



# 太陽光発電開発戦略 2020

(NEDO PV Challenges 2020)

2020年12月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構



## はじめに

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

NEDOは、1980年の設立時からサンシャイン計画の推進を担う機関として太陽光発電技術の開発に取り組んできた。それまでサンシャイン計画で取り組まれていたシリコン原料の開発や結晶シリコン系及び化合物系太陽電池の開発を引き継ぎ、低コストシリコン原料の開発、角形キャストウエハ作製技術等のシリコン基板作製技術開発、実用化を支えるための技術開発を推進した。

サンシャイン計画は1993年に「ニューサンシャイン計画」へと改編されたが、太陽光発電の技術開発は継続された。太陽電池は、電卓等の民生用製品や独立電源として一部実用化していたものの、電力用途として一般に普及するためには、さらに太陽電池の低価格化を進める必要があった。

2004年には、太陽光発電の更なる普及と太陽光発電産業の持続的成長を実現するための技術開発指針として、NEDOは太陽光発電ロードマップ（PV2030、PV2030+）を策定し、これに基づいた技術開発を行ってきた。

2012年からの固定価格買取（FIT）制度によって太陽光発電の導入は加速し、我が国における太陽光発電の大量導入社会の実現も視野に入りつつあった2014年には、将来の大量導入社会を支えるために必要となる課題解決策を検討したPV Challengesを策定し、この戦略（発電コストの低減、信頼性向上、立地制約の解消、リサイクルシステムの確立、産業の高付加価値）に基づいた技術開発を行った。

2018年の「エネルギー基本計画」において、再生可能エネルギーの主力電源化が言及された。これにより、我が国は太陽光発電の大量導入社会の実現に着実に近づきつつあるが、大量導入社会を構築するためには様々な課題が顕在化してきている。

こうした太陽光発電を取り巻く状況の変化を踏まえ、NEDOでは、今後、太陽光発電の発展に必要な課題を整理し、それらを解決するための技術開発について検討を進め、新たに「太陽光発電開発戦略2020」としてまとめた。



# 目次

I. 概要.....	1
II. 本論 .....	5
1. 太陽光発電戦略の目的 .....	6
2. 太陽光発電の状況 .....	7
2.1 太陽光発電の導入状況（世界） .....	7
2.2 太陽光発電の導入状況（国内） .....	8
2.3 太陽光発電の産業動向（生産） .....	9
2.4 太陽光発電のシステム価格動向 .....	12
2.5 太陽光発電の発電コスト .....	15
2.6 太陽光発電を巡る環境、産業の変化 .....	22
2.7 技術開発動向 .....	31
3. 太陽光発電の価値評価 .....	40
3.1 太陽光発電の特性 .....	40
3.2 太陽光発電の価値 .....	42
4. 太陽光発電の将来像（目指すべき姿） .....	48
4.1 従来型利用から新たな利用形態への展開 .....	48
4.2 2050年に導入量が増加する市場の検討 .....	50
4.3 再生可能エネルギーと未来社会像 .....	52
4.4 加速する社会変化に求められる太陽光発電 .....	55
5. 太陽光発電の将来像の実現に向けた課題 .....	56
5.1 太陽光発電の更なる導入に向けた課題 .....	56
5.2 【課題1】高付加価値事業の創出 .....	58
5.3 【課題2】立地制約と系統制約の顕在化 .....	61
5.4 【課題3】安全性の向上 .....	65
5.5 【課題4】循環型社会の構築（信頼性とリサイクルシステム） .....	67
5.6 【課題5】発電コストの低減 .....	69
6. 太陽光発電開発戦略（技術開発ロードマップ） .....	71
6.1 太陽光発電産業（周辺産業も含め）の高付加価値化 .....	71
6.2 立地制約と系統制約への対応 .....	76
6.3 安全性の向上 .....	79
6.4 循環型社会の構築（信頼性の向上とリサイクルシステムの構築） .....	81
6.5 発電コスト低減に必要な取組 .....	84
7. 今後の技術開発の方向性 .....	92
7.1 太陽光発電主力電源化推進技術開発 .....	92



# I . 概要

NEDOは、2014年にPV Challengesを策定し、この戦略（発電コストの低減、信頼性向上、立地制約の解消、リサイクルシステムの確立、産業の高付加価値）に基づいた技術開発を行った。2018年の「エネルギー基本計画」において、再生可能エネルギーの主力電源化が言及され、我が国は太陽光発電の大量導入社会の実現に着実に近づきつつあるが、大量導入社会を構築するためには様々な課題が顕在化してきている。

NEDOは、こうした太陽光発電を取り巻く状況の変化を踏まえ、太陽光発電の発展に必要な課題を整理し、それらを解決するための技術開発について検討を進め、新たに「太陽光発電開発戦略2020」としてまとめた。

本戦略の策定にあたっては、以下の点に留意した。

- (1) 現状の課題解決と2050年の社会を見据えた新たな課題設定を行う。
- (2) 太陽光発電の価値を再評価し、「発電コストの低減」に加えて、太陽光発電の大量導入社会に必要な課題を包括的に検討する。
- (3) 我が国の太陽光発電産業の強みを踏まえた新産業・市場創出の視点を盛り込む。

これらを踏まえ、今後の太陽光発電の発展に必要な課題として、5つの課題、すなわち「産業競争力強化に必要な1つの課題（太陽光発電産業の高付加価値化）」と「大量導入社会実現を支える4つの課題（立地制約と系統制約の顕在化、安全性向上、循環型社会の構築、発電コストの低減）」を提示するとともに、それぞれの課題に対する対処方針を示した。

### 【新たな価値創造】

導入形態の多様化や新たな利用方法（建物の壁面、重量制約のある屋根、移動体（車載）等）の開発によって、太陽光発電の導入領域を拡大するとともに、新分野、新規用途、新システム等の高付加価値産業を創出する。また、太陽光発電が持つ変動電源という特性を踏まえ、能動的に系統への影響緩和に取り組む。

### 【安全性の確保と循環型社会の構築】

風水害による太陽光発電設備の破損や設置不良による太陽光発電設備の火災が発生しており、太陽光発電設備の安全性の確保が必要である。NEDOでは水上、農地の安全性については喫緊の課題と捉えており、安全ガイドラインを早急に策定する。その後、状況に応じて水上、農地の技術開発を進めて行く。

太陽光発電の循環型社会システムを構築するためには、長期間稼働させる信頼性評価技術、信頼性回復技術の開発を行うとともに、劣化の少ない太陽電池モジュールについてはリユースで活用、使用済みの太陽電池モジュールについてはリサイクルで資源を回収し活用すべきである。

### 【新市場における発電コスト低減】

新市場では、異なる市場特性に応じた太陽電池モジュール・システムを開発することが重要であり、建物の壁面利用の場合は系統からの電力購入コストを下回ること、車載の場合は燃料コストを下回ることによって導入メリットが得られるなど市場によって水準が異なる。従って、市場毎に指標を設定し、各市場の特性に応じた技術開発を進めるべきである。



### 【技術開発を推進すべき市場】

2050年までの技術進展により導入量増加が期待される市場は、建物の壁面、重量制約のある屋根、移動体（車載）、戸建住宅（ZEH、LCCM等）、水上、農地の6市場であり、特に技術開発を推進すべき市場と考えられる。このように2050年に太陽光発電を大量導入するためには、これまで太陽光発電があまり導入されていなかった新市場に太陽光発電を適合させるような技術開発が必須である。



## Ⅱ. 本論

## 1. 太陽光発電戦略の目的

NEDOは、2004年に太陽光発電の更なる普及と太陽光発電産業の持続的成長を実現するための技術開発指針として、太陽光発電ロードマップ（PV2030、PV2030+）を策定し、これに基づいた技術開発を行ってきた。2012年からのFIT制度によって太陽光発電の導入は加速し、我が国における太陽光発電の大量導入社会の実現も視野に入りつつあった2014年には、将来の大量導入社会を支えるために必要となる課題解決策を検討したPV Challengesを策定し、この戦略（発電コストの低減、信頼性向上、立地制約の解消、リサイクルシステムの確立、産業の高付加価値）に基づいた技術開発を行った。2018年の「エネルギー基本計画」において、再生可能エネルギーの主力電源化が言及された。これにより、我が国は太陽光発電の大量導入社会の実現に着実に近づきつつあるが、大量導入社会を構築するためには様々な課題が顕在化してきている。

本報告書では、こうした太陽光発電を取り巻く状況の急速な変化を踏まえ、大量導入社会を着実に実現し、それを支えていくために必要となる課題を新たに抽出するとともに、主として技術開発の方向性を示すことを目的に、新たに「太陽光発電開発戦略2020」を策定した。

なお、本戦略の策定にあたっては、以下の点に留意した。

- (1) 現状の課題解決と2050年の社会を見据えた新たな課題設定を行う。
- (2) 太陽光発電の価値を再評価し、「発電コスト低減」に加えて、太陽光発電の大量導入社会に必要な課題を包括的に検討する。
- (3) 我が国の太陽光発電産業の強みを踏まえた新産業・市場創出の視点を盛り込む。

これらを踏まえ、今後の太陽光発電の発展に必要な5つの課題を提示するとともに、それぞれの課題に対する技術開発の方向性を示した。

【課題1】高付加価値化事業の創出

【課題2】立地制約と系統制約の顕在化

【課題3】安全性の向上

【課題4】循環型社会の構築（信頼性、リサイクル）

【課題5】発電コストの低減

## 2. 太陽光発電の状況

### 本章のポイント

- (1) 世界の導入量は順調に増加している。中国、米国、日本、ドイツが牽引して市場全体が拡大し、一国の市場の動静が全体に及ぼす影響は小さくなりつつある。
- (2) 日本国内においては FIT 制度により導入量は急拡大し、累積導入量は FIT 制度開始前の約 9 倍に達した。国内市場における日本企業のシェアは、住宅用は維持しつつも発電事業用では低下傾向にある。
- (3) 太陽電池モジュールの製造・販売は、中国企業が大きなシェアを占め、大量生産、大量販売により低価格化を牽引した。
- (4) 太陽電池モジュールの大量導入、FIT 制度が終了する（卒 FIT）太陽光発電設備の出現、企業による RE100、SDGs への取組等の FIT 開始時代にはなかった太陽光発電を取り巻く新たな環境の変化から、①O&M の重要性増加、②系統影響への対応、③自家消費を中心としたビジネス、④再生可能エネルギーの取引といった新たな産業への変化が現れている。

本章では、太陽光発電の導入状況、太陽光発電産業の動向、太陽光発電の価格低下の要因分析等をまとめるとともに、太陽光発電を取り巻く環境の変化とそれを踏まえた産業構造の変化について分析した。また、発電コストと技術開発動向についてとりまとめた。

### 2.1 太陽光発電の導入状況（世界）

世界の太陽光発電の導入量は急激に増加している。図 2-1 に世界の太陽光発電の累積導入量および年間導入量の推移を示す。2018 年における世界の累積導入量は 500GW（DC ベース）を超えた。これまでの世界市場の拡大を牽引してきたのは中国、米国、日本、ドイツである。2GW 以上の導入を実現した国をみると、2014 年時点では 13 カ国であったが、2018 年には、これにカナダ、メキシコ、チリ、オランダ、スイス、台湾、タイ、トルコが加わり、21 カ国となっており（※）、これより、一国の市場が全体の市場規模に及ぼす影響は相対的に小さくなっている。

※出典：資源総合システム 太陽光発電マーケット 2019

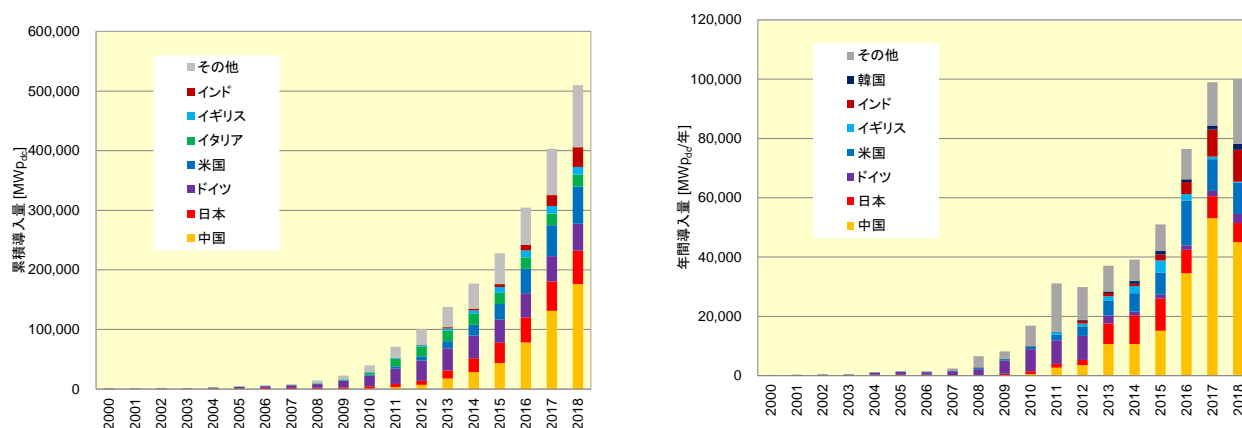


図 2-1 世界の太陽光発電の累積導入量（左）と年間導入量推移（右）

出典：IEA PVPS: Trends in Photovoltaic Applications 2018、Snapshot of Global Photovoltaic Markets 2019

また、世界の導入量を牽引している中国、米国、日本、ドイツについて、系統連系における導入構成を示したものが、図 2-2 である。これまでの累積では、中国、米国はいわゆる集中型発電所の割合が多く、一方、日本、ドイツは分散型発電所の割合が多い。分散型は電力需要に近接している例も多く、需給一体型の電力供給源としての太陽光発電の活用や発展が期待される。

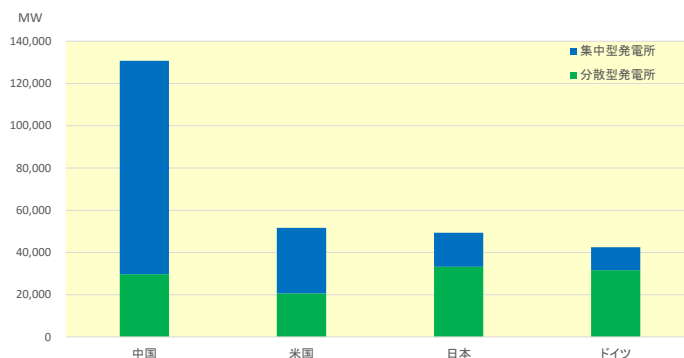


図 2-2 各国の系統連系における導入構成（2017 年累積導入量内訳）

出典：IEA PVPS Trends 2019 in photovoltaic applications

## 2.2 太陽光発電の導入状況（国内）

2018 年度までの国内導入量を図 2-3 に示す。2012 年 6 月末の導入量は、5.6GW であったが、FIT 制度によって急速に導入量が増え、2019 年 3 月末では 49.5GW（AC ベース）の設備が導入し稼働した。太陽光発電は国内の電源構成にも影響を及ぼしており、IEA PVPS（International Energy Agency、Photovoltaic Power Systems Programme）では、2018 年末時点で太陽光発電は、日本国内の電力需要の約 6.8%を賅うと試算されている。

規模別のシステムの内訳を図 2-4 に示す。FIT 取制度開始によって非住宅用システムの導入量の割合が増加し、2012 年 6 月末の 16%から 2019 年 3 月末には 78%となった。

非住宅システムのうち、特に FIT の効果によって増加したのは、1MW 以上のメガソーラーと 10-50kW の小規模システムである。2014 年 4 月末に 17%程度しかなかったメガソーラーは 2019 年 3 月末に 34%を占めるようになり、10-50kW は 19%から 28%に増加した。

小規模システムが多いことに起因する課題については 5 章で示すが、小規模システムの活用は、日本における太陽光発電の普及を考える上で重要な要素の一つである。

一方、住宅用システムは、堅調な導入が進んでいる。FIT 制度の買取期間終了後の買電契約の維持を懸念する声もあったが、住宅用システムが調達期間終了を迎える 2019 年 11 月においては、小売電気事業者による買電継続や蓄電池導入による自家消費促進の動きがある。

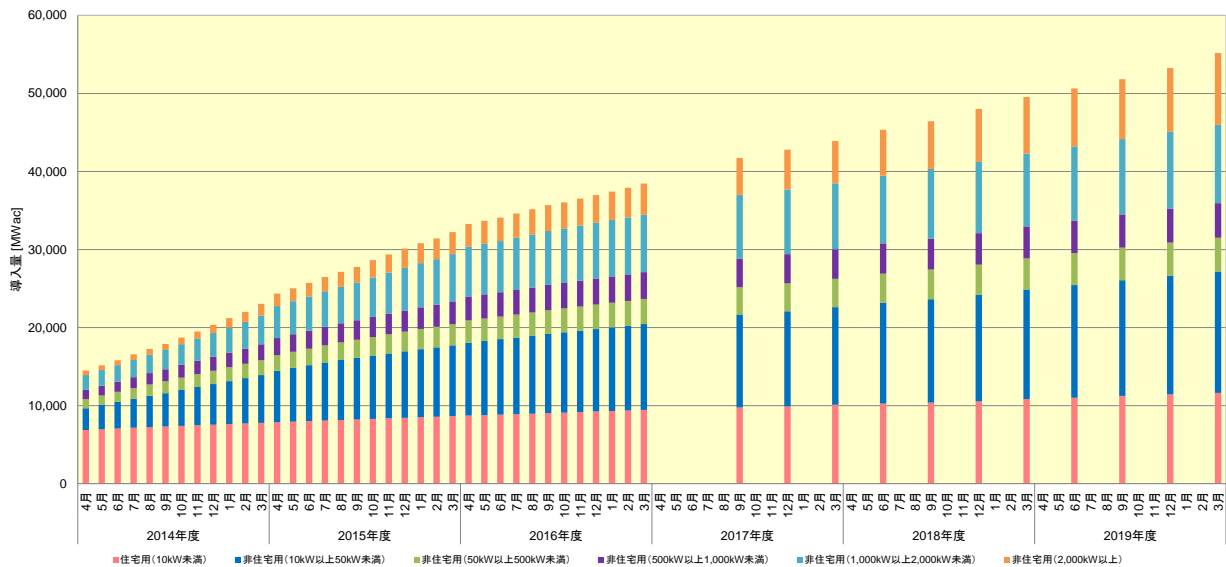


図 2-3 日本における太陽光発電の累積導入量推移（累積、移行認定分も考慮）

出典：固定価格買取制度 情報公表用ウェブサイト各種データをもとに NEDO 作成

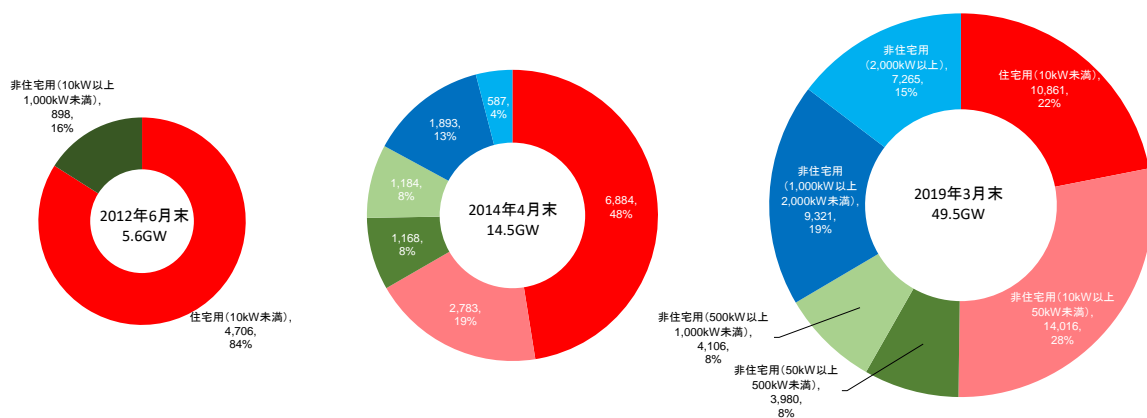


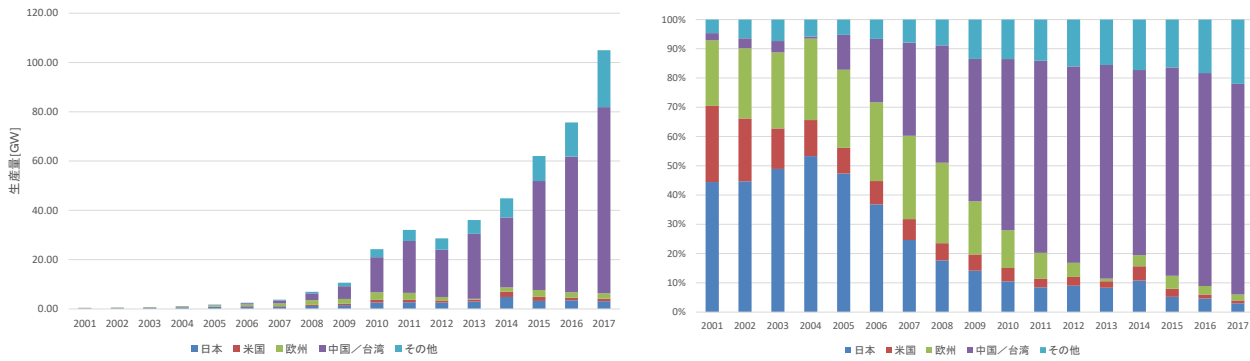
図 2-4 規模別累積導入量内訳推移

出典：資源エネルギー庁：再生可能エネルギー発電設備の導入状況（各報）および公表データをもとに NEDO 作成

## 2.3 太陽光発電の産業動向（生産）

### (1) 太陽電池モジュール生産地の変化

世界における太陽電池モジュールの生産量の地域別割合（2013年までは太陽電池セル）は図 2-5 に示すように推移している。太陽電池モジュールの世界市場は、かつて日本企業が大きなシェアを占めていたが、2012年には日本企業はトップ 10 から姿を消してシェア 9.0%に 2018年はさらに低下し 1.2%となっている。日本企業の出荷量は日本市場へのおよぼ同量であり、世界市場における日本製品の存在感は低下している。



2013年まではセル、2014年からはモジュール

図 2-5 太陽電池モジュール生産量地域別シェアの推移

出典： ㈱資源総合システム 太陽光発電マーケット 2007、2012、2015、2016、2017、2018  
をもとに NEDO 作成

図 2-6 に、中国の主要太陽電池モジュールメーカーにおける生産能力の推移を示す。中国企業は最新技術を活用した太陽電池製造装置メーカーのターンキー装置を用い、大規模に生産するとともに様々なコスト削減を行い、著しく生産能力を拡大した。これらの企業は中国を初めとする太陽電池モジュールの世界市場の急激な成長を睨みつつ、2012年と比較して5~10倍に生産能力を拡大している。特に1GW規模の生産能力をもつギガファクトリーを展開して規模の経済を実現することで、材料調達から物流、製造、出荷までバリューチェーン全体におけるコストを低減し、太陽電池モジュール市場のリーダーシップを取っており、このことがさらに中国企業のシェア拡大に寄与していると思われる。

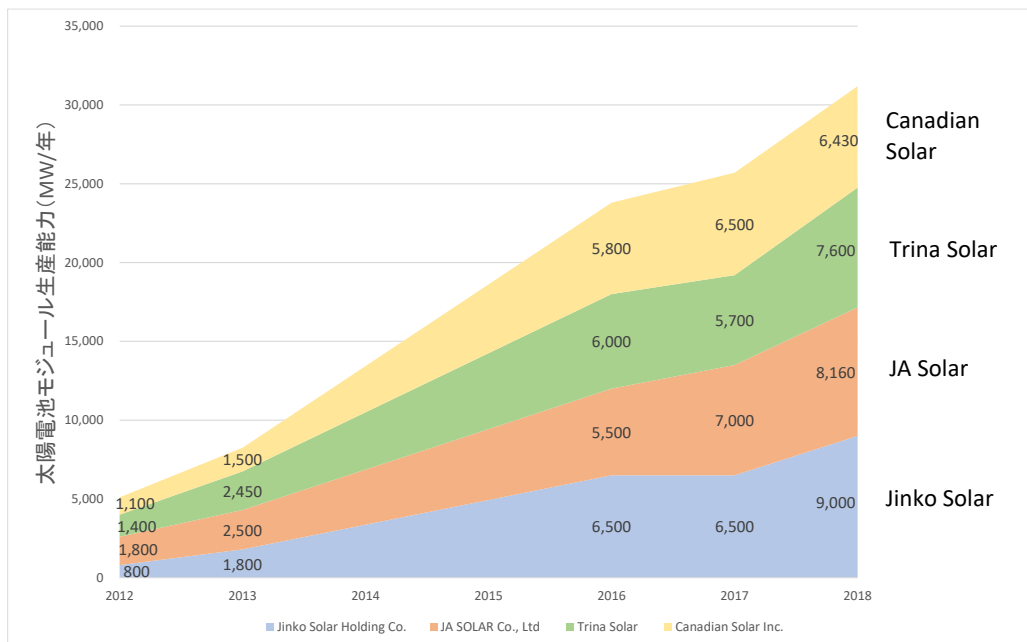


図 2-6 主要太陽電池メーカーのモジュール生産能力推移

出典： IEA PVPS National National Survey Report of PV Power Applications in CHINA  
をもとに NEDO 作成

中国企業が太陽電池モジュールの生産シェアで存在感を高める一方、近年、欧州を中心に、太陽電池モジュールの欧州域内生産への回帰を目指す動きが出ている。

欧州の Fraunhofer ISE は、太陽光発電の電力コストが従来どの種類の発電方式よりも低くなりつつ



あることから、太陽光発電は将来のエネルギー供給の主要な柱になると見通しており、欧州の市場は2030年までに100GWp/年をはるかに超える規模で拡大すると想定している。この大規模な市場に向けて、「ヨーロッパでの持続可能な太陽電池モジュール製造」をキーワードにドイツ機械工業連盟（VDMA）などでは、欧州での太陽電池モジュールの生産を強化する年間10GW Green Fab 構想を2019年9月に公表した（Sustainable PV Manufacturing in Europe\*）。同構想では、欧州における太陽電池モジュール生産量の増大、将来のエネルギー安全保障、産業競争力の確保の観点から製造業を強化する必要があると主張している。また、欧州で競争優位的な製造が実現できる論拠として、生産の自動化による製造人件費の限りない低減、大量購入（10GW）による部材コスト等の低減があるとしている。また、太陽電池モジュールのコスト低減により、全体のコスト配分が物流コストにシフトし、中国から輸入するより欧州域内で生産する方が安く有利になるとしている。

\*<https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/sustainable-pv-manufacturing-in-europe.html>

## （2）国内における海外製品シェアの変化

太陽電池の国内出荷量の推移とその割合の推移を図2-7、図2-8に示す。国内出荷量は、2014年度の出荷量9.4GWをピークに低減し、2017年度には5.5GWとなったが、2018年度は2017年度の出荷量を維持し5.6GWとなった。今後、このまま維持もしくは増加の傾向にあると考えられる。

出荷量の割合をみると、日本市場が拡大するFIT制度開始前（2011年度以前）の出荷量のうち大部分を占めていた輸出向け出荷はほとんどなくなっている。これは、FIT制度を契機とした日本市場拡大に伴って、日本企業が海外市場より国内市場へのお荷を優先したと考えられる。また2012年度以降国内市場が拡大すると同時に、国内生産の割合も徐々に減少し、海外生産・輸入の割合が増加している。これは、日本企業が海外生産へシフトした影響もあるが、2012年度以降の日本の拡大市場を狙う中国企業の低価格モジュールにより、日本企業自体のシェアが低減したことが原因と考えられる。

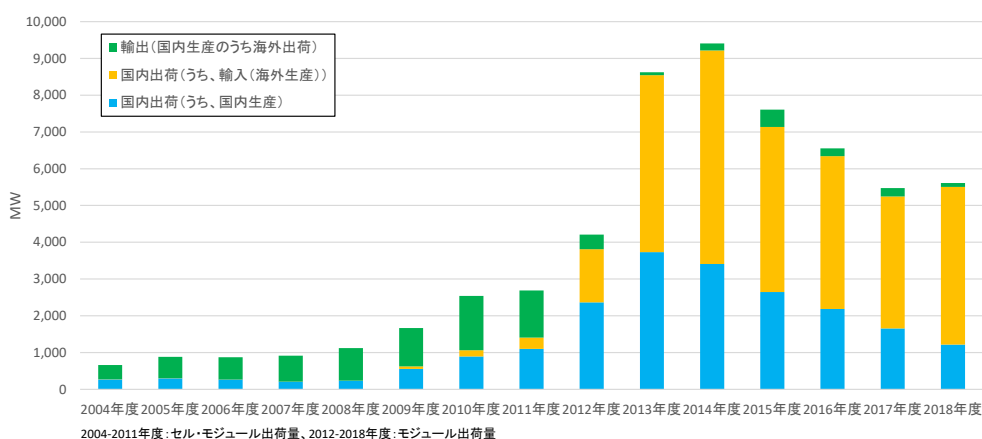


図2-7 日本における太陽電池モジュール出荷量の推移

出典：一社）太陽光発電協会の出荷統計 をもとに NEDO 作成

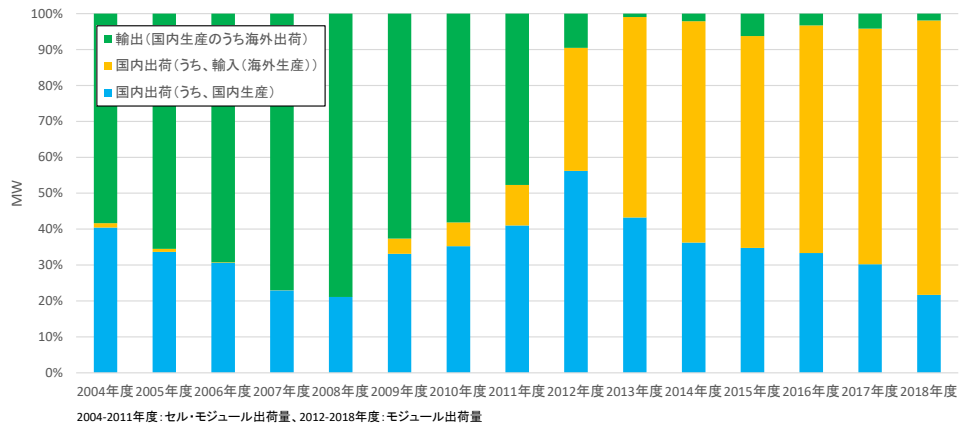


図 2-8 日本における太陽電池モジュール出荷量割合の推移

出典：(一社) 太陽光発電協会の出荷統計 をもとに NEDO 作成

図 2-9 に太陽電池モジュール出荷量に占める日本企業のシェアを示す。特に価格競争が激化している発電事業用では日本企業のシェアが低く 2019 年度で 34%に留まっているが、住宅用のシェアは比較的高く 76%となっている。シェアの推移をみると、発電事業用では市場が安定してきた 2017 年度以降、日本企業のシェアは回復または横ばいとなっているものの、発電事業者のコスト最優先の姿勢によって、価格優位性がある海外企業のシェアが増えたものと見られる。住宅用では、最終消費者である一般消費者が高信頼性や高品質を求めるとともに、様々な顧客に対応する商品ラインアップを揃えることで(多種多様なパネル容量を提供し寄棟屋根に合わせられる等)日本企業の高いシェアが維持されている。我が国では太陽光発電の主力電源化を目指しており、これまでの高効率、低コスト化だけではなく、エネルギーセキュリティー確保の観点からは、日本企業、国内生産の一定のシェアを維持することも必要になる。

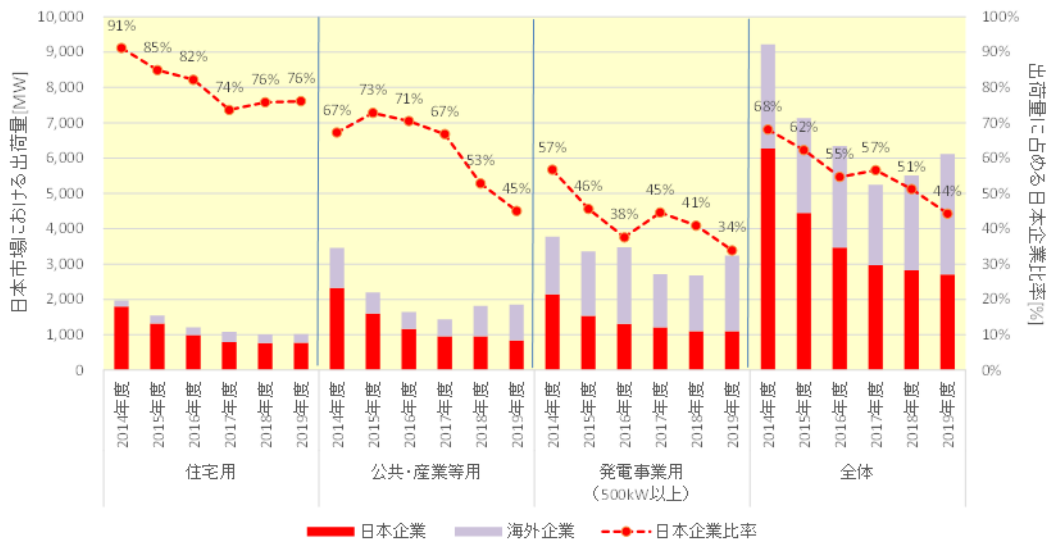


図 2-9 太陽電池モジュール出荷量に占める日本企業のシェア※容量ベース

出典：(一社) 太陽光発電協会：太陽電池出荷統計 (各報)

## 2.4 太陽光発電のシステム価格動向

太陽光発電のシステム価格(※)は全世界的に低下を続けている。主要国における太陽光発電システ

ム価格の推移を図 2-10 に示す。ドイツやイタリアでは先行して FIT 制度を導入し、その結果、2008 年以降急激な低下が見られていたが、日本では 2012 年に開始した FIT 制度以降に低下が見られた。太陽電池モジュールについては、図 2-11 に示すように各国において価格低下傾向が見られ、特に 2008 年前後からの急激な低下が確認できる。

図 2-12 は日本における住宅用太陽光発電システムの価格推移及び内訳である。2012 年度と比較して約 40% のシステム価格低減が実現されている。システム価格の内訳を見ると、システム価格に占める太陽電池モジュール価格の割合は 2012 年度では 62% であったが、2017 年度には 55% となった。一方、設置工事費の占める割合が 16% から 22% と高くなっている。システム価格における太陽電池モジュールの影響は未だ大きい、システム価格が下がる中で、設置工事費の影響が徐々に大きくなっている。

※ここでいう「システム価格」とは、「太陽電池モジュール」、BOS (Balance of System) と呼ばれる「インバータ」「その他周辺機器」、ならびに「設置に係る工事費」で構成される価格である。

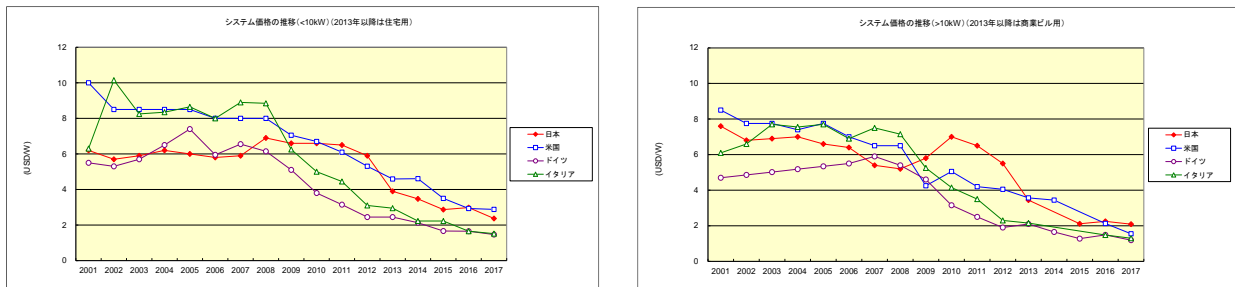


図 2-10 主要国の太陽光発電システム価格 (万円/kW)

