

太陽光発電開発戦略 2025

(NEDO PV Challenges 2025)

2025年3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

日本における太陽光発電に関する本格的な技術開発は、1960年代から1970年代にかけて急速に高まるエネルギー需要と石油依存度に危機感を抱いた通商産業省（現在の経済産業省）が石油代替エネルギーの技術開発の必要性を訴え企画した新エネルギー技術研究開発の長期計画、通称「サンシャイン計画」から始まっている。新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）は、1980年10月に石油代替エネルギーの総合開発を主業務とする組織として設立され、このサンシャイン計画の推進を担ってきた。当時の太陽電池は、民生用製品や独立電源として一部実用化しているものもあったが、電力用途として一般に普及するためには、さらなる低価格化を進める必要があった。

その後、1993年には住宅用太陽光発電が日本で最初に販売されたが、その価格は1kWあたり370万円、4kWの太陽光発電システムであれば1,480万円という高価なものであった。補助金制度も1994年から始まったが、それでもシステム単価は200万円/kWと高く、普及する上での価格面のハードルはかなり高いものであった。

さらに普及を進めるためにNEDOは、「発電コスト」という指標を導入した技術ロードマップを策定した。このロードマップでは、2030年までに太陽光発電を主要なエネルギーに発展させることを目標に設定した。

2009年から開始された余剰電力買取制度により、高い価格で買取りを受けることが可能となり、太陽光発電は順調に導入拡大が進むようになった。2012年からは再生可能エネルギー固定価格買取制度（FIT）が導入され、その後は毎年5GWから10GWの導入が進んでいる。

2012年のFIT導入に伴い将来太陽光発電が大量に導入されるようになるため、それを支えるために必要となる課題解決策を検討すべく太陽光発電開発戦略（NEDO PV Challenge）を策定した。

導入量の拡大に合わせ、2013年には約42万円/kWであったシステム単価は、2024年には約26万円/kWまで低下しており、主力電源を目指せるまでになってきている。

一方、世界は地球温暖化への関心の高まりから、2021年4月現在、125か国・1地域が、2050年までにカーボンニュートラルを実現することを表明している。日本も2020年10月に当時の菅内閣総理大臣により2050年カーボンニュートラル宣言がなされている。これらの国におけるCO₂排出量が世界全体に占める割合は37.7%にのぼる。また、世界最大のCO₂排出国である中国（28.2%）は、2020年9月の国連総会で2060年までにカーボンニュートラルを実現することを、習主席が表明、2021年に発表した温室効果ガスの排出量削減目標（Nationally Determined Contribution, NDC）に明記された。

カーボンニュートラル実現のためには、再生可能エネルギーの導入が欠かせないが、中でも太陽光発電システムは、計画から運転開始までのリードタイムが短いこと、太陽電池モジュールの設置枚数で設備の規模を設計できることなどの特性がある。

当初は、石油代替エネルギーのための技術開発、普及のための取り組みであった太陽光発電システムであるが、地球環境問題の有望な解決手段として考えられるようになってきており、太陽光発電の大量導入を基調とした 2050 年カーボンニュートラル実現に向けた太陽光発電開発戦略として、本戦略をまとめた。

目次

I. 概要	1
II. 本論	4
1. 太陽光発電開発戦略の目的	5
2. 太陽光発電を巡る最新動向	6
2.1 温暖化対策として期待される再生可能エネルギーの動向	7
2.2 日本のエネルギー需給の見通しと太陽光発電の目標導入量	9
2.3 再生可能エネルギー発電促進賦課金の推移	14
2.4 世界および日本の太陽光発電の導入状況	16
2.5 世界の生産量の状況、太陽光発電製品のサプライチェーンの状況	19
2.6 太陽電池セル・モジュールの開発動向	22
2.7 運用・保守に係る技術開発動向	27
2.8 使用済太陽電池モジュールの大量排出	30
2.9 主要国における太陽光発電分野の政策動向および技術開発戦略	32
2.10 日本の政策動向	37
2.11 太陽光発電導入拡大のための地域との共生	41
3. 過去の戦略の振り返り	42
3.1 ロードマップ、開発戦略の振り返り	42
3.2 発電コスト低減に必要な取り組み	44
3.3 NEDO 事業の主な成果・進捗	49
4. カーボンニュートラル実現に向けた太陽光発電分野の課題	51
4.1 導入拡大時の適地制約	52
4.2 期待されるニーズの多様化	55
4.3 効率的・効果的な運用・保守	58
4.4 使用済みモジュールの大量排出とリサイクルおよび省資源化	60
5. 目指すべき姿と太陽光発電開発戦略	64
5.1 目指すべき姿	64
5.2 太陽光発電開発戦略	66
5.3 まとめ	82

I. 概要

概要

2023年は世界平均気温が観測史上最高を記録し、気候変動対策に対する危機感がかつてないほどに高まった中で第28回国連気候変動枠組条約締約国会議（COP28）は開催され、エネルギー部門において2030年まで世界全体で再生可能エネルギー容量を3倍、エネルギー効率改善率を2倍にすることが合意された。欧州連合（EU）の気象情報機関であるコペルニクス気候変動サービスによれば、2024年は産業革命前からの上昇幅が初めて1.5°Cを超え、1.60°Cとなったことが公表された。

またIEA公表のWEO2024によると、再生可能エネルギーは2023年から2030年に世界で新設される発電容量の85%から89%、太陽光発電だけで約65%を占めると予測されている。

日本においては、2025年2月18日に第7次エネルギー基本計画が閣議決定された。本計画ではエネルギーの安定供給と脱炭素を両立させる観点から、再生可能エネルギーを主力電源として最大限導入することとしており、導入にあたっては、①地域との共生、②国民負担の抑制、③出力変動への対応、④イノベーションの加速とサプライチェーン構築、⑤使用済み太陽電池モジュールへの対応などの課題に対応し、再生可能エネルギーの長期安定電源化に取り組むこととしている。2040年度の再生可能エネルギーの電源シェアは、4割から5割程度とされており、そのうち太陽光は、23%から29%程度とされている。

また、温室効果ガスの削減目標も、2013年度比で2040年度73%という野心的な目標を掲げている。2040年に向けたエネルギー政策は、まずは、2030年度エネルギーミックスなどで示した具体的な施策を着実に実行していき、必要な施策の更なる具体化や見直しに取り組んでいく必要があるとしている。

エネルギー需給見通しで示されている様々なシナリオにおいても、太陽光発電に対する期待は大きい。太陽光発電設備の大量導入のためには、新たな設置場所の開拓、汎用電源並のコストの実現および変動電源であることによる系統影響緩和のための調整力など解決すべき課題は様々あるが、今回の「太陽光発電開発戦略2025」では、これまでの取り組みの振り返りなどから、以下の4つの課題を抽出した。

【4つの課題】

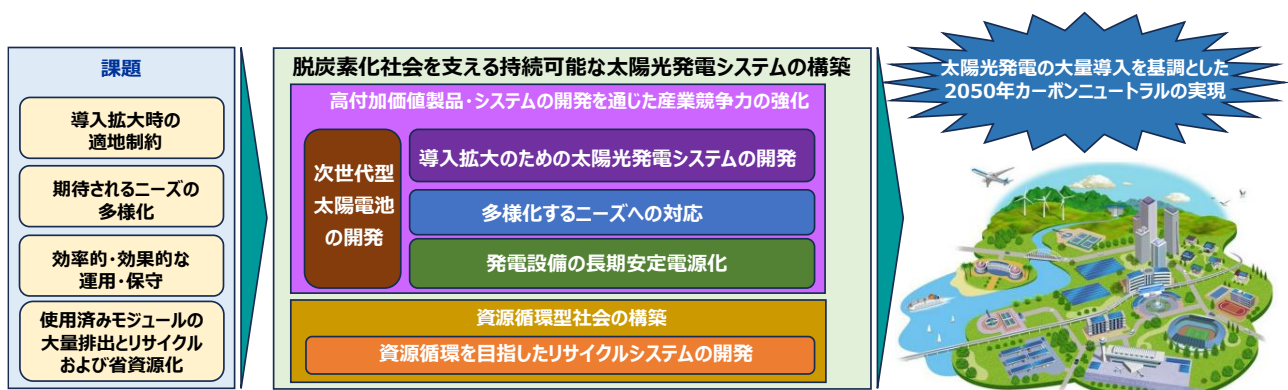
- ・導入拡大時の適地制約
- ・期待されるニーズの多様化
- ・効率的・効果的な運用・保守
- ・使用済モジュールの大量排出とリサイクルおよび省資源化

これら4つの課題解決にあたっては、①高付加価値製品・システムの開発を通じた産業競争力強化の観点を踏まえながら、太陽光発電システムを開発し、大量に導入し、その設備を維持していくこと、②資源循環型社会の構築の観点を踏まえながら、少ない資源で製造を行い、リサイクルなどを活用して資源の再利用を行っていくことという2つの観点が重要である。

このため今回の戦略では、「高付加価値製品・システムの開発を通じた産業競争力の強化」と「資源循環型社会の構築」の2つの観点から開発戦略を策定している。

すなわち、「高付加価値製品・システムの開発を通じた産業競争力の強化」に対しては、①次世代型太陽電池の開発、②導入拡大のための太陽光発電システムの開発、③多様化するニーズへの対応、④発電設備の長期安定電源化関連の開発テーマを設定し、「資源循環型社会の構築」に対しては、⑤資源循環を目指したリサイクルシステムの開発関連のテーマを設定することにより、4つの課題解決を図っていくこととした。

これらの開発を着実に実施し、持続可能な太陽光発電システムの構築を通じて、「太陽光発電の大量導入を基調とした2050年カーボンニュートラルの実現」を目指していく（下図参照）。



太陽光発電開発戦略 2025 における目指すべき姿

II. 本論

1. 太陽光発電開発戦略の目的

2023 年は世界平均気温が観測史上最高を記録し、気候変動対策に対する危機感がかつてないほどに高まった中で第 28 回国連気候変動枠組条約締約国会議（COP28）が開催され、エネルギー部門において 2030 年まで世界全体で再生可能エネルギー容量を 3 倍、エネルギー効率改善率を 2 倍にすることが合意された。欧州連合（EU）の気象情報機関であるコペルニクス気候変動サービスによれば、2024 年は産業革命前からの上昇幅が初めて 1.5°C を超え、1.60°C となったことが公表された。

また IEA 公表の WEO2024 によると、再生可能エネルギーは 2023 年から 2030 年に世界で新設される発電容量の 85% から 89%、太陽光発電だけで約 65% を占めると予測されている。

このような中、世界の太陽光発電設備の累積導入量は着実に増加し、2022 年には 1TW を超え、2024 年には 2TW に達した模様である。これは、中国によるサプライチェーン（製造）の大規模な強化によるところが大きい。

日本においては、FIT 制度開始後、着実に導入量を増加させてきているが、太陽光発電設備導入のための適地が少なくなってきており、地域や社会に受け入れられるよう地域の理解の促進や適正な事業規律の確保を行いながら、導入量の拡大を図っていくことが求められている。

また、2030 年代には稼働を終えた太陽光発電設備からのモジュールの大量排出が想定されており、太陽電池モジュールのリサイクルは大きな課題となっている。

このような太陽光発電を取り巻く環境を踏まえ、脱炭素社会を支える持続可能な太陽光発電システムを実現するため、新たに「太陽光発電開発戦略 2025」を策定した。

本戦略策定にあたっては、以下の点に留意した。

- (1) 現状の課題解決と 2050 年カーボンニュートラル実現を見据えた課題設定を行う。
- (2) 高付加価値製品・システムの開発を通じた新産業・市場創出の視点を盛り込む。
- (3) 資源確保、循環型社会の構築の視点を盛り込む。

2. 太陽光発電を巡る最新動向

本章のポイント

- (1) 2023年11月に開催された第28回国連気候変動枠組条約締結会議（COP28）では、エネルギー部門において2030年までに世界全体で再生可能エネルギー容量を3倍、エネルギー効率改善率を2倍にすることが合意された。また、IEAによるWEO2024では、再生可能エネルギーは2023年から2030年に世界で新設される発電容量の85%から89%、太陽光発電だけで約65%に貢献すると見通されている。
- (2) 世界の太陽光発電設備の累積導入量は着実に増加し、2022年には1TWを超え、2024年には2TWに達した模様である。これは中国によるサプライチェーン（製造）の大規模な強化によるところが大きく、結果として中国がサプライチェーン全体で大きな割合を占めるようになった。しかし、サプライチェーンの一極集中は、供給の脆弱性などを引き起こすため、欧米、インドなどは、自国で一定割合を製造できるよう数値目標の設定やインセンティブなど各種政策を導入している。
- (3) 単接合シリコン太陽電池の高効率化は着実に進展しているが、限界効率に近づいてきている。このため、単接合シリコン太陽電池の効率を超える次世代型太陽電池の研究開発も活発となっている。また、セルサイズ、モジュールサイズの標準化や製品保証期間・出力保証期間の長期化が進んでいる。
- (4) 日本においては、2012年のFIT制度開始後、着実に導入量を増加させてきているが、太陽光発電設備の耐久性は25年から30年程度と考えられており、今後、2030年代頃にモジュールの大量排出が想定されている。廃棄物処理の観点の他にも、今後の大量導入に向けた資源確保、さらには循環型社会の構築の観点からも、太陽電池モジュールのリサイクルは大きな課題である。
- (5) 太陽光発電設備導入のための適地が少なくなっている日本では、今後国民の生活環境に近い場所に太陽光発電設備を設置するケースの増加が想定されるため、自然環境や生活環境との調和を図っていくことは重要な観点となる。

本章では、太陽光発電を巡る最新動向についてとりまとめた。

2.1 温暖化対策として期待される再生可能エネルギーの動向

2023 年は世界平均気温が観測史上最高記録を大幅に更新し、熱波や大雨、干ばつ、熱帯性低気圧など世界的に異常気象が多発した。気候変動対策に対する危機感は、かつてないほどに高まった中で、第 28 回国連気候変動枠組条約締結会議（COP28）が、2023 年 11 月 30 日から 12 月 13 日の日程で UAE・ドバイで開催された。本会議では、パリ協定で掲げられた 1.5°C 目標達成に向けて、世界全体での進捗を評価する会合であるグローバルストックテイク（GST）が初めて実施された。全ての国が温室効果ガスの排出削減目標（Nationally Determined Contribution、以下 NDC という）を提出し、68 か国が長期戦略を提出した。これらの NDC が完全に実施された場合、世界の気温上昇は 2.1°C から 2.8°C の範囲に収まると評価されているが、1.5°C 目標との間には隔たりがあるため、緊急行動と支援が必要であることが指摘され、エネルギー部門においては、2030 年までに世界全体で再生可能エネルギーの容量を 3 倍、エネルギー効率改善率を 2 倍にすること等が合意された。

緩和の評価結果

進捗・実施状況：技術的対話を通じて議論されてきた内容に改めて「合意」

- ・全ての国が削減目標（NDC）を提出し、68 か国が長期戦略を提出した。
- ・パリ協定採択以前は、4度上昇すると予測されていた世界の気温だが、NDC が実施されれば、2.1～2.8度の範囲に収まる。
- ・NDC が完全に実施されても、気温上昇を 1.5 度に抑えることは難しく、既存の政策では NDC 目標を達成することも困難。



1.5度目標の達成にむけた緊急行動と支援の必要性を強調

今後取り得る対策と機会：

- ・エネルギー部門における新たな合意（一部抜粋）
 - ✓ 2030年までに再生可能エネルギーの容量を3倍にし、エネルギー効率改善率を2倍にする
 - ✓ 今世紀半ばよりかなり前又は半ばまでに、ゼロ・カーボン燃料や低炭素燃料を活用したネット・ゼロ・エミッションのエネルギーシステムに向けた取り組みを加速する。
 - ✓ 2050年までにネット・ゼロを達成するために、エネルギーシステムにおける化石燃料から脱却する
- ・交通部門の排出削減
 - ✓ インフラ整備やゼロエミッション車・低排出車の迅速な導入
- ・2030年までにメタンガスを含めた非二酸化炭素ガスの排出を大幅に削減
- ・6条（炭素市場メカニズム）の実施加速
- ・生態系／生物多様性／沿岸生態系の保全、2030年までに森林減少・劣化防止に向けた取り組み強化
- ・持続可能なライフスタイルや持続可能な消費パターンへの移行



対策や機会を実施していく必要がある

https://isap.iges.or.jp/2023/pdf/ps4/TSUKUI_Akibi.pdf

図 2-1-1 COP28 で開催された GST における温室効果ガス削減を目指す「緩和」の概要

出典：持続可能なアジア太平洋に関する国際フォーラム ISAP2023 資料

https://isap.iges.or.jp/2023/pdf/ps4/TSUKUI_Akibi.pdf

欧州連合（EU）の気象情報機関であるコペルニクス気候変動サービスの Global Climate Highlights 2024 によれば、2024 年は産業革命前からの上昇幅が初めて 1.5°C を超え、1.60°C となったことが公表されている。

Region	Anomaly (vs 1991-2020)	Actual temperature	Rank (out of 85 years)
Globe	+0.72°C (+1.60°C vs pre-industrial)	15.10°C	1st highest 2nd - 2023
Europe	+1.47°C	10.69°C	1st highest 2nd - 2020
Arctic	+1.34°C	-11.37°C	4th highest 1st - 2016
Extra-polar ocean	+0.51°C	20.87°C	1st highest 2nd - 2023

Find more about data, definitions and methods in the [GCH2024 Data and methods page](#). The European region is defined as 25°W-40°E, 34°-72°N. The extra-polar ocean region is defined as 60°N-60°S. Statistics for *globe*, *Europe* and *the Arctic* refer to surface air temperatures, statistics for *extra-polar ocean* refer to the sea surface temperature. Temperatures for Europe and the Arctic are **over land only**.

Data source: ERA5 • Credit: C3S/ECMWF



図 2-1-2 Key temperature statistics for 2024

出典：Copernicus Climate Change Service HP <https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2024>

また、国際エネルギー機関（IEA）によるエネルギー分析と予測をまとめた「世界エネルギー見通し（World Energy Outlook）」の2024年版が2024年10月16日に発行された。そのなかでは、再生可能エネルギーは2023年から2030年に世界で新設される発電容量の85%から89%、太陽光発電だけで約65%に貢献すると見通されている。

2.2 日本のエネルギー需給の見通しと太陽光発電の目標導入量

第7次エネルギー基本計画が2025年2月18日に閣議決定されたが、本基本計画とあわせて2040年におけるエネルギー需給の見通しが示されている。「2040年度におけるエネルギー需給の見通し（関連資料）」では、図2-2-1に示す5つのシナリオを設定している。

シナリオ	シナリオの概要
①再エネ拡大	既存の再エネ技術に加え、ペロブスカイト太陽電池・浮体式洋上風力等の大幅なコスト低減が実現し、国内の再エネ導入量が拡大。
②水素・新燃料活用	水素等の製造コストの大幅な低減により、水素・アンモニア火力の活用とともに、非電力部門における水素・アンモニアや合成燃料・合成メタン等の活用が拡大。
③CCS活用	CO ₂ 貯留可能量の拡大、CO ₂ 回収・輸送・貯留技術の大幅なコスト低減により、一定の化石燃料の利用が残存しつつ、発電や産業でのCCSの活用が拡大。
④革新技術拡大	幅広い革新技術で導入制約の克服、大幅なコスト低減等が進展。エネルギー需給の両面で様々な革新技術をバランスよく活用することにより、脱炭素化が進展。
⑤技術進展	2040年度までに革新技術の大幅なコスト低減等が十分に進まず、既存技術を中心にその導入拡大が進展。

図2-2-1 2040年度におけるエネルギー需給の見通し（関連資料）における複数シナリオの考え方

出典：経済産業省 HP（2025年2月18日）

<https://www.meti.go.jp/press/2024/02/20250218001/20250218001.html>

これら5つのシナリオに基づき検討された電力需給の結果を図2-2-2に示す。この検討によれば、2040年の電力需要は0.9～1.1兆kWh程度、発電電力量は1.1～1.2兆kWh程度となっている。

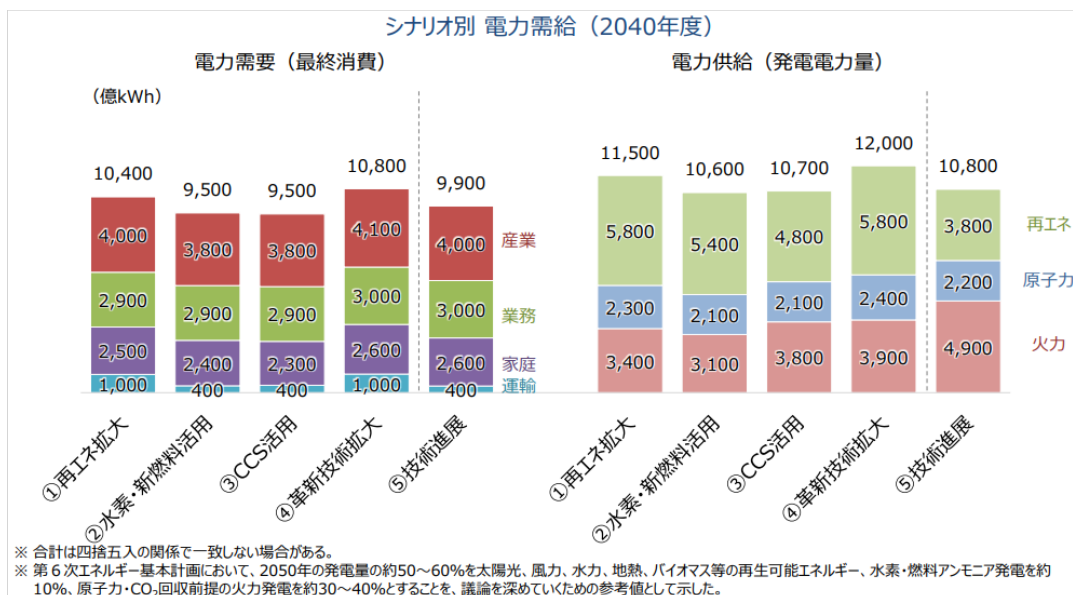
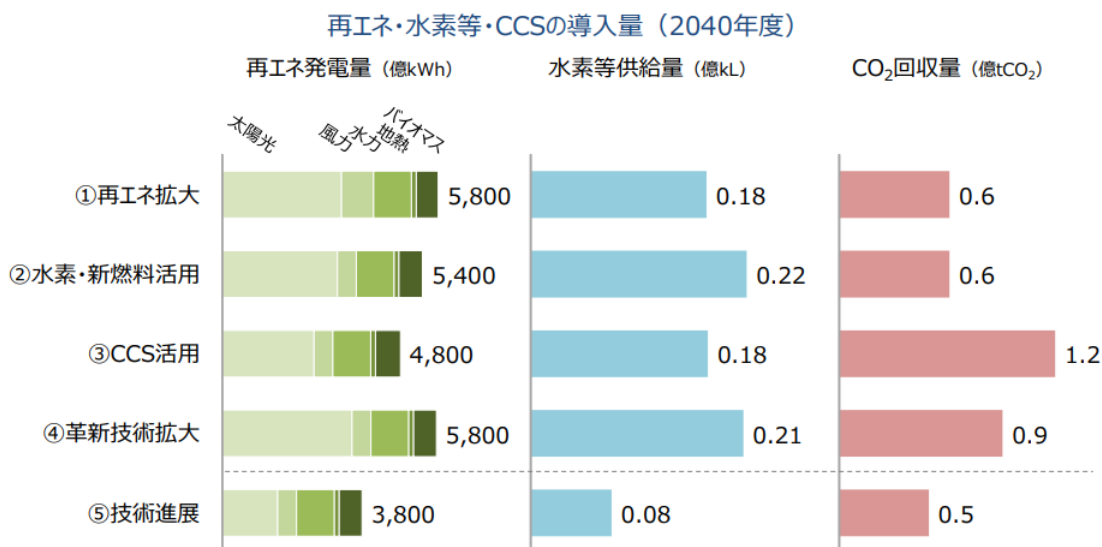


図2-2-2 2040年度におけるシナリオ別 電力需給

出典：経済産業省 HP（2025年2月18日）

<https://www.meti.go.jp/press/2024/02/20250218001/20250218001.html>

シナリオ別 革新技術の導入量を図 2-2-3 に示す。再生可能エネルギー発電量に占める太陽光発電の割合は、いずれのシナリオにおいても大きく、太陽光発電に寄せられる期待は大きなものとなっている。



※ 水素等には、水素、アンモニア、合成燃料、合成メタンを含む。

図 2-2-3 シナリオ別 革新技術の導入量

出典：経済産業省 HP（2025 年 2 月 18 日）

<https://www.meti.go.jp/press/2024/02/20250218001/20250218001.html>

第 7 次エネルギー基本計画における 2040 年度の電源構成（エネルギーミックス）は、図 2-2-4 のとおりである。

	2013年度（実績）	2022年度（実績）	2040年度（見通し）
電力需要	0.99兆kWh	0.90兆kWh	0.9～1.1兆kWh程度
産業	0.36兆kWh	0.32兆kWh	0.38～0.41兆kWh程度
業務	0.32兆kWh	0.31兆kWh	0.29～0.30兆kWh程度
家庭	0.29兆kWh	0.26兆kWh	0.23～0.26兆kWh程度
運輸	0.02兆kWh	0.02兆kWh	0.04～0.10兆kWh程度
発電電力量	1.08兆kWh	1.00兆kWh	1.1～1.2兆kWh程度
再エネ	10.9%	21.8%	4～5割程度
太陽光	1.2%	9.2%	23～29%程度
風力	0.5%	0.9%	4～8%程度
水力	7.3%	7.7%	8～10%程度
地熱	0.2%	0.3%	1～2%程度
バイオマス	1.6%	3.7%	5～6%程度
原子力	0.9%	5.6%	2割程度
火力	88.3%	72.6%	3～4割程度

図 2-2-4 2013 年度、2022 年度、2040 年度の電力需要と電源構成

出典：経済産業省 HP（2025 年 2 月 18 日）

<https://www.meti.go.jp/press/2024/02/20250218001/20250218001.html>

太陽光発電の2030年度の電源シェアは14%から16%であるが、これに対して今回示された2040年度の電源シェアは23%から29%に引き上げられている。設備容量換算でみると、2030年度では104GW_{AC}から118GW_{AC}であるのに対して、2040年度では204GW_{AC}から281GW_{AC}（1kW_{AC}あたりの太陽光発電設備の年間発電量を1240kWhと仮定してNEDOにおいて換算）となる。（表2-2-1参照）

表 2-2-1 2040年度の太陽光発電の発電電力量と設備容量

2040年の 発電電力量 [兆kWh]	2040年度の太陽光発電の 発電電力量[億kWh]		2040年度の太陽光発電の 設備容量[GW _{AC}]*	
	電源シェア			
	23%	29%	23%	29%
1.1	2,530	3,190	204.0	257.3
1.2	2,760	3,480	222.6	280.6

* 1kW_{AC}あたりの太陽光発電設備の年間発電量を1240kWhと仮定

出典：第7次エネルギー基本計画の資料をもとにNEDO作成

これはFIT導入から2030年度までの約20年で導入する量またはその倍の量を2030年度から2040年度の10年間で導入していくことになる。（図2-2-5参照）

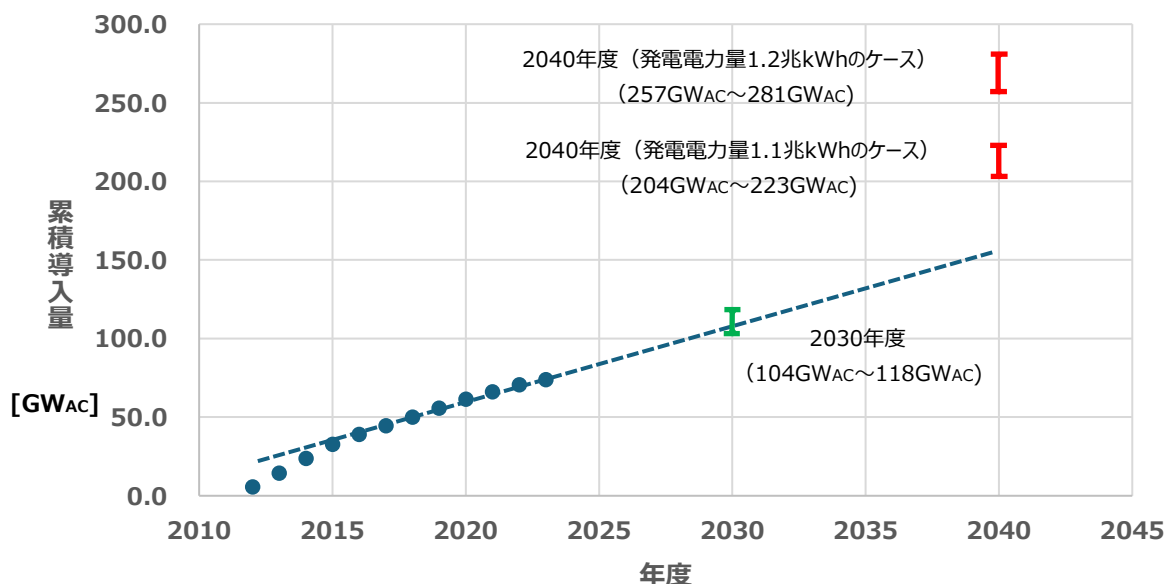


図 2-2-5 FIT/FIPによる太陽光発電累積導入量と2030年度、2040年度導入量

出典：次世代電力ネットワーク小委員会（2024年11月28日）および第7次エネルギー基本計画の資料をもとにNEDO作成

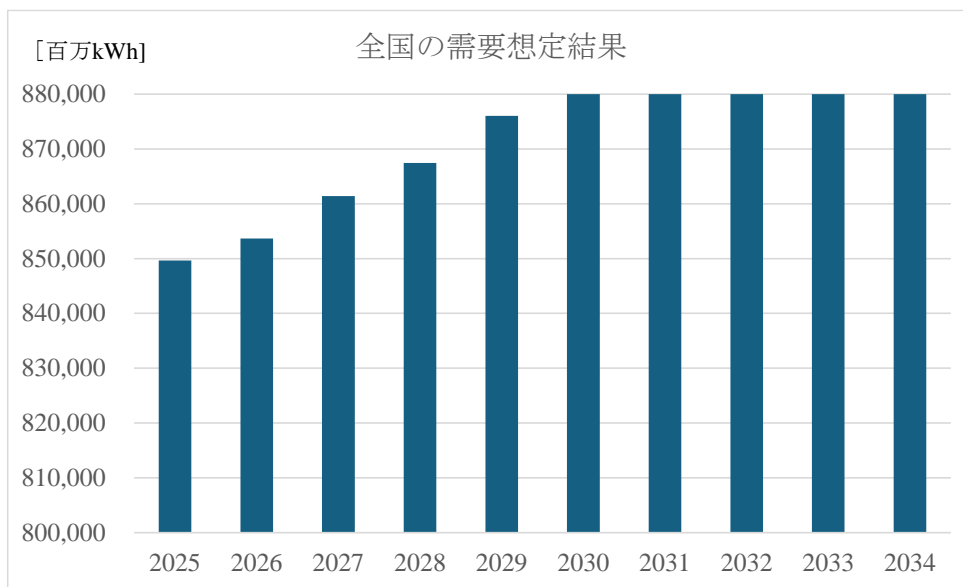
また、我が国の最大電力需要を足下で160GWと想定すると、2040年度はこれをゆうに超える導入量であり、日中の時間帯を中心に需要創出や蓄電技術の活用も重要になる。

電力需要面を見てみると、AI、ブロックチェーン、5G などデジタル技術の進歩は加速度的に進展し、世界では、高度情報社会への転換が進んでいる。日本においても Society 5.0 (※) を目指した変革は進んでおり、デジタルインフラの普及と電化によるエネルギー消費の急激な増加により、今後も消費電力量は増加が予想される。

