



## 太陽光発電分野の技術戦略策定に向けて

-カーボンニュートラル実現に向けた持続可能な太陽光発電の導入拡大-

Vol. 121

|                              |    |
|------------------------------|----|
| はじめに .....                   | 2  |
| 1 章 解決すべき社会課題と実現したい将来像 ..... | 3  |
| 1-1 社会課題と将来像の定義 .....        | 3  |
| 1-2 解決・実現のための方法 .....        | 6  |
| 1-3 環境分析とベンチマーキング .....      | 8  |
| 2 章 解決・実現手段の候補 .....         | 22 |
| 2-1 解決・実現のための課題 .....        | 22 |
| 2-2 分析から得られた具体的実現手段の候補 ..... | 28 |
| 2-3 技術開発の方向性 .....           | 38 |
| 3 章 おわりに .....               | 42 |

TSC とは Technology and Innovation Strategy Center（イノベーション戦略センター）の略称です。

## はじめに

気候変動問題は世界共通の喫緊の課題であり、世界が一致協力して、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、カーボンニュートラル(CN: Carbon Neutrality)の実現を目指す必要がある。IEA(International Energy Agency)のレポート<sup>1</sup>では、2050年CNを実現するためには、世界で大量の再生可能エネルギー(再エネ)発電の導入が不可欠であり、とりわけ太陽光発電(PV: Photovoltaics)については現状の約17倍に当たる約19TWの導入が必要であることを示している。

近年、欧州委員会は『REPowerEU』、米国エネルギー省は『Solar Futures Study』を発表するなど、再生可能エネルギー(再エネ)の導入が加速され、脱炭素化に向けた動きが世界的に活発になっている。

日本は、2020年に、2050年CNを目指すことを宣言し、2023年に制定された『脱炭素社会の実現に向けた電気供給体制の確立を図るための電気事業法等の一部を改正する法律』(GX 脱炭素電源法)では、PV等再エネを地域との共生を図りながら導入拡大に取り組むこととしている。

世界的なPVの導入拡大に対応して、PVの生産量が飛躍的に増加しているが、生産工程の川上から川下まで中国が大きな市場シェアを占めている。そして、新型コロナウイルスの感染拡大やロシアのウクライナ侵略を発端として、PVを含む多くの製品のグローバルサプライチェーンのセキュリティリスクが顕在化した。この状況を踏まえ、欧州では『Net-Zero Industry Act』(NZIA: ネットゼロ産業法)が成立し、米国では『Inflation Reduction Act』(IRA: インフレ抑制法)が制定されている。

NEDOは、PVの導入拡大に向けた発電コスト低減等の課題をまとめたTSC Foresight Vol.11『太陽光発電分野の技術戦略策定に向けて』<sup>2</sup>を2016年に発行した。その後、上記のとおり、日本が2050年CNの実現を目指すことを宣言するなど、PVの導入拡大を一層進めることが求められるようになった。

これを踏まえ、本レポートでは、持続可能なPV大量導入を進めるための課題と、解決のための手段や技術開発の方向性について解説する。

---

<sup>1</sup> World Energy Outlook 2023 (IEA, 2023)

<sup>2</sup> <https://www.nedo.go.jp/content/100788675.pdf>

# 1 章 解決すべき社会課題と実現したい将来像

## 1-1 社会課題と将来像の定義

気候変動問題は世界共通の喫緊の課題であり、CNを実現する必要がある。IEA のレポート<sup>1</sup>によると、世界の CO<sub>2</sub> 排出量の約 40%が電力分野(熱を含む)である(図 1)。2050 年 CN 実現のためには、需要が増加する電力分野のゼロエミッション化が重要であり、なかでも再エネの導入は CO<sub>2</sub> 排出削減に最も有効な技術と位置付けられている。

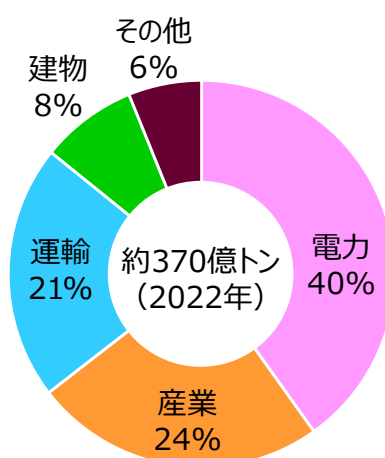


図 1 世界の CO<sub>2</sub> 排出量の分野別内訳

出典: World Energy Outlook 2023(IEA、2023)を基に NEDO イノベーション戦略センター作成(2023)

再エネの中でもとりわけ PV は、CO<sub>2</sub> 排出量の削減ポテンシャルが大きく<sup>3</sup>、2050 年には主力電源としての役割を担うことが期待されている。図 2 は IEA レポートにおける 2050 年までの世界の電力需要と電源構成の予測を示す。2050 年に向けて、電力需要が増加するとともに、電源構成の中で PV の占める割合が増加することが示されている。また、同レポートでは、2022 年の世界における PV の導入量は約 1.1TW であり、2050 年 CN を実現するためには、世界で現状の約 17 倍に当たる約 19TW の導入が必要であることが示されている。<sup>1</sup>

**Figure 3.13** ▶ Global electricity demand, 2010-2050, and generation mix by scenario, 2022 and 2050

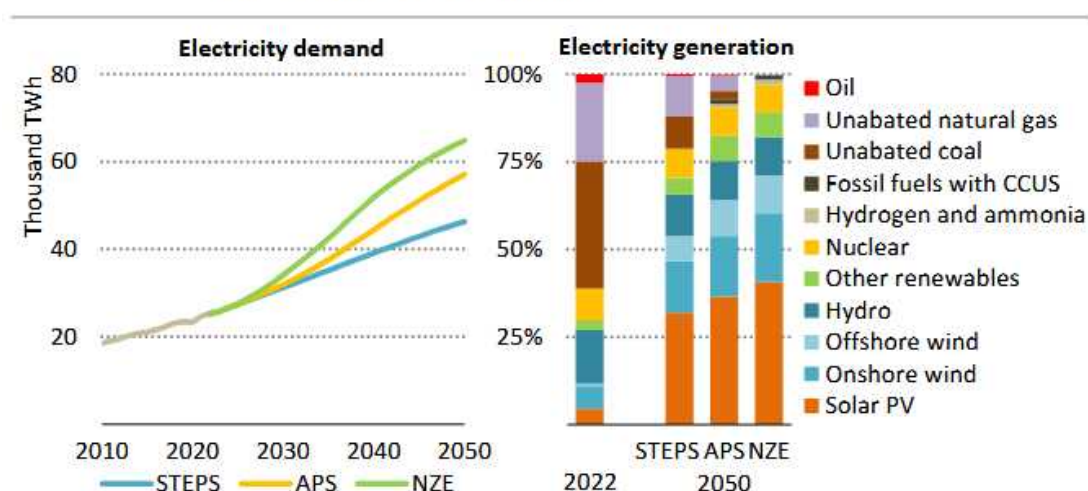


図 2 2050 年までの世界の電力需要と電源構成

出典: World Energy Outlook 2023 (IEA、2023)

<sup>3</sup> TSC Foresight 『持続可能な社会の実現に向けた技術開発総合指針 2023』(NEDO、2023)  
<https://www.nedo.go.jp/content/100964787.pdf>

日本政府は、2020 年に、2050 年までに CN を目指すことを宣言した。2021 年に発表された『第 6 次エネルギー基本計画』では、再エネの主力電源化を徹底し、国民負担の抑制と地域との共生を図りながら最大限の導入を促す、としている。そして、2015 年に策定された 2030 年度のエネルギーミックスの見直しが行われ、再エネについては合計 336～353TWh 程度（電源構成では総電力量 934TWh の 36～38%）の導入を目指す野心的な目標が示された。『第 6 次エネルギー基本計画』に示された 2030 年度の再エネ電源構成において、PV に関しては、103.5～117.6GW の導入を目指すことが述べられている（図 3）。

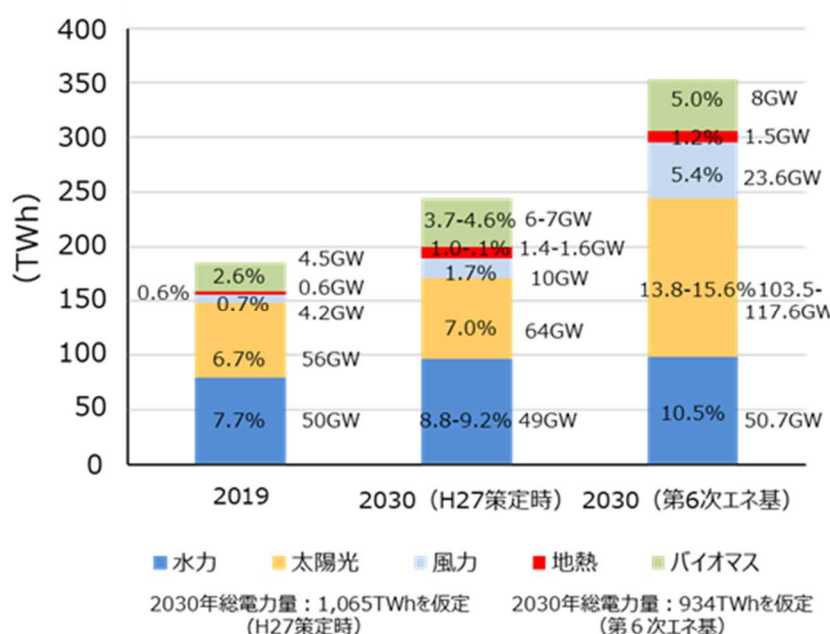


図 3 2030 年日本の再エネ電源構成

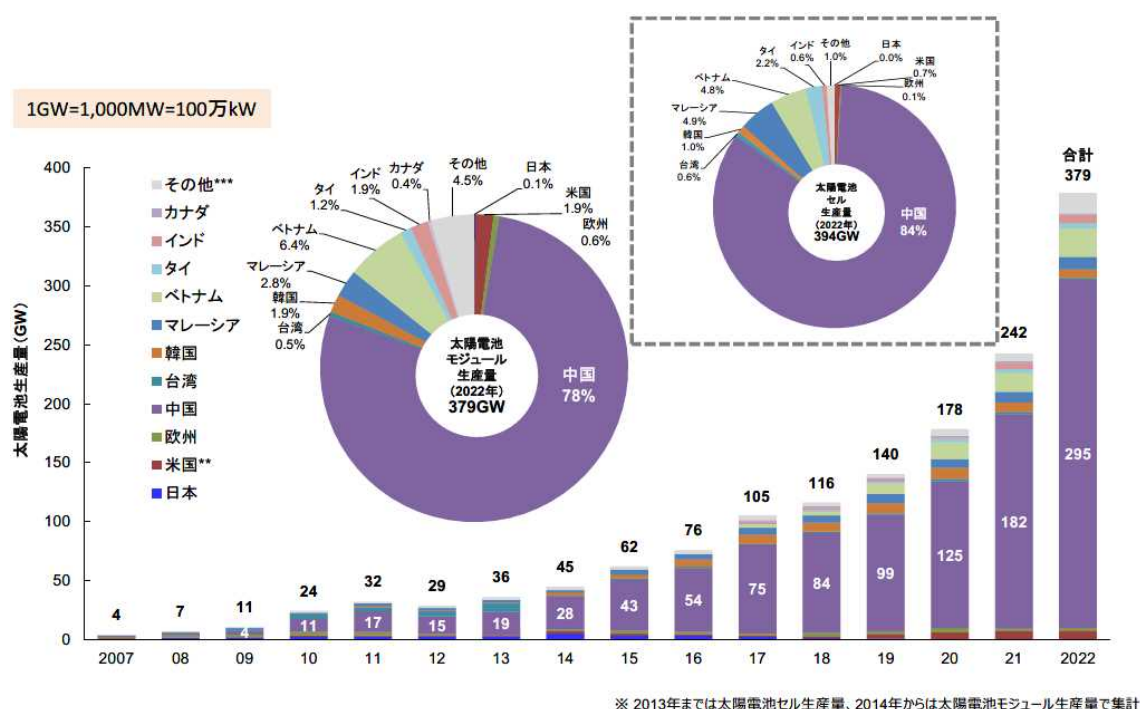
出典：第 6 次エネルギー基本計画を基に NEDO イノベーション戦略センター作成 (2023)

2050 年カーボンニュートラルの実現のためには、世界にとって、そして日本にとって、PV の大量導入は必要不可欠であると言える。さらに、大量導入を進めるには、PV が持続的に導入される環境を整えるべくエコシステムの構築が必要である。そこで、これらの課題を解決し、「PV 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」、「持続可能な PV の導入拡大に向けたエコシステムの構築」という将来像を実現する必要がある。

## 1-2 解決・実現のための方法

1-1 節に記した将来像「PV 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」、「持続可能な PV の導入拡大に向けたエコシステムの構築」を実現するためにはいくつかの課題が考えられる。

課題の一つはサプライチェーン問題の解決である。図 4 は、世界の PV 生産量推移を示す。世界的な PV の導入拡大に対応して、世界全体で PV の生産量が飛躍的に増加しているが、そのサプライチェーンでは、中国が大きなシェアを占めている。その状況を変えるため、サプライチェーンを変えていく必要がある。



出典：(株) 資源総合システム調べ（一部推定、2023年7月現在）

図 4 世界の PV 生産量推移（生産地の国・地域別）

出典：太陽光発電に関する動向調査について（NEDO、2024）<sup>4</sup>

<sup>4</sup> <https://www.nedo.go.jp/content/100974457.pdf>

また、適地制約の解消という課題もある。図 5 は、国土面積・平地面積当たりの PV 導入容量を示す。日本は、他国に比べて、平地の割合が少なく、平地面積当たりの太陽光設備容量はすでに主要国の 2 倍以上となっている<sup>5</sup>。また、太陽光発電協会の資料<sup>6</sup>によると、高圧・特高案件は用地確保が困難との発電事業者の声がある。これらから、日本は、PV 設備を設置するための適地不足に直面している、と言える。