出典： IEA PVPS Trends Report をもとにみずほ情報総研 (株) 作成

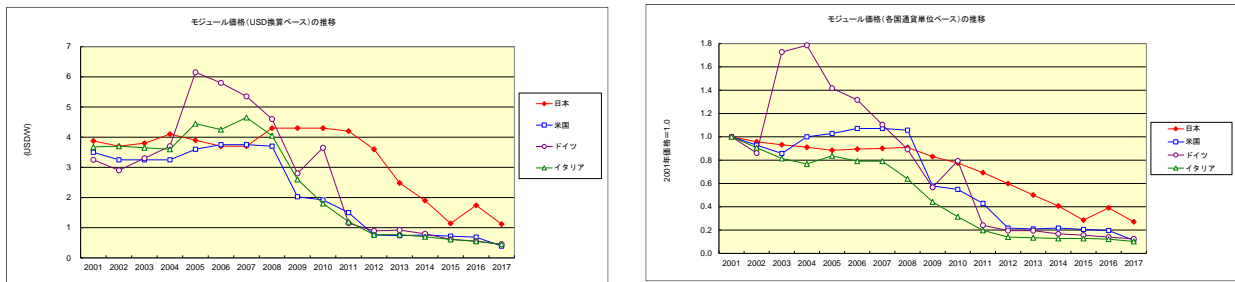


図 2-11 主要国の太陽電池モジュール価格 (万円/kW)

出典： IEA PVPS Trends Report をもとにみずほ情報総研 (株) 作成

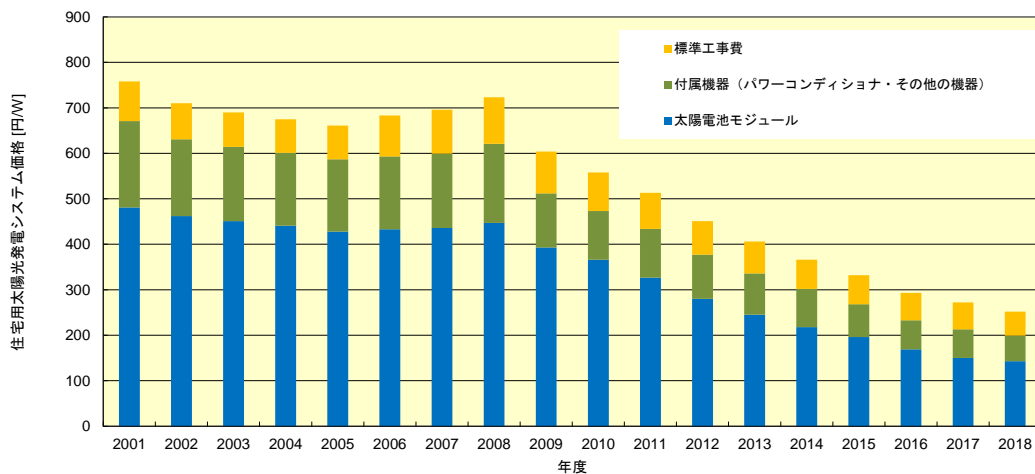


図 2-12 日本の住宅用太陽光発電システム平均価格

出典： ㈱資源総合システム：太陽光発電マーケット 2015 年および 2018 年をもとにみずほ情報総研 (株) が作成。

太陽電池モジュールの価格は、世界の累積導入量に従い急激に低下している。図 2-13 に世界における結晶シリコン太陽電池モジュールの累積出荷量と平均モジュール販売価格を示す。1976 年から 2018 年まで、平均して習熟率（※）23.2%で低減している。2005 年から 2008 年までは、世界的なシリコン不足により太陽電池モジュール価格が高騰したが、シリコン不足が解消された 2008 年以降は、2016 年から 2017 年の市場圧力による太陽電池モジュール価格の低下影響等を含み、さらに大きく低下（結果として習熟率 39.8%）している。2016 年から 2017 年にかけての価格低減は、太陽電池モジュールの世界全体の生産能力が需要を大幅に超えることが見通されたため、市場から製造メーカーへ価格低減の圧力が加かったものと見られている。

※累積導入量が増加した際に実現される価格低減。具体的には累積導入量が 2 倍になった場合、モジュール価格が 1-（習熟率）倍に低減する。

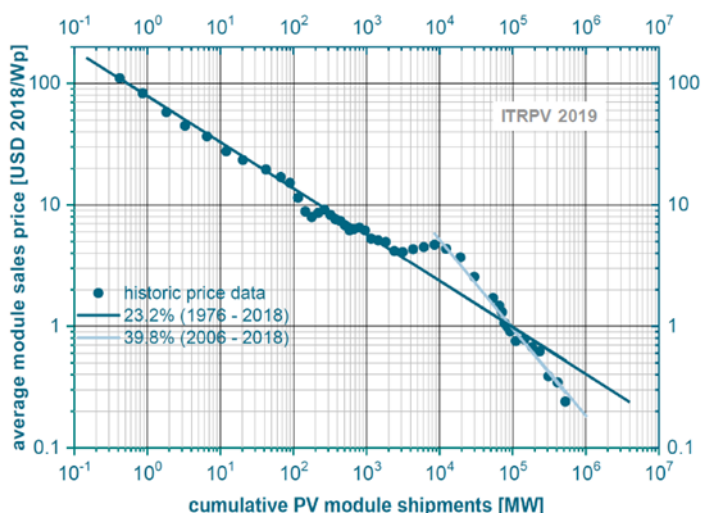


図 2-13 太陽電池モジュール累積出荷量と平均モジュール販売価格

出典：ITRPV(International Technology Roadmap for Photovoltaic) 2018 Results,2019 年 3 月

モジュール価格の低下は、一般的にはこれまでの累積導入量との相関で説明されるが、より短期的にはシリコン等の原材料価格動向や、モジュール市場の生産能力と需要見通しのギャップ等によって大きな影響を受けている。

太陽電池モジュールのワットあたりコストの低減要因は大きく 2 つに分けられる。一つは、モジュール・セル単位（Per piece）のコスト低減であり、もう一つはモジュール・セル効率向上（モジュール・セル単位あたりワットの増加）によるコスト低減である。

モジュール・セル単位のコスト低減は、セル製造ツールの改善をさらに進展させるとともに IoT、AI、ビッグデータを活用したスマートマニュファクチャリングにより効率化させたことが要因である。

セル効率向上については、PERC（Passivated Emitter and Rear Contact）等、プロセスコストを大きく増加させずに、セル効率の向上が実現されており、それによりワットあたりのコストが低減されている。

図 2-14 にこれまでのモジュール価格の低減を、Per piece と効率向上要因の 2 つで整理したものを示す。Per piece のコスト低減による要因のほうが大きく利いているが、効率向上によるコスト低減も無視できない要因となっている。

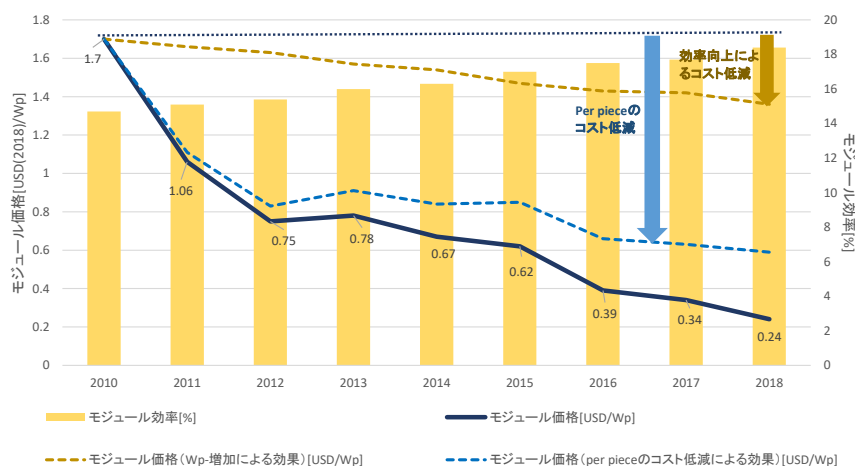


図 2-14 太陽電池モジュール価格の低減と 2 つの要因

出典：ITRPV(International Technology Roadmap for Photovoltaic) 2018 Results,2019 年 3 月より作成

## 2.5 太陽光発電の発電コスト

### (1) 太陽光発電における発電コスト算出方法

発電コストの算出方法等は、用いられる費目やその条件、算出方針等によって様々である。そこで、FIT 制度の調達価格算定や、海外のロードマップなどで発電コスト算定に用いられている情報を表 2-1 に整理した。

本報告書では、発電コストの算出にあたり、原則として我が国の FIT 制度の「調達価格案」を決定している調達価格等算定委員会で提示されている値を諸元として使用した。また、「発電コスト」の算出が目的であるため、当該委員会において想定されている発電事業における利潤検討の条件 (IRR (内部収益率)) は考慮せず、代わりに割引率を設定する等、一部調整を行った。今回の試算で用いた発電コストの算出式を式 2-1 に、用いた諸元を表 2-2 に示す。

これらは、具体的な発電コスト算出方法の一例であり、背景となる各種制度の変更等も想定されるため、この考え方は適宜更新が必要であることに留意しなければならない。

表 2-1 発電コスト算出の入力項目に関する比較

	今回／NEDO PV Challenges (2020)		国内 PV2030+ (2009)	国内 発電コスト検証ワーキンググループ (2015)		国内 調達価格等算定委員会 (202～)		(参考) 海外の ロードマップ	
	非住宅 (10kW以上)	住宅 (10kW未満)		メガソーラー	住宅	非住宅 (10kW以上)	住宅 (10kW未満)	IEA PV Technology roadmap (2010)	A Strategic Research Agenda for Photovoltaic Solar Energy Technology (2011)
前提	運転年数	●	●	●	●	●	●	●	●
	割引率 (*2)	●	●	● (初期費用以外)				●	●
	IRR					●			
	法定耐用年数	●		●		●			
	固定資産税	●		●		●			
	法人事業税					●			
	システム価格	●	●	●	●	●	●	●	●
年間経費 (*1)	系統接続費	●				●			
	土地造成費	●				●			
発電能力	年間発電量 (算出根拠)	● (設備利用率)	● (設備利用率)	● (設備利用率)	● (設備利用率)	● (設備利用率)	● (システム出力係数&日射量)	● (システム出力係数&日射量)	● (システム価格の1%/年)
	出力劣化率								
廃棄	廃棄処理費用	●		●		●			
備考			考え方の提示のみ。算出はしていない。	上記のほか、政策経費も考慮。	コストではなく買取価格を算定しているため IRR を考慮。				

※1：NEDO PV Challenges では年間経費（「運転維持費」）として「土地賃借料を除く運転維持費（「修繕費、諸費」「一般管理費」「人件費」に相当）」および「土地賃借料」を想定している。調達価格算定委員会では、「運転維持費」として、平成 24 年度は「修繕費、諸費」（建設費に対する比率）、「一般管理費」（修繕費、諸費に対する比率）、「人件費」（年間定額）および「土地賃借料」（面積あたり年間費用）が示されていたが、平成 25 年度より全てを含んだ kW あたり年間費用として「運転維持費」を提示している。また、平成 26 年度までは「土地賃借料」が明示されていたが、平成 27 年度以降は明示されていない。発電コスト検証ワーキンググループにおいても「修繕費、諸費」と「人件費」を含んだ費用として「運転維持費」が示されている。

※2：発電コスト検証ワーキンググループでは、初期投資費用は初年度費用として一括計上する考え方を採用し、初期投資費用に関しては割引率を使用していない。

出典： NEDO 作成

## 式 2-1 発電コスト算定式

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

<各費目の算出例>(定率償却の場合)

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

$$\begin{aligned} \text{建設費(償却費)}[\text{円}] &= \sum_{k=1}^{n-1} (((P+Lc+G)*C)*(1-\text{償却率})^{k-1} * \text{償却率}) / (1+r)^k && \dots \text{「n」は改定償却率が適用される年数} \\ &+ \sum_{k=n}^N (((P+Lc+G)*C) - \sum_{f=1}^{n-1} (((P+Lc+G)*C)*(1-\text{償却率})^{f-1} * \text{償却率})) * \text{改定償却率} / (1+r)^k && \dots \text{「n'」は残存償価が1円になる年数} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{運転維持費}[\text{円}] &= \sum_{k=1}^N (((P + Lc+G)*C)*(1-\text{減価率})^{k-1} * 0.014 / (1+r)^k) && \dots \text{固定資産税 (N年内に資産評価額が取得価格の5%となる場合、式の修正が必要。)} \\ &+ \sum_{k=1}^N (M / (1+r)^k) && \dots \text{運転維持費} \end{aligned}$$

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

出典： NEDO 作成

**表 2-2 入力パラメータと諸元**

項目	記号	例：住宅用 (10kW 未満)	例：非住宅用 (10kW 以上)	参照元
運転年数	N [年]	20 [年]	20 [年]	非住宅は「調達価格等算定委員会」の「平成 24 年度調達価格及び調達期間に関する意見」より。住宅用も非住宅と同等という前提を設定。
割引率	r [%]	3 [%]	3 [%]	「コスト等検証委員会」における報告書（2011 年 12 月 19 日）より。
IRR	-	-	-	-
法定耐用年数	17 [年]	17 [年]	17 [年]	法定耐用年数
償却率と改定償却率	償却率／改定償却率	0.118/0/125	0.118/0/125	減価償却資産の耐用年数等に関する省令別表第十
固定資産税	1.4 [%/年]	-	1.4 [%/年]	「コスト等検証委員会」における報告書（2011 年 12 月 19 日）より。
法人事業税	-	-	-	-
システム容量	C [kW]	4 [kW]	2,000 [kW]	「第 3 回調達価格等算定委員会」（2012 年 3 月 19 日）における JPEA ヒアリング結果より
初期費用（建設費）	システム価格 P [円/kW]	298,000 [円/kW]	222,000 [円/kW]	「第 49 回調達価格算定委員会」（2019 年 11 月 5 日）資料 1 より、住宅：新築設置の中央値、非住宅：1,000kW 以上の平均値
	系統接続費 G [円/kW]	-	13,500 [円/kW]	「第 49 回調達価格算定委員会」（2019 年 11 月 5 日）資料 1 より、買取価格の想定値
	土地造成費 Lc [円/kW]	-	4,000 [円/kW]	「第 49 回調達価格算定委員会」（2019 年 11 月 5 日）資料 1 より、買取価格の想定値
年間経費	運転維持費 M [円/kW/年]	3,000 [円/kW/年]	5,000 [円/kW/年]	「第 49 回調達価格算定委員会」（2019 年 11 月 5 日）資料 1 より、買取価格の想定値（非住宅は土地賃借料含む）
発電能力	設備利用率 u [%]	13.9 [%]	15.9 [%]	「第 49 回調達価格算定委員会」（2019 年 11 月 5 日）資料 1 より、買取価格の想定値、住宅：新築設置の平均値、非住宅：1,000kW 以上平均値
	出力劣化率 d [%/年]	-	-	-
廃棄	廃棄処理費用 建設費の f [%]	-	建設費の 5 [%]	非住宅は「調達価格等算定委員会」の「平成 24 年度調達価格及び調達期間に関する意見」より。

(備考) 太陽電池モジュールの変換効率は、「システム価格」と「土地造成費」、「運転維持費」に含まれる土地賃借料に影響する。たとえば、変換効率が向上した場合、架台物量や工事人工等の低減、造成面積・土地賃借面積の縮小によって、費用の低減が期待される。

出典： NEDO 作成

## (2) 我が国における発電コストの現状

前項の方法により、2019年の我が国における太陽光発電の発電コストを試算したところ、以下の結果となった。なお、表 2-1 に示すとおり、法人事業税、出力劣化率等、考慮していない変数もあるため、あくまで参考値である。

<p>&lt;2019年における発電コスト（参考値）&gt;</p> <p>2019年度調達価格等算定委員会の諸元を参考に NEDO 試算。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>住宅用システム : 15.9 円/kWh (システム価格 29.8 万円/kW (新築住宅) として算出)</li> <li>非住宅用システム : 14.2 円/kWh (システム価格 22.2 万円/kW (1MW 以上システム) として算出)</li> </ul>	
--	--

システム価格に差があるにもかかわらず発電コストが同等となったのは、非住宅用システムの発電コスト試算においては、住宅用システムの発電コスト試算時よりも、システム価格以外にも考慮する項目（費用）が多いためであり、初期費用としては土地造成費や系統連系費等、運転時の費用としては維持費や土地賃借料がコスト増加の要因となっている。

また、参照したシステム価格について、住宅用は、新築住宅の中央値であり、非住宅は、1,000kW 以上の平均値とした。図 2-15 に示すように、2019年の新築住宅の平均値は 30.6 万円と中央値よりも高いことに留意が必要である。

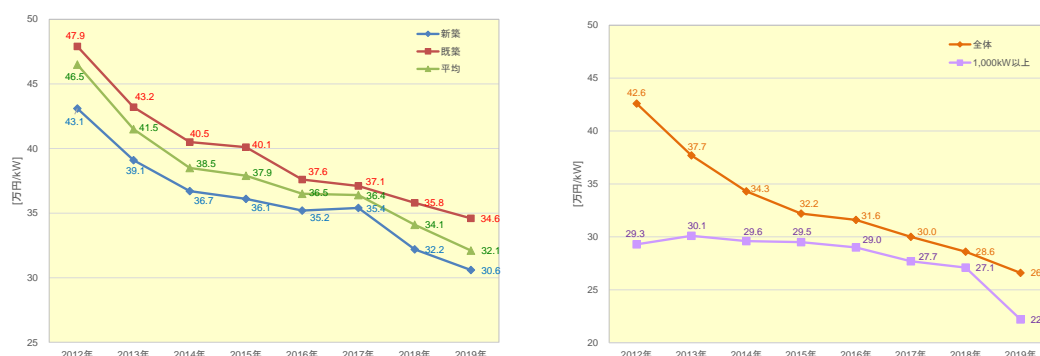


図 2-15 住宅用（左）、非住宅用（右）太陽光発電システム価格の動向

出典：2012～2017年：調達価格等算定委員会「平成30年度以降の調達価格等に関する意見」（平成30年2月7日）  
 2018年：第40回調達価格等算定委員会（平成30年11月8日）資料1より、  
 2019年：第49回調達価格等算定委員会（2019年11月5日）資料1より みずほ情報総研（株）作成

## (3) 発電コストの国際比較

IRENA（国際再生可能エネルギー機関）が試算した世界における事業用太陽光発電（1MW 以上）と国内における非住宅用太陽光発電（10kW 以上）のシステム価格、設備利用率、運転年数の推移を表 2-3 に示し、発電コストの推移を図 2-16 に示す。この国際比較にあたっては諸条件を揃えるために、式 2-1 のコスト計算式にて世界の発電コストを算出した。2018年度の発電コストを比較すると、日本の非住宅用太陽光発電は 16.0 円/kWh で、世界の事業用太陽光発電は 8.3 円/kWh であり、発電コストは大きく差がついている。

この要因はシステム価格、運転年数、設備利用率である。システム価格は日本が 25.7 万円/kWh で世界の 13.3 万円/kWh と比較して 1.9 倍高い。運転年数は日本では 20 年を想定して計算しているが、世界では 25 年を想定している。設備利用率は、これは地域における日射量や過積載の状況に依存する



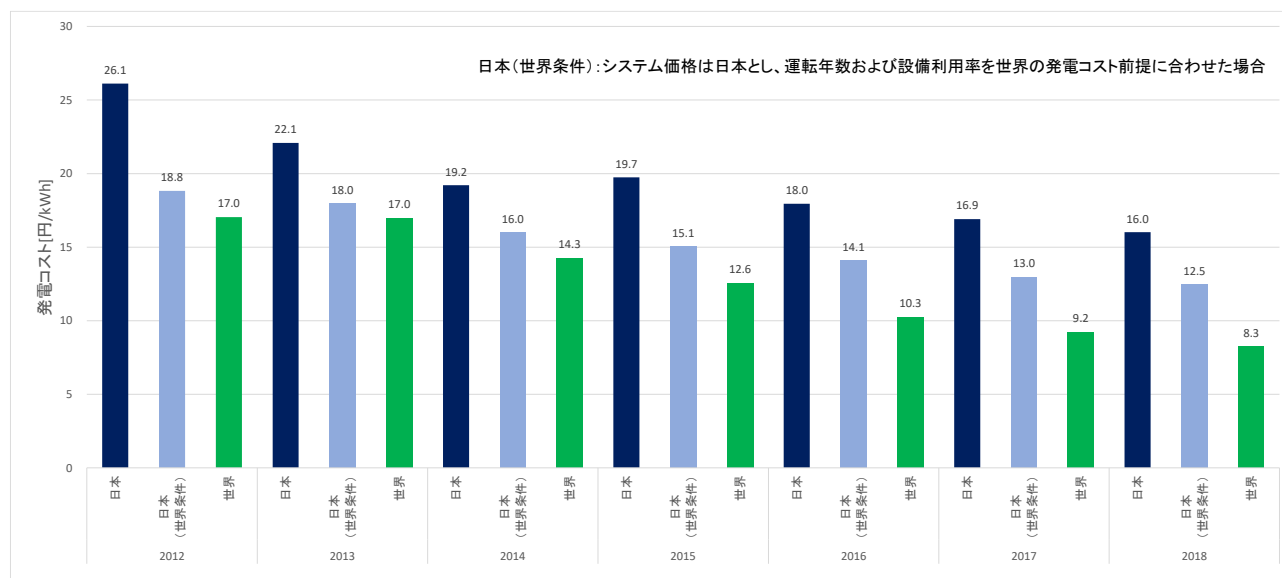
が、世界では 18.0%であり、日本の 15.9%よりも大きくなっている。

日本のシステム価格で運転年数と設備利用率を世界に合わせた場合、発電コストは 12.5 円/kWh となり、世界における事業用太陽光発電の発電コスト 8.3 円/kWh との差は小さくなる。

**表 2-3 世界の事業用太陽光発電と国内の非住宅用太陽光発電の発電コスト前提比較 (2012-2018)**

		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
日本 (10kW 以上)	システム価格 (万円/kW)	28.0	27.5	29.0	29.0	28.2	27.2	25.7
	運転年数 (年)	20 年						
	設備利用率 (%)	12%	13.6%	15%	14.6%	15.1%	15.6%	15.9%
世界 (1MW 以上)	システム価格 (万円/kW)	23.6	25.1	24.5	22.1	17.5	16.2	13.3
	運転年数 (年)	25 年						
	設備利用率 (%)	15%	15%	16%	17%	17%	18%	18%

出典：IRENA, Renewable Power Generation Costs in 2018 より作成  
為替レートは IEA PVPS の各年前提を使用 (2018 は 110 円/ドル)



**図 2-16 世界の事業用太陽光発電と国内の非住宅用太陽光発電の発電コストの比較 (2012-2018)**

世界の発電コストは、日本の発電コストの計算式を使用し計算、また前表の前提以外 (運転維持費、土地造成費、割引率等) は、日本と同じと想定し計算。このため、IRENA で開示している発電コストとは異なる出典：。IRENA, Renewable Power Generation Costs in 2018 より作成為替レートは IEA PVPS の各年前提を使用 (2018 は 110 円/ドル)

#### (4) システム価格の国際比較

##### ① 各国におけるシステム価格の推移

各国の事業用太陽光発電の加重平均システム価格の推移を図 2-17 に示す。日本を含め各国において 2010 年から 2018 年のシステム価格は 70~80%と非常に大きく低減している。足元の 2018 年で比較すると、中国、インドのシステム価格は非常に低く、イタリア、フランス、ドイツはその次に低く、イギリス、米国、日本はその次に低い状況である。また、日本は諸外国と比較してコストが下げ止まっている状況である。

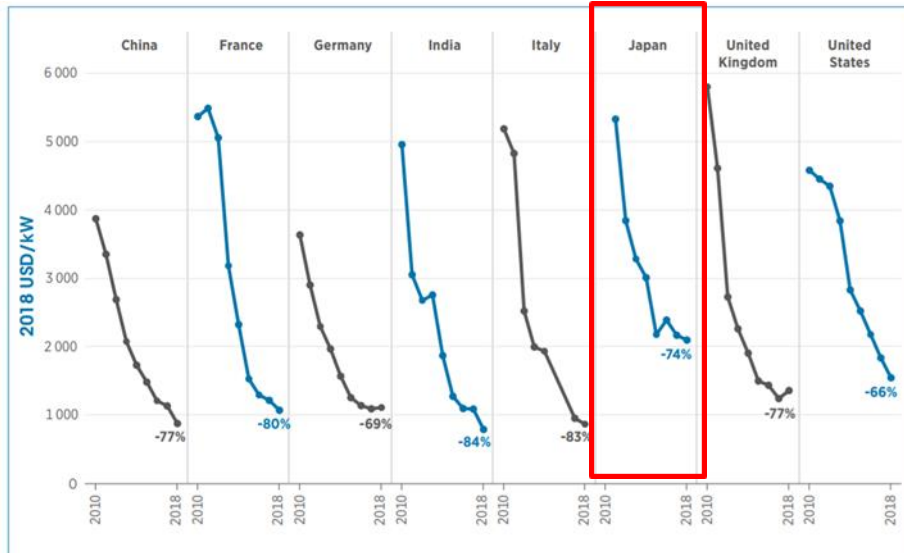


図 2-17 各国の事業用太陽光発電の加重平均システム価格（2010-2018）

出典： IRENA, Renewable Power Generation Costs in 2018

## ② システム価格の日米欧比較

システム価格を日本と欧州（住宅はドイツ）、米国と比較した結果を図 2-18、図 2-19 に示す。日本のシステム価格は AC ベース、欧州（住宅はドイツ）、米国は DC ベースであり、非住宅については、日本は 1MW 以上、欧州は入札案件を中心とした 10MW 以上が対象であることに留意が必要である。非住宅用は、日本の上位 25%（DC ベース）は、欧州の約 1.7 倍、米国の約 1.4 倍となっている。

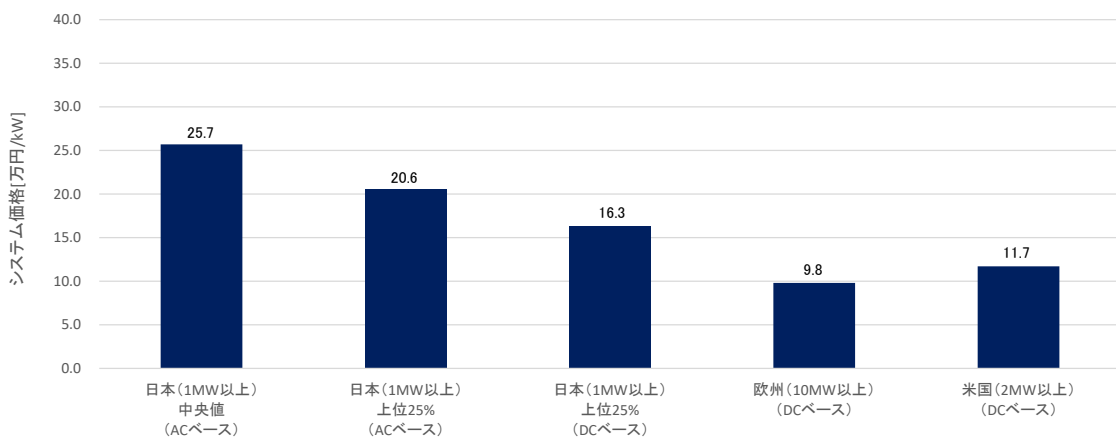


図 2-18 非住宅用太陽光発電の価格比較（2018）

出典：日本中央値（AC ベース）：2018 年度調達価格等算定委員会（平成 31 年度以降の調達価格等に関する意見）により報告された 2018 年 1,000kW 以上の中央値。日本上位 25%（AC ベース）：2018 年度調達価格等算定委員会を示された 2018 年 1,000kW 以上の上位 25%水準。日本上位 25%（DC ベース）：上位 25%（AC ベース）に対して、過積載率 2018 年 1,000kW 以上 126%として換算（同調達価格等算定委員会報告値（第 40 回調達価格等算定委員会 資料 3））。欧州：JRC: PV Status Report 2018 Utility-scale PV system(>10MW)、1EUR=130.4 円（2018 年平均値）として換算。米国：NREL:U.S. Solar Photovoltaic System Cost Benchmark: Q1 2018 Utility-Scale PV Fixed Tilt、1USD=110.4 円（2018 年平均値）として換算。

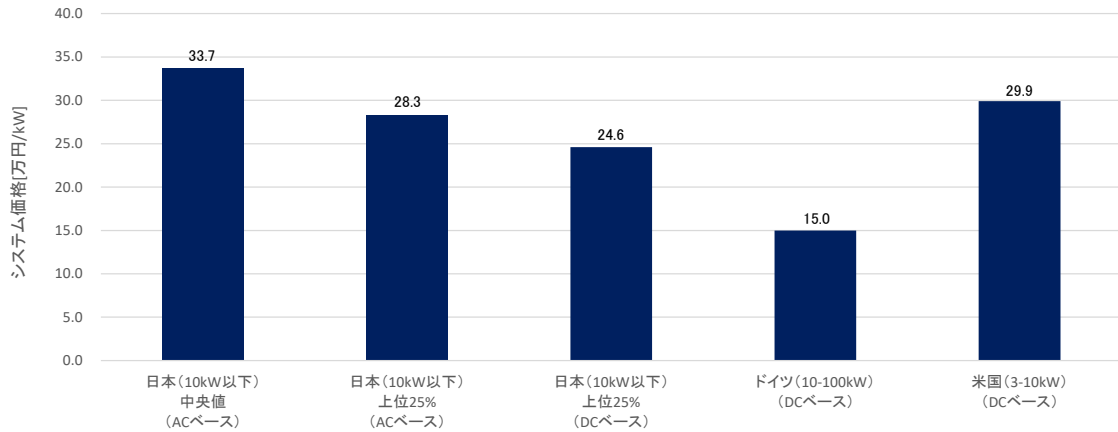


図 2-19 住宅用太陽光発電の価格比較 (2018)

出典：日本 中央値 (AC ベース)：2018 年度調達価格等算定委員会 (平成 31 年度以降の調達価格等に関する意見) により報告された 2018 年新築および既築住宅の中央値。日本 上位 25% (AC ベース)：2018 年度調達価格等算定委員会で作示された 2018 年新築および既築住宅の上位 25%水準。日本上位 25% (DC ベース)：上位 25% (AC ベース) に対して、過積載率 2018 年 115%として換算(NREL 住宅と同じ過積載率と想定)。ドイツ：Fraunhofer ISE: Recent Facts about Photovoltaics in Germany 2017Q4 データ、1EUR=130.4 円 (2018 年平均値) として換算。米国：NREL:U.S. Solar Photovoltaic System Cost Benchmark: Q1 2018 Residential PV、1USD=110.4 円 (2018 年平均値) として換算。

日本において非住宅におけるシステム価格が欧州より高くなっている要因として、入札制度の導入が考えられる。ドイツでは中・大規模光発電に対して、2015 年から入札を実施しており (2015~2016 年は試験入札、2017 年から通常入札)、平均落札価格は 2015 年 4 月 9.17€/kWh (11.8 円/kWh :129 円/€) から 2018 年 6 月には 4.59€/kWh (5.8 円/kWh :119 円/€) と低減した。また、競争倍率も 2~4 倍と高い水準を維持しており、この競争環境が非住宅においてハードウェアを含めたシステム価格低減に寄与している (図 2-20)。

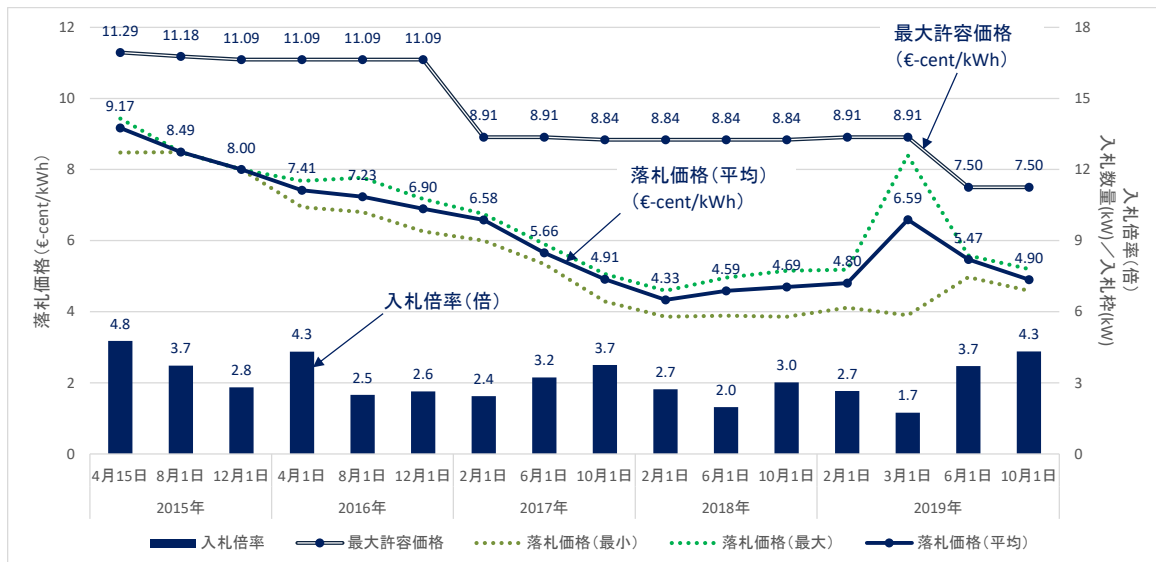


図 2-20 ドイツにおける入札許容価格と落札価格推移

出典：Bundesnetzagentur (ドイツ連邦ネットワーク庁)、太陽光発電所入札の結果より作成

また、非住宅において日本のシステム価格が欧州より高くなっている要因として、設置工事費が高いことが挙げられる。IRENA における報告 (IRENA、Global Renewable Energy Trends Progress, costs and decarbonisation) によると、日本は主にアーススクリー工法であるが、ドイツでは主にパイルド

ライバー工法を使用しており、設置工事期間も日本の方が長いこと、また欧州では1つの会社が架台からモジュール設置まで一貫して行っていることを理由としている。

住宅用は日本の上位25% (DCベース) はドイツの1.6倍、米国の0.8倍となっている。米国の住宅ではその他コスト (間接費、純利益等) が高く、日本の上位25% (DCベース) より高価格となっているとみられる。

## 2.6 太陽光発電を巡る環境、産業の変化

### 2.6.1 FIT 開始後の状況の変化

国内の太陽光発電を取り巻く状況は、FIT前と比較して大きな変化があった。様々な変化があるが、特に重要な状況の変化について以下に挙げる。

#### 1. 大量導入

「2.2 太陽光発電の導入状況 (国内)」で示したとおり、国内の太陽光発電は2012年のFIT制度開始以降、急激に増加している。図2-21に電力需要に占める太陽光発電の割合を示す。2018年末時点で、日本国内では太陽光発電が電力需要の約6.8%を賅っており、世界でも非常に高い割合となっている。

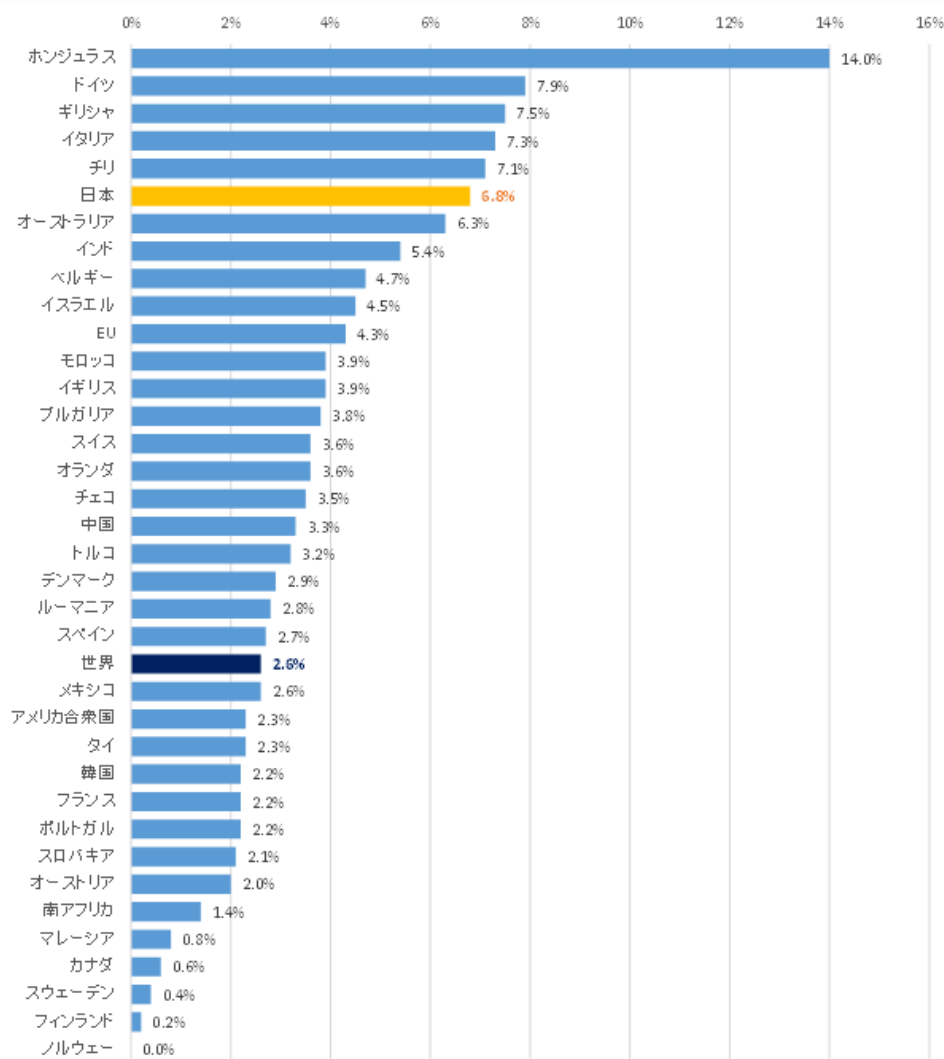


図 2-21 世界における電力需要に占める太陽光発電の割合 (2018 年末)