Society5.0 (※)：第5期科学技術基本計画で提唱された、「サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させたシステム」により、経済発展と社会的課題の解決を両立する人間中心の社会。

電力広域的運営推進機関 (OCCTO) では、全国の電力需要の想定とデータセンター・半導体工場の新增設に伴う最大需要電力の想定を公表している。図 2-2-6 に 2025 年度の全国の需要想定結果を示す。

本想定によると、2025 年の需要電力量合計 (送電端) は、849,626 百万 kWh であったものが、2034 年には 894,387 百万 kWh となり、5.3%の電力量の増加となっている。

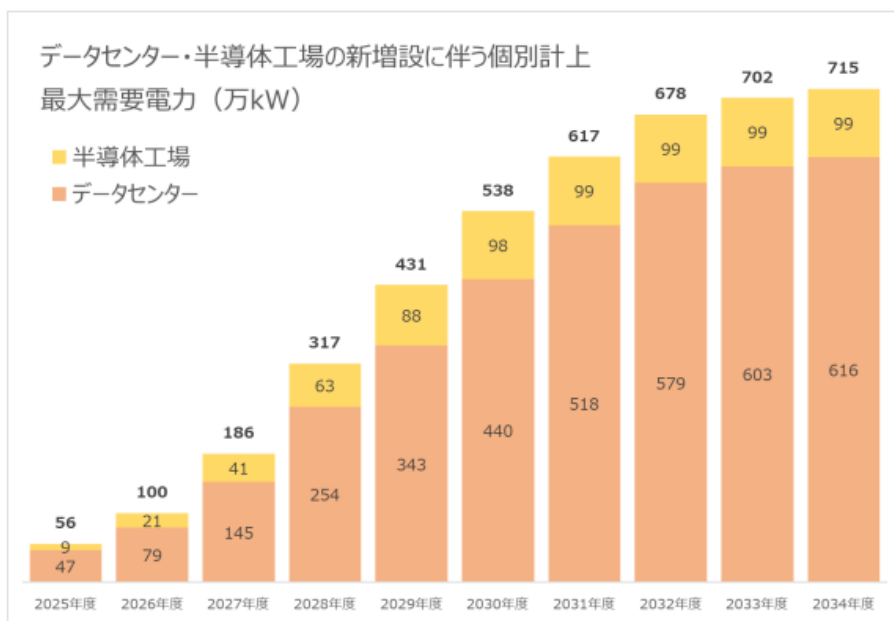


		2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
最大需要電力 (送電端)	千kW	159,161	159,543	160,243	161,394	162,399	163,328	164,188	164,626	164,694	164,591
需要電力量合計 (送電端)	百万kWh	849,626	853,648	861,413	867,433	876,054	883,760	892,049	893,547	894,452	894,387
需要電力量合計 (需要端)	百万kWh	809,697	813,612	821,177	827,109	835,546	843,082	851,139	852,667	853,587	853,556
需要電力量合計 (使用端)	百万kWh	808,584	812,498	820,061	825,993	834,428	841,964	850,019	851,548	852,467	852,438

図 2-2-6 全国の需要想定

出典：OCCTO 全国及び供給区域ごとの需要想定 (2025 年度)

また、図 2-2-7 に 2025 年度のデータセンター・半導体工場の新增設に伴う個別織り込み最大需要電力想定を示す。本想定によると、2025 年の最大需要電力は 56 万 kW、需要電力量は、36 億 kWh であったものが、2034 年には最大需要電力は 715 万 kW、需要電力量は、514 億 kWh となり、最大需要電力、需要電力量とも 10 倍を超える量となる。



年度		2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
最大需要電力（合計）	万kW	56	100	186	317	431	538	617	678	702	715
	データセンター	47	79	145	254	343	440	518	579	603	616
	半導体工場	9	21	41	63	88	98	99	99	99	99
需要電力量（合計）	億kWh	36	71	130	218	308	382	441	487	504	514
	データセンター	30	55	102	176	243	309	367	414	431	440
	半導体工場	6	17	28	42	65	73	73	73	73	73

図 2-2-7 データセンター・半導体工場の新增設に伴う最大需要電力想定

出典：OCCTO 全国及び供給区域ごとの需要想定（2025年度）

2.3 再生可能エネルギー発電促進賦課金の推移

2012年7月の固定価格買取制度（FIT制度）の導入以降、日本の全発電電力量に占める再生可能エネルギーの割合は年々増加し、2010年に9.5%であったものが2022年度には21.7%にまで拡大した。

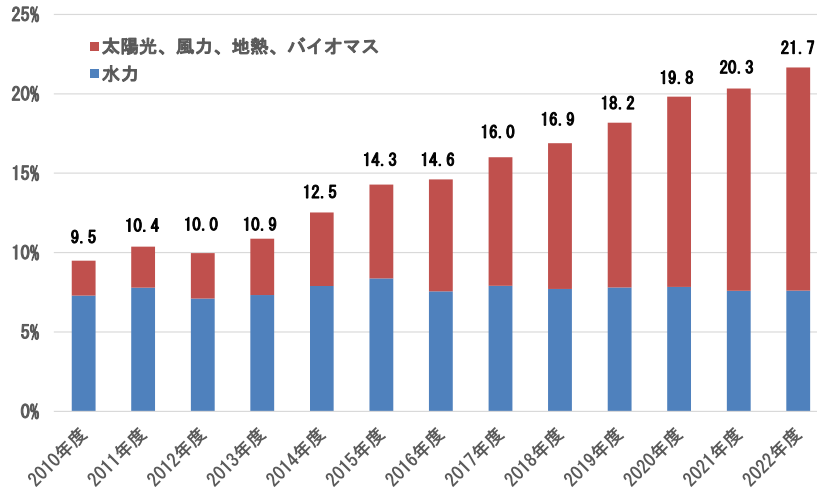
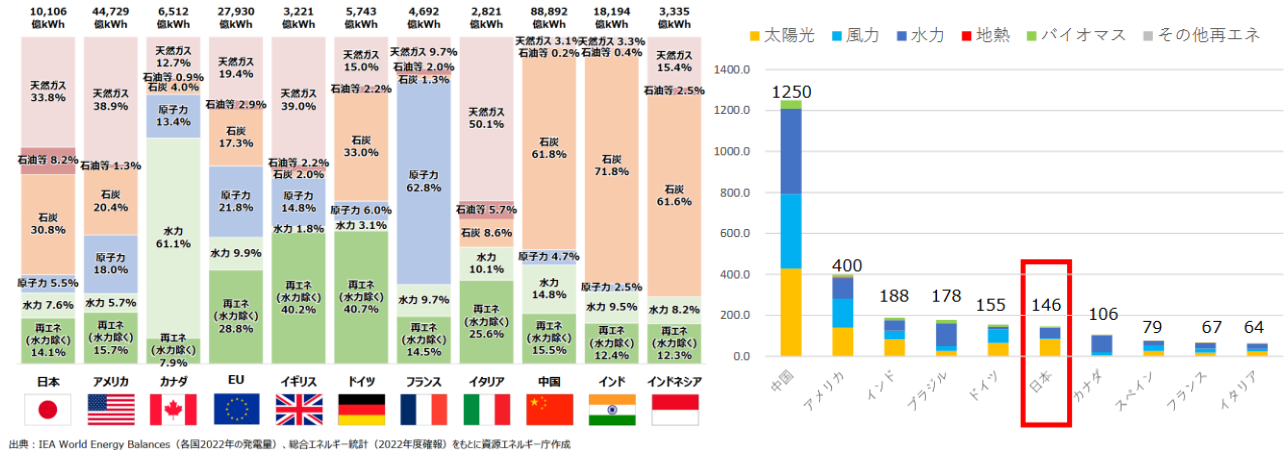


図 2-3-1 日本の全発電電力量に占める再生可能エネルギーの割合の推移

出典：エネルギー白書 2024 のデータを元に NEDO 作成

<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2024/html/2-1-4.html>

2022年度の主要国の発電電力量に占める再生可能エネルギー比率を見てみると、図 2-3-2 のようになっている。日本の再生可能エネルギー発電設備容量は、世界で第6位となっている。



出典：IEA World Energy Balances (各国2022年の発電量)、総合エネルギー統計 (2022年度版) をもとに資源エネルギー庁作成

図 2-3-2 主要国の発電電力に占める再生可能エネルギー比率の比較および再生可能エネルギー発電導入容量 (2022年実績)

出典：総合エネルギー調査会 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 (2024年11月28日)

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/071_01_00.pdf

しかし、再生可能エネルギーの買取に要する費用は、全国一律の単価により、電気使用量に応じた賦課金（再生可能エネルギー発電促進賦課金）の形で国民が負担している。制度開始当初 0.22 円/kWh であった賦課金も再生可能エネルギーの導入が進むにつれて、図 2-3-3 に示すとおり、3 円/kWh を超える水準に達し、2024 年度の賦課金単価は、3.49 円/kWh（図 2-3-4 参照）までになっている。



図 2-3-3 再生可能エネルギー発電促進賦課金と買取価格の推移

出典：総合エネルギー調査会 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（2024年11月28日）
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/071_01_00.pdf

$$\begin{aligned}
 & \text{賦課金単価} \quad 3.49\text{円/kWh} = \\
 & \left[\begin{array}{l} \text{① 買取費用等} \quad 4兆8,172\text{億円} - \text{② 回避可能費用等} \quad 2兆1,322\text{億円} \\ + \text{広域的運営推進機関事務費} \quad 10\text{億円} \end{array} \right] \div \text{③ 販売電力量} \quad 7,707\text{億kWh}
 \end{aligned}$$

図 2-3-4 2024 年度の賦課金単価算定根拠

出典：経済産業省 HP <https://www.meti.go.jp/press/2023/03/20240319003/20240319003.html>

国民が負担する賦課金総額も賦課金単価と同様に増加し、2024 年度は 2.7 兆円に達すると想定されている。

2.4 世界および日本の太陽光発電の導入状況

太陽光発電の世界の導入量は、これまで順調に増加してきた。図 2-4-1 に世界の太陽光発電累積導入量の推移を示す。2023 年の世界の累積導入量は、1,642GW であり、第 1 位が中国（649GW）、第 2 位が米国（177GW）、第 3 位がインド（93GW）、第 4 位が日本（91GW）、第 5 位がドイツ（82GW）であった。2024 年の世界の累積導入量は速報値で 2.2TW に達した模様である。

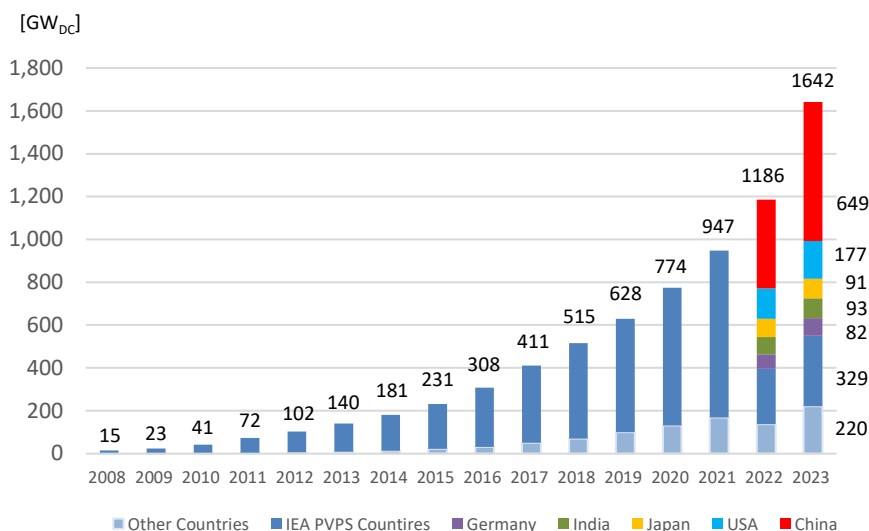


図 2-4-1 世界の太陽光発電累積導入量の推移 (DC ベース)

出典：IEA-PVPS, ”Trends in Photovoltaic Applications 2024” (2024 年 10 月) より NEDO 作成

表 2-4-1 に、2021 年から 2023 年の 3 年間の上位 10 か国の累積導入量を示す。年度による順位の変動は若干あるものの、継続して導入量が拡大していることがわかる。また、世界の累積導入量に占める上位 10 か国の割合は、75%以上を占めている。

表 2-4-1 2021 年から 2023 年の各国の太陽光発電システム累積導入量 (上位 10 か国)

	[GW _{DC}]					
	2023年		2022年		2021年	
第1位	中国	649.0	中国	414.1	中国	308.5
第2位	米国	177.3	米国	143.5	米国	120.4
第3位	インド	92.6	日本	85.1	日本	78.4
第4位	日本	91.4	インド	79.6	インド	61.5
第5位	ドイツ	82.3	ドイツ	67.3	ドイツ	60.1
第6位	スペイン	39.0	オーストラリア	30.4	オーストラリア	26.1
第7位	オーストラリア	34.5	スペイン	30.0	イタリア	22.6
第8位	イタリア	30.3	イタリア	25.1	スペイン	21.5
第9位	韓国	27.6	韓国	24.3	韓国	21.2
第10位	フランス	23.7	フランス	19.7	フランス	16.7
合計		1247.8		919.0		737.1
世界の累積導入量		1642.0		1,185.9		947.2
上位10か国の世界に占める割合		76.0%		77.5%		77.8%

出典：IEA-PVPS, ”Trends in Photovoltaic Applications 2024” (2024 年 10 月) より NEDO 作成

図 2-4-2 に世界の年間導入量の推移を示す。2023 年の世界の年間導入量は、456.0GW であり、第 1 位が中国 (235.0GW)、第 2 位が米国 (33.9GW) であった。

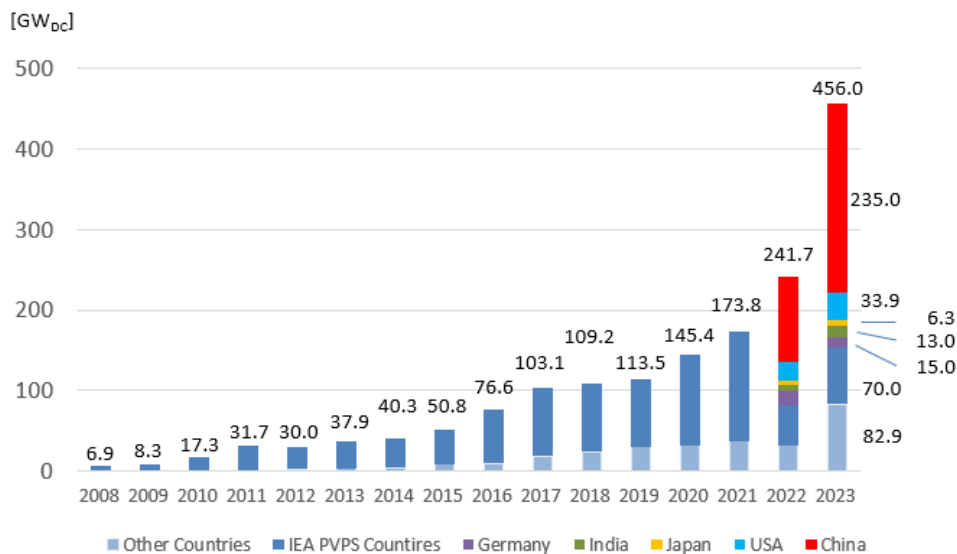


図 2-4-2 世界の太陽光発電年間導入量の推移 (DC ベース)

出典：IEA-PVPS, "Trends in Photovoltaic Applications 2024" (2024 年 10 月) より NEDO 作成

図 2-4-3 に日本の太陽光発電累積導入量の推移を示す。2023 年度の累積導入量は 73.8 GW_{AC} であった。2012 年の FIT 制度開始前の累積導入量が 5.6 GW_{AC} のため、FIT 制度開始後の累積量導入量は 68.2GW_{AC} である。

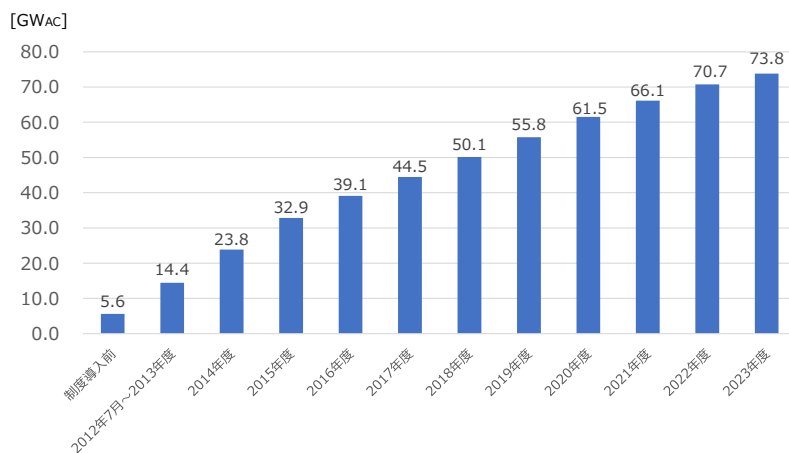


図 2-4-3 日本の FIT・FIP 制度での太陽光発電累積導入量の推移 (AC ベース)

出典：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 (第 71 回) より NEDO 作成

図 2-4-4 に日本の FIT・FIP 制度での太陽光発電年間導入量の推移を示す。FIT 制度開始後の年間導入量は、10GW_{AC} 程度であったが、その後は導入量が減少し 3GW_{AC} 程度となっている。

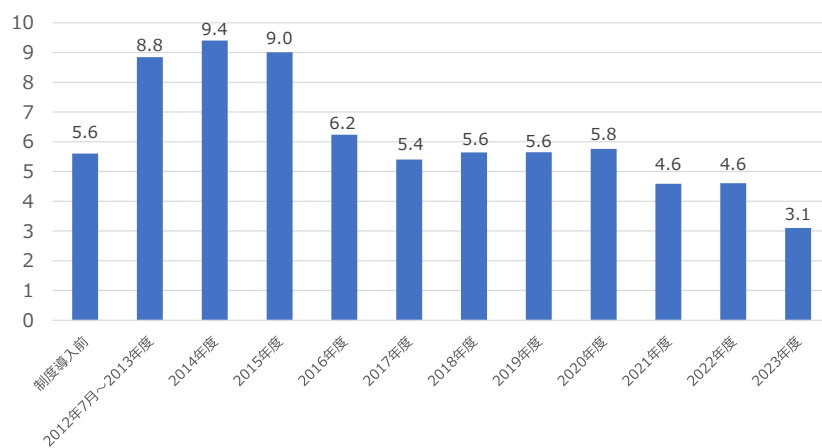


図 2-4-4 日本の FIT・FIP 制度での太陽光発電年間導入量の推移（AC ベース）

出典：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（第 71 回）より NEDO 作成

2.5 世界の生産量の状況、太陽光発電製品のサプライチェーンの状況

図 2-5-1 に世界の太陽電池生産量推移（半導体材料別）を示す。2023 年の速報値では、世界の太陽電池モジュールの生産量は 617GW であった。そのうちの 98%が結晶シリコンであり、そのほとんどが単結晶シリコンである。2015 年の太陽電池モジュールの生産量では、75%を多結晶シリコン、19%を単結晶シリコンが占めていたが、中国の大手シリコンウエハーメーカーが太陽電池向け単結晶シリコンウエハーの生産能力を 2015 年頃から大幅に拡張し、生産技術向上（高品質化と低コスト化）を実現した。それ以降、単結晶シリコンのシェアが急増している。

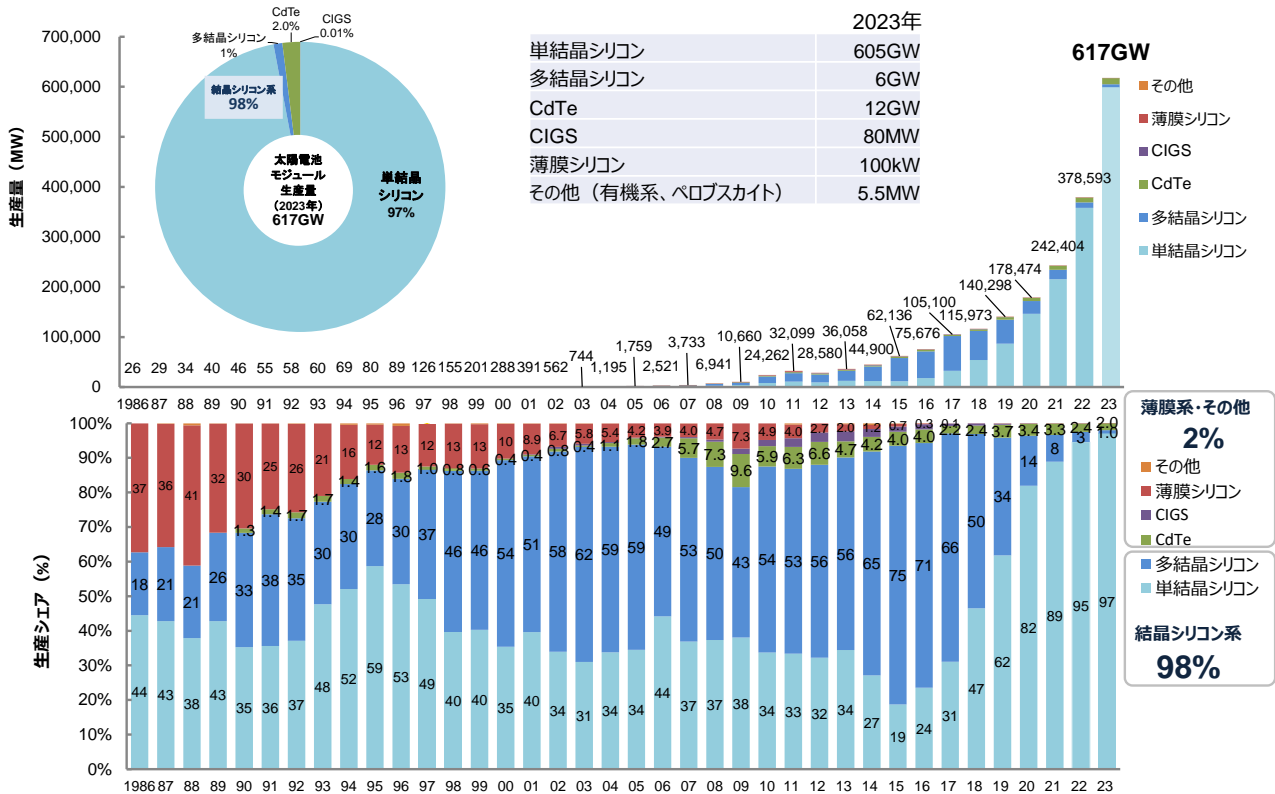


図 2-5-1 世界の太陽電池生産量推移（半導体材料別）

出典：(株) 資源総合システム調べ（一部推定、2024 年 8 月）

※2013 年までには太陽電池セル生産量、2014 年以降は太陽電池モジュール生産量で集計

図 2-5-2 に 2023 年の世界の太陽電池モジュールメーカー別生産量を示す。

2023 年には、モジュール生産量が 50GW 超の企業が 4 社となり、上位 10 社で世界全体の約 69%を生産している。

世界全体の太陽電池モジュールの生産能力は、2023 年末時点で 1TW/年を超えたとみられる。また、100GW/年超の生産能力を持つ製造企業は 2024 年度中に 5 社となる見込みである。

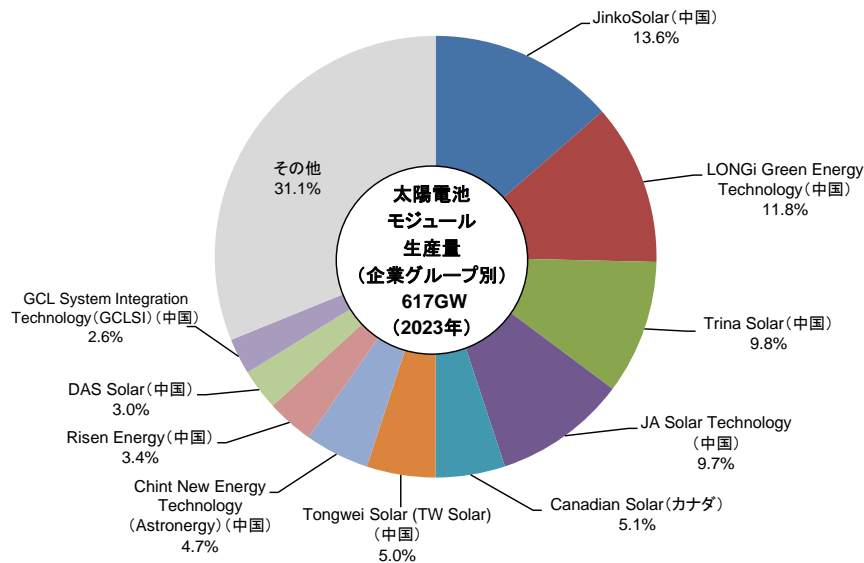
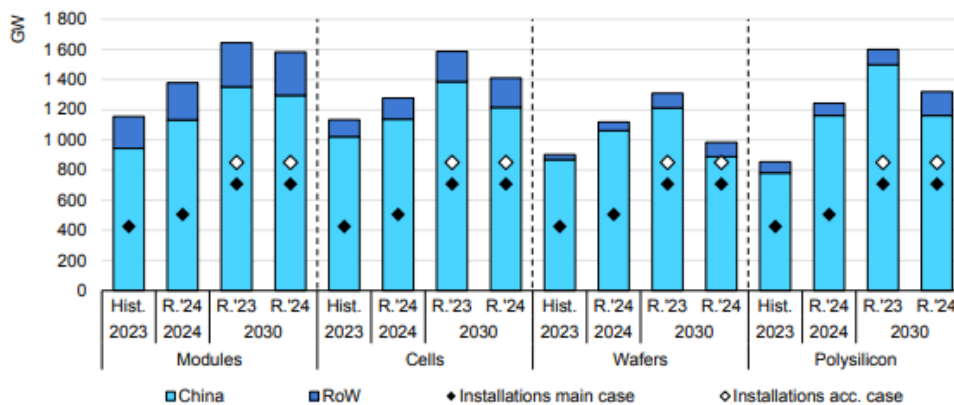


図 2-5-2 世界の 2023 年の太陽電池モジュール生産量（企業グループ別）

出典：(株) 資源総合システム調べ（一部推定、2024 年 8 月現在）

IEA の Renewables 2024 によると、2024 年時点のポリシリコン、ウエハー、セル、モジュールの中国の生産能力が、2030 年の導入見通しのメインケース、加速ケースのいずれのケースも上回っていることが報告されている。米国とインドで投資が大幅に加速しているにもかかわらず、中国は 2030 年までに 80~90%の市場シェアを維持することになると見通している。

図 2-5-3 に Solar PV manufacturing capacity and installations, 2023-2030 を示す。



IEA. CC BY 4.0.

Notes: Hist. = historical value; R.'23 = Renewables 2023 forecast; R.'24 = Renewables 2024 forecast; RoW = rest of world; acc. case = accelerated-case forecast.

Sources: IEA analysis based on PV InfoLink, BNEF and SPV data.

