値税）を除く）は、各国の国内調査報告書（NSR）に記載されている。系統連系形太陽光発電システムにおいては、スレートまたは瓦などの屋根材と一体化した建材一体型太陽電池（BIPV）モジュールを使用する場合や個別の建材一体型設計、あるいは単独プロジェクト向けの場合は、比較的高額な傾向がある。BIPVシステムの価格は低下傾向にあるものの、専用のコンポーネントを使用する場合には、一般的には高額であるとみなされている。

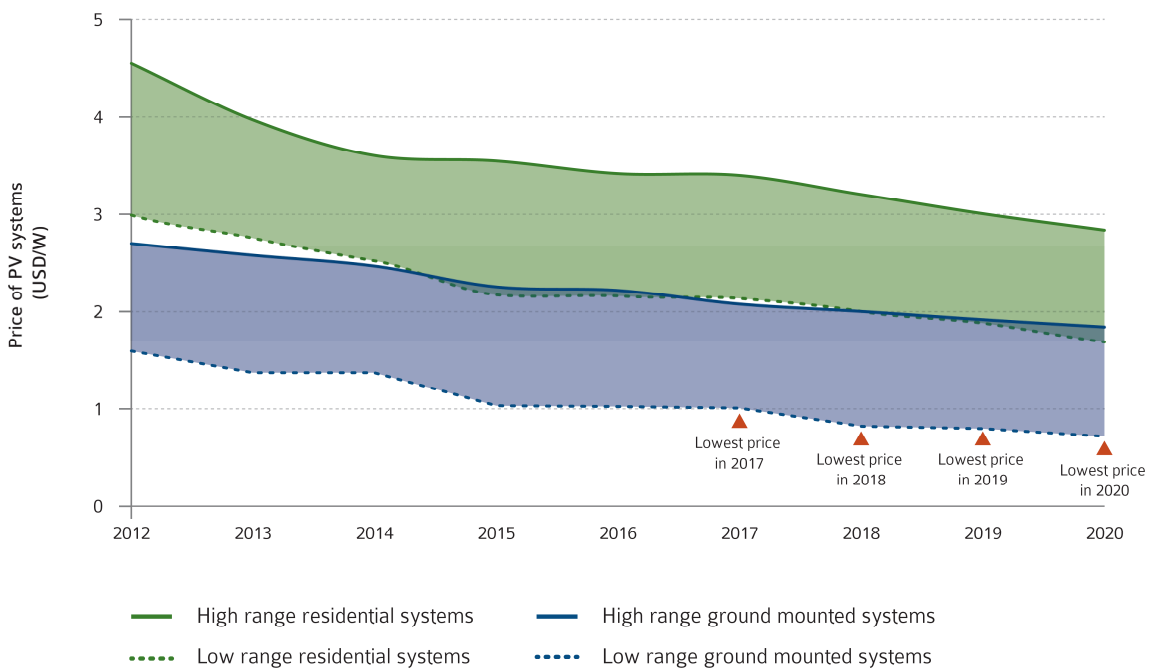


図 6.5 2012～2020 年の住宅用及び地上設置型太陽光発電システムの価格分布

出典：IEA PVPS、その他

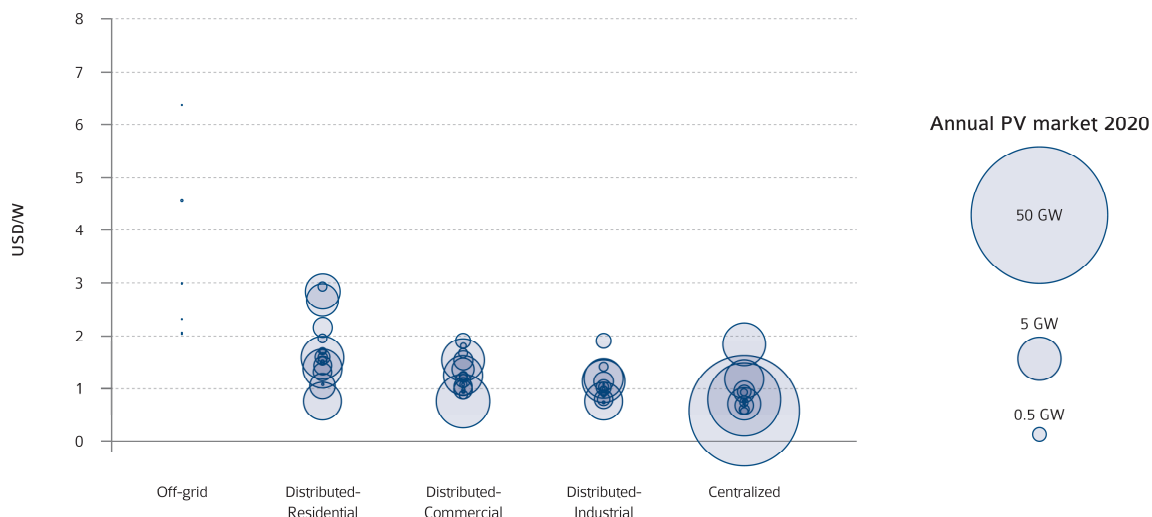


図 6.6 2020 年の IEA PVPS 代表国における指標的太陽光発電システム設置価格分布
出典：IEA PVPS、その他

図6.6に示すように、2020年の系統連系形システムの最低設置価格も各国で幅があった。これらシステムの平均価格は、応用種別と関係している。大規模系統連系形太陽光発電システムの場合、規模の経済性によってシステム価格が低下する場合と、建物との一体化及び建物設置の特性、革新性の度合い、プロジェクト管理における習熟コスト及び特注太陽電池モジュール価格が重要な要素となり、システム価格が上昇する場合がある。要約すると、2020年のシステム価格は、モジュール及び周辺機器の価格低下、ソフト・コストと利幅の低下によって引き続き下落した。競争の激しい入札においては、大規模太陽光発電システムの価格が0.60ドル/Wを大幅に下回ることがよくある。価格の幅は収束する傾向があり、最低価格の下落幅が小さくなっている一方で、最高価格は急速に下落している。重要なことは、設備投資（CAPEX）の最低値が、常に均等化発電原価（LCOE）の最低値を表すものではないということである。追尾システムを備えた電力事業用太陽光発電システムにはこれが当てはまり、設備投資が増加してもLCOEが改善される。また、両面受光型太陽電池モジュールのコストは、システムコストの数値から読み取ることはできない。

収集したデータによれば、2020年の住宅用太陽光発電システムの価格は0.8～2.9ドル/W、電力事業用太陽光発電システムの価格は0.6～1.8ドル/Wであった。

太陽光発電の発電コスト

電力部門において競争力を持つためには、太陽光発電技術が他の技術によるコストと同等あるいはより低コストで電力を供給する必要がある。技術特性、燃料コスト、保守コスト、電力供給時の稼働時間数などの要因により、発電技術ごとに電力供給コストが異なるのは明白である。

太陽光発電の競争力は、与えられた状況下で、同じ時間に電力を供給することができたであろう他の電力源よりも太陽光発電が安価に発電できること、と単純に定義することができる。従って、太陽光発電システムの競争力は、設置場所、技術、初期投資コスト、そして設置種別及び規模に大きく依存する太陽光発電システム自体のコストと関連している。また、システムが稼働す

