

次世代型太陽電池産業における
サプライチェーンの構築と課題
報告書

令和7年2月

一般財団法人 機械振興協会 経済研究所
委託先:公益財団法人未来工学研究所

目次

1. はじめに	1
2. 調査研究の背景と目的	4
3. 調査の内容	6
4. 調査方法	9
5. 太陽光発電における日本の取組みとペロブスカイト太陽電池の位置付け	11
5.1 電源の化石燃料依存から再生可能エネルギーに舵を切る各国の動向	11
5.2 再生可能エネルギーに対する日本の取組み	14
5.3 日本の太陽電池産業の状況	14
5.4 太陽光発電の導入拡大にあたっての課題	16
6. ペロブスカイト太陽電池の開発動向と量産化の動きについて	18
6.1 ペロブスカイト太陽電池の開発動向	18
6.2 太陽光発電の導入拡大の課題に対応可能なペロブスカイト太陽電池のメリット	26
6.3 最近の国内企業におけるペロブスカイト太陽電池の取組み状況	26
6.3.1. ペロブスカイト太陽電池の実証実験	26
6.3.2. ペロブスカイト太陽電池の量産化、社会実装等	30
6.4 海外企業におけるペロブスカイト太陽電池の研究開発及び量産化の動向	32
6.5 中国における最近のペロブスカイト太陽電池の量産化の動き	33
7. ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンの現状、課題等に関する調査	36
7.1 ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンの現状と課題	36
7.1.1. 原材料	36
7.1.2. 構成材（素部材）生産	41
7.1.3. ペロブスカイト太陽電池生産	47
7.1.4. 応用製品生産	51
7.1.5. 設置・施工	54
7.1.6. 回収・リサイクル	56
7.2 ペロブスカイト太陽電池普及策に関する意見（ヒアリングより）	58
7.3 ペロブスカイト太陽電池生産体制の整備に関する支援や補助金の強化に関する政府への 要望（ヒアリングより）	59
8. ペロブスカイト太陽電池の建築物への設置可能面積の推計に基づく 20GW 以上の需要創出が 可能なシナリオの検討	61
8.1 建築物へのペロブスカイト太陽電池設置可能面積の推計	61
8.1.1. 住宅における設置可能面積の推計	61
8.1.2. 非住宅建築物における設置可能面積の推計	66

8.1.3.	住宅及び非住宅建築物の屋根・屋上への設置可能面積と側壁への設置可能面積をまとめた結果.....	69
8.2	建築物へのペロブスカイト太陽電池設置可能面積から推計した最大発電容量	70
8.3	建築物の設置可能面積から推計した最大発電容量とケース別変換効率の分析	72
8.4	20GW以上の発電量を確保するための需要創出が可能なシナリオ分析.....	75
9.	ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンを構築していくための戦略分析.....	79
9.1	ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーン別のクロス SWOT 分析の構成.....	79
9.2	原材料のサプライチェーン等に関するクロス SWOT 分析.....	79
9.3	構成材生産のサプライチェーン等に関するクロス SWOT 分析.....	83
9.4	ペロブスカイト太陽電池生産に関する SWOT 分析.....	87
10.	ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーン構築・強化並びにペロブスカイト太陽電池の普及・市場確保に必要な支援策の検討.....	92
10.1	ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンの構築・強化に必要な支援策.....	92
10.2	ペロブスカイト太陽電池の普及・市場確保に必要な支援策	93
11.	おわりに	98

1. はじめに

2024年11月28日、経済産業省が、「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」で検討されてきた議論を踏まえて、「次世代型太陽電池戦略¹」を公表した。

当該戦略では、その基本的な考え方として、「サプライチェーンを含めた強靱なエネルギー供給構造の構築や、産業競争力の強化を目指し、まちづくり・地域や社会との共生を図りながらペロブスカイト太陽電池の社会実装を進める。」これを実現するために、「太陽電池産業を巡る過去の反省を踏まえて、官民連携し、世界をリードする『規模』と『スピード』で、時間軸の中で目標を定めながら、ペロブスカイト太陽電池量産技術の確立・生産体制整備・需要創出を三位一体で進める。」ことが示されている。

また、当該戦略では、「産業競争力の強化」、「量産技術の開発・生産体制の整備」、「国内での社会実装・需要創出・海外展開」、「施工方法の確立」、「政策対応）」等の観点から、以下のような考え方が示された。

(以下原文から一部抜粋)

(1) 産業競争力の強化

- ・ サプライチェーンの中で特に重要なもの（主要原材料であるヨウ素の生産・供給、部素材のフィルム、製造装置など）は、国内において強靱な生産体制を確立させ、世界市場に展開していくことを念頭に、世界をリードする「規模」と「スピード」での投資を実現する。
- ・ フィルム型ペロブスカイト太陽電池においては、材料加工・成形、製造プロセスに係るノウハウが競争力を左右する特徴を活かし、特許とブラックボックス化した全体の製造プロセスを最適に組み合わせつつ、サプライチェーン全体で、製造装置を含め技術・人材の両面から、戦略的な知的財産の管理を行う。
- ・ フィルム型ペロブスカイト太陽電池は、低温での製造が可能であり、軽量かつ柔軟で、より自由度の高い設置形態に対応できることから、ライフサイクル全体での付加価値を捉えて競争力の実現を目指す。

(2) 量産技術の開発・生産体制の整備

- ・ グリーンイノベーション（Green Innovation: GI）基金²で掲げる2025年までに20円/kWh、2030年までに14円/kWhが可能となる技術を確立させる。生産体制についても、2030年を待たずにGW級の構築を目指す。将来的に、更なる規模の生産体制を構

¹ 経済産業省「次世代型太陽電池戦略」（2024年11月28日）

² 2050年カーボンニュートラル目標に向けて、令和2年度第3次補正予算において、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（New Energy and Industrial Technology Development Organization: 以下NEDO）に創設された2兆円の基金。

築するとともに、2040年には自立化が可能な発電コスト（10円/kWh～14円/kWh以下）の実現を目指す。

- ・ 既存のシリコン太陽電池のリプレース需要を視野に入れて、社会実装・量産化に向け、GI基金の対象追加を検討し、タンデム型の開発を進める。

(3) 国内での社会実装・需要創出・海外展開

- ・ 一定の投資の予見性を確保し、事業者の生産体制構築を促す観点から、まずは、2025年度から早期に国内市場の立ち上げを進める。2040年には約20GW（大幅なコスト低減等が進んだ場合は、約40GW以上）の導入を目指す。その際、太陽光発電に係る国内市場は海外市場と比して小さいことを踏まえ、当初から海外市場への展開を視野に入れる。
- ・ 需要創出に関して、自治体を含めた公共部門や環境価値を高く評価する企業からの導入を見込みつつ、本戦略の中で定める先行的に導入に取り組む重点分野を踏まえ、安全の確保を図りながら、適切な官民リスク分担の下で、初期市場を効果的に立ち上げていく。
- ・ 政府機関及び地方自治体及び環境価値を重視するRE100³に参加している企業等は、ペロブスカイト太陽電池の導入の推進に主体的な役割を果たしていく。また、保険会社や銀行等においても、ファイナンスの側面からペロブスカイト太陽電池の社会実装を後押しする役割を果たしていく。
- ・ GW級の生産体制の構築時には、広く国内に展開させるとともに、先行して導入が見込まれる国・地域から順次展開し、格的な展開海外市場にも本格的な展開を図る。こうした海外展開が可能となるように、次世代型太陽電池の信頼性評価等に関する国際標準の策定を目指す。

(4) 施工方法の確立

- ・ ペロブスカイト太陽電池の設置について、建築基準法等の関係法令を遵守した上で、2024年度から、GI基金等を通じ、様々な設置形態に関する社会実証を進め、安全性・維持管理性・施工性を考慮した製品の開発及び施工方法の確立を進める。また、施工に関するガイドライン策定についても検討・着手していく。社会実装にあたって設置箇所の検討を行う際には、道路等のインフラ空間の活用も含めた幅広い検討を行う。

³ RE100とは「Renewable Energy 100%」の略称で、事業活動で消費するエネルギーを100%再生可能エネルギーで調達することを目標とする国際的な協働イニシアチブである。RE100には、情報技術から自動車製造までフォーチュン・グローバル500企業を含む多様な分野から企業が参加し、その売上合計は6兆6,000億米ドルを超えている。日本からは、2025年1月現在、89社がRE100に参加している。

(5) 政策面

- ・ 2040 年を目処として、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として、生産・導入拡大及び産業競争力の強化に向け、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。
- ・ 同志国等とも連携した価格以外の要素を適切に評価・反映する仕組みを構築し、将来的な海外展開を見据えて、国際競争力を有した産業へと成長できる環境を整備していく。
- ・ 次世代型太陽電池の設備投資等への支援について、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する。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、支援の加速化と継続化を含め、随時、柔軟に政策のあり方を見直していく。
- ・ 環境省は、ペロブスカイト太陽電池の需要創出に向け、経済産業省と連携して、政府施設における導入目標や自治体を含む需要家向け導入補助事業、適切な廃棄・リサイクルルールの検討を進める。

このように、「次世代型太陽電池戦略」は、これまでにない、非常に大胆なオールジャパン体制による国家エネルギー戦略として位置づけられる。実際、ペロブスカイト太陽電池がエネルギー分野における新興技術として注目されてきた中で、中国がペロブスカイト太陽電池の開発・普及を国家戦略として位置づけ、ペロブスカイト太陽電池の量産化を開始したことがこの背景にある。ただし、ペロブスカイト太陽電池量産化の投資には十分な需要を確保する必要があることから、今後、国内ひいては国外で、ペロブスカイト太陽電池の需要をどこまで確保できるかが極めて重要な問題になってくる。

以上を踏まえ、本調査研究では、ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンの現状、課題等の分析だけではなく、ペロブスカイト太陽電池の需要に関する分析も加えて、ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンを構築していくための戦略を分析した。それらを踏まえ、ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンの構築・強化及びペロブスカイト太陽電池の普及・市場確保に必要な支援策について検討した。

2. 調査研究の背景と目的

我が国は、1973年のオイルショックを契機として、太陽光発電の技術開発を進め、2000年頃には太陽光パネルの世界市場シェアの50%を占めるに至ったが、2005年以降、中国を代表とする海外勢に押され、日本のシェアは直近1%未満に落ち込んでしまった。

これは、我が国の太陽電池産業における事業環境が変化する中、官・民ともに、「生産体制・量産化」、「需要創出」及び「サプライチェーン構築」の面で、十分な「規模」と「スピード」を持って対応することができていなかったことが、主な原因とされている。

このため、我が国は、過去の太陽光電池産業の対応について反省し、今後の対応に活かしていくことが求められている。一方、我が国は、2012年のFIT⁴制度の開始により、太陽光発電の導入量が大幅に拡大し、平地面積当たりの導入量は主要国で最大級になっているが、この導入拡大に伴い、様々な地域との共生上の課題も生じている。

我が国では、2050年のカーボンニュートラルに向けて、2030年度のエネルギーミックスは、原子力発電に加え、再生可能エネルギーの割合を大幅に上昇させる計画⁵になっている。太陽光発電の導入拡大に当たっては、地域との共生が図られた形で、導入拡大を進める必要がある。その際、建材一体型太陽光発電設備（Building Integrated Photovoltaic: 以下 BIPV）の一環として、建築物の側壁、耐荷重性の低い屋根への設置など、次世代型太陽光電池であるペロブスカイト太陽電池の活用が期待されている。

現在、国際的に、ペロブスカイト太陽電池の技術開発競争が激化しているが、日本の技術は世界最高水準に位置している。特に、フィルム型では、製品化のカギとなる大型化や耐久性の面で世界をリードしている状況である。また、主な原材料のヨウ素は、日本は世界第2位の産出量を誇り、原材料を含め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資することも期待されている。

しかし、今後、我が国がペロブスカイト太陽電池において国際的なシェアを確保していくには、早期の社会実装が必要である。我が国としては、過去の教訓を踏まえ、特に、ペロブスカイト太陽電池の生産体制を整備していくことが重要であるが、「サプライチェーンの構築」がその鍵を握っている。実際、次世代太陽光発電電池の国内及び国外市場を獲得するために、2030年までの早期にGW級の量産体制を構築することが求められており、令和6年度予算として、GXサプライチェーン構築支援事業⁶が措置され、国庫債務負担行為を含め、総額4,212億円が割り当てられている。

なお、2022年4月に「使用済み太陽光発電設備の再資源化等に関する法律」が施行され、使用済み太陽光発電設備の再資源化を促進するために、メーカーや販売業者などにリサイクルの義務が課されている。これにより、「サプライチェーンの構築」においては、ペロ

⁴ FIT(Feed in Tariff)：固定価格買取制度

⁵ 経済産業省「第6次エネルギー基本計画の概要」(2021年10月)

⁶ 経済産業省「GX サプライチェーン構築支援事業」Web サイト (<https://gx-supplychain.jp/index.html>)

ブスカイト太陽電池を含む使用済み太陽光発電設備のリサイクル技術とリサイクル体制を確立することが必須になっている。

以上を踏まえ、本調査研究では、ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンの現状について調査し、ペロブスカイト太陽電池の強固なサプライチェーンを構築するための課題を分析・整理することで、ペロブスカイト太陽電池を、国際競争力を持ったリーディング産業に成長させることに資することを目的とする。

3. 調査の内容

本業務では、以下について調査・分析した。

(1) 太陽光発電における日本の取組みとペロブスカイト太陽電池の位置付け

脱炭素に向けた世界の電源構成動向及びこれまでの日本の再生可能エネルギー取組みについて整理し、太陽光発電におけるペロブスカイト太陽電池の位置付けについて説明した。

(2) ペロブスカイト太陽電池の最近の開発動向と量産化の動き

ペロブスカイト太陽電池の最近の開発動向について整理し、国内企業におけるペロブスカイト太陽電池の量産化に向けた取組みの状況、海外におけるペロブスカイト太陽電池の研究開発と量産化の動向、中国におけるペロブスカイト太陽電池の展開の動向等について説明した。

(3) ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンの現状、課題等

図 3-1 に示したペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンのプロセスと流れを踏まえて、ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンの現状、課題等について調査した。

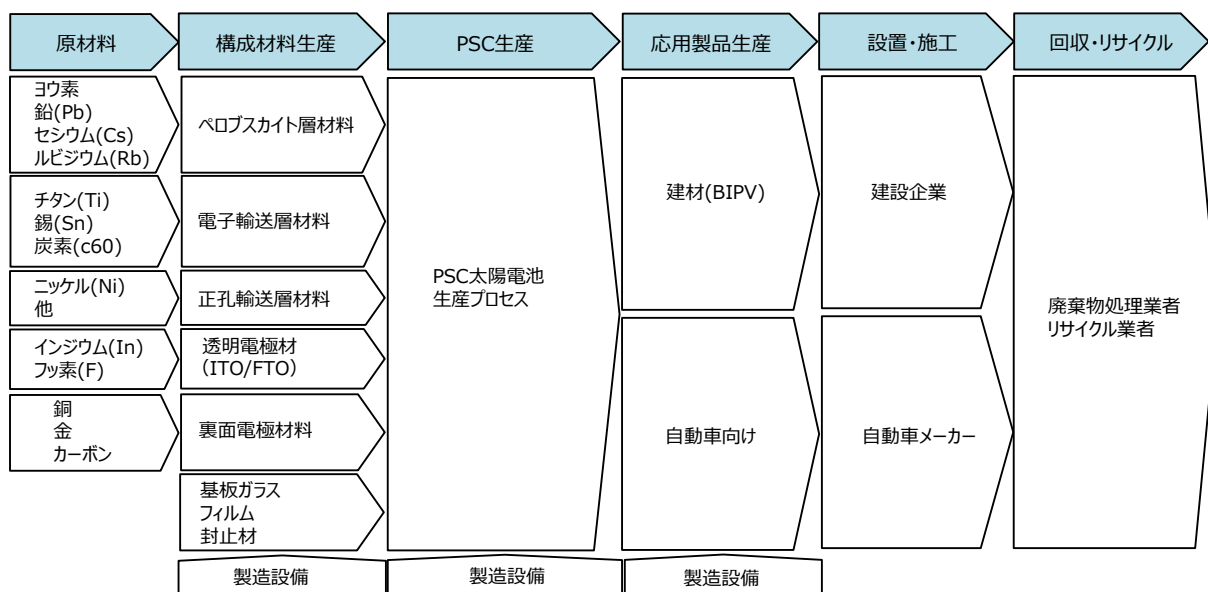


図 3-1 ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンの主なプロセスと流れ

具体的には、文献調査及びヒアリング調査に基づき、ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンを構成する主なプロセス別に、表 3-1 に示した観点から現状と課題について調査・整理した。

表 3-1 ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンを構成する主なプロセスと
現状・課題整理の主な視点

サプライチェーンを構成するプロセス	現状・課題整理の主な視点（例）
原材料	<ul style="list-style-type: none"> ・ ヨウ素の供給力 ・ インジウムの供給力
構成材（素部材）生産	<ul style="list-style-type: none"> ・ 基板（フィルム及びガラス）の生産 ・ 封止材とバリアフィルムの生産 ・ ペロブスカイト層材の生産 ・ 電子・正孔輸送層材の生産 ・ 透明・裏面電極材の生産
ペロブスカイト太陽電池生産	<ul style="list-style-type: none"> ・ ペロブスカイト太陽電池の塗布・成膜技術 ・ ペロブスカイト太陽電池の量産技術 ・ ペロブスカイト太陽電池の生産施設の規模や能力
応用製品生産	<ul style="list-style-type: none"> ・ BIPV 向け製品 ・ 自動車向け製品 ・ その他 IoT 向け製品 等
設置・施工	<ul style="list-style-type: none"> ・ BIPV 向け製品 ・ 自動車向け製品 等
回収・リサイクル	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原料の回収・リサイクル ・ BIPV 向け製品の回収・リサイクル ・ ペロブスカイト太陽電池廃棄コスト 等

また、ヒアリングした企業等からペロブスカイト太陽電池普及策に関する意見やペロブスカイト太陽電池生産体制の整備に関する支援や補助金の強化に関する国への要望も整理した。

(4) ペロブスカイト太陽電池の建築物への設置可能面積の推定に基づく 20GW 以上の需要確保が可能なシナリオの検討

2024 年 11 月 28 日に経済産業省より公表された「次世代太陽電池戦略」の中で、ペロブスカイト太陽電池の導入により、「2040 年には約 20GW（大幅なコスト低減等が進んだ場合は、約 40GW 以上）の導入を目指す」という目標が掲げられている。

これを受けて、ペロブスカイト太陽電池の建築物への設置可能面積の推定を行い、20GW 以上の需要確保が可能なシナリオについて検討した。

(5) ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンを構築していくための戦略分析

上記(1)～(4)の調査結果を踏まえ、クロス SWOT 分析法を用いて、ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンのプロセス別に以下について分析した。

- ・ 内部要因としての日本の強みと弱み
- ・ 外部要因としての「機会」と「脅威」(国際情勢の流動性や経済安全保障の観点を含む)
- ・ 強みを活かして機会を捉える戦略及び弱みを克服して機会を捉える戦略
- ・ 強みを活かして脅威を回避する戦略及び弱みを克服して脅威を回避する戦略

(6) ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーン構築・強化並びにペロブスカイト太陽電池の普及・市場確保に必要な支援策の検討

上記(5)までの結果を踏まえて、ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンの構築・強化並びにペロブスカイト太陽電池の普及・市場確保に必要な支援策について提言した。

4. 調査方法

本調査研究は、文献調査及びヒアリング調査により実施した。

文献調査においては、以下を含めて、ペロブスカイト太陽電池に関する最新の Web 情報、書籍、資料等を収集した。

- ・ 経済産業省「次世代型太陽電池戦略」(2024年11月28日)
- ・ 葭本隆太(著)／宮坂 力(監修)「素材技術で産業化に挑む ペロブスカイト太陽電池」日刊工業新聞社(2024年9月)
- ・ 日本化学会(編)／宮坂 力(著)「ペロブスカイト太陽電池: 光発電の特徴と産業応用(化学の要点シリーズ48)」共立出版(2024年1月)

ヒアリング調査は、ヒアリングを行うことを承諾頂いた企業・団体を対象とした(表4-1参照)。具体的には、ペロブスカイト太陽電池生産、応用製品生産及び設置・施工を中心としたペロブスカイト太陽電池のプロセスに係る企業・団体を対象とした。これらの企業・団体からは、原料から回収・リサイクルにわたるペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンの課題及び国際情勢や経済安全保障等の外部要因に関する見解を含めて、幅広く情報を収集した。

なお、国内では、まだペロブスカイト太陽電池やその応用製品の商品化前の段階であることから、本報告書では、特定非営利活動法人日本住宅性能検査協会及び有機系太陽電池技術研究組合を除き、ヒアリングさせて頂いた企業の名前は明示しないこととした。なお、有機系太陽電池技術研究組合へのヒアリングに関しては、同組合理事の東京大学 瀬川浩司教授のご意見として伺った。

表4-1 ヒアリングした企業・団体とヒアリングの対象としたペロブスカイト太陽電池サプライチェーンのプロセス等

分類	企業・団体等	ペロブスカイト太陽電池の取組みに関する概要	ヒアリングの対象としたペロブスカイト太陽電池サプライチェーンのプロセス等
企業	A社	光電変換の広い技術領域をにらんで事業展開する技術開発ベンチャー。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原材料 ・ 構成材生産 ・ ペロブスカイト太陽電池生産 ・ 回収・リサイクル
企業	B社	ビル用のガラス建材一体型ペロブスカイト太陽電池の開発に取り組んでいる大手企業。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原材料 ・ 構成材生産 ・ ペロブスカイト太陽電池生産 ・ 応用製品生産