将来像を実現するためには、これらの課題を解決し、持続可能な PV の導入拡大に向けた環境整備としてエコシステムを構築する必要がある。

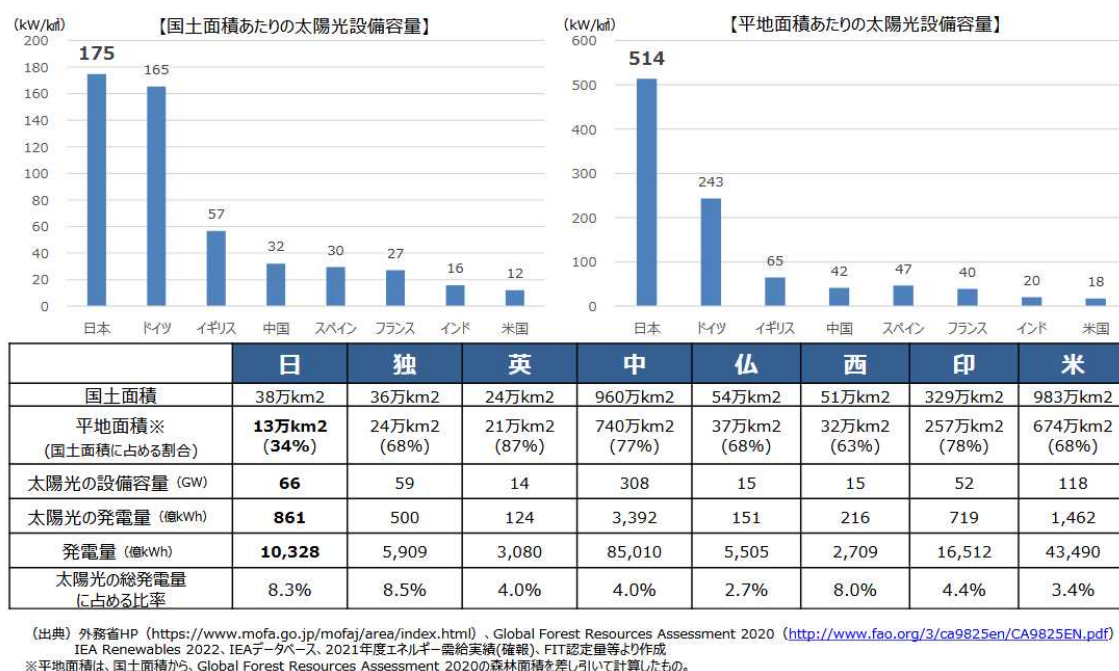


図 5 国土面積・平地面積当たりの PV 導入容量

出典: 今後の再生可能エネルギー政策について(資源エネルギー庁、2023)<sup>5</sup>

<sup>5</sup> 今後の再生可能エネルギー政策について(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 第 52 回 資料 1、2023)

<sup>6</sup> 太陽光発電の現状と自立化・主力化に向けた課題(太陽光発電協会 第 88 回 調達価格等算定委員会資料 1、2023)



## 1-3 環境分析とベンチマーキング

### (1) 海外の PV 導入政策動向

主要な海外諸国・地域における PV の導入政策に関する動向を表 1 に示す。

欧州では、2022 年 5 月に欧州委員会が、ロシア産化石燃料依存からの脱却計画『REPowerEU』を発表し、最終エネルギー消費に占める再エネ比率を 40%から 45%に高めることを提案した。この計画の一部として、『EU Solar Energy Strategy』(EU 太陽エネルギー戦略)を発表し、PV を 2025 年までに 320GW(2020 年比 2 倍以上)、2030 年に 600GW 以上導入することを目標とした。

米国バイデン政権では 2021 年にパリ協定に復帰した。同政権は、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目標を設定している。米国エネルギー省再生可能エネルギー研究所(NREL: National Renewable Energy Laboratory)は、電力網の脱炭素シナリオを検討し、『Solar Futures Study』を 2021 年に発表した。その中の脱炭素シナリオでは、2035 年約 800GW、2050 年約 1,000GW の PV の導入を予測している(米国における 2020 年の PV の設備容量は 76GW)。

中国の習近平国家主席は、2020 年の国連総会で、2030 年を CO<sub>2</sub> 排出のピークとし、2060 年にカーボンニュートラルとなることを宣言した。また、2022 年に中国政府が発表した第 14 次 5 か年再生可能エネルギー発展計画では、2030 年までに、一次エネルギー消費のうち非化石エネルギー消費の割合を 25%前後に、風力発電、PV の総設備容量を 1,200GW 以上とする、としている。また、中国エネルギー研究所のエネルギーシステムの分析<sup>7</sup>によると、2060 年の中国のカーボンニュートラルには、2022 年比で約 12 倍となる、PV4,800GW、風力発電 4,200GW が必要と報告されている。

インドのモディ首相は、2021 年の COP26 において、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、2030 年までに非化石燃料の電源を 500GW 導入する目標も示した。2030 年の 500GW のうち、280~300GW が PV となる見込みである(2023 年 3 月における PV 発電容量は 63GW である)。

韓国の文在寅大統領(当時)は、2020 年 10 月、2050 年までにカーボンニュートラルの実現を目指すことを宣言した。2022 年 7 月には、尹錫悦政権が、エネルギー安全保障とカーボンニュートラルの両立を目指す『新政権のエネルギー政策方向』を示した。

<sup>7</sup> China Energy Transformation Outlook 2023(Energy Research Institute of Chinese Academy of Macroeconomic Research, 2023)



表 1 主な海外諸国・地域の PV 導入政策

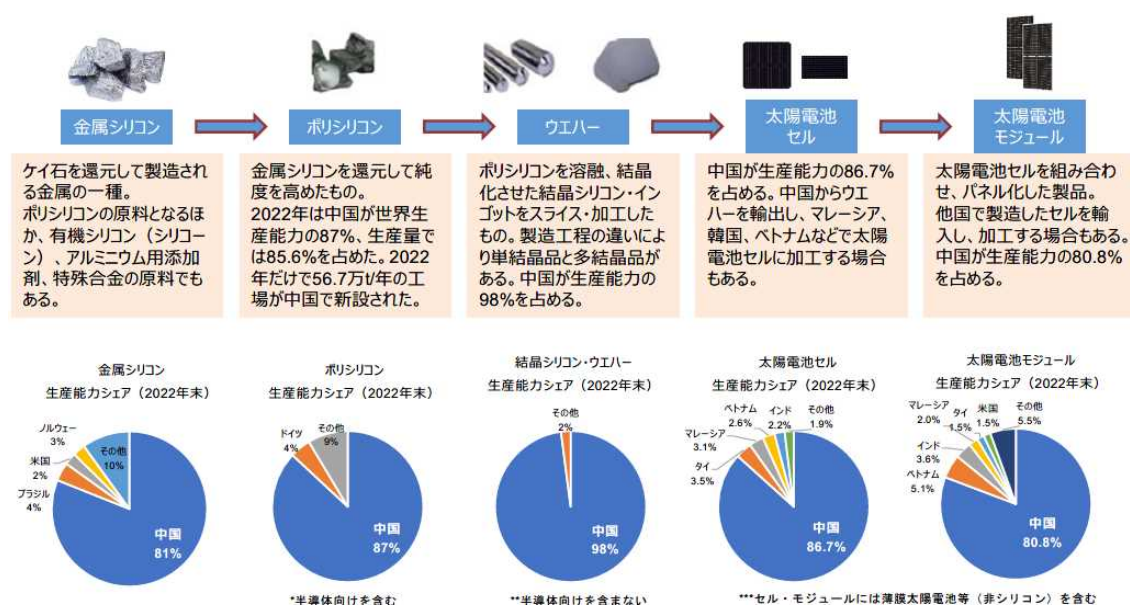
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>欧州</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>2022 年 5 月に REPowerEU を発表。最終エネルギー消費に占める再エネ比率を 40%から 45%に高めることを提案。</li> <li>合わせて、EU Solar Energy Strategy を発表。PV を 2025 年までに 320GW(2020 年比 2 倍以上)、2030 年に 600GW 以上導入する目標。主な導入策は以下のとおり。 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 欧州ルーフトップ計画(European Solar Rooftops Initiative)を導入。2029 年までに、公共・商業ビル及び新築住宅への PV パネル設置を段階的義務付け。</li> <li>✓ 許認可を簡素化。</li> <li>✓ 適地不足への対応。</li> <li>✓ 農業利用と組み合わせた Agrivoltaics や浮体式 PV 等あらゆる可能性を支援。</li> </ul> </li> </ul>                                                                                                                                                                                |
| <p><b>米国</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>バイデン政権は、2021 年 2 月に「パリ協定」に正式復帰。同政権は、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目標を設定。</li> <li>NREL は、電力網の脱炭素シナリオを検討し、Solar Futures Study を発表。2035 年約 800GW、2050 年約 1,000GW の PV 導入を予測(2020 年は 76GW)。</li> <li>2022 年 8 月に IRA 法が成立。発電事業用・業務用・住宅用 PV の投資税額控除、住宅用 PV に対する補助金を設定し、PV 導入に対する支援を強化。</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <p><b>中国</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>2020 年の国連総会で習近平国家主席が、2060 年に CN となることを宣言。</li> <li>2022 年には、第 14 次 5 か年再生可能エネルギー発展計画を発表。PV に関する主な内容は以下のとおり。 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 2025 年に、再エネ年間発電電力量を 3,300TWh 前後とし、一次エネルギー消費増分における再エネ発電量増分の割合を 50%超とする。</li> <li>✓ 2030 年には、一次エネルギー消費のうち非化石エネルギー消費の割合を 25%前後、風力発電、PV の総設備容量を 1,200GW 以上とする。</li> <li>✓ 再エネ導入拡大に向けて、砂漠などに大型の風力・PV システムを設置するプロジェクトを加速し、省際送電するための電力系統を整備する。</li> <li>✓ 建物一体型 PV の導入推進とともに、農業・畜産業、漁業、データセンターなどの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、鉄道線路の沿線、高速道路の沿線など交通分野にも設置を進める。</li> </ul> </li> <li>中国エネルギー研究所の分析によると、2060 年の中国の CN には、PV4,800GW、風力発電 4,200GW が必要としている(2022 年比で約 12 倍)。</li> </ul> |
| <p><b>インド</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>2021 年の COP26 で、モディ首相は、2070 年までに温室効果ガス排出をゼロにする目標を表明。2030 年までに非化石燃料の電源を 500GW 導入する目標も提示。</li> <li>このうち、280~300GW を PV とする見込み(2023 年 3 月時点で 63GW)。</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <p><b>韓国</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>2020 年 10 月、文在寅大統領が、2050 年までに CN の実現を目指すことを宣言。</li> <li>2022 年 7 月には、尹錫悦政権が、エネルギー安全保障と CN の両立を目指す「新政権のエネルギー政策方向」を示す。</li> <li>2023 年 1 月、韓国政府は、第 10 次電力需給基本計画を公表。「実現可能でバランスの取れた電源ミックス」「原発の活用、適正水準の再生可能エネルギー」が基本方針。PV については、2036 年 65.7GW を見通している。</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

出典：各国政府政策資料等を基に NEDO イノベーション戦略センター作成(2023)

## (2) PV 分野の市場動向

世界各国における PV の導入拡大に伴い、生産量が増加している(図 4)。世界で生産されている PV の 95%以上が、結晶シリコン型であり、近年では単結晶シリコンが主流となっている。

シリコン PV の生産量では、中国のシェアが圧倒的である。図 6 に示したように生産の川上に当たる金属シリコン、ポリシリコン、ウェハーから、川下のセルやモジュールに至るまで、それぞれの工程で、中国が約 80%以上のシェアを占めており、生産の一国集中が進んでいる。特に、ウェハーは、98%が中国で生産されている。



出典：中国太陽光発電産業協会（CPIA）、「2022-2023年中国光伏産業年度報告」から、(株)資源総合システム作成

図 6 結晶シリコン PV 生産工程における国別比率

出典：太陽光発電に関する動向調査について(NEDO、2024)<sup>4</sup>

### (3) 海外の PV 分野のサプライチェーン政策動向

(2)で述べたように、PV 生産の川上から川下まで、中国が大きなシェアを有しており、当面は他国を圧倒する生産能力を有する見通しである。IEA レポート『The State of Clean Technology Manufacturing』(2023 年 5 月)では、現時点で発表されているプロジェクトを勘案して、2030 年の PV の生産能力は、860GW に達する見通しを示している(2022 年の生産量は 190GW)。

欧米等は、カーボンニュートラル実現に不可欠な PV の供給を一国に依存することについて懸念を示している。欧米印では、PV のサプライチェーン強化に向けて、以下のような政策が示されている。

欧州では、『EU Solar Energy Strategy』に、「レジリエントなサプライチェーンの確立」、「EU における PV 製造に関する投資支援」が述べられており、この戦略に基づき、2022 年 12 月には欧州太陽光発電産業同盟が発足している。この産業同盟は、2025 年までに欧州域内で年間 30GW の PV 生産能力を構築し、毎年 9 兆 6,000 億円(600 億ユーロ、1 ユーロ=160 円で換算)の GDP を付加し、直接・間接含め 40 万人以上の雇用を生み出すことを目標としている。

2024 年 5 月には、ネットゼロ産業法<sup>8</sup>(NZIA)が成立し、脱炭素化に重要な技術として、PV はじめ 8 つの技術分野を定めている。同法案では、欧州の製造規模を拡大することによって、2030 年までに少なくとも欧州域内の脱炭素技術の需要の 40%を供給することを目標に掲げている。PV については、2030 年までに年間 30GW の生産能力を有することが目標である。NZIA では、規制緩和や調達において持続可能性やレジリエンスを考慮する等の行動指針が盛り込まれている。