出典: IEA PVPS Snapshot of Global PV Markets 2019

## 2. 卒 FIT（FIT 制度における電力買取期間の終了）の開始

住宅用太陽光発電については、FIT 制度により電力買取期間が終了する設備が 2019 年 11 月から出てきており、2023 年には累積で 165 万件（1 件 4kW とすると 6.6GW 相当）となる（図 2-22）。電力買取期間中の余剰電力は FIT 制度の価格で買い取られていたが、電力買取期間終了後の余剰電力は蓄電池を設備して自家消費として使用するか、安くても小売電気事業者に販売するかを選択しなければならない。



図 2-22 FIT 制度が終了する住宅用太陽光発電の推移

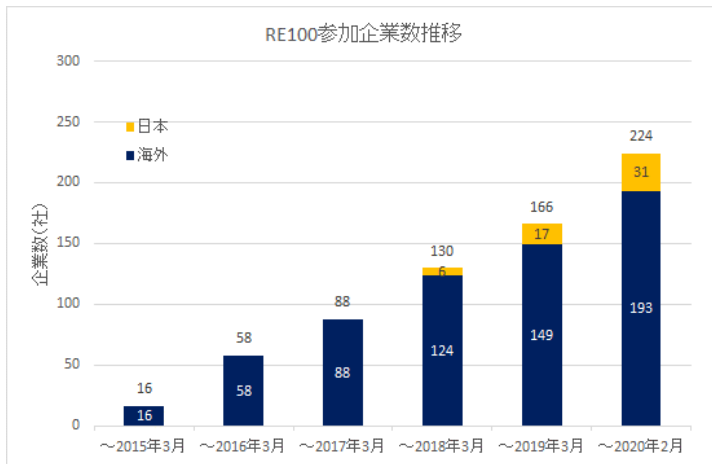
出典: 資源エネルギー庁、住宅用太陽光発電設備の FIT 買取期間終了に向けた対応（2018 年 9 月 12 日）

## 3. 企業における RE100、SDGs の取組

### (1) RE100（Renewable Energy 100%）

近年、気候変動のリスクが高まる中、パリ協定の国際的な合意として低炭素化への取組が必須となっている。この中で、投資家から企業への評価の中に「ESG」（環境（Environment）、社会（Social）、ガバナンス（Governance））の観点を取り込まれ、再生可能エネルギーの調達を含む企業の対応が評価され始めている。RE100 は、事業に使用する電力の 100%を再生可能エネルギーで調達することをコミットするイニシアティブであり、この流れを受けて大手企業の需要家を中心に参加が増加しており、世界で 224 企業、うち日本企業 31 社（2020 年 2 月 10 日時点）が参加している（図 2-23）。またこの動きは国内の中小企業にも広がっており、再生可能エネルギー 100%を宣言する RE Action が 2019 年 10 月に発足、現在 57 団体（2020 年 2 月時点）が参加している。需要家からの再生可能エネルギーのニーズが高まる中で、小売電気事業者は積極的に再生可能エネルギーを調達し、発電事業者は再生可能エネルギーの発電設備に投資するという再生可能エネルギーの普及に関して好循環の動きが出てきている。

また、国内では、エネルギー供給構造高度化法の中で、年間販売電力量が 5 億 kWh 以上の小売電気事業者に対して自ら供給する電気の非化石電源比率を 2030 年度に 44%以上にすることが求められており、この観点からも小売電気事業者における再生可能エネルギーの調達が進むことが予想される。



RE100に参加している日本企業

建設業	旭化成ホームズ、安藤・間、積水ハウス、大東建託、大和ハウス工業、戸田建設、LIXILグループ
非鉄金属	フジクラ
電気機器	コニカミノルタ、ソニー、パナソニック、富士通、富士フィルムホールディングス、リコー
陸運業	東急
情報・通信業	野村総合研究所
小売業	アスクル、イオン、コープさっぽろ、高島屋、丸井グループ、ワタミ
銀行業	城南信用金庫
金融・保険業	第一生命保険
その他金融業	アセットマネジメント One、芙蓉総合リース
不動産業	東急不動産、ヘューリック、三菱地所
サービス業	エンビプロ・ホールディングス、楽天

図 2-23 RE100 参加企業数推移および参加している日本企業 (2020 年 2 月 10 日時点)

出典: 環境省・経済産業省 グリーン・バリューチェーンプラットフォームより作成

## (2) SDGs

国連が掲げる SDGs (持続可能な開発目標: Sustainable Development Goals) は、2030 年までに貧困を撲滅し、持続可能な開発を実現するために、図 2-24 に示す 17 の目標と 169 のターゲットからなる。再生可能エネルギーに直接関連する目標としては 7 番目の「エネルギーをみんなにそしてクリーン」が挙げられる。SDGs は、基本的に政府が国家計画、戦略に反映させ責任を持って取り組むという位置づけであり、国が注力して取り組むという意味で新規マーケットにつながる可能性もあり、民間企業を含めた推進が期待されている。この中には無電化地域へのオフグリッド太陽電池モジュールサービスの提供なども含まれる。International Finance Corporation (IFC) では、オフグリッド太陽電池モジュールは、現在の 3 億 6,000 万人から 2022 年には 7 億 4,000 万人に改善されたエネルギーアクセスを提供すると見ており、年間の売上は 2022 年に 80 億ドルに成長するとしている。



図 2-24 SDGs 17 つの目標

出典: 国際連合広報センター:

[http://www.un.org/ja/activities/economic\\_social\\_development/sustainable\\_development/2030agenda/](http://www.un.org/ja/activities/economic_social_development/sustainable_development/2030agenda/)

## 2.6.2 新たな産業の変化

FIT 制度開始時と比較した状況変化に伴い、太陽光発電を巡る産業に新しい変化が現れてきている。具体的には、以下の5つが挙げられる。

1. O&M の重要性増加
2. 蓄電池との連携
3. 系統影響への能動的な対応
4. 自家消費を中心としたビジネスの創造
5. 再生可能エネルギーの取引

### 1. O&M の重要性の増加

太陽光発電の大量導入を睨み、如何に安全かつ期待される発電性能を長く活用させるかが重要になるため、今後、O&M の重要性が増加する。

2018 年時点においても、長期安定電源化として太陽光発電システム市場の中で、O&M 市場の存在感が高まっている。O&M としては、発電監視や診断技術といった運転管理、サイト管理や定期点検といった保守点検のサービスが開始されている。また、AI を活用した異常検知システムなど先端的なサービスも展開されている。

O&M で長期稼働が可能になったとしても、太陽光発電のライフタイムの途中で事業者が発電事業を継続できない場合においても、長期安定電源化として太陽光発電システムを活用していくには、その設備を他の事業者が買い取り、事業を継続していくことが望ましい。そのために発電性能を維持した上でセカンダリーマーケット（中古市場）の重要性が高まる（図 2-25）。

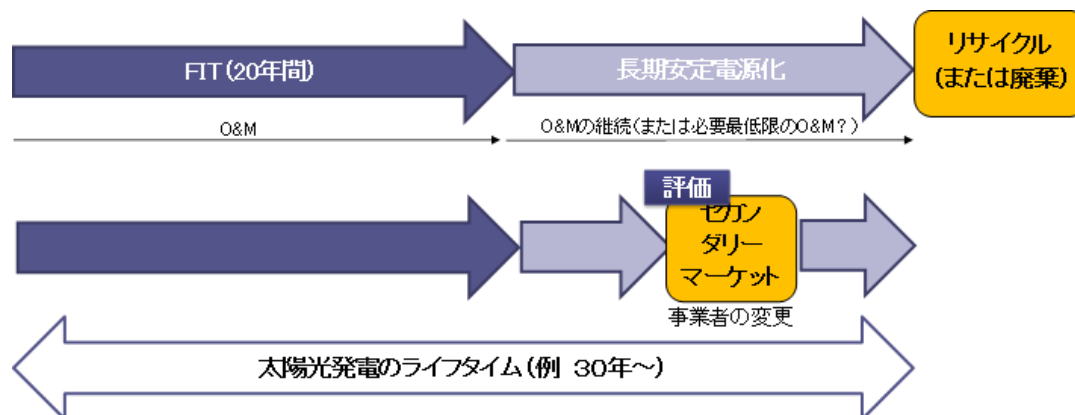


図 2-25 長期安定電源化と O&M、セカンダリーマーケット、リサイクルの関係

出典：みずほ情報総研（株）作成

卒 FIT の太陽光発電を考えた場合、買電単価は FIT 制度の買取価格よりも低額な買電単価となることが想定される。卒 FIT 後も太陽光発電システム事業を継続していくためには、ランニングコストの中で大きな割合を占める運転維持費（O&M 費）をさらに下げていくことが必要となる。図 2-26 に規模別の O&M 費、土地賃借料、固定資産税を示す。1MW 以上で、5 円/kWh 程度ランニングコストが発生しており、そのうち 2.6 円/kWh が O&M 費である。2032 年以降、卒 FIT の非住宅が出現する時点での買電価格にもよるが、O&M のさらなる低コスト化を進めることで、長期安定電源化に寄与することが可能となる。



※固定資産税は30年運転とした場合の平均値

図 2-26 国内の O&M 費、土地賃借料、固定資産税 (円/kWh) の試算 (2018 年)

出典：みずほ情報総研 (株) 作成

## 2. 蓄電池との連携

図 2-27 に、系統連系型蓄電システム用パワーコンディショナ (PCS) のシングル、マルチの比率を示す。系統連系型蓄電システム用 PCS の「シングル」とはシングル入力で蓄電池のみが直接接続可能な機器を指し、「マルチ」はマルチ入力で蓄電池と太陽光発電が直接接続可能な機器を指す。2013 年度以降は、年々マルチ PCS の比率が増加しており、2016 年度以降マルチ PCS がシングル PCS を上回った。このことから、太陽光発電と合わせて蓄電池の導入も同時に進んでいると推察され、蓄電池の低価格化により、タイムシフトやピークカットの効果も期待できる。

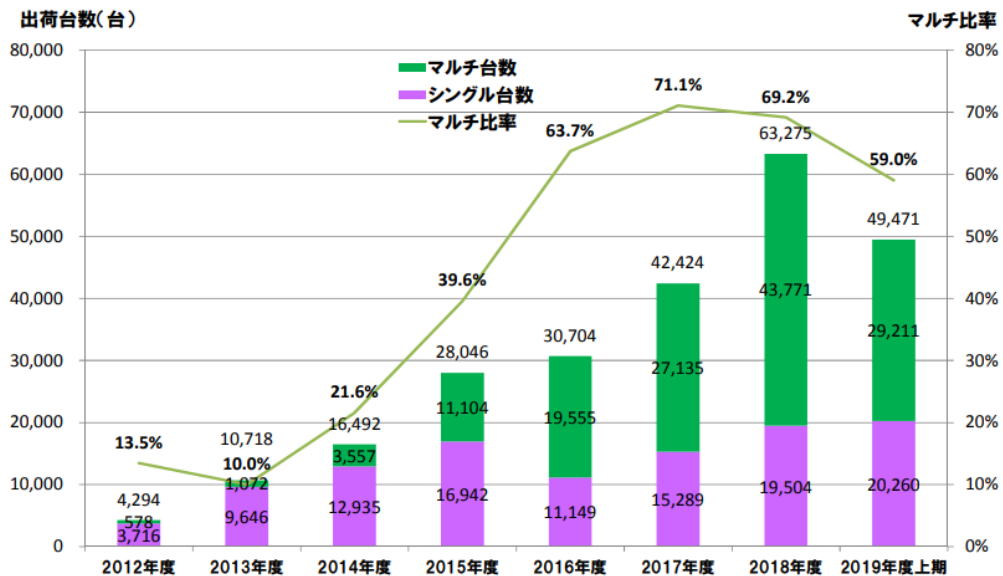


図 2-27 系統連系型蓄電システム用パワコンのシングル、マルチの比率

出典：一般社団法人 日本電機工業会 蓄電システム自主統計 2019 年度上期結果

## 3. 系統影響への能動的な対応

### (1) 系統制約の対応

太陽光発電の大量導入によって、系統制約の対応が必要となっている。系統制約は、図 2-28 に示すように、容量面での系統制約 (①エリア全体の需給バランスの制約と②送電容量の制約) と③変動面での系統制約に大別される。



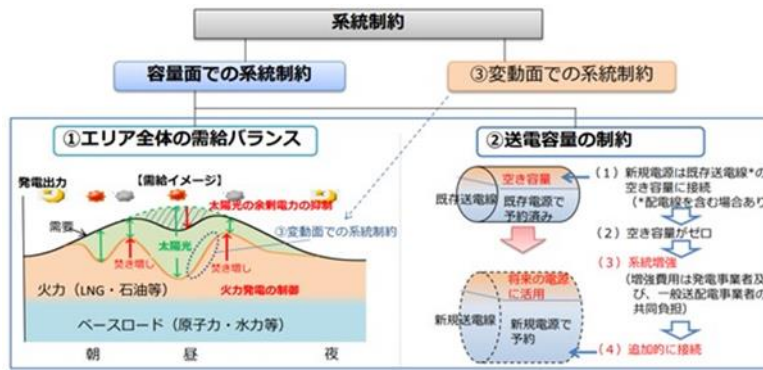


図 2-28 システム制約の種類

出典： 資源エネルギー庁 再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会  
資料 2 システム制約の克服に向けた対応について（その 2）、2018 年 2 月 22 日

### ① エリア全体需給バランスの制約

系統安定化のためには、エリア全体での需給を時間軸で一致させる必要があるが、太陽光発電が大量に導入された場合、日中には電力供給が過剰となり所謂、ダックカーブ問題が生じる（図 2-29）。この対応として、火力発電の最低出力運転や揚水発電により調整が行われるが、それでも供給が過剰になると太陽光発電の出力抑制措置がとられる。

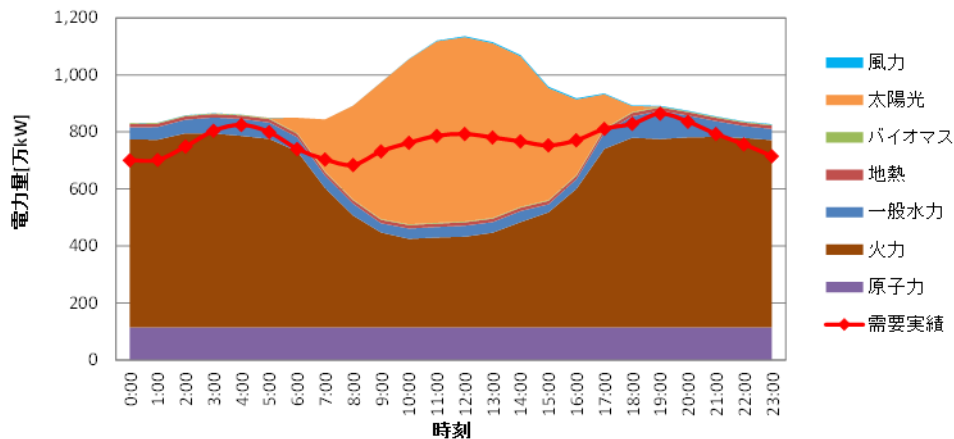


図 2-29 ダックカーブの事例（九州地域、2018 年 4 月 29 日）

出典： 九州電力エリア需給実績よりみずほ情報総研（株）作成

### ② 送電容量の制約

新規に入る再生可能エネルギーについて、送電線の空き容量が不足しており、追加的に導入するためには、送電線の増強が必要となっている。暫定的に対応するためコネクト&マネージという運用方法が検討されている。既存の送電線の緊急時用に確保している容量を開放する N-1 電制や、送電線の容量に空きがある時間帯に接続ができるノンファーム型接続、系統の空き容量を利用する想定潮流の合理化などの対応がされる。

### ③ 変動面でのシステム制約

太陽光発電および風力発電は天候等に大きく左右される変動電源であり、事前に予定していた発電量より増減する場合がある。その際には、時間断面での需給バランスを短時間で調整するために火力発電を増やしたり、減らしたりする等の調整力の必要性が増加する。これら調整力確保のため、2021 年度以降に需給調整力市場が立ち上がる予定である（図 2-28）。

これらの系統制約にかかる課題は、主に太陽光発電の大量導入がもたらした結果であり、上記に挙げたように、出力抑制やコネクト&マネージ、需給調整力市場の設立などで対応が進められている。今後の太陽光発電の技術開発では、これら系統側の対応に任せ、受動的に出力抑制に応じるだけでなく、太陽光発電自ら能動的に系統への影響緩和に寄与していく視点も重要になる。

## (2) 分散型電源を活用した系統影響への取組

将来、太陽光発電を初めとした分散型電源が大量に導入することが想定されるため、需要家側エネルギーリソース、電力系統に直接接続されている発電設備、蓄電設備等を仮想的に一つの発電所として統合して運用する VPP (Virtual Power Plant) が期待されている。IoT 技術を駆使して、様々な場所に設置されている分散型電源を統合して運用することで、あたかも既存の大規模集中発電所と同等の性能を保有することを目指している。これらの分散型電源を統合して制御するための新たな事業者 (アグリゲーター) が出現している (図 2-30)。

今後国内の VPP は、2021 年度に創設される予定の需給調整力市場への調整力供給や、小売電気事業におけるインバランス精算など系統影響の低減への活用が期待されている。

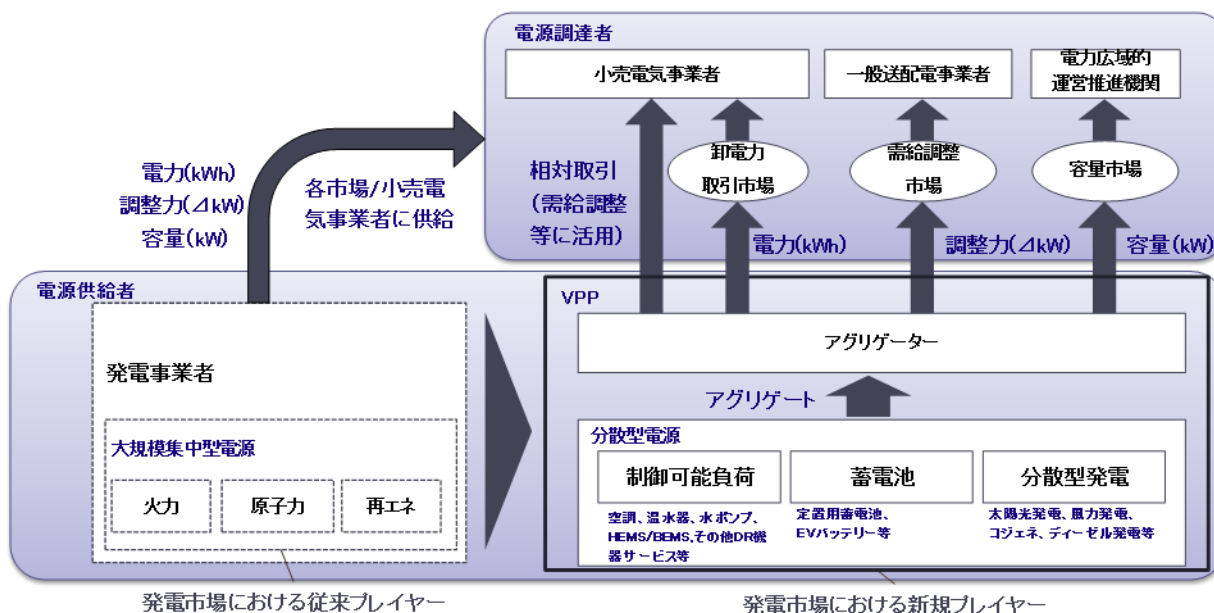


図 2-30 アグリゲーション事業の位置付け

出典：みずほ情報総研（株）作成

## 4. 自家消費を中心としたビジネスの創造

太陽光発電の発電コストが電気料金（低圧電灯：23 円/kWh（2018 年度全国平均））を下回る所謂ストレージパリティに到達するため、太陽光発電を需要家の屋根に設置、発電分を需要家の自家消費にあてて運用する第三者所有モデル (Third Party Ownership、TPO) が出現している (図 2-31)。

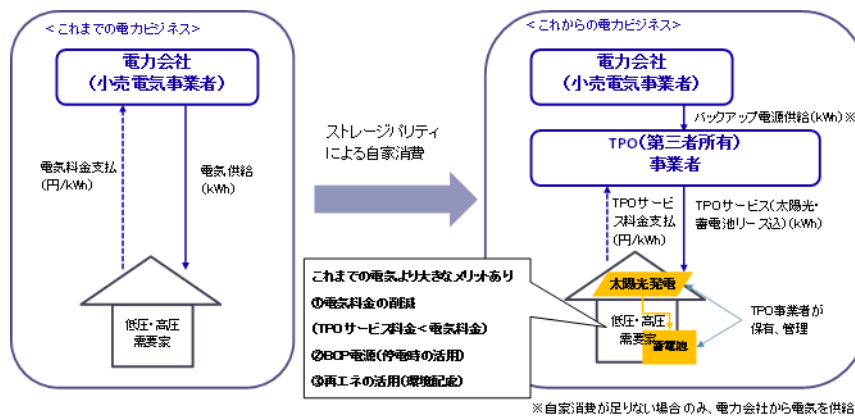


図 2-31 太陽光発電の第三者所有モデル

出典：みずほ情報総研作（株）作成

これまで、太陽電池モジュールメーカーはシステム販売が主要な業務であったが、需要家へ直接電力を供給する小売電気事業者（TPO 事業者）としての展開が始まっている。

この動きは、これまで太陽電池モジュールメーカーが、発電事業者へのシステム販売だけでなく、より上流のメガソーラーの「発電事業」に参入した流れと似ている。これまでの系統を経由したメガソーラー型「発電事業」から、自家消費型のオンサイト「発電事業」への展開と見ることもできる。

自家消費型のオンサイト「発電事業」では、事業者は需要家に設置した太陽光発電や蓄電池といった分散型電源を所有することで、それらを制御して需要家にとって最適なエネルギーサービス（Energy As A Service）を行うとともに、各分散型電源をアグリゲートした運用をし、電力システムとの連携を行う役割を担う。

## 5. 再生可能エネルギーの取引

住宅太陽光発電における卒 FIT 太陽光の出現により、一般家庭が再生可能エネルギー発電者であるプロシューマー（生産者かつ消費者）が大規模に出現する。また、RE100 や SDGs といった再生可能エネルギー利用への関心の高まりから需要家において再生可能エネルギーを調達する手段の確立がより重要になっている。

このような中で、再生可能エネルギーの P2P（Peer to Peer）電力取引のビジネスが出現し始めている。再生可能エネルギーを購入したい需要家と、販売したい一般家庭を含む発電事業者を P2P で結びつけるプラットフォームと、AI による発電や需要の予測や融通を行う技術の統合が行われると予想され、結果的に太陽光発電の余剰電力を最大限活用できる（図 2-32）。

また、発電所と需要家を P2P で結びつけることで、需要家がどの電源をどこから購入したかといったトラッキングが可能となり、需要家の RE100 等への訴求にも活用できる。日本の将来像の一例として、内閣府から第 5 期科学技術基本計画（2016 年 1 月）の中で発表された Society5.0 では、IoT で収集したビッグデータを AI が解析し、その解析結果をフィードバックすることで、よりよい社会を創造することが求められている。エネルギー分野では、気象情報、発電所の稼働状況、EV の充放電、各家庭での使用状況といった様々な情報を含むビッグデータを AI で解析することにより、エネルギーの安定供給や、温室効果ガス（GHG : greenhouse gas）排出などの環境負荷軽減を図ること等が示されている。

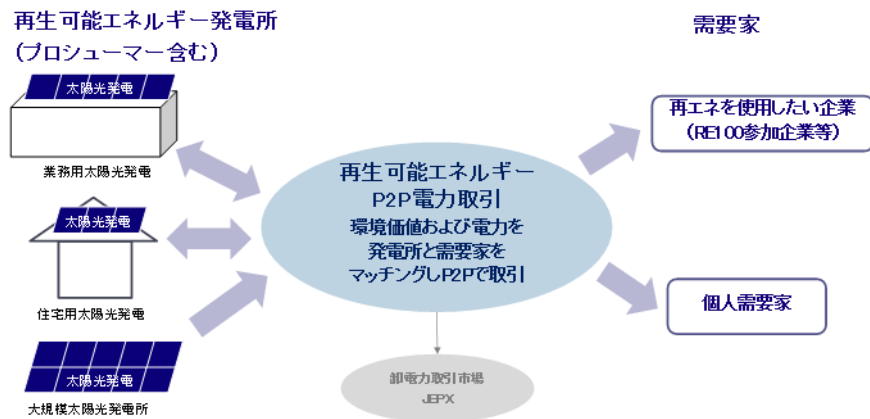


図 2-32 再エネ P2P 電力取引スキームイメージ

出典：みずほ情報総研（株）作成

### 2.6.3. 太陽光発電関連産業が創出する雇用

太陽光発電の雇用という面では IRENA が分析しており、図 2-33 に示すように再生可能エネルギーで太陽光発電が一番多く、世界全体で約 360 万人としている（2018 年）。これは太陽光発電のサプライチェーンの上流、下流を含む直接及び間接の雇用数である。図 2-34 に示すように日本の 2018 年の雇用増加数は 2017 年より下回るものの雇用数は 25 万人で、中国について世界で 2 位となっている。また、図 2-35 に示すように将来の世界の雇用数は、REmap ケースで 2050 年に 1,870 万人に達すると推測された。なお、このシナリオではテクノロジー、システムのコスト、投資ニーズ、大気汚染と気候に関連する外部性、CO<sub>2</sub> 排出、雇用や経済成長などの経済指標等を評価して分析している。

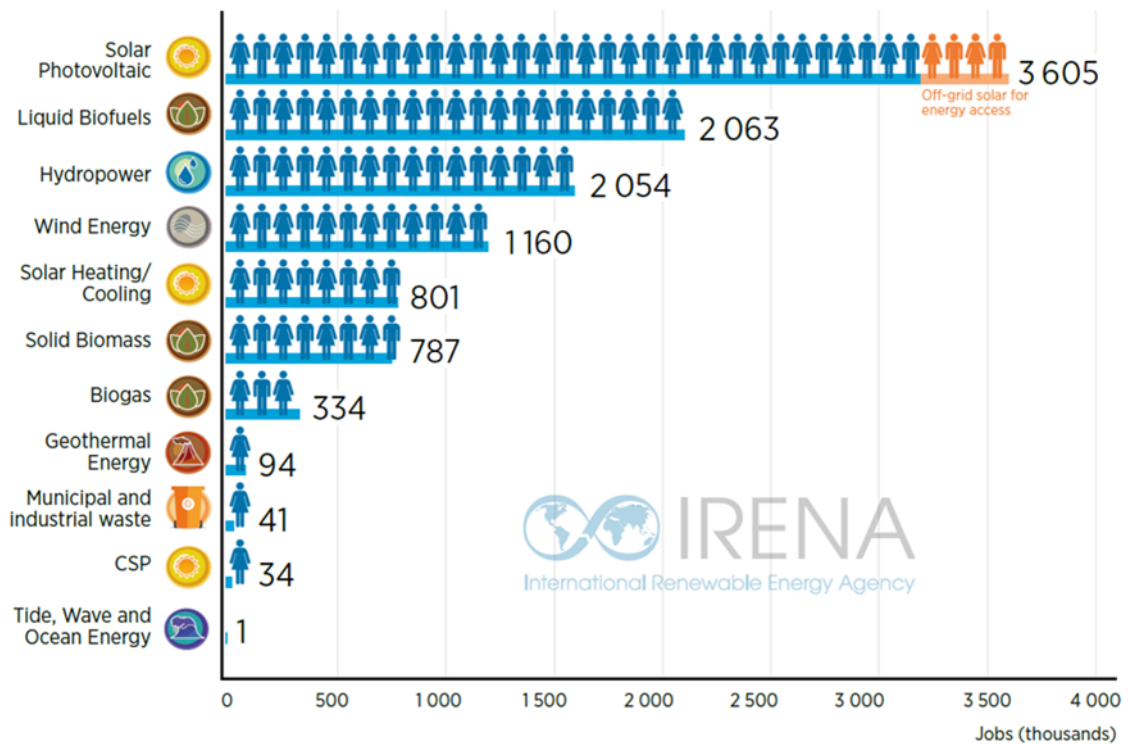


図 2-33 再生可能エネルギーの技術分野別雇用数（2018 年）

出典：IRENA: Renewable Energy and Jobs Annual Review 2019

このように太陽光発電はセル・モジュールだけでなく、関連するシステム産業、新規ビジネスモデル、O&Mのメンテナンス等、幅広い産業構造を持ち、世界的に太陽光発電の導入量が拡大していく中、関係する雇用や業態は更に増加していくものと推定される。

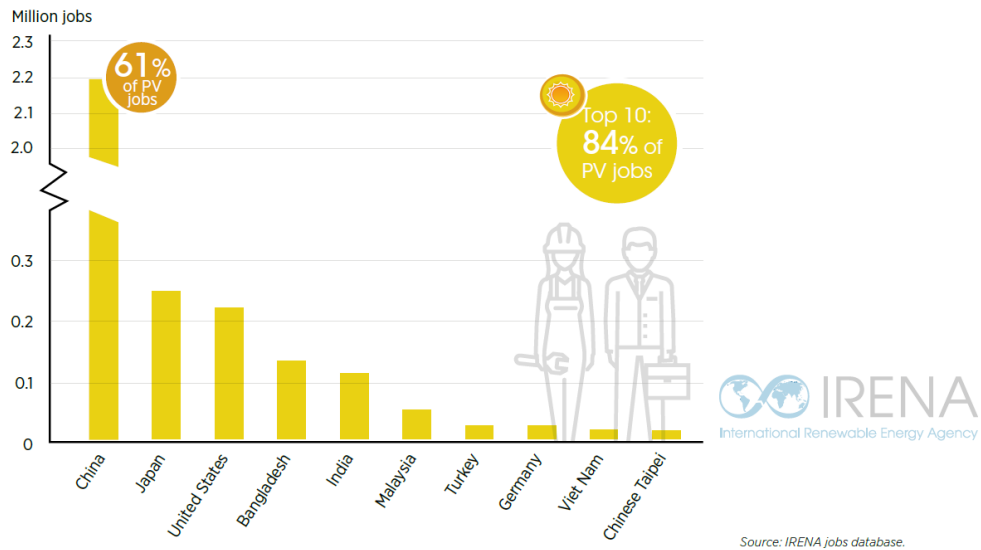


図 2-34 太陽光発電の雇用数トップ10の国 (2018年)

出典：IRENA: Renewable Energy and Jobs Annual Review 2019

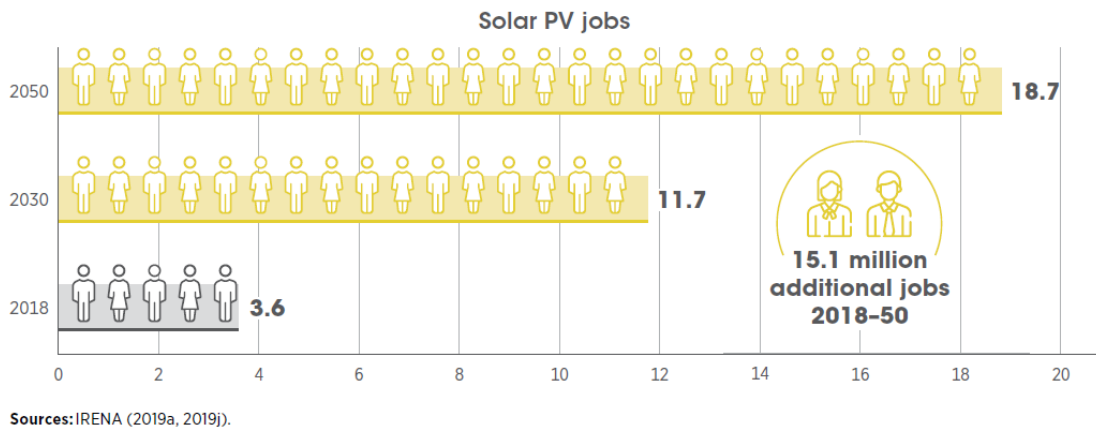


図 2-35 世界における太陽光発電産業における将来の雇用人数

出典：IRENA: Future of Solar Photovoltaic (2019年11月)

## 2.7 技術開発動向

### 1. 太陽電池の要素技術

#### (1) 結晶シリコン太陽電池

結晶シリコン太陽電池は市場の9割を占める太陽電池であり、低コスト高効率が可能であることから世界市場で普及した。高効率化の開発が進み、シリコンウエハのコストダウンに伴い、製造コストの掛からない多結晶から、高効率が望める単結晶が主流となりつつある。セルの効率向上は、裏面構造、電極、界面制御の改良が主流となっており、以下に各種太陽電池の開発状況を示す(図2-36)。

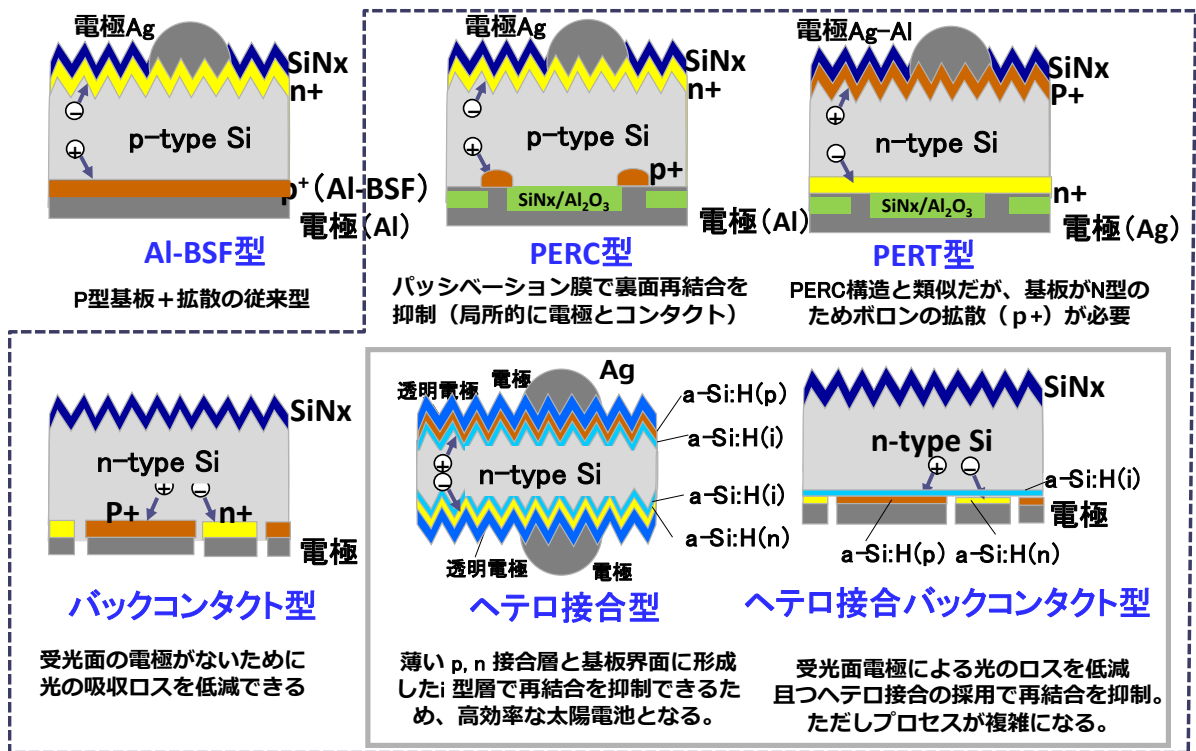


図 2-36 結晶シリコン太陽電池の種類毎の構造

出典： NEDO RE2019 セミナー資料

### ① PERC（Passivated Emitter and Rear Contact）型太陽電池の開発

従来の太陽電池（P型\_BSF（Back Surface Field））はセルの裏面とアルミニウム電極の間にBSF層を形成している。この方法だと低コストで作成できるものの効率向上が望めない。そこで、効率向上のためBSF型の改良としてPERC技術の開発が行われた。