図 2-5-3 Solar PV manufacturing capacity and installations, 2023-2030

出典：IEA Renewables2024; <https://www.iea.org/reports/renewables-2024>

図 2-5-4 に結晶シリコン太陽電池産業のサプライチェーン（製造）の動向を示す。結晶シリコン太陽電池は、金属シリコンを原料とし、ポリシリコン、結晶シリコン・インゴット、結晶シリコンウエハー、太陽電池セル、太陽電池モジュールへ加工されるが、サプライチェーン全体で中国が大きな割合を占めている。（特に、ウエハーの占有率は、98%であり、最大となっている）。

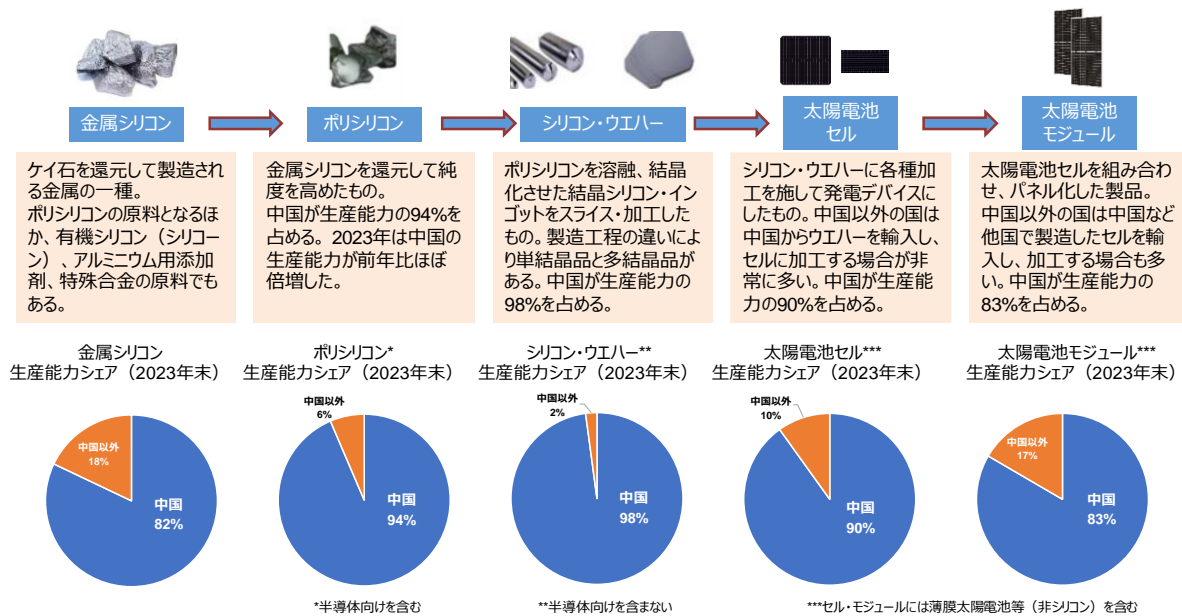


図 2-5-4 結晶シリコン太陽電池産業のサプライチェーン（製造）の動向

出典：中国太陽光発電産業協会（CPIA）、「2023-2024 年中国光伏産業年度報告」から（株）資源総合システム作成

2.6 太陽電池セル・モジュールの開発動向

太陽電池モジュールの変換効率向上は、単に効率的に発電量を得るというだけでなく、発電設備設置時の材料費、施工コスト等を含めた発電コスト低減にも寄与するため、重要な要素である。また、太陽光発電システムの発電コスト（LCOE）や利益率の向上が期待できることから、近年、セルやモジュールサイズの標準化やまた、モジュールの製品保証・出力保証の長期化が進展している。

(1) セル・モジュールの高効率化

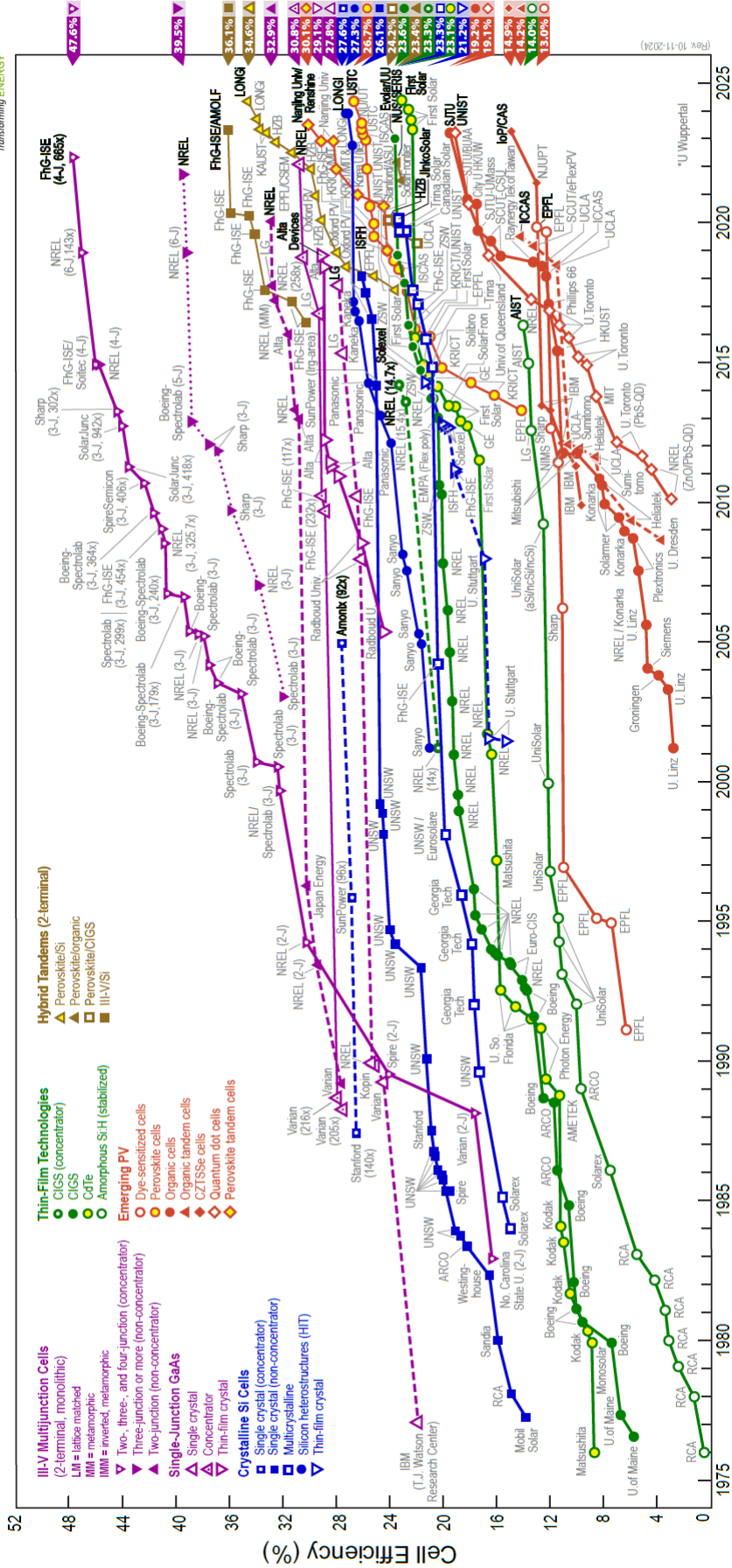
米・国立再生可能エネルギー研究所（NREL）による Best Research-Cell Efficiencies のチャート（2024年10月11日版）を図 2-6-1 に示す。このチャートによると、太陽電池セル変換効率の世界最高記録は、単接合の太陽電池セルとしては、結晶シリコンでは 27.3%、CIGS では 23.6%、CdTe では 23.1%、GaAs では 27.8%、有機薄膜（OPV）では 19.2%、ペロブスカイトでは 26.7%となっている。

多接合型の太陽電池セルとしては、Ⅲ-V族化合物を用いた三接合以上の多接合型では 39.5%、ペロブスカイト/シリコンタンデムでは 34.6%、オールペロブスカイトタンデムでは 30.1%、Ⅲ-V族化合物/シリコンタンデムでは、36.1%となっている。

集光型としては、Ⅲ-V族化合物を用いた三接合以上の多接合型では 47.6%、結晶シリコンでは 27.6%、CIGS では 23.3%となっている。

次に NREL による Champion Module Efficiencies のチャート（2024年12月18日版）を図 2-6-2 に示す。このチャートによると太陽電池モジュール変換効率の世界最高記録は、結晶シリコンでのバックコンタクト型（IBC）およびヘテロ接合-バックコンタクト型（HBC）で 25.4%、CIGS 系で 20.3%、CdTe 系で 19.9%となっている。現在開発が進んでいるペロブスカイト太陽電池モジュール（ガラス）では 21.1%となっている。

Best Research-Cell Efficiencies



(Rev 10-11-2024)

図 2-6-1 NREL Best Research-Cell Efficiencies チャート (2024 年 10 月 11 日版)

Champion Module Efficiencies

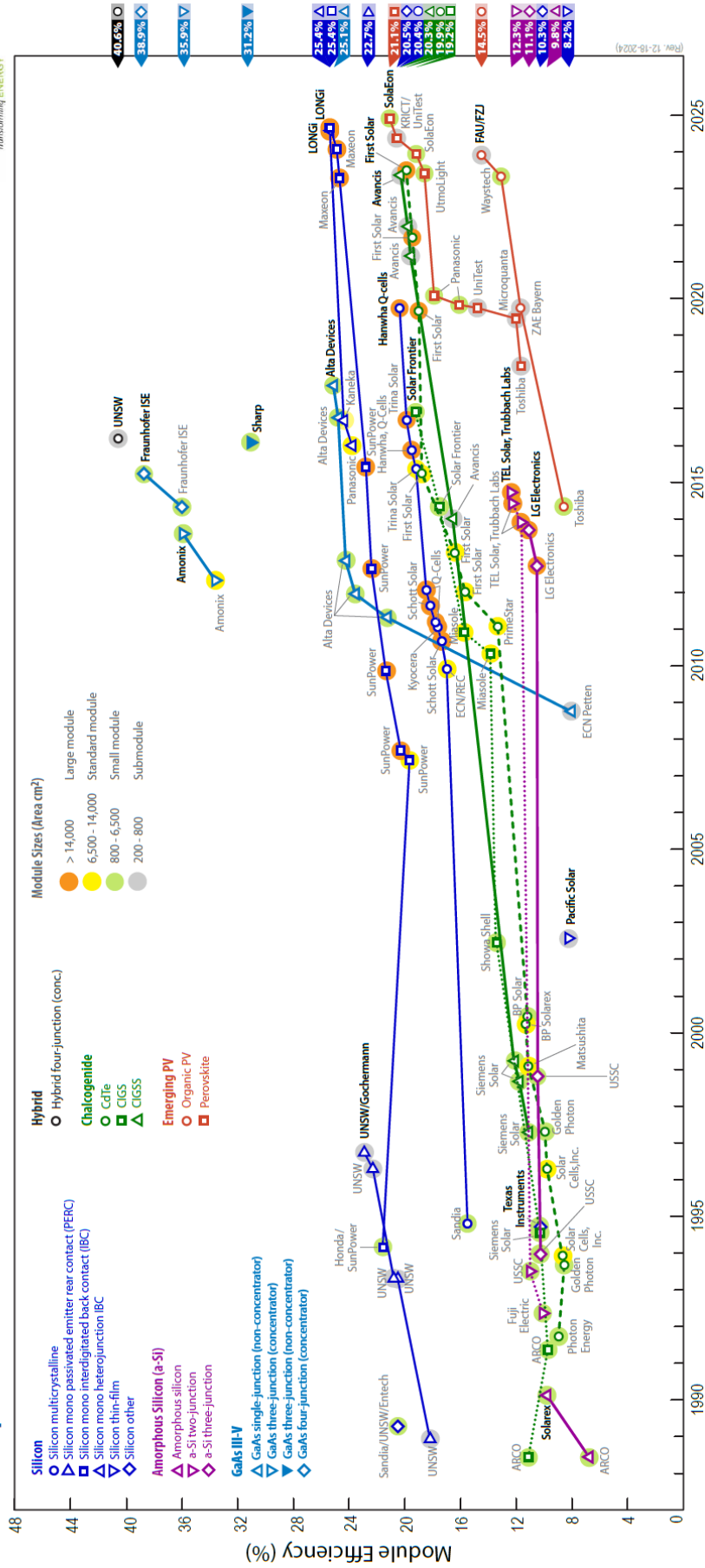


図 2-6-2 NREL Champion Module Efficiencies チャート (2024 年 12 月 18 日版)

(2) 軽量モジュールの開発動向

従来型の結晶シリコン太陽電池モジュールの重量は、片面ガラスモジュールで約 11kg/m²、両面ガラスモジュールで約 13kg/m²となっている。工場や倉庫などの屋根の耐荷重は、10kg/m²程度以下が多く、架台重量も含めると、従来型太陽電池製品を設置することは困難である。一方で、そうした環境は大面積で日射条件の良い環境が多く、太陽光発電の適地であることが多い。

このため、薄型ガラスや化学強化超薄型ガラスのほか、樹脂材料等を用いたガラスレスモジュールの作成、フレームレス等による軽量化の取り組みが進んでいる。

図 2-6-3 に各種太陽電池セルを用いた軽量化モジュールの単位面積当たりの重量と変換効率の関係を示す。

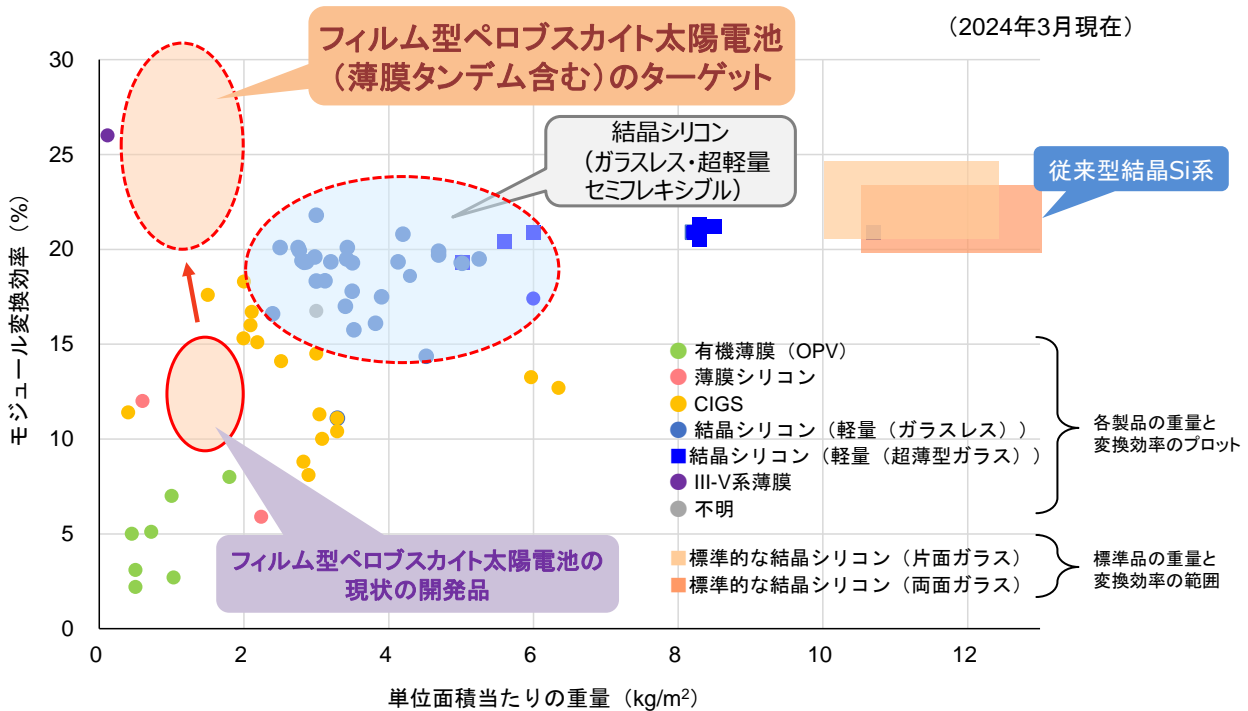


図 2-6-3 各種太陽電池セルを用いた軽量化モジュールの単位面積あたりの重量と変換効率の関係

出典：(株) 資源総合システム作成

また、結晶シリコン太陽電池の場合、通常メーカーから供給されるウエハーの厚みが PERC で 150 μ m、N 型で 130 μ m であるため曲げることができないが、100 μ m 以下の厚みでは効率とフレキシビリティを両立する開発も進んでいる。既に 60 μ m 程度の厚みでも、25%以上の変換効率を持つヘテロ接合型 (HJT) シリコン太陽電池の開発報告などもなされているが、結晶シリコン太陽電池では軽量化に限界があるため、さらなる軽量化が可能とされるフィルム型ペロブスカイト太陽電池で軽量化と高効率化の両立を目指した開発が活発化している。

軽量フレキシブルな太陽電池の開発は、これまで設置が困難であった場所への設置が可能となり導入拡大につながるとともに、モジュール製造時の省資源化の観点からも期待されている。

(3) セルサイズ、モジュールサイズの標準化

太陽電池セルおよび太陽電池モジュールの高効率化を目指した開発競争に加えて、セルサイズとモジュールサイズの標準化競争が近年進んでいる。

・セルサイズの標準化

太陽電池用単結晶シリコンウエハーのサイズは、モジュール高出力化への要請と大手シリコンウエハー製造企業からの供給開始により、2018年頃から多様化と大型化が加速した。2020年6月には太陽電池製造大手7社が、M10（182mm角）の結晶シリコンウエハーを業界規格にすることを提唱した。同年11月には、更に大型のG12（210mm角）の結晶シリコンウエハーと太陽電池モジュールを業界標準にすることを業界8社が共同で提案した。単結晶シリコンウエハーの標準化は、太陽光発電システムの発電コスト（LCOE）や利益率の向上が期待できることから、2023年は業界標準であるM10とG12で市場の約95%を占めた。

・モジュールサイズの標準化

ウエハーの大型化に伴いモジュールも大型化が進んだが、モジュールサイズや取付穴間隔などがモジュールメーカー毎に異なっていたため、梱包・輸送の効率、施工時のハンドリング、ガラス割れやクラック発生リスクなどについて発電事業者が都度検討を行わなければならなくなっていた。そのような中、2021年9月に中国大手メーカー3社が、M10採用モジュールに関して、システム設計や架台等の施工方法など、事業者側の利便性を考慮し、外形寸法と取付穴間隔を統一化した。

更に、2023年7月には、M10ウエハー採用主要メーカーとG12ウエハー採用主要メーカーの9社が、M10ウエハーおよびG12R（182mm×210mm）長方形ウエハー採用の太陽電池モジュールのサイズ等について同様の標準化に合意した（モジュールサイズ1,134mm×2,382mm）。また、2023年12月には、大手メーカー6社がG12ウエハー採用の大型サイズモジュールについて同様の標準化（モジュールサイズ1,303mm×2,384mm）に合意している。

(4) 製品保証・出力保証年数の長期化（信頼性向上）

太陽光発電システムは、長期間にわたり発電が期待される設備である。太陽電池モジュールの長寿命化は、発電コストの低減にもつながることから改善が期待される項目の1つである。長寿命化の検討は、各メーカーで実施されているが、その成果は、モジュールの保証として現れる。

太陽電池モジュールのメーカーによる保証は、製品保証と出力保証の2段階体系となっている。製品保証は、ホットスポットやコネクタ・バイパスダイオードの不具合、マイクロクラックなどの物理的な故障に対する保証であり、通常利用をしていた製品に瑕疵が出た際に同等品との交換や、交換が不可能な場合に返金するなどの対応を行うものである。一方、出力保証は、使用開始から一定期間の出力が公称最大出力以下の場合などに保証を行うものである。

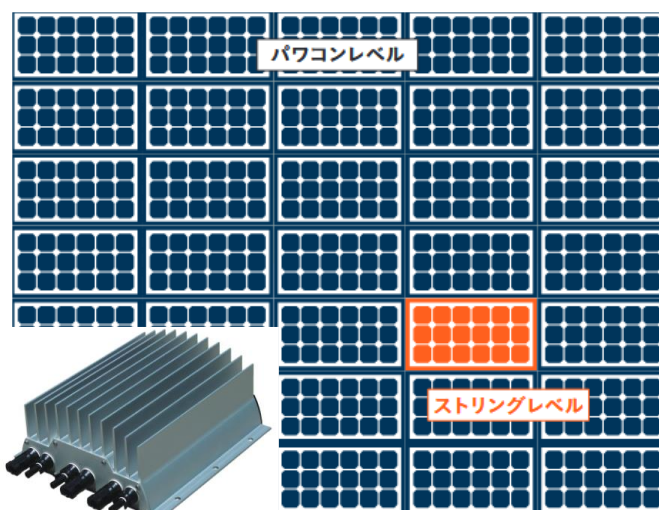
現在の標準的な保証期間は、製品保証で10年から15年、出力保証で25年から30年であるが、40年の製品保証と出力保証を備えたモジュールも出てきている。

2.7 運用・保守に係る技術開発動向

導入された太陽光発電設備を長期に安定的に稼働させるためには、日々の運用や保守点検が重要である。設備に異常がないか確認するためには一般的には目視によるところが大きいですが、CCDなどのカメラ搭載のドローンにより効率的に異常の有無を検査する方法がこれまでも活用されている。更に、赤外線カメラにより、目視では見えない異常発熱を検出する技術も開発されている。

発電量については、ストリングレベルでのモニタリングが可能なオプティマイザーも開発されており、これらのデータを遠隔監視しAIで分析評価することで、異常の有無を監視するだけでなく、発電損失や性能低下の自動分析も行われるようになってきている。運用・保守の省力化・自動化は今後も進むと考えられる。

また、データ蓄積が進むことにより、AIによる分析精度が高められ、メンテナンス時期や方法の提案、異常の予知などが行えるシステムが出てくることが期待される。これにより、適切なタイミングでの対応が可能となる。



パワーコンディショナー交換時にも配線変更不要

図2-7-1 ストリングレベルでのモニタリングが可能なオプティマイザー
出典：オリックス（株）HPの情報を基にNEDOにて作成
<https://www.orix.co.jp/orem/news/pdf/20201031.pdf>

発電設備の長期安定稼働のためには、適切な時期におけるリプレースやリパワリングも重要になる。長期使用に伴い、老朽化による故障率の増加、保証期限切れやサポート期間の終了による交換部品の調達の困難化などのため、適切な時期に最新のシステムに更新することが好ましいが、太陽電池モジュール

サイズの大型化に伴い架台から設置し直さなければならないケースや発電所のトランス改造が必要なケースもあり、リプレース費用がかさみ、簡単には更新が進まない状況がある。

そのような中、リプレースの需要を見込んだパワーコンディショナーも製品化されている。この製品では、既設の直流接続箱、キュービクルやケーブルをそのまま使用可能な仕様であり、リプレースにかかる工事費用の削減効果も大きい。

また、太陽電池モジュールのリユースを促進するため、製品情報のみならず、使用状況やメンテナンス実績などの関連情報のトレーサビリティが確保されていることが重要である。



図2-7-2 リパワリング用パワーコンディショナーの例

出典：Huawei Technologies Co., Ltd HP
<https://solar.huawei.com/jp/solutions/repowering>

太陽光発電設備の大量導入に伴い、出力変動に対応するための調整力の必要量も大きくなるが、発電予測量と実発電量の誤差を小さくすることにより、その調整力の確保量を低減することができる。このため、高精度な日射量予測の開発が行われている。構築した気象予測モデルによる日射量予測のほか、国内外の複数気象モデルの予測結果を統合しさらに精度を高めた予測としたり、観測された日射量（実測値や気象衛星を用いた推定値）を用いて予測値を補正（逐次補正）するなどにより精度を高める開発が行われている。

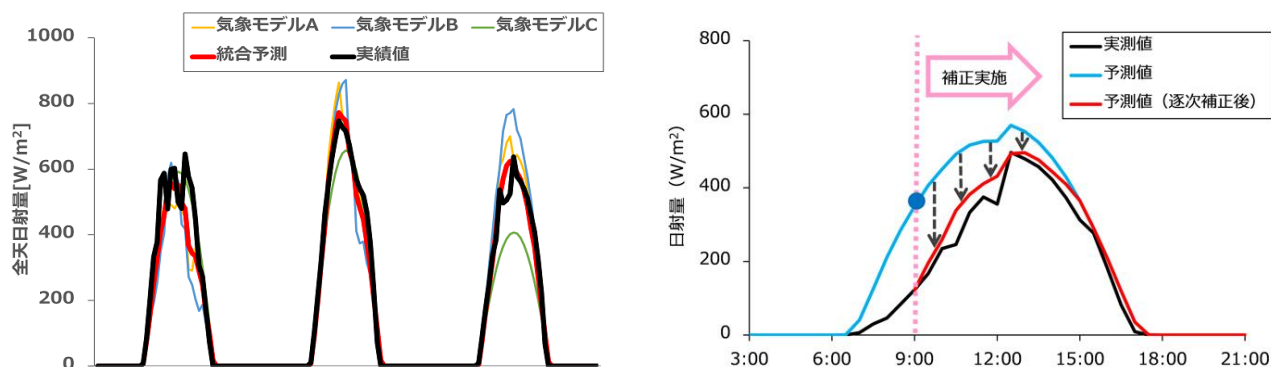


図 2-7-3 日射予測の高精度化の取り組み例

複数の気象モデルの予測結果を統合（左）、観測日射量を用いて予測値を逐次補正（右）

出典：日本気象協会 HP <https://www.jwa.or.jp/service/energy-management/solar-power-05>

また、経済産業省では、分散型エネルギーシステムの1つの形態として、平常時は下位系統の潮流を把握し、災害等による大規模停電時には、自立して電力を供給できる「地域マイクログリッド」構築において必要な検討事項を概観している。



図 2-7-4 地域マイクログリッドのシステムモデル例

出典：資源エネルギー庁 地域マイクログリッド構築の手引き（2021年4月16日）

再生可能エネルギーの割合が高まると系統周波数の変動は大きくなるため、マイクログリッドの普及には、系統周波数を安定に保つ技術の開発が求められる。系統周波数が急激に変動した際、インバーターから電力を出力することで疑似的な慣性を供給し、配電系統内の系統周波数を維持する GFM 伊

ンバーター（Grid forming Inverter）の開発が進んでいる。太陽光発電に GFM インバーターを搭載した実環境に近い形で実証実験も行われており、その際の系統周波数の低下が約 3 割抑制されている。太陽光発電が普及していくためには、発電システムとして開発していくことも重要である。

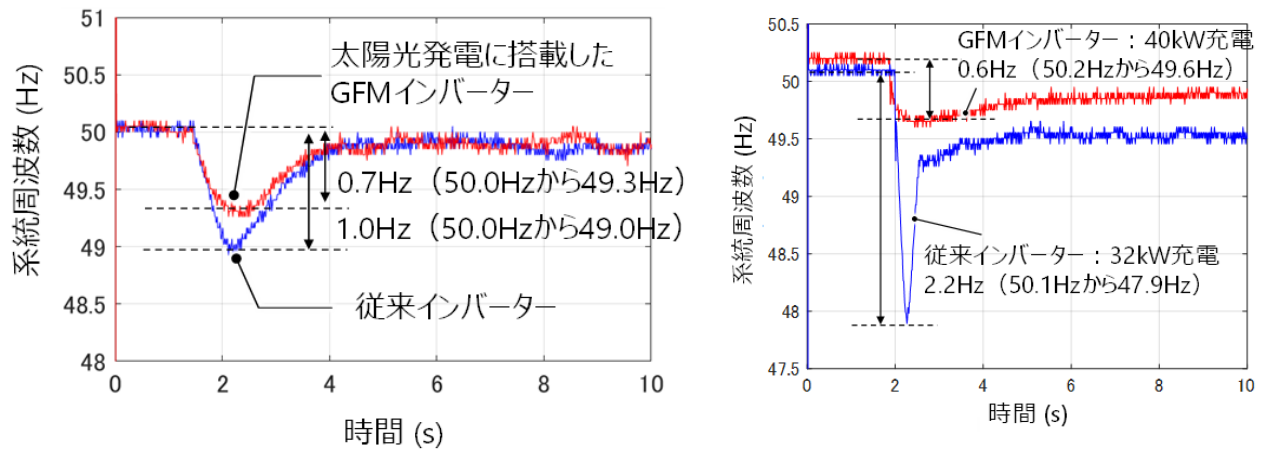


図 2-7-5 GFM インバーターを適用した実機検証結果

GFM インバーターを適用した太陽光発電と内燃機関を有するディーゼル同期発電機の実機検証（左）
 と蓄電池への充電時の実機検証（右）

出典：東芝 HP 研究開発ニュース（2022 年 8 月 26 日）

<https://www.global.toshiba/jp/technology/corporate/rdc/rd/topics/22/2208-02.html>

2.8 使用済太陽電池モジュールの大量排出

2012年にFIT制度が導入され、当初3年程度は、住宅・非住宅合わせて年間10GW程度の設備が導入された。その後、年間導入量自体は減少したがそれでも2022年時点で5GW程度導入されている。FITによる買取期間は20年であり、太陽電池モジュールの耐久性も25年から30年程度であることから、FITによる買取期間終了後、2030年代後半以降に太陽電池モジュールの排出量が顕著に増加すると予想される。

老朽化などにより排出される太陽電池モジュールは、中間処理業者によりアルミなどリサイクル可能なものは回収され、それ以外は、管理型処分場で処分されている。環境省産業廃棄物施設の設置、産業廃棄物処理業の許可等に関する状況(令和3年度実績)によると、管理型処分場(全国)残存容量は11,183万m³となっている。

また、環境省が実施したアンケート調査の結果によると、令和3年度時点の我が国の太陽電池モジュールリサイクル設備の処理能力は、約7万トン/年であり、都道府県別では、図2-8-1のようになっている。

	施設件数 ^{※1}	全処理能力 ^{※1,2}	太陽光パネルのリサイクル設備等の処理能力 ^{※1,2}	ピーク導入量 ^{※3}	導入ピーク年
	件	t/年	t/年	t/年	年
北海道	1	2,400	0	29,920	2015
青森県	3	269,750	950	16,138	2015
岩手県	0	0	0	13,487	2019
宮城県	2	75,417	3,225	33,909	2020
秋田県	3	76,800	0	4,574	2016
山形県	2	231,588	1,188	3,867	2015
福島県	5	81,494	3,494	32,470	2017
茨城県	3	3,686	3,686	46,752	2015
栃木県	1	180	180	34,921	2015
群馬県	0	0	0	23,687	2019
埼玉県	1	1,075	1,075	17,808	2014
千葉県	3	139	19	40,526	2015
東京都	2	2,304	2,304	2,442	2013
神奈川県	0	0	0	5,586	2014
新潟県	0	0	0	7,073	2021
富山県	1	28,800	28,800	4,566	2014
石川県	0	0	0	10,502	2018
福井県	0	0	0	3,284	2014
山梨県	0	0	0	9,314	2014
長野県	1	397	397	17,698	2014
岐阜県	0	0	0	16,069	2014
静岡県	1	2,707	2,707	24,340	2014
愛知県	1	7,711	7,711	31,232	2014
三重県	1	720	720	25,591	2018
滋賀県	0	0	0	10,568	2014
京都府	2	3,744	3,744	6,795	2014
大阪府	0	0	0	11,418	2013
兵庫県	1	90,000	0	34,379	2014
奈良県	0	0	0	6,984	2014
和歌山県	0	0	0	8,782	2015
鳥取県	0	0	0	4,930	2013
島根県	0	0	0	6,045	2015
岡山県	3	6,820	6,220	25,498	2018
広島県	0	0	0	16,183	2015
山口県	0	0	0	16,135	2021
徳島県	0	0	0	13,440	2014
香川県	0	0	0	10,388	2014
愛媛県	2	2,544	2,304	12,078	2014
高知県	0	0	0	5,994	2014
福岡県	2	720	720	35,643	2014
佐賀県	0	0	0	9,124	2014
長崎県	0	0	0	12,702	2014
熊本県	0	0	0	23,246	2014
大分県	0	0	0	19,322	2013
宮崎県	0	0	0	17,924	2014
鹿児島県	1	1,036	1,036	31,043	2014
沖縄県	0	0	0	6,611	2014

- 全処理能力：
太陽光パネル専用の処理設備に限らず、シュレッダーによるモジュール破砕後に埋立や焼却等を行う等の処理方法も含んだ処理能力の合計。
- 太陽電池モジュールのリサイクル設備等の処理能力：
太陽電池モジュール専用の処理設備によるガラスとバックシートの分離、モジュール破砕後に素材選別を実施する等、リサイクルが可能な処理設備の処理能力の合計。

※1：アンケート調査にて、太陽電池モジュールの受け入れはしているが、「モジュールの種類や荷姿により異なるため一概に回答出来ない」等の理由から処理能力は未回答であった施設も件数に含む。
 ※2：処理施設年間稼働日数を240日として計算
 ※3：kW換算でのピーク導入量をモジュール1枚当たり250W、20kgと仮定して算出。

図 2-8-1 都道府県別太陽電池モジュールリサイクル設備の処理能力

出典：中央環境審議会循環型社会部会太陽光発電設備リサイクル制度小委員会・産業構造審議会イノベーション・環境分科会資源循環経済小委員会太陽光発電設備リサイクルワーキンググループ 合同会議（2024年12月16日）
 一部 NEDO にて修正 <https://www.env.go.jp/council/content/03recycle03/000272494.pdf>

シリコン太陽電池モジュールの構造と重量構成を図 2-8-2 に示す。排出された太陽電池モジュールは、ガラスとバックシートの分離後、素材選別によりリサイクルが可能となる。これまではアルミフレーム、銀、銅などが有価物として回収されていたが、重量で約 60%を占めるガラスについては、主に路盤材やガラスウールなどに利用されるのみであった。しかし近年、より付加価値の高いフロート板ガラス製造などの実証実験も行なわれている。

大量排出される太陽電池モジュールを分離・選別し、管理型処分場で処分される量を削減すると同時に、太陽電池モジュールの構成材料をより付加価値の高い資源や製品として再利用していくことが必要となる。



出典)「太陽光発電開発戦略2020 (NEDO PV Challenges 2020) (NEDO)」
「太陽光発電設備のリサイクル等の推進に向けたガイドライン (第三版) (環境省)」

※ 上記の重量構成には、ジャンクションボックスを含まない点に留意が必要。
※EVAとは、EVA樹脂 (エチレン酢酸ビニル樹脂) の略

図 2-8-2 シリコン太陽電池モジュールの構造と構成とその重量構成

出典：中央環境審議会循環型社会部会太陽光発電設備リサイクル制度小委員会・産業構造審議会イノベーション・環境分科会資源循環経済小委員会太陽光発電設備リサイクルワーキンググループ 合同会議 (2024年9月13日)

<https://www.env.go.jp/council/content/03recycle03/000252102.pdf>

2.9 主要国における太陽光発電分野の政策動向および技術開発戦略

2.9.1 主要国における太陽光発電分野の政策動向

(1) 米国

バイデン大統領（当時）は、2021年2月に地球温暖化対策の世界的枠組みの「パリ協定」に復帰し、2035年までに米国の電力網を脱炭素化し、さらに長期ゴールとして、2050年までに電力部門だけでなく、米国の経済全体における温室効果ガスの排出をゼロにするという目標を設定した。

米・国立再生可能エネルギー研究所（NREL）は、電力網の脱炭素化に向けたシナリオを検討し、太陽光未来調査報告書（Solar Futures Study）を発表した。その中の脱炭素化シナリオでは、2035年約800GW、2050年約1,000GWの太陽光発電設備の導入としている。（米国における2020年の太陽光発電の設備容量は76GW）。

2022年8月には、インフレ抑制法（Inflation Reduction Act, IRA）が成立し、発電事業用・業務用・住宅用太陽光発電設備の投資税額控除、住宅用補助金が設定され、支援が強化された。IRA成立後、太陽電池工場の設立計画が相次いで発表された。米国エネルギー省（DOE）によれば、2025年1月時点で米国で稼働中の太陽電池モジュール生産能力は、53GW/年に達した。

2025年1月からは、第2次トランプ政権がスタートしているが、トランプ大統領はパリ協定から再離脱すると表明しており、上述の目標は変更または破棄される可能性が高い。IRAについては、米国の雇用創出に貢献していることから支援は継続するとみられているが、電気自動車（EV）や風力発電への補助金は縮小または廃止される方向といわれており、太陽光発電への補助金についても不透明な状況となっている。ただし、米国のエネルギー転換は州政府が主導し継続していく見通しである。