米国は、2018 年に通商法に基づいて、PV 関連製品の輸入制限や中国製品への追加関税<sup>9</sup>を発動した。そして、2018 年以降、米国における PV の生産は増加に転じ、主に結晶シリコン及び薄膜 PV モジュールの生産が増加した。2022 年に成立した IRA 法では、PV 設備の生産に対して、税額控除やインセンティブが適用されることになった。IRA 法成立以降、2023 年 8 月の時点で、約 50 件の工場新設・拡張計画が発表され、各工程合わせて 185GW の生産能力が増強される計画である。そのうち約半分の 93GW がモジュールであり、セル 46GW、ウェハー29GW、その他はインバータ等となっている。また、2021 年末に成立したウイグル強制労働防止法(UFLPA)に基づき、PV モジュールまたはその関連部品の輸入差し止めが報じられている。

<sup>8</sup> <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2024/05/27/industrial-policy-council-gives-final-approval-to-the-net-zero-industry-act/pdf/>

<sup>9</sup> Solar Photovoltaics Supply Chain Deep Dive Assessment (U.S. Department of Energy, 2022)

インドは、『Production Linked Incentive』(PLI:生産連動型優遇策)という政策を打ち出しており、これは、高効率で、大規模垂直統合生産の事業者インセンティブを与える制度である。PV 関連では、3,840 億円(2,400 億ルピー、1 ルピー=1.6 円で換算)の予算が組まれている。2026 年までに累積のモジュール生産能力は 110GW に達する見込みである(2022 年末 38GW)。2023 年 6 月時点で、14 社が PLI に応募しており、生産能力は合計 51.6GW に達している。また、基本関税(BCD: Basic Custom Duty)制度では、インドと自由貿易協定(FTA)を結んでいない国からの PV セルに 25%、モジュールに 40%の関税を課している。さらに、型式・製造者認可リスト(ALMM: Approved List of Models and Manufacturer)制度により、政府調達等の PV は、国内生産している認可された事業者から調達する必要がある。

#### (4)PV 分野の技術動向

PV 分野では発電量を確保するため、発電効率向上の技術開発が進められてきた。図 7 に各種セルの最高効率の推移を示す。

## Best Research-Cell Efficiencies

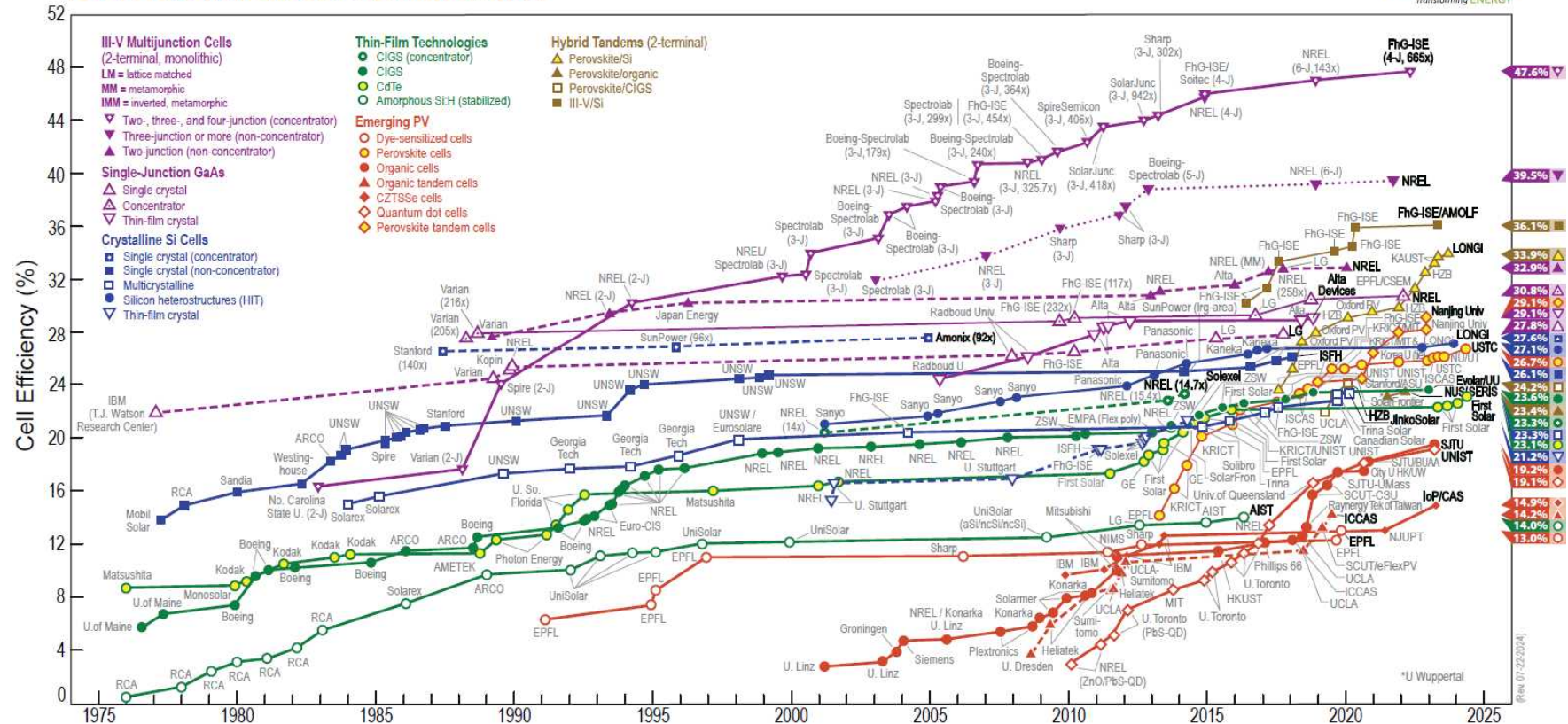


図 7 PV セルの最高効率の推移

出典: Interactive Best Research-Cell Efficiency Chart (NREL, 2024)

This plot is courtesy of the National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO.



はじめに、現在最も普及している結晶シリコン PV の技術動向について述べる。これまでの低コスト化、高効率化に向けた技術開発の進展によって、多結晶シリコンよりも高効率が期待できる単結晶シリコンが主流となっている。図 8 は、各種結晶シリコン PV の構造を示す。現在、結晶シリコン PV の主流は、PERC (Passivated Emitter and Rear Cell) 型<sup>10</sup>で、上市されているモジュールの効率は 21.7%に達している<sup>11</sup>。結晶シリコン PV の高効率化は、新たなセル構造の技術開発によって進展しており、PERC 型を超える高効率なものとして TOPCon (Tunnel Oxide Passivated Contacts) 型<sup>12</sup>やヘテロ接合 (SHJ: Silicon Heterojunction) 型<sup>13</sup>の開発が進んでいる<sup>14</sup>。SHJ 型ではモジュール効率が 23%を超えるものも既に開発されており<sup>11</sup>、PERC 型に代わってこれらのシェアが今後増加していく見通しである<sup>15</sup>。市場に流通している PV セルの変換効率トップ 10 は、中国企業または中国との合弁企業がほとんどを占めており<sup>11</sup>、中国は、シェアだけではなく、生産技術も向上している。日本は、2010 年代まで結晶シリコン PV の開発をリードし、最近まで、世界最高効率の PV セルの記録を有していた(図 7 内の●)。シェアの面では中国に大きく引き離されているものの、日本の技術レベルは、現在でも世界トップクラスにある。

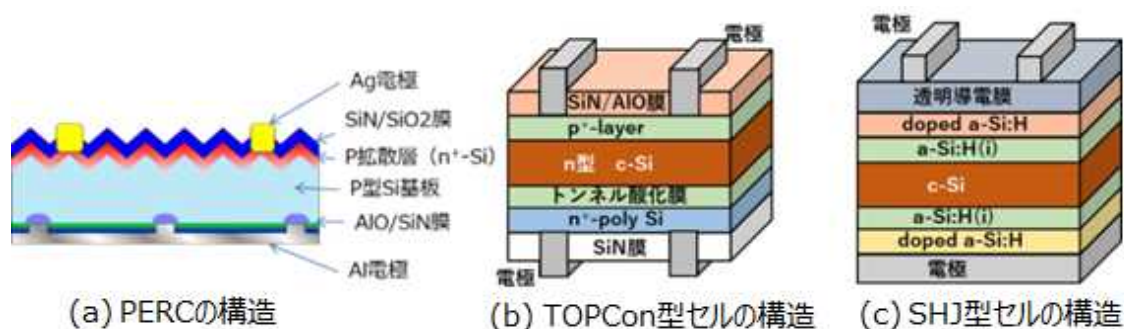


図 8 各種結晶シリコン PV の構造

出典: 結晶 Si 太陽電池の現状と展望(応用物理学会ホームページ)<sup>14</sup>

<sup>10</sup> p 型 Si 基板にリンを熱拡散した pn 接合を形成するとともに、受光面に SiN 膜、裏面に AlO/SiN 膜の表面パッシベーション膜(受光面は反射防止膜を兼ねる)を形成し、その一部に電極を設けている。

<sup>11</sup> Top Solar Modules Listing – November 2023 (TaiyangNews、2023)

<https://taiyangnews.info/topmodules/top-solar-modules-listing-november-2023>

<sup>12</sup> PERC 型の発展形ともいえ、セルの裏面側に Si 基板/トンネル酸化膜/高濃度ドーピングされた多結晶層の構造を有することが特徴である。

<sup>13</sup> ヘテロ接合とは物性の異なる材料同士の接合のことを言い、n 型単結晶シリコン半導体の両面にアモルファスシリコン半導体が形成された構造。[http://www.solartech.jp/cell\\_type/hit.html](http://www.solartech.jp/cell_type/hit.html)

<sup>14</sup> <https://www.jsap.or.jp/columns/gx/e3-6>

<sup>15</sup> International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV) 2022 Results (VDMA、2023)

次に、次世代型 PV の技術動向について述べる。今後の PV の大量導入に向けては、特に日本では、設置に適した土地が少ないことが制約となる。そのため、これまで導入が進んでいない水上、農地、建物壁面、車載といった分野への導入が必要である。そこで、既存のモジュールでは実現不可能な高い性能（高効率、軽量、意匠性、使用環境での長期信頼性）を持った次世代型 PV の開発が求められている。

有望な次世代型 PV の一つが、ペロブスカイト PV である。図 9 は、ペロブスカイト PV の概要を示す。「ペロブスカイト」は結晶構造を示す言葉で、ペロブスカイト PV は有機・無機ハイブリッド PV の一種である。ペロブスカイト PV は、2009 年に桐蔭横浜大学の宮坂教授らによって提案<sup>16</sup>され、提案当初わずか数%から最近の 26% まで効率が飛躍的に上昇している<sup>17</sup>。ペロブスカイト PV は、印刷による作製が可能なため、低コストを実現できる可能性があり<sup>18</sup>、また軽量でフレキシブルな形状のペロブスカイト PV モジュールを作製できるので、既存の結晶シリコン PV では設置が困難な場所（例えば、建物壁面や耐荷重が小さい屋根等）への適用が期待されている。一方で、長期信頼性が課題<sup>19</sup>であり、現在、ペロブスカイト PV の変換効率、そして長期信頼性の向上を追求する研究開発が世界各国で実施されている。

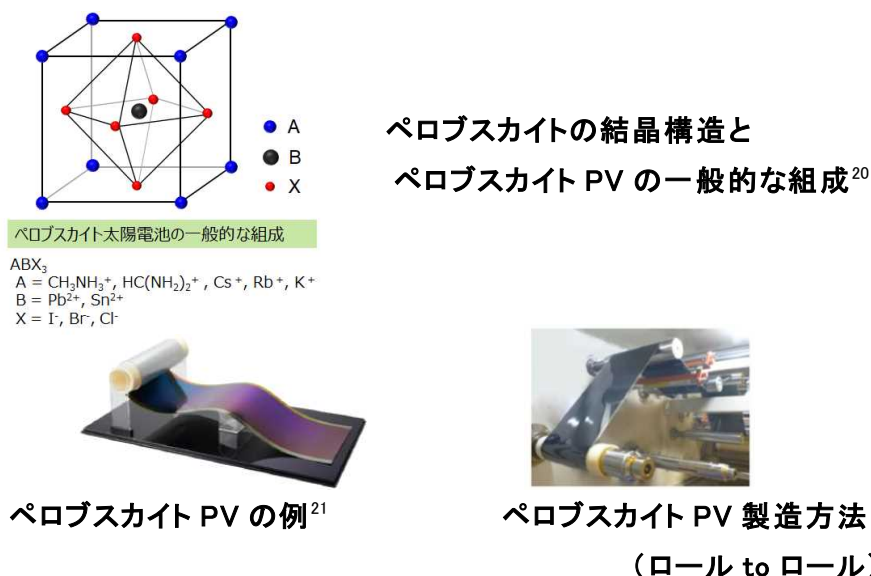


図 9 ペロブスカイト PV の概要

<sup>16</sup> ペロブスカイト半導体の光電変換における高電圧・高効率化の材料開発(応用物理 第 90 巻 第 11 号、宮坂 力、2021)

<sup>17</sup> 太陽光発電の技術および産業・市場動向(NEDO 2023 年度成果報告会プログラム No.40、2024)

<sup>18</sup> 日本の再エネ拡大の切り札、ペロブスカイト太陽電池とは？(前編)～今までの太陽電池とどう違う？(資源エネルギー庁) [https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/perovskite\\_solar\\_cell\\_01.html](https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/perovskite_solar_cell_01.html)

<sup>19</sup> ペロブスカイト太陽電池の基礎と将来展望(色材協会誌 第 96 巻 第 9 号、村上 拓郎、2023)

<sup>20</sup> ペロブスカイト太陽電池の研究開発動向(AIST 太陽光発電研究成果報告会 2019、近松 真之、2019)を基に NEDO イノベーション戦略センター作成

<sup>21</sup> 次世代型太陽電池に関する国内外の動向等について(資源エネルギー庁 第 3 回 産業構造審議会 グリーンイノベーションプロジェクト部会 グリーン電力の普及促進等分野ワーキンググループ 資料 4、2022)