る環境にも競争力は依存する。ディーゼル発電と競合する独立形太陽光発電システムは、電力市場における卸売価格と競合する大規模発電事業用太陽光発電システムと同じタイミングで競争力を獲得することはない。太陽光発電の競争力は、太陽光発電システムの種類とその環境に関連している。

グリッド・パリティ

太陽光発電が、系統を介して消費されている電力の価格を下回る価格で発電できる（均等化発電原価（LCOE））状況を「グリッド・パリティ」（あるいは「ソケット・パリティ）」という。これは、純粋な発電事業者に適用できる定義である（いわゆる「グリッド価格」とは市場における電力価格を示す）。プロシューマー（prosumer）（電力消費者（consumer）でもある電力生産者（producer））に対しては、次の2点がグリッド・パリティの前提となる。

- ・太陽光発電電力が設置場所で消費可能（即時、あるいは設置場所またはオフサイトでのネットメタリングなどの補償制度を通じて）
- ・太陽光発電により発電され、同じ場所で消費される場合は電力小売価格のすべての要素が補償される

しかしながら、年間ベースで、設置場所での電力消費量とシステムの発電量から求められる自家消費率は、国や設置場所によって異なり30%未満（住宅用）から100%（一部の産業用）まで幅があると考えられる。

技術的解決策により自家消費率を高めることも可能である（電気自動車（EV）の充電や温水のための直接使用などのデマンドサイド・マネジメント、設置場所における蓄電、太陽光発電システム規模の縮小、オフサイト自家消費、エネルギー・コミュニティなど）。

発電電力の一部のみが自家消費される場合、余剰電力は系統に逆流され、他の集中型発電と同じように収益を生まなければならない。現在は、逆流電力に対するフィードイン・タリフ（FIT）（あるいは同様のスキーム）が適用されれば、小規模システムに対しては多くの場合、収益が保証される。それでもなお、太陽光発電がどのようにすれば競争力を獲得できるかについて考察すると、小規模な電力生産者が公平な収益を得られるように電力料金を決定する方法が示唆される。

更に、電力小売価格は満額補償される可能性があるという前提も示唆される。電力消費者が支払う電力料金は、一般的に次の主な4要素から構成される。

- ・電力市場における電力調達価格と再販業者の利幅
- ・系統コスト及び利用料（一部固定された消費量に関連する場合もある）：将来的な進化が重要課題
- ・税金
- ・賦課金（一部の再生可能エネルギー源、社会的プログラム、地域間の連帯などのためのインセンティブの資金源としても使用される）

電力調達価格が確実に補償される場合、その対応が税収の損失及び送配電網向けの資金調達の欠如の要素をもたらし、電力システムへ与える影響を考慮する必要がある。太陽光発電システムは税収を発生させることから、税収に関する議論は単純であるが、一方で系統に関する資金調達はより複雑である。自家消費電力がすべて補償の対象となったとしても、系統運用者の利益損失

を踏まえて系統に資金を拠出するための代替手段が考慮されるか、あるいは太陽光発電が系統にもたらす好影響に対してさらに理解されるべきである。

図6.7は、既にグリッド・パリティに達した国がどのように達成したのか、また電力コストの低下がより多くの国でいかに太陽光発電の競争力強化への道を開くのかを示している。日照条件に基づいた投資コスト別（システム価格：0.5ドル/W、1ドル/W、2ドル/W）の均等化発電原価（LCOE）と電力小売価格の差異が示されている。緑の点は、ほとんどの場合で太陽光発電が競争力を有するケースである。青い点は、システム価格や電力小売価格に大きく影響を受ける場合である。オレンジの点は、太陽光発電が非常に良い条件下でのみ競争力があることを示している。

新規あるいは改修された屋根を対象にしたBIPVの事例は、BIPVソリューションと従来型の屋根（またはファサード）部分のコストの差分により競争力を評価する。その他の評価については、標準的な建物据付型太陽光発電（BAPV）ソリューションを用いて自家消費する建物に類似している。BIPVソリューションが、計画されていた工事の範囲外の建物に設置された場合は、当然これには該当しない。非経済的要因や付加価値の観点から太陽光発電コンポーネントの建物との一体化が正当化されるため、BIPVに用いられる指標は異なることがある。このような理由から、BIPVの競争力は、一般的に従来の建築コストと区別して評価される。

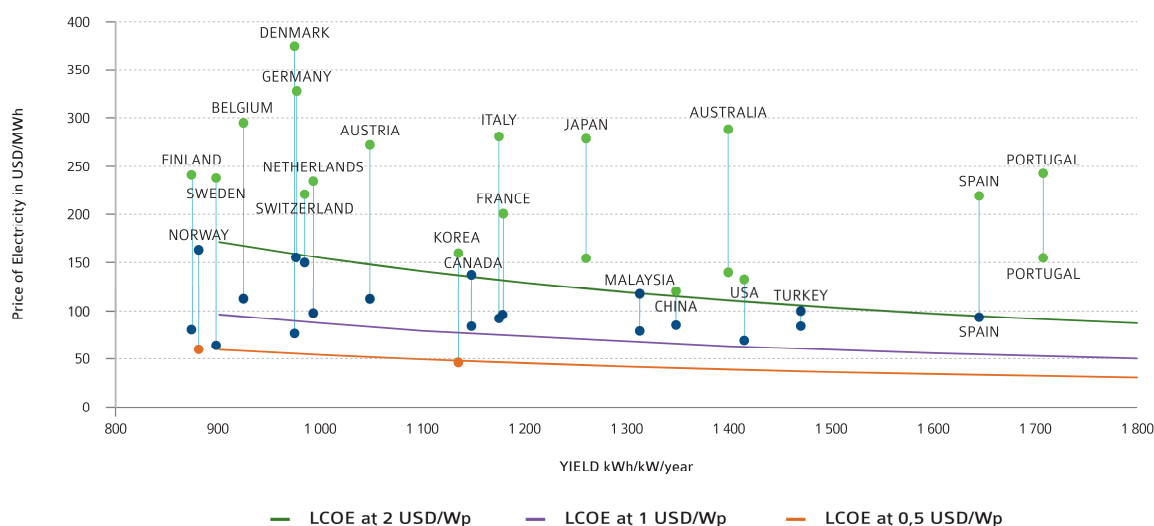


図 6.7 主要市場における等価システム稼働時間 (kWh/kW/年) に応じた太陽光発電電力の均等化発電原価 (LCOE) 及び電力小売価格*

出典：IEA PVPS、その他

*注：図に示される各国の等価システム稼働時間 (Yield) (日射量) は平均値と考えるべきである

電力卸売価格に対する太陽光発電電力の競争力

電力取引市場を有する国では、太陽光発電の電力卸売価格が、太陽光発電の競争力に関するひとつの指標である。これらの卸売価格は、市場構成と発電に用いられる技術の組み合わせに依存する。卸売価格に対して競争力を持つためには、太陽光発電による電力が可能な限り低コストで