(2) 欧州

2022年5月に発表されたREPowerEU計画において、最終エネルギー消費に占める再生可能エネルギー比率を40%から、45%に高めることが提案された。（最終的には、2030年までにEUの総エネルギー消費における再生可能エネルギー比率42.5%達成を加盟国に義務付け、45%については努力目標に位置づけられた。）この計画の一部として発表された「ソーラー・エネルギー戦略」で、太陽光発電を2025年までに320GW（2020年比2倍以上）、2030年に600GW（ACベース、DCベース換算では約740GW）以上導入することを目標とした。

また、2024年6月29日に発効したネットゼロ産業法（NZIA）では、2030年までに太陽電池モジュールなど、温室効果ガス排出量ネットゼロに寄与する製品の需要の40%を欧州連合（EU）域内製品で賄うことが求められており、2030年までに太陽電池バリューチェーン全体で30GW/年の生産能力を保持できるよう、規制緩和などを行う計画であることが発表されている。

2022年12月に設立された欧州太陽光発電産業同盟（Solar PV Industry Alliance）は、2025年までに欧州での太陽電池生産能力を30GW/年に拡張する目標を掲げている。

(3) インド

2021年のCOP26において、モディ首相は、2070年までに温室効果ガスの排出をゼロにする目標を表明した。これを受けて、同国の科学技術庁（DST）は非化石燃料エネルギーを増加し、2030年までに再生可能エネルギーが全エネルギーの半分を供給し、温室効果ガス排出量を削減して2070年までにカーボンニュートラルを達成する目標を明らかにしている。

また、インド政府は、国内プロジェクトに使用される太陽光発電関連製品はインド製であるべきとの考えの下、高効率で、大規模垂直統合生産の事業者にインセンティブを与える生産連動型優遇策（Production Linked Incentive Scheme, PLI）を導入している。PV関連では2,400億ルピー（3,840億円）の予算が組まれている。2026年までの太陽電池モジュール総生産能力は110GW/年に達する見込みである（2022年末38GW/年）。2023年6月時点で、14社がPLIに応募しており、計画生産能力は、51.6GW/年となっている。2021年には、特定の太陽光発電プロジェクトの開発に際し、政府が発表する認証企業・製品リスト（Approved List of Modules and Manufacturers, ALMM）に掲載されている製品の使用を義務付ける制度を導入している。同制度は2026年から太陽電池セルにも適用される予定である。

更に、2022年4月からは、インドと自由貿易（FTA）を締結していない国からは、太陽電池セルに対して25%、モジュールに対して40%の基本関税（Basic Customs Duty, BCD）を課している。

(4) 中国

2020年の国連総会で、中国は2030年までに温室効果ガス排出量を減少に転じさせ、2060年までに実質ゼロ（カーボンニュートラル）とすることを発表した。

2022年6月1日には、中国の国家発展改革委員をはじめとする9つの政府部門が共同で「第14次5カ年再生可能エネルギー発展計画」を公表した。この計画では、中国全体で電力消費における再生可能エネルギー比率の義務的割合を2025年までに33%前後に引き上げるとしている。具体的には、2025年年末時点の再生可能エネルギー年間発電量目標値を3,300TWhとし、一次エネルギー消費量の増加分の50%以上を再生可能エネルギーで賄うとしている。また、2030年までに風力・太陽光発電システムの累積導入量を1.2TW以上とする目標も掲げられていたが、この目標は2024年5月までに達成された。普及拡大に向け、砂漠などに大型の風力・太陽光発電システムを設置するプロジェクトを加速し、送電のための電力システムの整備を行っている。さらに、分散型発電システムの設置も積極的に推進し、産業団地、経済開発区、公共建築物に設置するほか、新築の住宅や公共建築物にも積極的に建材一体型太陽電池（BIPV）の導入を進める。農業・畜産業、漁業、5G通信基地、データセンターなど産業と融合した発展を目指すほか、新エネルギー自動車の充電ステーション、鉄道路線の沿線、高速道路の沿線など交通分野にも設置を進めることとしている。

中国エネルギー研究所の分析によると、2060年の中国のカーボンニュートラルには、太陽光発電4,800GW、風力発電4,200GWが必要である（2022年比で約12倍）。

(5) オーストラリア

温室効果ガス排出量削減に向けた計画としては、2050年までのネットゼロ達成を目標に掲げた「長期排出削減計画 (Australia's Long-Term Emissions Reduction Plan)」が2021年に打ち出されている。

本計画では、オーストラリアの強みを持続させながら、技術開発を梃に温室効果ガス排出の実質ゼロを達成させるという考えの下、①技術コストの低減、②温室効果ガス排出削減に必要な制度・インフラ・市場などの大規模展開、③クリーン水素や蓄電池用のレアメタルなどの輸出拡大による既存・新市場の獲得、④二国間・多国間協力促進の4軸で構成されている。これらの考え方に沿って優先的低排出技術を特定し、再生可能エネルギー関連技術や二酸化炭素の回収・貯蔵(CCS)技術等への優先的な投資(2030年までに最低200億豪ドル;2兆1千億円程度)によってクリーンエネルギーの低コスト化と浸透、地下資源の持続的利用を目指す計画である。太陽光発電に係る優先的低排出技術の目標としては、15豪ドル/MWh(1.57円/kWh)という超低コストを掲げている。

また、2022年5月の政権交代後、2050年のネットゼロ目標に加え、2030年までに温室効果ガス排出量を2005年比で43%削減し、再生可能エネルギー比率を82%にするという目標を掲げている。

さらに2024年3月28日には、国内の太陽光発電製造をサプライチェーン全体にわたって活性化させるため、「ソーラー・サンショット・プログラム」(10億豪ドル、約1,050億円)の設立を発表した。本プログラムでは、モジュール製造能力の拡大や、サプライチェーン全体を支援することを目的としており、これにはポリシリコン、インゴット、ウエハー、セル、モジュール組み立て、ソーラーガラスやその他周辺材を含む先進技術が含まれる。

オーストラリアは、再生可能エネルギー大国というビジョン実現に向け、サプライチェーン全体でその存在感を高めつつある。

各国の政策動向を取りまとめたものを表2-9-1-1に示す。

表2-9-1-1 主要国における太陽光発電分野の政策動向のまとめ

	米国	欧州	インド	中国	オーストラリア
概要	<ul style="list-style-type: none"> 2035年電力部門の脱炭素化 2050年までに米国の経済全体における温室効果ガス排出量ゼロの実現を目指す。(第2次トランプ政権では、見直される可能性が高い。) 	<ul style="list-style-type: none"> 温室効果ガス排出量ネットゼロに寄与する製品需要の40%を欧州連合域内製品で賄う。(ネットゼロ産業法) 	<ul style="list-style-type: none"> 2070年カーボンニュートラル実現を掲げ、2030年までに再生可能エネルギー比率50%を目指す。 国内プロジェクトに使用される太陽光発電関連製品はインド製であるべきとの考えの下、生産運動型優遇策 (PLI) を導入 	<ul style="list-style-type: none"> 2060年カーボンニュートラル実現を掲げ、2025年までに再生可能エネルギー比率33%前後を目指す。 	<ul style="list-style-type: none"> 2050年カーボンニュートラル実現に向け、2030年までに発電量の82%を再生可能エネルギーを目指す。 長期排出削減計画 ①コストの低減 ②制度・インフラ・市場の展開 ③グリーン水素、蓄電池用のレアメタルの輸出拡大による市場の獲得 ④二国間・多国間協力推進
導入目標	<ul style="list-style-type: none"> 2035年：800GW 2050年：1,000GW (太陽光未来調査報告書) 	<ul style="list-style-type: none"> 2025年：320GW_{AC} 2030年：600GW_{AC} (ソーラー・エネルギー戦略) 	<ul style="list-style-type: none"> 2030年：300GW 	<ul style="list-style-type: none"> 2060年：4,800GWが必要 (中国エネルギー研究所分析) 	<ul style="list-style-type: none"> オーストラリア・エネルギー市場オペレーター (AEMO) の目標 電力事業用太陽光発電システムと風力発電の合計容量： 2030年までに44GW、2050年までに141GW 分散型太陽光発電システムの導入量： 2030年までに35GW、2050年までに69GW
太陽電池生産能力 (目標、計画)	<ul style="list-style-type: none"> モジュール生産能力 53GW (2025年1月現在) 	<ul style="list-style-type: none"> 2030年：30GW/年 (ネットゼロ産業法) 	<ul style="list-style-type: none"> 2026年モジュール生産能力：110GW/年 (見込み) 	<ul style="list-style-type: none"> 生産能力過剰のため、盲目的な拡張を抑制する方針 	<ul style="list-style-type: none"> モジュール製造能力の拡大、サプライチェーン全体の支援を目的として、1ソーラー・サンシット・プログラムを設立
コスト (LCOE) 目標	<ul style="list-style-type: none"> 住宅用：2030年：5セント/kWh 業務用：2030年：4セント/kWh 電力事業用：2030年：2セント/kWh (米国エネルギー省・太陽エネルギー技術局) 	<ul style="list-style-type: none"> 結晶シリコン：25ユーロ/Mwh(電力事業用) タンDEM：<25ユーロ/MWh (EU ETIP PV: Strategic Research and Innovation Agenda on Photovoltaics, 2024年8月) 	<ul style="list-style-type: none"> 2030年電力事業用太陽光発電システム設置コスト：0.3豪ドル/W (オーストラリア再生可能エネルギー局 (ARENA)) 	<ul style="list-style-type: none"> 2030年電力事業用太陽光発電システム設置コスト：0.3豪ドル/W (オーストラリア再生可能エネルギー局 (ARENA)) 	<ul style="list-style-type: none"> 2030年：82% 州による目標： - 南オーストラリア州：2030年100%、 - ビクトリア州：2035年95%、 - クイーンズランド州：2035年80%、 - タスマニア州：2040年200%
再生可能エネルギー比率	<ul style="list-style-type: none"> 28州 + ワシントンDCが独自の目標を設定 - カリフォルニア：2040年100%、 - ニューヨーク：2040年100%など、 	<ul style="list-style-type: none"> 2030年：42.5% (奨励目標45%) (改正再生可能エネルギー指令 (RED III)) 	<ul style="list-style-type: none"> 2030年：50% 	<ul style="list-style-type: none"> 2025年：33%前後 (第14次5カ年再生可能エネルギー発展計画) 	<ul style="list-style-type: none"> 2030年：82% 州による目標： - 南オーストラリア州：2030年100%、 - ビクトリア州：2035年95%、 - クイーンズランド州：2035年80%、 - タスマニア州：2040年200%

出典：各種資料より (株) 資源総合システム作成

2.9.2 主要国における太陽光発電技術開発戦略

表 2-9-2-1 に主要国における太陽光発電（PV）技術開発の方針、主な研究開発プログラムの目標、重点分野のまとめを示す。太陽電池生産のサプライチェーンが中国に集約され、関連製品の価格が下落していく中で、欧米は全般的な基礎研究を継続しつつも、製造産業強化のための技術開発を重点項目に挙げている。また太陽光発電の新たな応用と市場を拓げるため、営農型、水上設置、建材一体型太陽光発電（BIPV）、インフラ統合などの「統合型 PV」や「デュアルユース PV」といった分野にも注力している。さらに PV の持続可能性を焦点に、リサイクル技術や資源制約に関する研究開発にも取り組んでいる。中国では、製造企業による研究開発が非常に活発に行われており、政府ではデバイス技術よりも、脱炭素化に向けた応用に関する研究開発を強化している。

表 2-9-2-1 主要国における太陽光発電技術開発戦略のまとめ

項目	米国	欧州連合（EU）	中国
方針・戦略	政権交代により不透明な状況（※2024年までは生産の競争力におけるイノベーション、システムインテグレーション、人材育成を強化する方針）	化石燃料への依存を減らし、クリーンエネルギーへ移行する方針。再エネ分野の導入と製造産業強化の実現を目指し、太陽光発電の研究開発を遂行	デバイスよりも脱炭素化に向けた応用に関する研究開発を強化
研究開発プログラム及び目標	太陽エネルギー技術開発目標（米国エネルギー省（DOE）・太陽エネルギー技術局（SETO）） ・2030年の均等化発電原価（LCOE）： 住宅用：5セント/kWh、 商用：4セント/kWh、 電力事業用：2セント/kWh	欧州の戦略的エネルギー技術計画（SET計画）-欧州太陽光発電技術革新プラットフォーム（ETIP PV）、「太陽光発電技術戦略的研究・イノベーション行動計画（SRIA PV）Update」（2024年8月） ・先進的太陽電池技術による性能向上とコスト削減 ・結晶シリコン変換効率：>25.5%で LCOE：25ユーロ/MWh、ペロブスカイト変換効率：>23%、CIGS変換効率20%、 タンデム：変換効率：>27%でLCOE：<25ユーロ/MWh ・耐用年数、信頼性及び持続可能性の改善 ・インテグレーションによる新たな応用（BIPV、VIPV、営農型、FPV、インフラ統合型PV、低電力エネルギーハーベスティング） ・スマート・エネルギー・システムへの統合（普及拡大と高浸透率） ・太陽光発電大量普及への移行の経済社会的側面（社会受容）	「スマート太陽光発電産業革新発展行動計画（2021～2025年）」での目標（一部） ・5G通信、人工知能、ビッグデータ等の先進的なデジタル技術を融合させ、スマートかつ特色ある太陽光発電製品の応用を目指す方針 ・交通関係の機器、航空・宇宙関連などの分野での応用拡大 ・スマート化、デジタル化された住宅用太陽光発電製品とシステムの開発 ・n型TOPCon、ヘテロ接合（HJT）、IBC等高効率太陽電池セルの研究開発と産業化 ・ペロブスカイトやタンデム型など新型太陽電池モジュールの研究開発と産業化 ・長寿命、高安全性の建材一体型太陽光発電（BIPV）用モジュール、ソーラー瓦の開発
研究開発の重点（2024年）	DOE・SETOの研究開発支援プログラム ・結晶シリコン太陽電池製造サプライチェーン・コンポーネントの実証 ・初期段階のペロブスカイト・タンデム太陽電池の商業生産に関する研究開発 ・CdTe太陽電池の市場ポテンシャルの改善 ・デュアルユース（営農型、BIPV、車載等） ・将来の電力システムのためのインバータを利用した発電設備のオペレーション及び計画ツールの開発 ・資源制約、循環経済、リサイクル等	研究とイノベーションのための枠組みプログラム「Horizon Europe」（2021～2027年）におけるPV研究開発プログラムのテーマ ・結晶シリコン技術の先進的コンセプト ・大面積ペロブスカイト太陽電池セル・モジュール ・先進的製造のための装置とプロセス ・低出力PV（Low-Power PV） ・太陽光発電製品のエコデザイン、エネルギーラベルの標準化 ・リサイクル ・BIPV及びインフラへのインテグレーション、水上設置、革新的な地域PV ・系統への統合 ・運用・保守（O&M） ・モビリティへの統合（VIPV）	2024年度「再生可能エネルギー技術」重点プロジェクトで募集された主なPV関連のテーマ ・太陽光発電のデジタル管理、発電量予測、O&M ・セル変換効率28%以上を目指すプロジェクト ・両面発電型モジュール変換効率25%以上を目指すプロジェクト ・無機化合物薄膜太陽電池（基礎研究） ・高効率タンデム太陽電池（基礎研究） ・ペロブスカイト・タンデム太陽電池の設計と技術（基礎研究） ・CIGS薄膜太陽電池（基礎研究）

出典：各種資料より（株）資源総合システム作成

2.10 日本の政策動向

2025年2月18日に、第7次エネルギー基本計画が閣議決定された。本計画では、エネルギーの安定供給と脱炭素を両立する観点から、再生可能エネルギーを主力電源として最大限導入するとともに、特定の電源や燃料源に過度に依存しないようバランスのとれた電源構成を目指すこととしている。また、再生可能エネルギー導入にあたっては、①地域との共生、②国民負担の抑制、③出力変動への対応、④イノベーションの加速とサプライチェーン構築、⑤使用済み太陽電池モジュールへの対応などの課題に対応し、再生可能エネルギーの長期安定電源化に取り組むこととしている。2040年度の再生可能エネルギーの電源シェアは、4割から5割とされており、そのうち太陽光は、23%から29%程度とされている。

また、温室効果ガスの削減目標も、2013年度比で2040年度73%という野心的な目標を掲げている。2040年に向けたエネルギー政策は、まずは、第6次エネルギー基本計画などで示した具体的な施策を着実に実行していき、必要な施策の更なる具体化や見直しに取り組んでいく必要があるとしている。

以下、これまでの主な取り組みを取りまとめ、記載する。

(1) 制度関係

・フィード・イン・プレミアム（FIP）制度の導入

再生可能エネルギー発電事業者が電力市場に売電した際に、売電価格に対して一定の補助額（以下、プレミアム）を上乗せする制度が2022年4月より開始された。プレミアムを上乗せすることで、再生可能エネルギー発電事業者へのインセンティブを確保しつつ、電力市場と連動した再生可能エネルギー電気の供給を実現することを目的に制度導入がなされている。

・FIT/FIP制度における屋根設置区分の新設

2023年度下半期より、FIT/FIP制度において新たに屋根設置区分が設けられた。屋根設置の太陽光発電は、足場設置の必要性、屋根や建物のメンテナンスや立替が必要になることが多いため、地上設置と比較してコストが高くなることが指摘されていた。「令和5年度以降の調達価格等に関する意見」によれば、10kW以上50kW未満の地上設置の買取価格が10円/kWhであるのに対して、10kW以上の屋根設置の買取価格は12円/kWhに設定されている。

・太陽電池モジュール増設時のルール変更

2024年3月以前のルールでは、太陽電池モジュールの増設・更新の場合、増出力分が3kW未満かつ3%未満のもの以外は、設備全体が最新価格へ変更されるため、買取価格が大幅に低減されていた。このため、増設・更新がこれまで進んでこなかった。2024年4月に施行された新ルールでは、当初設備相当分は、現行の買取価格が適用され、増出力分に対してのみ最新の買取価格相当の低い価格が適用されることとなったため、FIT期間中に設備更新が行い易くなった。

- ・太陽光発電設備のリサイクル制度について

現行法では、廃棄する太陽電池モジュールに対してリサイクルは義務付けられておらず、廃棄物処理法に則って、適切に処理されることになっている。太陽電池モジュールの排出量は 2030 年代半ばから顕著に増加することが推定されている。産業構造審議会の太陽光発電設備リサイクルワーキンググループでは、「モノ」、「費用」、「情報」の観点から太陽光発電設備のリサイクル制度のあり方についての議論が進んでおり、使用済み太陽電池モジュールのリユースや再資源化の促進による最終処分量の削減と発電事業終了後の太陽光発電設備の放置・不法投棄の防止を図るため、早急に対応していく必要があるとされている。

- ・廃棄等費用積立制度

太陽光発電設備の廃棄等費用の確実な積立てを担保するために、10kW 以上のすべての太陽光発電の FIT・FIP 認定事業を対象とし、認定事業者に対して、原則として、源泉徴収的な外部積立てを求める制度が、2020 年 4 月の「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」（再エネ特措法）の改正により導入された。

- ・太陽電池モジュール含有の物質情報の開示

太陽光発電の認定事業者が新規の認定申請を行う場合や太陽電池モジュールの変更申請を行う場合に、含有物質情報の登録がある型式の太陽電池モジュールの使用を義務付けた。（2024 年 4 月再エネ特措法施行規則改正）

- ・保険加入の努力義務化

出力 10kW 以上の太陽光発電設備については、「災害等による発電事業途中での修繕や撤去及び処分に備え、火災保険や地震保険等に参加する」ことが努力義務化された。（2020 年 4 月の再エネ特措法改正に基づく事業計画策定ガイドライン改定）

- ・小規模太陽光発電設備のサイバーセキュリティ対策

「電気設備に関する技術基準を定める省令」において、事業用電気工作物においては、サイバーセキュリティの確保が義務付けられているが、50kW 未満の小規模太陽光発電設備（一般用及び小規模事業用）については、電気事業法上、サイバーセキュリティの確保に特化した明確な技術基準の規定までではない。

電気工作物の区分	電気事業法上の位置づけ		系統連系技術要件に基づくセキュリティ対策の義務の有無
	サイバーセキュリティの確保に特化した明確な技術基準の規定の有無	技術基準の解釈に位置づけられているガイドライン	
一般用電気工作物	無し(※)	—	有り
小規模事業用電気工作物	無し(※)	—	有り
事業用電気工作物	自家用電気工作物	有り	自家用電気工作物に係るサイバーセキュリティの確保に関するガイドライン ※発電事業者の自家用電気工作物については、電力制御システムセキュリティガイドライン
	電気事業の用に供する事業用電気工作物	有り	電力制御システムセキュリティガイドライン

(※) 50kW未満の小規模太陽光発電設備（一般用及び小規模事業用）については、電気事業法上、サイバーセキュリティの確保に特化した明確な技術基準の規定までは無い。
(もっとも、感電・火災のおそれがないように施設しなければならないといった技術基準への適合義務が規定されており、それにより全体として保安を確保している。)

図 2-10-1 太陽光発電設備に対するサイバーセキュリティ対策規制の状況

出典：産業サイバーセキュリティ研究会 WG1（制度・技術・標準化）

電力サブワーキンググループ（2024年10月22日）

https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/sangyo_cyber/wg_seido/wg_denryoku/

しかし一般送配電事業者が定める系統連系技術要件では、設備規模に依らず、系統に連系する発電設備においてはすべからずサイバーセキュリティ対策が求められる。このため、「自家用電気工作物に係るサイバーセキュリティの確保に関するガイドライン」（2022年10月1日施行、2023年3月20日最終改正）が制定されこれに基づく対策が求められている。

(2) 系統制約への対応

・想定潮流の合理化

これまでは、系統に連系された電源の最大出力を想定した送電容量の確保がなされていたが、常に最大容量で送電が行われているわけではない。また、自然変動電源も全てが同時にフル稼働することは稀である。このため実際の利用状態に近い考え方で想定した潮流に基づいて送電容量の空き容量を算定する手法が、「想定潮流の合理化」であり、このような考え方に基づく、系統の利用効率向上の取り組みが2018年4月より導入されている。

・ノンファーム型接続

系統接続する電源は、通常、確保された容量の範囲内で自由に発電することができるが（ファーム型接続）、常に最大容量で送電を行っている状況ではない。このため、系統容量に余裕がある時間帯のみ送電を行う前提、つまり、系統の混雑時には出力制御される前提で電源接続（ノンファーム型接続）する運用が、2021年1月より全国の空き容量のない基幹系統で開始された。また、基幹系統より電圧の低いローカル系統においても、2023年4月よりノンファーム型接続の適用が開始され、運用容量の拡大が図られている。

・N-1 電制

多くの送電線は2回線以上で構成され、1回線の一部の容量については電力の安定供給のため、緊急用に確保されている。しかし、常に緊急時用に送電を制限することは効率の良い運用方法ではないため、送変電設備の単一設備故障時にリレーシステムで瞬時に電源制限を行うことを条件に運用容量を拡大する取り組みが、2018年10月より先行適用として開始され、2022年7月からは本格適用が開始されている。

・再給電方式

これまでの送電容量確保の順番は、公平性や透明性の確保の観点から、全電源において接続契約申し込み順に確保（先着優先ルール）することとなっていた。しかし、このような優先ルールの下では、従前から接続されている石炭火力等の発電が優先されるため、送電線混雑時に再生可能エネルギーの発電が石炭火力等より優先されるよう、系統利用のルールの見直しが進められてきている。2022年12月には、調整電源（一般送配電事業者が調整力契約をしている電源）を活用する再給電方式が導入され、更に2023年12月からは、調整電源以外の電源も含め一定の順序で出力制御する再給電方式が導入されている。

・需給調整市場の開設

調整力の確保をより効率的に行うことを目指し、より柔軟な調整力の調達や取引を行うことができる市場である「需給調整市場」が開設された。2021年4月よりFITインバランス特例制度①および③に基づく再生可能エネルギーの予測誤差に対応するための調整力である「三次調整力②」、翌年2022年4月よりゲートクローズ以降に生じる予測誤差に対応する調整力である「三次調整力①」、2024年4月より、「一次調整力」「二次調整力①」「二次調整力②」の取引が開設され、現在全商品が需給調整市場にて取り扱われている。

・容量市場の設立

将来の供給力（kW）を確保するための市場として、2020年に設立された。電力広域的運営推進機関（OCCTO）が運営管理を行う。オークションで落札電源と約定価格を決定する方式が取られ、実需要期間の4年前に全国で必要な供給力を一括で確保する。

2.11 太陽光発電導入拡大のための地域との共生

近年、近隣住民の懸念や自然環境・景観の保全を目的として、再生可能エネルギー発電設備に抑制的な条例（再エネ規制条例）の制定が増加している。図2-11-1に示す資源エネルギー庁（2022年10月）の資料では、2016年度に26条例であったものが、2023年度には、287条例と7年で11倍に増加している。全国の自治体の約17%が再エネ規制条例を制定している状況にある。

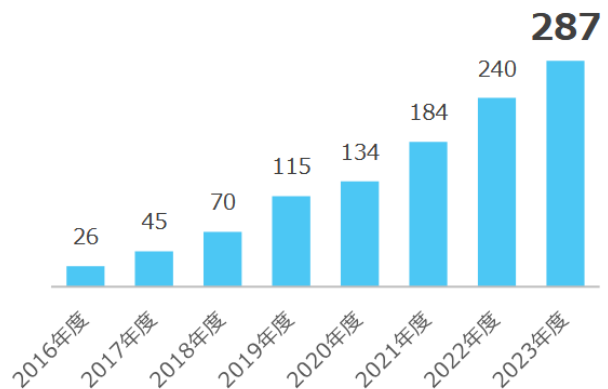


図2-11-1 再エネ規制条例制定件数推移

出典：総合エネルギー調査会 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（2024年11月28日）
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denyoku_gas/saisei_kano/pdf/071_01_00.pdf

地方自治研究機構の報告書（「太陽光発電設備の規制に関する条例」令和6年4月21日更新）

では、詳しい分析がなされており、太陽光発電設備のみを規制対象とするものは、158条例、太陽光発電設備を含む再生可能エネルギー発電設備を規制対象とするものは118条例が制定と報告されている。

対象地域に関しては、抑制区域を設定するものが最も多く123条例、地域を設定しないものが52条例、禁止区域を設定するものが39条例、特別保全地区を設定するものが13条例となっている（合計227条例）。また、規制手続きについては、届出・協議制をとっているものが最も多く127条例、許可制をとっているものが53条例、届出・同意制をとっているものが47条例となっている。件数も前回の報告（令和5年12月4日）から半年程度の間で220条例から227条例に増加している。

国としても再生可能エネルギーの長期安定電源化、地域との共生の実現策に関する議論が行われ、認定手続きの厳格化、説明会等のFIT/FIP認定要件化、関係法令への違反事業者等に対するFIT/FIPの一時停止措置等などを盛り込んだ「再生可能エネルギー電気の利用の促進に関する特別措置法」（再エネ特措法）の改正等が行われた。

適地が少なくなっている日本では、国民の生活環境に近い場所に太陽光発電設備を設置するケースが増加していくことが想定されるため、自然環境や生活環境等との調和を図っていくことは太陽光発電設備の導入拡大にとって重要な観点となる。

3. 過去の戦略の振り返り

本章のポイント

- (1) NEDO ではこれまで、太陽光発電の大量導入社会を着実に実現し支えるためのロードマップや戦略を策定し、太陽光発電の開発を推進してきた。
- (2) 2025年2月の発電コスト検証WGの発電コスト検証に関するとりまとめによると、2040年の政策経費なしの発電コストは、事業用太陽光発電設備で6.6円から8.4円、住宅用太陽光発電設備で7.6円から10.4円となっている。
- (3) 過去のNEDOプロジェクトは太陽光発電の主力電源化の推進に貢献してきたが、導入量の更なる拡大のためには、これまで導入が困難であった場所への導入の促進や面積あたりの発電量を高めていくことが重要である。

本章では、過去の戦略の振り返りを取りまとめた。

3.1 ロードマップ、開発戦略の振り返り

これまでNEDOでは、ロードマップ、開発戦略を策定しながら太陽光発電の大量導入社会を見据えた開発を推進してきた。

具体的には、2004年に策定した太陽光発電ロードマップ（PV2030）では、太陽光発電を2030年までに主要なエネルギー源に発展させることを目標とし、2010年には、23円/kWh（従量電灯並）、2020年には14円/kWh（業務用並）、2030年7円/kWh以下（汎用電源並）の発電コストを目指して開発を推進してきており、2009年に策定した太陽光発電ロードマップ（PV2030+）では、対象を2030年から2050年までに拡大し、「2050年までにCO₂削減の一翼を担う主要技術として社会に貢献する」ことを目指すこととした。

また、2014年には、将来の太陽光発電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、「発電コストの低減」、「信頼性の向上」、「立地制約の解消」、「リサイクルシステムの確立」、「産業の高付加価値化」を掲げた太陽光発電開発戦略（NEDO PV Challenge）を策定した。その後、2020年には、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として「高付加価値事業の創出」、「立地制約と系統制約の顕在化」、「安全性の向上」、「循環型社会の構築（信頼性とリサイクルシステム）」、「発電コストの低減」を抽出し、その解決に向けた太陽光発電開発戦略2020（NEDO PV Challenge 2020）を策定した。

表 3-1-1 これまでのロードマップ、開発戦略概要

策定年度	ロードマップ、開発戦略	戦略のポイントと発電コスト目標
2004年	太陽光発電ロードマップ (PV2030)	<ul style="list-style-type: none"> - 2030年までに主要なエネルギーに発展させることを目標。 - 普及拡大のトリガーは経済性との認識の下、以下の目標を設定。 - 2010年:23円/kWh(従量電灯並)、2020年:14円/kWh(業務用並)、2030年7円/kWh以下(汎用電源並)
2009年	太陽光発電ロードマップ (PV2030+)	<ul style="list-style-type: none"> - 対象を2050年にまで拡大、また、PV2030に加えて、「2050年までにCO₂削減の一翼を担う主要技術として社会に貢献する」ことを目指す。 - 2020年:14円/kWh程度、2030年:7円/kWh程度、2050年7円/kWh以下
2014年	太陽光発電開発戦略 (NEDO PV Challenges)	<ul style="list-style-type: none"> - 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。(発電コストの低減、信頼性の向上、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) 2020年：14円/kWh (システム例 効率22%、設備利用率15%、運転年数25年) 2030年：7円/kWh (システム例 効率25%、設備利用率15%、運転年数30年)
2020年	太陽光発電開発戦略2020 (NEDO PV Challenges 2020)	<ul style="list-style-type: none"> - 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抽出し、技術開発の方向性を示す。 - 2025年：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。 <small>※2018年日本の非住宅用太陽光発電 運転年数20年：16.0円/kWh、25年：12.5円/kWh 世界の事業用太陽光発電 運転年数25年：8.3円/kWh</small>

3.2 発電コスト低減に必要な取り組み

2025年2月の発電コスト検証WGでは、新たな発電設備を更地に2023年および2040年に建設・運転した場合のkWhあたりのコストを、一定の前提で機械的に試算している。この試算によると、2040年の政策経費なしの発電コストは、事業用太陽光発電設備で6.6円から8.4円、住宅用太陽光発電設備で7.6円から10.4円となっている。

表 3-2-1 2023年および2040年に建設・運転した場合のkWhあたりのコスト

	[円/kWh]			
	2023年		2040年	
	事業用 太陽光	住宅用 太陽光	事業用 太陽光	住宅用 太陽光
発電コスト ()内は政策経費無しの値	10.9 (10.0)	14.5 (14.0)	6.9~8.8 (6.6~8.4)	7.8~10.6 (7.6~10.4)
設備利用率	18.3%	15.8%	18.3%	15.8%
稼働年数	25年	25年	25年	25年