PERCは、太陽電池半導体の裏面に不活性化層（パッシベーション膜）を付加した太陽電池であり、正孔と電子の再結合が起こりにくくなり、発電効率が向上する。さらに、PERCを改良させて、コンタクト部分をP+で拡散させたものがPERL（Passivated Emitter and Rear Locally Diffused Contact）型であり、N型基板で同様の効果を得たものがPERT（Passivated Emitter and Rear Totally Diffused Contact）型である。

### ② TOPCon（Tunnel Oxide Passivated Contact）型太陽電池の開発

PERC型太陽電池は世界的に開発が進んでおり、飛躍的に効率向上が進んでいるが、Voc（電圧）の向上が限界に近づいてきた。そこで、Voc向上のためにはパッシベーション膜の改良が必要で、TOPCon技術の開発が行われた。

TOPConは太陽電池半導体の裏面に極薄膜厚の酸化物不活性化層を付加した太陽電池で、表面の接触をなくしトンネル効果によって正孔を電極に取り出す。正孔と電子の再結合が起きやすい電極-半導体間の接触を極限まで減らすことで、表面再結合損失を抑え、変換効率の向上を実現することが可能である。

### ③ ヘテロ接合型太陽電池の開発

ヘテロ接合型太陽電池は、単結晶シリコン太陽電池のように同一の結晶構造をもつ半導体同士を接合する場合と比較して、接合面に生じる欠陥の発生が減少し、表面再結合速度が遅くなるため、 $V_{oc}$ が向上する。また、アモルファスシリコン層を使用することでシリコンの使用量及び製造時のエネルギーを減らすことが可能となる。一方、製造工程が複雑化するため、製造コストが高いことが課題であり、さらなる低コスト製造技術の実現が必要である。また、高性能ヘテロ接合形成技術として、金属酸化物など新材料によるバンドエンジニアリングや原子レベルでの界面制御が重要となっている。

### ④ バックコンタクト型太陽電池の開発

太陽電池セル表面の電極は日射光を遮るため、太陽光の取り込み量が減少する。電極を太陽電池セルの裏側に配置することで太陽光を最大限に利用することが可能になる。電極を裏側に配置されたバックコンタクト型太陽電池（バスバーレス化）の開発が進展している。このバックコンタクト型太陽電池は  $I_{sc}$ （電流）が飛躍的に向上する。

### ⑤ ヘテロ接合バックコンタクト型太陽電池の開発

$V_{oc}$ の最大化が可能なヘテロ接合と  $I_{sc}$ の最大化が可能なバックコンタクトを合わせたヘテロ接合バックコンタクト型太陽電池の技術も進展しており、結晶シリコン太陽電池の中で最高効率が出ると考えられている。NEDOの研究開発事業では、2017年8月に  $180\text{cm}^2$ の実用的なサイズの非集光型太陽電池セルにおいて、世界で初めて26%を超える26.63%の変換効率を達成している。

## (2) CIGS (CIS) 太陽電池

CIS太陽電池は、銅 (Cu)、インジウム (In)、セレン (Se) の化合物を組み合わせたものである。CIS太陽電池は薄くすることができ、結晶シリコンの  $150\sim 200\mu\text{m}$  に対して、 $2\sim 3\mu\text{m}$  と非常に薄く、大量生産時のコスト低減につながる (図 2-37)。CIS太陽電池の特長は、バンドギャップが結晶シリコン太陽電池より広いこと、 $V_{oc}$ が高く (温度係数が小さい)、高温時の出力ロスが少ない。また、集積構造のため部分的な影の影響が少なく、光取り込み量が多くなるが、薄膜のため光とじ込みに難がある。そのため、結晶シリコン型と比べて変換効率が低く、高効率化が必要である。

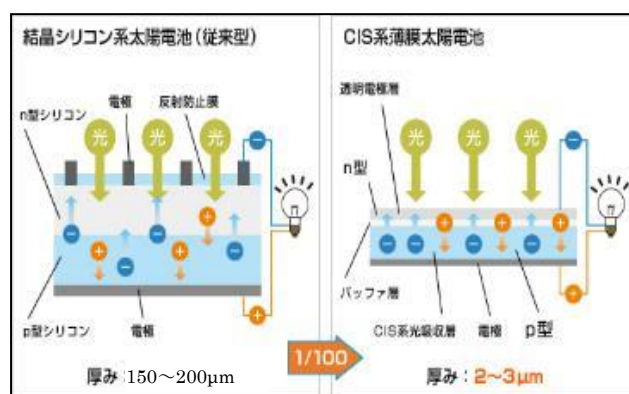


図 2-37 結晶シリコンと CIS の構造の違い

出典：ソーラーフロンティアウェブサイトの図を NEDO 修正

### ① 変換効率の向上

CIS 太陽電池の変換効率は 10%台と低く、構造等の研究により更なる高効率を達成することが不可欠である。透明導電膜の開発、結晶品質の高品質化、裏面反射の活用等、CIS 構造の内部での光利用効率を高めていくことが必要である。NEDO のプロジェクトにおいて、ソーラーフロンティア（株）が 2018 年 11 月にセルとして最高効率 23.4%を達成している（図 2-38）。

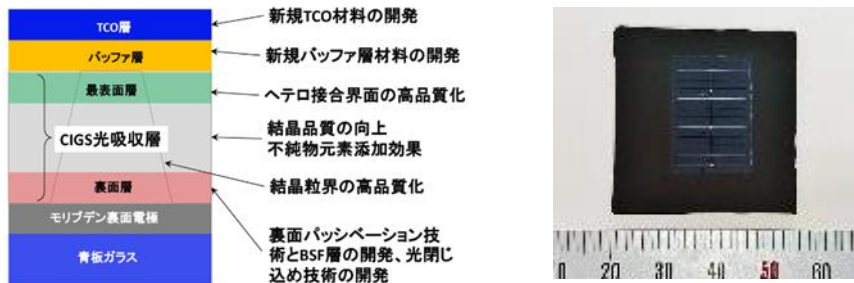


図 2-38 CIS 太陽電池の課題と最高効率

出典： NEDO RE2019 セミナー資料

### ② 軽量性の向上

量産されている CIS 太陽電池は合わせガラスのため、結晶シリコン太陽電池よりも重い、図 2-37 に示すように、結晶シリコン太陽電池よりも薄くできるため、軽量化の可能性を持つ。

### (3) III-V 系太陽電池

周期律表のⅢ族のガリウム（Ga）とⅤ族のヒ素（As）を主原料とする化合物半導体を用いた太陽電池であるが、直接遷移型の半導体のため光吸収係数が大きく変換効率が高い。また、In や P など他の元素を添加することでバンドギャップを調整できるため、異なる吸収波長帯を持つ複数の膜を積層することにより、広い波長範囲で光を吸収することができる。3 層程度の積層構造が用いられることが多いが（図 2-39）、より高効率を得る為に 6 層程度まで積層化することにより最高効率を得た報告もある。また、宇宙線などの放射線損傷に対し高い耐久性を持つため、宇宙用太陽電池として有効である。ただし、GaAs の半導体製造コストが他の太陽電池に比べ非常に高いため、これまでは宇宙用や集光用などに用途が限定されていた。

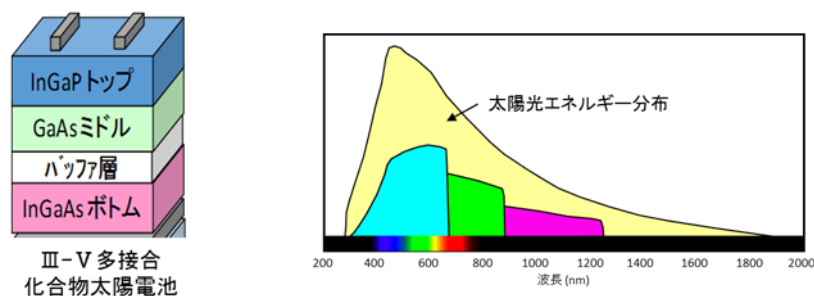


図 2-39 III-V 太陽電池の構造と吸収波長

出典： 2019NEDO 成果報告会 東京大学発表資料

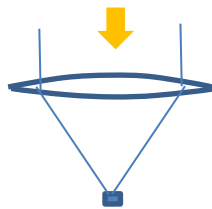
### ① 高効率化

接合数を増加させることにより高効率化が可能であるが、化合物の組成によって格子定数が変化するため、一度に結晶方位を合せて膜を積層する（エピタキシャル成長）にはバッファ層を設ける必要がある。また、積層型太陽電池は直列接続となるため、各層で発生する電流をそろえ



る必要があり、接合数の多い太陽電池を形成するのは高度な技術が必要となる。異なる種結晶を用いて1~2接合程度の膜を積層した後に貼り合わせる方法もあるが、その場合も膜にダメージを与えることなく基板から剥離させる剥離技術や接合技術などが必要となる。また、より高効率化を目指した取組として、一つの接合でより広い波長帯を吸収させる量子ドット型太陽電池も検討されている。量子ドット型太陽電池は通常のGaAs系太陽電池セルの内部に量子ドットを形成することにより中間バンドを形成し、この中間バンドを経由してキャリアを取り出すために複数の波長の光を吸収しようとするものである。これらの多接合太陽電池や量子ドット型太陽電池は集光(図2-40)を行うことによりさらに高効率化が可能であり、量子ドット型太陽電池は高倍集光下で変換効率50%程度を得ることができると見積もられている。

図 2-40 集光型セルのイメージ



出典： 2019NEDO 成果報告会 東京大学発表資料

## ② 生産性向上（コスト削減技術）

III-V系太陽電池が高コストとなる理由の一つは、太陽電池セルを形成するために単結晶のGaAsなど希少且つ生産量が少なく高コストな基板の上にエピタキシャル成長させることが必要なためである。この基板のコストを低減させるためには、基板の使い回し(基板の再利用)が有効である。しかしながら、エピタキシャル成長後に形成した太陽電池薄膜セルを剥離させると基板表面に汚れや凹凸、欠陥などが生じるために清浄化や平滑化のプロセスの開発が必要となる。また、セルを構成する薄膜は気相堆積法により形成するが、一般的に用いられているMOCVD(Metal Organic Chemical Vapor Deposition)では成長速度が遅く、原料の使用効率も悪いため高コストとなる。以上の課題を解決し、低コストのIII-V系太陽電池を実現するため、基板の再利用、製膜の高速化、薄膜化等が検討されている(図2-41)。

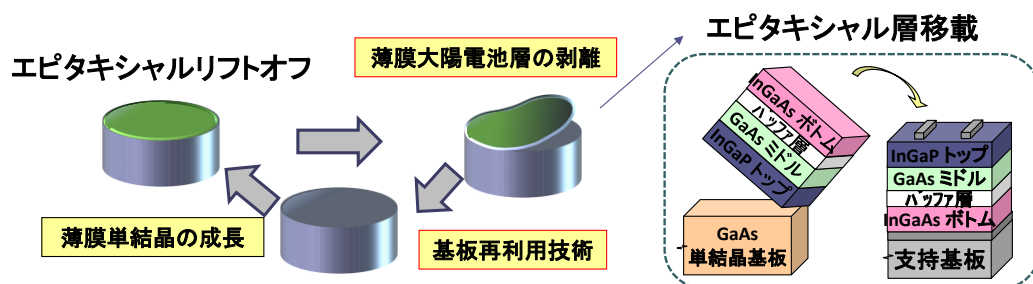


図 2-41 転写技術例

出典：東京大学作成

### ➤ 転写技術

GaAs系基板に形成した薄膜を安価な基板に転写するための剥離技術、転写技術、基板の表面処理等による基板の再生技術等により基板を再利用することで低コスト化を目指す。

### ➤ 高速製膜

H-VPE (Hydride Vapor Phase Epitaxy) など、新しい成膜技術により、成膜時間の短縮と原料使用効率の向上を目指すなど、新しい成膜技術により、成膜時間の短縮と原料使用効率の向上を目指す。

▶ 薄膜化・光閉じ込め技術

薄膜化による成膜の負荷低減、光閉じ込めによる薄膜での効率向上を図る。

#### (4) ペロブスカイト太陽電池

ペロブスカイトは結晶構造の1種で、結晶層に半導体機能を付与することで光エネルギーを電子とホールに分離できる。この機能を太陽電池に適用させたペロブスカイト太陽電池は、2009年9月桐蔭横浜大学の宮坂力教授らが発明した日本発のオリジナル技術である。ペロブスカイト太陽電池は、分離した電子とホールが再結合して熱として再放出されることを防止するための電子移動層及びホール移動層と分離された電子とホールを電気エネルギーとして取り出す集電極から構成される。有機・無機のハイブリッド材料より形成されるペロブスカイト太陽電池の発電層、電子移動層、ホール移動層は、原材料を溶剤に溶解或いは分散したインクを用いて塗布により形成されるため、製造コストが安価であることが特長である。また、基板にフィルムを用いることで、フレキシブル性、軽量性があるため、様々な用途への展開が見込まれている。

##### ① 変換効率の向上

2019年には東京大学のグループらが直列のペロブスカイト太陽電池ミニモジュール (2.76cm<sup>2</sup>) で変換効率 20.7%を、単体セル (0.187cm<sup>2</sup>) で 22.3%を達成した (図 2-42)。高効率のペロブスカイト太陽電池は、大面積化や製品化に技術的課題があるが、研究ベースでは変換効率を 30%に近づける要素技術や、他の光吸収バンドを持つ太陽電池と積層するタンデム技術が進められている。

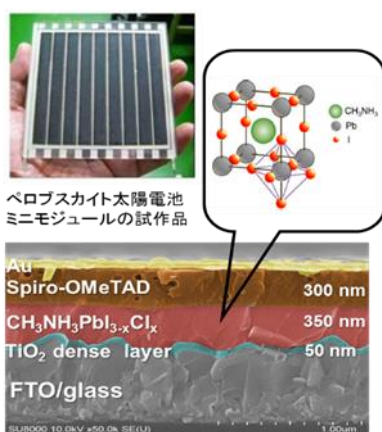


図 2-42 高効率ペロブスカイト太陽電池

出典： 2019NEDO 成果報告会 東京大学発表資料

##### ② 大面積セルの製造技術

ペロブスカイト太陽電池は基板に一樣に塗布することが技術的課題であり、小面積では高い変換効率が達成できるものの、大面積になると変換効率の向上が難しい。新たなプロセス開発により、従来両立の困難であったセルの大面積化と高効率化を実現し、株式会社東芝は、NEDO 事業の一貫として世界最大面積 (703cm<sup>2</sup>) で変換効率 11.7%のフィルム型ペロブスカイト太陽電池モ

ジュールを、パナソニック株式会社は NEDO 事業の一貫として変換効率 16.09%の世界最高効率 (2019 年 2 月) のモジュールを開発した (図 2-43)。

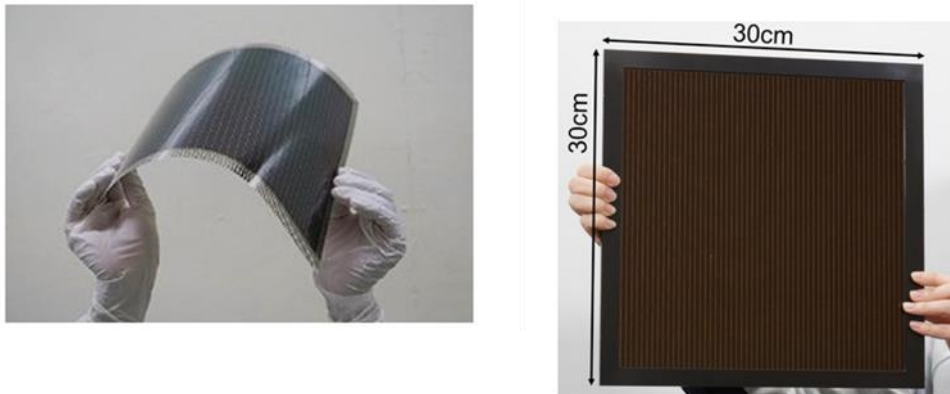


図 2-43 世界最大面積 (703cm<sup>2</sup>)、世界最高効率のペロブスカイト太陽電池モジュール

出典：NEDO (左：東芝、右：パナソニック)

### ③ 耐久性向上

ペロブスカイト太陽電池の大きな課題は耐久性である。現在、耐久性は改善しつつあるが、一般に品質保証期間が 20 年の結晶シリコン太陽電池とは大きな差がある。今後、構造面等から耐久性を大きく改善していくことが求められる。

### (5) タンデム型太陽電池

タンデム型 (多接合) 太陽電池とは、異なる吸収波長の太陽電池を積層させることであり、光の波長を効率的に活用することが可能になり、発電効率の向上が挙げられる (図 2-44)。例えば、ボトムセルにシリコン系太陽電池、トップセルにペロブスカイト系太陽電池を用いたタンデムの場合、ペロブスカイト系太陽電池ではバンドギャップの最適化、Voc ロスを低減できるセルの高効率化、高信頼性化 (シリコン系太陽電池と同等程度) が重要であり、シリコン系太陽電池では、ペロブスカイト材料を均質に成膜するための表面形状の制御、界面制御技術、光学設計技術が重要である。また、これら技術の低コスト化も必要で課題の一つと考えている。

上記の III-V 系太陽電池についてもタンデム太陽電池の一つである。

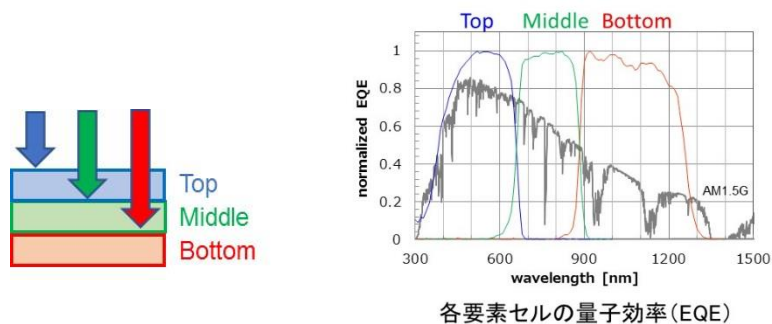


図 2-44 タンデム太陽電池の構造と EQE の一例

出典：産業技術総研究所

## (6) 評価技術の開発

太陽電池の開発や利用に関しては、効率を始めとした性能評価が不可欠である。特に新しい太陽電池種が出てきているため、結晶シリコンに加えて、ペロブスカイト、新型 CIS 系、新型結晶 Si、多接合を含む各種新型太陽電池で高精度性能測定技術の開発・実施・実証や多バスバー構造、両面受光構造の測定を行うとともに、屋外測定再現性±1%以内(1 $\sigma$ )を達成(各種結晶シリコン、ヘテロ接合、CIS)した。

また、シリコン系太陽電池の発電効率低減の主な要因として、PID(電圧誘起劣化)の劣化メカニズムとして、紫外線、湿熱、電圧の3つの要素とその組み合わせが関係していることを解明するとともに、劣化を低減する方法を見出した。

## 2. 太陽電池モジュール技術

### (1) ダブルガラスモジュールの実用化・普及

従来の太陽電池モジュールは、裏面が樹脂性のバックシートで覆われている。これを強化ガラスで代替した両面ガラスモジュールが実用化されている。これにより裏面も光透過性を獲得することから、太陽電池の両面発電による変換効率向上に加え、膨張係数の異なるバックシートを強化ガラスに置換することにより、モジュールとしての信頼性向上や強度が向上する。一方で、両面ガラスのため太陽電池モジュールの重量が重くなる。このため、アルミフレームレス構造や薄膜の強化ガラス構造の検討が進んでいる。

### (2) 高電圧化によるオーム損失低減(カットセルの利用、シングリング技術)

同一効率の太陽電池セルを使った場合でも、モジュール全体の電气的設計次第で太陽電池モジュールの効率は向上の余地がある。原則として太陽電池セルから取り出された電流の損失の主要因であるオーム損失は、電流の2乗に比例する。電力は電流と電圧の積であり、同じ電力でも電圧を高めることができれば電流を減らすことができる。このことから直列セル数を増やしてモジュールの出口電圧を高めることにより、オーム損失を低減する製品が増加している。

その手法としてハーフカットセルがある。これは1枚の太陽電池セルを半分にかットし、直列につなげることで電圧を約2倍、電流を半分にし、オーム抵抗を半減することが可能になる。

更に、セルを5~6個に細分化し、セルを重ね合わせて直接接続するシングリング技術も開発されている。電力損失がさらに低減するほか、セルの充填率を上げられることから、高効率モジュールに応用されている。

### (3) モジュールの大型化

モジュールを大型化し、直列に接続する太陽電池セル数が増すことにより高電圧化が可能になり、オーム抵抗の低減が実現することが可能になる。また、太陽電池は受光面積に比例する重量と、受光面積の外周の長さに比例する部材がある。例えばフレームに用いられるアルミニウムは、大面積化することで平米当たりの使用量を減少させることができ、製造原価の低減につながっている。

### 3. 太陽光発電システムの研究開発

システム関連の技術開発は幅広いが、ここでは太陽光発電の電力の変換を行うパワーコンディショナ（PCS）関連について記載する。

#### (1) 周波数制御

太陽光発電の大量導入により、電力消費の少ない時期に配電線の電圧が電気事業法の定める範囲を超えて PCS が停止してしまうケースが見られるようになった。複数 PCS で協調した無効電力（力率）の制御により系統周波数の安定化に寄与する技術の開発が進められ技術的には実証されている。

#### (2) GaN、SiC 高効率パワーコンディショナの開発

太陽電池から出力される直流を交流に変換する PCS の変換効率の向上も挙げられる。半導体として Si よりもスイッチング性能の高い GaN や SiC をパワー半導体に利用することにより、スイッチング速度向上や 98%以上の低変換損失が実現され、発電コストの低減に寄与している。

### 3. 太陽光発電の価値評価

#### 本章のポイント

- (1) 太陽光発電は他の再生可能エネルギーと比較して将来のコスト低減への期待が高く、CO<sub>2</sub> 排出量の少ない競争力のある再生可能エネルギーとして大量に導入されることが想定されている。
- (2) 太陽光発電は変動電源という特性のため、電源安定性の観点から課題があり、大量導入により系統への影響が増加している。「調整力として寄与する電源」等の機能が求められている。
- (3) 太陽光発電の特性は、レジリエンス、組み合わせによる付加価値提供等があり、レジリエンスはBCP 電源やマイクログリッド、オフグリッド等の需給一体型電源としての価値が、組み合わせによる付加価値提供はBIPV や車載等といった新たな付加価値提供が可能となる。

#### 3.1 太陽光発電の特性

##### 1. 太陽光発電の再生可能エネルギーとしての特性

エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用及び化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律（エネルギー供給構造高度化法）においては、「再生可能エネルギー源」について、「太陽光、風力その他非化石エネルギー源のうち、エネルギー源として永続的に利用することができると認められるものとして政令で定めるもの」と定義されており、政令において、太陽光・風力・水力・地熱・太陽熱・大気中の熱その他の自然界に存在する熱・バイオマスが定められている。

地熱を除く再生可能エネルギーは、そのエネルギー源を太陽に依存している。さらに風力や水力、バイオマスなどのエネルギー源は、太陽からのエネルギーを何らかの形で蓄積したものとなっているのに対して、太陽光は、太陽から光の形で送られてきたエネルギーを瞬時に電気エネルギーに変化させ利用する点、また一旦機械的エネルギーに変換しないという点で、他の再生可能エネルギーと性格を異にしている。

これら再生可能エネルギーの中で、太陽光発電は、将来もっとも普及が期待されている技術である。図 3-1 に示す IRENA の分析では、太陽光発電は、2010 年から 2018 年のコスト低減率がどの再生可能エネルギーよりも高くなっており、将来に向けたコスト低減への期待も高い。

「エネルギー基本計画」において、再生可能エネルギーの主力電源化が言及されおり、中でも太陽光発電は更なる普及が期待されている。今後、日本のエネルギーの柱とするためには、エネルギーセキュリティの観点から、海外製だけに依存するのではなく、国産でのモジュールや周辺機器の生産を確保しておくことが重要である。

また、シリコン系の太陽電池モジュールによる温室効果ガス排出は、製造時に 600~1,400kg-CO<sub>2</sub>/kW（みずほ情報総研（株）太陽光発電のライフサイクル評価に関する調査研究（2008 年 3 月））とされ、運転時はほぼゼロである。なお、製造時に使用するエネルギーと発電電力を比べ、消費電力分の発電を行う期間を評価する Energy Pay Back Time は 0.7~2.0 年（Fraunhofer ISE Photovoltaic Report（2019 年 11 月））とされる。

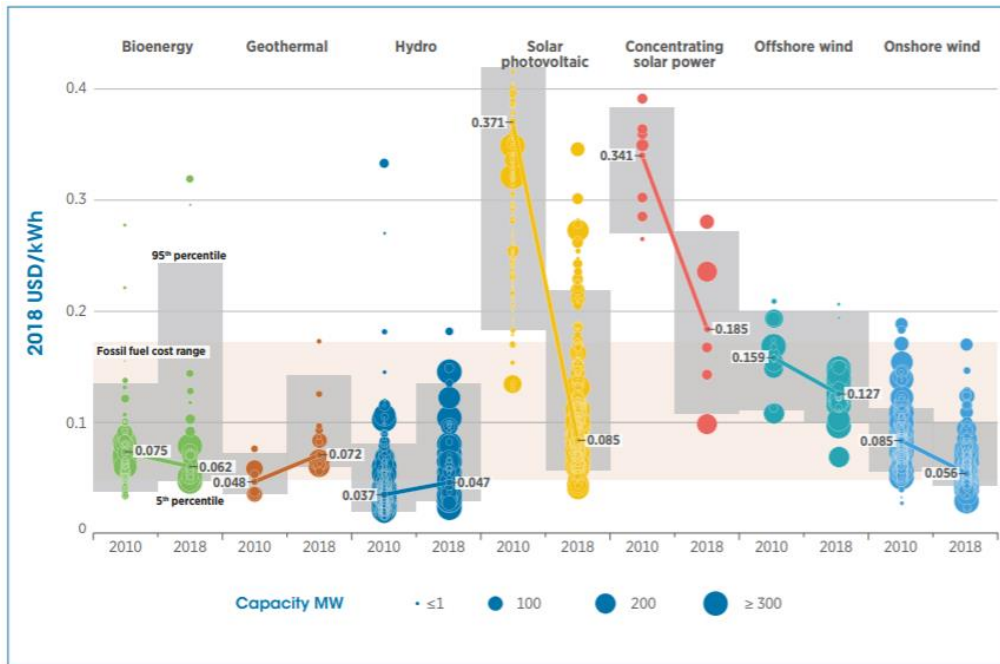


図 3-1 Global LCOE of utility-scale renewable power generation technologies, 2010–2018

出典： IRENA Renewable Power Generation Cost in 2018

## 2. 太陽光発電と他電源との比較

太陽光発電は、燃料補給が不要で、一般的に運転維持費が安く、日射がある限り再生可能エネルギーとして発電可能であるほか、設置場所を他の用途と共用することが可能で、立地制約が比較的少ない。また、設備の大きさが発電の効率に及ぼす影響が小さいので、様々な形態での発電が可能である。表 3-1 に太陽光発電と他の電源のメリットデメリットを比較した。

この表より 2030 年の発電コストを比較すると、太陽光発電（メガソーラー、住宅）は 12.5~16.4 円/kWh、風力発電（陸上）は 13.9-21.9 円/kWh で、火力発電（石炭、LNG）の 12.9~13.4 円/kWh とほぼ同等まで低減することが試算されており、競争力のある電源となる。

環境への適合を考えると火力発電は CCS（二酸化炭素回収貯留）と組み合わせることにより CO<sub>2</sub> の排出量をオフセットすることで環境性を高めることができるが、環境への適合（発電時の CO<sub>2</sub> 排出量）とエネルギー安定供給（エネルギー自給率）の双方から、再生可能エネルギーへの期待は大きい。

電源の安定化の点では、太陽光発電と風力発電は、天候によって出力が左右される変動電源であり、発電量の予見性が低い。これら変動電源が増加することで、需給バランスを確保するための火力（石油、LNG）等の調整力電源が必要になるが、太陽光発電の場合、一定時間後の発電予測を高精度化することで、供給と需給の調整が容易になり、電源の安定化に貢献できる。

また、太陽光発電には多様性があり、居住する建物や駐車する駐車場への設置、耕作地を共用するソーラーシェアリング等、既存の用途と併用して発電所が設置可能である。

さらに、災害などによる停電といった系統側の電力が機能しなくなった場合でも、太陽光発電で自立運転が可能となり、レジリエンス向上のための有効な手段として、他電源にはない特性を持つ。

表 3-1 発電種別のメリット、デメリット比較

発電所種類		経済効率性 (発電コスト 円/kWh※)	環境への 適合(発電 時のCO <sub>2</sub> 排 出量)	エネルギー の安定供給 (エネルギ ー自給率)	電源安定性		多様性 (空間共有)	レジリエンス		
					発電量の 予見性	調整力対 応		インフラ 依存度	災害時な どの停電 回避	
火力	一般	○石炭：12.9 ○LNG：13.4 △石油： 28.9-41.6	×	×	× 輸入燃料依 存	○ 計画的発 電可	○ 出力調整 が容易 (石油、 LNG)	× 発電専用用途	× 送電システ ム要	×
	CCS 付	N/A	○ 排出量オ フセット							
太陽光	メガ ソー ラー	○12.7-15.5	○ 排出量ゼロ	○ 燃料不要	×	天候に左 右される 変動電源 変動電源	×	△ ソーラーシェ アリング (耕作用途共 用)等	○ 送電システ ム要	×
	需給 一体 型	○12.5-16.4 (住宅)								
風力	陸上	○13.9-21.9	○ 排出量ゼロ	○ 燃料不要	×	天候に左 右される 変動電源	×	× 発電専用用途	× 送電システ ム要	×
	洋上	△28.7-33.1								
バイオマス (専焼)		△29.7	○ 排出量オ フセット	×/○ (×：輸入 材)	○ 計画的発 電可	○ 出力調整 が容易 (バイオ ガス)	× 発電専用用途	× 送電システ ム要	×	
地熱		○19.2	○ 排出量ゼロ	○ 燃料不要	○ 出力一定 のベース ロード電 源	×	× 発電専用用途	× 送電システ ム要	×	
水力(一 般)		○11.0	○ 排出量ゼロ	○ 燃料不要	○ 出力一定 のベース ロード電 源	×	× 発電専用用途	× 送電システ ム要	×	

※発電コストWG(2015年)の2030年モデルプラント試算結果

出典：みずほ情報総研(株)作成

## 3.2 太陽光発電の価値

### 3.2.1 需給一体型電源としての価値

需給一体型は、他電源にはない太陽光発電の大きな特性である。需給一体型としての価値は主に以下が想定される。

#### ① レジリエンスを高めるマイクログリッド電源

分散型エネルギーシステム(マイクログリッド)として、再生可能エネルギーの電源が活用され



る。これらマイクログリッドに太陽光発電を用いることより、レジリエンスの向上が期待され、将来的には、P2P 電力取引を含む自立分散型の電力システムモデルが想定される。さらに蓄電池との連携により、太陽光発電の電源安定性が向上し、マイクログリッドへの太陽光発電の導入は進むであろう。また、日本においては、高齢化、地域過疎化が進むため、自立分散型エネルギーシステムは地域におけるエネルギーインフラとなる可能性がある。

これまでの災害対応の BCP (Business Continuity Plan) 電源は、ディーゼル発電が主体であったが、太陽光発電の大量導入により低コストが可能で環境負荷が低い太陽光発電と蓄電池を組み合わせた電源に変わるであろう。また、都心部のような電力需要密度が高いエリアにおいても、建材一体型太陽光発電 (Building Integrated Photovoltaics : BIPV) を活用することで、BCP 電源への対応が可能となる (図 3-2)。

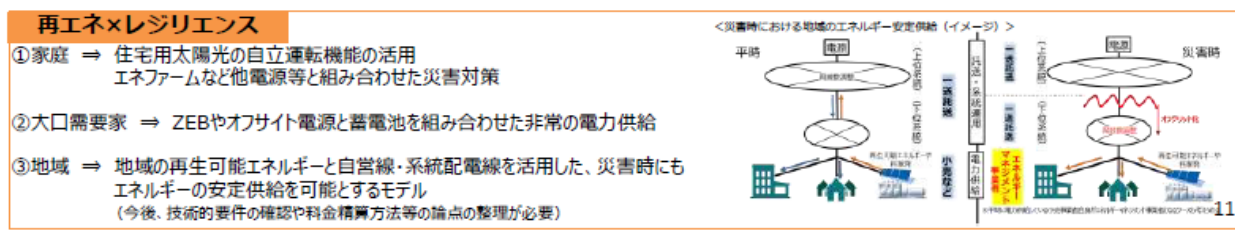


図 3-2 再エネ×レジリエンス

出典：総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 再生可能エネルギー主力電源化制度改革小委員会 (第 1 回)

## ② 無電化地域、電力不安定地域におけるオフグリッド電源

オフグリッドは電力会社の送電系統と繋がっていない電力システムであるため、再生可能エネルギーが電源になる。太陽光発電以外の再生可能エネルギーは、電力インフラ整備が必要であるため、設備が整っていない地域には不向きである。太陽光発電と蓄電池の組み合わせにより、電力インフラが整備できていない無電化地域や系統電力の停電が頻繁に発生する電力不安定地域への電化施策として展開が可能である。例えば、インフラが整備できていないアフリカでは、これまで火災の危険性がある灯油ランプに頼っていたが、太陽光発電の導入により、日中、太陽光発電を蓄電池に貯めて、夜間、LED ランプや携帯電話の充電に用いて利便性が向上している。

## ③ 住宅設置における自立電源

小規模分散システムについては災害時における電源として重視されており、一定の自立運転が出来るシステムを構築することは重要である。例えば、2018 年の北海道地震による北海道内の停電や 2019 年の台風 15 号における千葉県内の停電においては、太陽電池モジュールを設置している住宅では自立運転機能を用いて、電力供給が行えたという結果が出ている (太陽光発電協会 (JPEA) が千葉県内で太陽光発電を導入している住宅 486 軒を調査したところ、台風 15 号による停電時に約 8 割の 388 軒が自立運転機能を活用していた)。

このことより、自家消費も可能な太陽光発電と蓄電池のセットで導入できる新築住宅だけでなく、既築住宅にも太陽光発電の導入が進むであろう。

### 3.2.2 組み合わせによる付加価値提供

太陽光発電はこれまで「太陽光発電」という電源としての提供であり、電力供給 (kWh) が提供価値の源泉であった。太陽光発電の設置場所を他の用途と共用できるといった特性を踏まえれば、発電する〇〇というように、「〇〇」における付加価値をより向上させ、新しい価値を提供することが可能である。

組み合わせの付加価値提供としては、設置場所を複層的に共用できることと既存製品に対して「発電」を追加でき、これまでの製品と違った新しい価値をもたらすことが出来る。以下に具体例を示す。これらの付加価値の提供については、これまでの効率向上、コスト低減だけでなく、各々の環境で発電性能を発揮できる太陽光モジュール・システムの技術開発が進むことが不可欠である。

#### <土地設置場所を複層的に共用>

- 水上に太陽光発電を設置：
  - ・日光を遮断でき、藻の繁殖を抑制して水質の改善に繋げる。
  - ・水の蒸発を抑制できるため、干害防止が可能になる。
  - ・養殖場に設置することで、魚の日焼け防止と養殖用の電源として活用できる。
  
- 農地に太陽光発電を設置：
  - ・日射が強く葉物野菜が栽培できない地域では、日光や温度の上昇を抑制でき栽培が可能になる。
  - ・最適な日射量に調整することで、収穫量を向上できる。
  - ・電動農耕機等、将来のスマート農業の電源として活用できる。
  
- 駐車場に太陽光発電を設置：
  - ・日除け効果があり、車内温度の上昇を抑えることができる。
  - ・ショッピングモールの屋上に設置することで雨除け効果がある。
  - ・駐車場の電源として活用できる。