発電されなければならない。保守費用と初期投資の低下により、現時点で最も低いシステム価格を実現できる大規模電力事業用太陽光発電システムは、すでに競争力を獲得している。2019年及び2020年には、スペインやドイツ、チリで電力市場からの報酬のみに依存する太陽光発電所が稼働を開始した。系統サービスや類似した付加的収益によって、エネルギーのみに特化した市場が完成する可能性は非常に高い。このような（補助金に頼らない）太陽光発電所はすでに実現可能であり、例えば2019年の電気料金と比較すると、このような太陽光発電所はポルトガルからフィンランドまでの西欧諸国の大部分において開発するのに適していることが計算で示されている。しかしながら、このようなビジネスモデルは、15年以上の期間にわたり保証される対価を発電事業者に支払う従来型のビジネスモデルと比較すると、依然としてリスクが高い。

このようなビジネスモデルに関連する主要なリスクとして、長期的な電力卸売市場価格の進展が挙げられる。太陽光発電による電力シェアが著しく大きくなる昼間のピーク時に太陽光発電の電力価格が低下することが知られている。さらに近年では、このような価格への影響は、通年の価格にもわずかながら影響を及ぼすことも示されている。太陽光発電の普及拡大及び輸送・暖房向けエネルギーの電力への転換によって、太陽光発電による電力が市場価格に及ぼす影響は、まだ正確には判明しておらず、中長期的な課題であると考えられる（リスクとならない可能性もある）。太陽光発電によって発電が行われている間に、取引価格は下がったままで、投資を回収する能力を損なうか、あるいは、低価格により新たな需要が生まれ、市場価格を安定させるか、現時点で、どちらに進展するのかを特定することはできず、両方の可能性がある。

また、電力卸売市場が存在しない場合（中国など）、石炭火力発電との発電コスト比較が経済性の重点となる。

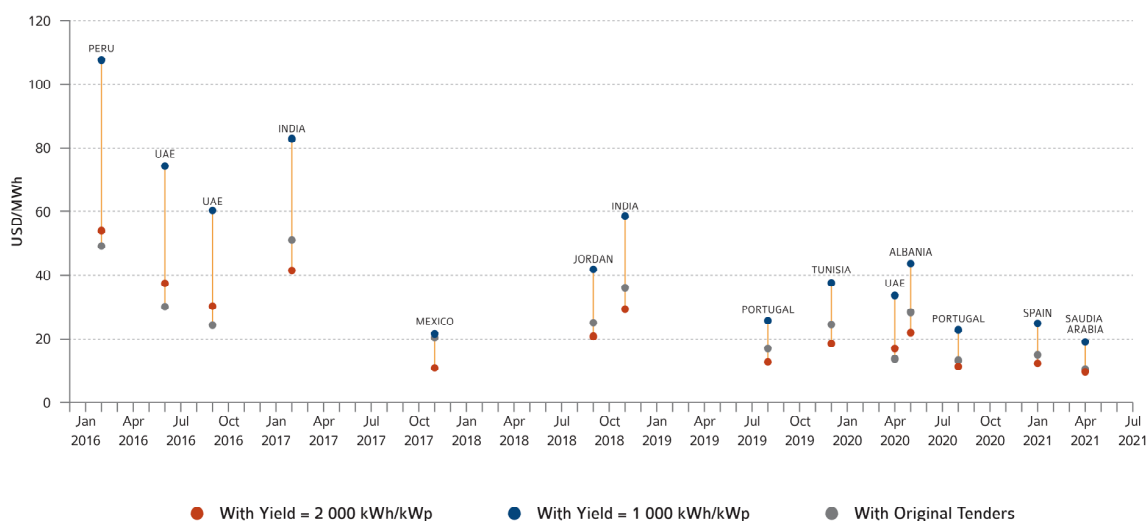


図 6.8 近年の電力購入契約（PPA）価格に基づく太陽光発電の均等化発電原価（LCOE）（2016年～2021年第2四半期）

出典：IEA PVPS、Becquerel Institute

燃料パリティと独立形太陽光発電システム

太陽光発電/ディーゼル・ハイブリッドを含む独立形発電システムは、太陽光発電システムが従来の発電機よりも安価なコストで電力を提供できる場合に競争力を持つと考えられる。一部の独立形システムにとっては、蓄電設備とチャージ・コントローラのコストは初期費用及び保守費用の中で考慮されるべきである。一方、ハイブリッド・システムでは、太陽光発電システムにより節約された燃料コストを考慮する。

これらのハイブリッド・システムにおいては、ディーゼル発電機の稼働時間削減による燃料費節約分を考慮することで、太陽光発電の競争力が達成できる。燃料パリティとは、太陽光発電システムの設置コストを燃料費の節約分のみでカバーできる場合をいう。太陽光発電は、多くのサンベルト地帯（日射量が高い地域）の国においては、燃料価格に基づいて燃料パリティを達成したと考えられる。

この他の独立形発電システムは、既存の電力源を代替するものではなく、電力網がなく、ディーゼル発電機の利用もほとんどない場所で電力を供給している。これらの独立形発電システムは、全く新しい方法で世界中の何億もの人々に電力を供給している。

太陽光発電を活用した、競争力を持つグリーン水素の生成

太陽光発電の発電コストの低下は、他の応用への扉を開いている。特に、太陽光発電により（おそらく風力発電との組み合わせによって）、直接「グリーン」水素を生産できる可能性がある。オーストラリア、チリ、中国、フランス、日本、韓国、ポルトガル及びスペインでは将来のビジネスモデルが模索されているが、太陽光発電の発電コストはさらに低いレベルに達する必要がある。また、「グリーン」水素の競争力を高めるためには、電解装置のコスト低下も必要である。これはそう遠い将来のことではなく、水素の特定用途については、今後数年間で競争力を持てるようになるという予測もある。「ブラック」水素との競合は当面は不可能であるように見えるが、輸送、一部の産業用製品や農業での利用（水素生成を介したアンモニア合成）により、系統連系しない太陽光発電システムが水素を生産する大きな機会を作り出す可能性がある。このような展開は、当面、受けている制約の外で、太陽光発電市場を大幅に拡大する可能性がある。

記録的低価格での入札

太陽光発電プロジェクトに電力購入契約（PPA）を設定する手段として、複数の国が入札制度を採用しており、これらのPPAの価値は2020年及び2021年上期に再び記録的に低い水準を記録した。複数の国において、PPAの価格は電力卸売価格に近づいている。あるいは、電力卸売価格を下回る場合も多く、十分に低いレベルとなっている。入札制度による導入が太陽光発電プロジェクトの大部分を占めるわけではないものの、入札によるプロジェクトでは、システム価格が低く（0.6ドル/W未満）、かつ初期投資コストが低い状況下において太陽光発電技術が非常に安価な電力を提供できることを示している。ポルトガルにおける入札価格は、本報告書執筆時点で太陽光発電が達成しうるコストのレベルよりも明らかに低く、将来の電力卸売価格の進展の見通しまでも含めた新たなビジネスモデルの確立を示唆している。

表6.1 電力事業用太陽光発電システム向け入札の最低落札価格

地域	国/州	ドル/MWh	年
アジア	ウズベキスタン	17.9	2021
アフリカ	チュニジア	24.4	2019
欧州	ポルトガル	13.2	2020
中南米	ブラジル	17.5	2019
中東	サウジアラビア	10.4	2021
北米	メキシコ	20.6	2017

出典：IEA PVPS、その他

1ユーロ=1.16ドル（2021年9月換算）



7章 エネルギー部門における太陽光発電

太陽光発電による発電量

・太陽光発電システム設置容量の追跡と太陽光発電による発電量の監視

多くの国では、太陽光発電システムの設置状況を正確に追跡していない、あるいは公的なデータを作成していないため、世界のすべての地域における太陽光発電システムの設置状況を追跡することは困難である。