表 2 は、ペロブスカイト PV の種類別変換効率トップデータを示しており、研究開発用の小面積のセル・モジュールから実用により近い比較的大きな面積のものまでをカテゴリ分けしている。さらに、フレキシブルな形状が可能なフィルム基板か、形状が安定しているガラス基板かによってもカテゴリを分類している。米国の大学がペロブスカイト PV の最高効率記録を有しているが、多くのカテゴリで中国の機関・企業が最高変換効率を出している。こうした中で日本の複数企業が、フィルム基板での実用を想定したミニモジュールにおいて最高効率を出しており、実用化をにらんだ研究開発力は世界のトップレベルにあると言える。

表 2 ペロブスカイト PV の種類別変換効率トップデータ

| 種類・分類 |                                    | 変換効率*<br>(%)    | 面積<br>(cm <sup>2</sup> ) | 開発機関                                          | 達成（発表）<br>年月 |
|-------|------------------------------------|-----------------|--------------------------|-----------------------------------------------|--------------|
| セル    | 小面積・ガラス<br>(0.1cm <sup>2</sup> 未満) | <b>26.14</b>    | 0.0493                   | ノースウェスタン大学／トロント大学<br>(米)                      | 2023年7月      |
|       | 小面積・ガラス<br>(1cm <sup>2</sup> 以上)   | 24.67           | 1.0053                   | 深圳無限光能技術（中）                                   | 2023年1月      |
|       | フィルム基板                             | 22.5            | 1                        | 精華大学（中）                                       | (2022年9月)    |
| モジュール | 小面積・ガラス基板                          | 22.99           | 16.7                     | 極電光能科技（中）                                     | (2023年2月)    |
|       |                                    | (22.87)         | 24.63                    | スイス連邦工科大学ローザンヌ校／<br>西安交通大学（中）、他               | (2022年5月)    |
|       |                                    | 22.4            | 26.02                    | スイス連邦工科大学ローザンヌ校／<br>華北電力大学新電力系統国家重点<br>実験室（中） | 2022年7月      |
|       |                                    | 21.8            | 19.35                    | 杭州織納光電科技（中）                                   | 2022年7月      |
|       |                                    | 21.5            | 63.97                    | カネカ（日）                                        | 2022年10月     |
|       |                                    | 20.8            | 61.58                    | 杭州衆能光電科技（中）                                   | 2022年12月     |
|       |                                    | (18.6)          | 約243                     | 中国科学院大連化学物理研究所<br>(中)                         | (2022年7月)    |
|       | 小面積・フィルム基板                         | (21.2)          | 7.5cm角                   | エネコートテクノロジーズ／京都大学<br>(日)                      | (2023年10月)   |
|       |                                    | 21.09           | 21.07                    | 広東脈絡能源科技（中）                                   | 2023年8月      |
|       | ミニモジュール・ガラス基板                      | 21.5            | 800.9                    | 広東脈絡能源科技（中）                                   | 2023年8月      |
|       |                                    | (18.1)          | 30cm角                    | カネカ（日）                                        | (2023年10月)   |
|       |                                    | 17.9            | 804                      | パナソニック（日）                                     | 2020年1月      |
|       | ミニモジュール・フィルム<br>基板                 | <b>(16.6)</b>   | <b>703</b>               | <b>東芝（日）</b>                                  | (2022年10月)   |
|       |                                    | <b>(15.0)</b>   | <b>30cm角</b>             | <b>積水化学工業（日）</b>                              | (2022年10月)   |
|       | 大面積・ガラス基板                          | 18.5            | 3,500                    | 中国華能集団（中）                                     | 2022年11月     |
|       |                                    | 17.18           | 7,200                    | 極電光能（中）                                       | 2023年6月      |
|       |                                    | (16.02)<br>320W | 20,000                   | 協鑫光電材料（中）                                     | (2023年4月)    |

\*変換効率は第三者機関測定値。（ ）は自主測定値あるいは測定機関不明。

出典：各種論文、各社資料より NEDO イノベーション戦略センター作成(2023 年 11 月 13 日現在)

2020 年～2022 年において、ペロブスカイト PV 分野の国際展開発明件数 (IPF: International Patent Family)<sup>22</sup>は、中国、日本、欧州の順となっている。機関・企業別では、中国、日本、韓国の機関・企業が IPF 件数上位となっており、複数の日本企業が上位に位置付けられている(図 10)。

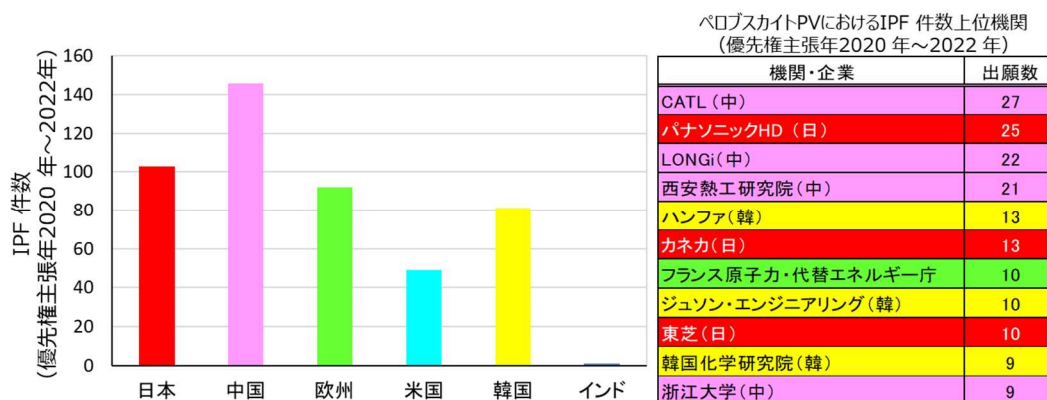


図 10 ペロブスカイト PV の国・地域別 IPF 件数と IPF 件数ランキング

出典: Derwent Innovation<sup>TM</sup> での検索結果を基に NEDO イノベーション戦略センター作成 (2023)

図 11 は、ペロブスカイト PV の国・地域別論文発表件数と論文発表件数ランキングを示す。ペロブスカイト PV の分野では、近年、約 5,000 件/年の論文が発表されている。中国は、他国・地域の 3 倍以上の論文を発表しており、インドも、米国、韓国、日本をしのぐ論文数となっている。機関・企業別で見ると、中国科学院の発表数が多く、中国の大学も上位を占めている。また、インド、ドイツ、米国の機関が上位に入っている。

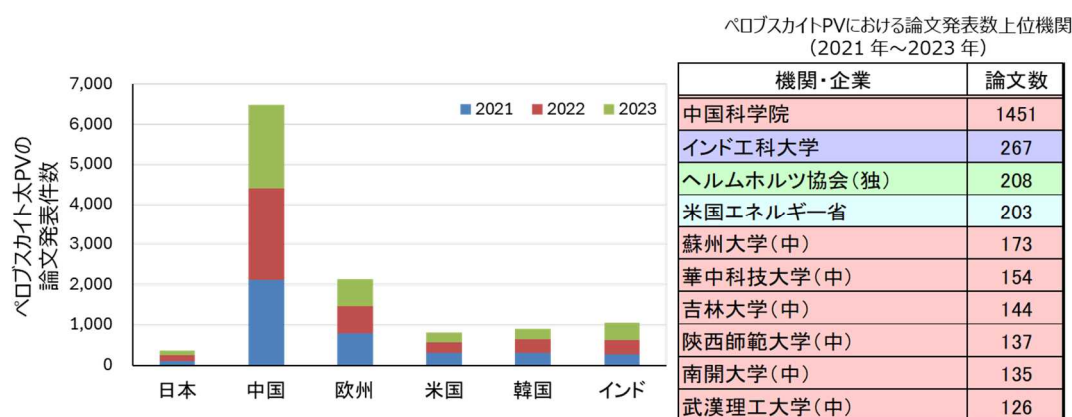


図 11 ペロブスカイト PV の国・地域別論文発表件数と論文発表件数ランキング

出典: Web of Science<sup>TM</sup> での検索結果を基に NEDO イノベーション戦略センター作成 (2023)

<sup>22</sup> 国際展開発明件数は、複数の国・地域へ出願された発明、EPO へ出願された発明又は PCT 出願された「発明の数」。「国際パテントファミリー」とも称される。

将来有望な次世代型 PV として、タンデム型 PV もある。タンデム型 PV は、図 12 に示すように、PV セルを直列につなぎ合わせ、太陽光の波長を広範囲に吸収することにより変換効率を高めた電池である<sup>23</sup>。タンデム型 PV は、現時点では研究開発段階にあり、複数の化合物・種類を組み合わせたタンデム型 PV の開発が進められている。変換効率の点では、Ⅲ-V 族化合物で欧米が強く、ペロブスカイトをトップセルとした電池では中国が強い傾向である(表 3)。



図 12 タンデム型 PV のイメージ

出典:次世代型太陽電池に関する国内外の動向等について(資源エネルギー庁、2022)<sup>24</sup>を基に  
NEDO イノベーション戦略センター作成(2023)

表 3 タンデム型 PV の種類別変換効率トップデータ

| 種類                      | 変換効率*<br>(%)       | 開発機関                             | 達成年月    |
|-------------------------|--------------------|----------------------------------|---------|
| Ⅲ-V 族化合物 4 接合以上<br>(集光) | 47.6<br>(665 倍集光)  | FhG-ISE(独)                       | 2022/5  |
| Ⅲ-V 族化合物 3 接合<br>(集光)   | 44.4<br>(302 倍集光)  | シャープ(日)                          | 2013/6  |
| Ⅲ-V 族化合物 3 接合<br>(非集光)  | 39.5               | NREL(米)                          | 2022/5  |
| Ⅲ-V 族化合物 6 接合<br>(非集光)  | 39.2               | NREL(米)                          | 2020/4  |
| Ⅲ-V 族化合物 2 接合<br>(集光)   | 35.5<br>(38.1 倍集光) | NREL(米)                          | 2018/2  |
| Ⅲ-V 族化合物 2 接合<br>(非集光)  | 32.9               | NREL(米)                          | 2021/6  |
| ペロブスカイト/結晶シリコン<br>(2T)  | 33.9               | LONGi(中)                         | 2023/6  |
| ペロブスカイト/CIGS(4T)        | (29.9)*            | シンガポール国立大学<br>(/EMPA(スイス))       | 2023/11 |
| ペロブスカイト/ペロブスカイト<br>(2T) | 29.1               | RenShine Solar(仁燦光能)<br>/南京大学(中) | 2022/12 |
| ペロブスカイト/有機薄膜<br>(OPV)   | 22.95              | シンガポール国立大学<br>(NUS)              | 2022/1  |

\*変換効率は第三者機関測定値。カッコ書きは自主測定値あるいは測定機関不明

出典:各種資料を基に NEDO イノベーション戦略センター作成(2023)

<sup>23</sup> [https://www.aist.go.jp/aist\\_j/new\\_research/2014/nr20140707/nr20140707.html](https://www.aist.go.jp/aist_j/new_research/2014/nr20140707/nr20140707.html)

<sup>24</sup> [https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green\\_innovation/green\\_power/pdf/003\\_04\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/green_power/pdf/003_04_00.pdf)

タンデム型 PV<sup>25</sup> の分野の国際展開発明件数 (IPF 件数) は、2018 年～2022 年の 5 か年を見ると、欧州、米国、日本が多く出願している (図 13)。機関・企業別では、日本企業が突出しており、米国、ドイツ、韓国、中国の機関・企業等が続いている。論文発表件数では、中国、欧州が多く、米国、韓国、インド、日本が拮抗している状況である (図 14)。機関別で見ると、中国科学院の発表数が多い。その他、欧州、米国、中国、インド等の機関が上位に入っている。

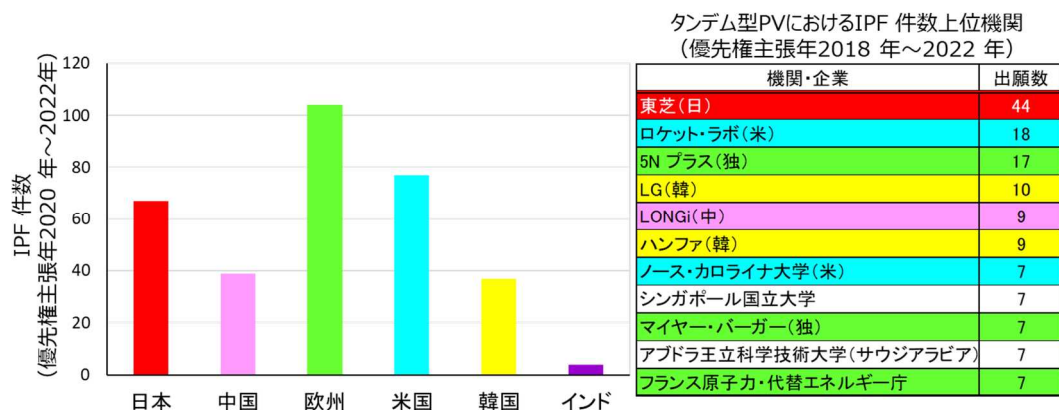


図 13 タンデム型 PV の国・地域別 IPF 件数と IPF 件数ランキング

出典: Derwent Innovation<sup>TM</sup> での検索結果を基に NEDO イノベーション戦略センター作成 (2023)

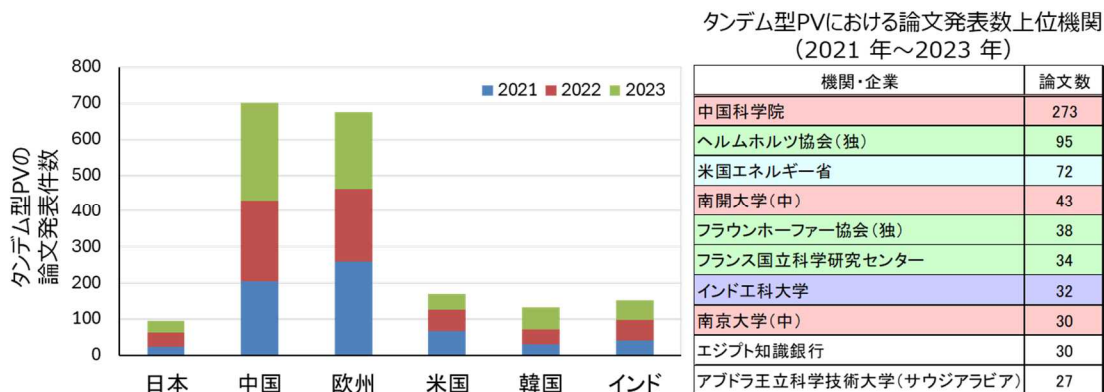


図 14 タンデム型 PV の国・地域別論文発表件数と論文発表件数ランキング

出典: Web of Science<sup>TM</sup> での検索結果を基に NEDO イノベーション戦略センター作成 (2023)