出典：発電コスト検証WG（2025年2月）よりNEDO作成

前回の太陽光発電開発戦略2020（PV Challenge 2020）では、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、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ている。本感度分析では、各項目をそれぞれ1%増減させ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で示している。今回、運転年数、割引率などの前提は前回同様とし、想定する各種単価は最新のもので再度試算を行った。

感度分析に用いた各種データを表3-2-2に、感度分析の結果を図3-2-1（PV Challenge2020での検討結果）、図3-2-2（今回の検討結果）に示す。今回の検討結果では、システム単価低減に伴う感度の低下がみられる一方、維持管理費・系統接続費は前回の費用と同一となっていることから、感度が上昇している。

表 3-2-2 感度分析に用いた各種データの比較

		前回（2019年度）	今回試算	
システム容量	(kW)	2,000		
前提	運転年数	(年)	20	
	割引率	(%/年)	3	
	法定耐用年数	(年)	17	
	固定資産税	(%/年)	1.4	
初期費用	モジュール効率	(%)	18	
	システム単価	(万円/kW)	1,000以上の平均値	50kW以上の上位25%
			22.2	13.6
	系統接続費	(円/kW)	13,500	
土地造成費	(円/kW)	4,000	9,000	
年間経費	運転維持費	(円/kW/年)	5,000	
	土地賃借料	(円/m ² /年)	維持管理費に含む	
発電能力	設備利用率	(%)	16.0	18.4
廃棄	廃棄処理費用	建設費の5%		

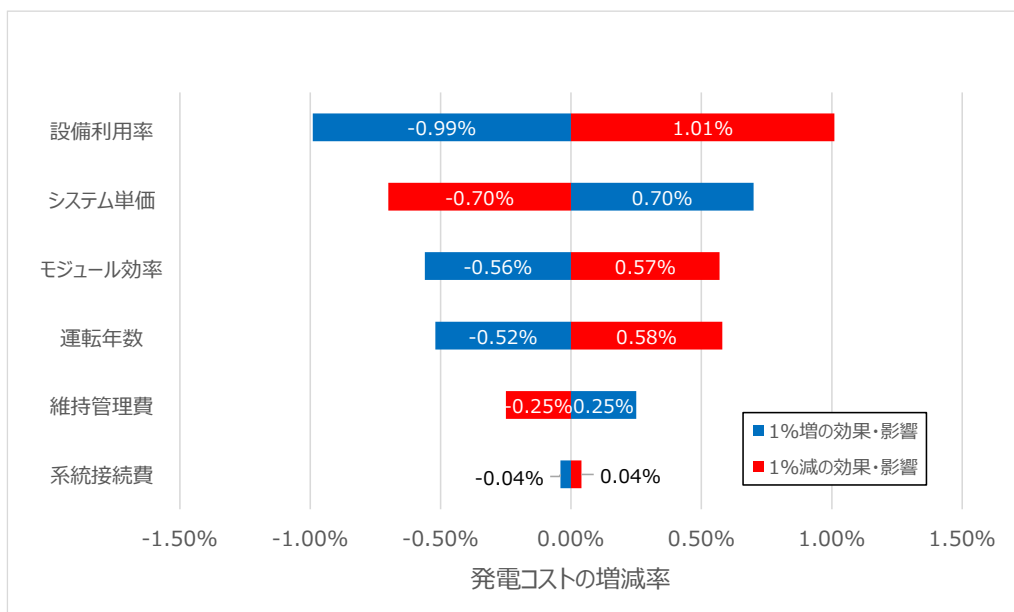


図 3-2-1 発電コストに対する感度分析（PV Challenge2020 での検討結果）

出典：NEDO

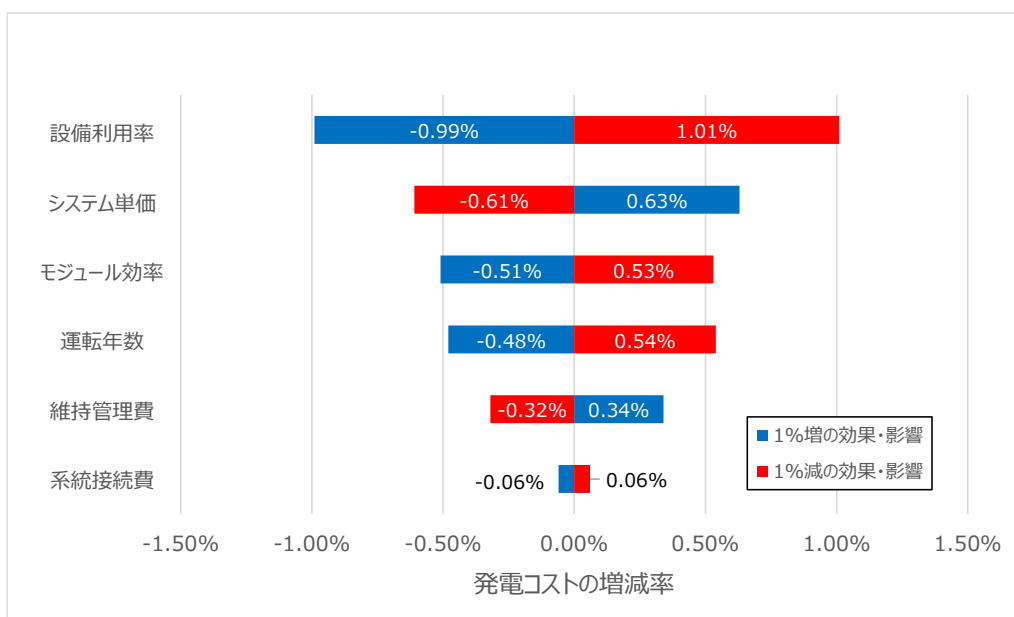


図 3-2-2 発電コストに対する感度分析（今回の検討結果）

出典：NEDO

設備利用率、システム単価、モジュール効率、運転年数、維持管理費の現在の状況について、以下のとおりまとめた。

(1) 設備利用率

設備利用率の改善のためには過積載率を上げることが有効であるが、昨今の状況では、モジュール価格の低下に伴い、50kW から 1,000kW 規模の設備の過積載率は 140%から 150%程度、10kW から 50kW の小規模設備の過積載率は 180.5%とかなり高い過積載率となっている（図 3-2-3 参照）。そのため、設備利用率の改善余地は小さくなっていると考えられる。

※過積載率とは、パワーコンディショナーの容量よりも、多くの容量の太陽電池モジュールを設置することをいう。

$$(\text{過積載率}) = (\text{設置太陽電池モジュール容量}) / (\text{パワーコンディショナー容量})$$

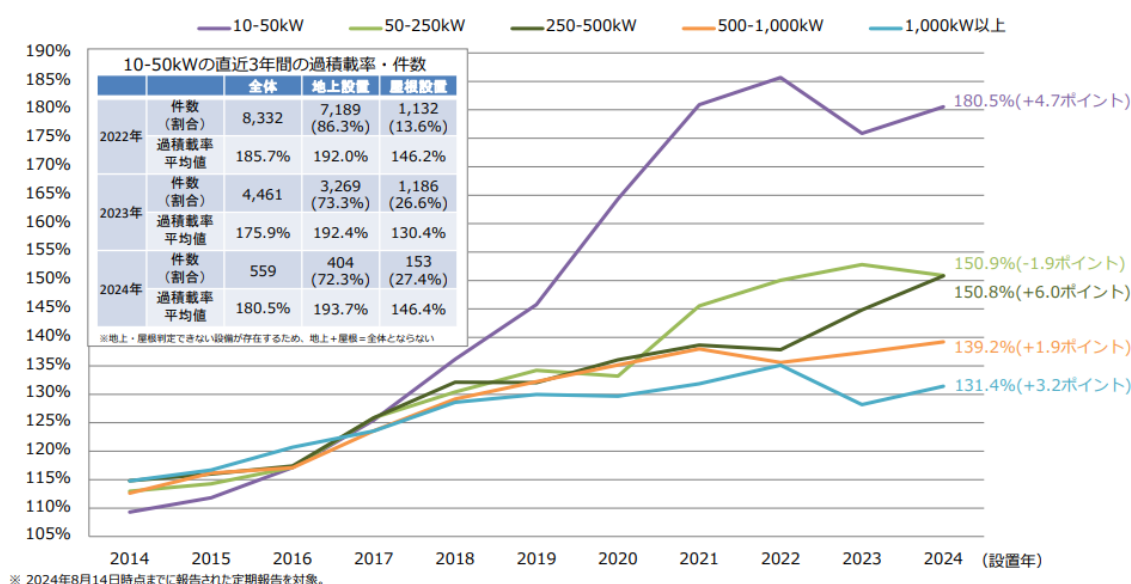


図 3-2-3 過積載率の推移

出典：調達価格等算定委員会資料（2024年12月17日）

https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/100_01_00.pdf

(2) システム単価

2013年には、約42万円/kWであったシステム単価が、2024年には、約26万円/kWにまで低下している（図 3-2-4 参照）。内訳を見ると、モジュール価格が低下していることが主な要因である。これは、低価格な中国製のモジュールが市場に導入されたことによると考えられる。パワーコンディショナーなども価格が低下してきているが、架台費用や工事費などはあまり価格低下が見られない。今後もシステム単価に占める割合の高いモジュール価格を下げていくことは重要であるが、架台費用や工事費などの低減もシステム単価の低減には重要である。

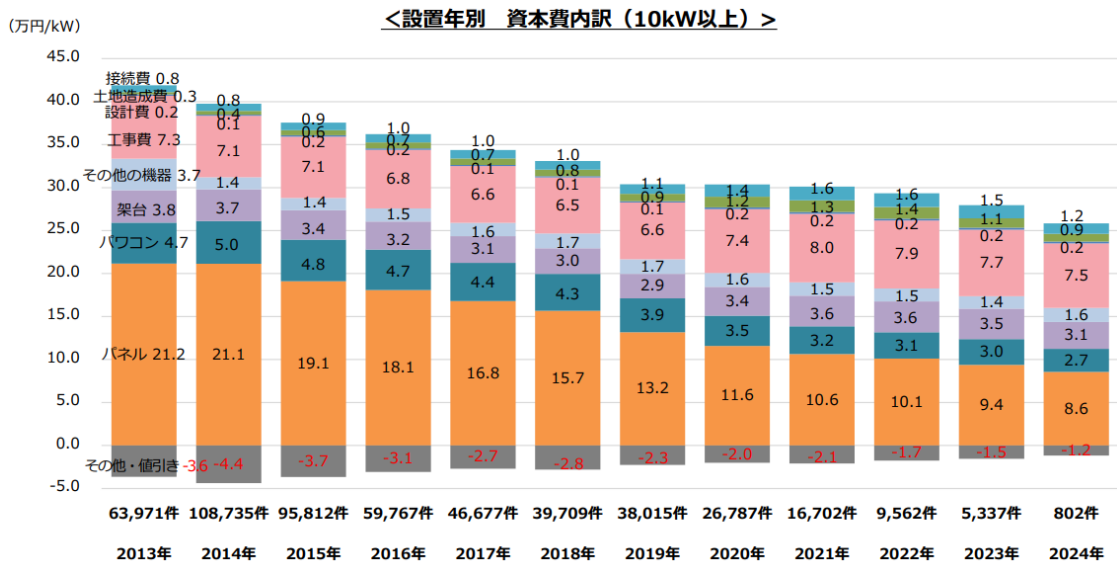


図 3-2-4 システム単価の推移

出典：調達等算定委員会資料（2024年12月17日）

https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/100_01_00.pdf

(3) モジュール効率

変換効率向上は、発電コスト低減に大きく寄与するため、本戦略の 2.6 章でも示したとおり、世界中の企業、研究機関が変換効率向上を目指して技術開発を行っている。変換効率向上は、単位面積あたりの発電電力が増加することに加えて、同一発電量を得るための設備に必要な BOS などの初期費用、土地賃借料などの運転維持費用のコスト削減にも有効である。

さらなる高効率化のためには、タンデム型などの次世代型太陽電池の開発が必要である。

(4) 運転年数

運転年数も発電コスト低減への寄与が大きい要素の 1 つである。本戦略の 2.6 章でも示したとおり、標準的な保証期間は、製品保証で 10 年から 15 年、出力保証で 25 年から 30 年であるが、40 年の製品保証と出力保証を備えたモジュールも出てきており、発電コストの更なる低下が期待されている。

太陽光発電システムの運転年数の長期化のためには、太陽電池モジュールの保証期間の長期化の他にも、機器類の長寿命化技術の開発が重要である。

(5) 維持管理費

太陽光発電システムの長期稼働に伴い、不具合の発生頻度も高くなっていく。設備の不調の早期発見、ダウンタイムの短縮化は、発電コストの低減にとって重要であるため、日々の運用や効果的・効率的な保守点検は重要である。本戦略の 2.7 章でも示しているとおり、日々の発電データ監視や効率的な異常検知などにより太陽光発電システムの性能低下や故障の検出などの技術開発は進んでいる。設備の長期稼働を目指す中で運転維持費の低減は重要な要素であるため、効果的・効率的な維持管理を推進していきながらも、対象設備の集約化などによりコスト低減を進めていくべきである。

これらの状況を踏まえると、今後発電コストの低減に大きく影響するものとしては、以下の3点を挙げることができる。

- ・現在の結晶シリコン単接合セルの効率を超える、高効率な次世代型太陽電池の開発
- ・長期安定稼働のためのモジュール、システムなどの長寿命化技術の開発
- ・効率的かつ効果的な運用・保守技術の開発

従来の地上設置システムなどの発電コストとこれまで導入が進んでこなかった分野の発電コストについてそれぞれ目指すべき方向性を以下にまとめた。

従来の地上設置システムなどの発電コストについて

これまで導入が進んでいる地上設置システムは、主として系統接続による売電を目的として設置されている。このため汎用電源と比較して遜色ない発電コストを目指してきた。今回の発電コスト検証WGの結果では、事業用太陽光発電の政策経費なしの場合で2040年で6.6円から8.4円であり、2040年では7円/kWhを切れるものも出てくると予想されている。

今後は、既設太陽光発電設備のリプレースなどによる単位面積当たりの発電量向上なども視野に入れながら、そのような動きを後押しできるよう、更なる発電コストの低減を目指すべきである。

これまで導入が進んでこなかった分野の発電コストについて

系統接続による売電を目的とする水上設置型の場合、水面への設置のためモジュール温度の上昇が抑制されるため効率の低下が少ないなどのメリットがあるが、一方で、耐腐食性が必要であること、アンカーによる係留や潜水によるアンカーケーブルの点検が必要であることなど地上設置と比較して費用がかさむことが考えられる。

また、系統接続による売電を目的とする営農型の場合、売電による収益と営農による収益の2つの収入を得ることができるなどのメリットがあるが、一方で、下部で農作物を育てるためモジュール設置場所が高くなる、土地が柔らかく土台が不安定になる場合があるなど、地上設置と比較して費用がかさむことが考えられる。

このため、まずは汎用電源並の発電コストに近づけていくことが必要である。

また、電力の自家消費を目的とした場合、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。このため、重量制約のある屋根（工場・倉庫など）、建物の壁面などこれまで導入が進んでこなかった分野に太陽光発電の設置を行い、完全自家消費をする場合については、求められる性能や意匠性などの考慮も必要であるが、まずは買電電力料金よりも低い発電コストを目指し、その後は自家消費率を高めるために更に低い発電コストを目指していくべきである。

3.3 NEDO 事業の主な成果・進捗

2018年7月に閣議決定された第5次エネルギー基本計画では、「2030年に向けた基本的な方針と政策対応」として、再生可能エネルギーの主力電源化が掲げられた。NEDOにおいては、本計画に基づき、太陽光発電開発戦略（NEDO PV Challenge 2020）を策定し、「太陽光発電主力電源化推進技術開発」プロジェクトを推進している。

国内導入量の増加に向けては、新市場として想定される重量制約のある屋根、壁面、移動体それぞれに適合する太陽電池の開発を実施している。重量制約のある屋根では、軽量フレキシブルな太陽電池を念頭に開発しており、特に有望と思われるペロブスカイト太陽電池については、2021年度に開始した「グリーンイノベーション基金事業」に移管して実施することで、実用化から社会実装まで一気通貫で取り組める体制を構築した。壁面では、建物の壁や窓に設置する高耐久・高意匠性の太陽電池モジュールの開発を実施している。合わせて壁面への設置方法の開発と実証試験を行い、効率的な発電と需要のマッチング方法を検討している。移動体では、主に車への太陽電池搭載を目指し、高効率・低コストな太陽電池の開発を実施するとともに、商用車に実装した場合のユースケース毎に発電量推定技術の開発を行っている。このような取り組みの成果が社会実装されることで、新市場が開拓されていくと考えられるが、いずれの技術も実用化までの時間が掛かるものも多く、アウトカム目標の達成まで道半ばである。今後も継続的に新市場での普及が期待される新たな太陽電池やそれを使ったシステムを開発することが必要である。

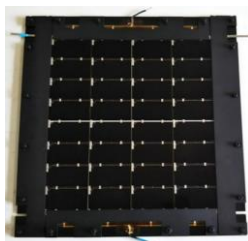
長期安定的な技術開発による小規模設備を中心とした導入量維持に向けては、設置場所に応じた設計・施工ガイドラインの策定を行っている。太陽光発電の建設に適した場所の減少に伴い、地上設置のほか、建物設置、傾斜地設置、営農設置、水上設置など多様化している現状を踏まえ、求められる安全対策を取りまとめることで、太陽光発電システムの信頼性・安全性の確保に取り組んでいる。また、太陽光発電が電力系統に与える影響を低減させるため、日射量予測の高度化による発電量予測の高精度化や大外し（日射量予測が大きく外れる事象（誤差の 3σ 相当値））の低減、太陽光発電システムに調整力を持たせる技術の開発にも取り組んでいる。こうした取り組みにより、既設の太陽光発電システムの維持や新規導入の促進に繋がると考えられる。今後は新たな太陽光発電システムへの対応や、法令への適合、デジタルなどの最新技術の活用によって、安定した導入量の確保が期待される。

太陽電池モジュールのリサイクル技術の開発による埋め立て処理量の削減に向けては、低コストに太陽電池モジュールを分離するリサイクル技術の開発や、使用済み太陽電池モジュールの排出量予測の改定などに取り組んでいる。また、分離されたカバーガラスを資源として活用する技術を開発し、埋め立て処理される廃棄物の量の低減にも取り組んでいる。資源確保、循環型社会構築の観点からも太陽電池モジュールの大量排出に先立ち、リサイクル体制を構築することが重要であるが、現状では一部これまでの開発成果の実用化が進んでいるものの、国内におけるリサイクル体制は十分確保できていない。

主な成果・進捗例の取りまとめを表 3-3-1 に示す。

表 3-3-1 NEDO 事業の主な成果・進捗例

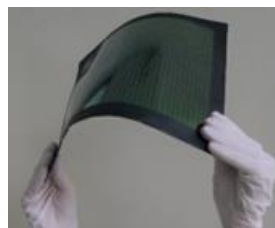
2020年の戦略的項目	実施内容	主な成果・進捗例
1. 太陽光発電産業の高付加価値化	<ul style="list-style-type: none"> 移動体向けモジュールの開発および実装 多接合太陽電池の開発 	<ul style="list-style-type: none"> 商用車に実装し、ユースケース毎の発電量評価を開始（2023年度～） 化合物・シリコン積層型太陽電池モジュールで世界最高効率(33.66%)を達成(2023/10)。小型月着陸実証機(SLIM)に搭載(2024/2)(シャープ)
2. 立地制約と系統制約への対応	<p>(立地制約)</p> <ul style="list-style-type: none"> 建物壁面・窓用の高耐久・高意匠性モジュールの開発 重量制約のある屋根向け軽量モジュールの開発(系統制約) 日射量予測の高精度化 系統影響緩和に関する技術開発 	<ul style="list-style-type: none"> 壁面用モジュールおよび施工方法の開発を行い、東大にて設置・実証。大成建設と協力して事業化予定(カネカ)(2023) 「太陽光発電ロールスクリーンシステム」の開発(LIXIL)(2023) ペロブスカイト太陽電池の実用化サイズのフレキシブルモジュールで最高効率16.6%(2022/10)。また積水化学工業、エネコートテクノロジーズ等が設置・施工方法を含めた性能検証の計画を複数発表(2023)。



33.66%（世界最高効率）を達成したモジュール（シャープ（株））



東大・先端科学技術研究センターに設置した壁面太陽光発電（株）カネカ



ペロブスカイト太陽電池のフレキシブルモジュール（株）東芝

2020年の戦略的項目	実施内容	主な成果・進捗例
3. 安全性の向上	<ul style="list-style-type: none"> 安全性に関するガイドラインおよび信頼性評価技術・信頼性回復技術の開発 	<ul style="list-style-type: none"> 傾斜地・水上・営農のガイドラインの公開とセミナーの実施(産総研、構造耐力評価機構、JPEA等)(2023/4) 建物設置型ガイドラインの公開とセミナーの実施(産総研、構造耐力評価機構、JPEA等)(2024/8)
4. 循環型社会の構築	<ul style="list-style-type: none"> 低コスト太陽光パネルのリサイクル技術開発・実証 	<ul style="list-style-type: none"> フロート板ガラスへのリサイクルを目指した、カバーガラスの低温熱分解技術の実証(トクヤマ)(2024/3) 使用済み太陽光パネルの排出量予測の更新(三菱総合研究所)(2023/11) 燃焼式汎用処理システムの開発・検証の後、事業化に向けたリサイクル工場の竣工・稼働開始(新菱)(2023/2)(2015—2017年度NEDO事業)



傾斜地・営農・水上・建物設置のガイドライン

太陽光パネルのリサイクル工場（新菱）

4. カーボンニュートラル実現に向けた太陽光発電分野の課題

本章のポイント

- (1) 2050年カーボンニュートラル実現に向け、太陽光発電の大量導入が進むが、適地制約、大量排出など解決しなければならない課題が存在する。
- (2) 国民負担により支援を受けて導入された太陽光発電を維持し、長期にわたって安定電源として稼働させることも重要である。
- (3) これまで導入が進んでこなかった分野への導入を促進するためには、これまでにない高い性能及び機能（高効率、軽量、意匠性、特殊環境での長期信頼性など）を有する太陽電池の開発が求められる。

2050年のカーボンニュートラルの実現のためには、再生可能エネルギーを増大させていく必要があるが、これらは変動電源であるため、電力系統内の電圧変動・フリッカー・需給バランスに大きな影響を与える。これらの要因を除くためには、電力需要予測の高精度化やベースロード電源による調整力の供給が必要であるが、ベースロード電源には主に火力発電が使用されるため、CO₂排出量削減のためには、この電源使用を極力抑える必要がある。そのためには、揚水発電の活用、水素や蓄電池への電力の貯蔵、夜間の割安な電力を利用した電気温水器やエコキュートなどを日中に稼働させるなどの日内需要シフト、クラウドコンピューティングでAIを動かす場合、電力が余る春と秋に学習を強化し、電力が不足する夏と冬は学習をひかえめにするなどの季節間の需要シフトなどさまざまな対応を行っていく必要がある。

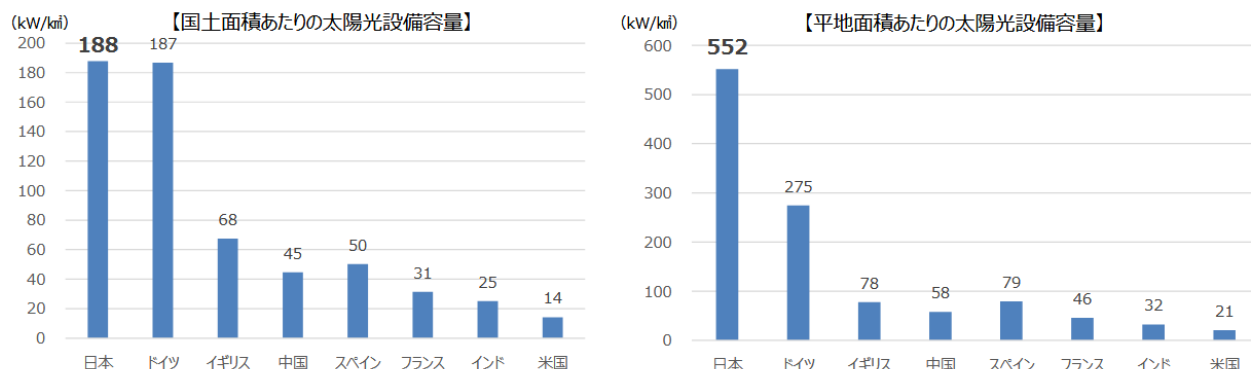
太陽光発電の大量導入を基調とした2050年のカーボンニュートラル実現には、解決すべき課題は様々あるが、今回の戦略では主に発電側に注目し、本章では、以下に述べる4つの課題を抽出した。

【4つの課題】

- ・ 導入拡大時の適地制約
- ・ 期待されるニーズの多様化
- ・ 効率的・効果的な運用・保守
- ・ 使用済モジュールの大量排出とリサイクルおよび省資源化

4.1 導入拡大時の適地制約

太陽光発電設備の累積導入量は、前述のとおり、中国、米国、インドに次いで日本は第4位であるが、図4-1-1に示すとおり、国土面積あたりの太陽光発電の設備容量は主要国の中で第1位となっている。特に、日本は平地の割合が少なく、平地面積あたりの太陽光設備容量はすでに主要国の2倍以上となっており、太陽光発電設備を設置するための適地不足に直面している。この適地制約を如何に克服していくかが導入拡大上の課題である。



	日	独	英	中	西	仏	印	米
国土面積	38万km ²	36万km ²	24万km ²	960万km ²	51万km ²	55万km ²	329万km ²	983万km ²
平地面積※ (国土面積に占める割合)	13万km² (34%)	24万km ² (68%)	21万km ² (87%)	740万km ² (77%)	32万km ² (63%)	38万km ² (69%)	257万km ² (78%)	674万km ² (68%)
太陽光の設備容量 (GW)	71	67	16	429	25	17	83	140
太陽光の発電量 (億kWh)	926	603	133	4,273	312	196	1,047	1,838
発電量 (億kWh)	10,106	5,743	3,221	89,113	2,879	4,692	18,141	44,729
太陽光の総発電量 に占める比率	9.2%	10.5%	4.1%	4.8%	10.8%	4.2%	5.8%	4.1%

(出典) 外務省HP (<https://www.mofa.go.jp/mofaj/area/index.html>)、Global Forest Resources Assessment 2020 (<http://www.fao.org/3/ca9825en/CA9825EN.pdf>)
 IEA Renewables 2023、IEAデータベース、2022年度エネルギー需給実績(確報)、FIT認定量等より作成
 ※平地面積は、国土面積から、Global Forest Resources Assessment 2020の森林面積を差し引いて計算したものである。

図4-1-1 国土面積あたりの太陽光設備容量および平地面積あたりの太陽光設備容量

出典：出典：総合エネルギー調査会 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（2024年11月28日）
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/071_01_00.pdf

これまで住宅、建物の屋根や地上設置が太陽光発電設備の主な設置場所であったが、さらなる導入拡大のためには、様々な分野へ導入を進めていく必要がある。主な分野としては、工場や倉庫などの耐荷重の小さい屋根、建築物壁面、農地や水上などが考えられる。これらの分野の課題としては、例えば、以下のようなものが考えられる。

・耐荷重性の小さい屋根：

工場や倉庫などの屋根の耐荷重は $10\text{kg}/\text{m}^2$ 程度以下が多いため、軽量なモジュールが必要である。また、モジュールを据え付ける架台の軽量化や設置工法、設置後の維持管理の簡素化も導入障壁を下げるためには重要である。

・建物壁面：

建築物に設置する場合は、建材一体型の太陽電池モジュール（BIPV: Building Integrated Photovoltaics）として設置する場合と、建築物への据え付け（BAPV: Building Attached Photovoltaics）として設置する場合の2種類が考えられる。建材一体型の場合は、建築外皮としての性能が求められるため、耐風圧性、気密性、水密性など建材としての性能を満たす必要がある。また、どちらの場合も、設置工法や安全性・信頼性の検討が必要である。また、垂直設置のため発電量が少なくなる点、高所での点検が必要であり、地上設置と比較して保守点検が難しい。また、建築物の寿命が40年、50年と長期であるため、設置する太陽電池モジュールの高耐久性が重要であり、建材一体型の場合は交換が困難であるため低故障率が求められ、据え付け型の場合は容易交換性が求められる。

・農地：

第7次エネルギー基本計画では、営農が見込まれない荒廃農地については、地上設置型太陽光発電設備の導入により再生可能エネルギーの導入拡大を進め、発電と営農が両立する営農型太陽光発電については、適切な営農の確保を前提として自治体の関与等により導入拡大を進めることとされている。耕作放棄地は、山あいや谷地田など自然条件が悪い割合が高いため、地上設置型太陽光発電設備の導入には、日射条件の検討に加えて、設置方法などの検討も必要になる。また、抜根、整地、区画整理、客土等により再生利用が可能な荒廃農地でも費用面などから放置されるケースも考えられる。このため、再生利用促進のためには、営農型太陽光発電の活用も考えられる。しかし、営農型太陽光発電では、下部で営農を行うため、太陽電池モジュールの設置場所が高所になり架台が高くなる、土地が柔らかく土台が不安定になる場合もあり地上設置と比較して費用がかさむ等が課題である。また、太陽電池モジュールの配置から下部の日射量シミュレーションを行い、作物への影響を検討するツールなどもなく、営農型の太陽光発電設備を導入する障壁は高い状況にある。さらに農地転用のハードルが高いこと、農家の高齢化、若者の与信力が低いことなどから資金調達が容易ではないことも営農型の設置が進まない要因の1つである。

・水上：

フロートによる係留や、従来の地上設置とは違う災害対策が必要であり、費用がかさむ。また、太陽光発電システムの防水、防蝕性の付与が必要であり、水上設置での出力保証をしているモジュールが少ないことも課題である。さらに、潜水によるアンカーケーブルなどの点検も必要であり、陸上と比較して保守点検が難しく費用もかさむ。また、景観への配慮の必要性なども課題である。

以上設置場所別の課題を表 4-1-1 に示す。

表 4-1-1 耐荷重の小さい屋根、建物壁面、農地、水上における主な課題

設置場所	主な課題
耐荷重の小さい屋根	<ul style="list-style-type: none"> ・従来のシリコン太陽電池モジュールの重量は、概ね10-15kg/m²。工場や倉庫などの屋根の耐荷重は、10kg/m²以下が多く、そのままでは設置が困難。 ・モジュールの軽量化に加えて、架台の軽量化、施工方法、設置後の維持管理の簡素化などが必要。
建物壁面	<ul style="list-style-type: none"> ・建材、外壁材としての安全性、信頼性の検討や設置工法の検討が必要。 ・垂直設置となるため発電量が少なくなる。 ・高所での保守点検が必要。 ・建築物の寿命が40年、50年と長期であるため、設置する太陽電池モジュールは高い耐久性が求められる。建材一体型の場合は低故障率、据え付け型の場合は容易交換性が求められる。
農地	<p>(荒廃農地)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・耕作放棄地は、山あいや谷地田などの自然条件が悪い割合が高いため、地上設置と比較して日射条件や設置方法の検討に多くの労力を要する。 ・再生利用が可能な荒廃農地でも、伐根、整地、区画整理、客土等が必要であり、費用がかさむ。 <p>(営農型)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・下部で営農を行うため、太陽電池モジュールの設置が高所になる。 ・架台の部材が多くなるため、設置費用がかさむ。 ・高所での保守点検が必要。 ・太陽電池モジュールの配置から下部の日射量シミュレーションを行い、作物への影響を検討するツールがない。 ・農地転用のハードルが高い。 ・農家の高齢化や若者の与信力が低いことなどから資金調達が容易ではない。
水上	<ul style="list-style-type: none"> ・標準的な施工方法が確立されておらず、工期がかかり、費用がかさむ。 ・太陽光発電システムの防水性、防蝕性付与が必要。 ・潜水によるアンカーケーブルなどの点検が必要であり、陸上と比較して保守点検が難しい。 ・景観への配慮が必要。