分類	企業・団体等	ペロブスカイト太陽電池の取組みに関する概要	ヒアリングの対象としたペロブスカイト太陽電池サプライチェーンのプロセス等
			<ul style="list-style-type: none"> ・ 回収・リサイクル
企業	C社	ペロブスカイト単体型とタンデム型のペロブスカイト太陽電池の開発に取り組んでいる大手企業。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 構成材生産 ・ ペロブスカイト太陽電池生産 ・ 応用製品生産 ・ 設置・施工 ・ 回収・リサイクル
企業	D社	薄板ガラス型のペロブスカイト太陽電池の開発に取り組んでいる大手企業。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原材料 ・ 構成材生産 ・ ペロブスカイト太陽電池生産 ・ 応用製品生産 ・ 回収・リサイクル
企業	E社	建材一体型ペロブスカイト太陽電池の製品化を推進している大手建材メーカー。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 応用製品生産 ・ 設置・施工
団体	特定非営利活動法人 日本住宅性能検査協会	ペロブスカイト太陽電池活用研究会を設立。太陽電池の活用に関するアドバイスやサポートを提供する専門家の資格認定機関。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 設置・施工 ・ 回収・リサイクル
団体	有機系太陽電池技術研究組合 ^(注)	ペロブスカイト太陽電池を含めた有機系太陽電池の事業化を目指している企業をコアとして、各企業が共通に取り組むべき技術課題に対して対処し、開発を加速することを目的とする技術研究組合。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原材料 ・ 構成材生産 ・ 回収・リサイクル ・ その他 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 現在のペロブスカイト太陽電池の技術的進展、課題等 ➢ 政策的課題

(注) 次世代型太陽電池の研究に取り組まれており、有機系太陽電池技術研究組合の理事でおられる、東京大学 瀬川浩司教授のご意見としてヒアリングさせて頂いた。

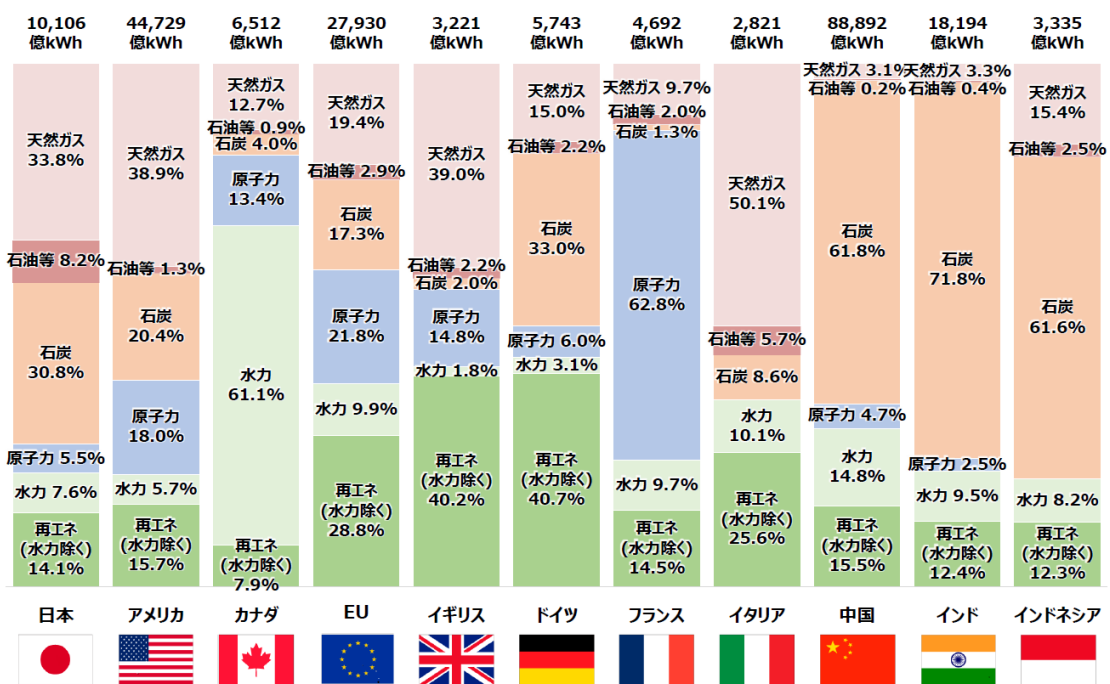
5. 太陽光発電における日本の取組みとペロブスカイト太陽電池の位置付け

本章では、脱炭素に向けた世界の電源構成動向及びこれまでの日本の再生可能エネルギーの取組みを確認し、太陽光発電におけるペロブスカイト太陽電池の位置付けについて述べる。

5.1 電源の化石燃料依存から再生可能エネルギーに舵を切る各国の動向

各国のエネルギー政策は、脱炭素に向けて化石燃料依存から再生可能エネルギーの比率を高める方向へと舵を切っている。

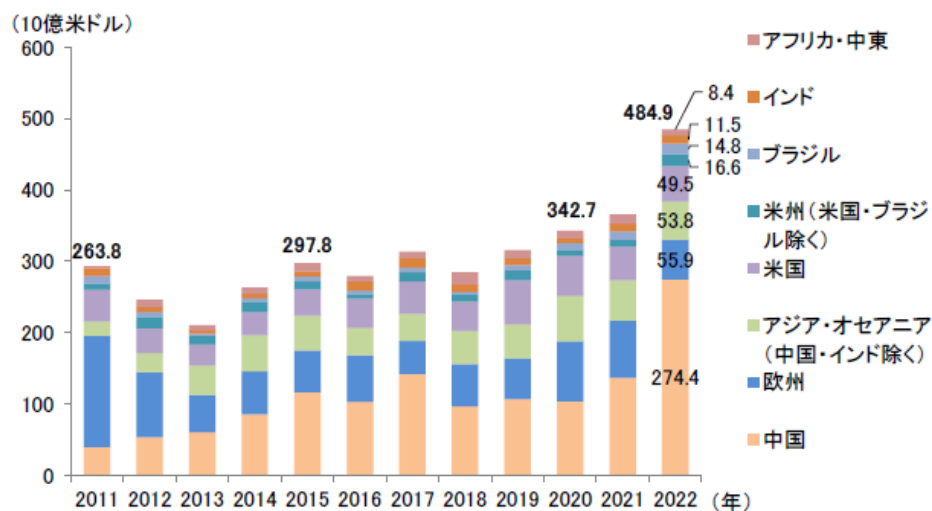
図 5-1 に示したとおり、2022 年時点での電力需要の大きい主要国では、依然、化石燃料が過半を占める電源構成となっているが、長い歴史を持つ水力発電の他、太陽光発電や風力発電、バイオマス発電などの再生可能エネルギーへの投資が増えてきている。主要国の中でも中国の投資が群を抜いて大きい（図 5-2 参照）。



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

図 5-1 各国の電源構成の比較⁷

⁷ 資源エネルギー庁「エネルギーを巡る状況について」（2024年5月）

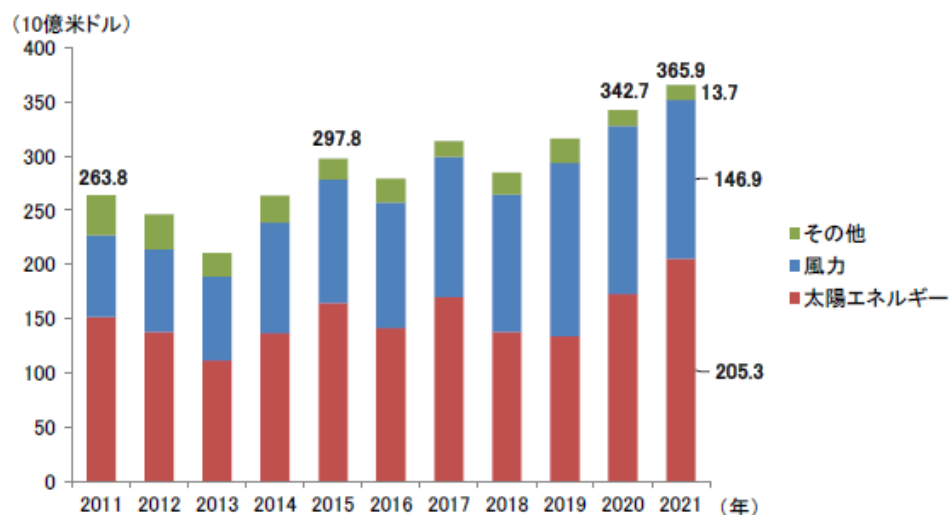


(注)大型水力発電を除く。

資料：REN21「Renewables 2022 Global Status Report」、「Renewables 2023 Global Status Report-Energy Supply Module」を基に作成

図 5-2 再生可能エネルギーへの投資の推移（地域別）⁸

再生可能エネルギーのうち、伸長が著しいのが太陽光と風力である。図 5-3 に示した世界全体の再生可能エネルギーへの投資の推移をみると、90%以上が太陽光と風力へ投資となっていることがわかる。



(注)発電方式別の内訳は、2021年のデータが最新の値。

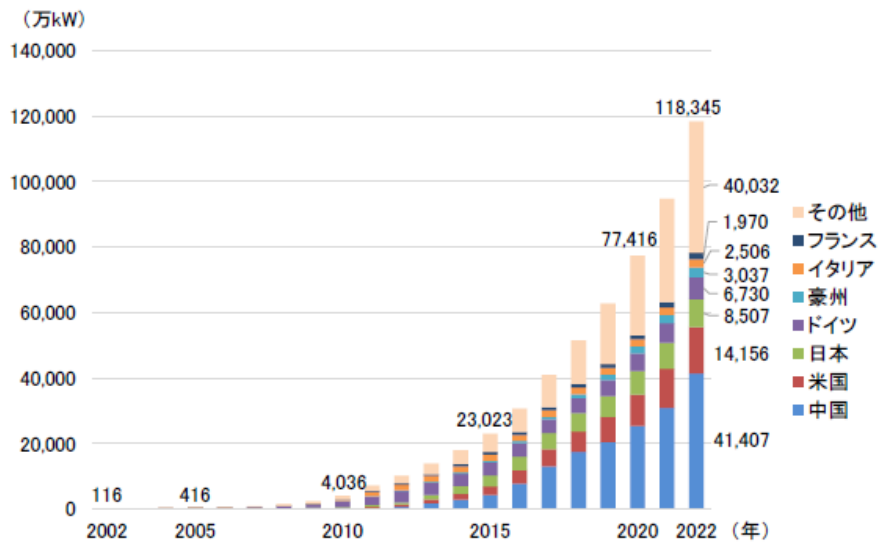
資料：REN21「Renewables 2022 Global Status Report」を基に作成

図 5-3 再生可能エネルギーへの投資の推移（発電方式別）⁹

⁸ 資源エネルギー庁「エネルギー白書 2024」（2024年6月24日）

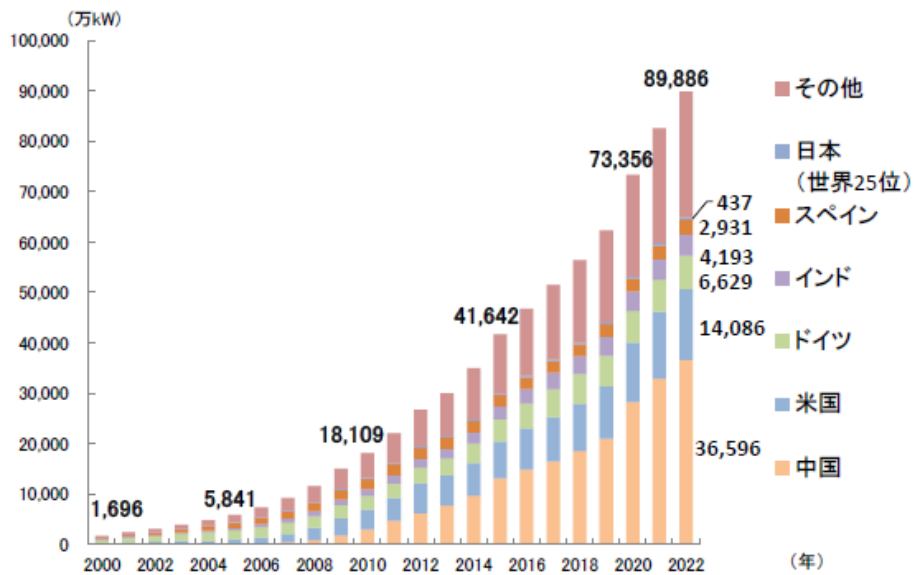
⁹ Ibid.

図 5-4 及び図 5-5 に示したとおり、このような投資により、世界の太陽光発電及び風力発電の導入量は著しく伸長している。とりわけ太陽光発電は、2010 年以降に急激な伸びを示している。



資料：IEA「PVPS TRENDS 2023」を基に作成

図 5-4 世界の太陽光発電の導入量の推移 (国別) ¹⁰



資料：IRENA「Renewable Energy Statistics 2023」を基に作成

図 5-5 世界の風力発電の導入量の推移 (国別) ¹¹

¹⁰ Ibid.

¹¹ Ibid.

5.2 再生可能エネルギーに対する日本の取組み

表 5-1 に、2024 年 6 月に資源エネルギー庁より報告されている日本の再生可能エネルギーの導入状況を示す。

表 5-1 再生可能エネルギーの導入状況¹²

	2011年度	2022年度	2030年ミックス
再エネの 電源構成比 発電電力量: 億kWh	10.4% (1,131億kWh)	21.7% (2,189億kWh)	36-38% (3,360~3,530億kWh)
太陽光	0.4%	9.2%	14-16%程度
	48億kWh	926億kWh	1,290~1,460億kWh
風力	0.4%	0.9%	5%程度
	47億kWh	93億kWh	510億kWh
水力	7.8%	7.6%	11%程度
	849億kWh	768億kWh	980億kWh
地熱	0.2%	0.3%	1%程度
	27億kWh	30億kWh	110億kWh
バイオマス	1.5%	3.7%	5%程度
	159億kWh	372億kWh	470億kWh

※2022年度数値は令和4年度(2022年度)エネルギー需給実績(確報)より引用

2022年度の時点で最も大きい比率を占めるのが太陽光であり、2030年に向けた計画でも、全体の電源構成比の中で14~16%となる目標値が示されている。日本は太陽光発電について1974年のサンシャイン計画(この時は太陽熱発電)をはじめ、比較的早くから取り組んでおり、シリコン系太陽電池の開発が進んだ1994年に住宅用太陽光発電向けの補助金が導入された。その後、2009年に自家用太陽光発電の余剰電力買取制度が開始され、太陽光発電の導入を促進する政策が採られた¹³。

5.3 日本の太陽電池産業の状況

日本のシリコン系太陽電池産業は、当時の政府の補助金政策の追い風もあり、1990年代後半から成長し、日本のシェアは2000年代半ばまで50%近くを占めるようになった。しかし、2005年以降、中国が急速にシリコン系太陽電池の生産を拡大し、2010年頃にはトップシェアとなり、現在では世界のシリコン系太陽電池の80%以上のシェアを占めるようになった(図5-6参照)。この背景には、中国政府の積極的な再生可能エネルギー導入政策がある¹⁴。

¹² 資源エネルギー庁「再生可能エネルギーの導入状況」(2024年6月13日)

¹³ 経済産業省「次世代太陽電池戦略」(2024年11月28日)

¹⁴ NEDO「第13次5カ年計画期間の中国の再生可能エネルギーの政策と状況」(2020年4月)

中国は、シリコン系太陽電池生産の急速な規模拡大を推進してコスト競争力を高めた結果、中国国内の需要を取り込むだけでなく、海外への輸出も増加することとなった（図 5-7 参照）。中国のシリコン系太陽電池生産の規模拡大及び海外への輸出攻勢を受けて、コスト競争力に劣る日本の太陽光パネルの国産シェアが低下し続けている（図 5-8 参照）。

ドイツや米国でも、国産の太陽光パネルのシェアの低下が続いており、2014 年以降、シリコン系太陽電池では中国メーカーの寡占状態が続いている状況となっている。

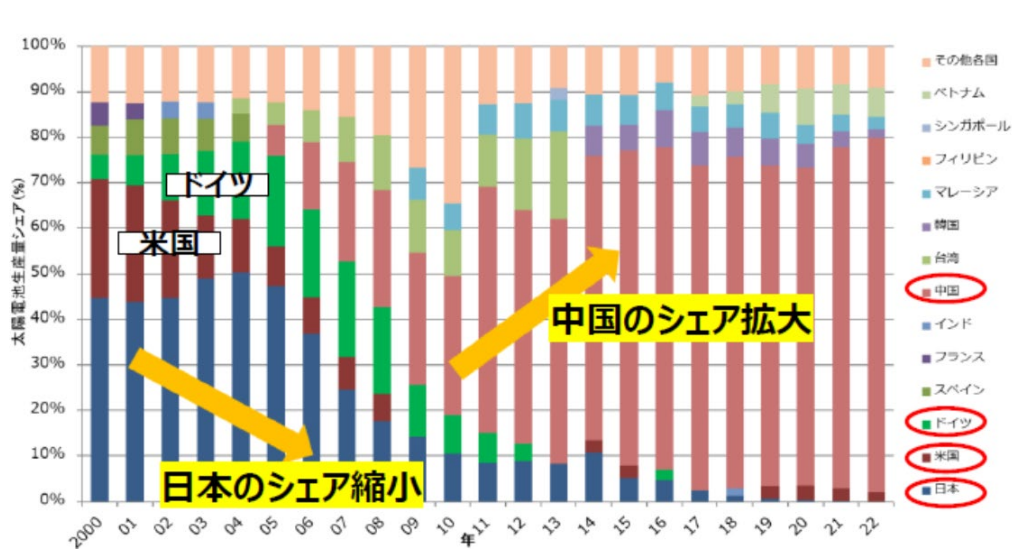


図 5-6 太陽光パネルの国際シェアの動向¹⁵

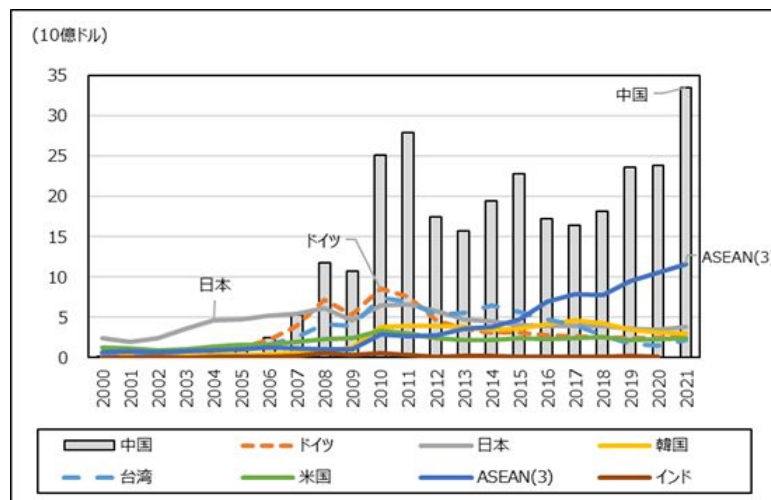


図 5-7 主要国の太陽光パネル・セル輸出の推移¹⁶

¹⁵ 経済産業省「次世代太陽電池戦略」（2024 年 11 月 28 日）

¹⁶ 国際貿易投資研究所（ITI）「中国が席捲する太陽光パネル貿易」（2022 年 12 月 23 日）
<https://iti.or.jp/flash/516>

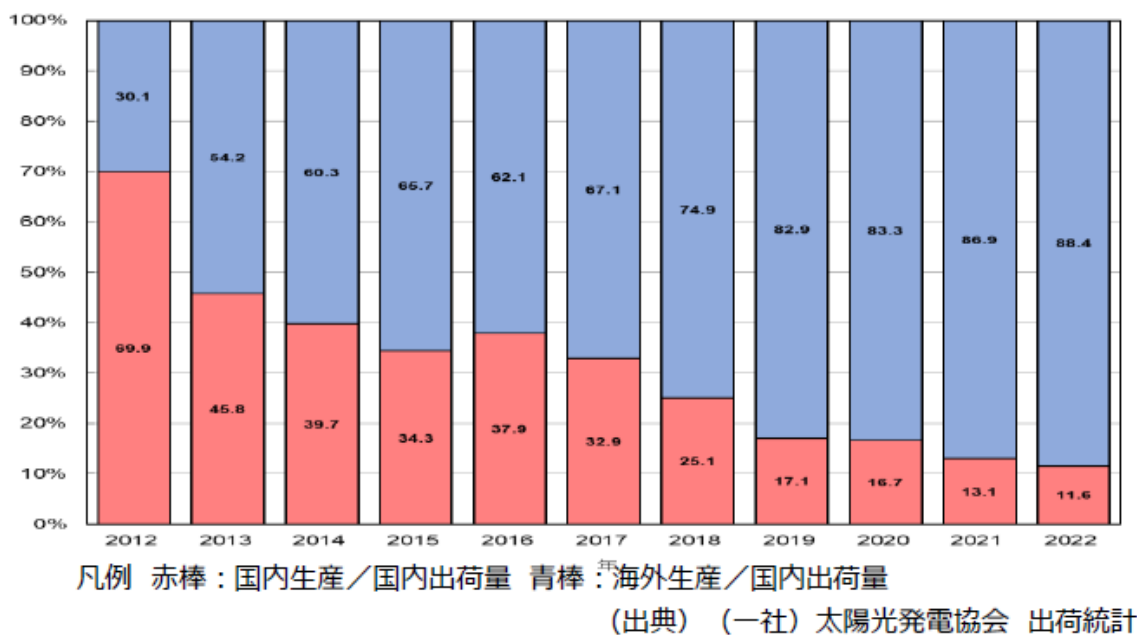


図 5-8 太陽光パネルの国内シェアの動向¹⁷

5.4 太陽光発電の導入拡大にあたっての課題

表 5-1 に示したように、今後も太陽光発電の導入拡大が見込まれており、2030 年には 2022 年度から約 1.5 倍の規模に達する計画である。一方で、いくつかの課題も表面化している。

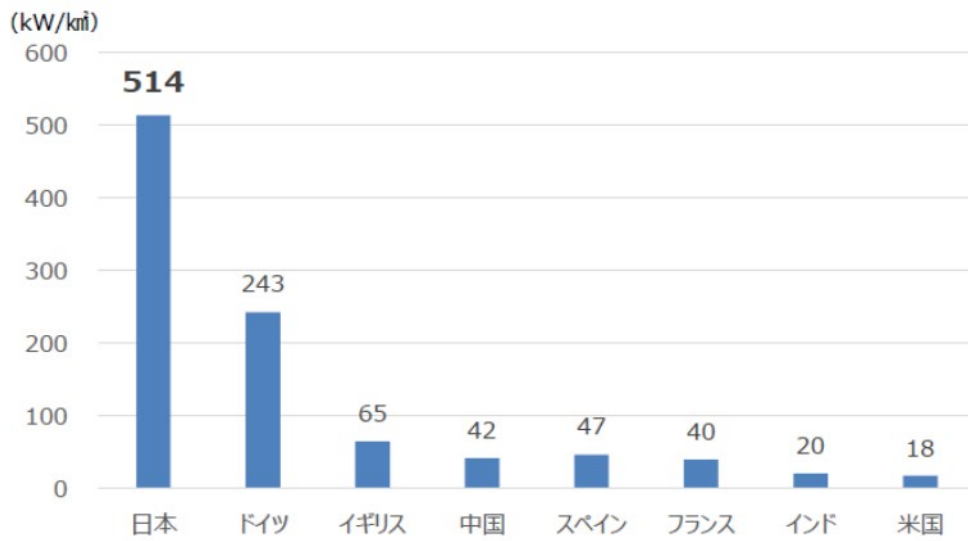
第一に、シリコン系太陽電池の 90% 近くを海外からの輸入に頼っており、有事の際など政治情勢によっては安定供給に不安が残る。経済安全保障の観点からも、競争力のあるコストで国内生産を増やすことが望ましい。

第二に、日本は国土に占める平地の比率が低いため、既に平地面積あたり太陽光設備容量では主要国の中では最大となっており（図 5-9 参照）、今後、太陽光発電設備の設置可能な平地を確保することが一層困難になると考えられる。

また、傾斜地への設置は土砂崩れなどの災害に巻き込まれるリスクへの対策、また景観を乱す設置の制限などの地域の共生上の課題も報告されている（図 5-10 参照）。

今後は、導入拡大策に加えて、これらの課題を克服していく方法を見出していく必要がある。

¹⁷ 経済産業省「次世代太陽電池戦略」（2024 年 11 月 28 日）



(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 2022、IEAデータベース、2021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の。

図 5-9 平地面積あたりの太陽光設備容量¹⁸

土砂崩れで生じた崩落



景観を乱すパネルの設置



図 5-10 太陽光発電設備の導入により生じている地域共生上の課題¹⁹

¹⁸ Ibid.