更に、太陽光発電による発電量を発電所で計測することは容易であるが、国全体としての発電量の総量を算出することは非常に複雑である。その理由として、第一に、設置容量の追跡は正確に行われなければならないが、そのためには、特に分散型及び独立形セグメントにおいて効果的で一貫したアプローチが求められる。第二に、太陽光発電による発電量は、ある特定の時点における太陽光発電システム設置容量からは正確に算出することはできない。実際、年末に設置された太陽光発電システムが設置年に発電する発電量は、理論的年間発電量のほんの一部に過ぎない。このような理由から、本報告書における国別の太陽光発電による発電量は、「理論的平均発電量」と称する推計値である。

理論的平均発電量の算出には各国の平均太陽光発電量が用いられる。数値は国内調査報告書及び追加情報に基づいており、近似値を示している。太陽光発電システムによる発電量は交流（AC）出力値では算出できず、直流（DC）出力値が必要であること、また太陽光発電所の特性に留意することが必要である。

・稼働を終了した太陽光発電システム

世界の太陽光発電システム設置容量の多くは1990年代に遡る太陽光発電システム設置の第一波に設置されており、一定の寿命に近づきつつある。そのため、太陽光発電システム累積設置容量の推定値を出すには、稼働を終了した太陽光発電システムを考慮に入れなければならない。しか

し、世界規模でみると、2000年以前に設置された太陽光発電システムは累積設置容量の0.1%未満、2010年以前に設置されたシステムは6%に過ぎないため、その影響は依然として限定的である。可能であれば、正式な数値の算出には稼働を終了した太陽光発電システムを考慮に入れるべきであり、このことは大半のIEA PVPS加盟国についても同様である。その点において、一部の国では、稼働を終了したシステムの数を入力したことにより独立形システムの数が増加している。また、稼働を終了したシステムの数が増加しているのは、太陽光発電システムのリサイクル数の増加によるもので、特にアフリカ向けの活気ある（時には違法すれすれの）中古市場が原因である。

・太陽光発電システムの性能損失

太陽光発電システムの性能評価の計算は、絶対値だけでなく、発電量評価に関してより正確な値を提供することが極めて重要である。システム性能を判断するには、性能損失（PL）を計算する必要がある。太陽光発電システムのPLの計算は、「真値」が不明であるため容易ではない。複数の方法が提案されているが、コンセンサスが得られておらず、計算方法の標準化も行われていない。温度補正されたシステム出力係数（PR）と、前年比（YoY）またはSTL（局所的な重み付けをした散布図平滑化（LOESS）を用いた季節的推移分解（Seasonal-Trend decomposition using LOESS））の組み合わせは、他と比較して非常によく機能する。

IEA PVPSのタスク13では、複数の主要な研究開発機関、大学、企業を代表する専門家のグループが、多数の業務用及び研究用太陽光発電所における性能損失率（PLR）の計算及び様々な気候帯からの関連気象データの枠組みを開発している。PLRの計算には多様な方法が適用され、それらは不確実性と「真値」に関してベンチマークされている。国際協調の目的は、高品質データ（高時間分解能、信頼性のあるデータ、日射量、発電量等）と低品質データ（低時間分解能、入手可能なエネルギー・データのみ）に基づくPLRの計算方法を示すことである。PLRの計算には、種々の時間平均化及びフィルタリング基準に加え、多様なアルゴリズムとモデルが適用でき、それぞれが結果に影響を与える可能性がある。このアプローチでは、幅広い協業を実現し、研究の統計的重要性を高め、測定基準（PRまたは発電量ベース）の組み合わせを広げるために、3つの計算方法が検討されている。さらに、計算方法は、平均値からの乖離及び標準値からの乖離の観点からベンチマークされている。

太陽光発電の普及率

太陽光発電電力の普及率は、各国の電力需要に対する太陽光発電による発電電力量の比率であり、パーセントで表示される。電力需要に関する情報は、公的なデータベース及びIEA PVPSの専門家を通じて入手している。

2020年には、35ヶ国が国内電力需要の1%以上を太陽光発電により賄った（その他の多くの国の数値は低い）。

1年を通して未稼働の発電所や技術的な問題や外部の制約により、発電上の問題が発生した発電所もあったため、実際の数値はさらに低い可能性がある。国レベルでの実際の太陽光発電システムによる発電量の評価は、自家消費と蓄電を含める場合は、特に困難である。IEA PVPSは、政府

及びエネルギーのステークホルダーに対して、系統運用者が正確なデータベースを作成し、太陽光発電システムによる発電量を正確に測定することを提唱している。

太陽光発電の普及に関しては、世界の太陽光発電システムの累積設置容量は約767GWであり、年間ベースで1,000TWh弱の発電能力がある（表7.1参照）。図7.1に示す通り、世界全体の電力需要の約4%が太陽光発電によって賅われた。太陽光発電所の老朽化による性能損失は、現時点では考慮に入れていない。