ペロブスカイト、タンデム型等次世代型 PV については、世界各国・地域で、産官学連携による研究開発プロジェクトが進められている。表 4 は、各国・地域の次世代型 PV に関する主な研究開発プロジェクトを示す。ペロブスカイト PV の早期の社会実装のためには、性能評価試験方法の標準化が重要であるが、欧米、特に米国の国立研究所を中心に検討が進められている。日本では、グリーンイノベーション

<sup>25</sup>「タンデム (tandem)」及び「多接合 (multijunction)」を検索語に含めて検索した。

基金事業で、フィルム基板を用いて軽くてフレキシブルであるなど高い機能性を有するペロブスカイト PV の生産技術の確立に向けた技術開発が進められており、タンデム型 PV の開発は、NEDO 事業の中で取り組まれている。

現在、ペロブスカイト、タンデム型次世代型 PV の研究開発は、中国、欧州、日本、韓国そして米国の間で激しい競争の状態にある。

表 4 各国・地域の次世代型 PV に関する主な研究開発プロジェクト

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

#### (5) 環境分析のまとめ

世界各国・地域では、カーボンニュートラルの実現に向けて、PV の導入目標を設定している。

結晶シリコン PV の市場及びサプライチェーンの動向としては、製造の川上から川下まで中国が圧倒的なシェアを有している。カーボンニュートラル実現に不可欠な PV の供給を一国に依存することに対する懸念から、欧米等は、結晶シリコン PV のサプライチェーン再構築をめざしている。特に、米国は、IRA 法により、国内外の企業による工場新設計画が進展している。また、インドは、PLI により、国内需要だけでなく、輸出も視野に入れている。結晶シリコン PV の技術面では、中国の有力なプレーヤー達が、高い変換効率を有する製品を市場に投入しており、シェアだけでなく、生産技術も向上している。日本は、2010 年代まで結晶シリコン PV の開発をリードしてきた。最近まで、世界最高効率の PV セルの記録を有していた実績があり、技術レベルは、現在でも世界トップクラスにある。

今後導入が期待されるペロブスカイト型及びタンデム型等次世代型 PV の開発では、中国、欧州、日本、韓国そして米国の間で激しい競争の状態にある。欧州では、高レベルの研究ポテンシャルを生かした産官学連携による技術開発を進めている。中国は、特許出願数や学術論文数で他国を上回っており、次世代型 PV の開発も世界トップレベルで進展している。米国では、国立研究所、大学、スタートアップを中心に開発が進められており、国立研究所を中心に性能評価試験の標準化をリードしている。韓国は、国内有力メーカーを中心に、開発を進めており、学術論文数では、日米を上回っている。日本は、世界に先駆けてペロブスカイト PV の開発に着手し、フィルム基板を用いた軽くてフレキシブルな高機能性 PV の開発に強みがある。



## 2 章 解決・実現手段の候補

### 2-1 解決・実現のための課題

1 章では、「PV の大量導入を基調とした 2050 年カーボンニュートラル」とその環境整備のための「持続可能な PV の導入拡大に向けたエコシステムの構築」の必要性について述べた。本節では持続可能な PV の導入拡大に向けた課題について述べる（図 15）。

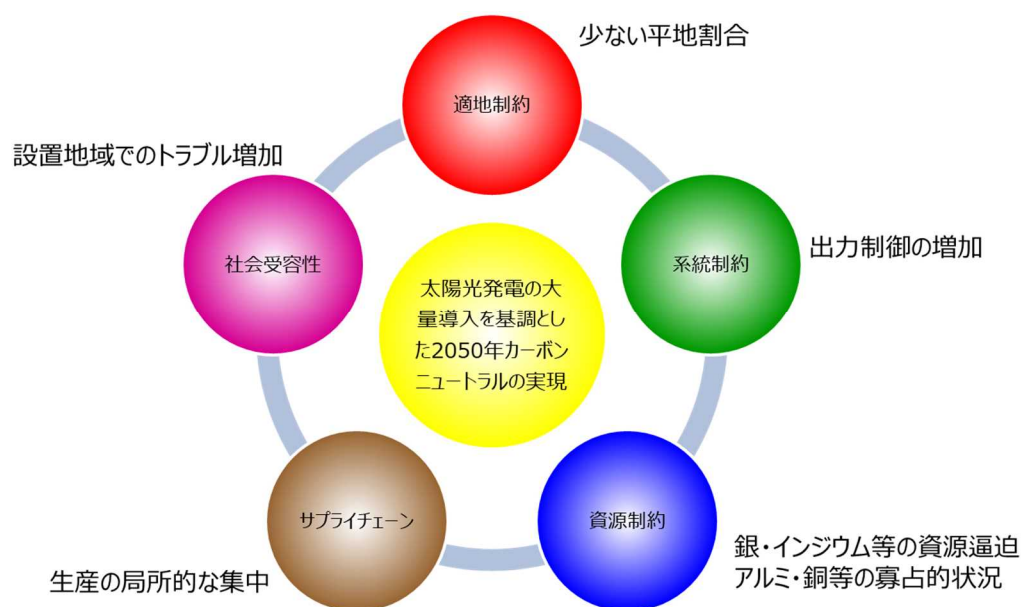


図 15 持続可能な PV の導入拡大に向けた課題

### (1) 資源制約

図 16 は、PV 関連鉱物についての 2021 年の世界の生産量に占める 2021 年の PV 産業の需要の割合、及び IEA Net Zero emissions by 2050 Scenario (2050 年までにネットゼロを達成するシナリオ)における 2030 年の PV 産業需要の割合を示す。IEA レポートでは、NZE シナリオに従うと、PV 製造業において、銀、インジウムや高純度シリコンの需要が増加すると予測されており、これらの物資に対する需要は、150%~400%増加することが見込まれている。このため、図 16 に示すように、世界の鉱物生産量に占める PV 産業の需要の割合が増加することが予測されている。同レポートは、このような PV 生産に伴う鉱物の使用量の増加に、鉱山の開発や精錬設備の増加が追いつかない可能性を指摘している。また、PV 生産に必要な多くの原材料(アルミニウム、銅、銀等)について、1 か国あるいは数か国が大きなシェアを占める寡占的状況にあり、そのため、2020 年には天災等によってポリシリコンの供給不足が生じ、さらに、新型コロナの感染拡大によって、中国から欧米への輸送日数が 40 日から 100 日以上となり、日本や韓国にも影響を与えた、と述べている<sup>26</sup>。最近では、PV 用高純度ガラス原料(高純度石英砂)の資源供給のひっ迫が指摘されている<sup>27</sup>。そのために資源制約を解消することが必要である。

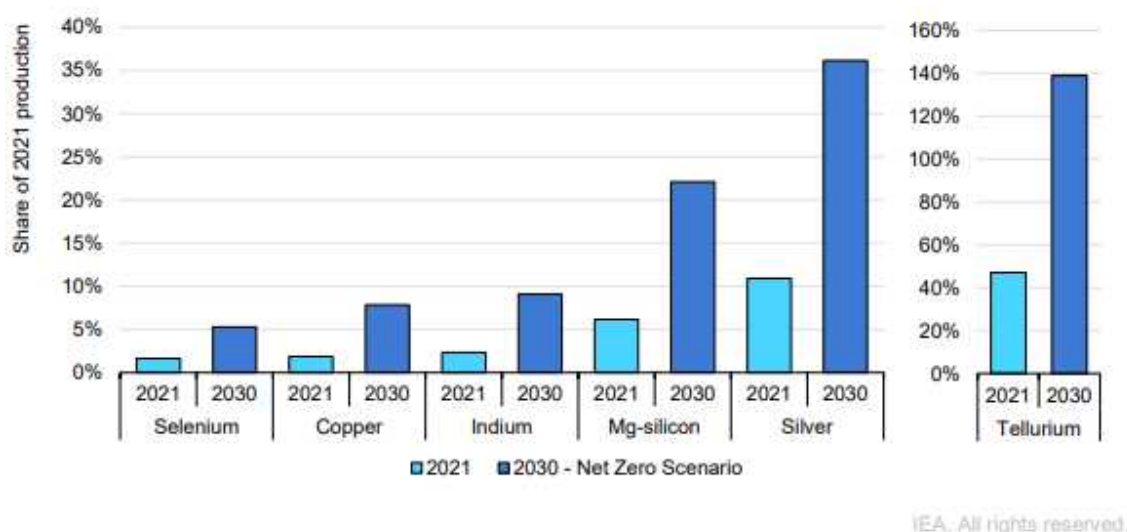


図 16 PV industry demand for selected minerals in 2021 as percentages of global 2021 production, and in 2030 in the IEA Net Zero by 2050 Scenario

出典: Special Report on Solar PV Global Supply Chains (IEA、2022)

<sup>26</sup> Special Report on Solar PV Global Supply Chains (IEA、2022)

<sup>27</sup> Is There Enough Low-Iron Sand for TW PV Growth? (PVSEC-34、Tamal Chowdhury、2023)

## (2) サプライチェーン

1-3 節(2)で述べたように、PV 生産工程の川上から川下まで、中国は 80%以上のシェアを占めている。IEA のレポート<sup>26</sup>では、世界のカーボンニュートラルの実現に向けて、サプライチェーンの集中は脆弱性をもたらし、脱炭素化への課題となると指摘し、サプライチェーンの多様化を提言している。

日本の太陽電池市場では、2012 年の FIT 制度開始以降、海外生産モジュールの国内出荷割合が拡大し、国内生産が急激に縮小する傾向にある(図 17)<sup>28</sup>。現在、日本市場には、中国系企業を中心に、海外生産品が多く出荷されている状況にある。

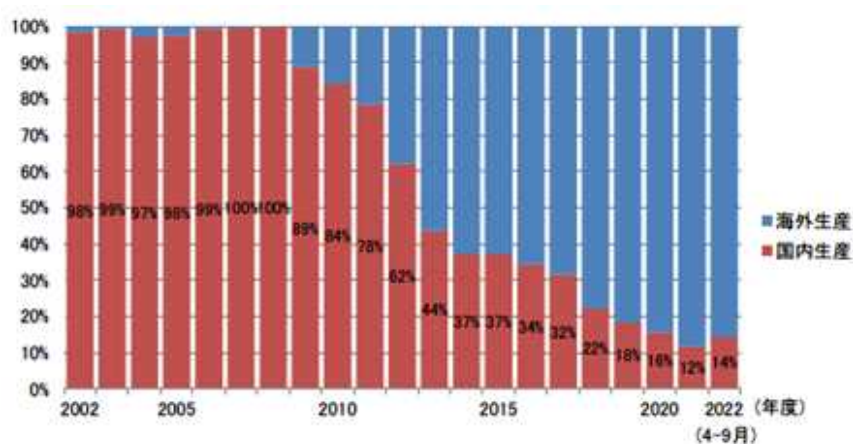


図 17 太陽電池モジュールの国内出荷割合の推移

出典:エネルギー白書(経済産業省、2023)

<sup>28</sup> [https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2023/pdf/whitepaper2023\\_all.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2023/pdf/whitepaper2023_all.pdf)

### (3)適地制約

図 5 に示したように、日本は、他国に比べて、平地の割合が少ないこともあり、PV 設備を設置するための適地不足に直面している、と言える。適地制約の解決には、1 章で述べた次世代型等の高効率 PV を活用し、これまで導入が進まなかった様々な用途へ PV を適用することが必要である(図 18)。主な分野としては以下のようなものがある。

- 建物(壁面など):BIPV(Building-integrated PV)及び BAPV(Building-attached PV)
- 移動体(車載):VIPV(Vehicle-integrated PV)
- 水上
- 農地:営農、Agri-PV

多用途 PV の導入ポテンシャルを勘案し、地域との共生を図りながら、エネルギー基本計画に示された 2030 年の目標(約 110GW)に向けて導入を進めることが必要である。



図 18 PV の多用途化で期待される分野

#### (4) 系統制約

PV等変動型再エネを大量導入すると、日中は電力供給が過剰となる。さらにPVは夜間発電しないことから、朝と夕方には供給量の急激な変化が生じ、需要と供給のギャップが生じやすくなる。このギャップを、PV以外の供給量の調整や地域間の送電等、電力系統全体で吸収する必要がある。図19は、2021～2023年度における各月ごとの出力制御の実施量を示す。これは、電力系統全体で吸収しきれないギャップに相当する供給量を出力制御により制限するもので、低需要期となる春季・秋季で実施されることが多い。2022年度以降、出力制御の実施地域が徐々に拡大し、その量も増加する傾向にある。しかし、出力制御が要請されると、その時間帯の売電収入が減少することになる。また、PVなどインバータを利用した電源が増加すると、慣性力の減少による周波数低下が生じ、送電線故障時に大きな停電事故が発生する可能性がある<sup>29</sup>。現状の電力系統のままでは再エネを大量に受け入れる際の制約になることから、再エネ大量導入によって電源構成が変化した将来において、出力制御の要請や故障時の大規模停電を回避できるようにして系統制約を克服していくことが課題となる。



図 19 各月ごとの出力制御の実施量

出典：再生可能エネルギーの出力制御の抑制に向けた取組等について  
(資源エネルギー庁系統ワーキンググループ 第51回 資料1、2024)

<sup>29</sup> 同期電源の減少に起因する技術的課題（送配電網協議会、2021）

## (5) 社会受容性

これまでの調査<sup>30</sup>によると、PV の設置地域でトラブル報道が増えると、自治体の規制条例の制定数が増加する傾向にある(図 20)。条例の例としては、長野県・白馬村のほぼ全域(村面積の約 9 割)で野立て PV 施設が禁止となっている。2021 年までの約 10 年間で地域トラブル報道は 160 件以上(自然災害、景観、生活環境等)に及んでおり、全国に広がっている。円滑な導入に向けて、設置対象地域の理解を得て社会受容性を向上することが重要になる。