¹⁹ Ibid.

6. ペロブスカイト太陽電池の開発動向と量産化の動きについて

本章では、ペロブスカイト太陽電池の開発動向を確認し、国内企業における最近のペロブスカイト太陽電池に関する取組みの状況及び中国のペロブスカイト太陽電池の量産化の動きについて説明する。

6.1 ペロブスカイト太陽電池の開発動向

(1) 次世代太陽電池として期待されるペロブスカイト太陽電池

太陽電池は現在、主流のシリコン系が市場の95%を占めるが、シリコン系以外に様々なタイプの太陽電池が開発されている。とりわけ次世代太陽電池として期待されているのが、日本発の技術であるペロブスカイト太陽電池である。

ペロブスカイト太陽電池は、2009年に初めて開発されて以来、徐々に発電効率を上げ続け、2024年11月現在、26.7%を達成するに至っている（図6-1参照）。

ペロブスカイト結晶構造 (一般式: ABX_3)

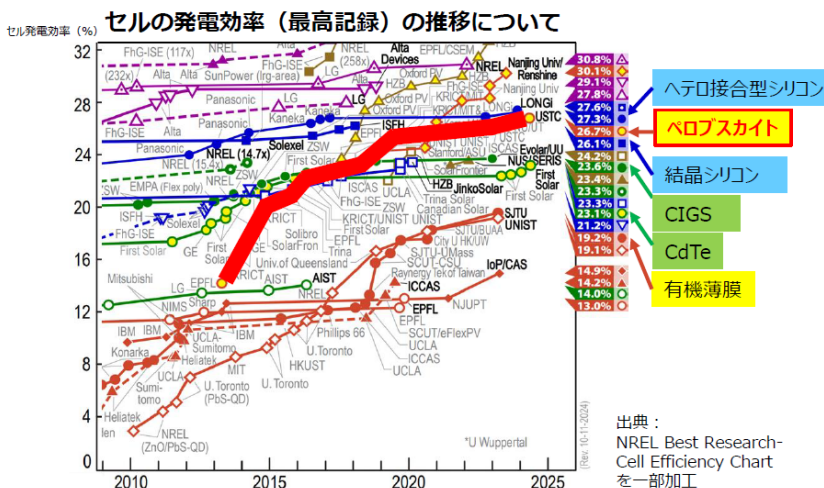
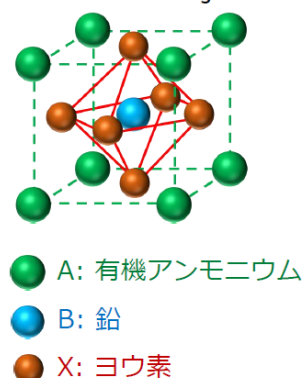


図6-1 ペロブスカイト結晶構造とセル発電効率の推移²⁰

(2) ペロブスカイト太陽電池の構造

ペロブスカイト太陽電池は、電子輸送層と正孔輸送層が発電層であるペロブスカイト層を挟み、それぞれの層に隣接する電極から電流を取り出す構造をしている。

ペロブスカイト層に対して電荷輸送層として機能する、電子輸送層と正孔輸送層の配置の違いにより、いくつかの型に分けられる。色素増感太陽電池から発展して作られた標準的な型が順構造のメソポーラス型であるが、メソポーラス型は、ペロブスカイト層にメソポーラス金属酸化物 (TiO_2 、 SnO_2 など) が含まれ、透明導電膜側に電子を流し、裏面電極側に正孔を流す構造をしている。

²⁰ Ibid.

一方、プレーナー型は、メソポーラス型と同じ順構造をしているが、ペロブスカイト層にはメソポーラス金属酸化物が含まれない。プレーナー型でも透明導電膜側に正孔輸送層、裏面電極側に電子輸送層を配置した逆構造の型は、有機薄膜太陽電池（Organic Photovoltaics: OPV: 以下 OPV）から発展しており、プレーナー（OPV）型と呼ばれている（図 6-2 参照）。

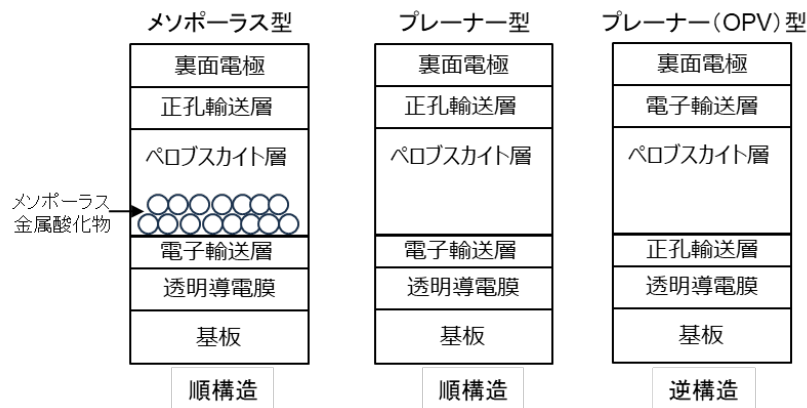


図 6-2 ペロブスカイト太陽電池の主な構造²¹

正孔輸送層・ペロブスカイト層・電子輸送層を合わせた膜厚は、 $1\mu\text{m}$ 以下と非常に薄い。透明な基板（ガラスまたはフィルム）側から太陽光が入射するため、基板上に透明電極を形成している（図 6-3 参照）。

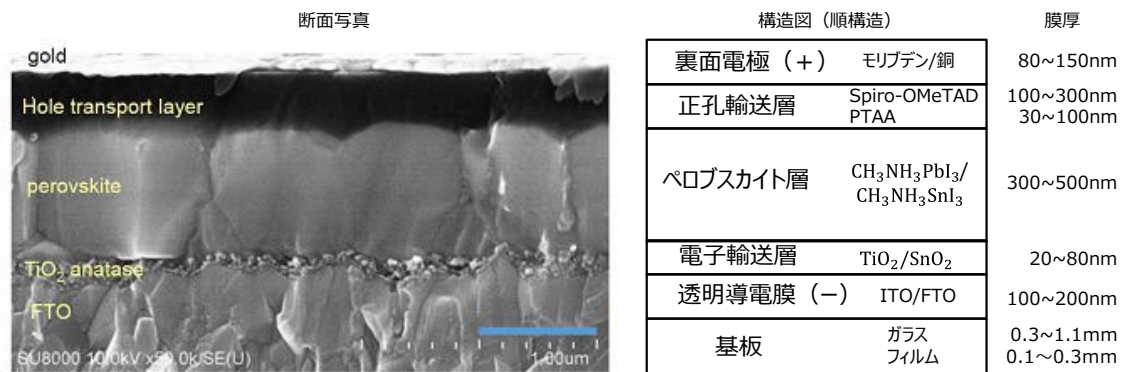


図 6-3 ペロブスカイト太陽電池の断面写真²²と構造図²³

²¹ 各種文献より未来工学研究所作成。

²² 出所：科学技術振興機構「ペロブスカイト太陽電池の開発」（2017 年）

<<https://www.jst.go.jp/seika/bt107-108.html>>

²³ 資源エネルギー庁「ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンについて」（2024 年 8 月）を元に筆者作成。基板のガラスの厚みは資料の 0.5mm から 0.3mm に修正した。0.3mm の薄板ガラスはアイシンが同程度の薄板ガラスを基板に使用しているためである。

(3) ペロブスカイト太陽電池の特徴

表 6-1 に、各種太陽電池の特徴に関する比較を示す。

ペロブスカイト太陽電池は、シリコン系太陽電池と比較して、軽量性、柔軟性及び透過性に優れる特長がある反面、水分に弱く耐久性に課題がある。

表 6-1 各種太陽電池の特徴²⁴

	ペロブスカイト	有機薄膜	結晶シリコン	化合物 (CIGS)
変換効率 (セル)	~27%	~19%	~27%	~24%
コスト	○→◎	◎	◎	○
耐久性	△→○	○	◎	◎
軽量性	◎	◎	△	○
柔軟性	◎	◎	×	△
透過性	◎	◎	△	△

(4) ペロブスカイト太陽電池の種類とそれぞれの特徴

基板の素材に基づいたペロブスカイト太陽電池の種類には、①フィルム型、②ガラス型、③タンデム型の3種類が存在する (図 6-4 参照)。

以下に、それぞれの特徴を述べる。

① フィルム型

軽量で柔らかく曲げやすいため、屋根の設置工事が比較的簡単 (補強工事不要) に済み、側壁や湾曲部分への設置も可能である。また、Roll to Roll (R2R) の製造方式を取りやすい。一方、耐久性の確保に課題が残されている。国内企業では、積水化学、東芝、エネコートなどがフィルム型の開発に取り組んでいる。

② ガラス型

建材一体型 (BIPV) への応用が主な用途である。折り畳みスマートフォンに使われているレベルの薄板ガラスを用いれば、軽量性と柔軟性をフィルム型に近づけることができる。ガラスは耐水性が高いため、フィルム型に比べると耐久性を確保しやすい。国内企業では、パナソニックやカネカが建材用ガラスを使用して BIPV 向けを狙い、アイシンが車載向けにも適用できるように薄板ガラスを用いて開発を進めている。

²⁴ (国研) 産業技術総合研究所「ペロブスカイト太陽電池の研究開発動向」(2019年) (「NREL Best Research-Cell Efficiency Chart」より未来工学研究所作成)。

③ タンデム型

シリコン系太陽電池を基盤として、その上にペロブスカイト太陽電池を積層した構造をしている。軽量性や柔軟性はないが、シリコン系太陽電池の長所を活かすことにより、吸収波長領域が広くなり、発電効率が高くなる。但し、現時点ではペロブスカイト太陽電池の耐久性がシリコン系太陽電池より短いため、製品寿命はペロブスカイト太陽電池の寿命によって決まる。

国内企業では、以前からシリコン太陽電池を手掛けていたカネカが開発を進めている。



図 6-4 ペロブスカイト太陽電池の種類²⁵

(5) ペロブスカイト太陽電池の実用化に向けた耐久性の課題

ペロブスカイト太陽電池の実用化には、耐久性の確保が不可欠である。既に実用化されているシリコン系太陽電池は20年以上の耐久性があり、ペロブスカイト太陽電池にも同等の耐久性能が期待されている。そのためには様々な項目に対する信頼性を確保していく必要がある。

以下、耐久性に深く関係する耐熱性、耐光性、耐湿性の3つの課題についての状況を説明する。

① 耐熱性の課題

地球温暖化の影響もあり、最近では日本でも、夏場の気温が度々40°C近くに上昇するようになった。ペロブスカイト太陽電池を建築物の屋根や側壁に設置する場合、外壁の蓄熱や太陽電池自身の蓄熱効果で内部温度は更に上昇すると考えられるため、耐熱性の向上は重要な課題の一つとなっている。

ペロブスカイト太陽電池の熱による劣化要因は、有機材料固有の課題にあるとされている。松下ら²⁶によると、85°Cの高温試験の結果から劣化の起こり方は、正孔輸送層の添加

²⁵ 経済産業省「次世代太陽電池戦略」(2024年11月28日)

²⁶ 松下・松井・根上「ペロブスカイト太陽電池実用化へ向けた課題と取り組み」Journal of Japan Solar Energy Society (太陽エネルギー), Vol. 45, No.1 (2019年)

物拡散に起因するものと、ペロブスカイト材料自体の分解や相変化に起因するものの2つがあるとしている。前者への対策では正孔輸送層の材料を添加物量が少なくても動作する別の材料に変更すること、後者への対策では熱に対し構造的に安定なペロブスカイト材料に変更することにより、劣化を抑制できたとしている。

最近の NEDO の成果報告²⁷でも、耐熱性に対する目標値はほぼ達成しているようである。今後も材料の組成やセル構造の最適化を進めることで、高耐久性と高効率化を実現することが期待される。

② 耐光性の課題

ペロブスカイトの結晶組成によっては、光が刺激となって結晶に変化が起こる。図 6-1 にあるペロブスカイト結晶構造の一般式 ABX_3 の X をハロゲン系元素のヨウ素(I)と臭素(Br)の混合組成とする理由は、変換効率を向上させるためである。これらの元素のモル比が同等程度かそれに近い範囲にある場合、強い光を照射すると分相と呼ばれる結晶構造の変化が起こり、性能劣化の要因となる。分相を減らす対応策として、構造修飾（パッシベーション）と呼ばれる添加剤等を使って粒界に存在する欠陥を不活性化する方法や臭素比率を低くする方法がある²⁸。

光による劣化メカニズムは、ペロブスカイト材料自体に起因するだけでなく、太陽電池セルを構成する各層の界面反応に起因することが知られている²⁹。この場合、界面反応を抑制する材料や構造等の開発が必要になる。

この他、耐光性を向上させる方法として、光の中でも影響が大きい紫外線（UV）をカットするフィルムを光が照射する基板の表面に貼る方法がある。このように、ペロブスカイト太陽電池の耐光性の向上について様々な技術開発が進められている。

③ 耐湿性の課題

ペロブスカイト太陽電池の耐久性に大きな影響を与えるのは水分である。ハロゲン系元素を含むペロブスカイトのイオン結晶は親水性を持つため、水分を吸収すると結晶が分解してしまう。耐湿性確保の対策として、疎水性をもつ有機材料の層で界面を保護することによって耐湿性を向上させるといった化学的方法がある³⁰。しかし、実用化できるまでの耐湿性を確保するには、セルやモジュール全体を封止して水分の浸透を防ぐ必要があるとされている。封止にはガスバリア材料が使われる。

²⁷ NEDO 「2024 年度 NEDO 再生可能エネルギー部成果報告会プログラム No.6 “次世代型太陽電池の開発 / 次世代型太陽電池実用化事業 / 超軽量太陽電池 R2R 製造技術開発”」（2024 年 12 月 17 日）

²⁸ 宮坂力「ペロブスカイト太陽電池」日本化学会（2024 年）を参照。

²⁹ 高輝度光科学研究センター（JASRI）「ペロブスカイト太陽電池の光劣化メカニズムの解析」（2021 年 6 月 2 日）<<https://www.jasri.jp/business/gijutsusienn/Industrial/in039.html>>

³⁰ 『宮坂力「ペロブスカイト太陽電池」日本化学会（2024 年）』を参照。

ここで課題となるのが、フィルム型に対する耐湿性の向上である。基板にガラスを使った場合、ガラス自体は水分を通さないが、フィルム型で使われる PET などの樹脂材料は吸水性がある。そのため、フィルム基板を水蒸気の透過を防ぐバリアフィルムで被覆する必要がある。しかし、バリアフィルムの性能を上げるとコストも上昇するため、化学的方法と組み合わせて費用対効果が高くなる最適化が求められる。もちろん、ペロブスカイト太陽電池が本格的に量産されればバリアフィルムも量産効果でコストが下がることも期待される。

以上のように耐久性の向上には、各種材料の改良や封止の方法など、様々な対策が必要である。現在、公表されているフィルム型の耐久性は 10 年相当³¹であるが、これをシリコン系太陽電池と同等の 20 年に引き上げるための技術開発が続けられている。

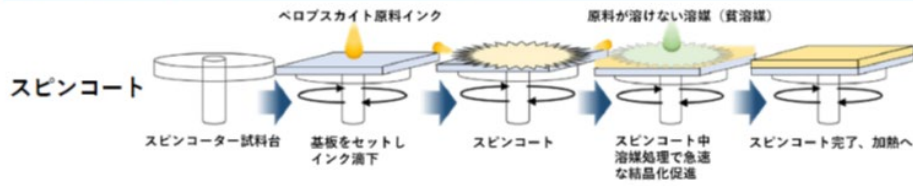
(6) 量産化に向けたペロブスカイト太陽電池の成膜技術

ペロブスカイト太陽電池を構成する各層は非常に薄く、ナノメートル (nm) 単位で均一に成膜する技術が必要である。成膜方法としては、主に開発現場で使用されてきたスピコートや真空蒸着という手法があるが、量産化に向けては Roll to Roll と呼ばれる、長尺の基材を一定速度で流しながら連続して成膜する技術が期待されている。具体的には、電子輸送層、ペロブスカイト層、正孔輸送層ごとの溶液を基材に塗布し、続いて乾燥工程でペロブスカイト層の結晶化を行うという、連続成膜可能なプロセスである。

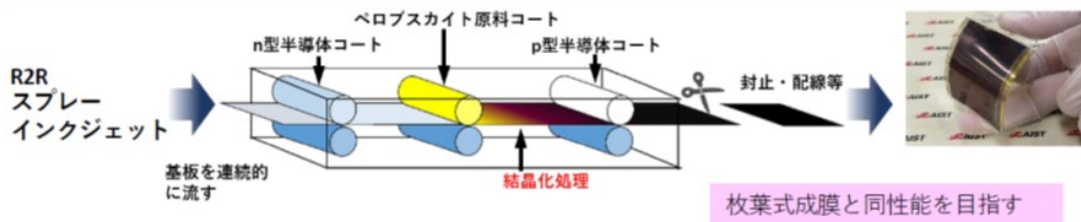
溶液を塗布する塗工工程には、一般的なダイコーター方式の他、スプレー方式やインクジェット方式が採用されている (図 6-5 及び図 6-6 参照)。

³¹ 積水化学「ペロブスカイト太陽電池事業説明会」(2025 年 1 月 7 日)

これまで枚葉式でペロブスカイトを成膜し高性能化



ペロブスカイトを連続成膜する溶液を原料とする手法



ペロブスカイトを蒸着で成膜する手法

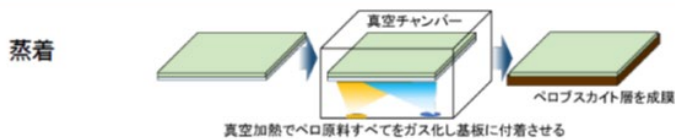


図 6-5 量産化に向けた成膜技術の種類³²

いずれの方式をとるにしても、各層は数百 nm 程度で均一な厚みにしなければならず、しかも成膜速度がそのままコストに効いてくるので、量産に向けてのハードルは高い。各社様々な方法で量産化技術の開発に取り組んでいるが、積水化学が Roll to Roll での量産化³³を発表しており一歩リードしているようである。

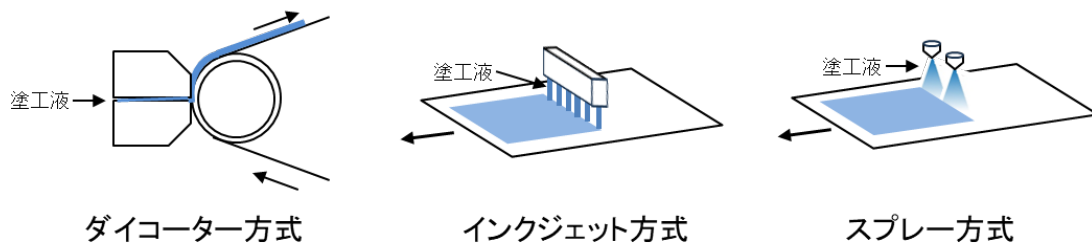


図 6-6 塗工方式の主な種類

³² (国研) 産業技術総合研究所・村上拓郎氏より提供。

³³ 積水化学のホームページには Roll to Roll 生産の写真が掲載されている。

<https://www.sekisui.co.jp/connect/article/1393104_40890.html>

(7) ペロブスカイト太陽電池の開発加速に向けたセル自動作製システム

2024年10月に、産業技術総合研究所が、世界初となる「ペロブスカイト太陽電池自動セル作製システム」を開発したことを発表した（図6-7参照）³⁴。

当該システムは、NEDOの委託事業「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／次世代型太陽電池基盤技術開発事業／次世代型ペロブスカイト太陽電池の実用化に資する共通基盤技術開発（2021～2025年度）」による支援を受けて開発されたもので、太陽電池の基板電極の洗浄から電子輸送層、ペロブスカイト層、正孔輸送層の各種材料の積層、裏面電極の蒸着、セルの分離まですべて自動で行い、さまざまなセル作製条件での自動試作が可能であるとされる³⁵。



図6-7 産業技術総合研究所が開発した世界初の「ペロブスカイト太陽電池自動作製システム」³⁶

当該システムを活用することで、1日当たり、これまでの10倍以上の数のセルをさまざまな条件で作製することが可能となり、開発における時間の短縮と研究開発の効率を向上させることが期待できるとされる。今後はGI基金に参画する企業を中心として、当該システムを活用し、材料選定、プロセス検討、条件最適化の時間短縮により、ペロブスカイト太陽電池の早期実用化と性能向上に取り組むとされ、将来的にはAIと連携させ、より効率的な条件最適化を目指すとしている³⁷。

今後、「ペロブスカイト太陽電池自動作製システム」が、日本における高品質かつ価格的に有利なペロブスカイト太陽電池製品の開発を加速するものとして大きく期待される。

³⁴ 産業技術総合研究所「世界初となるペロブスカイト太陽電池自動作製システムを開発」（2024年10月2日）<https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2024/pr20241002/pr20241002.html>

³⁵ Ibid.