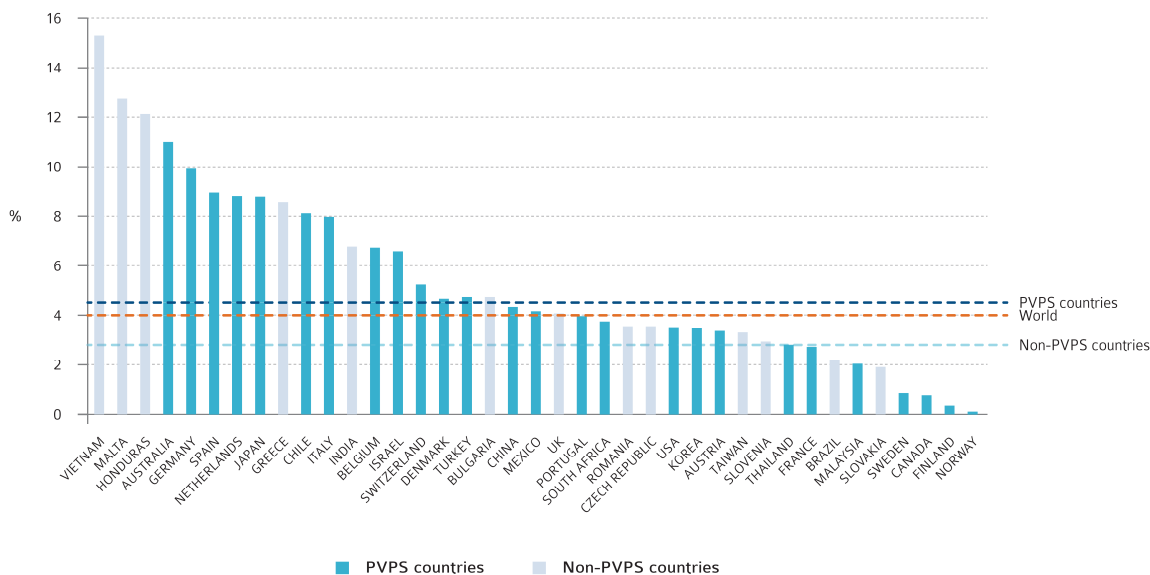


図 7.1 電力需要に対する太陽光発電のシェア（2020 年）

出典：IEA PVPS、その他

表7.1 2020年のIEA PVPS加盟国における太陽光発電に関連する統計値

国	最終電力消費量 (TWh)	人口 (100万人)	GDP (10億ドル)	面積 (km ²)	等価システム稼働時間 (kWh/kW)	年間設置容量 (MW)	累積設置容量 (MW)	太陽光発電量 (TWh)	人口1人あたりの年間設置容量 (W/人)	人口1人あたりの累積設置容量 (W/人)	単位面積あたりの累積設置容量 (kW/km ²)	電力需要に対する比率 (%)
オーストラリア	265	26	1,331	7,690,000	1,400	4,503	20,823	29	175	810	3	11.0%
オーストリア	64	9	429	84,000	1,050	341	2,043	2	38	230	24	3.4%
ベルギー	83	11	515	33,688	925	1,048	6,008	6	91	523	178	6.7%
カナダ	540	38	1,643	9,985,000	1,150	200	3,525	4	5	93	0	0.8%
チリ	73	19	253	756,096	1,699	790	3,484	6	42	184	5	8.1%
中国	7,620	1,400	14,723	9,634,000	1,300	48,200	253,640	330	34	181	26	4.3%
デンマーク	34	6	355	44,000	975	264	1,624	2	45	278	37	4.6%
フィンランド	81	6	271	390,908	875	98	313	0	18	56	1	0.3%
フランス	473	67	2,603	543,965	1,180	973	10,920	13	15	163	20	2.7%
ドイツ	531	83	3,806	357,170	978	4,885	53,901	53	59	649	151	9.9%
イスラエル	68	9	402	20,770	1,750	590	2,550	4	63	274	123	6.6%
イタリア	320	59	1,886	301,336	1,176	785	21,650	25	13	365	72	8.0%
日本	858	126	5,065	377,975	1,050	8,676	71,868	75	69	570	190	8.8%
韓国	520	52	1,631	100,401	1,137	4,120	15,888	18	79	306	158	3.5%
マレーシア	149	33	337	330,621	1,314	883	2,300	3	27	70	7	2.0%
メキシコ	270	128	1,076	1,964,380	1,708	1,573	6,574	11	12	52	3	4.2%
オランダ	111	17	912	41,500	994	3,036	9,910	10	175	571	239	8.8%
ノルウェー	135	5	362	385,178	882	40	160	0	7	30	0	0.1%
ポルトガル	46	10	231	92,212	1,709	170	1,077	2	16	104	12	4.0%
スペイン	250	47	1,281	505,990	1,646	3,528	13,603	22	75	291	27	9.0%
スウェーデン	132	10	538	407,284	900	506	1,226	1	49	119	3	0.8%
スイス	56	9	748	41,285	985	475	2,973	3	55	343	72	5.3%
南アフリカ	193	59	351	1,219,090	1,733	1,300	4,172	7	22	71	3	3.7%
タイ	194	70	502	513,120	1,522	49	3,578	5	1	51	3	2.8%
トルコ	303	83	720	783,560	1,500	958	9,504	14	11	114	12	4.7%
米国	3,852	329	20,937	9,147,281	1,416	19,725	95,495	135	60	290	10	3.5%
世界	24,700	7,673	84,705	134,325,435	1,300	145,229	767,243	997	19	100	6	4.0%

2020年の再生可能エネルギー新規設置容量を図7.3に示す。2020年の再生可能エネルギーの新規設置容量のうち、太陽光発電の比率が最大であった。2020年も再生可能エネルギーの新規設置容量は、化石燃料と原子力の正味新設容量を上回っており⁴、世界の電力ミックスの約29%を占めた。

太陽光発電は2020年の世界の再生可能エネルギー源（水力発電を含む）新規設置容量の53%を占めた（訳注：図7.3では54%と記載）。風力発電の設置容量は93GWで、36%を占めた。

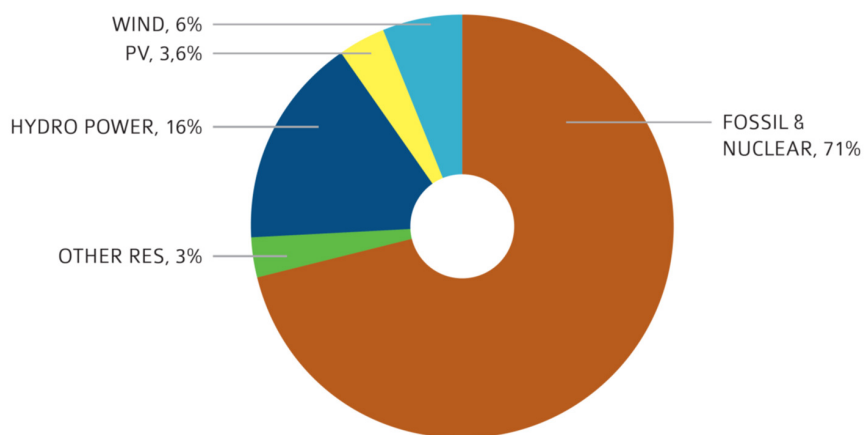


図 7.2 世界の発電電力量に占める再生可能エネルギーの比率（2020年）
出典：21世紀のための再生可能エネルギー政策ネットワーク（REN21）、IEA PVPS

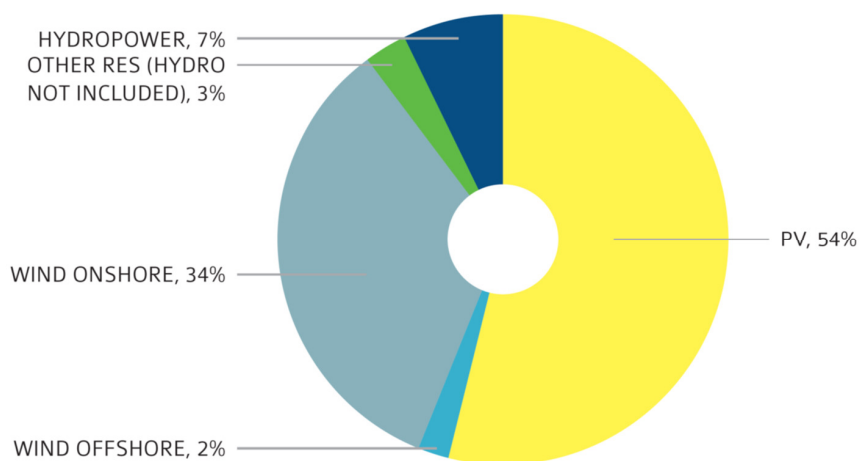


図 7.3 再生可能エネルギーの新規設置容量比率（2020年）
出典：REN21、IEA PVPS

⁴ 出典：REN21 「Global Status Report」

太陽光発電と他技術のインテグレーションとセクタ・カップリング

蓄電市場

一般的に、蓄電は太陽光発電に関連する系統連系問題の一部を解決し、分散型太陽光発電所の自家消費比率を上昇させる機会をもたらすという見方もある。蓄電池のコストは低下しているものの、世界中のどの国や市場分野においても、蓄電ソリューションは経済的に実行可能な選択肢にはなっていない。しかし、自家消費を最大限に増やし、消費プロファイルを最適化したいと望む消費者が増えるにしたがって、住宅用セグメントと業務用セグメントの両方で蓄電池の利用が増加している。