#### <既存製品に対して「発電」を追加>

- 移動体（電動車）に太陽光発電を設置：
  - ・系統電力からの充電と比較して、環境の負荷を低減できる。
  - ・充電ステーションでの充電回数を低減できる。
  - ・災害時の非常用電源になる。
  
- 建物壁面や窓に太陽光発電を設置：
  - ・通常の「建材」と比較して、建物の創エネルギーに貢献できる。
  - ・窓に設置した場合、直射日光を遮り、室内の温度上昇を防止とともに防眩に効果がある。
  - ・東面、西面に設置することで、ダックカーブを緩和できる。

- IoT 機器に太陽光発電を設置：
  - ・IoT 機器のための電源供給や電池が不要になり、初期投資・メンテナンスコストの低減につながる。

また、住宅用の太陽光発電においても、付加価値を発展させて、従来よりも高効率大面積の太陽電池の設置を行い ZEH（Zero Emission House）（※1）や LCCM（Life Cycle Carbon Minus）（※2）という新しい概念が出てきている。

- ※1 室内環境の質を維持しつつ大幅な省エネルギーを実現した上で、再生可能エネルギーを導入することにより、年間の一次エネルギー消費量の収支がゼロとすることを目指した住宅。
- ※2 長寿命で且つ一層の CO<sub>2</sub> 削減を目標とし、住宅の建設時、運用（居住）時、廃棄までの一生のライフサイクルトータルで CO<sub>2</sub> の収支をマイナスにする住宅。

### 3.2.3 系統電力システムとの協調

太陽光発電と風力発電は天候に左右される変動電源であるため、系統における需給バランスの調整が必要になる等、系統運用への影響をもたらす。太陽光発電と風力発電が増加すると系統の需給バランスを維持するため、火力発電で調整が必要になる。これは、火力発電の燃料コスト増大につながり、再生可能エネルギーの価値が相対的に低下することになる。火力発電の調整力の一部を太陽光発電で賄うことができれば、太陽光発電がもたらす価値は向上するだろう。出力調整可能な太陽光発電には、①発電量予測による需給の調整、②蓄電池を用いた電源の制御、③揚水発電所の電源、等が考えられる。

太陽光発電の調整力への影響と寄与の可能性を表 3-2 に示す。周波数調整機能や低出力帯を前提とした運用等、太陽光発電側で一定の制御を行うことで、系統電力側に協調する次世代太陽光発電の方向性が考えられる。さらに、蓄電池の価格が低下すると蓄エネルギーと連携でき、出力調整機能を保有する発電所としての運用が期待される。

表 3-2 太陽光発電の調整力への影響と寄与の可能性

調整力種類	太陽光発電の調整力への影響	太陽光発電の調整力への寄与
周波数調整力	太陽光発電システムの発電量が秒単位で変動するため、普及に伴いより多くの周波数調整力が必要。	<p>・<u>周波数調整機能</u></p> <p>太陽光発電システム側で、系統周波数に合わせて出力を秒単位で調整、周波数調整として活用。</p>
運転予備力	<p>&lt;ダックカーブ問題&gt;</p> <p>晴れの日等は、ダックカーブ（需要－太陽光）に対応する調整力の確保のため、運転予備力が必要。</p>	<p>・<u>低出力帯を前提とした運用</u></p> <p>日射による変動影響が少ない低出力帯を前提にした運用により、ダックカーブや天候の変化等による影響を最小限に抑制。</p> <p>・<u>出力調整機能</u></p> <p>太陽光発電システム側で、バランスングサービス（複数の小売電気事業の調達・需給管理業務の効率化を行うこと）を提供することで、調整力としての火力発電のサイクリングや負荷追従サービスの必要性を低減。</p> <p>・<u>東西向き設置</u></p> <p>朝夕の発電量を高め、昼の発電量を平準化することで、ダックカーブの影響を低減。</p>
	<p>&lt;計画と実発電量にずれが生じる問題&gt;</p> <p>急な天候の変化等により実発電量が計画値（予測値）より上下するため、より多くの運転予備力（インバランス調整）が必要。</p>	<p>・<u>低出力帯を前提とした運用</u></p> <p>上と同様。</p> <p>・<u>発電量予測のさらなる高度化</u></p> <p>計画値と実発電量が一致すれば、インバランス調整は発生しないため、発電量予測の高度化が必要（現在は前日 12 時、ゲートクローズ（当日の発電計画提出期限）1 時間前の 2 回計画を提出）。</p> <p>・<u>蓄エネとの連携</u></p> <p>中長期的には蓄エネとの連携により天候の変化等があっても蓄エネで調整し、計画値と実発電量を一致させることも可能。</p>

出典：NEDO 作成

具体的な事例として、図 3-3 に系統に対応した米国の First Solar の取組を示す。First Solar では太陽光発電（メガソーラー）の役割を以下のように整理しており、将来的には Grid3.0 が必要になるとしている。

・ Grid1.0\_Basic Solar :

太陽光発電の普及率が低い場合、電力のみを提供する。そのためには発電量（kWh）の最大化が重要である。

・ Grid2.0\_Grid Flexible Solar :

太陽光発電の普及率が中程度の場合、蓄電池を使わず柔軟性を持たせ系統安定化サービス（調整力）を提供する。そのためには太陽光発電の制御が必要になる。

・ Grid3.0\_Firm Dispatchable Solar :

太陽光発電の普及率が高い場合、蓄電池併設により需給調整可能な太陽光発電を提供する。また、安定電源として容量価値も提供できる。

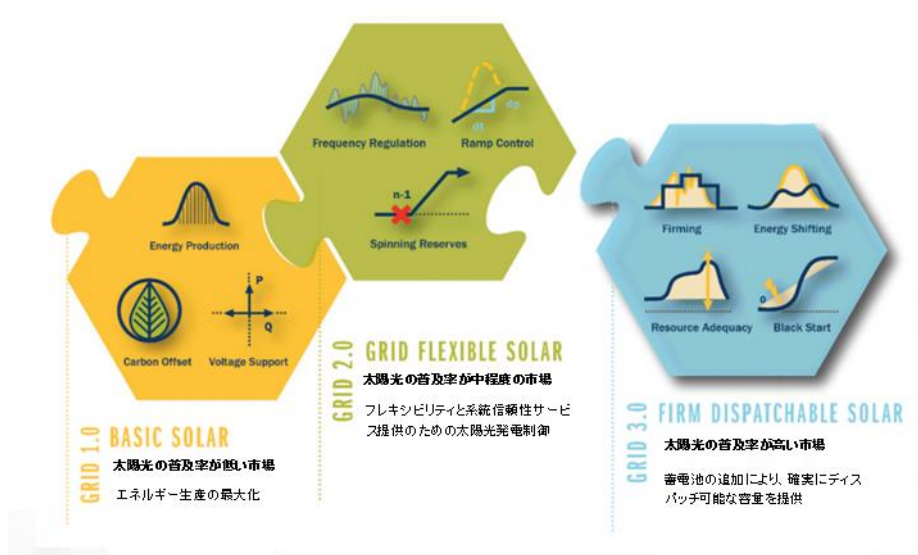


図 3-3 系統に対応した First Solar の取組

出典：Solar Power Europe, Grid Intelligent Solar: Unleashing the Full Potential of Utility-Scale Solar Generation in Europe

## 4. 太陽光発電の将来像（目指すべき姿）

本章のポイント

- (1) 発電コストの低減は進み、既存の市場においては、自立的普及が早期に実現する見込み。これに伴い、これまで太陽光発電が導入されていなかった市場に導入が進んでいく見込み。
- (2) 2050年の技術進展による導入量増加が期待される市場は、建物の壁面、重量制約のある屋根、移動体（車載）、戸建住宅（ZEH、LCCM等）、水上、農地の6市場であり、特に技術開発を推進すべき市場と考えられる。
- (3) IEA（安定政策シナリオ）では、世界全体で2040年までに太陽光発電は約3100GWの導入が予測されている。
- (4) 未来社会の一つの想定として、Society5.0においては、電力部門以外の電化、分散電源化、デジタル化等が進み、需要地近接の太陽光発電は親和性が高い。また、CO<sub>2</sub>の大幅削減には電力部門以外の太陽光発電の大量導入が必要となる。

我が国のエネルギー安定供給の確保や、環境性への適合の観点から、再生可能エネルギーの導入拡大を進めることは非常に重要である。

太陽光発電は、再生可能エネルギーの中でも地域偏在性が少なく、国民誰もが活用できる発電手法であり、導入が進んでいるエネルギー源であるが、既述のように課題があることも事実である。太陽光発電システムの大量導入を実現するには、その特性を十分に理解し、その特長を活かした付加価値を備える事が求められる。

本章においては、太陽光発電の導入に係る将来予測と未来の社会における位置づけについて記載する。

### 4.1 従来型利用から新たな利用形態への展開

2018年7月の第5次エネルギー基本計画において、「エネルギー政策の要諦は、安全性（Safety）を前提とした上で、エネルギーの安定供給（Energy Security）を第一とし、最小の経済負担（Economic Efficiency）で実現し、同時に、環境への適合（Environment）を図るため、最大限の取組を行うこと」（3E+S）としている。その上で、再生可能エネルギーを「現時点では安定供給面、コスト面で様々な課題が存在するが、温室効果ガスを排出せず、国内で生産できることから、エネルギー安全保障にも寄与できる有望かつ多様で、長期を展望した環境負荷の低減を見据えつつ活用していく重要な低炭素の国産エネルギー源である。」と位置付けた。また、「2030年のエネルギーミックスにおける電源構成比率の実現とともに、確実な主力電源化への布石としての取組を早期に進める。」と初めて再生可能エネルギーが主力電源として位置づけられた。

また、再生可能エネルギー大量導入・ネットワーク小委員会の中間整理（2019年8月）における電源の位置づけとして、太陽光発電は、他の既存電源と同じく系統売電用の「競争電源」と地域における自家消費も考慮する「地域活用電源」の2種類の電源に位置付けた。さらに2020年6月には「エネルギー供給強靱化法案」が成立した。今後、新しい政策の下で、コスト低減によって導入が拡大した太陽光発電の位置づけは電源以外の高付加価値の提供も求められていくと期待される（図4-1）。

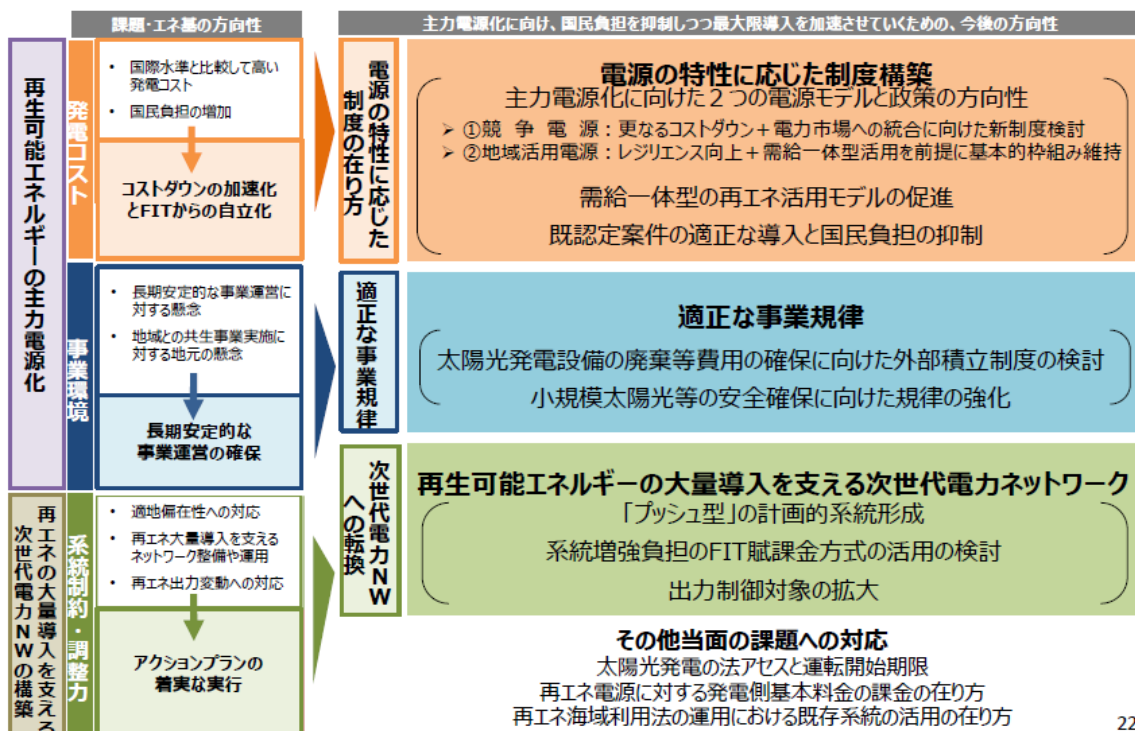


図 4-1 再生可能エネルギーの主力電源化のイメージ

出典：経済産業省

したがって、NEDOでは、太陽光発電が大量に導入されるよう経済性や多様性を高め、エネルギー供給量を増加させていくことを目標に技術開発を進めていく。その際に描く「導入形態・用途」と「発電コスト」は以下の通りである。

➤ 太陽光発電の導入形態・用途

太陽光発電の特性を考えれば、3章で述べた通り、これまでの地上設置の発電事業や住宅設置以外の用途にも広がるだろう。用途に合った発電能力や要求特性を満たすことができれば、新たな市場の創出も可能になる。利用形態の多様化が進められ、需給一体、自家消費型での活用が増えると予想される。

従来市場： 地上設置、住宅屋根設置（一部、蓄電池との連携）

新市場： 建物の壁面、重量制約のある屋根、移動体（車載）、ZEH、LCCM、水上、農地、IoT用途等

➤ 発電コスト

現在の「非住宅用システム」は、主として系統への電源供給（売電）を目的として設置されている。太陽光発電が系統に接続される「電源」として定着するためには、従来型電源と比べて遜色無い発電コストを目指すべきである。また、非住宅用システムの利用方法として電力の自家消費を考えた場合、買電電力料金よりも低い発電コストが実現できれば、導入メリットが生じる。新市場での設置については、その環境に適合できる太陽光発電システムの開発が重要であり、コストについては各々の環境毎の系統から購入する場合の電力単価に応じた目標設定が必要である。

## 4.2 2050年に導入量が増加する市場の検討

将来の太陽光発電の導入状況や利用形態を論じるために、NEDOによる導入ポテンシャルをベースに導入量が増加する市場とIEAによる2040年を中心とした太陽光発電に関して記載する。

### 1. 導入量が増加する市場

#### (1) 導入量が増加する市場の考え方

NEDO では日本国内における太陽光発電が設置されるポテンシャルのある領域について、有識者による委員会にて議論を行い、2050年時点における太陽光発電の導入ポテンシャルと技術開発により導入量が増加する市場を検討した（参考資料）。

#### (2) 技術開発を推進すべき市場

検討結果をもとに、2050年の技術進展による導入量増加が期待される市場は、建物の壁面、重量制約のある屋根、移動体（車載）、戸建住宅（ZEH、LCCM等）、水上、農地の6市場であり、特に技術開発を推進すべき市場と考えられる。このように2050年に太陽光発電を大量導入するためには、これまで太陽光発電があまり導入されていなかった新市場に太陽光発電を適合させるような技術開発は必須である。

### 2. IEAによる導入予測

IEAのWorld Energy Outlook2019（WEO2019）においては、2040年までの世界のエネルギー需給に関する見通しを①現行政策シナリオ、②安定政策シナリオ、③持続可能な発展シナリオの3種類のシナリオで示している。①の現行政策シナリオは、世界各国が今の政策を変更せずに、そのまま歩み続けた場合にどうなるかを示している。②の安定政策シナリオは、世界で公表されている政策イニシアティブなど、各国政府の現在の計画を組み込んだ場合を示している。③の持続可能な発展シナリオは、「パリ協定」で定められた目標を完全に達成するためには、どのような道筋をたどることになるかを推計した場合を示している。②と③のシナリオにおいては、2040年までに新規で設置される発電容量では太陽光発電が欧州以外の地域において、最も多い電源となっている。太陽光発電に関しては、①現行政策シナリオでは2,465GW、②安定政策シナリオでは3,142GW（容量ベースで21%）、③持続可能発展シナリオでは4,815GW（容量ベースで30%）の導入が予測されている（図4-2）。

また、IEAのRenewable 2019においては、より短期の推計を行っており、2019-2024年までの追加設置容量は太陽光が700GWであり、2019年現在の導入量が約500GWであることから、約1.5倍の容量が2024年までの5年間で設置されていると推計されている。700GWのうち、約300GWが分散電源、特にRooftop（屋根市場）での設置が大きく伸びると期待される（図4-3、4）。上述のWEO2019の安定政策シナリオ、持続可能発展シナリオには従来の地上設置、住宅向け以外の市場の拡大は言及されていないが、Renewable 2019には、屋根市場の拡大が言及されていることから、世界でも導入量の拡大には新市場への展開が必要となっている。



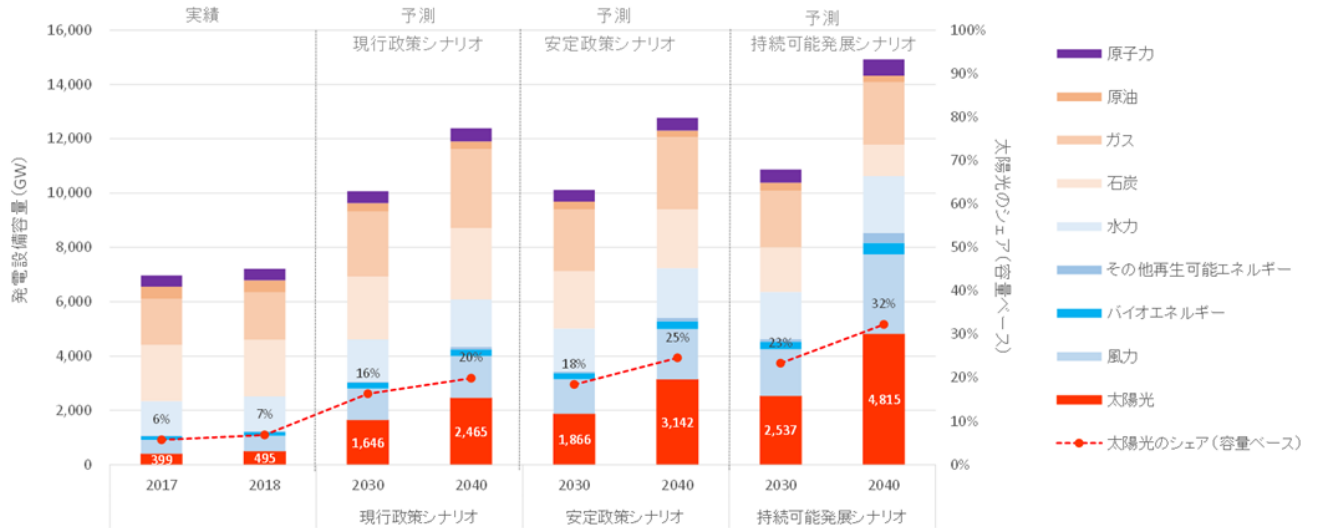


図 4-2 世界における太陽光発電の設備容量見通し (WEO2019)

出典：IEA World Energy Outlook 2019 より作成

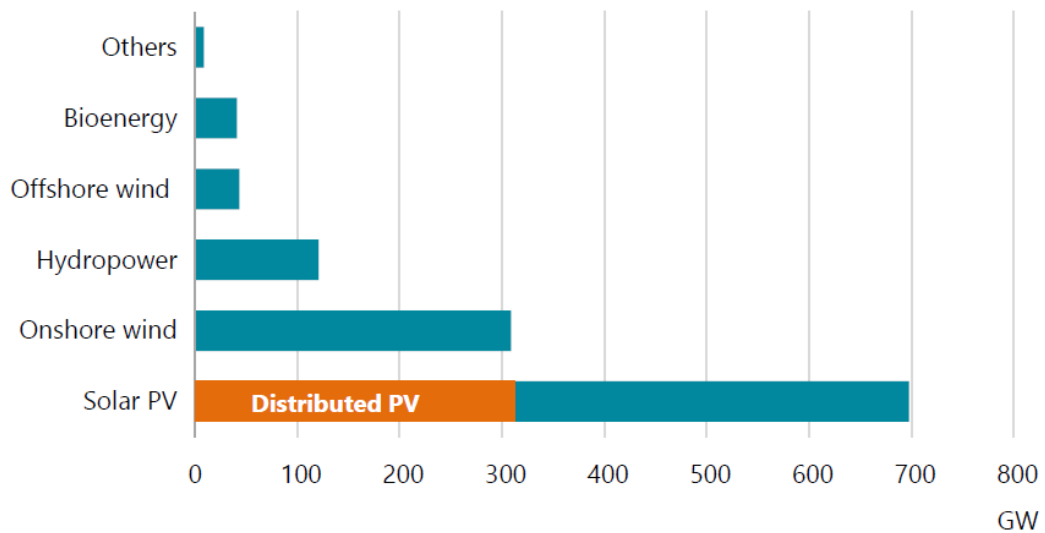


図 4-3 2024 年までの電源別の導入量予測

出典：IEA Renewable 2019

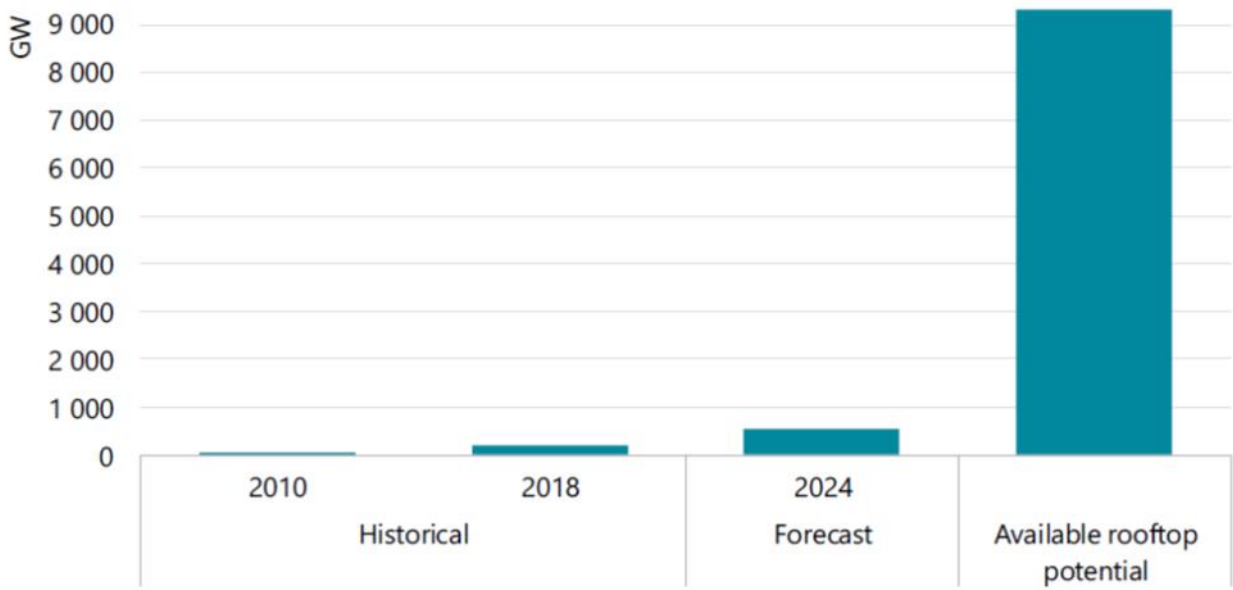


図 4-4 分散型電源の導入見通し

出典：IEA Renewable 2019

### 4.3 再生可能エネルギーと未来社会像

#### 1. Society 5.0 での太陽光発電の位置づけ

近年の IT 化、自動車の CASE (Connected、Autonomous、Shared、Electric)、5G、IoT といった流れはより多くの電子機器が通信によってつながっていくことであり、需要地近接で大型から小型まで対応できるという太陽光発電と親和性を持つ。ここでは、社会システムの将来像として、内閣府から第 5 期科学技術基本計画 (2016 年 1 月) の中で発表された Society 5.0 と太陽光発電との関連について記載する。

Society 5.0 では、気象情報、発電所の稼働状況、EV の充放電、各家庭での使用状況といった様々な情報を含むビッグデータを AI で解析することにより、

- ・的確な需要予測や気象予測を踏まえた多様なエネルギーによって安定的にエネルギーを供給すること
- ・水素製造や電気自動車 (EV) 等を活用したエネルギーの地産地消、地域間で融通すること
- ・供給予測による使用の最適提案等による各家庭での省エネルギー化を図ること

を実現するとともに、社会全体としてもエネルギーの安定供給や温室効果ガスの排出の削減などの環境負荷の軽減を図ることが可能になる (図 4-5)。



図 4-5 Society 5.0 のイメージ

出典：内閣府 Society5.0 ウェブページ

特にイノベーション（デジタル技術）の発展と電力システムの構造転換の可能性は経済産業省で議論がされており、太陽光発電や蓄電池（EV 含む）をはじめとした分散電源が増加するとともに電力の流れが双方向化、その中で、IoT、ロボット、人工知能（AI）、ビッグデータといった、新たな技術が適応されることが期待されている（図 4-6）。

また次世代技術を活用した新たな電力プラットフォームの議論がされており、分散リソースを最大限活用した 3E の高度化、新たなビジネスの基礎として、電力取引における事業機会・需要家選択肢の更なる拡大や電力データを用いた社会課題の解決、新たな価値の創造、AI・IoT による高度なネットワーク運用、情報プラットフォームの形成が挙げられている（図 4-7）。

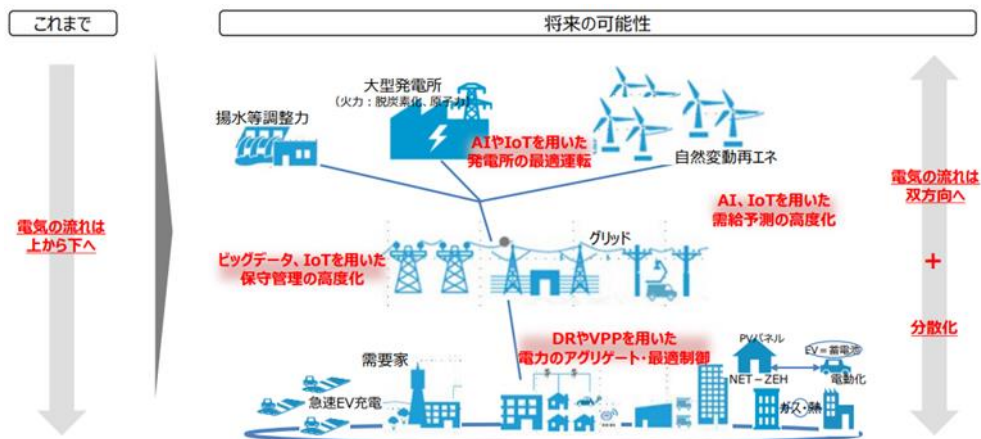


図 4-6 イノベーションの発展と社会システムの構造転換の可能性

出典：第 16 回 総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会／電力・ガス事業分科会 再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会 資料 2 更なる再エネ拡大を実現するためのエネルギー需給革新の推進～

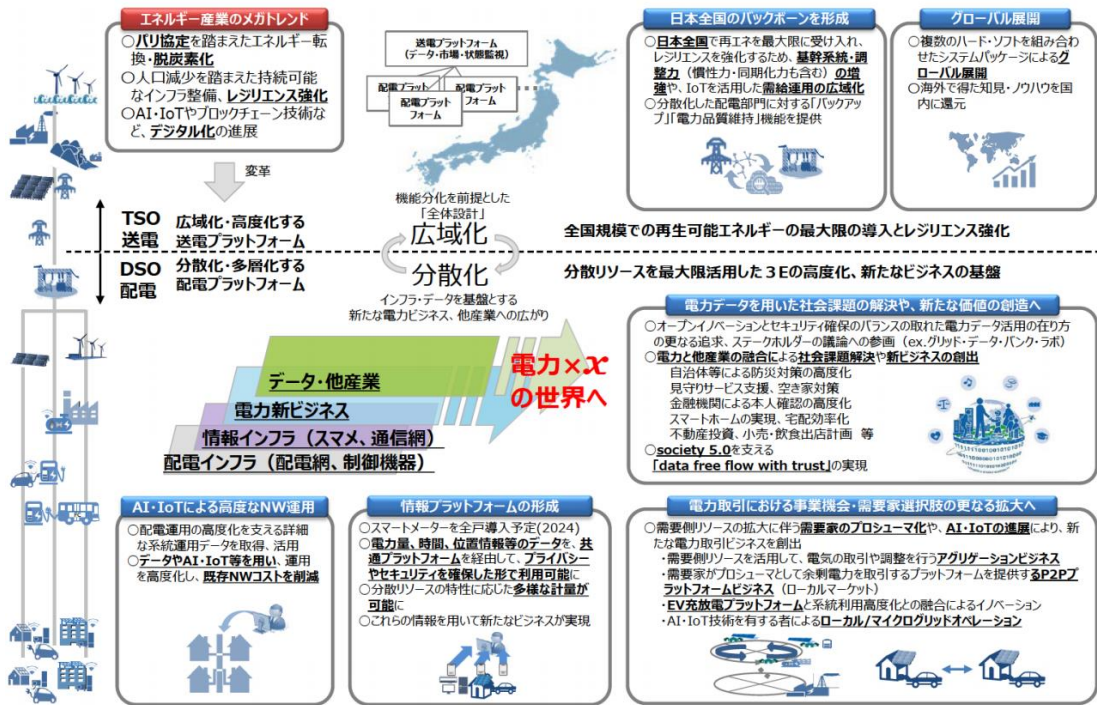


図 4-7 次世代技術を活用した新たな電力プラットフォームの将来像

出典：経済産業省 第 8 回 次世代技術を活用した新たな電力プラットフォームの在り方研究会 資料 7

いずれの将来像も太陽光発電の大量普及を想定しており、通信との連携という方向性を見据えて、太陽光発電の技術やビジネス開発を進めていく必要がある。

さらに、2015年に立ち上がったパリ協定に基づき、日本政府は長期的目標として2050年までにカーボンニュートラルの目標を掲げている。その達成に向けて、2019年6月に「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」が発表された。主なポイントとしては、最終到達点としての「脱炭素社会」を掲げ、それを野心的に今世紀の後半に達成を目指す。特にエネルギー供給面で再生可能エネルギーの大量導入は不可欠であり、電力面以外の他セクターで活用が欠かせないとしている。

<パリ協定長期戦略>

[https://www.meti.go.jp/policy/energy\\_environment/global\\_warming/long-term\\_strategy.html](https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/long-term_strategy.html)

太陽光発電の電力部門・電力部門以外の展開は図 4-8 に示すイメージ図のように、主力電源化やCO<sub>2</sub>削減だけに貢献するだけでなく、Society5.0のようなデジタル化、分散化、強靱化（レジリエンス）など発電以外に便益を同時に創出できる部分が太陽電池の利点である。

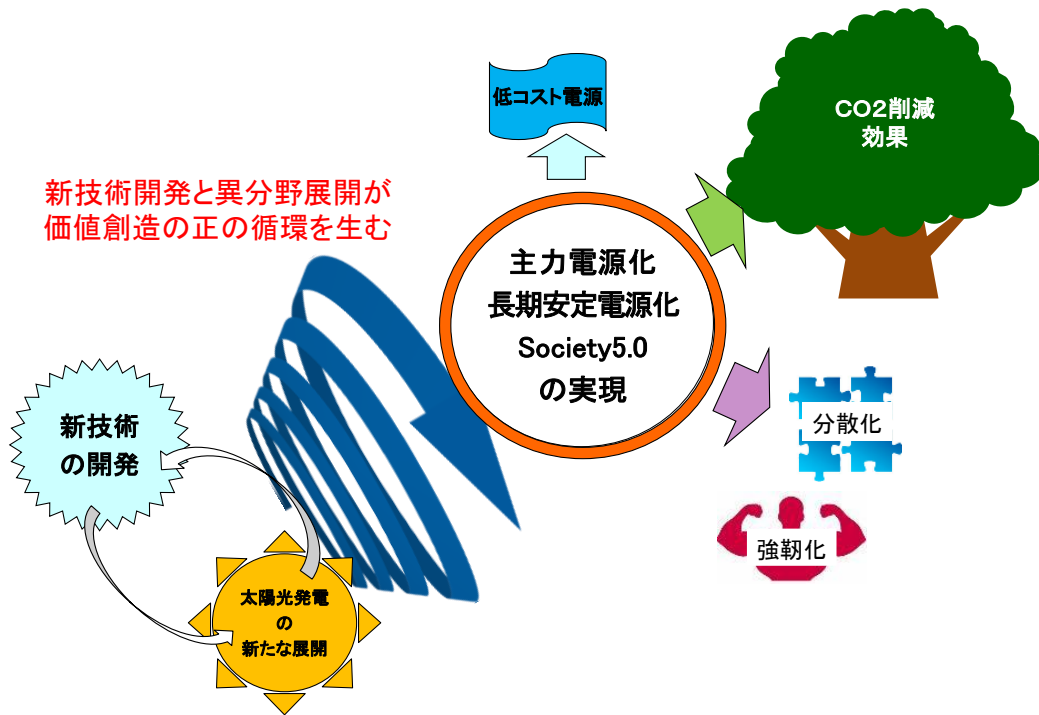


図 4-8 太陽光発電の電力分野・電力分野以外の展開（イメージ）

出典：NEDO 作成

#### 4.4 加速する社会変化に求められる太陽光発電

2020年1月に発生した新型コロナウイルス感染症（COVID-19）が、世界で感染拡大が進んでおり、社会・経済・環境は大きく変わりつつある。その中で特にエネルギー分野に与える影響は大きく、移動自粛や生産活動の低減から世界的にエネルギー需要の低減が起き、原油先物価格のマイナスや電力取引価格の低減の影響が出ている。また、エネルギー需要の低減によるCO<sub>2</sub>排出量の減少は、それでもなお、1.5°Cシナリオ達成に向けては不十分であり、今後の経済活動の回復と新しい社会の構築において、エネルギー分野への投資が重要になる。再生可能エネルギーを中心としたエネルギーシステムへの転換に集中させ、エネルギーインフラの再構築を行っていく必要がある。

テレワークやビデオ会議等在宅勤務による住宅のエネルギー消費増加に対し、再生可能エネルギーの中でも太陽光発電は住宅に設置できるため対応可能である。今後、新型コロナウイルス感染症をきっかけに社会は、一極集中型から分散型に変化していくだろう。その社会構造に対応したエネルギーの供給も変化し、分散型の電源が必須になるため、需要地近接の強みがある太陽光発電に求められる役割は更に期待される。

また、これまでの太陽光発電事業は投資効率の向上を優先し、低価格の海外製モジュールで太陽光発電システムを構築していたが、エネルギー資源を他国に依存する事の危うさや価格変動リスクが顕在化した。今後は社会環境の変化によってより多面的な安全性や供給の安定性を求められることとなり、高信頼性高付加価値の日本製太陽電池モジュールによる発電システムの構築が進むだろう。

## 5. 太陽光発電の将来像の実現に向けた課題

### 本章のポイント

- (1) 太陽光発電の導入は加速され、大量導入社会の実現は目前であり、それを確実なものとし、さらに維持するためには、解決しなければならない課題が存在する。
- (2) 従来から進める発電コスト低減や立地・系統制約に関する問題、災害に伴う安全性、循環型社会の構築の必要性の課題が存在する。
- (3) さらに、産業競争力の観点からも、製造産業に加えてサービス産業まで含めた太陽光発電をめぐる産業基盤の強化が必要である。

本章では、前章で述べた太陽光発電の将来像（目指すべき姿）として、2章で述べた市場、技術動向に加えて、大量導入社会実現に向けて解決すべき主な課題等を整理し、進めるべき技術開発の方向性について述べる。

### 5.1 太陽光発電の更なる導入に向けた課題

太陽光発電の導入を進めていくためには、発電コスト低減に取り組んでいくことが重要であり、太陽光発電の大量導入を実現するための中核的な課題である。発電コスト低減のためには、導入コスト（システム価格）の低減や、製造コストや施工コストの低減にも寄与する太陽電池の高効率化だけでなく、エネルギーマネジメント等、様々なアプローチの技術開発を検討していく必要がある。