³⁶ 画像は、産業技術総合研究所「世界初となるペロブスカイト太陽電池自動作製システムを開発」（2024年10月2日）から引用。

³⁷ 産業技術総合研究所「世界初となるペロブスカイト太陽電池自動作製システムを開発」（2024年10月2日）<https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2024/pr20241002/pr20241002.html>

6.2 太陽光発電の導入拡大の課題に対応可能なペロブスカイト太陽電池のメリット

ペロブスカイト太陽電池は、本文 5.4 節に示した「太陽光発電の導入拡大にあたっての課題」で挙げた 3 つの課題について対応可能であるとされている。

まず、材料の安定供給の課題を検証してみる。発電層の主原料であるヨウ素の産出量は世界全体の 26% を占め、チリに続く第 2 位のポジションにある。その他の材料は国内生産可能であり、サプライチェーンはほぼ国内で閉じているため、経済安全保障に対する懸念が少ない。今後、透明電極に使われる希少金属のインジウム不足が懸念されるが、リサイクルの促進やフッ素ドーパ酸化スズ (F-doped Tin Oxide : 以下 FTO) といった代替品の使用により供給を安定させていくものと思われる。なお、原材料の需給バランスについては第 7 章で検証する。

次に、ペロブスカイト太陽電池の設置場所の制約の課題であるが、ペロブスカイト太陽電池は軽量であるため屋上設置の場合でも躯体の補強工事が不要となる。後付けで側壁への設置も可能であるが、現在、様々な場所への設置・施工が模索されており、新たな工法も検討されている。また、建築物の意匠性を確保するデザインや設置工法も検討されている。

以上から、ペロブスカイト太陽電池は、建築物に設置することが優先されると考えられる。もちろん平地への設置も可能であるが、既に平地に設置されたシリコン系太陽電池の寿命がきて、交換するタイミングでタンデム型に置き換えることになると予想される。

6.3 最近の国内企業におけるペロブスカイト太陽電池の取組み状況

2024 年以降、国内企業におけるペロブスカイト太陽電池の実証実験、量産化、社会実装等に関する動きが活発になってきた。以下、これらに関する国内企業の主な動きについて述べる。

6.3.1. ペロブスカイト太陽電池の実証実験

最近、フィルム型ペロブスカイト太陽電池に関する実証実験が加速している。これを踏まえ、主なペロブスカイト太陽電池の実証実験の事例を紹介する。

(1) サービスステーション屋根及びタンク壁面へのフィルム型ペロブスカイト太陽電池設置に関する共同実証実験

2024 年 7 月 18 日、コスモ石油株式会社 (以下コスモ石油)、積水化学工業株式会社 (以下積水化学) 及び朝日エティック株式会社 (以下朝日エティック) の 3 社が、フィルム型ペロブスカイト太陽電池をサービスステーション屋根及び事業所のタンク側壁に設置する

ための共同実証実験を、コスモ石油中央研究所及び朝日エティック東京工場にて開始した³⁸。

本実証実験は、朝日エティックの設置・施工技術を用いて、積水化学が製造するフィルム型ペロブスカイト太陽電池をコスモエネルギーグループが運営するサービスステーションの屋根や事業所のタンク壁面等へ設置して、その実用化を検証することを目的とする。本実証実験で得られた結果を、全国の耐荷重が少ない屋根や垂直曲面設備等へも展開することで、ペロブスカイト太陽電池を用いた再エネの導入の拡大とカーボンニュートラルへの貢献を目指すとしている³⁹。

当該実証実験においては、表 6-2 に示したような取組みが行われる。

表 6-2 コスモ石油、積水化学及び朝日エティックによるフィルム型ペロブスカイト太陽電池実証実験の概要（公開資料⁴⁰に基づき未来工学研究所が編集・整理）

ペロブスカイト太陽電池設置場所	実証実験の目的	実証期間
コスモ石油中央研究所のタンク側壁	事業所のタンク壁面を想定した、垂直曲面設備への設置・施工方法の検証と発電データの測定。	2024 年 7 月より 1 年間を予定。
朝日エティック東京工場のモデルサービスステーション屋根	サービスステーション屋根を想定した、耐荷重の小さい屋根への設置・施工方法の検証と発電データの測定。	2024 年 7 月より 1 年間を予定。

(2) 苛烈環境下でのフィルム型ペロブスカイト太陽電池大規模実証実験

2024 年 11 月 13 日、株式会社マクニカ（以下マクニカ）を代表事業者とし、共同実施者であるペクセル・テクノロジーズ株式会社、薄膜加工技術を有しペロブスカイトの製造を担当する株式会社麗光の 3 社共同により、フィルム型ペロブスカイト太陽電池の実用化に向けた実証実験を、横浜市の大さん橋デッキ上にて開始した。

この実証実験は、ペロブスカイト太陽電池の実用化に向けた課題の一つである「耐久性」と、交換が容易となる「着脱方法」を検証するためのもので、環境省からのサポートを受けて、国内でも最大規模の実証実験となっている⁴¹。

³⁸ コスモエネルギーホールディングス株式会社、コスモ石油株式会社、積水化学工業株式会社および朝日エティック株式会社「フィルム型ペロブスカイト太陽電池のサービスステーション屋根およびタンク壁面への設置に関する共同実証実験を開始」コスモエネルギーホールディングス株式会社 Web サイト（2024 年 7 月 19 日）<<https://www.cosmo-energy.co.jp/ja/information/press/2024/240719-01.html>>

³⁹ Ibid.

⁴⁰ Ibid.

⁴¹ 「ペロブスカイト太陽電池の実用化に向け、苛烈環境下での大規模実証開始～「横浜港大さん橋」デッキ上にて 1 月末まで実証～」株式会社マクニカ Web サイト（2024 年 11 月 13 日）<<https://www.macnica.co.jp/public-relations/news/2024/146426/>>

当該実証実験は、桐蔭横浜大学の宮坂力特任教授の指導の下、環境省の「地域共創・セクター横断型カーボンニュートラル技術開発・実証事業」に採択された「港湾などの苛烈環境におけるペロブスカイト太陽電池の活用に関する技術開発（委託）」の一環として実施されるものである⁴²。

大さん橋の実証実験では、Roll to Roll 方式にて製造したペロブスカイト太陽電池モジュールを使用して非常用電源電力サイズのシステムを構築し、海風の強い重塩害環境にある大さん橋デッキ上にて、屋外でのペロブスカイト太陽電池発電システムの稼働に関する実証実験を行うとしている（最終的には、30 cm×1m サイズのペロブスカイト太陽電池モジュールを 80 枚程度装着する予定）。また、開発を進めている数種類のペロブスカイト太陽電池モジュールの検証と併せ、実用化を見越したシステム構成の検証及び実証も同時に行うとしている。実証期間は、2024 年 11 月 23 日～2025 年 1 月 31 日である⁴³。

(3) 銀行店舗・研修施設でのフィルム型ペロブスカイト太陽電池実証実験

2024 年 12 月 23 日、株式会社三菱 UFJ 銀行（以下三菱 UFJ 銀行）と積水化学工業株式会社（以下積水化学）が、2050 年の脱炭素社会実現に向けて、フィルム型ペロブスカイト太陽電池を、三菱 UFJ 銀行の大井支店及び三菱 UFJ フィナンシャル・グループ（MUFG）グローバルラーニングセンターに設置し、実証実験を行う旨の協定書を締結した⁴⁴。

積水化学は、独自技術である「封止、成膜、材料、プロセス技術」を活かし、フィルム型ペロブスカイト太陽電池開発の重要課題である屋外耐久性において 10 年相当を確認したとしている。また、30cm 幅の製造プロセスを構築するとともに、同製造プロセスによる発電効率 15.0%のフィルム型ペロブスカイト太陽電池の製造に成功している。今後、さらなる耐久性や発電効率の向上、1m 幅の製造技術の確立に向けて開発を加速させていくとしている⁴⁵。

当該実証実験においては、表 6-3 に示したような取組みが行われる。

⁴² Ibid.

⁴³ Ibid.

⁴⁴ 株式会社三菱 UFJ 銀行、積水化学工業株式会社「フィルム型ペロブスカイト太陽電池の共同実証実験開始～国内初、銀行店舗・研修施設での実証実験～」積水化学工業株式会社 Web サイト（2024 年 12 月 23 日）<https://www.sekisui.co.jp/news/2024/1425530_41090.html>

⁴⁵ Ibid.

表 6-3 三菱 UFJ 銀行と積水化学によるフィルム型ペロブスカイト太陽電池実証実験の概要
(公開資料⁴⁶に基づき未来工学研究所が編集・整理)

ペロブスカイト太陽電池設置場所	実証実験の狙い	ペロブスカイト太陽電池発電用途
三菱 UFJ 銀行の大井支店 (カーテンウォールの室内側にフィルム型ペロブスカイト太陽電池を固定)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 室内窓際にフィルム型ペロブスカイト太陽電池を設置した場合の発電効果の検証 ・ フィルム型ペロブスカイト太陽電池の耐久性の検証 	支店入口に位置する屋外向け掲示板用の照明へ給電
MUFG グローバルラーニングセンター (施設屋上にフィルム型ペロブスカイト太陽電池を設置：シリコン太陽電池に併設して設置)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 屋上防水シート面に設置した場合の耐久性の検証 	食堂利用者向けの電源 (モバイルバッテリー等に利用) に使用

(4) 自治体の次世代型太陽電池実証実験事業

2024年6月、横浜市は、太陽光発電の適地が限られる都市部において、更なる再エネ普及拡大を目指すことを狙いとして、公共施設を活用した次世代型太陽電池 (ペロブスカイト太陽電池等) 実証実験の提案を募集した。その結果、以下等の提案を選定し、順次、実証実験を開始した (表 6-4 参照)。

表 6-4 横浜市の次世代型太陽電池実証実験事業の構成
(公開資料⁴⁷に基づき未来工学研究所が編集・整理)

事業者名	使用する太陽電池	実施期間	実施場所	実証実験の概要
東芝エネルギーシステムズ株式会社	フィルム型ペロブスカイト太陽電池	2024年9月30日 ～11月28日	横浜市庁舎アトリウム 南側2階管理通路	LEDの点灯など発電状況を検証する。
AGC株式会社	既存建築物向け太陽光発電ガラス	2024年12月4日 ～2025年12月	横浜市庁舎アトリウム2階南側	市庁舎アトリウム窓面に、建築物の工事を伴わずに太陽光発電ガラスを設置する。発電した電力はデジタルサイネージに活用し発電状況の検証を実施する。
東京電力エナジーパートナー株式会社	ペロブスカイト太陽電池	2025年1月20日 ～12月	横浜市北部第二水再生センター管理棟前	ビルの窓ガラスを想定したペロブスカイト太陽電池試験体を屋外設置し、発電状況を検証する。

⁴⁶ Ibid.

⁴⁷ 横浜市「次世代型太陽電池実証実験事業」横浜市 Web サイト

< <https://www.city.yokohama.lg.jp/kurashi/machizukuri-kankyo/ondanka/etc/perovskite.html> >

(5) ペロブスカイト太陽電池を用いた 建材一体型太陽光発電の実証実験に関する連携協定
環境省の「脱炭素先行地域」に選定されている札幌市は、2050 年までに市内の温室効果ガス排出量を実質ゼロにする目標を掲げている。これを受けて、YKK AP 株式会社（以下 YKK AP）は、2025 年 1 月 20 日、ペロブスカイト太陽電池を用いた BIPV の実証実験を実施するため、札幌市と連携協定を締結した⁴⁸。

本協定は、カーボンニュートラルの実現と持続可能な社会の構築の推進を図るため、ペロブスカイト太陽電池等による BIPV を搭載したムービングハウス「SAPPORO ZERO BOX」にて実証実験を行うこと、及び札幌市が有する施設への導入検討について相互に連携・協力して取り組むことを目的とする⁴⁹。

YKK AP は、株式会社関電工との業務提携により、窓や側壁を活用する BIPV の開発を進めており、2024 年 7 月から 10 月にわたり、秋葉原で実証実験ハウス「Akiba ZERO BOX」での実証実験を実施した経緯がある⁵⁰。

6.3.2. ペロブスカイト太陽電池の量産化、社会実装等

経済産業省の「次世代太陽電池戦略」の公表に続いて、企業によるペロブスカイト太陽電池の量産化や地方自治体におけるペロブスカイト太陽電池の社会実装に関する計画が発表されている。

以下、これらの動きについて紹介する。

(1) 積水化学工業のペロブスカイト太陽電池量産化体制

2024 年 12 月 26 日、積水化学工業株式会社（以下積水化学）は、フィルム型ペロブスカイト太陽電池の量産化を開始することについて決定したことを発表した⁵¹。

積水化学は、経済産業省の G X サプライチェーン構築支援事業に採択されることが決定し、同社が中心となって、政府が目指す 2030 年までの早期の GW 級の供給体制の構築を実現したいとし、2027 年に 100MW 製造ラインの稼働を目指して、総額 900 億円の設備投資を行うことを決定した。さらに同社は、海外展開も視野に入れ、需要の獲得を進めながら段階的に増強投資を行い、2030 年には GW 級の製造ライン構築を目指すとしている⁵²。

⁴⁸ YKK AP 「次世代型太陽電池（ペロブスカイト太陽電池）を用いた 建材一体型太陽光発電の実証実験について札幌市と連携協定を締結」ニュースリリース（2025 年 1 月 20 日）

<<https://www.ykkapglobal.com/ja/newsroom/releases/20250120>>

⁴⁹ Ibid.

⁵⁰ YKK AP 「秋葉原駅前広場にて、ペロブスカイト太陽電池を用いた建材一体型太陽光発電（BIPV）の実証実験を開始」ニュースリリース（2024 年 7 月 25 日）

<<https://www.ykkapglobal.com/ja/newsroom/releases/20240725>>

⁵¹ 積水化学工業株式会社「ペロブスカイト太陽電池の量産化に関するお知らせ」プレスリリース（2024 年 12 月 26 日）<https://www.sekisui.co.jp/news/2024/_icsFiles/afieldfile/2024/12/26/241226.pdf>

⁵² Ibid.

同社は、新たな事業開始にあたり、ペロブスカイト太陽電池の設計・製造・販売を行うことを目的とした新会社（積水ソーラーフィルム株式会社）を設立して、事業運営を行なうとしている。当初は、フィルム型ペロブスカイト太陽電池が有する軽量性や柔軟性といった特長を活かし、耐荷重性の低い屋根や公共施設（災害時避難所となる体育館等）を中心に導入を進めて、量産効果によるコスト低減を図る。続いて、民間の工場や倉庫等の屋根・外側壁にも需要創出を行い、事業拡大を狙うとしている⁵³。

なお、同社が採択されたGXサプライチェーン構築支援事業においては、1GWの製造ライン構築の補助金として、2024年11月～2029年2月末の期間に、総額1,572.5億円（補助対象金額3,145億円、補助率1/2）が提供される⁵⁴。

(2) 愛知県におけるペロブスカイト太陽電池の社会実装

愛知県は、2050年カーボンニュートラルを実現するため、2021年から全国の民間企業等を対象に、革新的・独創的な脱炭素プロジェクトのアイデアを募集しており、提案されたアイデアの中から、学識者からなる「あいちカーボンニュートラル戦略会議にて、事業化すべきプロジェクトを選定し、支援を行っている⁵⁵。

2024年12月26日に開催された「あいちカーボンニュートラル戦略会議」において、株式会社アイシン（以下アイシン）、中部電力ミライズ株式会社、関西電力株式会の3社が共同提案した「ペロブスカイト太陽電池普及拡大プロジェクト」が、事業化支援対象に選定された⁵⁶。アイシンは、このプロジェクトの一環として、愛知県が設立する「あいちペロブスカイト太陽電池推進協議会」に提案企業として参加し、ペロブスカイト太陽電池の社会実装を目指すとしている⁵⁷。

愛知県は、2030年度に温室効果ガス排出量を2013年度比で46.0%削減することを目指しており、その達成に向けて、同県内の再生可能エネルギーを、2021年度比で1.7倍の580万kWに増やす目標を掲げている。同県の試算によると、これを達成するためには、太陽光発電のみで171万kW分の上積みが必要であるとしている⁵⁸。

⁵³ Ibid.

⁵⁴ Ibid.

⁵⁵ 愛知県「知事会見：あいちペロブスカイト太陽電池推進協議会」の設立に向けて構成メンバーを募集します～ペロブスカイト太陽電池普及拡大プロジェクトを始動します～」愛知県 Web サイト（2025年1月15日更新）<<https://www.pref.aichi.jp/press-release/psc-boshu.html>>

⁵⁶ 株式会社アイシン「ペロブスカイト太陽電池普及拡大プロジェクト」が「あいちカーボンニュートラル戦略会議」の事業化支援対象に選定～愛知県が設立する推進協議会に、提案企業として参加～」アイシン Web サイト（2025年1月15日）<<https://www.aisin.com/jp/news/2025/006316.html>>

⁵⁷ Ibid.