蓄電池を備えた大規模太陽光発電所の建設が増加しており、系統への逆潮流を安定化させ、出力制御を減らし、場合によっては系統にアンシラリーサービスを提供するために蓄電池を活用することができる。夕方のピーク時に向けたエネルギーの代替により、高額な卸売市場価格の恩恵を受け、太陽光発電の逆潮流パターンを変えることができる。太陽光発電システムに蓄電池併設を義務づける入札が増加している。

世界全体では、販売された蓄電池の大部分が電気自動車（EV）（輸送）に使用されている。定置用蓄電池は例外で、設置容量は依然として少ない。しかし、e-モビリティ（輸送部門の電化）の急速な進展が蓄電池の価格低下を牽引しており、その速度は定置用蓄電池市場単体ではだれも予測できなかったほどの速さである。こうした状況は、特定条件下での太陽光発電システムの設置を容易にするためのツールとしての蓄電池を開発する上で大きな後押しとなりうる。また、入札における新たな系統連系要件は、電力事業用発電所の出力を円滑にし、出力制御を減らしたり、系統容量増強の必要性を減じたりするために、電力事業用発電所における定置用蓄電池の使用を優遇する傾向にあるが、この動向が立証されるのは数年先になるとみられている。

輸送の電化

エネルギー転換の実現手段としての太陽光発電の役割は今まで以上に明確になっている。官民を問わず業務提携を通じてEV充電ステーションと太陽光発電を組み合わせるケースが増加しているのに伴い、移動手段向けに太陽光発電電力を供給するという発想が徐々に現実になりつつある。

太陽光発電により電気自動車（EV）のグリーン化が加速

輸送、特に自動車や小型車における化石燃料から電気への移行は、輸送部門の脱炭素化に向けて必要なステップである。ただし、実際のEVの温室効果ガス排出量は、EVの充電に使用される電力ミックスによって異なる。化石燃料に大きく依存する電力ミックスを持つ国では、排出量は再生可能エネルギーまたはカーボンフリーの電力ミックスを持つ国よりも依然として高い。

この点に関して、欧州では過去数ヶ月間にEV市場の急速な発展と再生可能エネルギー（特に太陽光発電）を結びつけるための複数のイニシアチブが登場した。EVの完全脱炭素化を自動車産業に提案するという発想は、そのようなEVが市場に出回るようになったときに、再生可能エネルギーによる電力供給契約や太陽光発電所の取引が増加することを示唆するものである。

太陽光発電から車載用（車両一体型）太陽光発電システム（VIPV）・車両据付型太陽光発電（VAPV）へ

太陽光発電は分散型発電であるため、日中、オフィスの駐車場や自宅に停車しているEVの充電用電源として最適である。このような低速充電は、配電網の制約とも非常に互換性がある。また、車両本体への太陽光発電の統合、いわゆる車載用（車両一体型）太陽光発電システム（VIPV）は、系統への負担を軽減し、EVの独立性を高め、自動車産業と太陽光発電産業を結びつける機会も提供する。2018年と2019年には、日本と韓国をはじめドイツやオランダにおいても複数の製造企業がEVと一体化したVIPVシステムを発表した。IEA PVPS タスク 17 は、急速に台頭するVIPVを活動のテーマとしている。

冷暖房装置の電化

近年、特に欧州でみられる太陽光発電の自家消費の進展は、太陽光発電による電力を特定の建物設備に使用するための新たな機会を生み出している。

中でも、暖房時の消費負荷に直接供給しないとしても、太陽光発電電力を利用した家庭用給湯器などへの電力供給についての関心が高まっている。また、給湯器は貯蔵の役割も果たすため、ヒートポンプと上手に組み合わせることができる。

欧州の一部の家庭用電気給湯器製造企業は、太陽光発電の余剰電力を電気ボイラーに直接接続できる特殊な電子デバイスを提供している。給湯器によって自家消費を増やし、太陽光発電電力を貯蔵することができる。

例えばフランスでは、夜間に家庭用温水を沸かすために使われる年間電力使用量約15TWhの一部を、グリーン電力の熱エネルギー貯蔵に転換することに関心を寄せる電力事業者が増えている。この試みは、特にコルシカ島や海外県・海外領土などの系統連系されていない地域において、短期間で実現することが急がれている。

太陽光発電電力の利用におけるその他の非常に有望なセグメントとして、冷房への利用がある。欧州のみならず多くの国々は、太陽光発電電力のコストが現在も将来においても大変魅力的であることから、急速に増加する空調設備のエネルギー需要への取り組みと太陽光発電電力とを結びつけることに高い関心を示している。

中国は、主に国内の住宅用セグメントにおいて、太陽光発電による空調ソリューションの供給で世界の先頭に立っている。

大規模な「太陽光発電+空調」システムは、製品化には至っていない。しかし、冷水貯蔵などの改造型冷水装置の特定用途に関連した、自家消費太陽光発電システムの設計は増加している。

こうした状況から、IEA PVPSの各タスクでは、グリーン電力を冷房装置や冷凍・冷蔵装置の電力として転換するためのイノベーションを軸とすることは、特に日射量の多い新興国において、ピーク時の太陽光発電電力を取り込むための非常に有望な方法であるとみている。実際、夏期に系統へのストレスが顕著となる地域では、地域の太陽光発電による冷房や熱冷却貯蔵の恩恵が得られるということが非常に強力なツールとなりうる。

太陽エネルギー、すなわち太陽光発電及び太陽熱の冷却利用は、2020年7月以降、タスク65 (<https://task65.ica-shc.org/>) と呼ばれるIEA太陽熱利用冷暖房プログラム（IEA SHC）の特定タスクに貢献している。タスク65では、世界全体で既存の技術（太陽エネルギー及びヒートポンプ）を日射量が多く高温な気候向けに改良・開発する革新的な手法に取り組んでいる。

付録

付録1 使用された為替レート (2020年平均)

国	通貨	為替レート (1ドル=)
オーストラリア	オーストラリア・ドル (AUD)	1.452
カナダ	カナダ・ドル (CAD)	1.341
チリ	チリ・ペソ (CLP)	755.63
中国	人民元 (CNY)	6.900
デンマーク	デンマーク・クローネ (DKK)	6.538
ユーロ圏	ユーロ (EUR)	0.877
イスラエル	イスラエル・新シェケル (ILS)	3.438
日本	円 (JPY)	106.725
韓国	ウォン (KRW)	1,179.199
マレーシア	リンギット (MYR)	4.224
メキシコ	メキシコ・ペソ (MXN)	21.466
モロッコ	モロッコ・ディルハム (MAD)	9.495
ノルウェー	ノルウェー・クローネ (NOK)	9.413
南アフリカ	南アフリカ・ランド (ZAR)	16.458
スウェーデン	スウェーデン・クローナ (SEK)	9.205
スイス	スイス・フラン (CHF)	0.939
タイ	バーツ (THB)	31.271
トルコ	トルコ・リラ (TRY)	7.025
米国	ドル (USD)	1

出典 : IRS (マレーシアのみGoogle)

付録2 1992年から2020年までの太陽光発電システム累積設置容量推移 (MW)