4.2 期待されるニーズの多様化

適地制約解消のため、様々な分野へ導入を進めていく必要があるが、設置場所に応じて太陽光発電システムに求められるニーズは多様化してきている。

これまでの住宅・建物の屋根や地上の設置場所に加えて、新たな分野への導入拡大を図っていくためには、太陽電池モジュールの高効率化の他にも、軽量化モジュール、意匠性が付与されたモジュールや色調が調整されたモジュールなどの開発が必要となる。

例えば、建物の壁面への設置(BIPV および BAPV)の場合では、建築物としての意匠性が重要な要素であり、設置する太陽電池モジュールについてもこれらの要素が求められる。

また、太陽光発電設備の大量導入が進むと、電力の供給が需要を上回る供給過剰の状態が発生する。このため、余剰電力の活用が重要であるが、このためには蓄電池の設置や、自家消費の促進などが必要となる。

例えば、家庭において電力需要の大きなヒートポンプは現在電気料金の安い夜間電力を活用して蓄熱を行っているが、太陽光発電の発電量予測と連動させて余剰電力を活用するシステムなども開発されている。熱セクターとのカップリングにより、日中の余剰電力を熱として蓄熱し、建物の暖房、ビニールハウスの暖房や雪国における融雪など再生可能エネルギーの余剰電力の活用方法を検討していくことも重要な課題である。

さらに、公共インフラ・学校などの施設では、災害時の非常用電源としての役割が期待されるため蓄電池付加型太陽光発電システムの設置が進んでいる。地方公共団体が所有または管理している公共施設等のうち防災拠点となる施設数を表 4-2-1 に示す。都道府県では 22,469 棟、市町村では 159,104 棟で合計 181,573 棟の公共施設がある。このうち学校施設が 6 割を占めている。

表 4-2-1 防災拠点となる公共施設の棟数

(令和 4 年 10 月 1 日現在)

区分	都道府県	市町村	合計
1. 社会福祉施設	1,271	17,015	18,286
2. 文教施設 (校舎、体育館)	9,523	96,111	105,634
3. 庁舎	2,344	6,835	9,179
4. 県民会館・公民館等	126	16,961	17,087
5. 体育館	95	4,704	4,799
6. 診療施設	377	2,321	2,698
7. 警察本部、警察署等	6,044	-	6,044
8. 消防本部、消防署所	547	5,024	5,571
9. その他	2,142	10,133	12,275
合計	22,469	159,104	181,573

出典：防災拠点となる公共施設等の耐震化推進状況調査結果 (令和 5 年 9 月 1 日 消防庁)

仙台市では、市内の指定避難所等 199 カ所（ほとんどが学校施設）に太陽光発電と蓄電池を組み合わせた「防災対応型太陽光発電システム」が導入されている。災害等による停電時の最低限の機能を維持するための負荷を表 4-2-2 のように想定しており、防災対応型太陽光発電システムの主なシステム構成は、太陽光発電 10kW、蓄電池 15kWh となっている。

表 4-2-2 災害等による停電時の最低限の機能を維持するための負荷想定（電力量）

機器	台数	時間
防災用無線	1基	24時間
テレビ	1台	24時間
携帯電話	50台	充電
LED灯光器	2灯	6時間
防災用高所照明	2灯	6時間
大型扇風機	3台	6時間

電気の使用量合計：10kWh

出典：仙台市 HP

<https://www.city.sendai.jp/kankyo/kurashi/machi/machizukuri/energy/hinanzypov/index.html>

全国的にもこのような取り組みは進展すると考えられるが、平時には太陽光発電設備で発電した電力を自家消費しながら、災害等による停電時には防災拠点施設において必要とされる最低限の機能を維持するための電力供給が求められるため、蓄電池に貯蔵する電力量を適切に管理していくことが課題となる。このためにも高精度な発電量予測は重要な課題である。

また、2022 年度の日本の温室効果ガス排出量は、図 4-2-1 に示すように 11 億 3,500 万トン（CO₂ 換算）であり、エネルギー起源 CO₂ 排出量の部門別内訳、運輸部門の内訳は、図 4-2-2 のとおりである。運輸部門のエネルギー起源 CO₂ に占める割合は、20%であり、そのうち自家用自動車（マイカー、社用車等）と貨物自動車、運輸部門の 87%を占めている。運輸部門の CO₂ 削減のためには、HV 車や EV 車への太陽光発電設備の搭載が 1つの選択肢であるが、車のルーフトップ等に設置場所が限定されるため、より高効率な太陽電池が必要となる。

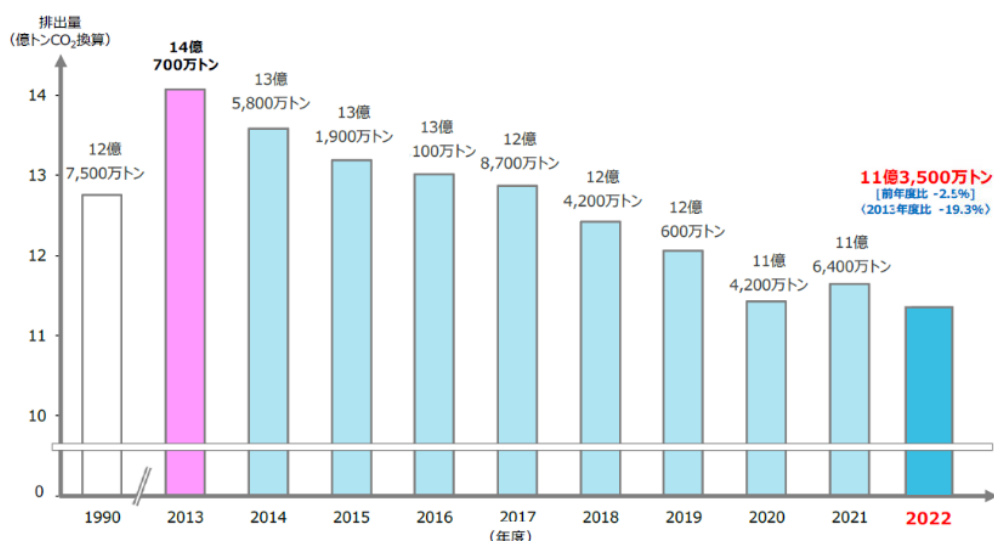


図 4-2-1 日本の温室効果ガス排出量 (CO₂ 換算)

出典：環境省 HP <https://www.env.go.jp/content/000234474.pdf>

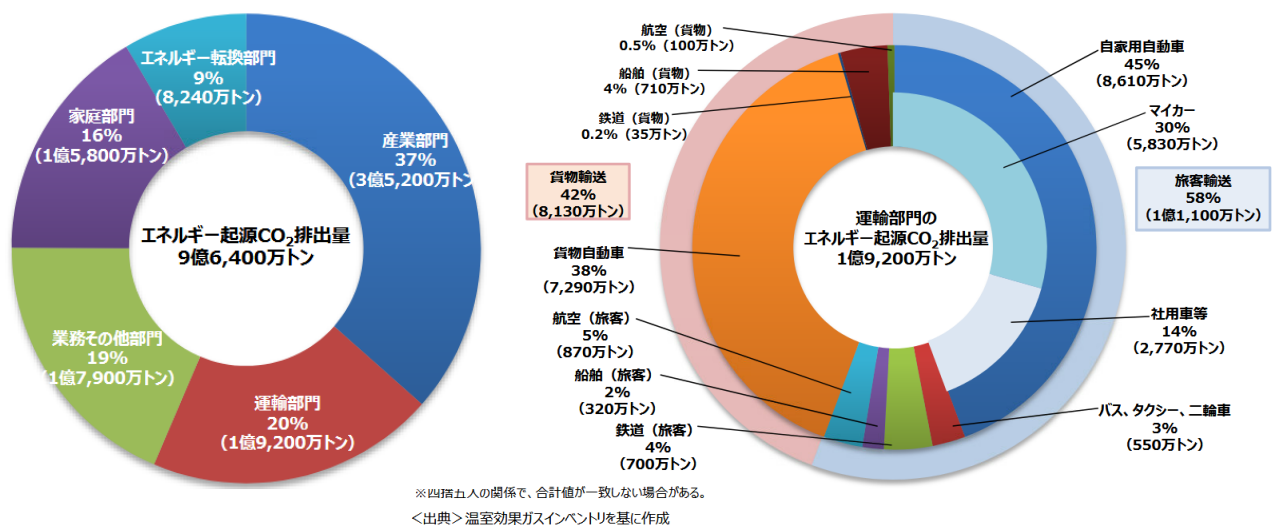


図 4-2-2 エネルギー起源 CO₂ 排出量の部門別内訳および運輸部門の内訳

出典：環境省 HP <https://www.env.go.jp/content/000234474.pdf>

また、商用車には、冷凍機・冷蔵機を具備したもの（含む、宅配便のラストワンマイル用配送車やコンビニ配送車）、リフター付きトラック、バス（空調を具備したもの）等、電源を必要とする機器を搭載した車が多く存在する。一例として、冷凍機・冷蔵機を具備した車の規模の推定のため、一般社団法人日本冷凍空調工業会が公表している輸送用冷凍冷蔵ユニットの出荷実績・見通しの推移を図 4-2-3 に示す。この統計によると、毎年 25,000 台から 35,000 台程度の輸送等冷凍冷蔵ユニットが出荷されており、同数程度の冷凍機・冷蔵機を具備した車が製造されていると推定される。電源を必要とする機器を搭載した商用車は今後も増加することが予想されるため、太陽光発電システムにより発電された電力を活用することにより、環境負荷低減に貢献していくことは重要である。

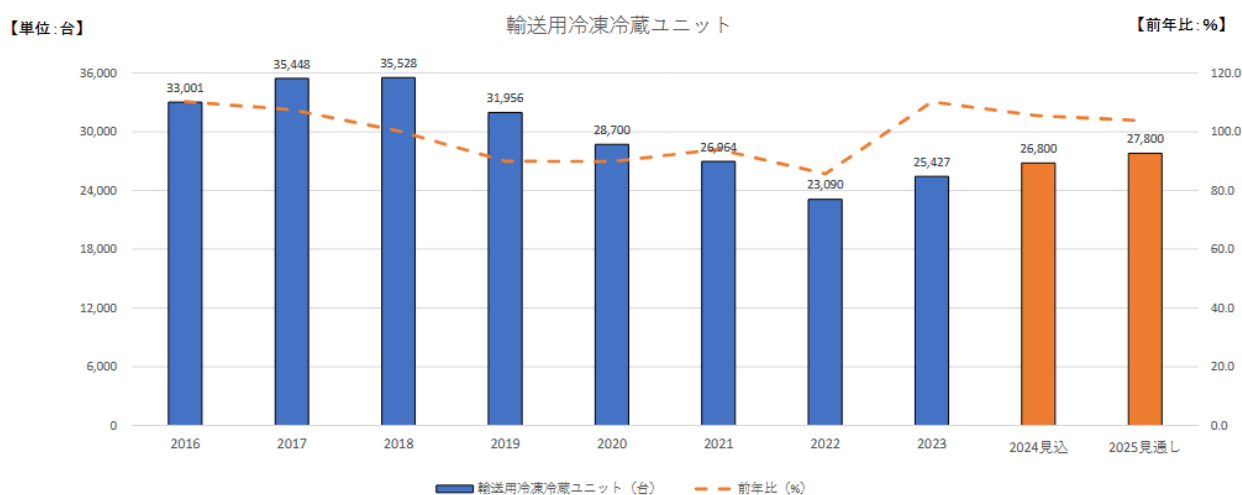


図 4-2-3 輸送用冷凍冷蔵ユニットの出荷実績・見通しの推移

出典：一般社団法人日本冷凍空調工業会 HP https://www.jraia.or.jp/statistic/2502SH3_domestic.pdf

4.3 効率的・効果的な運用・保守

2012年7月に再生可能エネルギー固定価格買取制度（FIT）が導入されて以来、太陽光発電設備は毎年5GWから10GW程度導入され、制度開始後の累積量は、2024年3月までで68.2GWとなっている。（図4-3-1参照）

<2024年3月末時点のFIT・FIP認定量・導入量>

設備導入量(運転を開始したもの)													認定容量	
再エネ発電設備の種類	制度導入前 2012年6月までの累積	固定価格買取制度導入後											2012年7月～ 2024年3月末	
		2012年度 7月～ 2013年度	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度		68.2GW 制度開始後 合計
太陽光(住宅)	約470万kW	207.5万kW (476,461件)	103.6万kW (228,665件)	85.8万kW (179,384件)	79.2万kW (161,334件)	66.0万kW (133,271件)	73.3万kW (146,673件)	76.9万kW (152,223件)	75.9万kW (141,533件)	85.7万kW (153,169件)	105.9万kW (190,306件)	103.6万kW (197,523件)	1,063.4万kW (2,160,542件)	1,082.4万kW (2,201,424件)
太陽光(非住宅)	約90万kW	676.8万kW (123,656件)	836.7万kW (152,756件)	814.8万kW (115,928件)	544.3万kW (72,560件)	474.5万kW (53,346件)	490.6万kW (54,817件)	487.8万kW (49,165件)	499.9万kW (33,305件)	373.1万kW (20,578件)	354.5万kW (13,679件)	206.3万kW (7,689件)	5,759.3万kW (697,479件)	6,364.1万kW (726,992件)
風力	約260万kW	18.4万kW (25件)	22.5万kW (24件)	14.8万kW (57件)	31.0万kW (150件)	16.9万kW (316件)	16.8万kW (454件)	44.9万kW (303件)	36.2万kW (272件)	29.8万kW (278件)	31.2万kW (340件)	108.1万kW (318件)	370.6万kW (2,391件)	1,639.8万kW (6,258件)
地熱	約50万kW	0.0万kW (1件)	0.4万kW (8件)	0.6万kW (10件)	0.5万kW (8件)	0.7万kW (23件)	0.9万kW (10件)	4.8万kW (6件)	1.4万kW (8件)	0.0万kW (4件)	0.2万kW (10件)	4.1万kW (10件)	13.6万kW (90件)	21.2万kW (120件)
中小水力	約960万kW	0.6万kW (37件)	8.5万kW (56件)	9.3万kW (87件)	7.9万kW (101件)	7.5万kW (86件)	6.1万kW (86件)	13.3万kW (88件)	16.6万kW (79件)	12.8万kW (96件)	29.0万kW (71件)	25.0万kW (86件)	136.5万kW (873件)	259.9万kW (1,203件)
バイオマス	約230万kW	18.4万kW (59件)	18.2万kW (48件)	30.2万kW (57件)	35.3万kW (67件)	44.4万kW (73件)	31.2万kW (60件)	48.6万kW (62件)	37.0万kW (55件)	67.8万kW (69件)	131.5万kW (60件)	59.1万kW (57件)	521.7万kW (667件)	842.0万kW (1,084件)
合計	約2,060万kW	921.7万kW (600,239件)	989.9万kW (381,557件)	955.5万kW (295,523件)	698.2万kW (234,220件)	609.9万kW (187,115件)	618.8万kW (202,100件)	676.3万kW (201,847件)	667.0万kW (175,252件)	569.3万kW (174,194件)	652.3万kW (204,458件)	506.3万kW (205,683件)	7,865.2万kW (2,862,042件)	9,889.0万kW (2,937,081件)

※認定・導入の量及び件数については速報値 ※バイオマスは、認定時のバイオマス比率を乗じて得た推計値を集計。 ※各内訳ごとに、四捨五入しているため、合計において一致しない場合がある。

図 4-3-1 2024年3月末時点のFIT・FIP認定量・導入量

出典：総合エネルギー調査会 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（2024年11月28日）

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/071_01_00.pdf

これらのうち、10kWから50kWの小規模・低圧案件が占める割合は、図4-3-2に示すように、導入量ベースで34%にのぼり、小規模案件は個人が事業実施主体となっているケースが多い。また、図4-3-3に事業用太陽光発電の規模の国際比較を示す。日本と同程度の累積導入量であるドイツでは、500kW以上が全体の9割を占めており、10-40kWは全体の0.1%となっている。日本は海外と比較して小規模な発電設備が多い状況にある。

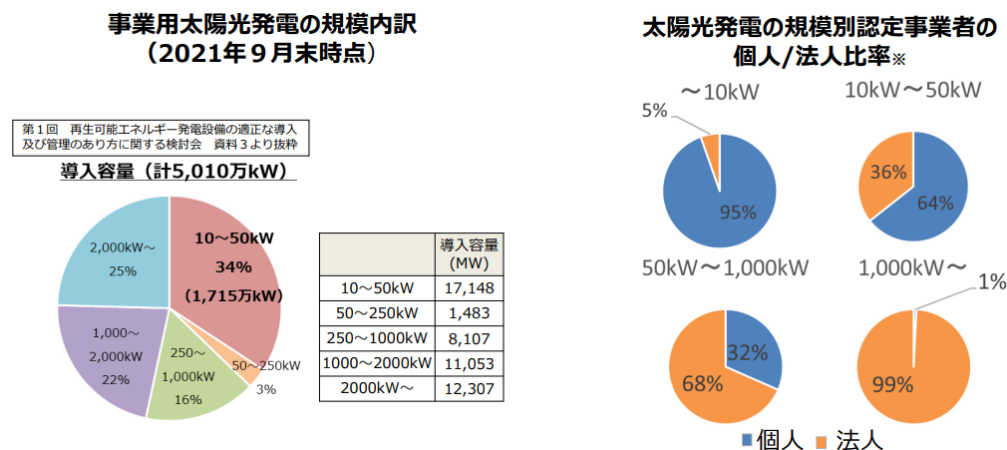
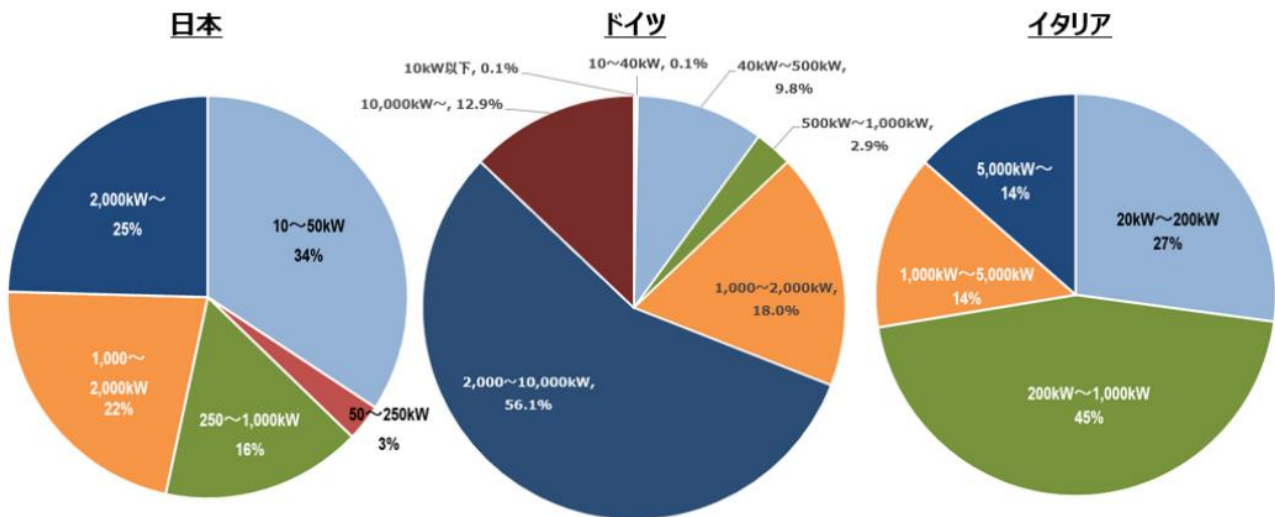


図 4-3-2 事業用太陽光発電の規模内訳および規模別認定事業者の個人/法人比率

出典：第39回太陽光発電シンポジウム（JPEA：2022年11月9日）



※日本は2021年9月末時点の累積導入量。
 ※ドイツは2019年12月末時点の累積導入量（ドイツ連邦ネットワーク庁公表のEEG in Zahlen 2019のデータに対して、2019年度の地上設置の割合を乗じて推定。）。
 ※イタリアは2020年12月末時点での累積導入量（イタリアGSE Rapporto Statistico）。

図 4-3-3 事業用太陽光発電の規模の国際比較

出典：再生可能エネルギーの長期安定的な大量導入と事業継続に向けて（資源エネルギー庁：2024年5月29日）

既存発電設備は既に系統接続が行われており、架台などの整備がなされていることから、これらの設備を活用して発電事業を如何に継続していくかが重要である。

大規模な地上設置型の発電設備では、これまでも、ドローンを活用した運用・保守の取組等が行われ、低コスト化が進んでいるが、中規模・小規模の設備に適用できる低コストな技術は少ない。建物屋根・壁面などの高所の保守点検や水上設置の際のアンカーケーブルなどの保守・点検を低コストに実現していくための技術開発はほとんど見当たらない。重大トラブルが発生すると設備のダウンタイムが発生し、一定期間売電ができなくなる（逸出利益の発生）が、重大トラブルの予兆を推定する技術などもほとんど見当たらない。

さらに、小規模の発電設備は運営主体が統合されていく可能性があり、その際には発電設備のアセットマネジメントの観点からもシステムの最適化が重要となる。

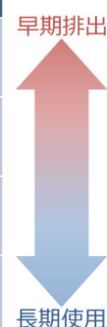
また、FIT 導入により大量に導入された設備が今後更新時期を迎えることになるため、既存設備の更新をスムーズかつ費用を抑えて進めることができるかが重要となる。

国民負担による支援を受けて導入されてきた太陽光発電設備の長期安定稼働のためには、これまで述べてきたとおり、既存発電設備の不具合の早期発見や適切な対応などの効率的・効果的な運用・保守や既存設備の更新をスムーズかつ費用を抑えて進めることが重要となる。

4.4 使用済みモジュールの大量排出とリサイクルおよび省資源化

太陽電池モジュールの排出量予測については、NEDOにおける「太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト」（2014年から2018年実施）の中で検討を行っている。排出量予測に当たっては4つの排出シナリオ（図4-4-1参照）を作成しているが、(A) FIT後大量排出シナリオ、(D) FIT後排出なしシナリオは、比較的極端なケースを想定し、実際の排出量は、(B) FIT後賃貸土地分排出シナリオや(C) FIT後定期借地分排出シナリオに近い値になると考えられる。また、FIT終了後即排出割合を自社保有地以外は100%としているため、導入量の状況が直接排出量に影響するシナリオになっている。モジュール排出は、実際には時間的分布をもって排出されるため、本結果の数値より平準化されたものになると考えられる。

シナリオ	FIT買取期間終了後即排出割合※			シナリオの詳細
	定期借地	賃貸の土地 (定期借地以外)	自社保有地	
(A) FIT後大量排出	100%	100%	50%	賃貸の土地の全てと、自社保有地のうち半分はFIT買取期間後に即排出される。
(B) FIT後賃貸土地分排出	100%	100%	0%	賃貸の土地は全てFIT買取期間後に即排出されるが、自社保有地であれば、排出されない。
(C) FIT後定期借地分排出	100%	0%	0%	定期借地で借りている土地に設置されている場合は、FIT買取期間終了後に即排出される。その他は排出されない。
(D) FIT後排出なし	0%	0%	0%	土地の所有形態にかかわらず、FIT買取期間終了をきっかけにした排出はされない。



※ 「2017年度新エネルギー等の導入促進のための基礎調査(太陽光発電に係る保守点検の普及動向等に関する調査)(2018年2月)」により設定

図4-4-1 太陽電池モジュールの排出予測における設定シナリオ

出典：NEDO <https://www.nedo.go.jp/content/100901846.pdf#page=173>

太陽電池モジュールのシナリオ別排出量推計結果を図4-4-2に示す。この推計結果では、排出量のピークは、2035年から2037年頃と予想されており、その排出量のピークは17万トンから28万トンと推定されている。

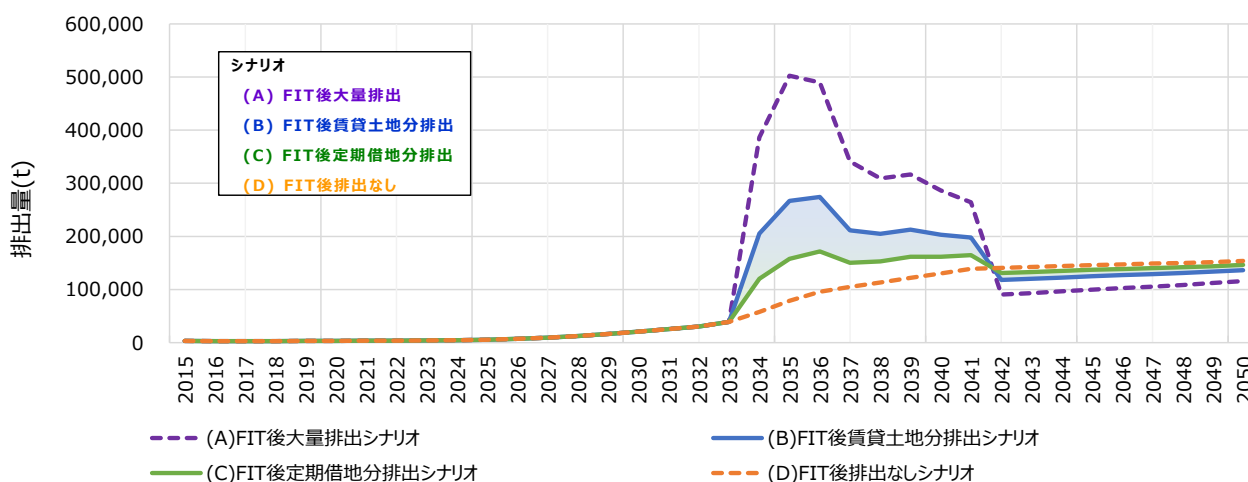


図4-4-2 太陽電池モジュールのシナリオ別排出量推計結果

出典：NEDO <https://www.nedo.go.jp/content/100901846.pdf#page=173> をもとに NEDO 修正

本検討内容をベースに 2023 年度調査結果を反映させた排出量予測結果を図 4-4-3 に示す。従来の推計では、2035 年から 2037 年頃のピーク時の排出量が 17 万トンから 28 万トンであったのに対し、最新の調査結果を反映させたものでは、19 万トンから 29 万トンとなった。

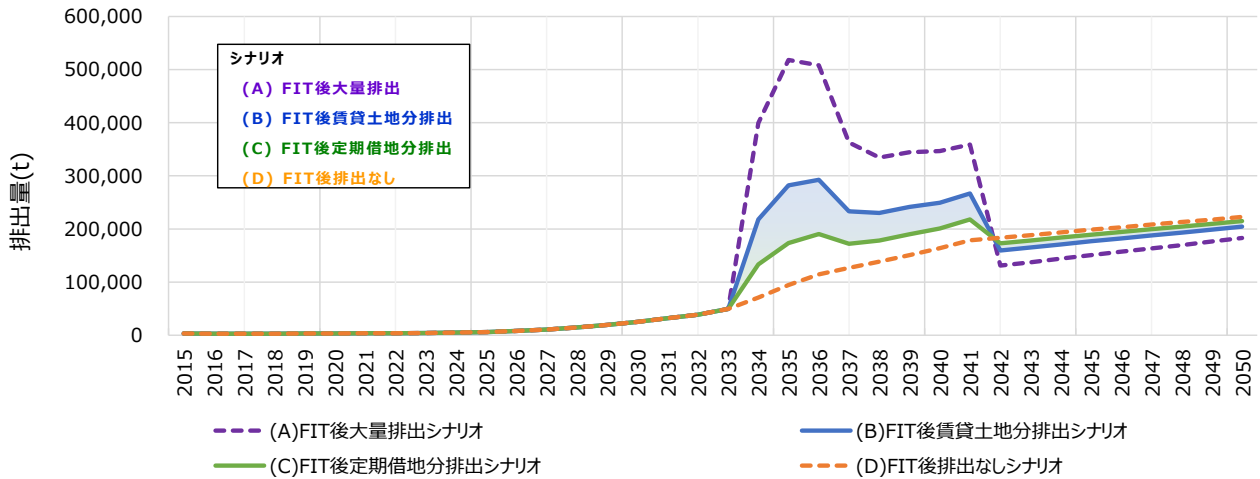


図 4-4-3 最新の調査結果を反映させた排出量予測結果

これまでの排出量予測では、導入量として FIT 制度における AC 認定容量を用いている。検討当初の過積載率は 110%程度であったことから、排出量予測としてはそのままの数字を用いていた。しかし、その後、過積載率は年々大きくなってきているため、DC による導入量・排出量予測を実施し、排出量予測の見直しを行った。その結果、ピーク時の排出量は 22 万トンから 34 万トンとなった（図 4-4-4 参照）。これまでの推計より、約 20%程度排出量が増加する結果となった。リサイクルの重要性は益々大きなものとなる。

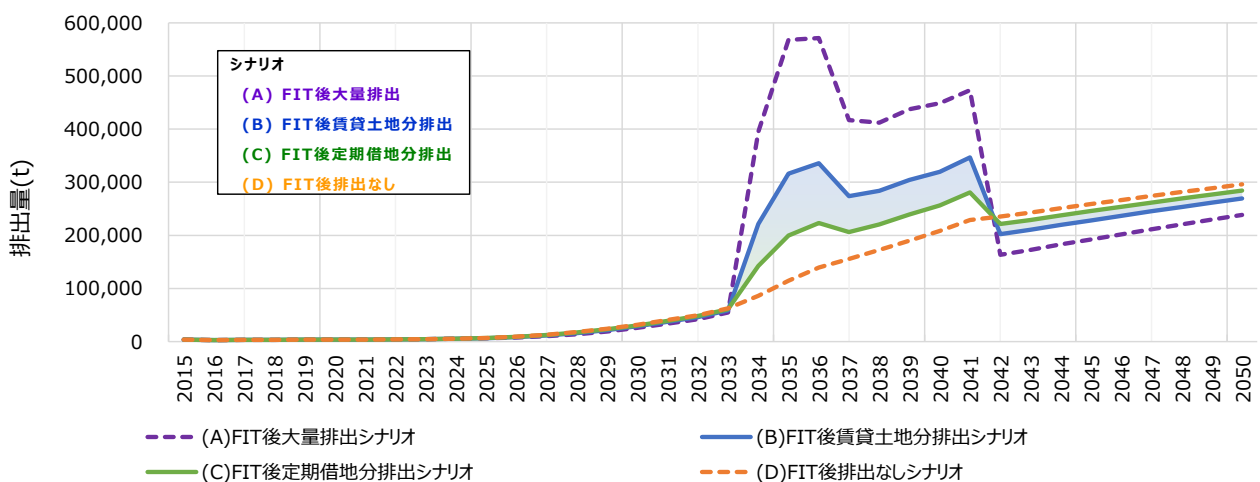


図 4-4-4 過積載を考慮した排出量予測結果

また、太陽光発電設備の大量導入のための資源確保や循環型社会の実現に向けては、使用する資源量の低減や、排出される太陽電池モジュールが中間処理業者に流れる仕組み、低コストで種類の異なる太陽電池モジュールを安定的にリサイクルできる体制の構築やカバーガラスを板ガラスにリサイクルするなどのマテリアルリサイクルをいかに実施するかが課題となる。