⁵⁸ 愛知県「知事会見：あいちペロブスカイト太陽電池推進協議会」の設立に向けて構成メンバーを募集します～ペロブスカイト太陽電池普及拡大プロジェクトを始動します～」愛知県 Web サイト（2025年1月15日更新）<<https://www.pref.aichi.jp/press-release/psc-boshu.html>>

「ペロブスカイト太陽電池普及拡大プロジェクト」では、先行実証実験として、アイシンが研究開発する薄板ガラス型ペロブスカイト太陽電池を愛知県内の公共施設などに設置し、導入拡大に伴う課題の確認とその解決策を検討するとしている。その後、他の公共施設や民間施設でも導入実証実験を行い、導入モデルケースを確立することで、愛知県として全国に先駆けた社会実装を目指すとしている⁵⁹。

6.4 海外企業におけるペロブスカイト太陽電池の研究開発及び量産化の動向

ペロブスカイト太陽電池は日本発の発明であるものの、表 6-5 に示したように海外でも盛んに開発が進められており、中国や欧州の企業が相次いで参入している。

特に中国は、スタートアップ企業を中心にガラス型で量産化を先行させ、既に設置済みのメガソーラーを置き換えるタンデム型に注力しているようである⁶⁰。フィルム型の開発を進めている企業は少ないが、2024～2025年の量産を見込んでいる企業がある。

表 6-5 海外企業における開発動向について⁶¹

	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)	御電光能 (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	9㎡、1㎡	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10GW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) 公表情報。
令和6年度エネルギー需給構造高度化対策調査等事業(次世代型太陽電池の需要等に関する調査)、以下、当資料においては、委託調査(ボストンコンサルティンググループ(BCG))とする。

また、特許取得についても中国の台頭が著しい(図 6-8 参照)。2009~2017年の期間でのペロブスカイト太陽電池関連特許の出願件数類型は、中国がトップで日本は2位となっている。中国は2015年以降、急激に出願件数を伸ばしており、2017年単年の出願件数は日本の3倍以上となっている。出願件数だけではその実力を評価することができないが、シリコン系太陽電池で起こったことの二の舞にならないよう注意する必要がある。

⁵⁹ 株式会社アイシン「ペロブスカイト太陽電池普及拡大プロジェクト」が「あいちカーボンニュートラル戦略会議」の事業化支援対象に選定-愛知県が設立する推進協議会に、提案企業として参加-アイシン Web サイト (2025年1月15日) <<https://www.aisin.com/jp/news/2025/006316.html>>

⁶⁰ 趙健「ペロブスカイト太陽電池のGW級量産に進む中国」三井物産戦略研究所(2024年7月)

⁶¹ 経済産業省「次世代太陽電池戦略」(2024年11月28日)

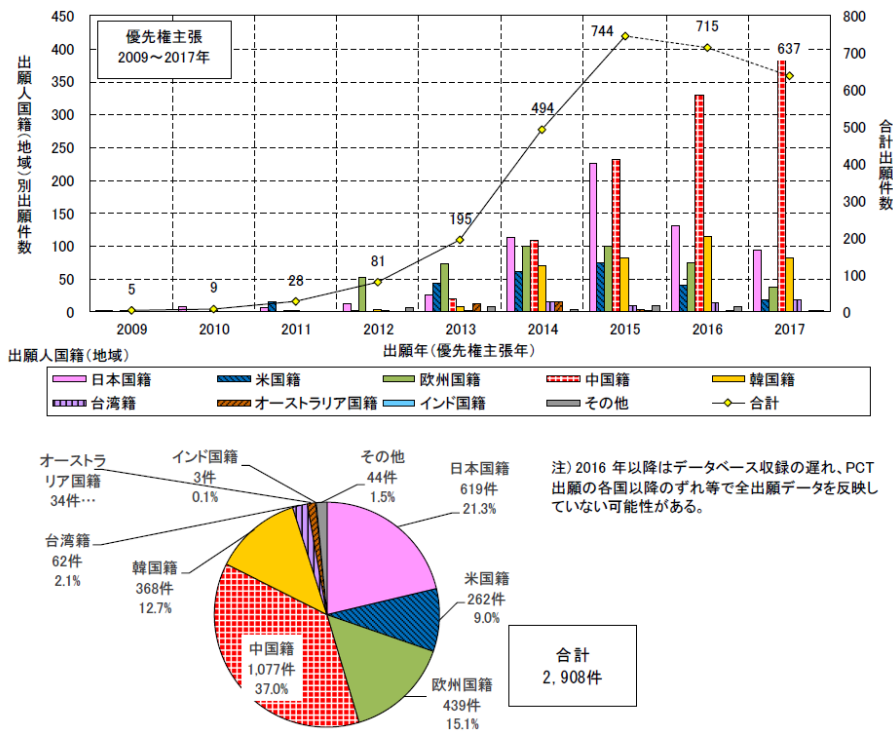


図 6-8 ペロブスカイト関連特許出願人国籍(地域)別出願件数⁶²

6.5 中国における最近のペロブスカイト太陽電池の量産化の動き

中国国内の太陽電池市場は、地面や屋根設置型発電事業向けの需要が最も多い。

中国では、BIPV に応用されるフィルム型ペロブスカイト太陽電池への需要が不透明であるとして、ペロブスカイト太陽電池を量産する中国企業の殆どは発電向け⁶³を想定し、ガラス型を採用している。フィルム型ペロブスカイト太陽電池の開発を行っている中国の企業は少ないが、中国国内でフィルム型ペロブスカイト太陽電池開発の代表的な企業である大正微納科技は、その生産能力の拡大を図っている⁶⁴。

表 6-6 は、主な中国企業別のペロブスカイト太陽電池量産状況を示したものである⁶⁵ (本表の情報は、2024 年 7 月時点のものであり、その後状況が進展している可能性がある)。中国では、スタートアップを中心にペロブスカイト太陽電池の量産を加速させている。

⁶² 特許庁「ニーズ即応型の技術動向調査：ペロブスカイト太陽電池」(2019 年)

⁶³ メガソーラーのような電力事業向けのこと。

⁶⁴ 趙健「ペロブスカイト太陽電池の GW 級量産に進む中国 ータンデム型で変換効率 30%突破を目指すー」三井物産戦略研究所 (2024 年 7 月)

⁶⁵ Ibid.

2023年の時点で、既に年間百MW（メガワット）の生産規模に達しており、いくつかの企業は2024年内にGW規模の生産ラインの整備を進めるなど、市場投入に向けた動きが顕著となっている⁶⁶。

前述したフィルム型ペロブスカイト太陽電池の開発を行っている大正微納科技は、福建省アモイ市の製造拠点に100MWの生産ラインを建設中であり、2024年から2025年に稼働開始の見込みであるとしている⁶⁷。

表 6-6 中国各社のペロブスカイト太陽電池量産状況⁶⁸

企業	工場所在地	生産能力 (MW)			量産モジュール			稼働開始時期など
		稼働中	建設中	計画中	変換効率 (%)	基板タイプ	サイズ (m)	
万度光能	湖北省・鄂州市	200		1,800	n/a	ガラス	不明	長期的に2,000MWに拡張する予定
	安徽省・阜陽市		1,200		n/a	ガラス	不明	2025年内稼働開始の予定
	安徽省・阜陽市			1,800	n/a	ガラス	不明	上記建設中事業の2期目として計画中
極電光能	江蘇省・無錫市	150			17%	ガラス	1.2×0.6	2022年12月稼働開始。2024年内変換効率20%超を目指す
	江蘇省・無錫市		1,000		18%	ガラス	1.2×2.3	2024年3Qに竣工、順次に生産開始の予定。変換効率は目標値
仁燦光能	江蘇省・蘇州市	150			18%	ガラス	1.2×0.6	2024年1月稼働開始。2024年内変換効率20%達成を目指す。単接合とタンデム型両方が生産可能
昆山協鑫光電材料 (注1)	江蘇省・昆山市	100			19%	ガラス	1.0×2.0	2021年稼働開始。2024年4月変換効率が19.04%超達成
	江蘇省・昆山市		1,000		27%	ガラス	1.2×2.4	2025年3月竣工する予定。変換効率は量産するタンデム型の目標値
	江蘇省・昆山市			1,000	27%	ガラス	1.2×2.4	上記建設中事業の2期目として計画中
織納光電 (注2)	浙江省・衢州市	100			12%	ガラス	1.2×0.6	2022年始から稼働開始
	浙江省・衢州市		1,000		12%	ガラス	1.2×0.6	2024年後半稼働開始の予定
合特光電	浙江省・杭州市	100			28%	ガラス	不明	タンデム型の試作はまだ成功していない
大正微納科技	福建省・アモイ市		100		13~15%	フィルム	1.0×0.6	2024~2025年稼働開始の見込み
合計		800	4,300	4,600				

注1：一部報道によるとまず500MWを建設しており、稼働が順調に滑り出したら残りの500MWを建設するとの計画

注2：フィルム基板採用のフレキシブル製品も開発しているが、量産品はガラス基板を採用の模様
出所 各社公開情報、報道から三井物産戦略研究所作成

なお、中国政府は、「第十四・五カ年エネルギー領域科技创新計画」などの政策により、ペロブスカイト太陽電池とタンデム型太陽電池の材料、製造設備、量産と産業化技術の開発を後押している。そのため、中国太陽電池大手の殆どは、ペロブスカイト太陽電池とc-Siのタンデム型太陽電池の開発を進めている⁶⁹。

⁶⁶ Ibid.

⁶⁷ Ibid.

⁶⁸ 趙健「ペロブスカイト太陽電池のGW級量産に進む中国—タンデム型で変換効率30%突破を目指す—」三井物産戦略研究所（2024年7月）より引用

⁶⁹ Ibid.

7. ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンの現状、課題等に関する調査

本章では、文献調査及びヒアリング調査を踏まえ、技術的な課題も含めてペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンの現状と課題について整理する。また、ヒアリングした企業・団体等から、ペロブスカイト太陽電池普及策に関する意見及びペロブスカイト太陽電池生産体制の整備への支援や補助金の強化に関する国への要望が出されたため、これらについても整理する。

7.1 ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンの現状と課題

以下、ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンを構成する、①原材料、②構成材（素部材）生産、③ペロブスカイト太陽電池生産、④応用製品生産、⑤設置・施工、⑥回収・リサイクル別に、現状と課題について述べる。

7.1.1. 原材料

図 7-1 に、ペロブスカイト太陽電池の構成材（部素材）となる原料の主要生産国とその生産比率を示す。

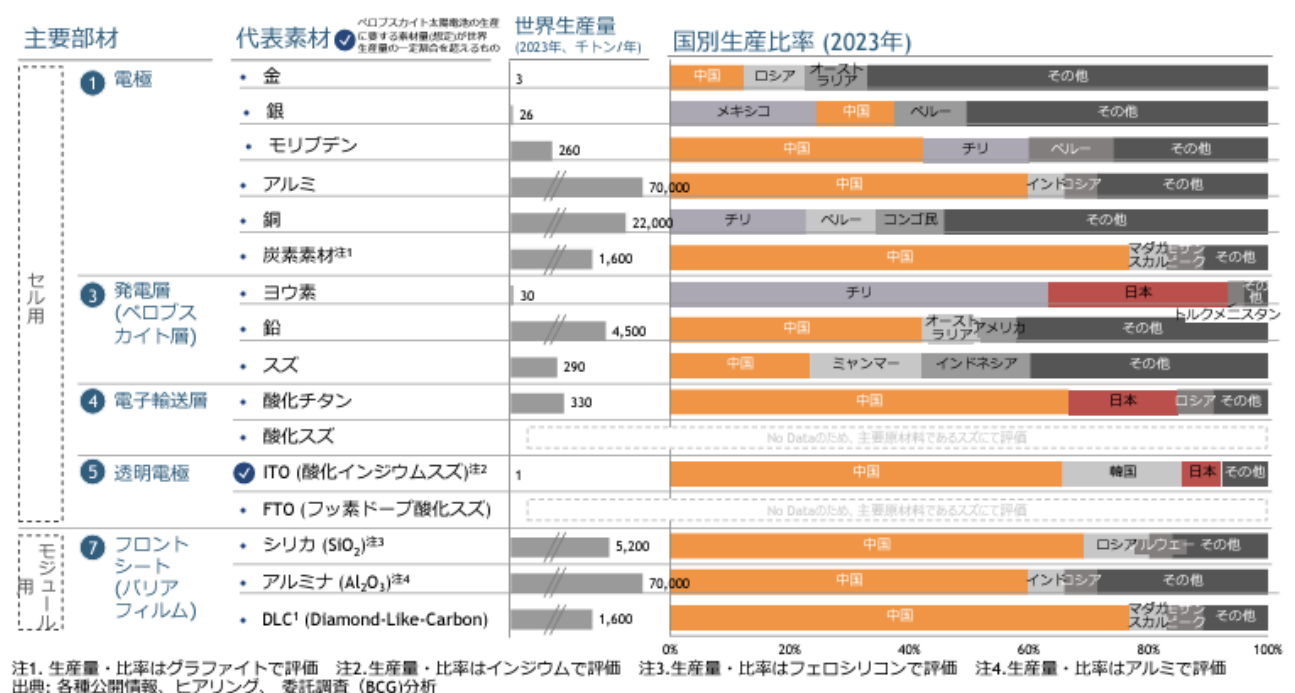


図 7-1 ペロブスカイト太陽電池の部素材となる原料の主要生産国と生産比率⁷⁰

⁷⁰ 出典：経済産業省「次世代型太陽電池戦略」（2014年11月28日）

図 7-1 より、中国は、銅やヨウ素を除き、ペロブスカイト太陽電池の構成材となる殆どの原料の生産量で世界のトップの位置を占めている。

一方、日本は、ペロブスカイト太陽電池の構成材の原料の多くを海外に依存しているが、ヨウ素、酸化チタン、酸化インジウムスズ (Indium Tin Oxide: 以下 ITO) 等については、それらが世界に占める生産量の比率が高い。ヨウ素は、ペロブスカイト太陽電池の構成材のペロブスカイト層を、酸化チタンは電子輸送層を、ITO は透明電極を作るための核となる原料であるが、実際、日本は、ヨウ素の生産量がチリに次いで世界第 2 位、酸化チタンの生産量が中国に次いで世界第 2 位、インジウム (ITO の原料) の生産量が中国、韓国に次いで第 3 位である。

ヒアリングした企業・団体の多くから、上記のペロブスカイト太陽電池の原料の中で、日本のペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンの鍵を握るものとして、ヨウ素及びインジウムが挙げられた。なお、ヨウ素、インジウム以外のペロブスカイト太陽電池の構成材となる他の原料については、今のところ、ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンの観点から特に大きな問題があるという意見はなかった。

以下、ヒアリングした企業・団体の意見を含め、ヨウ素とインジウムに焦点を置いて、それらが日本のペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンで重要とされる背景と現状、課題等について述べる。

(1) ヨウ素

ヨウ素は、図 7-2 に示したように、地球上で海水、海藻、天然ガスかん水 (地下から天然ガスと一緒に出る古代海水のこと)、鉍物 (硝石) などに含まれているが、経済的に採取できる原料や地域は限られている。海水の量は膨大であるが、その中に含まれる海水中のヨウ素濃度は 0.05 mg/L と極めて低く、現在の技術では経済的に取り出すのは困難である⁷¹。

日本では、ヨウ素は、天然ガスかん水から製造される。日本で生産されるヨウ素は年間 10,000t で、世界のヨウ素生産量の 30%を占めている。特に、約 80%が千葉県⁷²、残り 20%が新潟県と宮崎県で生産されている。その約半分の 5,000t が海外に輸出されている⁷³。

一方、チリは、世界の 60%のヨウ素を生産しているが、海拔 1,000m 以上の砂漠地帯で鉍物 (硝石) からヨウ素が生産されている。しかし、米国地質調査所の報告によると経済

⁷¹ 「日本にたくさんある資源って何だろう？ それはヨウ素！！」、ヨウ素学会、2023 年 12 月 12 日公開。<<https://www.catapoke.com/viewer/?open=f5778&lang=ja>>

⁷² 千葉県は、国内最大級の天然ガス鉍床「南関東ガス田」が広がる、天然ガスの一大産地である。

⁷³ ヨウ素学会「日本にたくさんある資源って何だろう？ それはヨウ素！！」(2023 年 12 月 12 日公開) <<https://www.catapoke.com/viewer/?open=f5778&lang=ja>>

的に回収可能なヨウ素資源の 79%は日本に埋蔵⁷⁴されており、日本のヨウ素の埋蔵量は推計 500 万トンで世界一とされている⁷⁵。

なお、日本では、これまでヨウ素の価格は¥5,000/kg であったが、チリ産のヨウ素の価格が¥10,000/kg に近づいてきている⁷⁶。しかし、他のペロブスカイト太陽電池関連の原料と比較すると高いというわけではない。

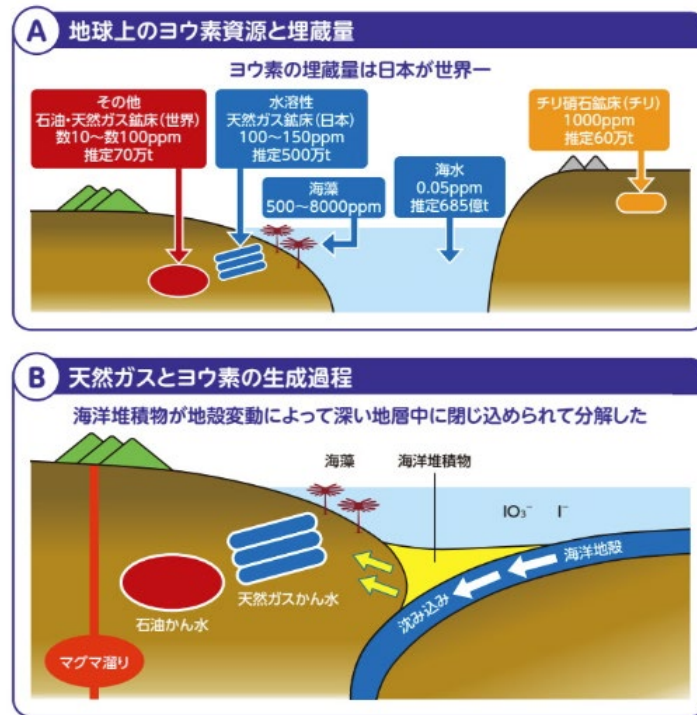


図 7-2 地球上のヨウ素と埋蔵量及び天然ガスとヨウ素の生成過程⁷⁷

ヒアリングした企業・機関からは、以下に示すように、ヨウ素は、サプライチェーンの観点からペロブスカイト太陽電池の構成材（部素材）の原料として問題は無いという意見が多かった。

- ・ 今のところ、ヨウ素が供給のボトルネックになるとは考えにくい。(A社)
- ・ ペロブスカイト層に使うヨウ素は微量なので、サプライチェーン上のボトルネックになる材料とは考えにくい。(B社)

⁷⁴ Ibid.

⁷⁵ 浅倉 聡「ヨウ素の製造方法とリサイクル」CIRIC No.1 セミナー <<http://fiu-iodine.org/wp/wp-content/uploads/2019/03/6ac71672bc6eccb273cb3a9b719d6b02.pdf>>

⁷⁶ 今回ヒアリングした企業のコメントによる。

⁷⁷ 「日本にたくさんある資源って何だろう？ それはヨウ素！！」ヨウ素学会（2023年12月12日）

なお、汲み上げるかん水の量を急激に増やすと、地盤沈下のリスクがあるとされている。実際、国内のヨウ素生産量の 80%を占める千葉県では、天然ガス採取に伴う地盤沈下を防止するために、昭和 48 年に九十九里地域及び千葉地域の天然ガス採取企業と県の間で地盤沈下防止協定を締結し、天然ガス井戸の削減を実施している。その後、昭和 56 年 1 月に、成田地域の企業を加えて天然ガスかん水の地上排水量の削減を骨子とする協定に全面改定し、5 年ごとに地上排水量の限度量を設定する「地盤沈下の防止に関する細目協定」を締結してきた⁸⁰。これを踏まえ、各ヨウ素メーカーは、ヨウ素のリサイクル体制を整えているとされている⁸¹。

(2) インジウム

インジウムとスズとの酸化化合物である ITO は、透明でありながら導電性があるため、液晶ディスプレイ (Liquid Crystal Display: 以下 LCD) やタッチパネル、太陽電池等の電極 (透明導電膜) に数多く使われている。インジウムは、また、ガリウムやヒ素と組み合わせることで、インジウムガリウムヒ素 (InGaAs) などの半導体材料を形成し、高速電子デバイスや光通信デバイスにおいて重要な役割を果たしている。インジウムは、この他、発光ダイオード (Light Emitting Diode: 以下 LED) の素子にも使用されている。

このように、インジウムは優秀な産業用材料として世界的に需要が多いが、インジウムの生産量が限られているため、供給量の逼迫が世界的に問題となっている⁸²。

以上のようなことから、ヒアリングした企業・団体からは、インジウムは、ペロブスカイト太陽電池の部材の原料としてサプライチェーンのボトルネックになる可能性が高いという回答が多く、インジウムに代わる物質に関する研究に期待していることがわかった。以下に、これについて示す。

- ・ インジウムは希少元素であるため、高価であり安定供給に限界がある (ペロブスカイト太陽電池の構成材の原料で一番高いのはインジウムで¥100,000/kg、鉛は¥380~¥500/kg 程度)。ペロブスカイト太陽電池の設置面積を考えるとインジウムが供給のボトルネックになる可能性がある。場合によっては、LCD や有機 EL ディスプレイ (Organic Light Emitting Diode: 以下 OLED) の使用量を上回る可能性もある。これが、サプライチェーン上の大きな問題であると考えている。(A 社)

⁸⁰ 「天然ガスかん水の採取に伴う地盤沈下の防止の取組み」千葉県 Web サイト (2023 年 12 月 20 日更新) <<https://www.pref.chiba.lg.jp/suiho/jibanchinka/torikumi/tenngus.html>>

⁸¹ 葎本隆太 (著) / 宮坂力 (監修) 「素材技術で産業化に挑む ペロブスカイト太陽電池」日刊工業新聞社 (2024 年 9 月)

⁸² 現在のインジウムの生産量は 1,000t/年、賦存量 (理論的に導き出された総量) は 15,000t とされている。(出典: 資源エネルギー庁「ペロブスカイト型太陽電池のサプライチェーンについて」(2024 年 8 月))

- ・ インジウムは、薄膜作製には真空過程を必要とするためコストがかさむことから、ITO の代替物質の研究が進んでいる。ITO の代替物質として銀ナノワイヤやカーボンナノチューブが挙げられている。但し、銀ナノワイヤは腐食の問題の解決方法、カーボンナノチューブは生成された物質の評価方法の確立に目途が立っていない。(A 社)
- ・ ITO は透明電極に多量に使われており、LCD や OLED にも使われているので、ボトルネックになる材料かも知れない。ガラス基板では、ITO のほかに、FTO を使用することができる。(B 社)
- ・ インジウムがボトルネックになる可能性がある。LCD や OLED といったフラットパネル・ディスプレイにも使われており、ペロブスカイト太陽電池が大量に生産されるようになると不足するかもしれないことから、ガラス基板では FTO などの代替材料を検討している。産業技術総合研究所でインジウムの代替材を研究しているので期待している。(D 社)

7.1.2. 構成材（素部材）生産

ペロブスカイト太陽電池の素子構造（順構造、逆構造）や基板材料（ガラス、フィルム）等の組合せによって、構成材に要求される材料特性が大きく変わる。

以下、ヒアリングした企業の回答を含め、基板（フィルム及びガラス）、封止材・バリアフィルム、ペロブスカイト層、電子・輸送層、透明・裏面電極別に、構成材の製造技術等を中心としたサプライチェーンの現状と課題について、ヒアリングした企業の回答等について示す。

(1) 基板（フィルム及びガラス）

① 基板フィルム

ペロブスカイト太陽電池の基板にフィルムが用いられる場合は、基板フィルムとして、PET（ポリエチレンテレフタレート）フィルムが用いられている。その際、PET フィルム上に透明電極として ITO を成膜する。

現在、PET フィルムの代替材料として、耐熱性が高い「ポリイミド」が注目されている。ポリイミドは PET と比較して高価であるが、PET フィルムでは耐えられない 200°C 以上の高温での成膜処理に対応できる。このため、ITO の結晶化を促進することができ、より光透過率の高い薄膜で低い抵抗を実現できる可能性がある⁸³。

ヒアリングした企業からは、基板フィルムの製造技術、製造コスト等に関して以下のようない意見があった。現時点では、ポリイミドは、耐熱性が高く、PET の代替として期待されているが、高価であることがボトルネックになっているようである。

⁸³ 葎本隆太（著）／宮坂力（監修）「素材技術で産業化に挑む ペロブスカイト太陽電池」日刊工業新聞社（2024年9月）

- ・ 国のプロジェクトでは、基板フィルムに高品質の PET または PEN（ポリエチレンナフタレート）を使用している。フィルム基板材となるポリイミドは価格が高すぎて使用できない。(A 社)
- ・ 自社で基板材となるポリイミドを生産している。ポリイミドのフィルムに移行しようと思えばできるが、コストの問題がある。ポリイミドは、PET と比較して寸法安定性の問題がある。(C 社)
- ・ 企業規模が小さいメーカーでは、ITO 膜を施したフィルムの生産能力が低い。今後、ギガワットレベルのペロブスカイト太陽電池の生産を行う上で、ITO 膜を施したフィルムの生産能力を高めるのであれば、一桁以上の設備投資をしないと供給のボトルネックになる。(B 社)

なお、高機能高分子材料などを製造・販売する(株) I.S.T が、桐蔭横浜大学の宮坂力特任教授と共同で、PET に代わるフィルム素材として、高機能ポリイミドを素材とする機能性透明フィルムを開発した。このフィルムは耐熱性能面で PET を上回る⁸⁴ことから、ペロブスカイト太陽電池の製造プロセスで、電子輸送層の材料を高温処理することが可能となり、結果的に電池の変換効率が向上することを示すことができる。これにより、フィルム型ペロブスカイト太陽電池の性能向上に貢献することを実証したとされている⁸⁵。

② 基板ガラス

ペロブスカイト太陽電池の基板にガラスを用いる場合は、基板ガラスは、透明電極の材料として FTO を成膜し、FTO ガラスとして利用する。FTO は 500°C 程度の高温による成膜が必要であるが、基板フィルムで使用される ITO と比較して化学的安定性が高い。

基板ガラスは、(a) BIPV のように建材として使用するガラスと、(b) フィルムのように軽量化し、薄くすることで曲げることができる薄板ガラスの 2 つの種類がある。薄板ガラスは、ガラス本来の特性を活かすことができるため、フィルムと比較して、酸素や水を通しにくいというメリットがある。

(a) のケースについては、ヒアリングで以下の回答を聞くことができた。建材用のガラスのサプライチェーンには全く問題がないと考えられる。

- ・ 基板ガラスに強化ガラス仕様のものを使っている。(B 社)
- ・ 建材ガラスは価格の低い、建築物の基準にあった汎用の仕様のガラスを購入して使っている。(B 社)

⁸⁴ (株) I.S.T プレスリリース (2024 年 10 月 8 日)

<<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000015.000019821.html>>

⁸⁵ Ibid.