国	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
オーストラリア	7	9	11	13	16	18	21	23	26	30	75	41	47	55	64	74	104	189	578	1,444	2,491	3,283	4,131	5,057	5,908	7,178	11,586	16,320	20,823	
オーストリア	1	1	1	1	2	2	3	4	5	6	10	17	21	24	26	28	32	53	95	187	363	626	785	937	1,096	1,269	1,455	1,702	2,043	
ベルギー	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	20	103	654	939	1,878	2,610	2,845	2,969	3,113	3,323	3,685	4,142	4,960	6,008	
カナダ	1	1	2	2	3	3	4	6	7	9	10	12	14	17	20	26	33	95	281	559	766	1,211	1,843	2,519	2,665	2,913	3,093	3,325	3,525	
チリ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	12	221	576	1,125	1,837	2,406	2,694	3,484	
中国	0	0	0	0	0	0	0	0	11	16	34	44	54	62	72	92	132	292	792	3,492	6,692	17,682	28,322	43,472	76,022	130,882	175,142	205,440	253,640	
デンマーク	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	4	7	29	499	698	751	979	1,061	1,137	1,252	1,361	1,624	
フィンランド	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	3	5	7	9	9	9	9	20	37	80	134	214	313	
フランス	2	2	2	3	4	6	8	9	11	14	17	21	24	26	38	76	180	371	1,209	2,973	4,093	4,747	5,701	6,605	7,201	8,099	8,968	9,947	10,920	
ドイツ	6	9	12	18	28	42	54	70	114	176	296	435	1,105	2,056	2,899	4,170	6,120	10,566	18,006	25,916	34,077	36,710	37,900	39,224	40,679	42,293	45,181	49,016	53,901	
イスラエル	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	22	67	186	272	377	588	771	877	952	1,358	1,960	2,550	
イタリア	8	12	14	16	16	17	18	18	19	20	22	26	31	37	50	100	496	1,277	3,605	13,141	16,796	18,198	18,607	18,915	19,297	19,682	20,108	20,865	21,650	
日本	19	24	31	43	60	91	133	209	330	453	637	860	1,132	1,422	1,708	1,919	2,144	2,627	3,618	4,914	6,632	13,599	23,339	34,151	42,040	49,500	56,162	63,192	71,868	
韓国	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	6	9	14	36	81	357	524	650	729	1,024	1,555	2,481	3,615	4,502	5,835	7,979	11,768	15,888	
マレーシア	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	4	34	145	213	273	362	401	918	1,417	2,300	
メキシコ	0	0	9	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	25	31	40	52	112	179	246	311	485	3,075	5,001	6,574	
モロッコ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	205	206	
オランダ	0	0	0	0	0	1	1	1	1	5	9	16	22	40	43	45	59	69	90	149	287	650	1,007	1,526	2,135	2,901	4,522	6,874	9,910	
ノルウェー	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6	6	7	7	7	8	8	8	8	8	9	10	12	14	26	44	68	120	160	
ポルトガル	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
南アフリカ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
スペイン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5	11	21	43	125	618	3,351	3,392	3,829	4,233	4,532	4,638	4,661	4,707	4,762	4,897	5,159	10,075	13,603	
スウェーデン	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	5	6	8	9	11	15	23	42	77	125	184	269	429	720	1,226	
スイス	5	6	7	8	10	11	13	14	16	18	20	22	24	28	30	37	49	80	125	223	437	756	1,061	1,394	1,664	1,906	2,173	2,498	2,973	
タイ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	30	32	33	43	49	243	387	823	1,298	1,420	2,446	3,056	3,513	3,529	3,578	
トルコ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	6	32	64	358	1,175	4,206	7,149	8,947	9,504	
米国	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	111	190	295	455	753	1,188	2,017	3,937	7,130	12,076	18,321	25,821	40,973	51,818	62,498	75,770	95,495
その他EU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	22	23	34	42	106	574	2,460	3,461	5,569	7,921	8,283	8,588	8,946	9,270	10,082	11,626	15,769	
加盟国合計	50	65	90	115	150	206	270	370	569	779	1,138	1,560	2,689	4,101	5,515	7,877	14,168	22,175	38,611	67,946	95,043	129,368	164,633	206,365	273,606	357,529	441,839	522,926	634,785	
非加盟国合計	0	0	0	0	0	0	0	0	1	8	14	23	33	45	67	94	139	252	558	2,269	4,790	7,983	12,703	21,306	30,770	49,576	69,471	99,089	132,458	
合計	50	65	90	115	150	206	270	370	570	787	1,152	1,583	2,722	4,146	5,582	7,971	14,307	22,427	39,169	70,215	99,833	137,351	177,336	227,670	304,376	407,105	511,309	622,014	767,243	

付録3 1992年から2020年までの太陽光発電システム年間設置容量推移 (MW)

国	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
オーストラリア	7	2	2	2	3	3	3	2	3	4	5	6	6	8	9	11	30	85	389	866	1,047	792	848	926	851	1,270	4,408	4,734	4,503	
オーストリア	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	4	6	4	3	2	2	5	20	43	92	176	263	159	152	159	173	186	247	341	
ベルギー	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	18	83	551	285	939	732	235	124	144	210	362	457	818	1,048	
カナダ	1	0	0	0	1	1	1	1	1	2	1	2	2	3	4	5	7	62	187	277	208	445	633	675	146	249	180	232	200	
チリ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	9	209	355	549	712	569	288	790	
中国	0	0	0	0	0	0	0	0	11	5	19	10	10	8	10	20	40	160	500	2,700	3,200	10,990	10,640	15,150	34,550	52,860	44,260	30,300	48,200	
デンマーク	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	22	470	53	228	81	76	115	109	264	
フィンランド	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	2	2	0	0	0	11	17	43	53	81	98	
フランス	2	0	0	1	2	2	2	2	2	3	3	4	3	2	12	38	104	191	838	1,764	1,120	654	954	903	596	898	869	979	973	
ドイツ	6	3	3	6	10	14	12	16	44	62	120	139	670	951	843	1,271	1,950	4,446	7,440	7,910	8,161	2,633	1,190	1,324	1,455	1,614	2,888	3,835	4,885	
イスラエル	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	21	45	119	86	105	183	106	75	406	602	590	
イタリア	8	4	2	2	0	1	1	1	1	1	2	4	5	7	13	50	396	781	2,328	9,536	3,655	1,402	409	308	382	385	426	758	785	
日本	19	5	7	12	16	32	42	75	122	123	184	223	272	290	287	210	225	483	991	1,296	1,718	6,968	9,740	10,811	7,889	7,460	6,662	7,030	8,676	
韓国	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1	3	5	22	45	276	167	127	79	295	531	926	1,134	887	1,333	2,145	3,789	4,120	
マレーシア	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	34	111	67	61	78	49	517	499	883	
メキシコ	0	0	9	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	6	9	12	60	67	67	65	174	2,590	1,926	1,573	
モロッコ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	205	1	0
オランダ	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	8	6	18	4	2	3	10	10	21	59	138	363	357	519	609	766	1,621	2,352	3,036	
ノルウェー	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	2	2	11	18	25	51	40	
ポルトガル	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	14	50	40	26	41	69	55	119	36	65	66	88	234	170	
南アフリカ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	305	1,081	94	794	69	60	463	1,300	
スペイン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	6	10	32	82	483	2,733	41	437	404	299	106	23	46	55	135	262	4,916	3,528	
スウェーデン	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1	2	4	8	19	35	48	59	85	160	291	506	
スイス	5	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	2	7	12	30	46	98	214	319	305	333	270	242	267	325	475	
タイ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	7	2	1	10	6	194	144	436	475	122	1,027	610	456	16	49	
トルコ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	26	32	294	818	3,031	2,943	1,398	958	
米国	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	111	79	105	160	298	435	829	1,920	3,193	4,946	6,245	7,500	15,152	10,845	10,680	13,272	19,725	
その他EU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	10	1	11	7	65	468	1,885	1,001	2,109	2,352	362	305	359	324	813	1,543	4,144	
加盟国合計	50	16	25	25	35	56	64	100	198	210	359	422	1,129	1,421	1,415	2,362	6,291	8,008	16,436	29,335	27,101	34,325	35,265	41,732	67,241	83,923	84,309	81,089	111,860	
非加盟国合計	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7	6	9	10	12	21	27	45	113	306	1,711	2,520	3,193	4,721	8,602	9,465	18,806	19,894	29,626	33,369	
合計	50	16	25	25	35	56	64	100	199	217	365	431	1,139	1,434	1,436	2,389	6,336	8,120	16,742	31,045	29,620	37,517	39,986	50,334	76,705	102,729	104,203	110,715	145,229	