使用される資源量の低減については、例えば、International Renewable Energy Agency (IRENA) から発電量あたりの銀の消費量についての報告がある。本報告では、現在主流となっている結晶シリコン太陽電池モジュールの材料コスト構成および発電量あたりの銀の消費量について報告されており、2009年から2012年で30%を超える(グラフから読み取ると44%)銀の低減が報告されている。(図4-4-5参照)銀の使用量のさらなる低減や銅など別の金属への代替などの開発も進んでいる。しかし、今後の更なる太陽光発電設備の大量導入を迎えるにあたっては、解決すべき資源制約の課題は多い。

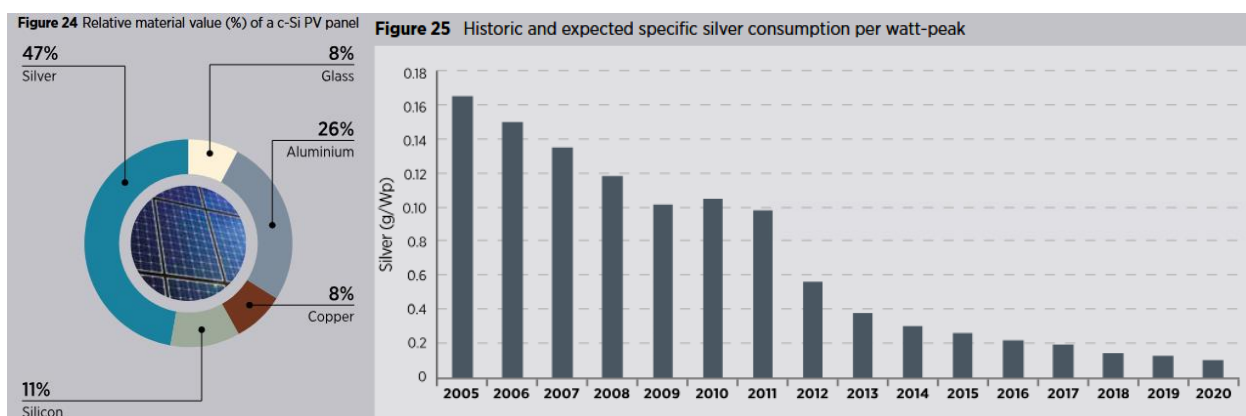


図 4-4-5 結晶シリコン太陽電池モジュールの材料コストと発電量あたりの銀の消費量

出典：IRENA

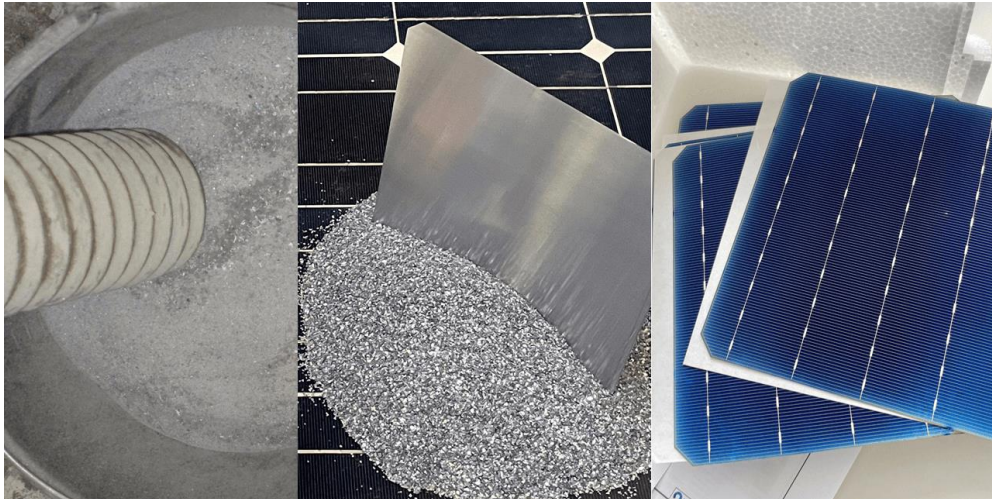
https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IRENA_IEAPVPS_End-of-Life_Solar_PV_Panels_2016.pdf#page=78

太陽電池モジュールのリサイクル技術については、国内ではカバーガラスの分離技術を中心に多くの方式が開発されてきている。しかし、昨今導入量が増加している両面ガラス型モジュールの分離技術など、未確立なものがある。また、ペロブスカイト太陽電池モジュールについては、鉛を含有しているため、排出後の処理方法の検討が必要であるが、これらのリサイクルに関する技術開発の検討は端緒にいたばかりといえる。

マテリアルリサイクルについては、太陽電池モジュールの重量の大半を占めるガラスについては、これまで主に路盤材やガラスウールなどに利用されてきたが、近年、より付加価値の高いフロート板ガラス製造などの実証実験も行われており、資源循環に向けた本格的な流れを形成していく必要がある。

また、分離選別されたバックシート・セルは精錬プロセスにより銀・銅電極が回収されているが、国内ではシリコンそのものの有効利用はまだ行われていない。

海外では、ドイツの Fraunhofer 研究所が太陽電池リサイクル企業である Reiling GmbH と共同で、回収シリコンを100%使用した PERC 太陽電池（効率 19.7%）の技術開発を行っている（図4-4-6参照）。



© Fraunhofer ISE

By-products of the treatment process at Reiling GmbH, from which the solar cell fragments are separated and collected (left). Purified silicon and wafers made from 100% recycled silicon (middle). PERC solar cells made of 100 % recycled silicon with an efficiency of 19.7 percent (right).

図 4-4-6 回収されたシリコンで作製された PERC 太陽電池（効率 19.7%）

出典：Fraunhofer ISE Press Release

<https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-media/press-releases/2022/solar-cells-from-recycled-silicon.html>

シリコンについても、より付加価値の高いマテリアルリサイクルの検討が重要となる。

5. 目指すべき姿と太陽光発電開発戦略

本章のポイント

(1) 今回の戦略では、太陽光発電の大量導入を基調とした 2050 年カーボンニュートラルの実現を目指し、脱炭素社会を支える持続可能な太陽光発電システムの構築を行う。その中で、「高付加価値製品・システムの開発を通じた産業競争力強化」と「資源循環型社会の構築」を図っていく。これらを実現するため、以下の 5 つの開発を推進する

- ① 次世代型太陽電池の開発
- ② 導入拡大のための太陽光発電システムの開発
- ③ 多様化するニーズへの対応
- ④ 発電設備の長期安定電源化
- ⑤ 資源循環を目指したリサイクルシステムの開発

太陽光発電を巡る最新動向、過去の戦略の振り返り、カーボンニュートラル実現に向けた太陽光発電分野の課題の整理を踏まえ、本戦略で目指すべき姿と、太陽光発電開発戦略を取りまとめた。

5.1 目指すべき姿

太陽光発電の大量導入を基調とした 2050 年カーボンニュートラルの実現のためには、脱炭素社会を支える太陽光発電システムという観点と、持続可能な太陽光発電システムという 2 つの観点が必要である。

脱炭素社会を支える太陽光発電システムという観点では、太陽光発電システムの大量導入に加えて、長期安定電源化が重要となる。

また、持続可能な太陽光発電システムという観点では、エネルギー・ペイバック・タイム (Energy Payback Time ; EPBT)、CO₂・ペイバック・タイム (CO₂ Payback Time ; CO₂ PBT) や省資源化、資源循環の観点が重要になる。

※EPBT : 製造から廃棄に至る一連のプロセスで投入されるエネルギーを発電によって回収できるまでに必要な稼働期間

※CO₂PBT : 製造時に排出される CO₂ 量と太陽光発電システムに置き換えることによって削減できる CO₂ 量が等しくなる期間。

EPBT、CO₂PBT については、NEDO における「太陽光発電システム共通基盤技術研究開発 太陽光発電システムのライフサイクル評価に関する調査研究」の中で検討を行っている。算定結果を表 5-1-1 に示す。この算定結果では、EPBT は 1.4 年から 3.4 年、CO₂PBT は 2.1 年から 4.2 年であり、EPBT、CO₂PBT の観点からは、持続可能な太陽光発電システムであることがわかる。

表 5-1-1 太陽光発電システムのエネルギー・ペイバック・タイム、CO₂・ペイバック・タイムおよび CO₂ 排出原単位の算定結果（基本ケース）

		多結晶Si	単結晶Si	a-Si/単結晶Si ヘテロ接合	薄膜Si ハイブリッド	CIS系
エネルギー・ペイバック・タイム（年）	住宅用	2.20	3.01	2.42	1.75	1.41
	事業用	2.58	3.38	2.75	2.31	1.89
CO ₂ ・ペイバック・タイム（年）	住宅用	2.63	3.48	2.80	2.42	2.08
	事業用	3.33	4.17	3.41	3.46	2.98
CO ₂ ・排出原単位（g-CO ₂ /kWh）	住宅用	58.6	77.6	62.5	53.8	46.4
	事業用	69.2	86.8	71.0	72.0	62.0

出典：NEDO「太陽光発電システム共通基盤技術研究開発 太陽光発電システムのライフサイクル評価に関する調査研究」（2009年3月）一部修正

EPBT と CO₂ 排出原単位の値を最新のデータで算定し直した結果を表 5-1-2 に示す。現在主流となっている単結晶 Si では、EPBT が 0.98 年から 1.35 年となっており前回の検討時から大きく改善している。CO₂ 排出原単位も 35.1 g-CO₂/kWh から 50.1g-CO₂/kWh となっており、この値も前回の検討時から大きく改善している。

表 5-1-2 太陽光発電システムのエネルギー・ペイバック・タイムおよび CO₂ 排出原単位の算定結果

		多結晶Si	単結晶Si	CIS系
エネルギー・ペイバック・タイム（年）	住宅用	1.13	0.98	0.79
	事業用	1.51	1.35	1.16
CO ₂ ・排出原単位（g-CO ₂ /kWh）	住宅用	39.6	35.1	21.7
	事業用	56.8	50.5	37.8

これらの状況を踏まえ、今回の太陽光発電開発戦略では 4 章で抽出した 4 つの課題解決にあたって、①産業競争力強化の観点を踏まえながら太陽光発電システムを開発し、大量導入を行い、その設備を維持していくこと、②資源循環型社会の構築の観点を踏まえながら、少ない資源で製造を行い、リサイクルなどを活用して資源の再利用を行っていくことで、脱炭素社会を支える持続可能な太陽光発電システムの構築を目指す。

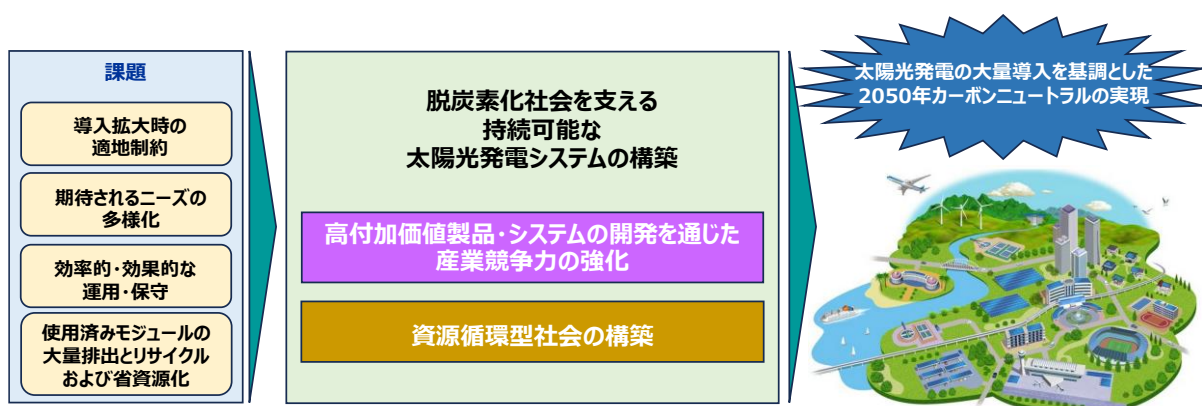


図 5-1-1 太陽光発電開発戦略 2025 における目指すべき姿

5.2 太陽光発電開発戦略

5.2.1 基本的な考え方

これまで、日本の太陽光発電市場は、住宅屋根置型、地上設置型の太陽光発電システムを中心に発展してきた。2012年にFIT制度が導入されて以来、大規模な地上設置型太陽光発電設備の導入が進み、2024年3月までで累積導入量は68.2GWとなっている(4.3章参照)。第7次エネルギー基本計画では、2040年度におけるエネルギー需給見通しにおいて、再生可能エネルギーは電源構成の4割から5割程度、そのうち太陽光は23%から29%程度とされている。その実現のためにはさらなるイノベーションが不可欠であり、技術革新の動向に大きく左右される。今後2040年度の更なる太陽光の導入拡大、およびその先の2050年のカーボンニュートラル実現に向けては、①次世代型太陽電池の開発、②導入拡大のための太陽光発電システムの開発、③多様化するニーズへの対応、④発電設備の長期安定電源化といった観点で高付加価値製品・システムの開発を通じた産業競争力の強化を図っていくことが重要であり、社会実装が進んでいない革新技术の普及拡大に最大限貢献していく。

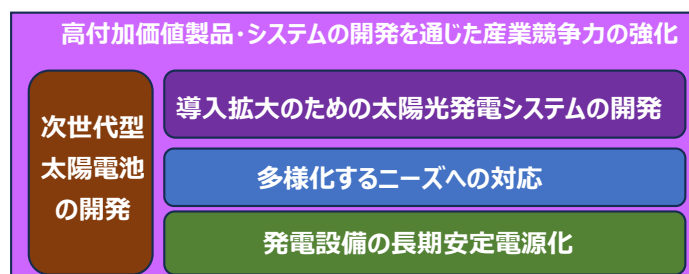


図 5-2-1-1 高付加価値製品・システムの開発を通じた産業競争力の強化

また、太陽光発電システムの大量導入が行われる社会を持続可能なものとするためには、資源循環の考え方が必要となる。太陽光発電システムにおける資源の流れを図 5-2-1-2 に示す。稼働期間を終えた設備は撤去され排出されるが、劣化の少ない太陽電池モジュールについてはリユース品として再活用され、それ以外は分離・リサイクル技術により資源回収が行われる。資源回収が行われないものについては、管理型処分場で処分される。太陽光発電システムの大量導入が行われる社会を支えるためには、⑤資源循環を目指したリサイクルシステムの開発を通じて資源循環型社会の構築を図っていくことが重要である。

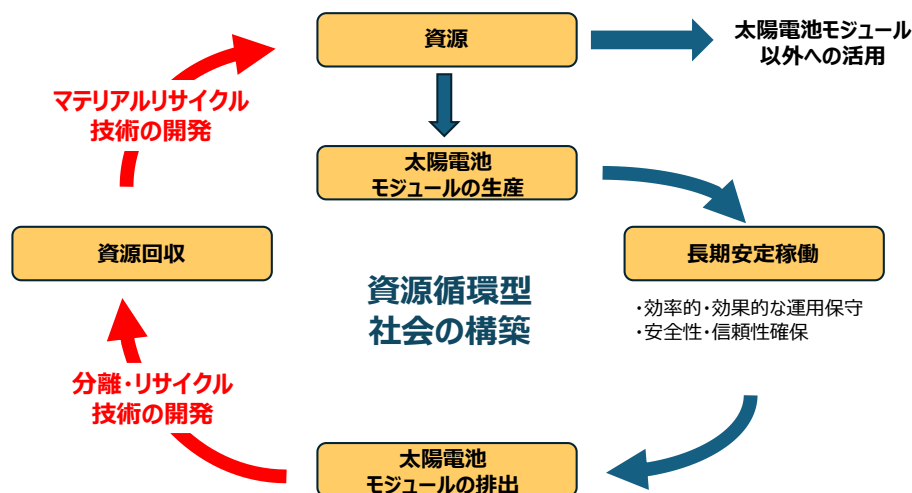


図 5-2-1-2 資源循環型社会の構築

5.2.2 次世代型太陽電池の開発

次世代型太陽電池については、III-V族化合物系太陽電池、CIGS系太陽電池やペロブスカイト太陽電池など様々な太陽電池の開発が世界的に行われているが、中でもペロブスカイト太陽電池は、年々開発競争が激化している。

ペロブスカイト太陽電池は、色素増感太陽電池の研究開発の一環として実施され、2009年に色素増感型太陽電池の一部をペロブスカイトに置き換えることにより開発されたが、その後、各国による開発が精力的に行われ、現在では、26.7%の変換効率（NREL Best Research-Cell Efficiencies チャート 2024年10月11日版）を達成しており、シリコンに対抗しうる太陽電池として有望視されている。現在では、基板の違いによってフィルム型、ガラス型やタンデム型など様々なものが開発されている（表5-2-2-1参照）。

我が国では、2012年のFIT制度開始以降、太陽光発電の導入量は大幅に拡大（平地面積当たりの導入量は主要国で最大級）する中で、適地の制約、地域との共生上の課題が生じている。その中で、ペロブスカイト太陽電池は、軽量・柔軟などの特徴を生かし、従来太陽電池が設置困難であった場所にも設置することができ、再エネ導入拡大と地域共生の両立を可能とするものである。また、原材料の一つであるヨウ素は、日本は世界第2位の算出量を誇ることから、強靱なサプライチェーン構築を通じ、エネルギーの安定供給にも資することが期待される。

表5-2-2-1 海外企業におけるペロブスカイト太陽電池の開発動向

	フィルム型		ガラス型		タンデム型		
	大正微納 (中国)	Saule Technologies (ポーランド)	極電光能 (中国)	万度光能 (中国)	G C L (中国)	仁燦光能 (中国)	OxfordPV (イギリス)
変換効率	13~15%	12.0%	1.2×0.6m : 17% (2024年内目標値 : 20%超) 1.2×2.3m : 18% (目標値)	18% (実験効率)	1.0×2.0m : 19.04% 1.2×2.4m : 27% (目標値)	18% (2024年内目標値 : 20%)	28.6%
サイズ	1.0×0.6m	9cm、1m	1.2×0.6m 1.2×2.3m	不明	1.0×2.0m 1.2×2.4m	1.2×0.6m	16.6×16.6cm
耐久性	不明	1,000時間 ※連続発電時の耐久性	~10年	不明	10~15年	不明	10~15年の見込み
生産能力	100MW ※建設中	約100MW ※建設予定	150MW 1GW(建設中) ※2026年末までに1GWまで拡張予定	200MW ※1.2GW建設中のほか、拡張計画あり	100MW ※1GW建設中のほか、拡張計画あり	150MW ※2024年に1GW級建設予定	100MW ※稼働率50%以下
生産開始	稼働予定 (2024年~2025年)	建設予定 (2026年)	2022年12月	稼働中 (時期不明)	2021年	2024年1月	2023年

出典：次世代型太陽電池の導入拡大及び産業競争力強化に向けた官民協議会(令和6年11月)

また、社会実装に向けた動きも活発であり、米国では、NRELが中心となって官民共同で「米国先進ペロブスカイト製造コンソーシアム (US-MAP)」を設立し、基盤技術や製造技術、評価手法などに取り組んでいる。欧州 (EU) においても、官民によるプラットフォーム (European Perovskite Initiative: EPKI) が設置され共同で基盤技術、製造技術の開発等を進めている。

このような中、日本においては、グリーンイノベーション基金事業 (※) により、ペロブスカイト太陽電池の設置・施工を含めた基盤技術、評価技術、製造技術、量産技術などの開発やフィールド実証を強力にサポートしている。

※グリーンイノベーション基金事業

2050年カーボンニュートラルの実現に向け、2021年3月にNEDOに2兆円（※）の基金を造成。グリーン成長戦略において実行計画を策定している14の重点分野等で、政策効果が大きく、社会実装までを見据えて長期間（最長10年間）の継続支援を行う。令和4年度第2次補正予算により3,000億円、令和5年度当初予算により4,564億円が基金に積み増しされている（2023年7月現在）。

各国・地域の次世代型太陽電池に関する主な研究開発プロジェクトをまとめたものを表5-2-2-2に示す。

表 5-2-2-2 各国・地域の次世代型太陽電池に関する主な研究開発プロジェクト

	プロジェクト/ コンソーシアム	実施期間 予算規模	主な参画機関	主なプロジェクトの内容
EU	VIPERLAB	2021～2024年 8.8億円	ヘルムホルツ協会 ベルリン研究所、 CEA、CENER、 CSEM、IMEC 等 9か国15機関	<ul style="list-style-type: none"> 産学協同によるペロブスカイトPV開発の推進 試験法の標準化 産業化への技術実証
	PEPPERONI	2022～2026年 23.2億円	ヘルムホルツ協会 ベルリン研究所、 Hanwha Qcells、 VON ARDENNE 等 12か国17機関	<ul style="list-style-type: none"> GWスケールのモジュール製造基盤構築 ペロブスカイト/結晶シリコンタンデム型PVのスケールアップ ペロブスカイトPVの安定性の延伸 等
米国	US-MAP	2020年～ 2020年DOEの ペロブスカイト PV関連予算60 億円の大半	NREL、トレド大学、 ワシントン大学、 BlueDot Photonics、 Caelux、Dow 等	<ul style="list-style-type: none"> 安定性・耐久性試験 開発した製造技術等の産業移転 先進的な分析技術 等
	PACT	2021年～ 2020年SETOより 135億円	サンディヤ国立研究所、 NREL、ロスアラモス国立 研究所、Black&Veatch、 EPRI 等	ペロブスカイトPVの性能・劣化評価試験方法の標準化及び標準化に向けた試験実施 等
中国	中国ペロブスカイト オプトエレクトロ ニクス産業同盟	2019年～ 中央政府、 湖北省政府の支 援あり	華中科技大学、 Wonder Solar、 Hangzhou Microquanta Semiconductor 等	
韓国	次世代型太陽電池 セル研究コンソー シアム	2020～2022年 45億円超	Hanwha Qcells、成均館大 学、高麗大学 等	ペロブスカイト/結晶シリコン タンデム型PVの開発と商用化
日本	グリーンイノベー ション基金事業 「次世代型太陽電 池の開発」	2021～2030年度 上限648億円	積水化学、東芝、エネコ ートテクノロジーズ、ア イシン、カネカ、産業技 術総合研究所、東京大 学、京都大学 等	<ul style="list-style-type: none"> ペロブスカイトPVの基盤技術の開発 大型化を実現するための各製造プロセスの個別要素技術の確立に向けた研究開発
	NEDO太陽光発電 主力電源化推進技 術開発	2020～2024年度 約157億円	東芝、カネカ、シャープ、 パナソニック 等	タンデム型（多接合）、 BIPVやVIPVの開発 等

出典：各国政府政策資料、資源総合システム資料等を基にNEDOイノベーション戦略センター作成（2023）

また、2024年11月には、次世代型太陽電池の導入拡大及び産業競争力強化に向けた官民協議会において、太陽電池産業を巡る過去の反省を踏まえて「次世代型太陽電池戦略」が取りまとめられ、その内容は、第7次エネルギー基本計画にも盛り込まれた。この戦略によると、関係者間での競争・協調を図りながら、技術開発を進め、2025年20円/kWh、2030年14円/kWhの発電コストを実現する技術確立に向け、GI基金による支援を継続し、強固なサプライチェーンを構築し、量産技術の確立を目指すとしている。また、2030年までの早期にGW級の生産体制を構築し、2040年には、自立が可能な発電コスト（10円/kWh※～14円/kWh以下）の実現、約20GWの導入目標を目指すこととしている。（※研究開発の進展などにより大幅なコスト低減をする場合）また、その際、新規参入者による技術革新も積極的に取り込んでいくことが示された。

政策面においては、2040年目処までに、ペロブスカイト太陽電池の発電設備として自立化の実現を目指していくことを前提に、生産・導入拡大及び産業競争力の強化に向け、意欲的かつ長期的な目標を定め、時間軸を見据えながら、研究開発や実証、サプライチェーンを含めた生産体制構築、需要創出まで切れ目のない支援、適正な廃棄リサイクルシステムの確立、サプライチェーン全体で重要技術に関する適切な管理、人材育成など、総合的な政策対応を大胆に行っていくことが挙げられている。

その上で、次世代型太陽電池の設備投資等への支援について、導入拡大と産業競争力の強化に真に資するものに支援対象を重点化し、世界をリードする「規模」と「スピード」の投資を政策面から後押し、次世代型太陽電池に関する海外企業や市場の動向、一部市場が競合する薄型シリコン太陽電池の動向など、政策支援を実施する前提となる状況を絶えず注視し、目標や計画の見直し、支援の加速化/継続を含め、随時、柔軟に政策のあり方を見直していくことが示された。

表 5-2-2-3 次世代型太陽電池戦略の進め方（イメージ）

	短期（2025年～）	中期（2030年～）	長期（2040年～）
生産体制	～数百MW/年	約1GW/年～数GW/年	数GW/年～
価格	既存シリコン太陽電池より高価格となることが想定	20円/kWh～14円/kWh	自立化水準 10円/kWh※～14円/kWh以下 <small>※研究開発の進展等により大幅なコスト低減をする場合</small>
導入見込み	✓ 当初から海外展開を視野に入れ、国内市場から立ち上げる	✓ 国内市場に広く展開 ✓ 導入が見込まれる海外市場から優先し展開	✓ 国内・海外市場に広く展開 国内：20GW程度 海外：500GW～
①量産技術の確立	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 2025年20円/kWh、2030年14円/kWhの技術確立に向けGI基金による支援を継続。タンデム型の実現に向け研究開発支援 ✓ GI基金による社会実装の実証（2024年9月に第一弾採択公表） 		自立化
②生産体制整備	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 2030年までの早期にGW級の生産体制を目指した投資支援、強靱なサプライチェーン構築に向けた関係事業者の投資支援（2024年9月から公募を開始） 		
③需要創出	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 重点分野を特定しつつ、既存太陽電池との値差等に着眼した導入支援（2025年度から開始を目指す） 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 多様な設置場所への導入拡大支援 	
導入に向けた環境整備	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 国際標準化の検討 ✓ 設置施工に関する実証の実施 ✓ 廃棄リサイクルの技術開発・システム検討 		

出典：次世代型太陽電池の導入拡大及び産業競争力強化に向けた官民協議会（令和6年11月）

超高効率太陽電池の開発としては、タンデム型太陽電池の開発と衛星用途に用いられているⅢ-V族化合物系太陽電池の開発の2つのアプローチがある。

前者は、例えば、結晶シリコン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るが、そのモジュール効率は34%を超えており、今後の既存の結晶シリコン太陽電池のリプレースを見据えて、世界中で開発競争が激化している。しかし、長期間安定的に高効率な太陽電池として機能させる点に課題があるため、発電層や電極等で使用される素材のサプライチェーンにも留意しつつ、最適なセルの選択・開発を検討しつつ、高効率かつ高耐久性を有するタンデム型太陽電池の開発に取り組んでいく。

後者は、モジュール効率が30%を超えているが、一般の結晶シリコン太陽電池と比較すると2桁程度製造コストが高いため、セルの薄膜化による使用する原料の低減、安価な基板（樹脂、シリコン等）上への発電層の移載（ELO）や成膜、高価なGaAs基板の再利用、発電層の高速成膜によるプロセスコスト低減等の技術を開発する。量産効果と合わせて2桁以上のコスト低減を目指す。

NEDOは、GI基金事業であるペロブスカイト太陽電池の開発を強力に推進するとともに、その他の次世代型太陽電池もあわせて開発を進めていく。

5.2.3 導入拡大のための太陽光発電システムの開発

海外勢による大量生産・低コストの地上設置型太陽電池を活用した太陽光発電設備の導入は、累積導入量の拡大に大きく寄与してきた。しかし、太陽光発電設備導入のための適地が少なくなっている日本では、新たな設置場所の開拓が必要となってきた。これまで導入が進んでこなかった工場や倉庫などの耐荷重性の小さい屋根や建物（壁面・窓）など有望な分野であるが、太陽電池モジュールの軽量化、設置・施工方法、運用・保守方法など社会実装に向けてはまだまだ解決すべき課題が存在している。これらを解決し、設置を促進していく必要がある。以下各分野の技術戦略について記載する。

① 耐荷重性の小さい屋根

従来型の結晶シリコン太陽電池モジュールは、工場や倉庫などの耐荷重性の小さい屋根に設置することは困難であった。この課題解決のためガラスの薄型化や樹脂材料などを用いたガラスレスモジュールの開発も行われている。また、フィルム型ペロブスカイト太陽電池の開発が近年活発化している。30cm 幅のフィルム型モジュールの発電効率は、15%程度、耐久性は10年相当（積水化学工業）というレベルにまで開発が進んできているが、更なる効率向上と実際の屋外設置での耐久性が課題となる。また、これまで太陽光発電システムが、設置されてこなかった場所への設置となるため、安全かつ信頼性を担保した設置・施工方法の検証を行う必要がある。

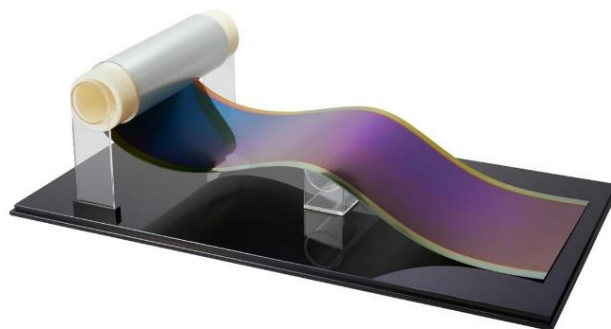


図5-2-3-1 フィルム型ペロブスカイト太陽電池モジュールの例
出典：積水化学工業（株）HPより転載

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や設置・施工方法も含めたトータルでの発電コストの低減に取り組んでいく。

② 建物（壁面・窓など）

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する必要がある。一般に建築外皮に求められる性能は、耐風圧性、気密性、水密性、断熱性、日射遮蔽性、層間変位追従性など多様であるため、建材一体型太陽電池(BIPV)の場合は、クリアすべき課題が多い。

また、近年の高層ビル等では、ガラスの断熱性・強度・耐火性能の向上や、室内環境への配慮などから広範囲に大型のガラスを用いた開口部の広い建築物が多いため、窓には視認性や採光性等を損なうことのない透過性と発電効率の両立を兼ね備えた太陽電池モジュールが求められる。

高層ビルのスパンドレル部に発電容量が1,000kWを超えるペロブスカイト太陽電池を実装する計画も進んできている。

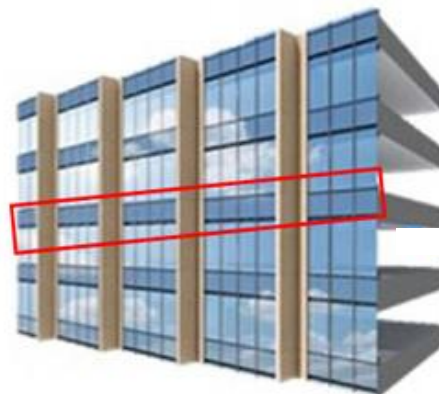


図5-2-3-2 ペロブスカイト太陽電池の高層ビルへの実装計画の例
出典：積水化学工業（株）https://www.sekisui.co.jp/news/2023/1395109_40075.html



図5-2-3-3 ペロブスカイト太陽電池のベランダへの適用例
 出典：Pnanasonic（株）HP より転載 <https://news.panasonic.com/jp/press/in230831-1>

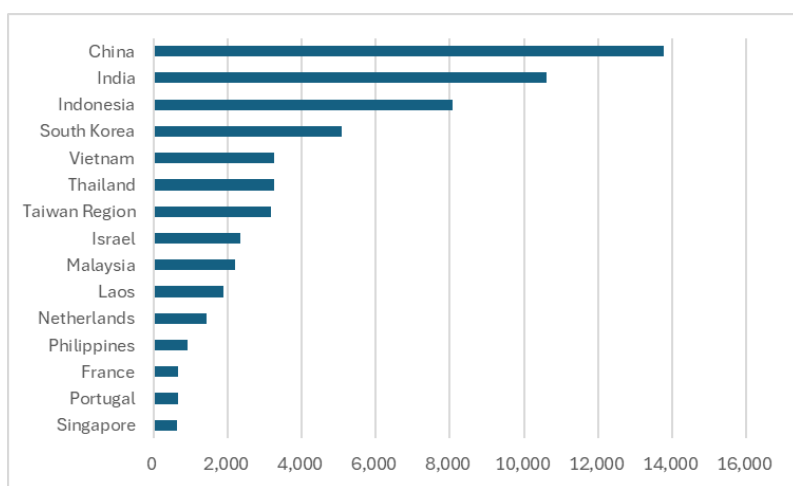
また、ガラス型ペロブスカイト太陽電池の活用が想定されるが、透過性と発電効率の両立を兼ね備えた太陽電池モジュールは、ベランダなどへの適用も可能であり、今後の市場拡大が期待される分野である。

NEDO では、これまで太陽電池モジュールを建物壁面に後付け (BAPV) で設置するための設置工法の開発とその低コスト化を推進してきている。今後、建物への導入拡大に向けて、BIPV、BAPV の意匠性・経済性・耐久性の技術開発に取り組んでいく。

③ 水上設置型

IRENA によると、2020 年世界の水上設置型太陽電池の累積導入量は約 2.6GW で、2018 年の 1.1GW から 2 倍以上に増加している。今後の需要は、中国、インドネシア、インド、韓国、タイ、ベトナムなどのアジア諸国によって牽引されると予想されている。また、IEA TRENDS IN PHOTOVOLTAICS APPLICATIONS 2024 によると、2023 年末の世界の累積導入量は、7GW に達すると推定されており、水上設置型太陽電池は、着実に増加してきている。日本においても、た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。

2031 年の水上設置型太陽電池 (Floating Solar PV) の世界の国別累積導入量見通しは、ドイツに本社を置く統計データ会社の Statista により公表されている (図 5-2-3-4 参照)。これによると、上位 15 か国で 58GW の容量となる。



国、地域	累積導入量 [MW]
China	13,783
India	10,614
Indonesia	8,082
South Korea	5,083
Vietnam	3,265
Thailand	3,265
Taiwan Region	3,179
Israel	2,345
Malaysia	2,201
Laos	1,874
Netherlands	1,440
Philippines	917
France	672
Portugal	662
Singapore	624

図 5-2-3-4 世界各国の 2031 年における水上設置型太陽光発電の累積導入量見通し

出典：Statista HP 掲載データを元に NEDO 作成

<https://www.statista.com/statistics/1396280/global-forecast-of-floating-pv-capacity-by-country/>

水上設置の初期コストは高いものの、水温により温度上昇が抑えられるなどの利点がある。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価値も評価されている。

一方で、フロートによる係留や、従来の地上設置とは違う災害対策が必要であり費用がかさむこと、モジュールやシステムの耐水性・耐腐食性が必要であり、水上設置での出力保証をしているモジュールが少ないこと、潜水によるアンカーケーブルなどの点検も必要であり、陸上と比較して保守点検が難しいこと等、導入拡大に向けた技術課題は多く、これらの解決を進めていく必要がある。



図5-2-3-5 香川県さぬき市長谷池水上太陽光発電所
 出典：四国電力HP
 発電出力：750kW(2022年7月8日営業運転開始
 農業用のため池に設置

図5-2-3-6 タイ・シリンドホーン・ダム(北東部) 大規模水上発電設備
 出典：Stockholm Environment Institute
 発電出力：45MW(2021年商業運転開始)
 太陽光発電と水力発電の併用のため、送電線と変圧器を共用。

④ 農地活用品

荒廃農地活用品

農地面積の減少については、荒廃農地と非農業用途等への転用が主な要因となっているが、このうち荒廃農地面積は、平成25年以降、増加傾向であったが平成29年をピークに平成30年から約1.4万ha程度で推移している。

単位：ha

	25	26	27	28	29	30	令和元	2	3	4	5	6
かい廃計	19,800	26,200	25,900	29,900	32,500	33,700	31,700	33,000	30,800	30,200	37,000	35,000
自然災害	1	335	82	1,430	...	...	...	...	...	...	...	...
荒廃農地 (耕作放棄)	9,530	13,000	13,500	16,200	19,300	14,500	13,200	15,100	12,800	14,000	14,400	13,900
非農業用途 への転用	8,382	9,894	10,165	9,860	...	...	...	...	...	...	...	...
植林・農林道 等への転用	1,845	2,901	2,181	2,408	...	...	...	...	...	...	...	...