(b)のケースについては、ヒアリングで以下の回答を聞くことができた。0.3mm の薄板ガラスの場合も、サプライチェーンには殆ど問題がないと考えられる。

- ・ ペロブスカイト太陽電池の弱点は耐久性であるため、実用化に当たっては、発電性能でなく、耐久性をメインに考えている。耐久性を向上させるには、基材のガスや水蒸気の透過率を極力下げる必要があるため、ガラスを選定するのが一般的であるが、重さを考えて薄いガラスを選択した。フィルム型は軽量性と柔軟性に優れるが、耐久性との両立は難しい。(D社)
- ・ ペロブスカイトの耐久性の課題解決を重視しているため、0.3mm の薄板ガラスを採用している。0.3mm のガラスは、ディスプレイや携帯電話のカバーガラスに使われていて、世界的に標準になっており、薄板ガラスの中でも価格が安い。(D社)

なお、ペロブスカイト太陽電池の基板ガラスとして極薄板ガラスの製造ができるようになってきている。実際、日本電気硝子が、幅 1.4m、ロール巻き長さ 1km、薄さ 25 μ m の極薄板ガラスを実現しており、世界でもこれほど薄いガラスを製造できる企業は限られる⁸⁶とされる。また、極薄板ガラスは、ペロブスカイト太陽電池のほかに、折り畳みスマートフォン等での利用が見込まれている⁸⁷とされ、今後、極薄板ガラスのニーズの拡大と利用が進んでいくと考えられる。

なお、極薄板ガラスを Roll to Roll に適応する場合、フィルムの場合と比較して製造プロセスの難易度が高く、ペロブスカイト太陽電池用に製造するための技術的な課題があるが、ガラスという材料の観点では、サプライチェーン上、大きな問題はないと考えられる。

(2) 封止材とバリアフィルム

① 封止材

封止材は、水分、塵埃、酸素、紫外線などの外部環境からペロブスカイト太陽電池を保護する役割を持つことから、封止材の性能が非常に重要になってくる。

ヒアリングした企業からは、封止材の製造コスト等に関して、以下のような意見があった。

- ・ ガラス基板の場合の封止材のコストは高い。OLED で使われている封止材でもコストが高い。(A社)
- ・ 封止材については、OLED の経験があるので塗布のノウハウを持っている。封止材の防水性能は OLED と同等のレベルが必要である。(B社)

⁸⁶ 葭本隆太(著)／宮坂力(監修)「素材技術で産業化に挑む ペロブスカイト太陽電池」日刊工業新聞社(2024年9月)

⁸⁷ Ibid.

- ・ 封止材は耐湿性の問題があるので、会社とも必死で開発を進めていると思う。(C社)

OLED は、ペロブスカイト太陽電池と同じく水分に弱いため、封止材に非常に高い保護性能が求められる。封止材メーカーの MORESCO 社は、ガラス基板の OLED 用の封止材を開発し、中国や台湾のメーカーに供給している⁸⁸とされているが、ヒアリングした企業から、OLED の封止材でさえコストが高いことが課題になっていることを伺うことができた。

一方、フィルム基板のペロブスカイト太陽電池に封止材を適用する場合は、折り曲げを繰り返してもペロブスカイト太陽電池の耐久性が損なわれないことが求められる。積水化学は、NEDO の「次世代型太陽電池実証事業」で封止材の開発に取り組むなど、フィルム型ペロブスカイト太陽電池の耐久性を高める上で重要なファクターである封止技術のノウハウを蓄積しているとしている⁸⁹。現在、同社は、フィルム型ペロブスカイト太陽電池の耐久性能として 10 年相当を達成しており、20 年相当の信頼性を目指している⁹⁰。

なお、ヒアリングした企業から、中国が「ペロブスカイト太陽電池向け以外の封止材を押さえている」として、中国が特許でペロブスカイト太陽電池に適した封止材を押さえてしまう可能性について懸念するコメントがあった。

② バリアフィルム

基板がフィルムの場合は、封止材に加えて、発電層を水分等から保護するバリアフィルムが必要である。

バリアフィルムは、数十 μm の厚さのプラスチックフィルムであるが、非常に高価であることが課題である。バリアフィルムは、運搬・設置費用を含めたペロブスカイト太陽電池モジュールのコスト全体の 30%以上を占めるとされる⁹¹。現在、国内では、麗光、東レ、リンテック等がペロブスカイト太陽電池用のバリアフィルムについて研究開発を行っている⁹²。

なお、ヒアリングした企業から、「バリアフィルムは、あまり製造のキャパシティが無いため、量産に向けた投資をしないと供給のボトルネックになる。」というコメントがあった。

⁸⁸ Ibid.

⁸⁹ 積水化学工業株式会社「薄くて曲がるペロブスカイト太陽電池」で描く、新しい資本主義の勝ち筋」積水化学 Web サイト (2023 年 10 月 12 日)

<https://www.sekisui.co.jp/connect/article/1393104_40890.html>

⁹⁰ 積水化学工業株式会社「ペロブスカイト太陽電池事業説明会」資料 (2025 年 1 月 7 日)

⁹¹ 葭本隆太 (著) / 宮坂力 (監修) 「素材技術で産業化に挑む ペロブスカイト太陽電池」日刊工業新聞社 (2024 年 9 月)

⁹² Ibid.

(3) ペロブスカイト層材

ペロブスカイト層は、ヨウ化鉛やヨウ化メチルアンモニウム等の原料を合成した化合物で発電層を構成する。ヒアリングした企業からは、ペロブスカイト層の製造技術、製造コスト等に関して以下のような意見があった。

- ・ ペロブスカイト層の材料は、試薬メーカーに仕様を出して合成してもらっている。ペロブスカイト層のコストは、全体の10%以下である。(A社)
- ・ ペロブスカイト層は、インク化するために溶剤に溶かして混ぜるだけであり、難しい技術ではない。特別な材料が必要なわけではない。(B社)
- ・ 化学メーカーであるので有機合成⁹³は得意であり、内製することができる。試薬を外部から購入することもある。(C社)

ペロブスカイト層の製造に関しては、「難しい技術ではない」、「有機合成が得意であり、内製できる」等のコメントがあったことから、概ね問題が無いということが分かった。

なお、ペロブスカイト層には、人体や環境に有害な鉛が含まれていることから、生産における適切な鉛の管理や回収・廃棄における鉛の管理に関する規則作りについて議論されつつある。これに関して、ペロブスカイト層の製造における鉛の削減や、鉛の代替としてスズを使う研究開発も進められている⁹⁴。

ペロブスカイト太陽電池における鉛の回収・リサイクルについては後述する。

(4) 電子・正孔輸送層材

電子輸送層における電子輸送材と正孔輸送層における正孔輸送材の性能は、ペロブスカイト太陽電池の変換効率や耐久性等に影響する。電子輸送層は、酸化スズや酸化チタン等の無機酸化物か、炭素化合物の「フラーレン」を材料とする。「フラーレン」は高品質な層を作り易いが、コストが高い。一方、正孔輸送層は、有機物のスピロオメタッド(Spiro-MeOTAD)、PTAA等を材料とする。

ヒアリングした企業からは、電子・正孔輸送層の製造技術、製造コスト等に関して、以下のような回答があった。

- ・ ペロブスカイト層の材料よりも、電子輸送層や正孔輸送層などに使う有機化合物のコストの方が高い。(A社)

⁹³ ペロブスカイト結晶には有機物が含まれる。

⁹⁴ 葎本隆太(著)／宮坂力(監修)「素材技術で産業化に挑む ペロブスカイト太陽電池」日刊工業新聞社(2024年9月)

- ・ 順構造の場合、電子輸送層の結合度を上げるには添加剤が重要である。正孔輸送層は酸化ニッケル (NiO₂) を使うが、無機系材料を使った方が楽である。その意味でまだ研究レベルである。(A社)
- ・ 電子輸送層の場合、生産するためのスペックが必要。(A社)
- ・ 電子輸送層や正孔輸送層に使われる有機系材料のコストが高い。各社で材料の構造や仕様が異なるので量産効果が出せないことが一因である。仕様がなかなか統一しないのは、基板の種類(ガラス、フィルム)と積層の順序(順構造、逆構造)の4つの組合せで開発が進んでおり、それぞれで使う材料・仕様が違うため、まだ決定的な組合せが見通せていないからである。(B社)
- ・ 電子・正孔輸送材の供給に問題は無い。(C社)

電子・正孔輸送層の製造に関しては、一部、「電子・正孔輸送材の供給に問題は無い」というコメントが見られたが、「まだ研究レベルである」、「各社で材料の構造や仕様が異なるために量産効果が出せないで、有機系材料のコストが高くなる」等といったコメントがあったことから、価格面で課題があることが分かった。

なお、中国の化学品商社兼メーカーが、自社の Web サイトで、「自社開発により高純度の正孔輸送材料(製品)を実現し、いつでも量産化に対応できるような体制を構築しているため、ペロブスカイト太陽電池が実用化された際にも安定供給が可能である。」という趣旨の製品紹介記事⁹⁵を掲載していることから、海外の電子・正孔輸送材料の開発の状況にも注視していく必要があると思われる。

(5) 透明・裏面電極材

透明電極は導電性を有し、可視光を透過する材料である ITO や FTO を用いる。これを、ペロブスカイト太陽電池のフィルム基板かガラス基板に使用する。

一般的に、フィルムは耐熱性が低いため、150℃未満で成膜できる ITO を使用する。一方、ガラス基板は高温による成膜が可能であるため、ITO と比較して化学的安定性が高い FTO を利用することができる⁹⁶。

前述した 7.1.1 項の(2)「インジウム」の議論に関連するが、ヒアリングした企業からは、「ITO は透明電極に多量に使われており、LCD や OLED 等にも使われているので、ボトルネックになる材料かも知れない」(B社)、「LCD や OLED といったフラットパネル・ディスプレイにも使われており、ペロブスカイト太陽電池が大量に生産されるようになると

⁹⁵ 「自社開発「ペロブスカイト太陽電池 正孔輸送材料 Spiro-MeOTAD」グリーン化の切り札「ペロブスカイト太陽電池」実用化を支える」HighChem (2024年3月15日)

<<https://highchem.co.jp/article/product02/>>

⁹⁶ 葭本隆太(著)／宮坂力(監修)「素材技術で産業化に挑む ペロブスカイト太陽電池」日刊工業新聞社(2024年9月)

不足するかもしれない」(D社)といった回答があり、ITOのコストと生産能力がボトルネックになる可能性が指摘された。

ITOは、供給面だけでなくコストの観点からも代替材料の開発が期待されている。その中で、溶液塗布の工程で基板に成膜できる代替材料として、比較的安価で高い導電性や透明性を持つ「銀ナノワイヤ」が期待されている。しかし、ヒアリングした企業からは、「銀ナノワイヤは腐食の問題⁹⁷があり、まだ問題解決の目途が立っていない。」(A社)というコメントがあり、実用化までには時間がかかると考えられる。

一方、裏面電極に関しては、ヒアリングした企業からは、製造技術、製造コスト等の課題についてコメントはなかったが、銀ナノワイヤは、透明電極だけではなく、裏面電極の銀や銅等の代替材料としての利用も検討されている⁹⁸。

なお、ヒアリングした企業から、構成材全体のサプライチェーンに関する経済安全保障上の懸念として、以下のようなコメントがあった。

- ・今は顕在化していないが、研究開発が進んでこの材料が良いということがわかると、中国がその材料の供給を押さえにかかると問題になる可能性がある。
- ・政府系ファンドの産業革新投資機構(Japan Investment Corporation:以下JIC)グループが行った、半導体材料大手のJSRの買収のようなことをして頂けるのであれば期待したい。国が出資して、構成材料のノウハウを守って頂きたい。

7.1.3. ペロブスカイト太陽電池生産

ペロブスカイト太陽電池の生産プロセスにおいては、ペロブスカイト層、電子輸送層、正孔輸送層等を $1\mu\text{m}$ 以下の非常に薄い層を均一に、しかも大面積で塗布し、連続して成膜する技術が鍵を握る。ペロブスカイト太陽電池の量産化に向けた塗布・連続成膜技術には、スプレー、インクジェット、Roll to Roll等の方式がある。

(1) ペロブスカイト太陽電池の塗布・成膜技術

ヒアリングした企業からは、開発しているペロブスカイト太陽電池の塗布・成膜技術の特徴等に関して、以下のような回答があった。

- ・建材の種類が多く、表面が多少反っていることがあるので、クリアランスが広い。また、建築物は個別設計になっているため、BIPVの要求仕様は多様である。このため、

⁹⁷ 銀は、ペロブスカイト層の主要原料であるヨウ素等のハロゲンを含むハロゲン化合物と反応しやすく、それにより腐食・劣化する(出典: 葎本隆太(著)/宮坂力(監修)「素材技術で産業化に挑む ペロブスカイト太陽電池」日刊工業新聞社(2024年9月))

⁹⁸ 葎本隆太(著)/宮坂力(監修)「素材技術で産業化に挑む ペロブスカイト太陽電池」日刊工業新聞社(2024年9月)

多少反っているガラス表面を効率的に塗ることや、個別仕様に対応できることを考えてインクジェット方式を採用した。インクを吐出するノズルの数で幅を調整できることが利点である。表面張力を利用した普通のコーターでは、ガラス表面にわずかに数 μm 程度の凹凸があるとコーターにぶつかってしまう。安い建材用ガラスはそれなりの凹凸や反りがあるので、そこを意識してインクジェット方式を採用した。(B社)

- ・ペロブスカイト太陽電池の塗布技術に関しては、層によって使い分けている。ペロブスカイト（発電）層はスプレー方式を採用した。自動車部品向け部品の塗装の厚みは20~30 μm であるが、ペロブスカイト層は1 μm 以下のため、自社の保有技術で対応できるかが課題であった。しかし、スプレー技術でも工夫して均一に塗ることができる方策を見出した。ここはノウハウの塊であり、秘匿特許を出しているが、非公開の技術もある。スプレー技術の良いところは、基板とスプレーヘッドの間隔はある程度広く取ることができ、基盤の凹凸の感度に弱く、拡散角度をある程度広げられることである。一方、正孔輸送層や電子輸送層の膜厚は0.1~0.2 μm と薄いため、スプレー式では拡散角度を絞る方式をとっている。(D社)
- ・塗布に関しては、フル・ラインナップの技術を取り揃えている。工程のスピード、生産量、適性に合わせて、全ての塗りの方法を組み合わせ、製品化することができる。これは自動車部品生産で培った技術であり、多品種少量生産に向けた方法である。(D社)

ヒアリングした企業は、ガラス型、薄板ガラス型、タンデム型（ガラス型）のペロブスカイト太陽電池を開発している企業であるが、いずれも、ペロブスカイト太陽電池の量産に向けた、他社が真似をすることができない、レベルの高い独自の塗布・成膜技術を開発していることが伺えた。

なお、フィルム型ペロブスカイト太陽電池の成膜に適用される Roll to Roll 技術であるが、積水化学が、独自技術である「封止、成膜、材料、プロセス技術」を活かし、10年相当の屋外耐久性を確認し、30cm 幅の Roll to Roll 製造プロセスを構築している。また、同製造プロセスによる発電効率 15%のフィルム型ペロブスカイト太陽電池の製造にも成功している。現在、さらなる耐久性や発電効率の向上、1m 幅の製造技術の確立等に向けて開発を加速させている⁹⁹。

⁹⁹ 積水化学工業株式会社・株式会社三菱 UFJ 銀行「フィルム型ペロブスカイト太陽電池の共同実証実験開始～国内初、銀行店舗・研修施設での実証実験～」(2024年12月23日)

< https://www.sekisui.co.jp/news/2024/1425530_41090.html >

(2) ペロブスカイト太陽電池の量産技術

経済産業省は、2040年におけるペロブスカイト太陽電池による発電量の目標値を20GW（大幅なコスト低減等が進んだ場合は40GW以上）とすることを、「次世代型太陽電池戦略」¹⁰⁰で宣言した。

企業側が、このような大規模の発電量となるペロブスカイト太陽電池の量産体制を作っていくには、まず、量産技術を確立し、どのような立ち上げ方で規模を拡大していくかという生産計画が重要である。

ペロブスカイト太陽電池の量産技術に関する課題については、ヒアリングした企業から以下のような回答があった。

- ・ 1 μ m以下の厚さのペロブスカイト材を、均一に、しかも大量に塗布するための技術が必要である¹⁰¹。また、ペロブスカイト材を塗布した後の、ペロブスカイト結晶を形成するドライプロセスの条件を特定することが重要な課題である。(A社)
- ・ タクト（1つの製品を作る時間）のボトルネックは、ドライプロセスとレーザーによる層削除プロセスであり、これらが量産の鍵を握る。ドライプロセスは、ペロブスカイトの結晶成長に直結しており、太陽電池の発電性能に最も影響する重要なプロセスである。面積が大きくなると基板材料の熱伝導率もバラツキ易くなるので、この制御が難しい。(B社)
- ・ ペロブスカイト太陽電池製造のノウハウで最も重要なのは、ペロブスカイト層の結晶成長プロセスである。この部分は、ケミカルの部分の技術と結晶を膜として作り上げる技術が必要であり、陶芸作りに近い技術である。機械だけでは制御できないものがあり、当該技術をコピーすることができないような仕組みを作っていくことを考えている。(D社)

ヒアリングでは、1 μ m以下の厚さのペロブスカイト層を、均一に、しかも大量に塗布するための技術及びペロブスカイト結晶を形成するドライプロセスを制御する技術が、企業間の共通の課題として挙げられた。

なお、ヒアリングでは、以下のように、経済安全保障の観点から、ペロブスカイト太陽電池製造技術やノウハウの流出について国の対策を求めるコメントもあった。

- ・ シリコン系太陽電池の安い製造装置が、中国に出回ってシリコン系太陽電池を容易に生産することができるようになったので、政府は、日本のペロブスカイト太陽電池製造のノウハウが流出しないように技術を守ってほしい。

¹⁰⁰ 経済産業省「次世代型太陽電池戦略」（2024年11月28日）

¹⁰¹ Roll to Rollで生産する場合、塗工速度がコストに跳ね返ってくる。

- ・ 将来的にキーとなる装置などは輸出規制をかける必要がある。そういった意味で、自社のペロブスカイト太陽電池製造に関する技術は、非公開特許技術にしている。

(3) ペロブスカイト太陽電池の量産に対する設備投資の規模と生産キャパシティ

一方、ペロブスカイト太陽電池の設備投資の規模と生産キャパシティに関する課題については、ヒアリングした企業から以下のような回答があった。

- ・ 原発並の規模の生産量を考えると、設備投資額もかなりの規模になる。この投資をどうするのか。大変な課題である。(A社)
- ・ 現在、ITO 膜を施したフィルムを生産している企業の多くは規模が小さく、生産キャパシティが備わっているというわけではない。今後、GW レベルのペロブスカイト太陽電池の生産を行う上で、ITO 膜を施したフィルムの生産キャパシティを引き上げるのであれば、相当規模の設備投資をしないと供給のボトルネックになる。(B社)
- ・ 現時点のペロブスカイト太陽電池の生産コストは、生産量が少ないため、シリコン太陽電池の生産コストよりもかなり高い。大規模生産設備の立ち上げには、国からの補助が必要になると思う。(C社)
- ・ 生産規模が大きくなればなるほど、企業として投資をどうすれば良いかを考えざるを得ない。ペロブスカイト太陽電池の量産に向けてはこれからの投資となるが、事業予見性のないものに投資することはできない。そのため、どの程度のペロブスカイト太陽電池の需要が込めるか、それをしっかりと見定めることが必要である。(C社)
- ・ 政府に対して、ペロブスカイト太陽電池量産のための設備投資の支援を期待したい。(D社)