また、太陽光発電システムが期待どおりに機能し、計画した発電量を獲得することも重要である。FIT制度の改革によって、より事業性が追求されるようになった現状において、その重要性は増しており、計画時の発電量の推定や、実働時の発電機能の発揮状況、および不具合発生時の対応等、その信頼性が強く求められている。

これらとは別に、近年の導入加速によって、新たな課題も顕在化してきた。それは、①太陽電池モジュールがコモディティ化する中での高付加価値化、②物理的な立地制約と系統制約、③災害等に関連する安全性や既存発電設備の信頼性、④廃棄物とリサイクルである。

- ① 太陽電池モジュールは大量生産により価格が低減しているが、モジュールからシステム含めて企業の利益率向上に繋がり、更に電源供給以外の価値を持つ高付加価値化が必要となる。
- ② 太陽光発電設備の増加により、条件の良い立地が減少しているだけでなく、系統容量との関係でダックカーブ問題や出力抑制等、新たな導入に対して制約が起きつつある。
- ③ 近年、自然災害に関連して太陽光発電設備の破損事例が数多く見られている。また、国内の地上設置件数の大半を占める50kW未満の低圧設備に関して、故障や破損につながる事象の事前検知やその対応が求められている。
- ④ 現在、災害等により太陽電池モジュールの廃棄物が散発的に発生しているが、2030年代にはFIT買取期限を迎えることにより、大量の太陽電池モジュールの廃棄が発生するため、リサイクルが重要になる。

大量導入を支えるべき太陽光発電産業においては、従来この業界の主役であったセル・モジュールメーカーが市場価格の低下に直面している。一方、施工・発電事業・O&M・リサイクルの川下産業だけでなく、ICT技術の進展によってアグリゲーターやVPP等の新しいビジネスモデルの登場により、産業の

構造が変わりつつある状況である。今後、FIT 制度の改革により、産業構造が変わっていくと予想され、それに対応した技術開発が求められてくる。

以降では、これらの課題を次の5つに整理し、解決に向けた取組方針、開発事項等について個々に論じていく。

- 【課題 1】 高付加価値化事業の創出
- 【課題 2】 立地制約と系統制約への顕在化
- 【課題 3】 安全性の向上
- 【課題 4】 循環型社会の構築（信頼性、リサイクル）
- 【課題 5】 発電コストの低減

## 5.2 【課題 1】高付加価値事業の創出

### (1) システムや関連産業の展開

既に述べたように、太陽光発電の世界市場は、かつて日本での生産が 2004 年には 50%以上のシェアを占めていたが、2012 年には日本企業はトップ 10 から姿を消して日本での生産はシェア 9.0%となり、2018 年はさらに低下し 1.2%となっている。通常の地上設置型の太陽光発電については、中国台湾をはじめとした海外メーカーが大きなシェアを持ったのは前述の通りである。今後、地上設置型の市場に注力して日本メーカーがシェア回復を狙っていくのは難しい。

太陽電池モジュールの価格が低下し、コモディティ化している現在、太陽電池モジュールメーカーもより高機能高付加価値が求められる市場に焦点を当てていく必要がある（図 5-1）。

例えば、軽量モジュール（高付加価値）の開発により、これまでに設置できなかった新分野に展開が可能となる。

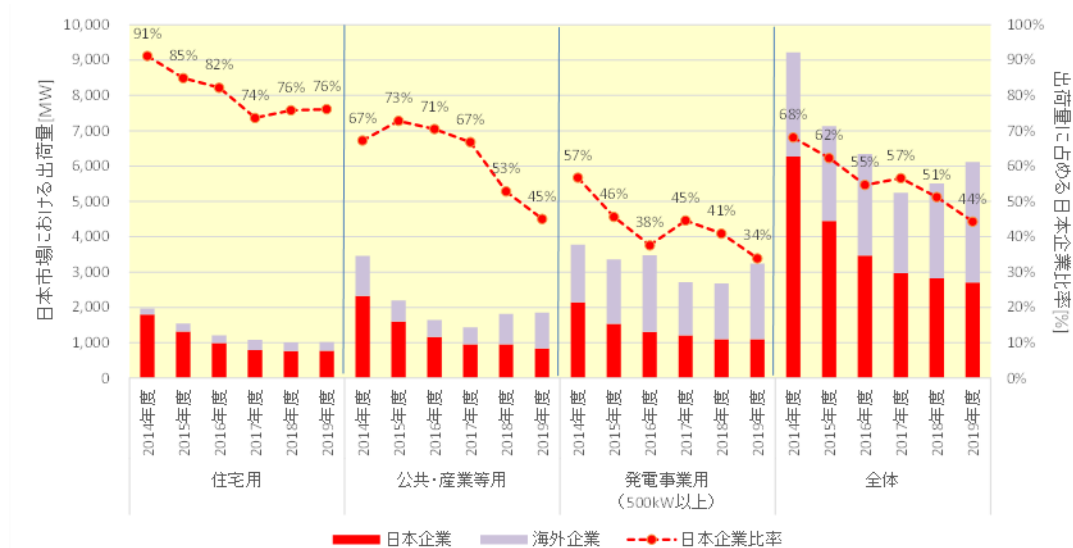


図 5-1 モジュール出荷量に占める日本企業のシェア※容量ベース

出典： 一社）太陽光発電協会：太陽電池出荷統計（各報）（再掲）

図 5-2 に国内太陽電池モジュール市場の推移と 2014 年度比、出荷量の 2014 年度比率を示す。出荷量は 2014 年度と比較して国内では低減傾向にあるが、市場規模の低減率はそれよりもさらに大きくなっている。これは、国内において「セル・モジュールを作って売る」市場に依存しては、いずれ限界が来ることを示唆している。

太陽電池モジュールについては、発電事業との組み合わせや高付加価値製品への展開が必要になってくる。併せて、よりモジュールと連携して装置、材料、システム（PCS、ソフトウェア等）、O&M、リサイクルについても産業競争力の強化を図っていく必要がある。



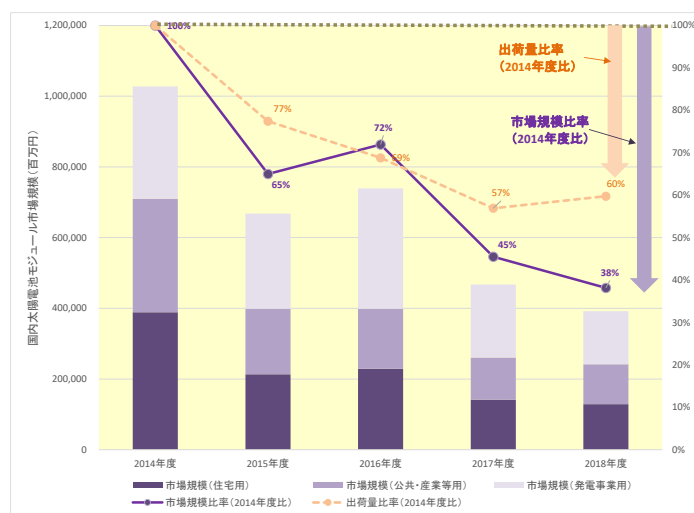


図 5-2 国内太陽電池モジュール市場の推移と 2014 年度比、出荷量の 2014 年度比率

出典： みずほ情報総研(株) 作成

市場規模：モジュール価格×各分野出荷量とし試算、モジュール価格：IEA PVPS：National Survey Report of PV Power Application in Japan の住宅：Residential PV systems(<10kW)のモジュール価格、公共、産業等用：Commercial and Industrial(10kW-1MW)のシステム価格に発電事業用のモジュール比率乗じて設定、発電事業用：Ground-mounted(>=1MW)のモジュール価格、出荷量：一般社団法人 太陽光発電協会：太陽電池出荷統計（各報）国内市場

## (2) これまで太陽光発電の導入がされていない新市場への展開

これまで太陽光発電が設置されていなかった領域として、建物（壁面・窓）、重量制約のある屋根（工場・倉庫屋根）、移動体（車載）の分野に太陽光発電の導入が始まっている。これらの分野の状況について以下に記載する。

### 建物（壁面・窓）：

業務部門のエネルギー消費の削減が世界的に重要な課題となっており、日本でも省エネルギー社会の実現が望まれている。エネルギー基本計画では、業務部門における省エネルギー社会の実現としては、「非住宅建築物については、2020 年までに国を含めた新築公共建築物等で、2030 年までに新築建築物の平均で ZEB（ゼロ・エネルギー・ビル：建物で消費する年間の一次エネルギーの収支をゼロにすることを目指した建物）を実現することを旨とする」と示されている。これは、エネルギー収支ゼロを目指すには、省エネルギーだけではなく太陽光発電等の再生可能エネルギーによるエネルギー創出は不可欠であることを示唆している。

具体的な試算として、NEDO では各種建築物を想定した太陽光を壁面等に設置した際のエネルギー供給についてシミュレーションを調査「BIPV（建材一体型太陽光発電）に関する検討」（2016 年）で実施した。この試算の中では、屋上のみでは省エネルギー・創エネルギー合わせて 83.2%の削減であるが、壁面設置を加えると 96.4%の削減となることがわかった。

また、NEDO では 2019 年に建物の壁面に関する太陽電池の開発項目を把握するため、設計関係企業や建設関係企業に対してアンケート調査を実施した。

このアンケートによると、建築物に太陽光発電システムを普及させていくには、「意匠性」の改善は不可欠という結果になった。太陽電池モジュールの寿命については、建材と同程度の長寿命化（約 60 年）を求める声もあるが、アンケートによると最低限の発電寿命は 20～30 年となった。現在の太陽電池モジュールの寿命は 30 年程度であることから、建物の課題は「意匠性」と

なる。

#### 重量制約のある屋根（工場・倉庫屋根）：

前述の通り、世界各地で太陽光発電のコスト低減や ESG 投資、RE100 の拡大を背景として、企業敷地内に自家消費型太陽発電の設置が進むと想定される。また、4.2. の IEA の予測で述べた通り、世界的にも屋根分野への太陽光発電設備の導入ポテンシャルは大きい。特に工場や倉庫の屋根への設置が進んでいるが、設置を行なった企業にヒアリングをしたところ、一般的な太陽電池モジュールの重量では、屋根の重量制約のため設置できず、屋根を補強していることがわかった。フレキシブルな特性を持つ軽量フィルムモジュールは製品として存在するが、結晶シリコン太陽電池（市販品の変換効率=18~20%）と比較して発電効率が低く、普及していない。

これら重量制約のある屋根への設置を可能とする超軽量モジュールを開発することで、これまで重量の関係で通常の太陽電池モジュールが設置出来なかった工場や倉庫等の構造強度が弱い屋根への導入が可能になる（図 5-3）。



図 5-3 工場屋根への適用例（シリコン系モジュール）

出典：三晃金属工業(株) HP

#### 移動体（車載）：

運輸部門においては、今後、世界的に電気自動車の導入が加速的に進むと想定されている。自動車に搭載する太陽電池で発電する電力は、走行に使用でき燃料低減に貢献できる。また、次世代自動車の急速な増加により充電ステーションなど社会インフラの整備が追いつかない地域においても貢献できる（図 5-4）。

このため、直接、航続距離の延長に貢献できる車載太陽光発電のニーズは高まりつつあり、NEDO では、運輸部門における温室効果ガスの削減、および太陽光発電システムの新市場創出を目指し、「太陽光発電システム搭載自動車検討委員会」を設置し、太陽光発電システム搭載自動車の意義・効果を検討した。同委員会では、「変換効率 30%以上の太陽電池モジュールを使用すれば、自動車のような限られた設置面積でも、1kW の電力を実現することが可能」、「ユーザーの利用パターン次第では、年間の充電回数をゼロにすることが可能」、「CO<sub>2</sub>排出量の削減効果を期待」と分析し、実際に超高効率太陽電池モジュールを設置した自動車による検証が必要であるとした。また、搭

載される超高効率太陽電池モジュールの開発も課題である。

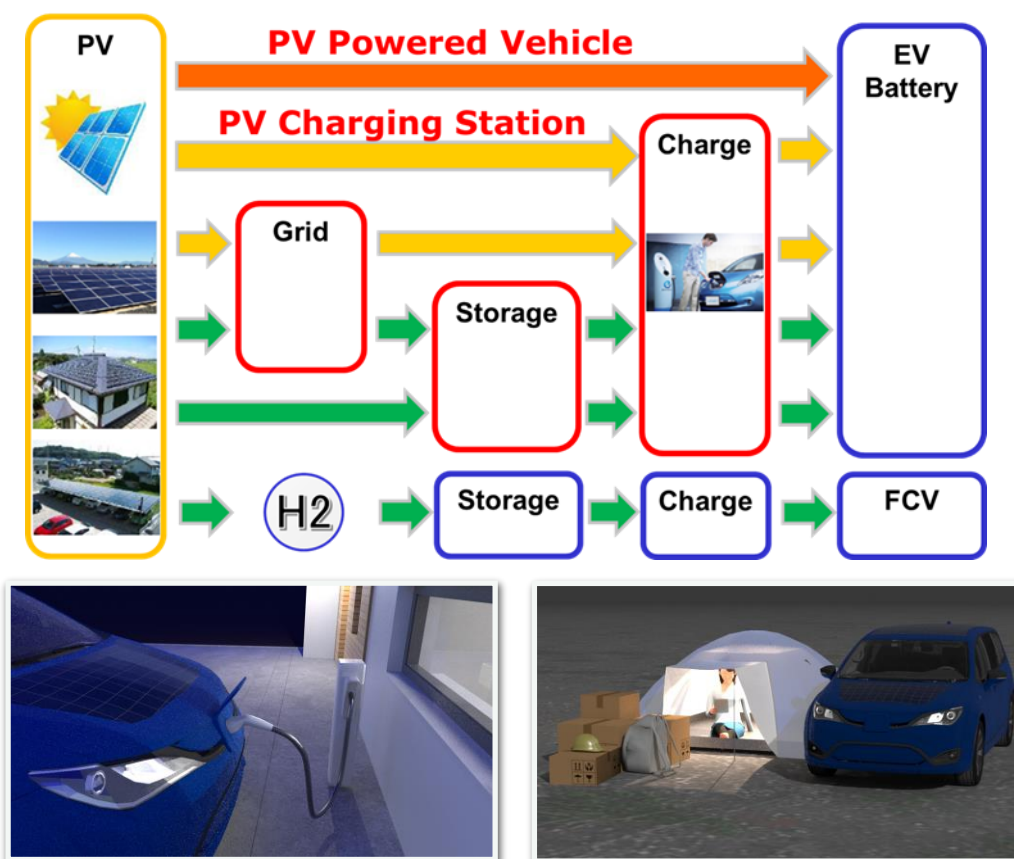


図 5-4 充電ステーションなど社会インフラの整備（イメージ）

出典：NEDO

### 5.3 【課題 2】立地制約と系統制約の顕在化

太陽光発電の導入は加速しているが、導入ポテンシャルは無限ではない。例えば、地上設置について物理的経済的な適地の減少、系統接続許容量の限界等により太陽光発電が導入出来ないという事例も増えてきている。

#### (1) 導入ポテンシャル（適地の減少）

現状における太陽光発電の主な導入形態は、平坦地での地上設置であり、サプライチェーンが既に確立されている。特に、FIT 制度下で収益性が非常に重視されることから、導入コストの安い場所から導入が進んでおり、メガソーラー事業における「適地」は不足してきている。以下に具体的な事例を挙げる。

##### (1-1) 土地コストの上昇

FIT 制度によって、大規模太陽光発電の設置が進んでいるが、導入が進むにつれて、賃借料を必要としない所有地への設置から、借地への設置が増加していく。土地造成費用や系統連系費等の初期コストがあまり掛からない適地の土地賃借料の上昇が指摘されている。

図 5-5 に示すように土地造成費の平均値は上昇傾向にあり、太陽光発電の設置に適した、①土地

造成費の少ない土地、②系統接続の有利な土地は、毎年少なくなっていることが推察される。初期コストがあまり掛からない適地が少なくなれば、土地造成費用や系統連系費用の初期コストが掛かる土地に設置せざるを得なくなる。

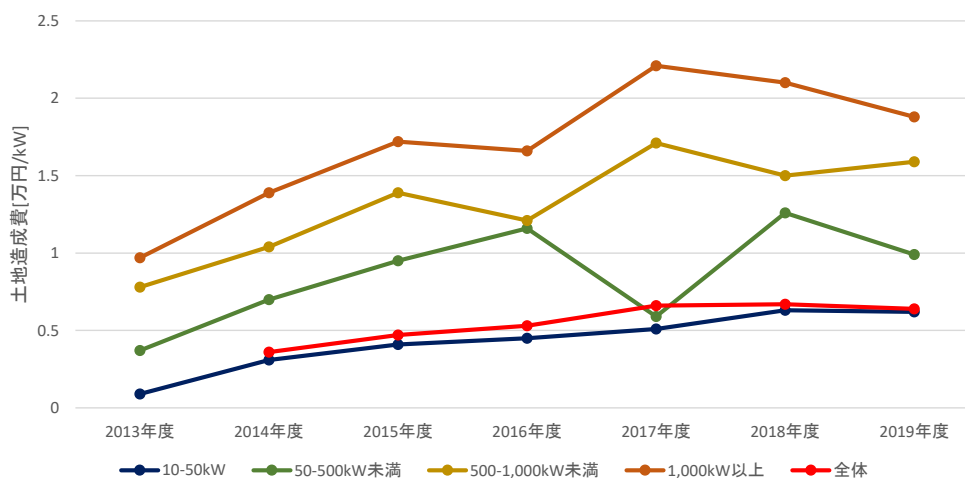


図 5-5 土地造成費の推移

出典： 2013年度：第13回調達価格等算定委員会：資料2 最近の太陽光発電市場の動向及び前回のご指摘事項について（平成26年2月17日（月））、2014年度：第16回調達価格等算定委員会：資料1 最近の再生可能エネルギー市場の動向について（平成27年1月15日（木））、2015年度：第20回調達価格等算定委員会：資料1 再生可能エネルギーの導入状況と固定価格買取制度見直しに関する検討状況について（平成28年1月）、2016年度：第27回調達価格等算定委員会：参考資料 電源種別（太陽光・風力）のコスト動向等について（平成28年11月）、2017年度：第34回調達価格等算定委員会：資料2 太陽光発電・地熱発電・中小水力

## (1-2) 地上型設置に関する懸念

地上設置の太陽光発電設備の増加により、森林の破壊や景観を損なう等反対運動が出てきており、自治体の中には太陽光発電を規制する条例等の動きが広がってきている。表5-1に示すように環境影響評価条例において大規模太陽光発電事業を対象とみなす自治体が多く、土地コスト上昇以外にも大規模太陽光発電の新規設置については逆風となっている。

表 5-1 土地大規模太陽光発電事業において懸念されている主な環境影響

条例	概要
環境影響評価条例	面的開発事業に対する環境影響の回避・低減等の事前の環境配慮を求める（①対象事業、②電気工作物の新設、③面開発の一種）
環境保全・緑地保全等に関する条例	事業者環境配慮を求める環境保全協定等を締結
景観条例等	景観法・景観条例に基づき、位置・規模・意匠の基準等を設定
土地開発等に係る条例等	許認可等の申請の前に事前協議を求める
自然環境等と再生可能エネルギー発電設備設置事業との調和に関する条例	抑制区域の設定、届出・説明会開催の義務化、首長による指導・助言・勧告等
太陽光発電施設等と地域環境との調和に関する条例	施設基準（景観との調和、緑地の保全、防災上の措置、安全性の確保、廃止後の措置等）への適合、近隣関係者への説明、事業計画の届出等
太陽光発電事業の実施に関する条例	事業計画の認定基準への適合、認定申請前の自治体との協議・自治会等への説明等

事業段階	影響要因	懸念されている環境影響	環境保全上留意すべき立地条件等
工事中	樹林の伐採	【動植物・生態系、水象、水質、地形・地質、景観等】 ・動植物・生態系への影響のほか、保水力の低下による地下水・湧水の枯渇、水質の変化、土砂崩壊、景観の変化など、様々な影響が想定される。	・水源地、観光地 ・急傾斜地 ・希少動植物分布域等
	土地の造成	【水質、水象、地形・地質等】 ・造成工事に伴う濁水が河川や農地に流入し、漁業や農業、水道水に影響した事例がある。	・排水先河川等の漁業・農業利用 ・水源地等
供用時	太陽光パネルの存在	【景観】 ・太陽光パネルが視認されることにより、景観への影響が想定される。	・観光地、景勝地、文化的景観、等
		【反射光】 ・パネルに反射した太陽光による住環境への影響が想定される。	・居住地近傍
事業終了後	太陽光パネル等の撤去	【廃棄物等】 ・事業終了後に大量の太陽光パネルが放置されたり、不法投棄される問題が懸念される。	・立地を問わない

出典：環境省 太陽光発電事業の環境保全対策に関する自治体の取組事例集より作成(平成 30 年 6 月)

## (2) 系統接続の制約の顕在化

太陽光発電のように天候により出力変動のある電源が大量に系統に接続された場合、安定した電力供給に支障をきたす可能性がある。図 5-6 に各電力会社管内別の導入予定量(固定価格買取制度、認定設備容量)を示す。この図より、特定地域に導入が偏っており、九州では大規模太陽光発電の

系統への接続については限界に近付きつつある。

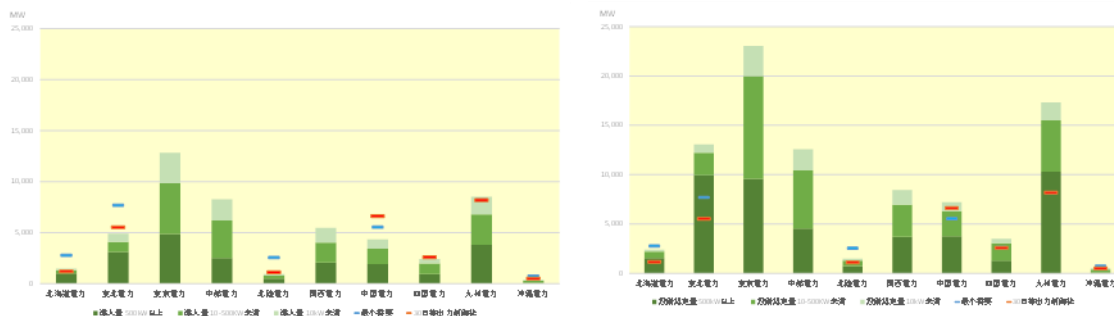


図 5-6 各電力会社管内別の太陽光発電導入量（左）と設備認定容量（右）（2019 年 3 月末）  
と 30 日等出力制御率（2018 年度）

出典：環境省 太陽光発電事業の環境保全対策に関する自治体の取組事例集より作成（平成 30 年 6 月）

この結果、出力抑制が発生しており、発電事業者の事業性に対して大きな影響を及ぼしているとともに、新規に開発する事業において、利益の確保が不透明になっている。現在、オンライン制御等の対策が取られつつあるが、出力抑制の低減に資する技術課題があれば、その対応が必要になってくる（図 5-7）。

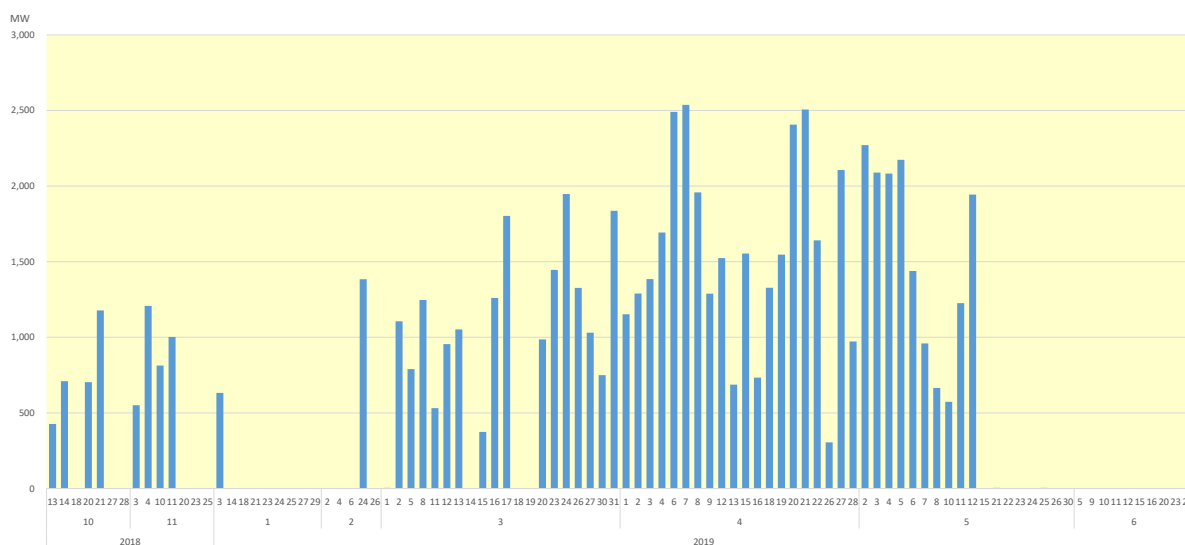


図 5-7 2018 年 10 月以降の出力抑制実績（全て九州電力管内（島嶼部含む））

出典：電力広域的運営推進機関 広域機関システム 再生可能エネルギー関連情報より作成

系統容量に対する変動性の高い再生可能エネルギーの導入比率の国際比較を IEA の分析で実施しており、日本全体ではフェーズ 2、九州地域ではフェーズ 3 になっている（図 5-8）。フェーズが大きい程、系統における変動再生可能エネルギー比率が高いことを示しており、系統側での調整が不可欠になってくる。今後、太陽光発電の導入が増えた場合、日本においては周波数の変動等系統の不安定性といった影響が懸念される。

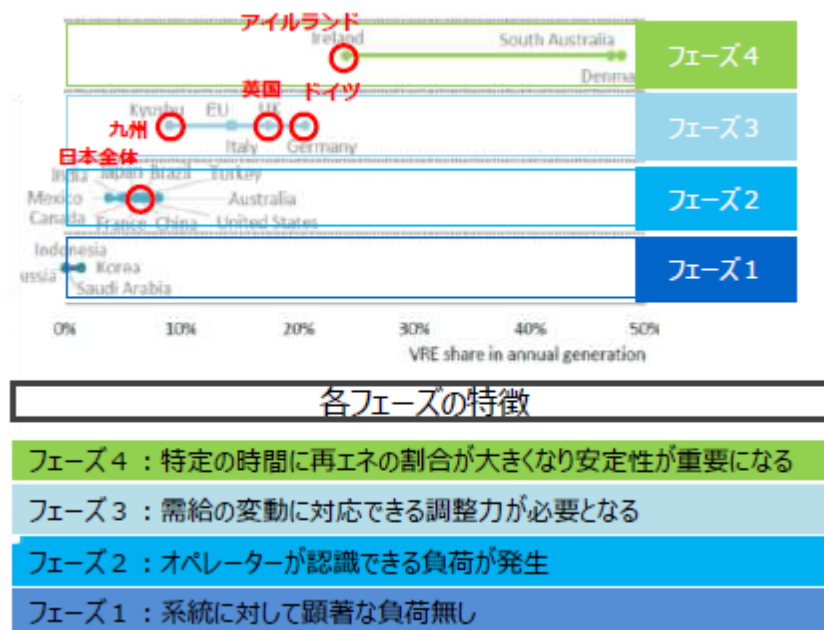


図 5-8 各国の変動再エネ比率と運用上のフェーズ（2017 年）

出典：経済産業省

こうした状況を踏まえ、資源エネルギー庁では、2019 年に再生可能エネルギー大量導入・ネットワーク小委員会にて、日本版コネクト&マネージとして、①空き容量の算定、②緊急時用の枠開放、③出力制御前提の接続見直し等を実施した。また、再生可能エネルギーの大量導入を前提とした系統整備については、電源からの要請に都度対応する「プル型」の系統形成から、電源のポテンシャルを考慮し、計画的に対応する「プッシュ型」の系統形成への転換に向けた検討が進められている。

## 5.4 【課題 3】安全性の向上

### (1) 安全性

近年、風水害によって太陽光発電設備が破損する事例が相次いでいる。要因としては、大型の台風上陸や集中豪雨による異常気象と傾斜地等設置環境が考えられる。近年の主な災害時の太陽電池発電設備の事故状況を表 5-2、図 5-9 に示す。これらより、集中豪雨による土砂崩れといった災害、強風によって倒壊した設備、水害により水没した設備等が報告されている。また、水没したパネルでは感電の危険性も高まる。さらに、図には示していないが、設置不良による火災も発生しており、太陽光発電設備の安全の確保に対する社会的な要請も高まっている。

これら事故状況を踏まえ、太陽光発電の安全性に関して、経済産業省の新エネルギー発電設備事故対応・構造強度 WG では以下の課題を挙げ（※）、対応を進めている。

- ・豪雨や台風に伴う水没や高潮により、感電や設備被害の恐れ
- ・豪雨により設置面や法面が崩壊する恐れ
- ・強風によるパネル自体が破損する恐れ
- ・一部の小出力発電設備が安全上必要な性能を満たしていない恐れ
- ・強風によるパネル飛散、架台損壊の恐れ

※第 15 回新エネルギー発電設備 事故対応・構造強度 WG 資料 3 太陽電池発電設備をめぐる 最近の動向と対応の方向性について（平成 31 年 1 月 21 日）

NEDO ではこれまで設計の参考となる一般、多雪、強風地向けの地上設置型の設計ガイドラインを2017年に暫定版、2019年に改訂版を策定したが、傾斜地、水上、営農等の新たな設置環境に対応した安全対策が求められている。

表 5-2 近年の主な災害時の太陽電池発電設備の事故状況

年	2018年				2019年	
	7月 豪雨	台風 21号	北海道 地震	台風 24号	台風 15号	台風 19号
合計 (発電所数)	19	23	3	3	8	27
原因	浸水	8	-	-	-	22
	土砂崩れ	11	-	-	-	5
	強風	-	20	-	3	8
	高潮	-	3	-	-	-
	地震	-	-	3	-	-



(集中豪雨による土砂崩れ)



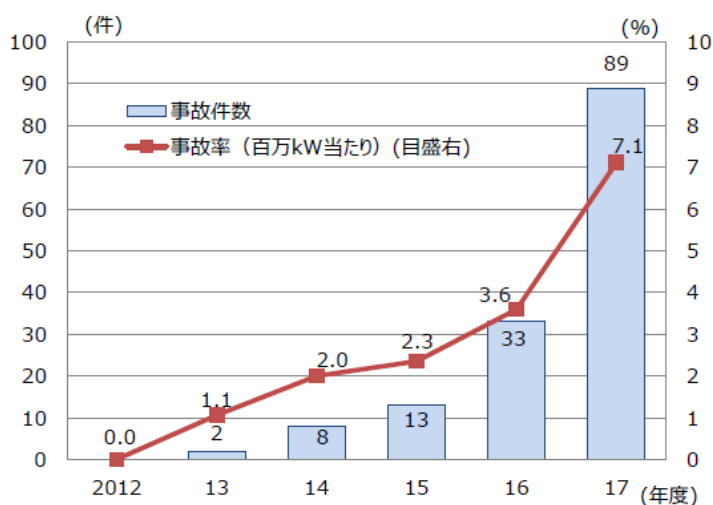
(強風による飛散)

※小出力発電設備は除く

出典：経済産業省 新エネルギー発電設備事故対応・構造強度ワーキンググループ中間報告（2019年11月19日）、第14回新エネルギー発電設備 事故対応・構造強度WG 資料1 今夏の太陽電池発電設備の事故の特徴について（2018年11月26日）

年度	2012	13	14	15	16	17
事故件数	0	2	8	13	33	89
事故率（百万kW当たり）	0.0	1.1	2.0	2.3	3.6	7.1
設備量（1000kW）	202	1,892	4,005	5,536	9,180	12,514

※小出力発電設備は除く



出所：電気保安統計年報(平成29年度)

図 5-9 太陽電池発電設備の事故件数の推移

出典：経済省新エネルギー発電設備事故対応・構造強度ワーキンググループ（2019年9月27日）



## 5.5 【課題 4】循環型社会の構築（信頼性とリサイクルシステム）

### (1) 発電設備の信頼性の向上

太陽光発電は長期間稼働させることを前提に事業性を実施するので、その信頼性は普及の大きな鍵となる。また、過去数年間に亘る厳しい価格競争の結果、製造コストを引き下げするために、製品の品質低下を招いているのではないかとの指摘がある。

従来、メンテナンスフリーと言われていた太陽光発電であるが、現実的には、維持・運転費用は無視できない。大規模発電システムの場合は事業性に影響するため、正常運転を保持するための対応は必要ではあるものの、それが結果として事業性を圧迫することになるのは本末転倒である。こうした費用を抑制するため、太陽光発電設備の信頼性向上や発電量維持は重要である。

太陽光発電システム全体の長期安定電源化を図るためには、太陽光発電設備の維持管理を行うことが必要である。国内に設置されている 50kW 未満の低圧の太陽光発電システムについては、十分な管理が行われていない状況である。

太陽光発電設備の導入が進んでいる九州地域において、公益財団法人九州経済調査協会が 2018 年度に行ったアンケート調査の結果においては、高圧の事業者に比べて、低圧の事業者の方がメンテナンス契約等を実施していないことが分かった。

図 5-10 にメンテナンスの頻度を示す。この図より、高圧の方が低圧よりもメンテナンスの頻度が高くなっており、これは、高圧の発電所においては、電気主任技術者の選任が義務となっているのに対して、低圧では義務になっていないことが要因となっている。従って、低圧の発電所では、状況の把握、確認がされていない施設が多く、このような発電所の状況を踏まえると太陽光発電システムの信頼性評価技術や信頼性回復技術を開発することが重要になってくる。

信頼性評価技術や信頼性回復技術を開発することによって、FIT 終了後も長期間、安定に稼働させることが可能になり、発電コストの低減にもつながる。

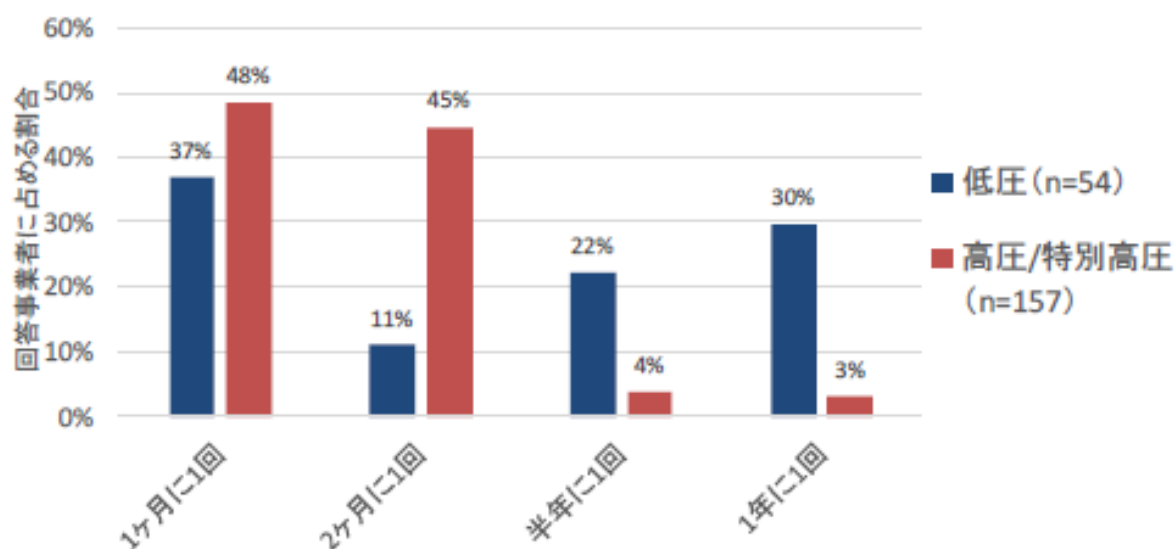
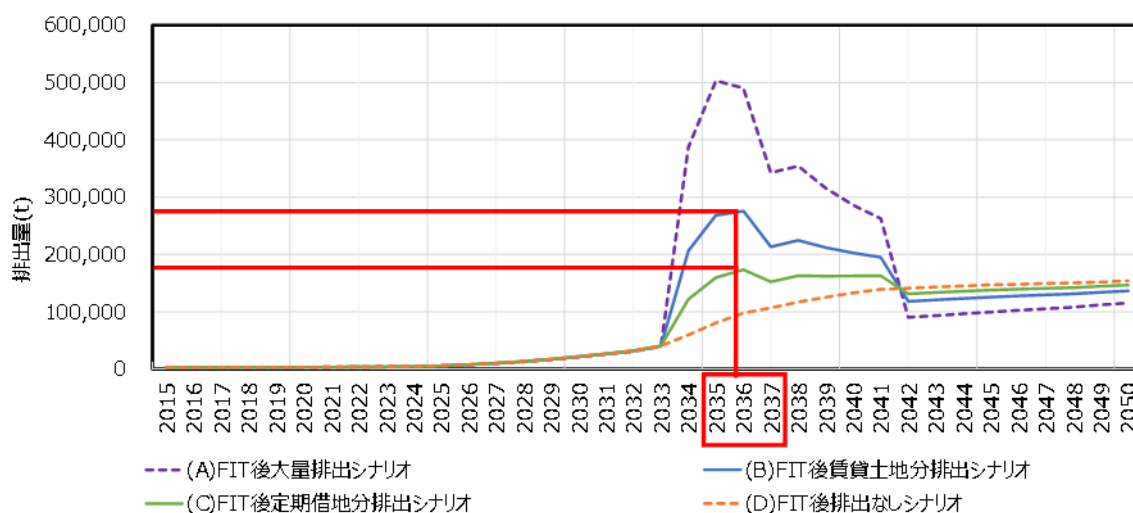