図 20 地域トラブル報道案件数と条例制定数の時系列整理

出典: 太陽光発電の地域トラブルと調和・規制条例、今後の適正な促進に向けて  
(環境エネルギー政策研究所、名古屋大学、2022)

<sup>30</sup> 太陽光発電の地域トラブルと調和・規制条例、今後の適正な促進に向けて  
(環境エネルギー政策研究所、名古屋大学、再生可能エネルギー発電設備の適正な導入及び管理のあり方に関する検討会 第 2 回 資料 2、2022)  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/saisei\\_kano\\_energy/pdf/002\\_02\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/saisei_kano_energy/pdf/002_02_00.pdf)



## 2-2 分析から得られた具体的実現手段の候補

2-1 節では、持続可能な PV の導入拡大に向けた環境整備としてのエコシステムを構築するために解決が必要な課題について述べた。本節では、これらの課題を解決するための実現手段の候補について説明する。

### (1) 省資源・代替技術、リサイクル技術の開発

PV 製造に必要な資源について需給ひっ迫や寡占状態が懸念されているなど、資源制約が課題になっており、その解決のためには、省資源・代替材料、リサイクル技術の開発が重要である。

PV の大量導入に伴い、今後 PV モジュール(パネル)の廃棄物が大量に生じることが懸念される。IRENA(International Renewable Energy Agency)・IEA の予測<sup>31</sup>によれば、世界で 2050 年に累積 6 千万トン以上の廃棄物が生じる見込みである。日本では、FIT 買取期間終了を迎える 2035～2037 年頃に、排出量のピークを迎え、年間 17～28 万トンの廃棄物が生じることが予測されている<sup>32</sup>。

日本国内では、PV モジュールからガラス、アルミ、銅、シリコン、銀を分離する分離・リサイクル技術の開発が進められている(図 21)<sup>33</sup>。リサイクル技術は、処理量の確保、低コスト化技術、省エネルギープロセス技術を開発し、埋立て等、他の廃棄処分と競争力を持つことで、資源制約と廃棄物問題に対する解決手段となる。

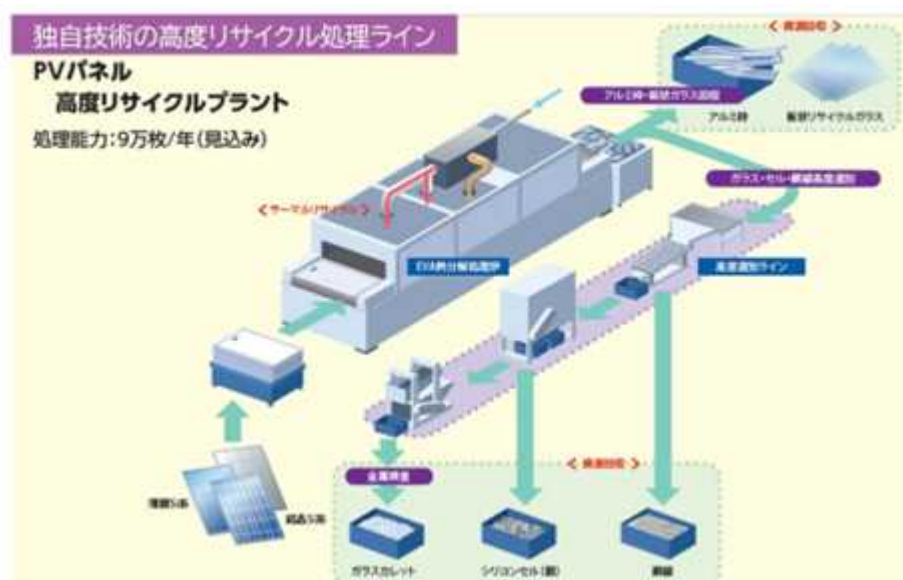


図 21 PV リサイクルプラントの例

出典:新菱ホームページ

<sup>31</sup> End-of-life Management Solar Photovoltaic Panels(IRENA and IEA、2016)

<sup>32</sup> 再生可能エネルギー発電設備の適正な導入及び管理のあり方に関する検討会 第 1 回 資料 3 (経済産業省、2022)

<sup>33</sup> <https://ce3r.shinryo-gr.com/contact/rct.pvr2>

また、Silver Institute の調査によると、PV セル当たりの銀の使用量は、2009 年から 2018 年の 10 年間で 4 分の 1 程度に低下している(図 22)<sup>34</sup>。これは、生産プロセスの改善によって、節約や代替が進んだためであると分析されている。今後も、省資源・代替技術の開発による使用量の低減が期待できる。

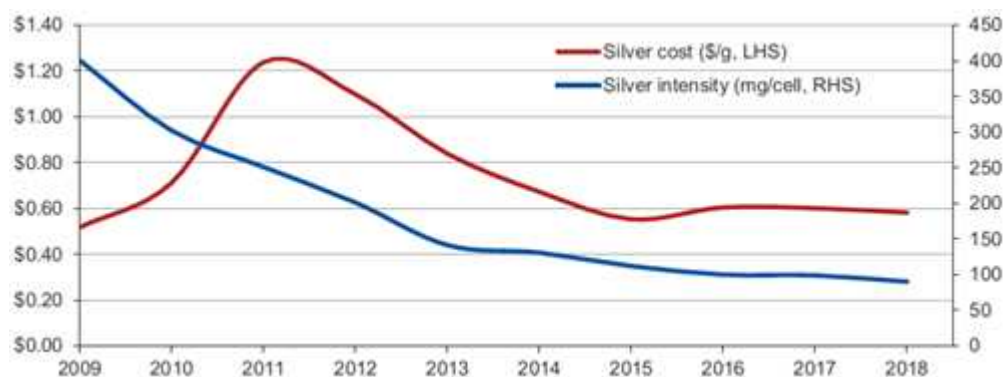


図 22 セル当たりの銀使用量と銀価格の推移

出典: The Role of Silver in the Green Revolution (Silver Institute、2018)

<sup>34</sup> [https://www.silverinstitute.org/wp-content/uploads/2018/07/Role\\_of\\_Silver\\_Green\\_Revolution\\_28Jun2018.pdf](https://www.silverinstitute.org/wp-content/uploads/2018/07/Role_of_Silver_Green_Revolution_28Jun2018.pdf)

## (2) 国内生産体制の構築を含めたサプライチェーンの多様化

オーストラリアの研究機関 CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) のレポート<sup>35</sup>では、同国にはシリコン資源、環境負荷の小さい生産のための再エネのポテンシャル、輸送に必要な港湾設備があり(図 23)、ポリシリコン製造産業を育成するビジョンを示している。日本がオーストラリアのような資源保有国と海外投資等を通じた協力体制を構築することによって、PV 原材料の調達が多様化を進めることができる可能性がある。

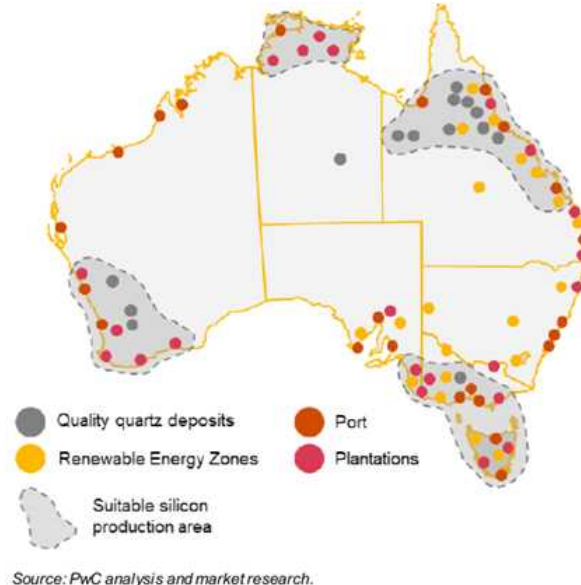


図 23 オーストラリアにおけるシリコン生産のポテンシャル

出典: Australian Silicon Action Plan (CSIRO, 2022)

一方、サプライチェーンの強化に向けて、海外では国内生産強化の動きがある。

McKinsey & Company が分析した欧州内 PV 生産と中国からの輸入とのコスト比較(図 24)<sup>36</sup>によると、中国からの輸送費、生産規模の拡大、カーボンプライス、インセンティブ等を勘案すると、欧州でも中国と同等のコストで結晶シリコン PV を生産できることが報告されている。また、図 25 は、米国における PV 関連の生産能力を示す。米国では、IRA 法でインセンティブを設定した後、現時点では、モジュール中心であるが、自国での工場新設の計画が発表され<sup>37</sup>、サプライチェーン強化を進めている。さらに、インドでは、PLI 制度によって、輸出を視野に入れた PV サプライチェーンの強化を進めている。

<sup>35</sup> Australian Silicon Action Plan (CSIRO, 2022)

<sup>36</sup> Building a competitive solar-PV supply chain in Europe (McKinsey & Company, 2022)

<sup>37</sup> Summer 2023 Solar Industry Update (NREL, 2023)

日本においても、短期的にはインドやオーストラリアのような関係国との連携強化を図りつつ、長期的には欧米のように自国のサプライチェーンの強化を図ることが、特定国への依存を軽減して、サプライチェーンを多様化する有力な実現手段となる。

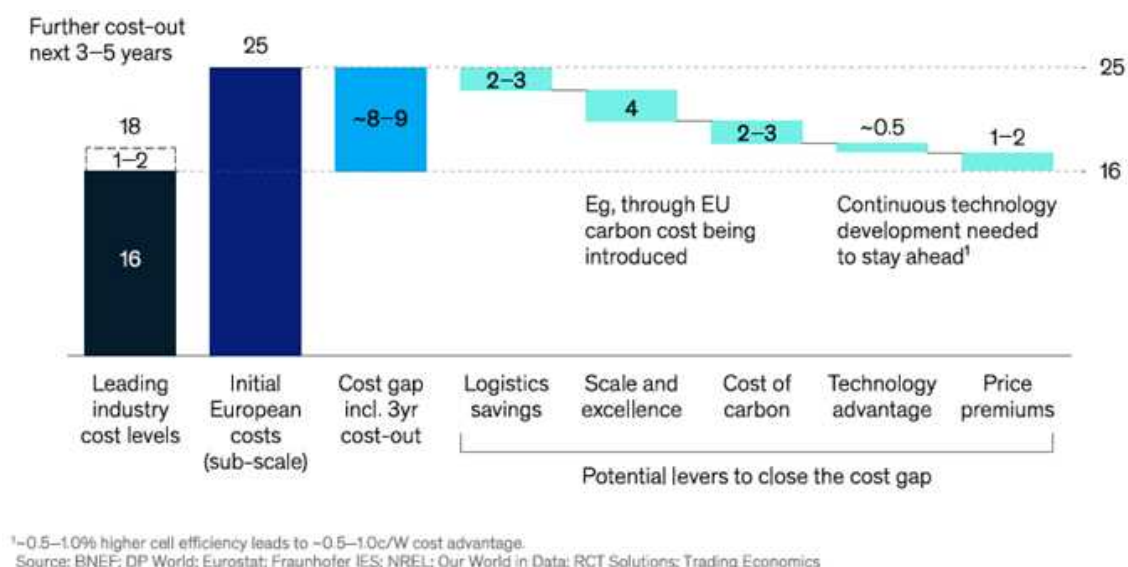


図 24 欧州内 PV 生産と中国からの輸入とのコスト比較

出典: Building a competitive solar-PV supply chain in Europe (McKinsey & Company, 2022)

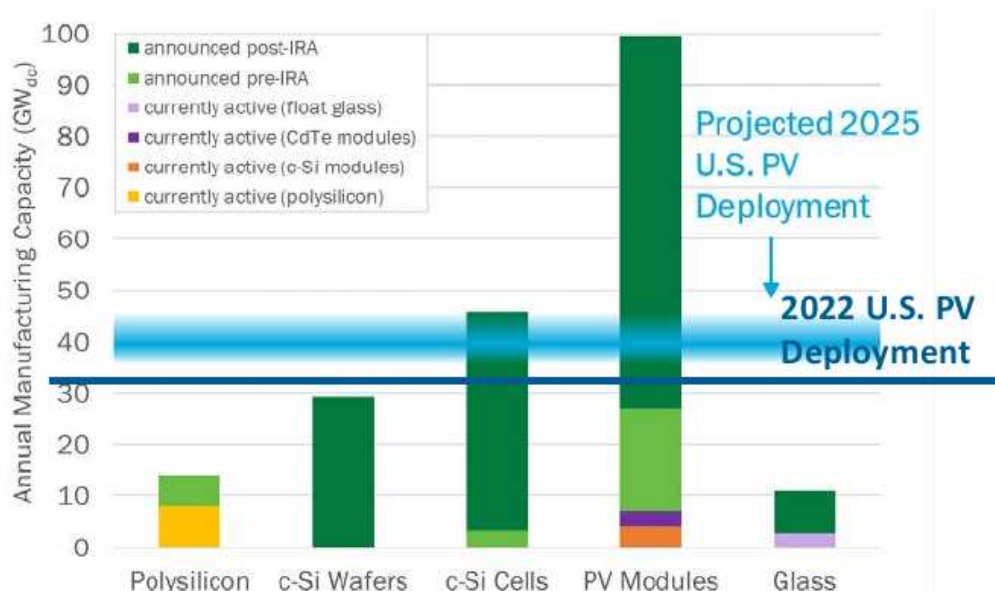


図 25 米国における PV 関連の生産能力

出典: Summer 2023 Solar Industry Update (NREL, 2023)

### (3)PV の多用途化

日本は、他国に比べて平地の割合が少なく、PV の適地の制約がある。これを解決するためには、用途（設置場所）の拡大が有効である。

日本では、軽量、フレキシブル形状といったペロブスカイト PV の強みを生かして、これまで導入が進まなかった多様な用途（耐荷重の小さい産業施設、建物壁面等）への設置に向けた実証試験を実施中・計画中である。