資料：農林水産省「耕地及び作付面積統計」
 注1：「かい廃」とは、田又は畑が他の地目に転換し、作物の栽培が困難になった状態をいう。
 注2：「非農業用途への転用」は、かい廃面積の要因別内訳のうち「工場用地」、「道路・鉄道用地」及び「宅地等」を計上した。
 注3：「植林・農林道等への転用」は、かい廃面積の要因別内訳のうち「農林道等」、「植林」、「その他(荒廃農地を除く。)」を計上した。
 注4：平成29年よりかい廃面積の要因別(荒廃農地を除く。)の調査を廃止している。

図 5-2-3-7 荒廃農地面積の推移

出典：農水省ホームページ：<https://www.maff.go.jp/j/nousin/tikei/houkiti/attach/pdf/index-35.pdf>

荒廃農地となる理由については、「基盤整備がされていない」、「集落から距離が離れている」、「区画が不整形」などが挙げられている。特に割合が高いのが、「山あいや谷地田など、自然条件が悪い」ことが挙げられている。このため地上設置型と比較して、日射条件や設置方法の検討に多くの労力や費用を要することが考えられるが、発電設備の設置場所候補としては十分魅力的である。

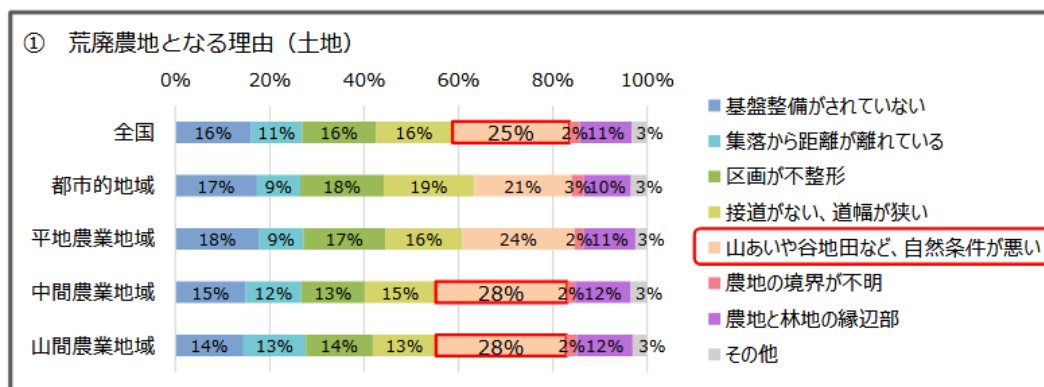
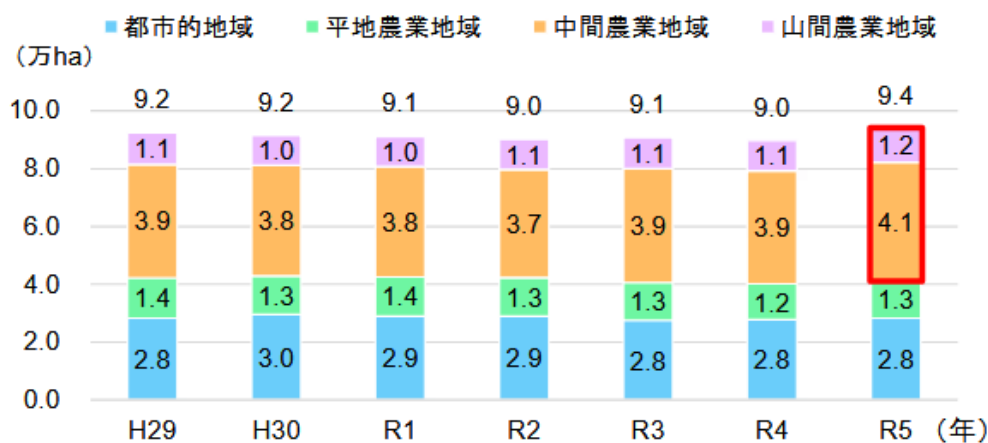


図 5-2-3-8 荒廃農地となる理由

出典：農水省ホームページ：<https://www.maff.go.jp/nousin/tikei/houkiti/attach/pdf/index-35.pdf>

再生利用が可能な荒廃農地は、図 5-2-3-9 に示す通りであるが、抜根、整地、区画整理、客土等が必要であり、費用がかさむためそのまま放置されるケースも考えられる。このため、再生利用促進のためには、営農型太陽光発電の活用も考えられる。



注：1 「再生利用が可能な荒廃農地」とは、「抜根、整地、区画整理、客土等により再生することにより、通常の農作業による耕作が可能となると見込まれる荒廃農地」。農地法第32条第1項第1号の遊休農地と同じものを指す。
 2 農業地域類型別面積は、H29～R3は平成29年改定、R4～R5は令和5年改定の農業地域類型の市町村において代表される類型を各年に当てはめて集計した推計値。

図 5-2-3-9 再生利用が可能な荒廃農地面積の推移

出典：農水省ホームページ：<https://www.maff.go.jp/nousin/tikei/houkiti/attach/pdf/index-35.pdf>

営農型

営農型太陽光発電とは、農林水産省のホームページによると「一時転用許可を受け、農地に簡易な構造でかつ容易に撤去できる支柱を立てて、上部空間に太陽光を電気に変換する設備を設置し、営農を継続しながら発電を行う事業」と規定されている。

(<https://www.maff.go.jp/shokusan/renewable/energy/attach/pdf/einou-55.pdf>)

2013年の農水省による農地転用許可の取り扱いの明確化（2013年3月）以降、新たに農地の一時転用許可を受けた件数は図5-2-3-10のような推移をしており、合計で4,349件となっている。ほぼ毎年増加傾向で推移しており、2021年度には過去最高の851件の許可が行われている。農地区分毎の許可件数は図5-2-3-11のようになっており、2013年から2021年度までに新たに農地転用許可を受けたものうち、荒廃農地を活用したものは8.7%（361件）となっている。

【営農型発電設備を設置するための農地転用許可件数(年度毎)】

	平成25年度	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度	令和元年度	2年度	3年度	4年度	合計
新規許可件数	103件	350件	396件	413件	319件	474件	643件	806件	872件	975件	5,351件
下部農地の面積	16.2ha	54.4ha	85.3ha	160.8ha	79.9ha	151.3ha	165.3ha	133.1ha	140.9ha	222.1ha	1,209.3ha

(参考)再許可可(上の外数)

	平成25年度	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度	令和元年度	2年度	3年度	4年度	合計
再許可件数	-	-	4件	102件	362件	347件	409件	633件	634件	726件	3,217件
下部農地の面積	-	-	0.37ha	21.3ha	53.0ha	76.6ha	165.2ha	125.2ha	134.5ha	185.1ha	761.3ha

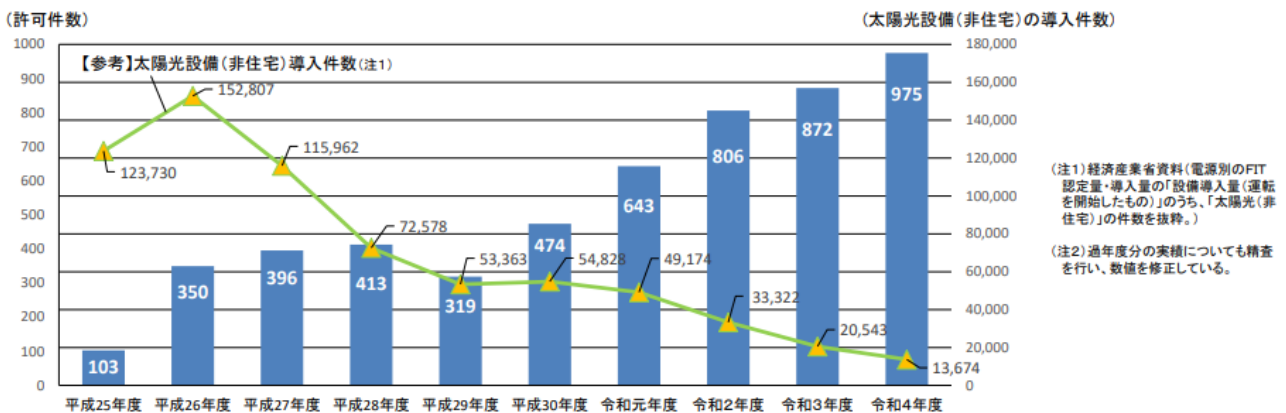
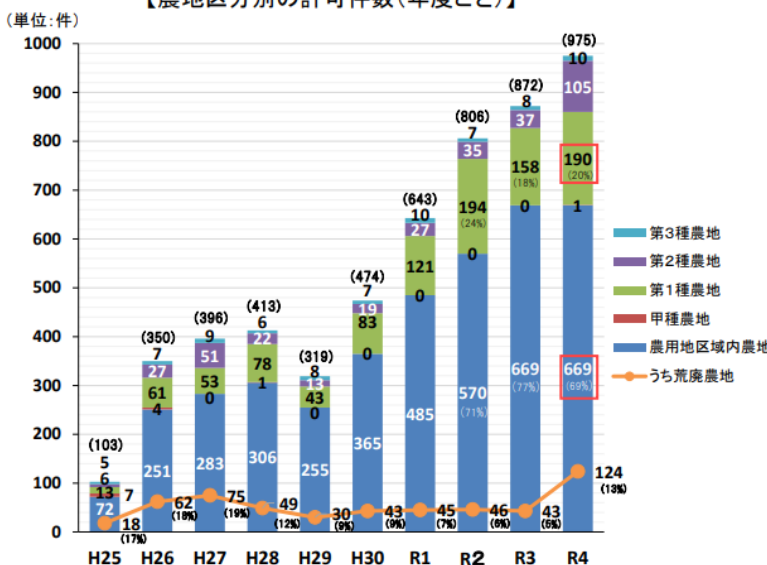


図 5-2-3-10 営農型発電設備を設置するための農地転用許可件数（年度毎）

出典：農水省ホームページ： <https://www.maff.go.jp/j/nousin/noukei/totiriy/attach/pdf/einogata-55.pdf>

【農地区別の許可件数(年度ごと)】



【農地区分ごとの許可件数(令和4年度末)】

農地区分	全体の許可件数		うち荒廃農地	
	(A)	(割合)	(B)	(B)／(A)
農用地区域内農地	3,925	(73.4%)	394	(10.0%)
甲種農地	13	(0.2%)	0	(0.0%)
第1種農地	994	(18.6%)	92	(9.3%)
第2種農地	342	(6.4%)	40	(11.7%)
第3種農地	77	(1.4%)	9	(11.7%)
合計	5,351	(100.0%)	535	(10.0%)

図 5-2-3-11 農地区分毎の許可件数（年度毎、2022年度末）

出典：農水省ホームページ： <https://www.maff.go.jp/j/nousin/noukei/totiriy/attach/pdf/einogata-55.pdf>

営農型太陽光発電太陽発電の利点としては、売電収入が農家の副収入となること、盛夏の時期に農作物の生産などに支障が生じないように遮光率の調整ができるなどが挙げられる。

課題としては、架台により農機具の搬入が困難になること、運用次第では、農作物の収穫量が低下すること等が挙げられる。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なども必要とされている。

営農分野への導入は、売電収入だけでなく、今後の農業の電動化に伴い電力消費の増加が予想される中での自家消費用の電源としての活用や植物工場の電源としても期待できる。



図5-2-3-12 可動式太陽光発電システム

出典：France Sun's Agri

<https://sunagri.fr/en/solar-panels-help-french-winemaker-keep-climate-change-at-bay>

可動式（回転）太陽光パネルのブドウ畑への設置例。断熱、遮光により、冬期の霜害、夏の熱波への対応が可能である。曇天でも日射量調整により、ブドウの木により多くの光を当てることができる。



図5-2-3-13 可動散乱ライトスルー（光透過型）太陽電池モジュール

出典：出典：Solarpower Europe; Agrisolar Best Practices Guideline; 2021

<https://www.solarpowereurope.org/insights/thematic-reports/agrisolar-best-practice-guidelines>

裏面材（バックシート）に光拡散シートを使用することにより、作物に均一に光を当てることができる。高さを4.6mとすることで、配光と光の透過性を改善し、作物（洋梨）の収穫量の減少を低減させることができる。

水上設置型、農地活用型は導入ポテンシャルの大きい分野であり、NEDO では、これまで安全性について検討を行い、安全ガイドラインを策定してきた。今後は、導入の障害となっている点を調査で明らかにし、解決のための技術開発課題を設定し、導入拡大に向けた開発に取り組む。

5.2.4 多様化するニーズへの対応

① 車載用太陽電池システムの開発

これまで NEDO では、高効率太陽電池を EV 車に搭載し、航続可能距離、燃費、充電回数の検証を目的に、公道走行実証を行ってきた。公道走行用実証車には、変換効率 34%を超える高効率Ⅲ-V族化合物系太陽電池セルを搭載した。その容量は、市販の「プリウス PHV」（ソーラー充電システム装着車）の 180W と比較して約 4.8 倍の約 860W（※）を実現し、航続距離は 50km 強となった。

※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

日本における車ユーザーの一日の走行距離が 50km 未満である割合は 50%程度であるという統計データに照らしてみると、晴天時に屋外に駐車すること、走行することで十分な電力量を発電することができ、系統電源からの充電回数の低減や、CO₂排出量の低減が期待できる。



図 5-2-4-1 太陽光発電システムを搭載した公道走行用実証車

出典：<https://global.toyota/jp/newsroom/corporate/28781301.html>

また、トラックなどの商用車に CIS 系の太陽電池を実装し、ユースケース（車のサイズ、保冷機能の有無、走行パターン）毎の発電量評価を 2023 年度より開始している。



図 5-2-4-2 太陽光発電システムを搭載した公道走行用実証車

出典：(株) システック HP <https://systec2000.com/2023/03/pressrelease%e2%82%8blogisolar/>,
<https://systec2000.com/2024/03/startexperiment/>

NEDO は、自動車のライフサイクルを通じた 2050 年の CO₂ 排出ゼロの政府目標達成に向け、超高効率太陽電池開発や搭載推進のための実証などに継続して取り組む。

② 用途に応じた期待される機能の付与技術の開発

建物への設置の場合、発電設備としての機能の他に、前述のとおり建築物としての意匠性が重要となるため、施主、設計事務所などユーザーが求める意匠性を付与した太陽電池モジュールの開発が必要となる。



図 5-2-4-3 意匠性を向上させた太陽電池モジュールの建物壁面への設置例

出典：NEDO WEB Magazine <https://webmagazine.nedo.go.jp/pr-magazine/focusnedo83/sp1-4.html>

また、窓などへの設置においても、赤色系統色より青色系統色が好まれるため、色調を制御することも重要な付与機能となる。

設置場所に応じて発電設備としての機能の他にも様々な機能が求められるため、導入拡大に資する期待される機能の付与技術の開発に取り組んでいく。

5.2.5 発電設備の長期安定電源化

① 運用・保守を効率的・効果的に実施する技術開発

発電設備の長期安定稼働のためには、適切な設置・運用に加え、不具合の早期発見や適切な対応をどのように実施するか、更にリユースやリプレース・リパワリング等も含め、どのように実施したら効率的・効果的に行うことができるか、という点は発電事業のトータルコスト低減の観点からも重要である。このため、NEDO では、運用・保守を効率的・効果的に実施する技術開発に取り組んでいく。

② 安全性・信頼性確保技術

NEDO では、これまで太陽光発電システムを長期に安全な電源として普及させるため、傾斜地設置型、営農型、水上設置型など設置場所に応じた安全ガイドラインなどを策定してきた。今後導入拡大が想定される設置形態についても順次ガイドラインの策定を行うと同時に、情報の更新を行っていく。また、これまでガラス封止型を前提としていたが、今後導入が見込まれるフィルム型ペロブスカイト太陽電池等のフレキシブル型への対応も行っていく。



傾斜地設置型



営農型



水上設置型



建物設置型

図 5-2-5-1 特殊な設置形態の例

出典：NEDO HP https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101648.html

③ 高精度な日射予測技術の開発

太陽光発電の導入量が増大すると、太陽光発電の計画時の発電量と実際の発電量の間が生じる誤差が増大するため、その誤差を調整するための火力発電等が必要となる。

日射量予測精度が向上すれば、それに伴い発電量予測の精度が上がり、結果として需給のアンバランス量が小さくなるため、これまで NEDO では気象衛星画像を用いた、大気力学と雲物理過程、鉛直流を考慮した AI モデルを構築し、6 時間先の日射量予測などの高精度化を進めてきた。これにより前々日から当日の朝までの発電量予測が実際の発電量と大きく異なる頻度を低減することができた。

今後は本成果の早期実装を進めるとともに、更なる高精度化および、近年導入検討が進んでいる同時市場への対応のため、前日朝から当日の期間で、発電量予測が実際の発電量と大きく異なる頻度を低減することと平均誤差の低減を目指して開発を行う。

5.2.6 資源循環を目指したリサイクルシステムの開発

① 分離・リサイクル技術の開発

太陽光発電システム関連の廃棄物は、(A)製造工程内で発生するもの、(B)製造・出荷後、使用前に市場から回収されるもの、(C)使用後に回収されるものに大別される。(A)と(B)については、通常、製造企業が回収し適切に処分していると考えられるが、大量導入が進んでいる現在、(C)の稼働期間を終えた太陽電池モジュールの大量排出が 2035 年頃にピークを迎えることは、4.4 章で示したとおりである。NEDO では、これまでガラスと封止材を分離するリサイクル技術の開発を推進し、処理費用 3 円/kW、リサイクル率 80%を目標に実証を行ってきた。

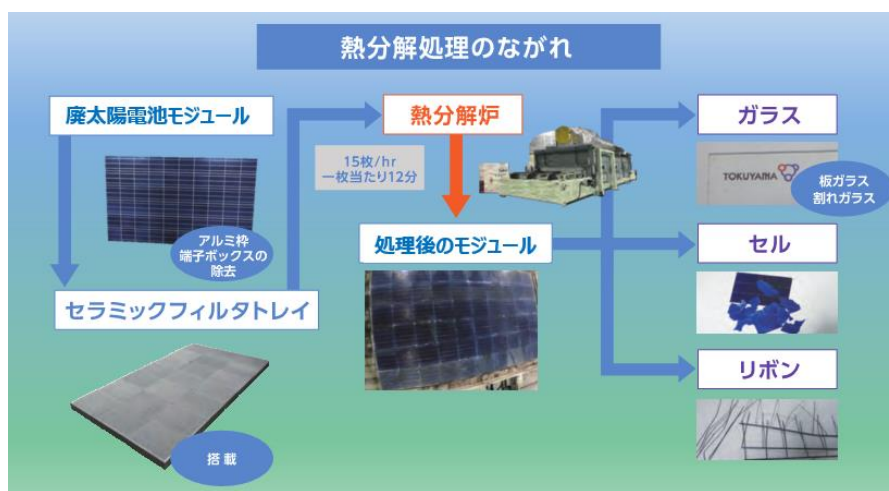


図 5-2-6-1 分離・リサイクル技術の例

出典：(株) トクヤマ HP 情報を基に一部 NEDO 修正 https://www.tokuyama.co.jp/research/recent_study/pvr.html

表 5-2-6-1 分離・リサイクル技術の開発動向

No.	技術類型	開発者の例	技術の特徴と課題	対応可能なパネル種類	状態別対応可否
①	加熱処理	新菱、トクヤマ	太陽光パネルを加熱し、接着剤（EVA）を熱分解/焼却してガラスとバックシートを分離。質の高いガラスを回収可能。	結晶Si、薄膜	割れパネル可 両面パネル不可
②-1	圧縮破砕	近畿工業	ロールによる一軸破砕を行い、カバーガラスを剥離する。産物のガラスは粉末状のものが多く、用途先の開拓に課題あり。	結晶Si	割れパネル可 両面パネル不可
②-2		環境保全サービス			
③	プラスト	未来創造	小球（亜鉛、ステンレス、ガラス等）を投射しガラスを剥離。産物への小球の混入が課題。	結晶Si、化合物系*	割れパネル可 両面パネル可
④	ホットナイフ	エヌ・ピー・シー	熱したナイフでカバーガラスとバックシートの界面を切断。質の高いガラスを回収可能である一方、受入可能なパネルに制限あり。	結晶Si	割れパネルも別装置で可
⑤	PVスクラッチャー	東芝環境ソリューション	高速回転する金属ブラシによりガラスを削り取る。受入可能なパネルに制限があり、リサイクル量増に向け課題あり。	結晶Si	割れない片面パネルのみ可
⑥	パネルセパレータ	ソーラーフロンティア	カバーガラスと基板ガラスの接着部分を切断。開発事業者が生産する化合物系パネル処理のため開発されたが、結晶Siも処理可能。	結晶Si、化合物系*	割れパネル不可 両面パネル可
⑦	PVリサイクルハンマー	タイガーチヨダマテリアル	回転リサイクルハンマー打撃工法を採用し、加熱したパネルをハンマーで打撃することによってガラスを破砕。1度の処理でガラスを剥離回収可能。	結晶Si	割れパネル可
⑧	ウォータージェット	スギノマシン	セル側から水を噴射しセルを剥離することで板状のガラスを回収可能。剥離したセルはフィルタープレス機により脱水後産廃処理。本格稼働を目指し実験中。	(試験中)	(試験中) 割れパネル不可
⑨	単純破砕・選別	—	特別な処理を行わず、廃棄物処理に使用する既存の破砕機・選別機等を用いて丸ごと破砕。異物が多くガラスリサイクルは困難。	結晶Si、薄膜、化合物系*	割れパネル可 両面パネル可
⑩	高度破砕・選別	ハリタ金属	シュレッダー破砕の後、湿式比重選別等により産物を高度に選別する。大量処理が可能である一方、金属とガラスの分離が受入先の満足する水準に到達するかは課題か。	各種対応可	各種対応可

出典：2023 年度 NEDO 成果報告会資料より転載 <https://www.nedo.go.jp/content/100974458.pdf>

今後は、更なる処理費用の低減、リサイクル率の向上だけでなく、現在導入が進んでいる両面発電型太陽電池モジュールやペロブスカイト太陽電池のリサイクル技術の開発が必要となる。NEDO では、このような観点から分離リサイクル技術の開発を進めていく。

② マテリアルリサイクル技術の開発

また、分離回収されたガラスはこれまで主に路盤材などにリサイクル使用されてきた。これは、カバーガラスには不純物が混ざっているためであるが、含有不純物の除去・低減などにより、フロート板ガラスへのリサイクルの取り組み例も出てきている。

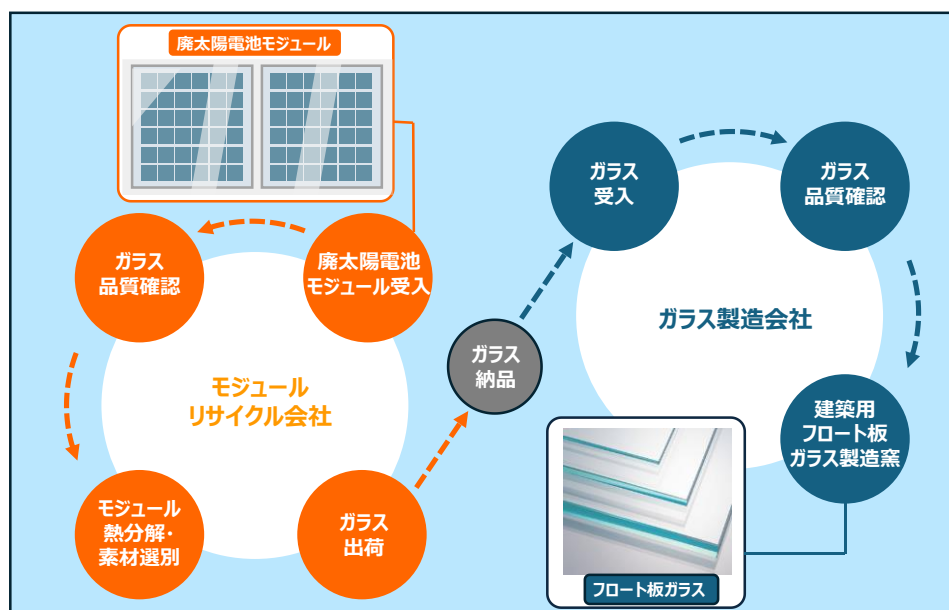


図 5-2-6-2 分離回収されたガラスの水平リサイクルの例

出典：(株) トクヤマの HP 情報を元に一部 NEDO 修正

https://www.tokuyama.co.jp/news/pdf/2024032501_Release.pdf

分離回収されたガラスの水平リサイクルに加え、シリコンのリサイクルなどのマテリアルリサイクルや今後のモジュール大量排出に対応できる回収からマテリアル活用を含めたトータルリサイクルモデルの検討が必要となる。

NEDO では、このような観点からマテリアルリサイクル技術の開発やトータルリサイクルモデルの検討を進めていく。

5.3 まとめ

「太陽光発電の大量導入を基調とした 2050 年カーボンニュートラルの実現」を目指し、今後 5 年間の太陽光発電開発戦略についてこれまで述べてきた。

今回の開発戦略では、「導入拡大時の適地制約」、「期待されるニーズの多様化」、「効率的・効果的な運用・保守」、「使用済みモジュールの大量排出とリサイクルおよび省資源化」、という 4 つの課題を抽出した。これら 4 つの課題解決にあたっては、①高付加価値製品・システムの開発を通じた産業競争力強化の観点を踏まえながら、太陽光発電システムを開発し、大量に導入し、その設備を維持していくこと、②資源循環型社会の構築の観点を踏まえながら、少ない資源で製造を行い、リサイクルなどを活用して資源の再利用を行っていくことという 2 つの観点から戦略を策定している（図 5-1-1 参照）。

これらの開発を着実に実施し、第 7 次エネルギー基本計画案における 2040 年度の電源シェアである 23%から 29%の達成を目指す。さらに、脱炭素社会を支える持続可能な太陽光発電システムの構築を通じて、「太陽光発電の大量導入を基調とした 2050 年カーボンニュートラルの実現」を目指していく。

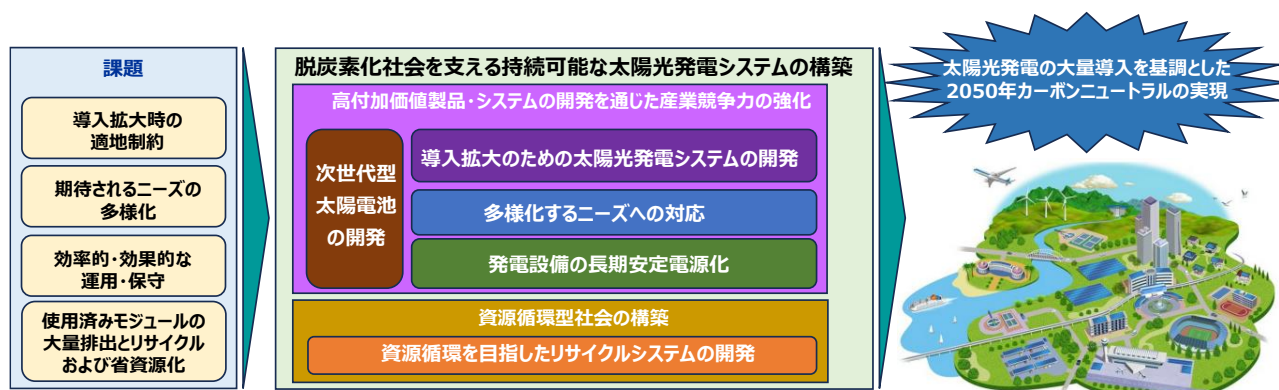


図 5-3-1 太陽光発電開発戦略 2025 における目指すべき姿