図 5-10 太陽電池発電設備の定期点検頻度と割合

出典：資源エネルギー庁 「平成 29 年度新エネルギー等の導入促進のための基本調査」より  
電気事業法での定期点検の規定は低圧:自主点検、高圧:2回/年以上、特別高圧:4回/年以上

## (2) 大量廃棄時代に備えて

太陽光発電は、2012年7月のFIT制度開始によって、導入は加速し、さらに大幅な普及拡大が見込まれる。一方で、大量導入が実現すると、使用済みの太陽電池モジュールが大量発生することが予想される。使用済み設備の廃棄量について、NEDOが将来の想定パネル排出量のモデルについて、①出力低下に起因して排出される、②FIT買取期間終了も一定期間発電事業が継続されてから排出される、等により現実に即した仮定の下で試算した。本推計によると、太陽電池モジュールの年間排出量のピークは、2035～2037年頃であり、年間約17～28万トン、産業廃棄物の最終処分量の約1.7～2.7%に相当する量となる（図5-11）。



	2020	2025	2030	2036
排出見込み量 (B)、(C)	約0.3万トン	約0.6万トン	約2.2万トン	約17～28万トン
平成27年度の産業廃棄物の最終処分量に占める割合	0.03%	0.06%	0.2%	1.7～2.7%

図 5-11 排出量推計結果

出典：経済産業省、第10回\_総合資源エネルギー調査会\_省エネルギー・新エネルギー分科会/電力・ガス事業分科会/再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会

使用済みのシステムを適正に処分可能な手段や社会システムを確保することが重要であり、現在、経済産業省では廃棄処理費用の源泉徴収的な積み立ての制度化が議論されている。

太陽光発電の循環型社会システムを構築するためには、長期間稼働させる信頼性技術、信頼性回復技術の開発を行うとともに、劣化の少ない太陽電池モジュールについてはリユースで活用、使用済みの太陽電池モジュールについては、リサイクル技術の確立が不可欠である。

リサイクル技術の課題としては、太陽光発電設備は長期に亘る屋外の使用を前提にセル、封止剤、ガラスという複層が堅固に貼り合わされており、分離は困難である。また、モジュール重量の構成（シリコン太陽電池）は約60%をガラス、約15%をアルミフレームとなっており、アルミフレームを外した後の、ガラスをいかに低コストで封止剤等から分離するかが課題となる（図5-12）。また、使用済み設備のリサイクルについては海外でも今後の大きな課題として受け止められており、回収スキームの構築、リサイクルの仕組み、技術開発等が行われている。

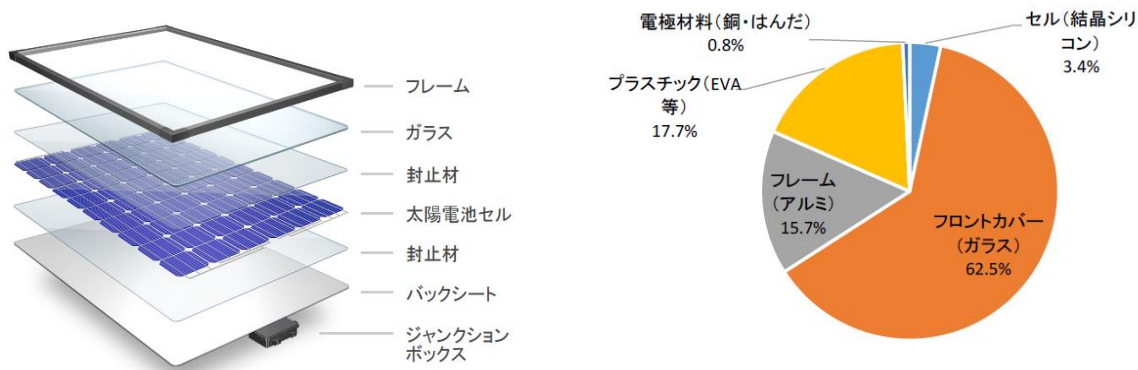


図 5-12 太陽電池モジュールの構造と重量比

出典：NEDO 作成

太陽電池モジュールの撤去・回収については、現在、災害時のみにしか廃棄モジュールが大量発生しない状況であり、太陽電池モジュールについて適切なリサイクル処理が出来る中間処理業者にパネルが集められるような回収スキームが無いのが現状である。他分野のガラス廃棄物の状況も含めて、有効な回収スキームに向けての課題整理が必要となる。

分離されたガラスについては、透過性を高めるためにアンチモン (Sb) やヒ素 (As) が入っているものがあり、このため、リサイクルされるガラスの種類や用途が大きく制限される。NEDO が 2018 年に行った「太陽光発電リサイクルに関する動向および評価手法の調査」では、太陽電池モジュールのガラスのカレット利用可能量は、型板ガラスで約 0.5 万トン/年（型板ガラスのカレット需要量は約 6.4 万トン）、ガラスウールで約 4 万トン/年（ガラスウールのカレット需要量は約 20 万トン）、計約 4.5 万となった。前述したように太陽電池モジュールの年間排出量のピーク時は約 17~28 万トンであり、そのうち廃棄ガラスは約 10~16 万トンとなる。このような状況では、大量廃棄時代に低コストで分離処理が出来たとしても、リサイクルされた廃ガラスが産業廃棄物になる恐れがある。リサイクルされたガラスの品質評価やガラスの組成にあった商品への新規用途開拓が重要である。

## 5.6 【課題 5】発電コストの低減

前章で示したとおり、太陽光発電のシステム価格は着実に低下し、生産量・導入量も拡大している。

我が国の FIT 制度では、買取費用を電気料金と合算して回収する再生可能エネルギー賦課金で賄う仕組みとなっている。太陽光発電を始めとする再生可能エネルギーの普及が進めば、賦課金が増加する。2014 年度の我が国の標準家庭における賦課金負担は約 0.75 円/kWh であったが、2018 年度には 2.90 円/kWh、2019 年度には 2.95 円/kWh となっている。ただし、制度創設初期の 2012 から 14 年度に認定を受けた 40 円・36 円・32 円の事業用太陽光発電の FIT 認定容量が約 5,369 万 kW と大半を占める。改正 FIT 法で 2017 年度から導入した入札制による競争の効果もあり、他の再生可能エネルギー電源に比して新規案件の発電コストは急速に低減している。2019 年度は前年度からの増加率は 2% 程度であるが、2012 年度から 2014 年度の初期案件の買取費用が総額 3.6 兆円の 6 割超を占め、国民負担のボリュームゾーンになっている（図 5-13）。2019 年に FIT 制度改革が議論されているが、太陽光発電システム全体でのコスト低減を進めつつ、賦課金を増やさないことが重要である。

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

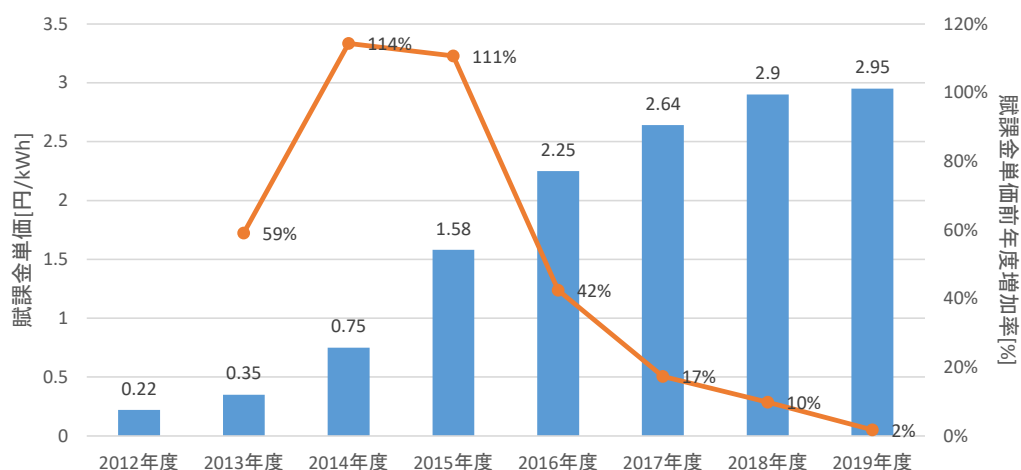


図 5-13 賦課金の推移

出典：東京電力ウェブページ：電気料金・制度 再生可能エネルギー発電促進賦課金単価よりみずほ情報総研（株）作成 ([http://www.tepco.co.jp/corporateinfo/illustrated/charge/1253678\\_6290.html](http://www.tepco.co.jp/corporateinfo/illustrated/charge/1253678_6290.html))

また、2章で述べた通り、太陽光発電のシステム価格を諸外国と比較すると、日本も FIT 導入後、大きく低下しているが、欧米と比較するとまだ高い状況である。この要因としては日射量等も関係するが、モジュールコストだけでなく、システム関連費用、施工、土地造成費用等のコストが高いことが指摘されている。太陽光モジュールのコスト低減だけでなく、システム関連費用や導入に係る費用等全体で低減していくことが重要である（図 5-14）。

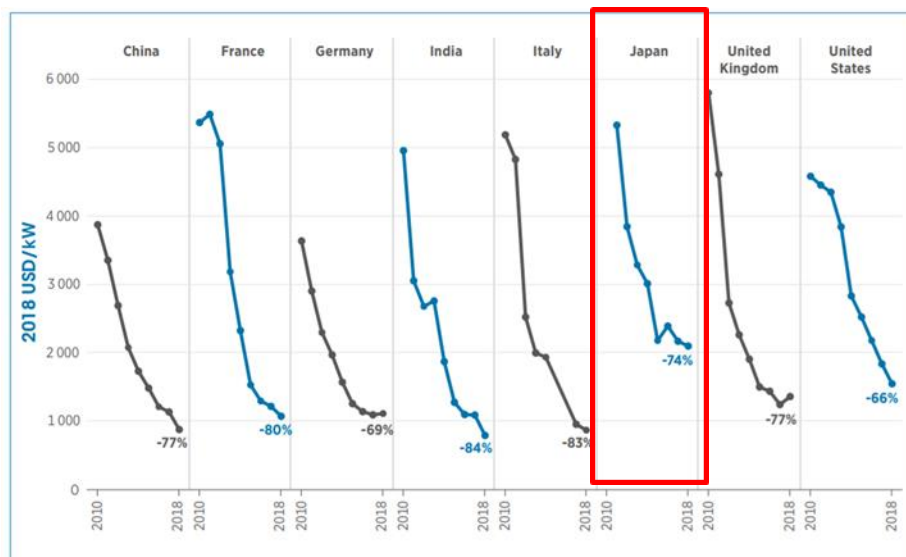


図 5-14 各国の事業用太陽光発電の加重平均システム価格（2010-2018）（再掲）

出典：IRENA, Renewable Power Generation Costs in 2018

## 6. 太陽光発電開発戦略（技術開発ロードマップ）

### 6.1 太陽光発電産業（周辺産業も含め）の高付加価値化

#### (1) 概論

これまで、日本の太陽光発電市場は、住宅屋根置き型の太陽光発電システムを中心に発展してきたが、2012年に開始したFIT制度により、大規模な発電設備の設置が進み2019年3月で49.5GWとなった。FIT制度によって、セル・モジュールだけでなく、施工、発電、システム、O&M等の産業が立ち上がった。今後は、①新たな設置形態、②装置、材料等の周辺産業、③既存設備の長期安定電源化といった観点で高付加価値化と産業競争力の強化を図っていくことが重要である。

#### (2) 新市場への設置（建物の壁面、重量制約のある屋根、移動体（車載）等）

産業・市場の動向を踏まえ、太陽光発電分野における新たな事業・産業創出を加速するためには、これまでとは異なるアプローチが必要となってくる。これにより、低コスト大量生産による地上設置型の海外勢との価格競争からの脱却を目指す。

これまでの発電コストや発電効率を追求するだけでなく、太陽光発電+〇〇としての付加価値材料としての発電電源以外の新たな「使い方」の創造により、“Beyond Power”として、新たな高付加価値技術の開発を進めていく考え方である。

こうした取組として、5章で述べた建物（壁面・窓）、重量制約のある屋根、移動体（車載）といった分野は有望である。また、新分野の設置環境に向けた次世代太陽電池モジュールの出力等の性能を正しく評価するための測定技術についても、これまでの地上設置型の太陽電池モジュールと条件が大きく異なるため、各分野で開発が必要である。以下、各分野の技術戦略について記載する。

#### 建物（壁面・窓）：

壁面への太陽電池の導入については、建物の要求基準を満たす、意匠性・経済性・耐久性（建材と同程度）を可能とする太陽光発電システムを開発が必要である。意匠性にはデザイン性以外にも、従来のシリコン系太陽電池モジュール特有の反射光の眩しさを低減した防眩や色調（建造物と合わせやすいグレー等）も重要な要素となる。欧州では外観から太陽電池モジュールと分らないようなモジュール、システム開発が始まっている（図6-1）。

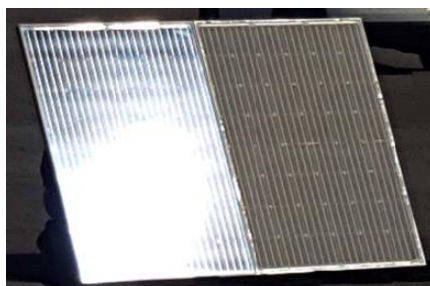


図 6-1 壁面設置の事例（左 カネカ、右 コペンハーゲン）

出典：NEDO（左）および IEA PVPS（右）

また、近年、ガラスを用いた開口部の広い建築物が多いため、窓には透過性と発電効率の両立を兼ね備えたモジュールを開発することで視認性、採光性等が損なわれずに発電が可能になる。

NEDO ではこれまでは太陽光パネルを建物壁面に後付で設置するために、屋内及び壁面への設置工法の低コスト化と、背面ガラス構造の開発を行ったり、反射光の眩しさを低減した太陽光パネル（防眩型結晶系太陽電池）の開発を行ってきた。今後、太陽電池モジュールの建材一体化に向けて、意匠性・経済性・耐久性の技術開発に取り組んでいく（図 6-2）。



左：従来結晶系太陽電池  
右：防眩型結晶系太陽電池

図 6-2 従来太陽電池と防眩太陽電池の比較

出典：(株) カネカ

#### 重量制約のある屋根（工場・倉庫屋根）：

低強度の屋根への設置を可能とする超軽量モジュールを開発することで、これまでの太陽電池モジュールが設置出来なかった工場や倉庫、商業施設等の構造強度が弱い屋根への導入が可能になる。

ペロブスカイト系太陽電池は、フィルム状に製造が可能であり（図 6-3）、屋根形状にあわせた設置といった太陽光発電の新たな用途開拓に繋がるが、モジュールでの発電効率が低く（16%、2020年パナソニック）、更なる効率向上と屋外耐久性の向上が課題となる。また、CIS 系太陽電池については、効率向上と軽量性の向上（従来のガラス基板からフレキシブル可能な基板への変更）が技術開発課題となっている。

NEDO はこれらの課題克服に向けて超軽量モジュールの開発に取り組んでいく。



図 6-3 フィルムモジュールの例（ペロブスカイト系太陽電池）

出典：積水化学工業（株）

#### 移動体（車載）：

高効率太陽電池を EV 車に搭載することによる、航続可能距離、燃費、充電回数の検証を目的に、太陽光発電システムを搭載した自動車の公道走行実証を 2019 年 7 月下旬から開始した。搭載している太陽電池は、NEDO とシャープ（株）が共同開発した変換効率 34%を超える世界最高水準の高効率Ⅲ－V 族系太陽電池セルで、これを車載用にモジュール化した。この太陽電池モジュール

ルをトヨタの「プリウス PHV」のルーフ、フード、バックドアに搭載し、公道走行用実証車を製作した。太陽電池モジュールの高効率化と搭載面積の拡大によって、定格発電電力は市販の「プリウス PHV」（ソーラー充電システム装着車）の 180W と比べて約 4.8 倍の約 860W（※）を実現した（図 6-4）。860W の太陽光発電による航続可能距離は 50km 強となり、日本の車ユーザーの半分は一日の走行距離が 50km 未満というデータがあることから、晴天時の屋外の駐車時や走行時に発電することで充電回数が低減でき、併せて CO2 排出量が低減できる意義は大きい。将来的に電気自動車が増加すると、充電による系統負荷の増大や充電器の増大（電気自動車の増加に対して、充電器の増加が追い付かない）といった負荷が低減される。

\*：セル出力値（シャープ測定）から算出したモジュール出力の合計。

太陽光発電システム搭載自動車検討委員会の中間報告書：2019 年 5 月に太陽光発電システム搭載自動車が取得可能な日射量の計測を試行した結果についてまとめ、第 2 回目の中間報告書

<https://www.nedo.go.jp/content/100892361.pdf>



図 6-4 太陽光発電システムを搭載した公道走行用実証車と搭載したモジュール

出典：NEDO

今後、NEDO では、車載搭載に向けて超高効率太陽電池開発に取り組んでいく。

超高効率太陽電池として、衛星用途に用いられている III-V 系太陽電池は、モジュール効率 30% を超えているが、一般のシリコン太陽電池と比べると 2 桁程度の高コストである。この III-V 系太陽電池を自動車に実装させるためには大幅なコスト低減が必要であり、セルの薄膜化による原料の低減、安価な基板（樹脂、シリコン）への移載（ELO）、高価な GaAs 基板の再利用、発電層薄膜の高速成膜によるプロセスコスト低減等の低コストプロセス技術を開発する。また、量産効果と合わせて 2 桁以上のコスト低減が可能になることが期待される。

他の超高効率太陽電池として、例えば、シリコン系太陽電池とペロブスカイト太陽電池を組み合わせたタンデム型太陽電池があり、車載搭載高効率化のために、シリコン系太陽電池の軽量化やペロブスカイト太陽電池の高効率化といった技術課題の開発を進めていく。

また、このような超高効率太陽電池の技術開発を進めることで、図 6-5 に示す高高度長時間滞空型無人機（UAV）への展開も可能になる。UAV は、インターネット サービス、環境監視、災害救援、通信・放送の中継基地となる空中通信プラットフォーム等、人工衛星の安価な代替手段として注目を集めており、5G 以降の更なる高速通信化に伴い、そのニーズはさらに高まると予想される。昼間に太陽光発電で飛行しながら、余った電力をバッテリーに蓄積し、夜間の飛行に用いることで、理論的には半永久的な飛行も可能となる。充電なしでの航続距離を少しでも伸ばすこ

と、モジュールを軽量化することにより、UAV の実用化は進むと考えられる。



図 6-5 高高度長時間滞空型無人機 (UAV)

出典：JAXA

### (3) 装置、材料等の関連産業

太陽電池モジュールの製造に関しては装置産業や材料産業も欠かせず、シリコン系太陽電池の製造装置としては Meyer Burger (独) が高い市場シェアを持つ。また、シリコン系太陽電池については、BSF から PERC への移行に併せて、PERC セル・モジュール製造に適したターンキーにより、中国企業の世界シェア拡大につながった。

上記を踏まえると、実用化が期待されるペロブスカイト系、III-V系、タンデム型太陽電池の次世代太陽電池については、製造装置と連携を行って開発すべきであろう。低コスト大量生産の製造技術が確立すれば、装置産業にも展開できる。

また、日本の素材材料産業についても、次世代太陽電池の実用化に伴い、これまでのシリコン系や CIS 系太陽電池以外のプレーヤーが新規に参画すると予想され、国内でサプライチェーンが形成出来れば、経済効果も期待できる。このように、装置や材料も念頭に置いた技術開発を進めていくことが必要である。

### (4) 将来のビジネスモデル

2 章において現在のビジネスモデルについて記載したが、将来のビジネスモデルについては、太陽光発電と蓄電池のコスト低減による分散型電源の普及を前提に、IoT 技術の進展、系統影響への対応、RE100 を中心とした需要家の再生可能エネルギー調達ニーズの高まり、さらにはサービス化・プラットフォーム化を志向する事業者によって、以下のような新たなビジネスモデルの事例が国内外で出現しており、傾向を記載する (図 6-6)。



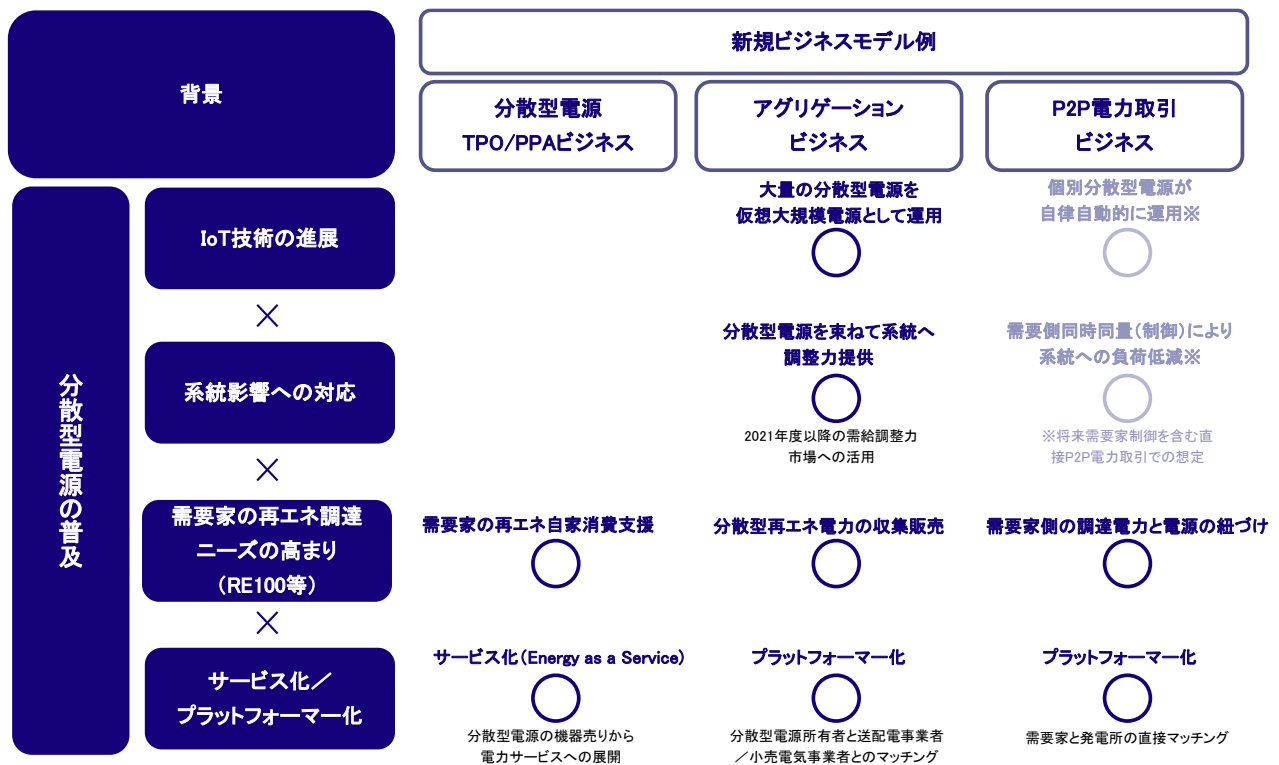


図 6-6 分散型電源の普及とビジネスモデル例

出典：NEDO 作成

### ① 分散型電源 TPO/PPA ビジネス

事業者が太陽光発電や蓄電池を需要家の屋根等に無償で設置し、その電力を需要家に自家消費してもらうことで、需要家から実質電気料金として太陽光発電や蓄電池の費用を回収する Energy as a Service (EaaS) のモデルである。分散型電源が事業者の所有、管理となることで、それらの電源を活用して、②のアグリゲーションビジネスへ展開することも想定される。

### ② アグリゲーションビジネス

IoT 技術を活用し、分散型電源を仮想的に集めて大規模電源として運用するモデルである。これらの電源は 2021 年に設立される予定の需給調整市場を通じて送配電事業者が必要としている調整力として使用したり、再生可能エネルギー電源を必要としている小売電気事業者や需要家に販売されるであろう。

### ③ P2P 電力取引ビジネス

アグリゲーションビジネスでは、事業者が大量の分散型電源を取りまとめて運用するが、P2P 電力取引ビジネスでは、個別の分散型電源が自律自動的に運用するという視点を持っている。現時点ではスマートメーターのデータを介し実需給の後に需要家側の調達電力と発電側の供給電源を P2P でマッチングするサービスが展開されている。将来的には需要家側の発電、需要量の予測により、実需給の前に P2P 電力取引をすることが想定されている。実需給時点で需要家と発電所で制御できることで、系統への負荷低減に寄与する。

さらに今後、FIT 制度の見直しに伴い、自家消費、オフサイト型 PPA モデル、発電量予測等の需給一体での太陽光発電の活用に関連したビジネスモデルが出てくることが予想される。

NEDO においては、これらのビジネスモデルの下支えになるように、太陽光発電だけでなく、系統や蓄電池に関する技術開発を進めている。

## (5) 海外市場への展開

これまでに述べた課題は太陽光発電が導入された国で顕在化しており、対応する技術は、国内市場に限らず、海外市場で評価を得られるため、海外市場に展開させていく。

建物の壁面、重量制約のある屋根（工場・倉庫）、移動体（車載）の新しい環境に設置できる次世代太陽光発電については、海外での需要も大きいため、早期に開発を進めていくとともに IEA の太陽光ワーキンググループを通じて海外に情報を発信していく。海外展開を視野に入れた開発を行うためには、標準化も含め、装置産業、材料産業の開発することが重要になってくるため、NEDO では、世界標準の推進を進め、その情報を国内産業に発信する。

RE100、SDGs への関心が、日本だけでなく海外でも高まってきており、再生可能エネルギーの環境価値が重視されるが、中でも太陽光発電は、製造時のエネルギーも含めて環境負荷が低いため、今後とも、世界で導入が進んでいくであろう。次世代太陽電池モジュールは、現行の太陽電池モジュールより環境負荷が低いことから、NEDO では次世代太陽電池モジュールの技術開発に注力するとともに海外進出の可能性を検討していく。

太陽電池モジュールの廃棄問題に関して、環境価値の観点から、回収率向上を中心とした欧州においても、トータルの環境負荷が低いリサイクル方式の導入が拡大するであろう。また、アジア等の廃棄問題の新興国では、最初から環境負荷が低いリサイクル方式が求められる。NEDO では環境負荷が低く、低コストのリサイクル方式（破砕以外のガラス分離方式）の技術開発を推進するとともに、世界に技術を発信していく。

NEDO では太陽光発電設備の長期安定電源化に向けて、信頼性評価技術や信頼性回復技術を開発しており、廃棄物問題と同様に環境価値が高まれば、海外から注目されるであろう。そのため、各国の設置状況を入手し、各国に沿った信頼性回復技術の開発を行っていく。

また、次世代太陽電池の技術開発や評価手法については、欧米の海外研究機関が先行している分野もあり、これら機関との共同研究も欠かせない。2019 年 10 月には G20 諸国中心の研究機関の連携として RD20（※）という次世代エネルギー技術の国際共同研究の枠組みも立ち上げている。

※RD20 ウェブサイト <https://rd20.jp/ja/>

## 6.2 立地制約と系統制約への対応

ここでは、物理的な太陽光発電設備の制約（適地の減少、土地関連コストの増加等）の他に、系統面からの接続制約について論じる。

### (1) 新たな土地造成を必要としない分野への導入

通常の地上設置型の太陽光発電の立地制約を解消して導入拡大を着実に進めていくためには、従来、規制や設置コストや性能等の理由によって導入が進まなかった分野への設置を進めることが必要である。設置可能場所が広がることで設置場所獲得競争は緩和され、借地料等導入コストの低減効果が

期待できる。また、新たな設置方法が開発され、需要地に隣接した環境で自家消費や需給一体のエネルギーとして活用できる太陽光発電が増加すれば、系統接続を回避し、系統側への負担を軽減できる。

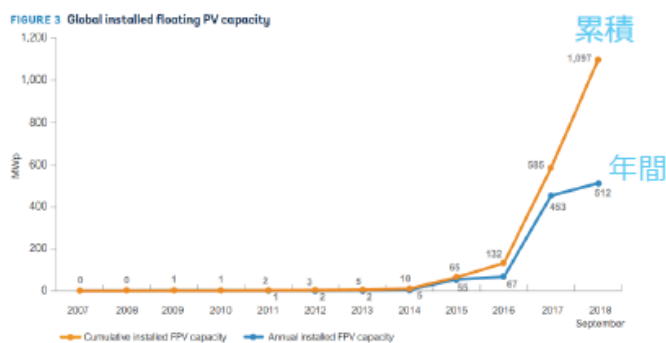
ここでは導入ポテンシャル等の観点で水上と営農の2分野を例示する。これら両分野については従来の地上設置で問題となっている森林伐採や新規の土地造成を伴わず、環境破壊防止の観点からも評価できる分野である。水上、営農分野とも太陽光発電を行いながら、農業や養殖等他産業との両立が出来、土地の多利用が可能となる。

### 水上：

主に淡水の湖沼中心に世界全体で1GWの導入が進められている(2018年9月時点)。特に中国、韓国、オランダ、シンガポール等が積極的である。日本国内でも溜め池や小規模の湖沼等を中心にして、145MW(2018年)が設置されている。

水上設置の初期コストは高いものの、維持管理費が低いこと、水温により温度上昇が抑えられることなどの利点がある。更に湖沼における藻類の繁茂の低減、蒸発の防止などの付加的な機能も評価されている。

世界銀行による試算では世界全体での人工的な調整池に1%に設置された場合404GWと推計されている(図6-7)。また、海外では水力発電とハイブリッドシステムおよび汽水、海洋に向けた設置も始まっている。ノルウェーではサケの養殖場の電源に使う事例もある。これら水上太陽電池モジュールについては、波の応力による耐久性や耐水性、耐湿性、電気安全も含めた長期間信頼性に耐えられるモジュールおよびフロートの開発が必要である。



世界初の水力発電・水上PVのハイブリッドシステム (PV=220kW、ポルトガル・Alto Rabagaoダム)

図 6-7 世界的水上設置の導入予測と実施例

出典：資源総合システム

### 営農：

太陽光発電の下で農業を行う形態であり、農水省による規制緩和等から、国内では1511件(2018年3月)が導入されている。利点としては、現在ではFIT制度による売電収入が農家の副収入として収益がある。また、盛夏の時期に遮光率を調整し、高温による減産を防ぐ効果も期待されている(図6-8)。

営農型太陽光発電の課題としては、架台により農機具の搬入が困難になったり、遮光による作物の収穫低下等が挙げられる。また、高い架台を設置するための風対策や下で作業するための電気安全対策が必要とされている。また、営農分野での導入は系統売電だけでなく、今後、農業の電動化に伴い、自家消費や植物工場の電源としても期待できる。



図 6-8 世界の営農設置の実施例

出典：資源総合システム

水上、営農分野は導入ポテンシャル及び 2050 年の導入量も多い分野であるが、NEDO における技術開発の進め方については、以下のように考えている。

次節（6.3 安全性の向上）で述べるが、NEDO では、水上、営農の安全性については喫緊の課題と捉えており、まずは安全ガイドラインを早急に策定する。安全ガイドライン策定後、状況に応じて水上、営農分野の技術開発を進めて行く。

## (2) 発電量の予測に向けた日射量予測精度の向上

太陽光発電を設置するに当たり、事業性を検討する上ではその地点の年間平均および月平均の日射量のデータは不可欠である。NEDO では 2012 年、全国 837 地点で月平均の日射量データを作成した。2016 年以降、日射量データを更に詳細化して 1km メッシュ化の開発を行った。また、太陽電池の発電量の推定には、吸収波長の関係から日射スペクトルデータも重要となる。そのため、全国 5 地点について、日射スペクトルの推定モデルを作成した（図 6-9）。

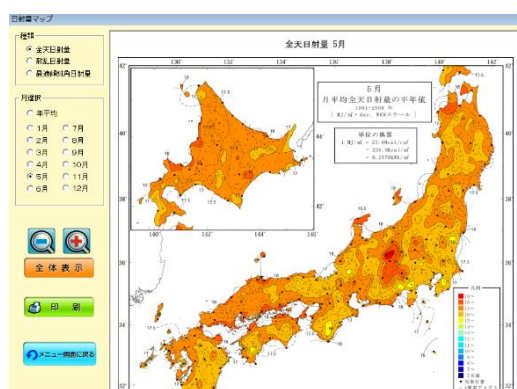


図 6-9 日射量マップ

出典：NEDO 作成

今後、太陽光発電の導入が進むと、太陽光発電の計画時の発電量と実際の発電量に誤差が拡大するため、その誤差を調整する火力発電等が必要となる。より正確な発電量予測および需要予測ができれば、必要な調整力の低減が可能である。

平均的に日射量予測精度が向上すれば、発電予測の精度が上がり、需給バランスが向上し、今まで

確保されていた電源が不要となることにもつながる（図 6-10）。

NEDO では発電量予測の改善等に向けて、日射量予測の技術開発を進めていく。

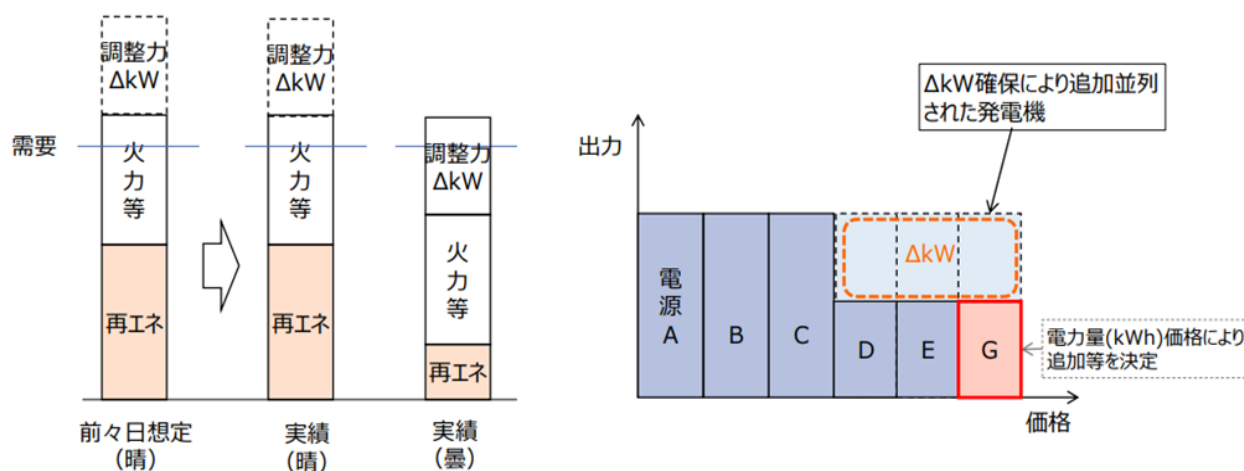


図 6-10 再エネ予測誤差に対する備え（ $\Delta kW$ ）について

出典：電力広域的運営推進機関 調整力及び需給バランス評価等に関する委員会事務局  
再エネ予測精度向上に向けた取組について（2019年4月19日）

### (3) 系統影響の緩和

太陽光発電は火力発電、原子力発電、水力発電と異なり、慣性力を持たず、瞬時に出力が変化することが特徴である。今までの太陽光発電では出力抑制による系統への出力変動の緩和しかできなかった。今後、太陽光発電が大量に導入されることにより、あらかじめ出力を抑制すれば、系統の調整力として利用が可能となる。NEDO では、能動的な出力最適化等の「調整力」を持たせる技術開発を進めていく。