ヒアリングした企業から、ペロブスカイト太陽電池の量産に向けた設備投資の規模感に関して以下のような見解が示された。

- ・ Roll to Roll の場合、変換効率 15%として年間 1GW 級の発電量を得るためには、年産 700 万 m²、日産換算では 2 万 m² のシートとなり、1 つの 1m 幅の生産ラインでは 1 時間 1,000m のシートの塗布速度で生産する必要がある。現実的には、複数の生産ラインを設置することになるため、相当な規模の設備投資が必要になると予想される。10GW 級の生産規模に拡大していくことは容易ではない。政府は、こういった莫大な規模の設備投資を必要とすることを理解していない。
- ・ 政府は、ワット単価の安い太陽電池を希望しているようであるが、コスト的にはすぐにシリコンには勝てないので、高付加価値路線を取らざるを得ない。企業としては、ワット単価を下げるために、ペロブスカイト太陽電池生産のための設備投資を行うことが厳しい。

また、ヒアリングした企業から、「有機系材料の生産や製造設備のノウハウは、中国等と比較して、日本に優位性があるのではないか」というコメントがあったが、現時点では、各企業とも、ペロブスカイト太陽電池の量産に向けた設備投資に関して見通しを持つことができないことから、設備投資については、企業としてまだ検討段階には至っていないことがわかった。

以上から、企業としては、中国との価格競争を含めた事業化の見通しが不透明なため、ペロブスカイト太陽電池の大量生産に向けた設備投資について安易に考えるわけにはいかないという心情を伺うことができた。

なお、積水化学は、政府が目指す 2030 年までの早期の GW 級の供給体制の構築の実現に向けて、2024 年 12 月 26 日に、フィルム型ペロブスカイト太陽電池の量産化を開始することについて決定したことを発表した。同社は、2027 年に 100MW 製造ライン稼働を目指し、設備投資（投資総額 900 億円）を行うことを決定し、2030 年には 3000 億円以上の追加投資を行って GW 級の製造ライン構築を目指すとしている¹⁰²。これにより、日本企業が、政府の強力な後押しを受けて、ペロブスカイト太陽電池の量産体制に向けて大きく動き出したことになる。

7.1.4. 応用製品生産

日本ではペロブスカイト太陽電池の応用製品として、主に建材一体（BIPV）向けの製品、IoT 向け製品等の開発が進められている。BIPV 向けの製品にはガラス型及びフィルム型のペロブスカイト太陽電池、自動車向けの製品には薄板ガラス型やフィルム型のペロブスカイト太陽電池、また、IoT 向け製品にはフィルム型のペロブスカイト太陽電池の利用が検討されている。

一方、中国や欧州などにおいては、従来のシリコン型から、より高効率なタンデム型への切り替えを見込んで、タンデム型ペロブスカイト太陽電池の開発に力が注がれている。これは、中国や欧州では、既に大規模なシリコン系太陽電池を設置済みで、あと数年で 20 年ほどの製品寿命を迎えるものが出てくることから、シリコン系太陽電を入れ替える際に、タンデム型ペロブスカイト太陽電池として変換効率を引き上げる戦略であると考えられる。

BIPV 向けのペロブスカイト太陽電池製品と自動車向けのペロブスカイト太陽電池製品の開発の状況、課題等については、ヒアリングした企業¹⁰³から以下のような回答があった。

(1) BIPV 向け製品

- ・ 倉庫や建築物の側壁利用が考えられる。(A 社)

¹⁰² 積水化学プレスリリース「ペロブスカイト太陽電池の量産化に関するお知らせ」（2024 年 12 月 26 日）

¹⁰³ 今回ヒアリングできた企業は、建材一体型のペロブスカイト太陽電池製品（ガラス型（タンデム型を含む）、薄板ガラス型）や自動車向けのペロブスカイト太陽電池製品（薄板ガラス型）の開発を進めている企業等である。

- ・ ビル系の BIPV をターゲットとしている。シンガポールやタイの都市部密集地域の建築物をターゲットとして、建材一体型のペロブスカイト太陽電池を展開することはあり得る。(B社)
- ・ 今のところ BIPV をターゲットとしている。電力需要が多い大型ビルを対象としている。発電した電力の地消ができることが重要である。発電地と電力需要地が離れていると電力のロスになる。(C社)
- ・ 軽い薄板ガラス型のペロブスカイト太陽電池の設置場所は、建築物が最初であると考えている(自動車への応用はその次)。既存建築の改築時に取り付ける BIPV が最初のターゲットである。(D社)
- ・ ペロブスカイト太陽電池の弱点は耐久性であるため、実用化にあたっての課題は、発電性能でなく、耐久性であると考えている。耐久性を向上させるには、基材のガスや水蒸気の透過率を極力下げることが必要である。フィルム型は曲げることができるが、耐久性との両立は難しい。一方、ガラスの場合は、耐久性は良いが、側壁設置の際の制約条件が大きく、新築物件の BIPV に限定される。(D社)
- ・ エネルギー変換効率が低いものは製品にならない、というわけではない。製品は性能により、松竹梅で用意する。工場のカーボンニュートラル化を考えると、より多くのペロブスカイト太陽電池モジュールを貼りたいとの要望があるため、エネルギー変換効率が低いものでも受け入れられると考えている。重要なのは耐久性であり、低い変換効率のもので揃えて低価格で提供することも可能である。(D社)
- ・ 建材メーカーという観点から BIPV をターゲットとしている。発電量の確保というよりも、BCP 的な対応での利用を考えている。(E社)
- ・ ペロブスカイト太陽電池の耐用年数は 15 年程度と聞いていたので、ペロブスカイト太陽電池の BIPV 製品は内窓タイプにこだわった。高層ビルのカーテンウォール(二重サッシ構造)の外側のガラスにペロブスカイト太陽電池を使う場合、15 年でガラスを交換することは現実的ではない。(E社)
- ・ 古い建築物の場合、窓ガラスが単板であることが多い。オフィスビル向けには二重サッシにして断熱効果を上げ、さらに発電するという付加価値を持たせる考え方をしていく。改装の際に、既存のビルに内窓を設置することで、断熱と発電の付加価値を見出ししていく。(E社)
- ・ 二重ガラス窓の場合は、他社からガラス型のペロブスカイト太陽電池を供給してもらい、Low-E ガラス、もしくは通常の建材用ガラスと組み合わせて BIPV を製造する。フィルム型の場合、内窓に貼る(内窓タイプ)ことを考えている。(E社)

(2) 自動車向け製品

- ・ 薄板ガラス型のペロブスカイト太陽電池の変換効率が 30% ぐらいになると、無充電で EV を走らせることができるのではないかと思う。しかし、EV 車の場合、電欠すると

立ち往生するので、ペロブスカイト太陽電池は電欠の際の非常時の電源として考えている。(D社)

- ・ 薄板ガラス型のペロブスカイト太陽電池 装着の EV が普及するのは 2030 年頃になると想定されるが、車載はコストとの兼ね合いになると思う。薄板ガラス型のペロブスカイト太陽電池は、高級車であれば搭載できるかもしれないが、大衆車の場合はコスト的に搭載が難しくなると思う。(D社)

(3) その他 IoT 向け製品等

- ・ センサー等の電源としてペロブスカイト太陽電池を使用した製品開発がされている（電力消費量が少ない）が、ペロブスカイト太陽電池である必要はない。シリコン系太陽電池で良いのではないか。政府がセンサー等の電源として注目しているのは、ペロブスカイトが軽量であること、ペロブスカイト太陽電池の変換効率¹⁰⁴が高いこと、狭小地（狭いエリア）で発電できることであり、室内での利用は考えていないのではないか。(C社)

これらのヒアリングや各種情報から、ペロブスカイト太陽電池の応用は、ビル、工場、倉庫等の窓や側壁を利用した BIPV 向けの製品が最初で、自動車等への応用はその後になると考えられている。

BIPV 向け製品の実用化においては、ペロブスカイト太陽電池の耐久性の課題や製品の価格の問題（決して安くはない）があるため、ビル、工場、倉庫等の窓や側壁を利用した普及可能な BIPV 向け製品の開発には時間を要すると考えられる。

ペロブスカイト太陽電池の EV 車への応用であるが、高効率のタンデム型ペロブスカイト太陽電池を EV 車に活用した場合、太陽光発電のみで、1日の走行距離 20~30km を賄えるようになる可能性があるとして期待されている¹⁰⁵。

この他、ペロブスカイト太陽電池の新幹線の防音壁への設置に関する実証実験¹⁰⁶や無線通信基地局への設置に関する実証実験¹⁰⁷が行われており、ペロブスカイト太陽電池の応用範囲が広がっていく可能性は十分あると考えられる。

¹⁰⁴ 特にタンデム型。

¹⁰⁵ よく晴れた1日の充電量で50km以上の走行を可能にするには、EVに変換効率35%以上で1kW以上の太陽電池モジュールを搭載する必要がある。実際に自動車に搭載する太陽電池モジュールで変換効率35%を確保するためには、一つ一つのセルベースで少なくとも38%程度が必要である。(出典：産業技術総合研究所「タンデム型太陽電池とは？ 科学の目でみる、社会が注目する本当の理由」(国研)産業技術総合研究所マガジン (2024年7月24日))

<https://www.aist.go.jp/aist_j/magazine/20240724.html#tid-8>

¹⁰⁶ SEKISUI「ペロブスカイト太陽電池付き防音壁の実証実験について」(2024年12月18日)

(https://www.sekisui.co.jp/news/2024/1425416_41090.html)

¹⁰⁷ KDDI「国内初、曲がる太陽電池「ペロブスカイト型」を活用した基地局実証を開始」(2023年12月6日) (https://newsroom.kddi.com/news/detail/kddi_pr-1064.html)

7.1.5. 設置・施工

ペロブスカイト太陽電池製品の設置・施工方法の課題は、用途によって異なる。例えば BIPV 向けであっても、ガラス型なのか、フィルム型なのかによって、ペロブスカイト太陽電池製品の設置・施工方法の課題が異なる場合がある。

ヒアリングでは、ペロブスカイト太陽電池製品の設置・施工に係る取組み、課題等について、以下のような回答があった。

(1) BIPV 向け製品

- ・ 倉庫や建築物の側壁に設置する場合、建築基準法や消防法の制限がある。(A 社)
- ・ ガラス型の施工については既存の建築施工基準で大丈夫であるが、現状の法制度で、建材としてのフィルム型をどのように見るのか。現状の法体系では、フィルムは規制の中に入っていないので、消防法に引っかかるかもしれない。どのようにそれらをクリアするのか。(C 社)
- ・ BIPV ガラスの発電能力が終了しても、ガラスはそのまま使うことができる。BIPV ガラスは、既存の建築物に入れているので、ガラスの交換ができる。既存の建築物のガラスの交換の手間と同じである。(C 社)
- ・ 工場の建築物の壁や積載制限のために取り付けられない屋根に対して、どのようにすれば低コストで取り付けられるのか。太陽電池モジュールの安全規格 JIS C 61730、建築基準法、消防法などに合致するような取り付け方について実証しながら開発している。(D 社)
- ・ ペロブスカイト太陽電池は軽いので内窓に接着剤で貼ることができるが、工場ではビスやリベットを使う必要がある。規制で 10W までしか貼ることができない。それ以上のワット数になると据付にしないといけない。(D 社)
- ・ フィルム型の場合、内窓に貼る（内窓タイプ）ことを考えている。内窓タイプは、ビルのリニューアル時に二重ガラスの室内側に設置することを想定している。内窓タイプであれば、防火対策が不要なので、取り換えが比較的容易である。(E 社)
- ・ カーテンウォールを採用した新築ビルに対しては、上下の開口部の間に取り付ける製品（スパンドレル内蔵タイプ¹⁰⁸）を考えている。この場合、防火対策が必要である。(E 社)
- ・ 外窓で施工する場合には、厳しい防火試験等をクリアしなければならないので課題が出てくると思う。縦走ビルで敷地一杯に建てる場合や延焼ラインに家屋がある場合には、ペロブスカイト太陽電池の BIPV の採用には課題が出てくるのではないか。(E 社)
- ・ フィルム型のペロブスカイト太陽電池の場合、防火の観点から、防火試験に合格しないと、認定されていないものを内窓に直接貼って良いかという課題がある（外側に貼

¹⁰⁸上下の開口部（窓など）の間に取り付けるタイプ。

る場合も含めて)。今の防火規制の状態では、フィルム型のペロブスカイト太陽電池は窓に使えないと思う。(E社)

- ・ 窓の設置・施工の基準が国によって異なる。例えば、東南アジアでは基準がかなり緩い。中国を含めて外国と日本では建材の規格が異なるので、単純に標準化することができない。(E社)
- ・ ペロブスカイト太陽電池を屋根に載せた場合、火事の時の消火活動に制約を受ける可能性がある。米国では、消火活動時に太陽電池に感電して死亡した事故の例がある。ペロブスカイト太陽電池を側壁に取付けて漏電したら大変なことになる。漏電対策は必須である。普及させるには、安全面を確認することが必要である。(日本住宅性能検査協会)
- ・ ペロブスカイト太陽電池の設置を最も望んでいるのは工場や倉庫ではないか。ペロブスカイト太陽電池は軽量なので屋根の補強工事を必要とはしない。(日本住宅性能検査協会)

(2) 自動車向け製品

- ・ 自動車に搭載する場合、ボンネットは運転席の前にあるので、ボンネット（前側部分）に薄板ガラス型のペロブスカイト太陽電池を貼り付けるのは、衝突安全性の点から難しい（別途、強度試験をクリアしなければならない）。よって、車体の天井や側面、或いは後部（リアパネル）に貼り付けることになる。サンルーフがあると、内側から貼ることができる。(D社)

(3) その他関連事項

- ・ ペロブスカイト太陽電池の優位性は、軽量、発電効率（シリコン系太陽電池を上回った場合）及び形状の自由度であると理解している。但し、ペロブスカイト太陽電池の応用製品の設置は簡単ではない。軽いが故に、風で飛ばされないような設置方法が求められる。屋根や野立て以外の設置場所を探索しないとイケない。(日本住宅性能検査協会)
- ・ ペロブスカイト太陽電池は、マンションの修繕時に設置する機会があるため、マンションなどの大規模修繕会社が興味を持っているようだ。(日本住宅性能検査協会)
- ・ これまでシリコン系太陽電池で検証していない問題が、ペロブスカイト太陽電池で起こる可能性はある。(日本住宅性能検査協会)

以上から、ガラス型、フィルム型を問わず、ペロブスカイト太陽電池を BIPV 向け製品としてビル、工場、倉庫等の側壁や窓ガラスに設置・施工する場合に、現在の建築基準法や消防法等の規制に抵触する可能性があることについて、各社共通して懸念していることがわかった。

7.1.6. 回収・リサイクル

現在、シリコン系太陽光パネルのリサイクルのガイドラインは策定されているが、法律で明確化されているわけではない。EU 各国やアメリカの一部の州では、太陽光パネル処理に関する規制が進んでいる。EU では 2012 年の電気電子機器廃棄物指令（Directive on Waste Electrical and Electronic Equipment: WEEE）により、使用済み太陽光パネルの回収・リサイクルが義務化されている。

国内でも、太陽光パネルの大量廃棄が見込まれる 2030 年代に向けて、太陽光パネルのリサイクル問題が大きく取り上げられている。シリコン系太陽光パネルは、ほぼすべてのパネルリサイクル事業者が処理可能であるが、有害物質である鉛やカドミウム化合物を含む太陽光パネルのリサイクル処理ができるか否かは、設備や後工程の違いから、リサイクル事業者によって異なっている¹⁰⁹。

そのような中で、ペロブスカイト太陽電池の原料であるヨウ素や鉛及び BIPV 製品等の回収・リサイクルに関する技術や方法については、ようやく議論が始まったばかりである。

ペロブスカイト太陽電池の回収・リサイクルに関する技術的見通しや課題について、ヒアリングした企業及び関係機関から以下のような回答があった。

(1) 原料の回収・リサイクル

① ヨウ素

- ・ ヨウ素は、造影剤など医療用途で使われなかったものをリサイクルに回しているが、全体の使用量から考えると無理にリサイクルする必要はないのではないかと。鉛と違って人体に影響がある物質ではない。(A 社)
- ・ ヨウ素のリサイクルの費用対効果は良くないが、サーキュラー・エコノミーの観点からリサイクルすることが求められると思う。(B 社)
- ・ 薬品で、廃棄するペロブスカイト太陽電池を粉砕したものから、薬品によりヨウ素と鉛とそれ以外に簡単に分けられる。(D 社)

② 鉛、インジウム

- ・ ペロブスカイト太陽電池から鉛を回収することは技術的に可能である。鉛回収システムは、既に自動車のバッテリーで実績があり、鉛のリサイクルができる状態にある。このシステムに乗せればよいと思う。(A 社)
- ・ インジウムはディスプレイパネルでも回収している。ペロブスカイト太陽電池の場合は、溶解してインジウムや鉛といった金属を回収するのが現実的ではないか。(A 社)

¹⁰⁹ 一般社団法人 太陽光発電協会「太陽電池パネルの適正処理・リサイクルの推進について」第 2 回再エネ発電設備の廃棄・リサイクルのあり方に関する検討会（2023 年 5 月 19 日）

< https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/disposal_recycle/pdf/002_03_00.pdf >

- ・ ペロブスカイト太陽電池から鉛やインジウムを除去する技術が必要。もともと鉛やインジウムは溶かして塗っているので、それらを回収することは可能である。(B社)
- ・ 現在のペロブスカイト太陽電池には鉛が使われているので回収することが課題になると思われる。鉛の回収に関する技術開発が必要になる。(E社)
- ・ 鉛は完全リサイクルが可能である。ペロブスカイトは、ペロブスカイト太陽電池を粉々に粉砕して水に溶かしてリサイクルすることが可能である。(東京大学 瀬川教授)

(2) BIPV 向け製品の回収・リサイクル

- ・ 建材は、産業廃棄物基準で廃棄される。BIPV 製品のリサイクルについては、ガラスメーカーなどと話をしている。(B社)
- ・ BIPV 製品のリサイクル（回収、ペロブスカイト太陽電池の引きはがしなど）の方法に関してはまだ検討していない。簡単にコネクタの取り外しができるような設計も必要になる。(E社)

(3) ペロブスカイト太陽電池廃棄コスト

- ・ シリコン系太陽電池は、既に山手線内の面積の 752 個分が設置されている。これだけあるとシリコン系太陽電池のリサイクルには手間がかかる。家庭用太陽電池パネル廃棄コストは、1枚あたり 3000 円程度であり、ペロブスカイト太陽電池の廃棄コストの方が安い。(東京大学 瀬川教授)

(4) 必要な政策、課題等

- ・ 先ずは、既存のシリコン系太陽電池に対して、リサイクルのスキームを作って循環させることを政策として検討することが必要である。ペロブスカイト太陽電池もその政策に乗せれば良いのではないか。(C社)
- ・ 太陽電池のリサイクルが難しい要因の一つは、その使用期間が少なくとも 20 年と長いことである。自動車の場合は誰が使用したかが分かるが、太陽電池の場合は誰が使用したかが分からない。(C社)
- ・ 現在、ペロブスカイト太陽電池製品の基本品質確保のための開発で手一杯である。リサイクルまで考慮した設計にまで及んでいないが、サーキュラー・エコノミーを考えた設計にする必要性は感じている。(D社)
- ・ シリコン系太陽電池の処理方法は確立されている。ペロブスカイト太陽電池の回収・リサイクルについてはそれほど問題にならないのではないか。(日本住宅性能検査協会)

最近、ヨウ素製造会社がヨウ素のリサイクルに取り組んでいる¹¹⁰が、ヒアリングした企業・協会の意見をみると、ヨウ素のリサイクルについては、それほど大きな問題として考えていないと思われる。

一方、ペロブスカイト太陽電池の原料として使用される鉛の回収・リサイクルについては、ヒアリングした企業の意見をみると、鉛の回収・リサイクルができる状態にあり、大きな問題ではないという意見や、鉛の回収に関する技術開発が必要であるという意見があり、見解が分かれた。

これから、BIPV 向けをはじめとするペロブスカイト太陽電池の応用製品が出現していくと考えられるが、ヒアリングした企業の意見をみると、ペロブスカイト太陽電池の応用製品の回収・リサイクルに関する技術及び方法については、まだ具体的な検討が始まっていないと思われる。

7.2 ペロブスカイト太陽電池普及策に関する意見（ヒアリングより）

(1) ヒアリングした企業・協会の意見

ヒアリングした企業・協会から、ペロブスカイト太陽電池の普及策について、以下のようない意見があった。

- ・ 着実にペロブスカイト太陽電池を導入できるところから市場を作っていくのが良い。
- ・ 太陽光パネルが日本の景観を壊しているということから、ペロブスカイト太陽電池のBIPV 向け製品の普及策はあり得る。
- ・ 発電だけではなく、蓄電のことも考えないと安定化電源は実現できないだろう。
- ・ 分散電源の議論で、地方で再エネの地産地消が唱えられているが、政策的には地方に裨益するようにしないといけない。

(2) 東京大学瀬川教授の見解

東京大学瀬川教授より、ペロブスカイト太陽電池の普及策について、自身の見解として、「ペロブスカイト太陽電池製品の価格」と「FIT（電力買取方式）の課題」の2つの観点から意見を頂いた。