図 26 は、日本におけるペロブスカイト PV 実証試験を示す。これらの実証試験を通じて個別課題を抽出し、信頼性向上や生産コスト低減等の解決を図ることで、世界に先駆けてペロブスカイト PV の社会実装、多用途化が進むと考えられる。さらに、開発されたペロブスカイト PV を生かして、高効率なペロブスカイト／結晶シリコン等タンデム型 PV の開発・社会実装を促進できる。



図 26 日本におけるペロブスカイト PV 実証試験

出典：次世代型太陽電池の早期社会実装に向けた追加的取組について

（資源エネルギー庁 第 6 回 産業構造審議会 グリーンイノベーションプロジェクト部会  
グリーン電力の普及促進等分野ワーキンググループ 資料 3、2023）

PV の多用途化の中で、ポテンシャルが大きい分野の一つが営農型 PV である。営農型 PV とは、農地に支柱を立てて、営農を適切に継続しながら上部空間に、PV を設置することにより、農業と発電を両立する仕組みである。農林水産省の資料によると、営農型 PV を設置するための農地転用許可件数は、令和 3 年度までの累積で、約 4,000 件、約 1,000ha（日本の耕地面積 432 万 ha の 0.02%）である。令和



3年度単独では、851件、148.8haである<sup>38</sup>。営農型PVには、以下のような工学的、農学的、経営的な課題<sup>39</sup>がある。

#### ① 工学的課題

現状では、架台設計が案件ごとのカスタムメイドである。作業性や災害対応を考慮した構造にする必要がある。事前シミュレーション(光・温度・湿度)できる業者を確保する必要がある。

#### ② 農学的課題

農業への影響の不安、これまでの事例の評価ができていないなどの問題があり、農業への影響の評価手法が求められている。

#### ③ 経営的課題

営農者と発電事業者が異なる場合が多く、事業性が不明確であるため、農地転用許可がおりないリスクや金融機関の融資が受けられないリスクがあり、経営モデルの構築や許可の判断基準等が求められる。農地転用許可の更新が10年ごとに必要といった問題もある。

こうした営農型PVの課題に対する解決手段としては、農林水産省の資料<sup>40</sup>を基に検討すると、以下が考えられる。

#### ① 電力の地産地消の進展

営農型PVは、農業用施設での自家消費利用にとどまらず、スマート農機や電動自動車等での利用、地場産業への電力供給に活用することが可能である。これを実現するためには、農山漁村地域にマイクログリッドを構築して営農型PVの電力の地産地消を進めることが有効であり、具体的な解決手段として、農山漁村エネルギーマネジメントシステム(VEMS)の開発が進められている<sup>41</sup>。VEMS開発を通じて、農山漁村地域の電力供給事業モデルの構築による経営的課題の解決に寄与すると期待される。

#### ② 新技術の導入による発電効率・生産性の向上

新たな営農型発電施設(次世代型PVや架台構造等)の開発は、発電効率の向上とともに災害時のレジリエンス強化を図ることができ、工学的課題が解決される。また、農業への影響評価、事例データベース作成等に取り組むことで、農学的課題の解決にも寄与すると考えられる。

<sup>38</sup> 営農型太陽光発電設備設置状況等について(令和3年度末現在)(農林水産省、2023)

<sup>39</sup> 今後の望ましい営農型太陽光発電のあり方を検討する有識者会議 第1回 資料1(農林水産省、2022)及び資源総合システム作成資料からNEDOイノベーション戦略センターがとりまとめた。

<sup>40</sup> 今後の望ましい営農型太陽光発電のあり方を検討する有識者会議 第2回 資料3(農林水産省、2022)

<sup>41</sup> 今後の望ましい営農型太陽光発電のあり方を検討する有識者会議 第1回 資料3(農業・食品産業技術総合研究機構、2022)



### ③ 規格化や大規模化による効率化

営農・発電双方の事業の継続性の担保等に加え、金融・保険の重要性も増しており、農業界、経済界、研究機関等の共通認識の下、効率的な事業モデルの検討を深めることが重要である。事業効率化に向けては規模を大きくすることが有効であり、地域内での同一規格の設備の展開や大規模施設の設置などによって、経営的課題の解決が期待される。

工学的・農学的課題の解決手段である新技術の一つとして、追尾型システムの活用が考えられる<sup>40</sup>。追尾型システムは、PVを設置する用地における単位面積当たりの出力を向上させるため、太陽の動きに合わせて追尾する技術や太陽光を集光する技術等により受光日射量を増加するシステムである。図 27 に、追尾型 PV システムの例を示す。NEDO の試算<sup>42</sup>では、一軸追尾型による年間発電量は、固定架台型と比較して 15%程度の増加となる。時間帯別の累積発電量の分布を見ると、一軸追尾型では朝及び夕方における発電量が増加する予測結果となっている。米国では、一軸追尾型と固定型の導入コスト差は、2020 年には約 11 円 W(0.07 ドル W、1 ドル＝150 円で換算)まで縮小しており、大規模(5MW 以上)システムに占める追尾型(一軸)の割合は年々上昇し、2019 年までの累積導入割合は 65%に達している<sup>42</sup>。一方、農作物の生育の観点からは、追尾型 PV の設置に伴う遮光条件での生育データを把握し、適切な作物を選定することで、より高い生産性を実現することが可能となる。営農型 PV において、追尾型システム等の高効率発電を実現する手段と農作物の生産性を向上する手段を組み合わせることで、PV の多用途化を進めることができると考えられる。

#### 先進的太陽光発電システム(追尾型)

北杜サイトでは、2種類の太陽光追尾型の先進的システムを導入し評価しています。

集光2軸追尾式(3kW)



1軸追尾式(3kW)



#### 【特徴】

- ・太陽の位置を常に追いかけてから太陽光をレンズを使って集め、700倍に高めてから太陽電池パネルで発電。
- ・変換効率は37%超と主流の結晶シリコン系太陽電池の約2倍。
- ・予め太陽の位置をプログラムしてあり、そのプログラムに従って太陽を追尾。5分、1時間、3時間の設定がある。
- ・発電量は主流の結晶シリコン系太陽電池と比べ約15%程度向上。

図 27 追尾型 PV システムの例

出典: <https://www.city.hokuto.yamanashi.jp/docs/1993.html>

<sup>42</sup> 2021 年度調査報告書 太陽光発電の持続可能化技術に関する調査(NEDO、2023)

#### (4) 蓄電池や水素製造等との組合せによるフレキシビリティ確保

PV を大量導入すると、系統への影響が発生するため、蓄電池や水素製造等との組合せによるフレキシビリティ確保が求められる。

IEA のレポート<sup>43</sup>では、変動型再生可能エネルギー導入による系統への影響を分析し、再エネ率が高まる段階に応じて、電力の需給調整のための対策が必要であると述べられている。Phase 4 では、電力需給のフレキシビリティ確保には、蓄電池が必要であり、さらに Phase 5～6 では、水素製造等のような長期間の需給調整の必要性を指摘している(図 28)。

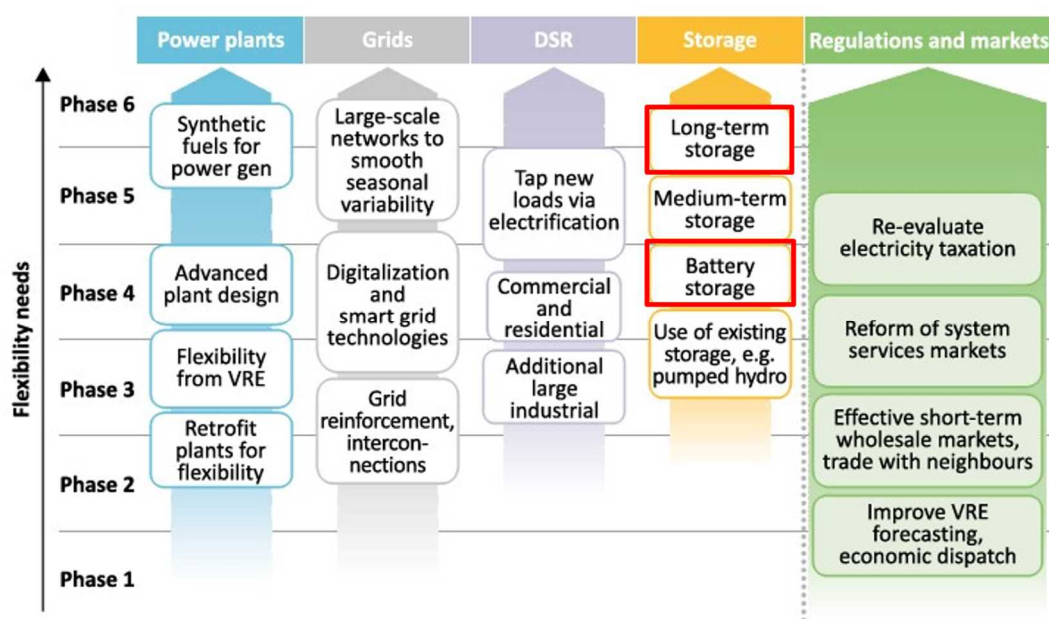


図 28 電力需給フレキシビリティ確保のための手段

出典：World Energy Outlook 2018(IEA、2018)（赤枠は NEDO イノベーション戦略センター加筆、2023）

<sup>43</sup> World Energy Outlook 2018(IEA、2018)

図 29 は、米国 NREL が発表したレポート<sup>44</sup>における電力設備量の推移を示す。本レポートの脱炭素シナリオにおける電源構成で、2050 年に、PV 約 1,000GW(風力発電は約 650GW)に対して、蓄電池約 900GW が必要と予測している。

日本においても系統用蓄電池等が、電力システムの安定化に貢献することが期待されており、導入に向けた制度面での検討が進められている<sup>45</sup>。

それにくわえて、再エネ増加に対する電力系統安定化のため、同期発電機台数の確保、同期調相機、系統増強等のメニューが、電力広域的運営推進機関(OCCTO:Organization for Cross-regional Coordination of Transmission Operators, JAPAN)等で検討されている<sup>46</sup>。このように様々なメニューを組み合わせることでフレキシビリティを確保していくことが重要となる。



Figure 2 - 4. Capacity by technology in 2020, 2035, and 2050 in core scenarios

## 図 29 Solar Futures Study における電力設備容量の推移

出典: Solar Futures Study(NREL、2021)

<sup>44</sup> <https://www.energy.gov/sites/default/files/2021-09/Solar%20Futures%20Study.pdf>

<sup>45</sup> 次世代の分散型電力システムに関する検討会第1回資料7(資源エネルギー庁、2022)

<sup>46</sup> 広域系統長期方針(広域連系系統のマスタープラン)＜別冊(資料編)＞(OCCTO、2023)

#### (5) 地域との共生のための取組の推進

社会受容性の向上のためには、PV による地域課題の解決や市民参加の仕組み作り等地域との共生が不可欠である。

地域と共生した PV 導入には、政策的な取組が有効な手段である。地域と共生した再エネ導入のための事業規律強化等を盛り込んだ『GX 脱炭素電源法』が、2023 年 5 月に成立した。GX 脱炭素電源法では、事業計画や関係法令に違反した場合に FIT/FIP 交付金を留保する措置の導入、周辺地域への事前周知の要件化等が定められた。

太陽光発電協会は、意見表明「地域との共生・共創に基づく太陽光発電の健全な普及を目指して」を発表し、PV 事業の目指すべき姿を示している<sup>47</sup>。目指すべき姿の中では、コミュニケーション不足の解消、立地場所の適切な選定、関係法令順守違反の撲滅、地域経済への貢献、等が挙げられており、発電事業者としての取組が進められている。

さらに、PV の導入によって市民がメリットを享受できれば、理解が深まることが期待できる。NPO 法人上田市民エネルギーが進めている「相乗りくん」は、PV 設備を設置可能な屋根オーナーと PV に参加したい市民をつなぐ事業である<sup>48</sup>。PV の設置費用を市民が出資し、電気代削減及び売電収入により、屋根オーナー、設備オーナーがともにメリットを感じられる仕組みとなっている。

---

<sup>47</sup> 地域との共生・共創に基づく太陽光発電の健全な普及を目指して－太陽光発電協会による意見表明－(太陽光発電協会、2022)

<sup>48</sup> 2023 年度「ソーラーウィーク大賞」講演会プレゼンテーション資料(上田市民エネルギー、2024)

## 2-3 技術開発の方向性

2-1 節及び 2-2 節では、「PV 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」と、その環境整備としての「持続可能な PV の導入拡大に向けたエコシステムの構築」を実現するための課題と手段について論じてきた。