## 6.3 安全性の向上

### (1) 安全性への対応

前述の通り、近年、台風や集中豪雨等による風水害によって太陽光発電システムが破損する事例が顕在化しつつある。太陽光発電システムの被害は、発電事業の採算性を損なうだけでなく、設備の倒壊や飛散による二次被害の発生を招き、太陽光発電システムに対する信頼を損なう恐れがある。太陽光発電システムは、「電気設備の技術基準の解釈」が求める要求に従い構造設計を行うが、一部には基準耐力の不足、強度計算の誤りといった不適切な設計なども見受けられる。被害事例の多くはこうした設計および施工による構造耐力の不足が原因となっている。

こうした状況を受けて、NEDO では被害および破損に起因する人的被害を防ぐために太陽光発電システムの標準設計や安全ガイドラインが必要であると認識した。そこで、太陽光発電システムを長期的に安全な電源として普及させるため、構造安全の課題に関する調査・研究・実証試験を2016年から早急に進めた。特に事業者にとって、JIS C8955の改正により対応が必要な項目について架台・基礎の設計基準となる「地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン2017年版」および①一般地域、②強風地域、③多雪地域について「地上設置型太陽光発電システムの構造設計例」の策定、公開を行った。

その後、実際に設計と実使用の違いを検証するため、架台構造や杭基礎の耐力、腐食の影響に関する調査を行なった。また、強風による破壊のメカニズムと設計強度の検証を行った。この結果に基づき、「地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン 2019 年版」を策定、鋼製架台の構造設置例、アルミニウム製架台の構造設置例と併せて公開した。(図 6-11)。

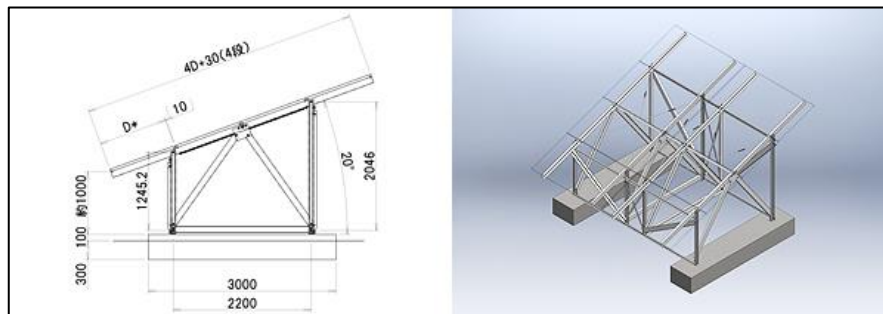


図 6-11 地上設置型太陽光発電システムの構造計例（一般仕様）

出典：地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン 2019 年版

地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン：

[https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP2\\_100060.html#guideline](https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP2_100060.html#guideline)

太陽光発電システムの電気系統に関連する感電・火災リスクを最小限に抑えるよう、事業者に対して火災事例を紹介し、その対策を施した設計・運用方法例として、「太陽光発電の直流安全のための手引きと技術情報」を策定、公開した。また、大雨や局所豪雨の影響で、河川氾濫による太陽光発電システムの浸水被害が生じており、浸水したモジュールは日射により発電するため、感電するリスクがある。その安全対策について「水没安全ガイド」を策定、公開した。

5 章で述べた通り、大型台風や集中豪雨の増加に伴い、風水害による太陽光発電施設への被害は増加しており、安全対策は継続的に必要である。これまでの NEDO を含めた各機関の取組を纏めた俯瞰図を図 6-12 に示す。NEDO では、以下のマップにおいて空白となっている傾斜地、水上、営農等の新たな設置環境に対応した安全ガイドラインを策定する予定である。

		法規制	規格	ガイドライン
構造設備	構築物 建物設置	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電気事業法</li> <li>・電技省令</li> <li>・電技解釈及び解説</li> </ul>	JIS C 8955 : 2017	地上設置型 設計ガイドライン
	地上設置			日本風工学会 ハンドブック
	傾斜地設置			安全な設備設計のための 安全ガイドライン 策定推進中
	水上設置			
	営農型設置			
電気設備	太陽電池 モジュール	<ul style="list-style-type: none"> <li>・急傾斜地法 (指定の有無)</li> </ul>	JIS C 8992、8954、8951	JPEA 水没安全 ガイド
	周辺機器		IEC	
施工管理	一般	<ul style="list-style-type: none"> <li>・農地転用に係る取扱通知 (営農型太陽光発電)</li> </ul>	JIS C 8980、8961	JPEA 設計と施工 改訂5版
	一般		IEC、JESC系統連系規程	
保守管理	発電能力 安全性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・改正FIT(点検・保安)</li> </ul>	JIS C 8907、8953	JPEA 保守点検ガイドライン
	設備維持		JPEA 事業の評価ガイド 経産省 事業計画策定ガイドライン	

図 6-12 太陽光発電の規制、ガイドラインの俯瞰図

出典：NEDO 作成

## 6.4 循環型社会の構築（信頼性の向上とリサイクルシステムの構築）

### (1) システムの発電量維持・評価

太陽光発電事業は、長期間に亘って一定の発電量を確保することが求められ、想定した発電量が得られなければ、事業そのものが成り立たない。そこで、導入する発電システムで期待できる発電量を予め正確に評価する技術、出力低下を回避する技術、将来の発電量を推定できる技術の確立と標準化が求められている。これらの取組は、モジュールやシステムの進化に合わせて開発する必要がある。

O&Mの環境が整っていない低圧（50kW以下）の発電設備において、低コストのO&M技術を開発し、遠隔で故障を早期に検知、交換する等の技術開発を行うことで、発電設備を長期に稼働させることができる。また、太陽光発電設備全体での性能が維持されることで、発電設備の買い取りを踏まえたセカンダリーマーケットにも寄与する。

長期安定電源化のためには、①小規模発電設備等に適用可能な、土木・架台・電気設備等の安定発電の阻害要因の抽出・評価を行い、不具合箇所を特定する信頼性評価技術、②信頼性評価技術で抽出・評価した不具合箇所を低コストで修繕やリスク低減が可能となる技術を開発し、安全性の向上や発電量を回復する信頼性回復技術の開発を行う（図 6-13）。

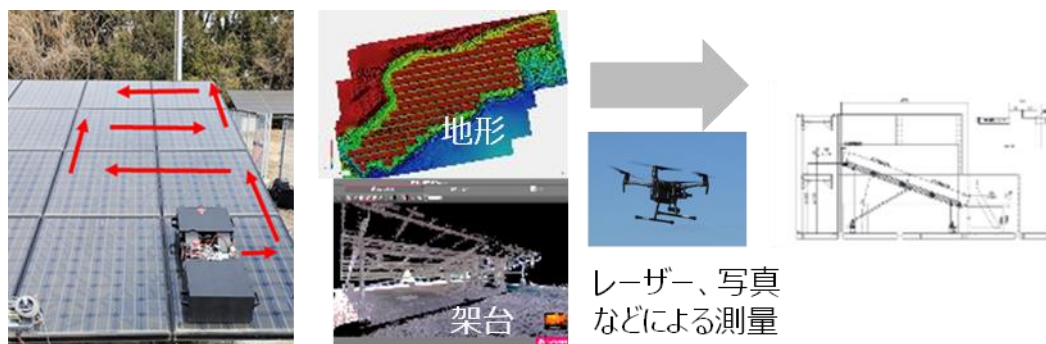


図 6-13 信頼性評価のイメージ（左 ロボットによる検査、右 レーザー、ドローンによる測量）

出典：産業技術総合研究所

信頼性評価技術と信頼性回復技術の具体例を以下に示す。

- ・太陽光発電システムの故障をより早期に検出するための評価技術、およびシステム点検をより短期（短時間）で実施するための測定技術。
- ・現状の屋外測定、オンサイト測定の誤差要因となっている日射変動、スペクトル変動、温度変動による測定誤差を大幅に改善し、かつ測定時間を短縮できる技術。
- ・太陽光発電システム運転状況モニタリング、遠隔監視技術
- ・太陽光発電システムに関する欠陥／故障検出技術、不良箇所探知等のメンテナンス技術
- ・発電所の寿命評価技術
- ・構造診断評価技術
- ・構造補強技術（不安定構造への部材追加、接合部の補強方法等）
- ・最適システム設計技術（構成、発電量、保守性、経済性）

## (2) リサイクルシステムの構築

太陽光発電関連の廃棄物は、①使用後に回収されるもの、②製造・出荷後、使用前に市場から回収されるもの、③製造工程内で発生するものに大別される。②と③については、通常、製造メーカーが回収し適切に処分していると思われるが、大量導入が実現されつつある現在、太陽電池モジュールについては、①の使用済み廃棄物が将来大量に発生することが見込まれることは前述の通りである。

一度市場に出た製品を適切に回収・処理するためには、回収制度の確立、低コスト処理技術の確立、汎用処理設備の開発、リサイクルされたガラスの用途開拓等が求められる。制度に関しては、現在、廃棄物発生状況に応じ、事業者による廃棄費用の源泉徴収的な外部積み立て措置の検討がされており、これを見据えて対応可能な技術を準備しておくことが重要である。

NEDO では、ガラスと封止剤を分離するリサイクル技術の開発を推進してきた。分離技術について廃棄されるモジュールの種類と状況に応じて、破砕、熱分解、物理処理等、複数の技術を開発した。また、2018 年時点の日本のリサイクル技術（NEDO で開発した技術を含む）について、その位置づけを俯瞰できるマップを作成した（図 6-14）。



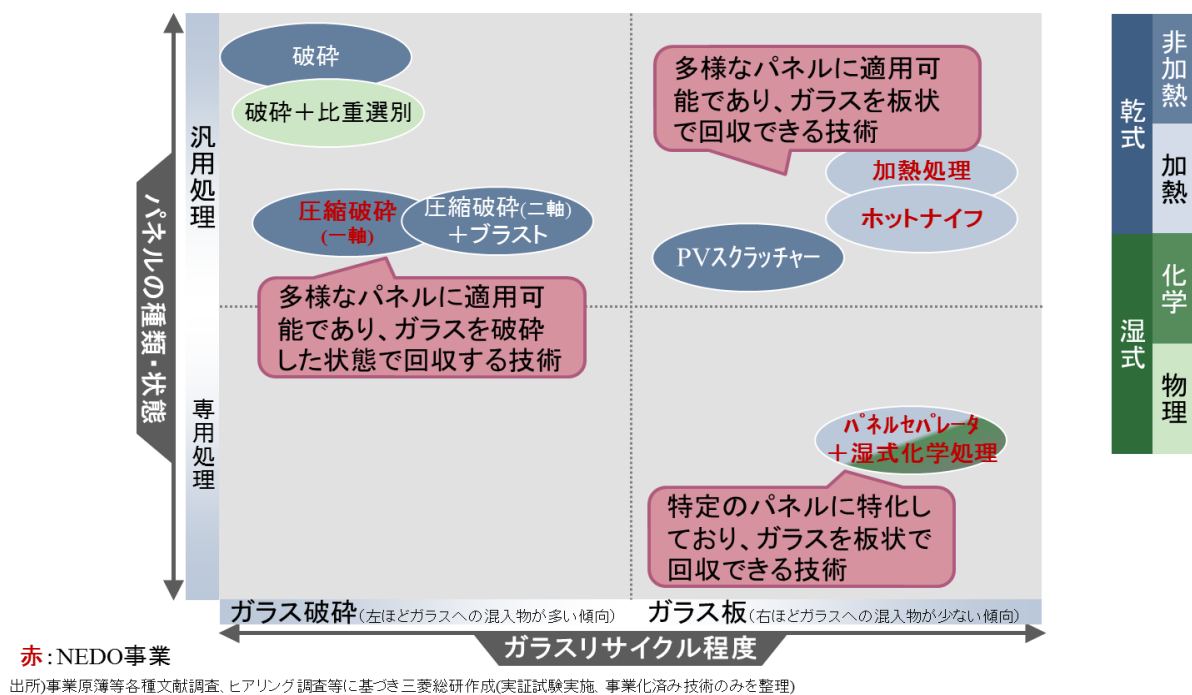


図 6-14 国内のリサイクル技術動向調査結果

出典：2019 年度 NEDO 成果報告会

今後は、更なる処理コストの低減だけでなく、以下の開発が必要となる。

- ・ 太陽光発電設備から太陽電池モジュールを非破壊、低コストで撤去する技術。
- ・ リサイクル技術と連携した太陽電池モジュールの回収制度の構築。
- ・ 処理を行ったガラスの水平リサイクルと新規用途開拓。

### (3) 太陽光発電を中心とした循環型社会の構築

太陽光発電の循環型社会システムを図 6-15 に示す。このような循環型社会システムを構築するためには、

- ①長期保証が可能なモジュールの作製。
- ②信頼性評価技術、信頼性回復技術により、長期安定化稼働の実現。
- ③発電設備廃棄時に劣化の少ない太陽電池モジュールはリユースで活用。
- ④廃棄太陽電池モジュールについてはリサイクル技術開発による資源回収。

が不可欠である。

上記 (1)、(2) のような課題解決を通じて、太陽電池モジュールを中心とした循環型社会を実現していくべきである。

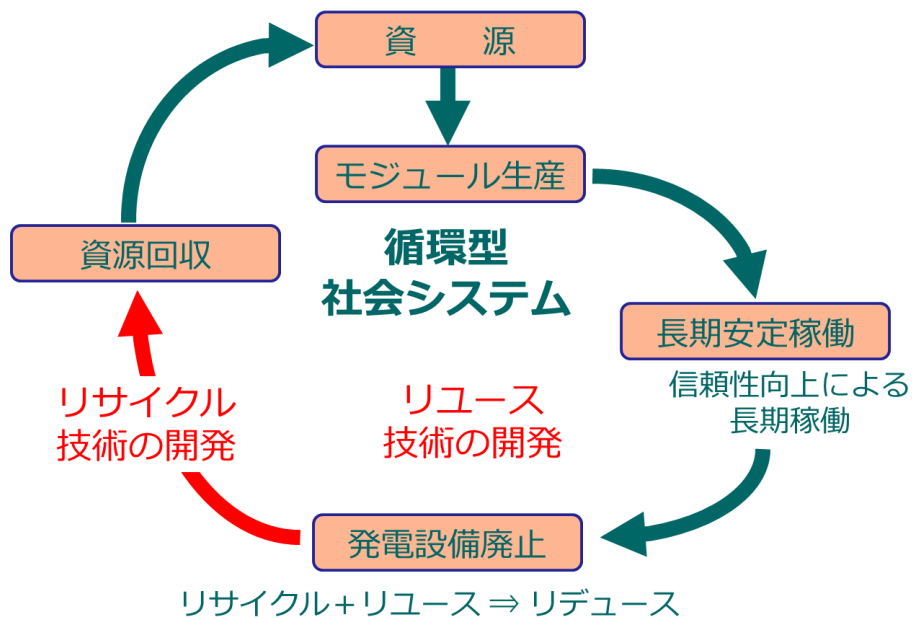


図 6-15 循環型社会システムの構築

出典：NEDO 作成

## 6.5 発電コスト低減に必要な取組

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

### (1) 発電コスト低減の方策

太陽光発電の発電コストの低減に必要な対策を検討するため、2019年度の調達価格等算定委員会で示された試算条件を参考に、入力パラメータ毎の発電コストに対する感度分析を行った。非住宅用システムの結果を図 6-16、住宅用システムの結果を図 6-17 に示す。

なお、本感度分析では、各項目をそれぞれ±1%した際の発電コストを算出し、ベースの発電コストに対する増減率を算出した。（「年」単位で計算している運転年数は、1年未満の微小変化の考察が困難であるため、±5%（±1年）増減した際の発電コストを算出し、ベースの発電コストとの差を5分の1し、増減率を算出した）。

感度分析の結果からは、「設備利用率の改善」、「システム単価の削減」、「モジュール効率の向上」、「運転年数の長期化」、「運転維持の削減」の順に太陽光発電の発電コスト低減に有効であることが分かる。なお、コスト構造は年々変化するので、感度分析は、状況変化が生じれば再度分析するべきものである。

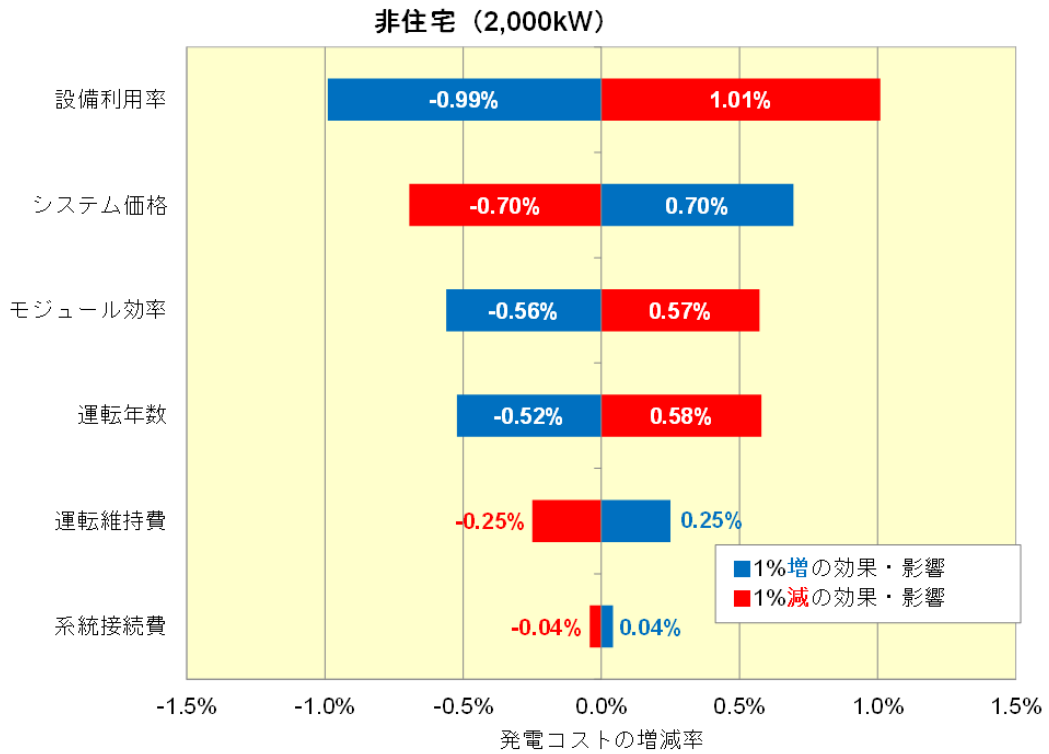


図 6-16 感度分析の結果

出典：NEDO 作成

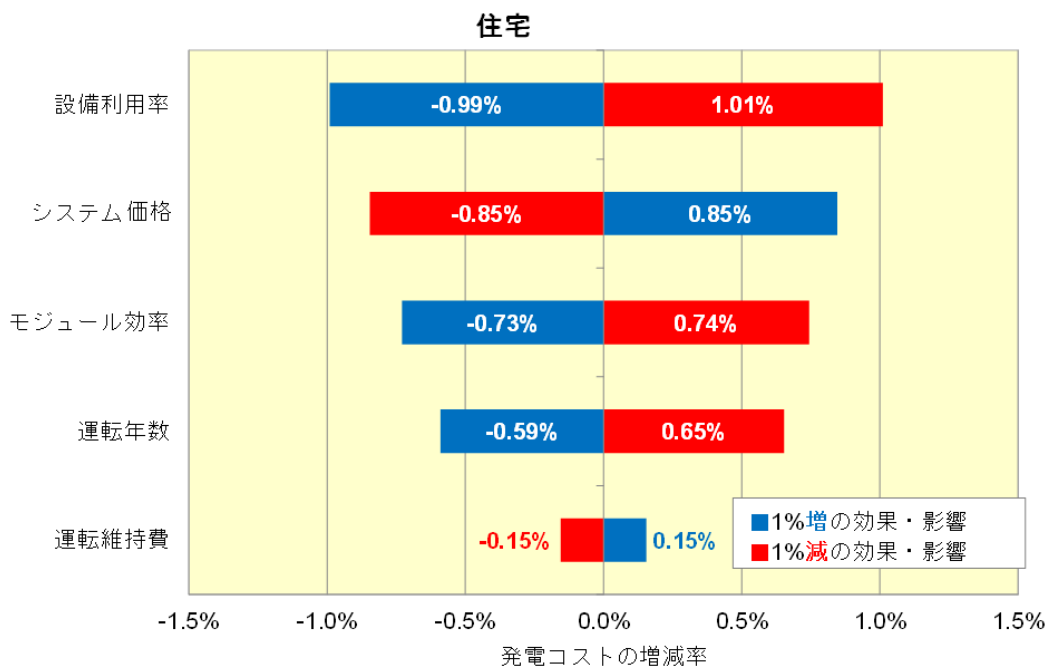


図 6-17 感度分析の結果

出典：NEDO 作成

以下、感度の高い（発電コスト低減への寄与が大きいと考えられる）パラメータ毎に発電コスト低減の可能性を検討する。

## ① 設備利用率

設備利用率は、設備利用期間中、対象設備が定格出力（※）で運転したと仮定して得られる発電電力量に対する実際の発電電力量の割合であり、対象設備の発電性能を評価する指標の一つである。発電コストを議論するためには、運転年数の期間を通じた設備利用率を議論しなければならない。ここでは、それを明確にするため、「平均設備利用率」ということとする。

※ここで、対象設備を系統接続する一般的な太陽光発電設備とすれば、ここでの定格出力とは、パワーコンディショナの定格出力である。

太陽光発電システムの想定する設備利用期間（運転年数）を 20 年とすれば、その期間の平均設備利用率は以下の式 6-1 で算出される。

$$\text{平均設備利用率[\%]} = \{ \text{総発電電力量[kWh]} / (\text{定格出力[kW]} \times 8760[\text{h/y}] \times 20[\text{y}]) \} \times 100$$

... (式 6-1)

太陽光発電の定格出力は、標準試験条件（STC：Standard Test Conditions）での測定値をもって決定されるため、例えば日射条件が基準状態よりも優れた場所にシステムを設置すると出力が増加し、設備利用率が向上する（海外等、日射条件が異なる場所の発電コストと比較する場合は、この点に留意する必要がある）。また、日射条件のみならず、太陽電池モジュールや周辺機器の高効率化、太陽電池モジュールや周辺機器等もあわせた太陽光発電システム全体の設計最適化、太陽電池モジュールの発電性能劣化率を低減することなどの技術的対策によって、平均設備利用率を向上することも可能である（設置するモジュール出力に対して、システム出力を小さくすることで、システムの設備利用率向上を図る）。

さらに、実際の発電事業では、発電設備全体の信頼性を向上させ、発電出力の長期的な低下（劣化）や故障・不具合によるシステム停止時間の短縮（原因の早期発見と復旧）なども平均設備利用率向上の要素となる。また、将来的には蓄電システムとの連携も考慮すべきと考えられる。図 6-18 右表に、設備利用率向上に有効な技術例を示す。

このように、大別すると日射条件等の設置環境と、機器性能やシステム設計等の技術力が発電電力量に影響し、設備利用率の値として表現されるが、図 6-18 に示すように複雑に関係する要素を把握し、日射環境の優れた場所の選定だけではなく、太陽電池をはじめとした個々の技術の向上とシステム全体の最適化を図ることが、発電量の増大（設備利用率の改善）、すなわち発電コスト低減へ寄与することになる。



損失・利得要因	要因元			発電電力量の増加 (技術・手段等の事例)
	外部環境	機器等 セル	モジュール システム	
大気外日射(地球に到達する光エネルギー)				
エアマス(大気透過率)	●			設置場所選定
気候(大気状態、雲量等)	●			設置場所選定
設置方位・傾斜角	●		●	設置場所選定、追尾機構追加
周囲の影	●		●	設置場所選定、個別MPPT制御
日射の損失				
太陽電池モジュール表面の汚れ	●	●		防汚対策
太陽電池モジュールの光電変換(標準試験条件)		●	●	電池性能・光マネジメント技術の向上、太陽電池モジュールの劣化低減
太陽電池モジュール温度	●	●	●	放熱・冷却機能付与
温度起因の性能変化による損失				
太陽電池モジュールからの電気エネルギー				
システム部分での損失				
アレイ内IVアンバランス		●	●	モジュール設置時のフラッシュデータによるソーティング、セル製造品質の均一化、個別MPPT制御
直流回路			●	低抵抗化、配線の最短化
最大出力動作点ミスマッチ		●	●	最大出力動作点追従方法の向上(日陰によるMPPT制御)
電力変換ロス、排熱用電力消費			●	電力変換効率向上(高電圧化等)
終年以外要因(不可逆自然現象)による出力低下、機器性能・設計に起因する事故・故障等		●	●	モニタリング分解能の向上、不具合検出技術、発電量診断等

図 6-18 太陽光発電システムにおけるエネルギー損失の構造と発電電力量増大の方策例

出典：NEDO 作成

## ② システム単価の低減

システム単価低減の取組も必要である。他の性能を向上させつつ、セル、モジュール等のデバイスコスト、BOS コスト、製造コスト及び工事コスト等を低減させなければならない。

## ③ モジュール効率の向上

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

なお、変換効率向上による発電コスト低減は、得られる発電電力が増えるという直接的なもののほか、単位発電量当たりの必要面積の低減によるモジュール・BOS (Balance of System) などの初期費用、土地賃借料などの運転維持費等のコスト削減などにも有効である。一般に今後必要とされる技術を表 6-1 に示す。

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

表 6-1 太陽電池モジュールの開発課題（新市場も含む）

対象分野	主として変換効率に寄与する技術の例
結晶 シリコン	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 超高効率セル構造（ヘテロ接合バックコンタクト技術、ヘテロジャンクション技術、ナノ構造等）</li> <li>・ 表面構造（反射防止、光閉じ込め、超微小テクスチャ、光マネジメント、材料開発、低表面再結合）</li> <li>・ 電極構造（選択電極構造、新構造、低抵抗）</li> <li>・ 高効率裏面接合型セル構造</li> <li>・ 高効率ヘテロ接合セル構造とパッシベーション</li> <li>・ 低表面再結合コンタクト構造、n型基板pn接合形成</li> <li>・ 裏面低表面再結合フラット（テクスチャレス）構造</li> <li>・ 高品質結晶シリコン材料（結晶シリコン成長技術）</li> <li>・ 薄型ウェハスライス技術、カーフロスの低減、ハンドリング技術、ベンダリング特性</li> <li>・ Ag代替金属ペーストと仕様技術</li> <li>・ 低コスト量産プロセス（洗浄、pn形成、パターンニング、薄型基板）技術</li> <li>・ 高スループット量産設備技術</li> <li>・ 代替基板形成技術（epi技術ベース極薄基板）</li> <li>・ 低欠陥、低不純物によるバルクライフタイム向上技術</li> <li>・ 軽量化技術 等</li> </ul>
薄膜 シリコン	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ アモルファスシリコン太陽電池の安定化効率改善</li> <li>・ 微結晶シリコン太陽電池の高性能化</li> <li>・ 高度光閉じ込め技術</li> <li>・ 多接合デバイス技術</li> <li>・ 透明導電膜の改善</li> <li>・ 軽量化技術 等</li> </ul>
C I S	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 高効率セル構造のための新材料開発（ワイドギャップ材料等）</li> <li>・ 高度な光閉じ込め技術（ライトトラッピング）</li> <li>・ 代替基板、代替材料とプロセス技術</li> <li>・ 高品質、高速、低温プロセス技術</li> <li>・ 低コスト、フレキシブル代替基板材料</li> <li>・ 低コスト高品質TCO</li> <li>・ 高価な原材料の低減または置換、薄型化、純度最適化</li> <li>・ 界面制御による再結合電流抑制</li> <li>・ バンド制御による再結合パッシベーション技術</li> <li>・ 欠陥密度低減化技術</li> <li>・ 軽量化技術 等</li> </ul>
Ⅲ－Ⅴ族系	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 新規材料探索</li> <li>・ 多接合化</li> <li>・ 低コスト製膜技術（MOCVD、基盤リサイクル等）</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>・転写技術</li> <li>・高速製膜技術</li> <li>・薄膜化技術</li> <li>・光閉じ込め技術等</li> </ul>
ペロブスカイト系	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高性能化、高耐久性のための新素材開発</li> <li>・(窓用)半透明太陽電池モジュールの開発</li> <li>・多接合化(ペロブスカイト/ペロブスカイト、ペロブスカイト/他電池種)</li> <li>・低日照条件下での変換効率評価</li> <li>・低材料コスト太陽電池(低コスト高品質 TCO (ITO 代替)、低コスト対向電極材料の開発(貴金属電極代替))</li> <li>・低コスト製造プロセス技術(印刷、塗布等)</li> <li>・高耐久性太陽電池(高バリア性材料の開発)</li> <li>・軽量かつ簡易施工可能な太陽電池(フレキシブル基板)</li> <li>・低日照条件で発電効率の高い高稼働率太陽電池等</li> </ul>
共通基盤	<ul style="list-style-type: none"> <li>・太陽電池の評価技術の開発</li> <li>・屋外高精度評価技術の開発</li> <li>・日射量データベースの高精度化・高密度化</li> <li>・太陽電池の経年劣化調査と発電量推定技術の開発</li> <li>・建物の壁面用太陽電池モジュールの長期信頼性評価技術開発</li> <li>・太陽電池モジュールの劣化現象の解明、加速試験方法の開発等</li> </ul>

出典： NEDO 作成

#### ④ 運転年数の長期化

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

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

また、太陽光発電システムの使用期間中は、太陽光発電システムが順調に稼働することが必要である。そのためには、構成機器、設備の寿命、太陽電池モジュール自体の劣化等による制約が生じないように、太陽電池モジュールや機器類の長寿命化技術の開発が重要である。こうした信頼性向上技術の開発により、本項①で述べた設備利用率の向上や、次項⑤で述べる運転維持経費の削減も可能となる。表 6-2 に現在の主な開発課題を示す。

表 6-2 太陽光発電システムの開発課題

対象分野	技術の例
太陽電池	<ul style="list-style-type: none"> <li>・信頼性を向上させる部材・構造の開発</li> <li>・信頼性を正當に評価可能な試験法の開発</li> </ul>
パワーコンディショナ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・運転状況の常時監視による故障の早期発見</li> <li>・SiC、GAN パワーデバイスの開発</li> <li>・部品のモジュール化</li> <li>・電解コンデンサ長寿命化</li> </ul>
システム全体	<ul style="list-style-type: none"> <li>・架台及び基礎構造の改善</li> <li>・部材量の低減や軽量化</li> <li>・施工工数の低減</li> </ul>

出典： NEDO 作成

### ⑤ 運転維持費の削減

日本における太陽光発電システムは、これまで「メンテナンスフリー」が利点に挙げられており、運転維持費はあまり想定されていなかった。しかし、長期安定稼働を実現するための長期的な維持管理等運転維持費が無視できない状況になりつつある。

現在の市場では、主にパワーコンディショナの交換費用が運転維持費の中の修繕費・諸費として見込まれているが、その長寿命化とともに、相対的に寿命の短い部品の部分交換が可能な設計や構造であれば、その交換費用の低減に寄与するであろう。

また、①で述べた太陽光発電システムの性能低下や故障の検出や修復、交換を低コストで実現することが可能となれば、これも運転維持費の低減に役立つと考えられる。

## (2) 発電コスト低減のシナリオと開発目標

発電コスト低減のための方策について述べてきたが、設置環境、使用方法によって目指すべき目標や考えられる道筋は様々である。各々のシステム形態の例と考慮すべきコストをまとめた。

### ① 新市場向け発電コスト低減シナリオ

建物の壁面、重量制約のある屋根（工場・倉庫等）、移動体（車載）等これまで太陽光発電が導入されていなかった領域（新市場）については、各々の環境の要件に応じた太陽光発電モジュール・システムを開発することが重要である。各々の市場毎に太陽電池モジュールの要件や求められるコスト水準は異なるので、一律で示すことは困難であり、各分野のニーズに応じたコスト低減を考えていくべきである。

### ② 非住宅用システム（従来の地上設置）の発電コスト低減シナリオ

現在の「非住宅用システム」は、主として系統への電源供給（売電）を目的として設置されている。太陽光発電が系統に接続される「電源」として定着するためには、従来型火力発電と比べて遜色無い発電コストを目指すべきである。非住宅用システムの利用方法として電力の自家消費を考えたとき、買電電力料金よりも低い発電コストが実現できれば、導入メリットが生じる。

また、2025 年には、発電事業者にも選択される電源となるべく、従来型火力発電並あるいはそれ以下となる発電コスト 7 円/kWh を目指すが、既に「非住宅システム」向けの太陽電池モジュ



ールは広く実用化されており、企業による開発と市場原理によって自律的にコスト低減はしていくと予測される。

### ③ コスト上昇リスク

なお、以下の事項はコスト上昇につながる可能性があり、その動静を観測しておく必要がある。

- ✓ Si 原料、金属材料（Ag、In、Ga、Mo、Ru 等）の価格上昇と供給制約
- ✓ 適地の制約
- ✓ 系統連系制約
- ✓ バッテリー価格等システムコストの価格上昇
- ✓ 為替レート変動による輸入調達品の価格上昇
- ✓ グローバル化によるサプライチェーンの影響
- ✓ 将来のリサイクル費用負担の上昇

## 7. 今後の技術開発の方向性

本章のポイント

- (1) 現在、太陽光発電が導入されていない場所に導入できるような条件を満たす太陽電池モジュール開発に注力する。導入場所や条件に整合させた考え方で目標設定が必要である。
- (2) 導入されている発電システムを維持するために、循環型社会に向けた技術（信頼性、安全性、リサイクル）も重要である。
- (3) 需給一体や系統影響緩和のための需給調整機能が求められている。

ここまで、現状認識（第2章、第3章）、大量導入社会の実現を前提とした課題認識（第4章）、目指すべき方向の確認（第5章）と対処方針（第6章）について述べてきた。これらを踏まえ、NEDO が取り組む技術開発プロジェクトを以下に示す。

### 7.1 太陽光発電主力電源化推進技術開発

これまで述べた通り、我が国の太陽光発電は 2012 年に開始した FIT 制度のもと急速に導入量が拡大し、2019 年 9 月において累積で 50GW を超えた。今後、太陽光発電の適地が減少していく中、これまで導入が困難な場所にも導入を可能とする技術が望まれる。曲面追従を可能とする技術や、軽量化技術、同じ面積で発電量を格段に上げる技術等であり、これらを実現することで建物の壁面、重量制約のある屋根、移動体（車載）等への展開が可能となる。また、FIT 制度による買取期間が終了した後の、小規模発電設備の事業継続性の懸念、および発電事業終了後の設備廃棄の懸念が生じている。

NEDO では、太陽電池モジュールの分解処理コストの更なる低減と資源回収率の向上を進めると共に、信頼性評価技術、信頼性回復技術を進める。加えて、太陽光発電の安全確保のための技術開発や安全ガイドライン策定も必要である。また、出力不安定な電源という特性に対して、太陽光発電システムにおける系統影響への緩和の技術開発も必要である。

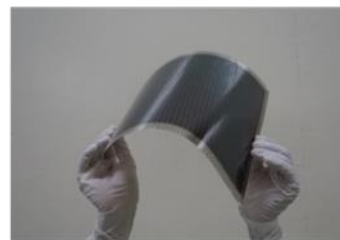
上記の背景から、NEDO では 2020 年から 2024 年の期間で始まる新たな開発プロジェクト「太陽光発電主力電源化推進技術開発」において、これら課題を解決し太陽光発電を主力電源化とすべく発電コストの更なる低減等、有効な技術開発を推進していく。さらにグローバル競争の中で、国内企業、国内産業が海外展開を含め競争を勝ち抜く力を持つことが重要であり、川下産業への展開だけでなく、高付加価値事業で戦える成長市場の創出と獲得も視野に建物の壁面、重量制約のある屋根、移動体（車載）等の新市場への太陽光発電システムの技術開発を進める（図 7-1）。また、これら分野の社会実装は、これまでの地上設置や住宅屋根の設置環境とは大きく異なるので、早期実用化の加速と市場の信頼度獲得のために、ユーザーとなる業（建築業界等）との連携強化が重要である。併せて、太陽光発電の長期安定電源化に向けた信頼性・安全性の推進、低コストのリサイクル技術開発、太陽光発電の系統影響緩和に取り組んでいく。



壁面に太陽光パネルを  
設置した例



狭い面積でも十分な発電量が  
得られる車載用太陽電池



工場屋根に載る軽量かつ  
曲面追従が可能な太陽電池

**図 7-1 2020 年度から始まる新たな開発プロジェクトイメージ（新市場の例示）**

出典：NEDO