図リスト

図2.1	世界の太陽光発電システム累積設置容量 (GW)	7
図2.2	世界の太陽光発電システム年間設置容量 (GW)	8
図2.3	人口1人当たりの太陽光発電システム設置容量 (W/人) (2020年)	8
図2.4	上位国による市場シェア	10
図2.5	2020年の世界の太陽光発電システム年間設置容量と国別比率	12
図2.6	2020年末時点の世界の太陽光発電システム累積設置容量と国別比率	13
図2.7	地域別太陽光発電システム累積設置容量	13
図2.8	国・地域別太陽光発電システム累積設置容量 (2017~2020年)	13
図2.9	地域別集中型太陽光発電システム年間設置容量 (2020年)	16
図2.10	地域別集中型太陽光発電システム累積設置容量 (2020年)	16
図2.11	地域別分散型太陽光発電システム年間設置容量 (2020年)	17
図2.12	地域別分散型太陽光発電システム累積設置容量 (2020年)	18
図2.13	年間設置容量における系統連系形太陽光発電システム (集中型・分散型) の比率 (2010~2020年)	19
図2.14	累積設置容量における系統連系形太陽光発電システム (集中型・分散型) の比率 (2010~2020年)	20
図2.15	水上設置型太陽光発電 (FPV) システム設置容量 (2013年~2021年第3四半期)	21
図2.16	系統連系形太陽光発電システム (集中型・分散型) の地域別年間設置容量比率 (2020年)	24
図2.17	米州におけるセグメント別の太陽光発電システム設置容量比率	25
図2.18	アジア太平洋地域におけるセグメント別の太陽光発電システム設置容量比率	26
図2.19	欧州におけるセグメント別の太陽光発電システム設置容量比率	28
図2.20	中東及びアフリカにおけるセグメント別の太陽光発電システム設置容量比率	31
図3.1A	2020年の分散型太陽光発電市場の主な牽引要因	35
図3.1B	2020年の集中型太陽光発電市場の主な牽引要因	36
図3.2	太陽光発電市場におけるインセンティブと実現要因の進展 (2010年、2015年、2020年)	37
図4.1	太陽光発電システムの価値連鎖 (結晶シリコン太陽電池技術の場合)	53
図4.2	2020年のポリシリコン生産量の国別シェア	55
図4.3	2020年の太陽電池向けウエハー生産量の国別シェア	56
図4.4	太陽電池セル生産量の国別シェア (2020年)	59
図4.5	太陽電池モジュール生産量の国別シェア (2020年)	59
図4.6	太陽電池モジュールの技術別生産量 (2011~2020年) (GW)	60
図4.7	2010~2020年の世界の太陽光発電システム年間設置容量、太陽電池生産量と生産能力 (GW)	63
図4.8	川下部門の概要 (電力事業用太陽光発電システム)	67
図5.1	太陽光発電市場のGDP に対する事業価値 (%) (2020年)	69

図5.2	世界のGDPに対する太陽光発電の事業価値及びエネルギー分野への投資の貢献度 (%)	70
図5.3A	太陽光発電産業の絶対的事業価値 (単位: 10億ドル) (2020年)	71
図5.3B	価値連鎖における太陽光発電産業の事業価値 (%) (2020年)	71
図5.3C	太陽光発電産業のGDPに対する事業価値 (%) (2020年)	72
図5.4	世界の太陽光発電関連雇用者数 (国別)	73
図5.5	太陽光発電による二酸化炭素排出量の年間削減量	76
図5.6	エネルギー部門の総排出量に対する二酸化炭素排出削減量の比率 (%)	76
図6.1	太陽電池モジュールのスポット価格の習熟曲線 (1992~2020年)	78
図6.2	太陽電池モジュールの価格分布	78
図6.3	IEA PVPS報告国における指標的太陽電池モジュール価格 (ドル/W) (2020年)	79
図6.4	2020年の太陽光発電市場の価格分布	80
図6.5	2012~2020年の住宅用及び地上設置型太陽光発電システムの価格分布	81
図6.6	2020年のIEA PVPS代表国における指標的太陽光発電システム設置価格分布	82
図6.7	主要市場における等価システム稼働時間 (kWh/kW/年) に応じた太陽光発電電力の 均等化発電原価 (LCOE) 及び電力小売価格	84
図6.8	近年の電力購入契約 (PPA) 価格に基づく太陽光発電の均等化発電原価 (LCOE) (2016年~2021年第2四半期)	85
図7.1	電力需要に対する太陽光発電のシェア (2020年)	90
図7.2	世界の発電電力量に占める再生可能エネルギーの比率 (2020年)	92
図7.3	再生可能エネルギーの新規設置容量比率 (2020年)	92

表リスト

表2.1	太陽光発電市場規模上位10ヶ国の変遷	11
表2.2	集中型太陽光発電システム年間設置容量上位10ヶ国（2020年）	15
表2.3	集中型太陽光発電システム累積設置容量上位10ヶ国（2020年）	15
表2.4	分散型太陽光発電システム年間設置容量上位10ヶ国（2020年）	18
表2.5	分散型太陽光発電システム累積設置容量上位10ヶ国（2020年）	19
表2.6	太陽光発電市場の詳細統計（2020年）	33
表4.1	太陽電池セル生産量及び太陽電池モジュール生産・出荷量の世界上位5社（2020年）	61
表4.2	太陽電池モジュールの生産量及び生産能力の実績推移	64
表5.1	太陽光発電の事業価値の上位10ヶ国	70
表6.1	電力事業用太陽光発電システム向け入札の最低落札価格	87
表7.1	2020年のIEA PVPS加盟国における太陽光発電に関連する統計値	91
付録1	使用された為替レート（2020年平均）	95
付録2	1992年から2020年までの太陽光発電システム累積設置容量推移（MW）	96
付録3	1992年から2020年までの太陽光発電システム年間設置容量推移（MW）	97

本「太陽光発電応用の動向報告書 2021」（翻訳版）の内容を公表する際はあらかじめ、

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー部の許可を得てください。

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

E-mail : pvgroup123@ml.nedo.go.jp (新エネルギー部)