持続可能な PV の導入拡大に向けたエコシステムの構築のための方向性を図 30 に表す。

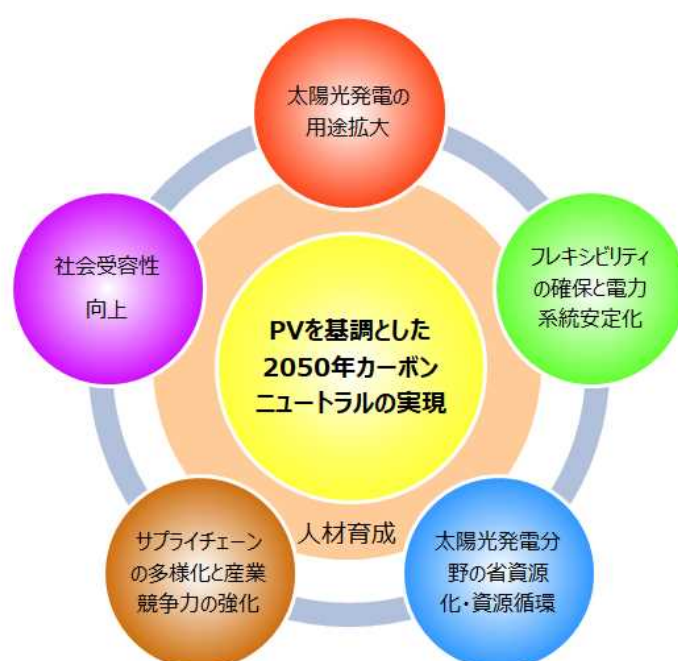


図 30 持続可能な PV の導入拡大に向けたエコシステムの構築のための方向性

各項目について、技術開発及び政策・制度の課題を俯瞰的に、短中期、長期に分けて記す(表 5)。



表 5 持続可能な PV の導入拡大に向けた技術、政策・制度の課題

| 方向性                       |  | 課題                               | 技術開発項目                                                                        |                                                                                           | 政策・制度等                                                        |                                                 |
|---------------------------|--|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
|                           |  |                                  | 短中期                                                                           | 長期                                                                                        | 短中期                                                           | 長期                                              |
| 太陽光発電分野の<br>省資源化・資源循環     |  | リサイクル<br>技術                      | 含有物質の簡易計測技術開発<br>低コスト処理技術<br>再資源化技術（ガラス、バックシート等）<br>リサイクル対応設計、リサイクル材利用技術・用途開発 | 環境性評価法・基準の策定<br>次世代型PVのリサイクル技術<br>情報プラットフォームの整備<br>リサイクル技術国際標準化                           | リサイクル材利用推進<br>ビジネスモデルの構築                                      | リサイクル処理量の確保<br>海外へのリサイクル資源流出抑止                  |
|                           |  | 省資源<br>技術                        | ウェハー・セル薄型化<br>省資源設計<br>代替材料の開発<br>省エネルギー製造プロセス                                | 環境性評価法・基準の策定<br>省資源技術国際標準化                                                                | 重要物資の安定確保                                                     | 重要物資の安定確保                                       |
| 太陽光発電の用途拡大                |  | 次<br>世<br>代<br>型<br>PV<br>開<br>発 | ペロブスカイトPVの<br>開発                                                              | 施工技術・維持管理技術<br>鉛の管理、安全性評価<br>鉛フリーペロブスカイトPVの開発                                             | 導入拡大期での大胆な投資<br>政府による継続的な開発・製造支援<br>日本の強みである高機能性を生かした<br>市場形成 | 国内メーカー間の適切な競争と協調<br>国際競争力向上を目指した<br>国内リソースの集中化  |
|                           |  |                                  | タンデム型PVの<br>開発                                                                | 【トップセル】ボトムセルと同等の耐久性向上<br>安価で高性能なトップセルの開発<br>【ボトムセル】性能の最適化<br>【全体】トップ/ボトムセルの特性を最大限生かすための技術 | 【トップセル】新材料の開拓<br>【全体】性能・信頼性標準試験法開発<br>施工技術・維持管理技術<br>実証試験     | 研究開発支援<br><br>【ボトムセル】安定なサプライチェーンの構築<br>（国内製造含む） |
|                           |  | シ<br>ス<br>テ<br>ム<br>開<br>発       | BIPVの開発                                                                       | コスト低減<br>設計・施工技術、意匠性の向上<br>性能・機能性評価の標準化<br>安全性確保（災害・事故対応）                                 | 性能・機能性評価の国際標準化                                                | 建築業界との連携<br>建築基準法への適合<br>ビジネスモデルの構築             |
|                           |  |                                  | VIPVの開発                                                                       | 軽量性・耐振動性・耐熱性の確立<br>性能・機能性評価の標準化<br>安全性確保                                                  | 性能・機能性評価の国際標準化                                                | 自動車業界との連携<br>市民の認知度の向上<br>市場形成・導入支援             |
|                           |  |                                  | 営農型PVの開発                                                                      | 営農者の安全確保を含む営農に適した架台開発<br>風荷重等信頼性確保、雨だれ・排水対策<br>農作物への影響評価、実績データ収集・共有                       | 農業分野の電化推進<br>VEMS開発・社会実装<br>架台の標準化と地域に適したカスタマイズ               | ビジネスモデル構築・ファイナンス<br>営農者・地域とのコミュニケーション           |
|                           |  |                                  | 水上型PVの開発                                                                      | 水上での発電システムの耐久性<br>フロートシステム開発、アンカリング技術<br>運転状態の監視・保守技術<br>水生生物への影響評価                       | 洋上浮体式PVの開発<br>風力発電との協調                                        | 地域共生                                            |
|                           |  |                                  | 高効率システムの<br>開発                                                                | 一軸追従等システム最適化<br>収益最大化制御                                                                   |                                                               | 導入支援、市場形成                                       |
|                           |  |                                  |                                                                               |                                                                                           |                                                               |                                                 |
| フレキシビリティの確保と<br>電力系統安定化   |  | 蓄電池・水素製造の<br>組み合わせ               | DERフレキシビリティ技術                                                                 | 水素製造の効率向上・耐久性向上                                                                           | 導入支援、市場形成<br>ビジネスモデルの構築                                       |                                                 |
|                           |  | 慣性力減少、<br>周波数低下への対応              | スマートインバータの開発・社会実装                                                             | 同期発電機台数の確保、同期調相機の導入<br>系統増強                                                               | グリッドコードの整備                                                    |                                                 |
| サプライチェーンの多様化<br>と産業競争力の強化 |  |                                  |                                                                               | 低コスト・省エネルギー 製造技術                                                                          | 関係国と連携して<br>新たなサプライチェーンを開拓                                    | グローバルサプライチェーン強化の継続<br>適切な量のPV製品の国内生産            |
| 社会受容性向上<br>人材育成           |  |                                  |                                                                               |                                                                                           | 市民参加のしくみ作り、地域課題解決<br>産学官共同研究等の推進                              | 多用途化に向けた人材育成<br>（据付・施工、運用・保守、リサイクル）             |



表 5 の中の、太陽光発電の用途拡大に向けて、世界的に激しい開発競争が起きている次世代型 PV 開発について詳述する。用途拡大を実現する PV モジュールについては、1-3 節(4)で述べたように、既存のモジュールでは実現不可能な高い性能(高効率、軽量、意匠性、使用環境での長期信頼性)を持った次世代型 PV の開発が求められており、有望なものの一つがペロブスカイト PV である。ペロブスカイト PV の個別課題として米国 DOE・太陽エネルギー技術局(SETO)のレポート<sup>49</sup>では、ペロブスカイト PV が商業的に成功するためには、①安定性と耐久性、②変換効率、③製造技術、④技術の検証と融資適格性の 4 種類の課題を同時に解決していく必要がある、と述べている。

① 安定性と耐久性

劣化がペロブスカイト PV にとって最大のリスクである。米国プロジェクト PACT では、ペロブスカイト PV モジュールの劣化が数十日レベルで生じていることを示唆するデータが公開されている。

② 変換効率

セル・モジュールレベルの大面積での効率向上が重要である。

③ 製造技術

変換効率のバラツキが少なく(95%以上)、十分に高い生産力を実現することが課題である。また、コスト効果の高い成膜プロセスが必要である。

④ 技術の検証と融資適格性

現状のペロブスカイト PV に含まれる鉛が環境に及ぼす影響、PV 寿命終了時には、ペロブスカイト PV に含まれる鉛の管理、健康や安全性の調査が課題であること、また、融資適格性を評価するため、こうした信頼性標準試験法開発が重要である。

技術開発の面で重要な方向性の一つとしては、「長期信頼性」と「高効率」を同時に満たす高性能ペロブスカイト PV 技術を世界に先駆け産官学連携で開発していくことである。その際、ペロブスカイト PV は、様々な材料からなる層で構成されているので、材料メーカー、装置メーカーとの密接な連携により製造技術等の研究成果を早期に社会実装し、量産化していくことが必要であろう。また、ペロブスカイト PV の大量導入に向けて、ロバスタなサプライチェーンの構築、リサイクルや省資源等を念頭に置いて開発する必要がある。そして、ペロブスカイト PV 導入拡大期では、競争力確保のため、製造メーカーによる大胆な投資、政府による継続的な開発・生産・導入支援が不可欠である。

<sup>49</sup> The Path to Perovskite Commercialization: A Perspective from the United States Solar Energy Technologies Office (ACS Energy Letter vol. 7, T.D.Siegler et al., 2022)

ペロブスカイト PV の早期の社会実装のためには、国際的な性能評価規格の策定も重要である。国際標準の策定に向けては、日本も参画して、ラウンドロビンテストの実施など国際連携で進める必要がある。そして、日本が得意な高機能性(軽量、フレキシブル、高耐久性など)に関して評価基準等を策定し、日本の強みを生かした市場形成・ビジネスモデルの構築につなげていくことが重要である。ペロブスカイト PV は、今後大量導入が見込まれ、いずれは資源制約の解消や環境負荷低減が求められることになるので、環境性評価・基準やリサイクルのための標準規格を策定していく必要がある。

他方、日本の限られた平地を有効に活用するためには、結晶シリコン PV が設置されてきた既存の太陽光発電所のリプレースが必要であり、結晶シリコン PV より高効率期待されるタンデム型 PV がその解決手段となる。

一層の高効率化が望めるタンデム型 PV の技術開発の方向性としては、以下が考えられる。トップセルについては、「高効率(20%以上)」、「低コスト」、「長期信頼性(30年)」すべての性能が求められるが、現時点でこれを満たせるトップセルはないため、新材料の開発を含めて研究開発の強化が求められる。ボトムセルについては既存の結晶シリコン、CIGS 等の PV が有力な候補となるが、ボトムセルとして最適な性能・条件を満たすための技術開発が必要となる。さらに、タンデム型 PV は異なる性質のセルを重ねあわせて作製されるため、トップ、ボトムの二つのセルの特性を最大限生かすための技術開発(バンドギャップバランスや接合技術、電極構造等)も重要である。タンデム型 PV では、トップ、ボトムどちらのセルが欠けても安定的な供給が困難となる。リサイクルを前提として、サプライチェーン、省資源技術、代替材料、省エネプロセスを考慮して開発を進める必要がある。

さらに、PV の研究開発だけではなく、幅広い分野の人材が不可欠である。再生可能エネルギー分野、特に洋上風力分野では、事業開発、エンジニア、建設・メンテナンス等広範囲にわたる人材育成の枠組みが整備されつつある<sup>50</sup>。PV の分野でも、研究開発、生産、事業開発、システム開発、O&M、リサイクルなど、持続可能な PV の導入拡大に向けた人材育成が望まれる。

---

<sup>50</sup> 再生可能エネルギーに関する次世代技術について(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 第54回 資料1、2023)

### 3 章 おわりに

気候変動問題の解決が世界共通の課題となっている中で、PV 分野の技術戦略策定に向けて、本レポートでは、「PV 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」という将来像を設定した。そして、各国・地域の政策、市場、技術の観点から、PV を取り巻く状況を分析した上で、持続可能な PV の導入拡大に向けたエコシステムを構築するために解決すべき課題を把握した。解決すべき課題としては、資源制約、サプライチェーン、適地制約、系統制約、社会受容性である。これらの課題を解決してエコシステムを構築するための手段としては、PV 分野の省資源化・資源循環、サプライチェーンの多様化と国内生産体制の構築、PV の多用途化、蓄電池や水素製造等との組合せによるフレキシビリティ確保、地域との共生のため取組の推進に取り組むことが重要である。そして、各項目について、技術開発及び政策・制度の課題を、短中期、長期に分けて提案した。

そして、本レポートでは、多用途化に向けた次世代型 PV の技術開発の方向性を示した。ペロブスカイト PV の社会実装に向けては、「長期信頼性」と「高効率」を同時に満たす高性能ペロブスカイト PV 技術の開発が重要である。その際、材料メーカー、装置メーカーとの密接な連携により製造技術等の開発を進めていくことが必要である。一方、タンデム型 PV については、トップ、ボトムそれぞれの技術開発に加え、タンデム型 PV は異なる性質のセルを重ねあわせて作製されるため二つのセルの特性を最大限生かすための技術開発が重要である。くわえて、持続可能な PV の導入拡大に向けたエコシステムを構築するためには、技術開発はもちろんであるが、政策・制度等を含めた取組とともに、研究開発、生産、事業開発、システム開発、O&M、リサイクル等、幅広い分野の人材育成が望まれる。

持続可能な PV の導入拡大に向けたエコシステムを構築するためには、事業者、大学、研究機関、関係省庁そして NEDO 等関係者の協力が不可欠である。本レポートによって、課題解決に向けた議論が喚起され、将来像の実現に向けた取組が進められることを期待する。

イノベーション戦略センターレポート

# TSC Foresight Vol.121

太陽光発電分野の技術戦略策定に向けて

2024 年 11 月 6 日発行

TSC Foresight Vol.121 太陽光発電分野 作成メンバー

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構  
イノベーション戦略センター(TSC)

■センター長 岸本 喜久雄

■事務局長 植木 健司

■サステナブルエネルギーユニット

・ユニット長 原 重樹

仁木 栄 (2024 年 3 月まで)

・主任研究員 松田 好司

・研究員 福富 広幸

岡田 満利 (2024 年 6 月まで)

熊野 裕介 (2023 年 3 月まで)

・フェロー 矢部 彰 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 名誉リサーチャー

植田 譲 東京理科大学 工学部電気工学科 教授

小山 珠美 株式会社 AIST Solutions エグゼクティブアドバイザー

浦島 邦子 名古屋大学 客員教授

仁木 栄 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 名誉リサーチャー (2024 年 4 月より)

太田 健一郎 国立大学法人横浜国立大学名誉教授 (2024 年 3 月まで)

安井 至 一般財団法人持続性推進機構理事長 (非常勤) (2024 年 3 月まで)

■再生可能エネルギー部

・主任研究員 山崎 光浩 (2024 年 4 月まで)

・主査 鈴木 敦之

金井 浩之

嶋田 聡 (2024 年 3 月まで)

●本書に関する問い合わせ先

電話 044-520-5200 (イノベーション戦略センター)

●本書は以下 URL よりダウンロードできます。

<https://www.nedo.go.jp/library/foresight.html>

本資料はイノベーション戦略センターの解釈によるものです。

掲載されているコンテンツの無断複製、転送、改変、修正、追加などの行為を禁止します。

引用を行う際は、必ず出典を明記願います。