① ペロブスカイト太陽電池製品の価格

- ・ BIPV 向けペロブスカイト太陽電池製品の場合、蓄電池とのセットでどの程度廉価に製品を提供できるのかが、普及の鍵になる。

¹¹⁰ ヨウ素学会「日本にたくさんある資源って何だろう？ それはヨウ素！！」（2023年12月12日）

<https://www.catapoke.com/viewer/?open=f5778&lang=ja>

② FIT（電力買取方式）の課題

- ・ FIT は短期的なものには良いが、FIT が終了すると設置が進まなくなるので、やめた方が良い。FIT に頼り過ぎると事業継続しない。FIT よりオンサイト（地産地消型）にした方が良いのではないか。
- ・ FIT ではなく税控除方式を採用すべきである。耐久性が短いペロブスカイト太陽電池は FIT に馴染まないのではないか。米国ハワイ州は税控除方式である。同州の州法で、2040 年代に再エネを 100%達成することを決定している。同州は全米で最も電気料金が高く、太陽光発電、蓄電池ともに初期投資が高いため、各家庭の太陽光発電＋蓄電のコストの半分を税控除にしている¹¹¹。そうすると、最初から電気を買うよりも安くつく。補助金にすれば、業者も安定してものが入ってくる。税控除方式であれば外国資本が入りにくく、産業振興策にもなる。
- ・ RE100¹¹²の価値観は変わらない。製造業が製造で使う電力を再エネで賄っていくかが重要になってくる。企業がファイナンスを受ける場合は、プロジェクト・ファイナンスではなく、コーポレート・ファイナンスである。「あとこれだけ太陽光発電を導入すると RE100 にすることができる。そうすると企業価値が上がるので、コーポレート・ファイナンスで資金を借りたい。」ということができれば、現状でも資金が得られると思う。

7.3 ペロブスカイト太陽電池生産体制の整備に関する支援や補助金の強化に関する政府への要望（ヒアリングより）

ヒアリングした企業・協会から、ペロブスカイト太陽電池生産体制の整備等に関する支援や補助金の強化について、政府に対して以下のような要望があった。

(1) 生産体制の整備への投資に対する支援

- ・ 生産体制の整備に関する投資に対して、政府の支援を期待したい。
- ・ 官民協議会のメッセージとして、「支援対象に重点をおいてサポートする」ことが出されているので、そこは期待したい。

¹¹¹ UTokyo FOCUS「どうして電化が温暖化防止に必須なの？→瀬川浩司 GX 入門／身近な疑問 vs 東大」（2023 年 4 月 25 日）<https://www.u-tokyo.ac.jp/focus/ja/features/z1304_00225.html>

¹¹² RE100 とは「Renewable Energy 100%」の略称で、事業活動で消費するエネルギーを 100%再生可能エネルギーで調達することを目標とする国際的な協働イニシアチブである。RE100 には、情報技術から自動車製造までフォーチュン・グローバル 500 企業を含む多様な分野から企業が参加し、その売上合計は 6 兆 6000 億米ドルを超えている。日本からは、2025 年 1 月現在、89 社が RE100 に参加している。

（出典：「RE100・EP100・EV100 国際企業イニシアチブについて」日本気候リーダーズ・パートナーシップ (JCLP) <<https://japan-clp.jp/climate/reoh>>）

(2) 補助金の強化

- ・ いくつかの企業がペロブスカイト太陽電池の実証実験を行っているが、実証実験においては、政府からの補助が3分の2であり、残り3分の1を事業者側が負担している。事業規模が大きくなればなるほど、企業として投資をどのようにすれば良いかを考えざるを得ない。政府が、事業予見性があると判断したものについて、補助金を出して頂きたい（できれば100%補助して頂きたい）。そこまでして頂ければ、企業として意思決定が早くなる。中国と競争するためには、早くペロブスカイト太陽電池事業を立ち上げなければならないので、うまくバランスを持って政策誘導して頂くことが重要である。
- ・ BIPV 向けのペロブスカイト太陽電池製品が採用されやすいような補助金を付けて頂きたい。

(3) その他

- ・ リサイクルについては、政府主導でしっかり実施して頂きたい。まずは枠組みチームを作って、業界全体で進めていくことができれば良いと思う。

8. ペロブスカイト太陽電池の建築物への設置可能面積の推計に基づく 20GW 以上の需要創出が可能なシナリオの検討

ペロブスカイト太陽電池は、軽量性、柔軟性及び結晶シリコン太陽電池と同等以上の変換効率の性能等によって特徴付けられる。本章では、ペロブスカイト太陽電池の特性を最も活かせる設置場所を建築物として、全国の建築物におけるペロブスカイト太陽電池の設置可能面積について、いくつかの条件の下で推計した。

続いて、推計した建築物への設置可能面積に対して、ペロブスカイト太陽電池の変換効率別の最大発電容量を見積もり、それらが、「2040 年に 20GW（大幅なコスト低減等が進んだ場合は、約 40GW～）」という導入目標¹¹³に対してどの程度達成できるのかについて試算した。

最後に、建築物への設置により 20GW 以上の発電量を確保するための需要創出が可能なシナリオについて検討した。

8.1 建築物へのペロブスカイト太陽電池設置可能面積の推計

建築物へのペロブスカイト太陽電池設置可能面積の推計について、住宅及び非住宅分野（公共施設や工場・倉庫など）を対象とした先行調査¹¹⁴があり、かなり詳細な前提条件を置いて推計している。ここでは、先行調査の前提条件を一部採り入れながら総務省統計局が公表している「平成 30 年住宅・土地統計調査」¹¹⁵のデータを用いて、簡易的に設置可能面積を推計した。次に、「次世代太陽電池戦略」の中で目標とした発電容量 20GW が、この設置可能面積から試算した最大発電容量に対してどの程度の比率になるのかを把握するために、変換効率をパラメータとして感度分析を行った。

8.1.1. 住宅における設置可能面積の推計

住宅・土地統計調査では、住宅は戸建・長屋・共同住宅に区分されているため、それぞれに前提条件を置いて推計した。

(1) 戸建への設置可能面積の推計

戸建住宅の設置可能場所を屋根とし、建築面積と同等であると仮定した。また、現在の耐震基準が導入された 1981 年（昭和 56 年）以降に建築された住宅を対象とした。これは、ペロブスカイト太陽電池が軽量とはいえ、耐震性に劣る基準で建築された住宅への設置は

¹¹³ 経済産業省「次世代太陽電池戦略」（2024 年 11 月 28 日）

¹¹⁴ みずほ情報総研「平成 22 年度新エネルギー等導入促進基礎調査事業（太陽光発電及び太陽熱利用の導入可能性に関する調査）調査報告書」（2012 年 3 月）

¹¹⁵ 使用したデータの出典は、脚注に、総務省統計局「平成 30 年住宅・土地統計調査, 第〇表」として示した。

リスクがあると考えたからである。なお、建築面積のデータ¹¹⁶は建築年ごとに分類されていないため、建築年ごとに集計されている住戸数のデータ¹¹⁷から、建築年不詳を除く総戸数と1981年以降に建築された戸数の比率69%を用いて補正している。

先行調査¹¹⁸では屋根の形状まで考慮して推計しているが、設置可能面積を屋根面積の半分とした寄棟・切妻の屋根形状が全体の83%、屋根面積をそのまま設置面積とした陸屋根が6%であるとしている。ここでは少し保守的にみて、寄棟・切妻の屋根形状と同じく設置可能面積を屋根面積の半分とした。側壁への設置については、戸建は庇が取り付けられる場合が多いと考えて、設置可能面積には含めなかった。

以上の前提条件の下、表8-1に、建築面積の区分ごとの建築面積代表値（区分ごとの中間値）に戸数を乗じてその半分とした戸建住宅の設置可能面積の推計を示す。

表 8-1 戸建住宅の建築面積区分別設置可能面積の推計（建築時期が1981年以降を対象）

建築面積	建築面積 代表値(m ²)	戸数 (千戸)	屋根 設置可能面積(k m ²)
19 m ² 以下	15	58	0
20～29 m ²	25	495	6
30～39 m ²	35	1,077	19
40～49 m ²	45	1,752	39
50～74 m ²	62	7,210	223
75～99 m ²	87	4,296	187
100～124 m ²	112	1,995	112
125～149 m ²	137	1,167	80
150 m ² 以上	150	1,289	97
合計		19,340	764

(2) 長屋への設置可能面積の推計

長屋の設置可能面積は、戸建と同様、建築面積のデータ¹¹⁹から推計した。1981年以降の建築を対象にするための補正方法も同様に、建築年不詳の長屋を除いた戸数の総数と1981年以降に建築された戸数との比率66%を用いた。屋根の設置可能面積は建築面積の半分とし、側壁への設置はしないものとした。

以上の前提条件の下、表8-2に、建築面積の区分ごとの建築面積代表値（区分ごとの中間値）に戸数を乗じてその半分とした長屋住宅の設置可能面積推計を示す。

¹¹⁶ 総務省統計局「平成30年住宅・土地統計調査, 第180表」(2019年)

¹¹⁷ Ibid., 第5表

¹¹⁸ みずほ情報総研「平成22年度新エネルギー等導入促進基礎調査事業(太陽光発電及び太陽熱利用の導入可能性に関する調査)調査報告書」(2012年3月)

¹¹⁹ 総務省統計局「平成30年住宅・土地統計調査, 第180表」(2019年)

表 8-2 長屋住宅の建築面積区別設置可能面積の推計（建築時期が 1981 年以降を対象）

建築面積	建築面積 代表値(m ²)	戸数 (千戸)	屋根 設置可能面積(k m ²)
19 m ² 以下	15	59	0
20～29 m ²	25	16	0
30～39 m ²	35	193	3
40～49 m ²	45	132	3
50～74 m ²	62	157	5
75～99 m ²	87	43	2
100～124 m ²	112	16	1
125～149 m ²	137	6	0
150 m ² 以上	150	7	0
合計		628	16

(3) 共同住宅への設置可能面積の推計

最近の共同住宅、いわゆるマンションは、20 階建以上の高層物件が増えている。高層化すれば、それだけ側側壁積が増加するため、ペロブスカイト太陽電池の特長である軽量性や柔軟性を活かした側壁への設置が期待できる。

共同住宅に関する建築面積のデータが公表されていないため、先行調査の推計方法を採用した。まず、現在の耐震基準が適用された 1981 年以降に建築された共同住宅を対象として、1 棟あたり延床面積を「1 戸あたりの延床面積×1 棟あたり戸数」により算出し、1 棟あたり延床面積を階数で除算して屋上・屋根面積とした。共同住宅の側側壁積は、1 棟あたりの延床面積の 80%として計算¹²⁰した（表 8-3 参照）。

表 8-3 共同住宅の階数別 1 棟あたり屋根面積と側側壁積（建築時期が 1981 年以降を対象）

共同住宅	棟数 (千棟)	住宅数 (千戸)	1 棟あたり 住宅数	1 棟あたり 延床面積(m ²)	1 棟あたり 屋根面積(m ²)	1 棟あたり 側側壁積(m ²)
棟総数	1,484	17,738	12			
1 階建	1	4	5	263	263	211
2 階建	800	4,418	6	283	141	226
3 階建	303	2,781	9	470	157	376
4 階建	134	1,805	13	687	172	550
5 階建	82	1,684	21	1,052	210	842
6～7 階建	68	1,942	29	1,459	225	1,168

¹²⁰ みずほ情報総研「平成 22 年度新エネルギー等導入促進基礎調査事業(太陽光発電及び太陽熱利用の導入可能性に関する調査)調査報告書」(2012 年 3 月)

共同住宅	棟数 (千棟)	住宅数 (千戸)	1棟あたり 住宅数	1棟あたり 延床面積(m ²)	1棟あたり 屋根面積(m ²)	1棟あたり 側側壁積(m ²)
8～10階建	55	2,148	39	2,005	223	1,604
11～14階建	33	2,075	62	3,179	254	2,543
15階建以上	8	882	112	5,710	381	4,568

表8-3で推計した1棟あたりの延床面積、屋根面積及び側側壁積に棟数を掛けて、全国の共同住宅の延床面積、屋根面積及び側側壁積それぞれの合計値を計算した(表8-4参照)。

表8-4 共同住宅の階数別1棟あたり屋根面積及び側側壁積(建築時期が1981年以降を対象)

共同住宅	棟数 (千棟)	延床面積合計 (k m ²)	屋根 面積合計(k m ²)	側壁 面積合計(k m ²)
1階建	1	0	0	0
2階建	800	226	113	181
3階建	303	142	47	114
4階建	134	92	23	74
5階建	82	86	17	69
6～7階建	68	99	15	80
8～10階建	55	110	12	88
11～14階建	33	106	8	85
15階建以上	8	45	3	36
合計	1,484	908	240	726

共同住宅の場合、当然ながら階数が増えるほど側側壁積も増えていく。屋根面積の合計と側側壁積の合計とを比較すると、側壁面積が屋根面積の約3倍となっている。ここから次のようにして、ペロブスカイト太陽電池の設置可能面積を求めた。

先行調査¹²¹では、屋根には他の構造物による占有部分(屋根面積の14%)や保安スペース(屋根面積の42%)の確保が必要であることを考慮して、屋根の設置比率を49.9%としている。また、側壁では入口や窓¹²²に加えて近隣建築物隣接面など設置が出来ない部分があることを考慮して、側壁への設置比率を25%としている。これらの前提条件を付加して設置可能面積を推計した(表8-5参照)。

¹²¹ Ibid.

¹²² 窓に設置するタイプも開発されているが、変換効率が下がるため想定から外した。

表 8-5 共同住宅の階数別屋根及び側壁への設置可能面積（建築時期が 1981 年以降を対象）

共同住宅	棟数 (千棟)	延床面積合計 (k m ²)	屋根設置可能 面積合計(k m ²)	側壁設置可能 面積合計(k m ²)
1 階建	1	0	0	0
2 階建	800	226	56	45
3 階建	303	142	24	28
4 階建	134	92	12	18
5 階建	82	86	9	17
6～7 階建	68	99	8	20
8～10 階建	55	110	6	22
11～14 階建	33	106	4	21
15 階建以上	8	45	2	9
合計	1,484	908	120	182

ここでの推計値では、側壁設置可能面積が屋根設置可能面積の約 1.5 倍となっている（図 8-1 参照）。つまり、共同住宅の場合、設置面積は側壁の方が大きい。後述するが、近年では 20 階を超える超高層マンションが増加しており、側壁設置可能面積が増えてくる可能性がある。

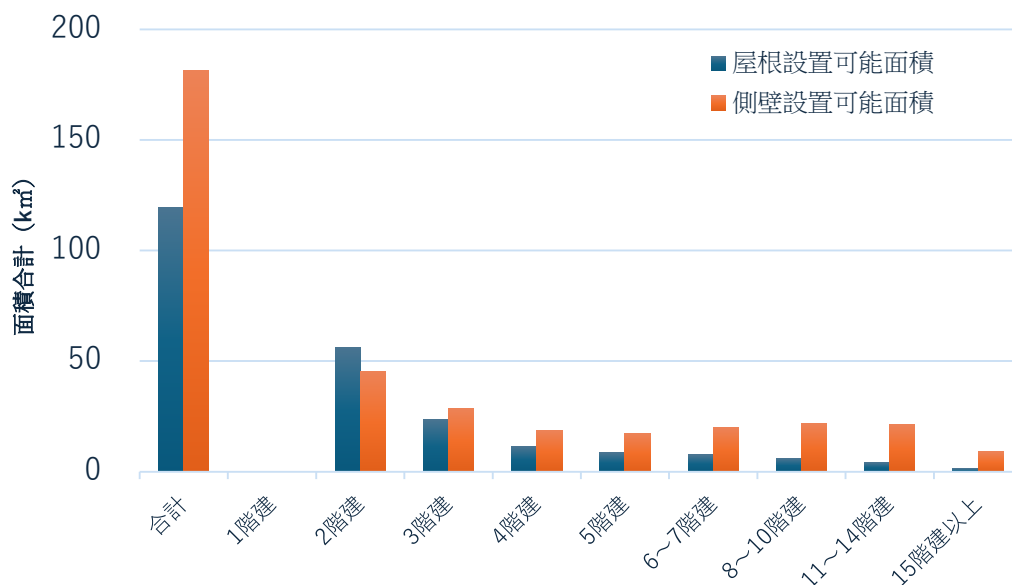


図 8-1 共同住宅の階数別屋根設置可能面積と側壁設置可能面積

8.1.2. 非住宅建築物における設置可能面積の推計

国土交通省が発表している「建築物ストック統計¹²³」には、「住宅」、「法人等の非住宅建築物」及び「公共の非住宅建築物」の床面積のデータが集計されているので、このデータを採用した。

ただし、このデータには現在の耐震基準が適用される前の建築物も含まれる。そのため、平成30年法人建築物調査のデータ¹²⁴にある「法人等の非住宅建築物」の中から新耐震基準を満たす床面積合計と耐震基準が未確認のものを除いた総合計との比率（54%）で延床面積を補正した。「公共の非住宅建築物」についても同様に、総務省発行の「防災拠点となる公共施設等の耐震化推進状況調査」にある1982年以降建築の棟数と全体の棟数との比率（56%）で延床面積を補正した。

表8-6に、上記の補正を踏まえた住宅建築物の延床面積（新耐震基準を満たす建築物）を示す。

表8-6 住宅建築物の延床面積（新耐震基準を満たす建築物）

非住宅建築物		延床面積(k m ²)
法人等の 非住宅建築物	事務所・店舗	357
	工場・倉庫	457
	その他 ¹⁾	256
	小計	1,070
公共の 非住宅建築物	事務所（庁舎）	25
	医療施設	2
	福祉施設	2
	教育施設	130
	その他 ²⁾	202
	小計	361
合計		1,432

1) 民間研修施設、宿泊施設、私立学校などが含まれる¹²⁵。

2) 訓練施設、警察施設、防衛施設、試験研究施設、博物館、資料館などが含まれる¹²⁶。

次に、延床面積から屋根・屋上面積と側壁面積を推計するにあたって、先行調査¹²⁷で用

¹²³ 国土交通省「建築物ストック統計」（2022年）※データは2018年

¹²⁴ 国土交通省「平成30年法人建築物調査、第555表」（2020年）※データは2018年

¹²⁵ 国土交通省「建築物ストック統計（平成30年1月1日現在）の構成について」（2018年）

¹²⁶ Ibid.

¹²⁷ みずほ情報総研「平成22年度新エネルギー等導入促進基礎調査事業（太陽光発電及び太陽熱利用の導入可能性に関する調査）調査報告書」（2012年3月）

いられた「延床面積に対する屋根・屋上面積、側壁面積の比率」を参照することにした（表 8-7 参照）。

表 8-7 施設別延床面積に対する屋根・屋上面積、側側壁積の比率¹²⁸

導入施設		屋根・屋上面積／延床面積	側側壁積／延床面積
庁舎		0.3	0.6
学校施設		0.4	0.6
文化施設		0.3	0.5
医療・福祉施設		0.35	0.7
事務所ビル	民生業務	0.2	0.7
	商業施設	0.3	0.7
	宿泊施設	0.2	0.7
産業		0.74	0.14

表 8-8 に、非住宅建築物に適用した、延床面積に対する屋根・屋上面積と側壁面積の比率を示す。

表 8-8 非住宅建築物に適用した施設別の延床面積に対する屋根・屋上面積と側壁面積の比率

非住宅建築物		適用した比率		
		適用した 導入施設区分	屋根・屋上面積 ／延床面積	側側壁積 ／延床面積
法人等の 非住宅建築物	事務所・店舗 ¹⁾	事務所ビル平均	0.25	0.7
	工場・倉庫	産業	0.74	0.14
	その他 ²⁾	民生業務	0.3	0.7
公共の 非住宅建築物	事務所（庁舎）	庁舎	0.3	0.6
	医療施設	医療・福祉施設	0.35	0.7
	福祉施設	同上	0.35	0.7
	教育施設	学校施設	0.4	0.6
	その他 ³⁾	文化施設	0.4	0.6

1)事務所ビルのうち民生業務と商業施設の平均値を適用。

2)民生業務を適用。

3)保守的にみて、公共施設の中で最も比率の低い文化施設を適用。

¹²⁸ Ibid.

表 8-6 及び表 8-7 より、非住宅建築物の種類別の屋根・屋上面積と側壁面積を推計した(表 8-9 参照)。

表 8-9 非住宅建築物の延床面積から推計した施設別の屋根・屋上面積と側壁面積の推計

非住宅建築物		延床面積(k m ²)	屋根・屋上面積(k m ²)	側壁面積(k m ²)
法人等の 非住宅建築物	事務所・店舗	357	250	428
	工場・倉庫	457	338	64
	その他 ¹⁾	256	51	179
	小計	1070	639	671
公共の 非住宅建築物	事務所(庁舎)	25	7	15
	医療施設	2	1	2
	福祉施設	2	1	1
	教育施設	130	52	78
	その他 ²⁾	202	61	101
	小計	361	122	197
合計		1,432	761	869

表 8-9 から、非住宅建築物の設置可能面積を推計するに当たり、共同住宅の場合と同様に、屋根・屋上の設置比率を 49.9%、側壁への設置比率を 25%とした。

表 8-10 に、上記条件に基づく非住宅建築物の設置可能面積の推計結果を示す。

表 8-10 非住宅建築物の施設別の設置可能面積の推計

非住宅建築物		屋根・屋上 設置可能面積(k m ²)	側壁 設置可能面積(k m ²)
法人等の 非住宅建築物	事務所・店舗	125	107
	工場・倉庫	169	16
	その他 ¹⁾	26	45
	小計	319	168
公共の 非住宅建築物	事務所(庁舎)	4	4
	医療施設	0	0
	福祉施設	0	0
	教育施設	26	20
	その他 ²⁾	30	25
	小計	61	49
合計		380	217

図 8-2 に、非住宅建築物の屋根設置可能面積と側壁設置可能面積を示す。

非住宅建築物の側壁設置可能面積は、屋根・屋上設置可能面積よりも小さい結果となった。共同住宅のように階数別の集計値が入手できなかったため、建築物の種類ごとに一律の係数（表 8-7 参照）を乗じているが、最近ではオフィスビルも高層化が進んできており、事務所の係数が上昇していく可能性がある。今後の調査が待たれるところである。

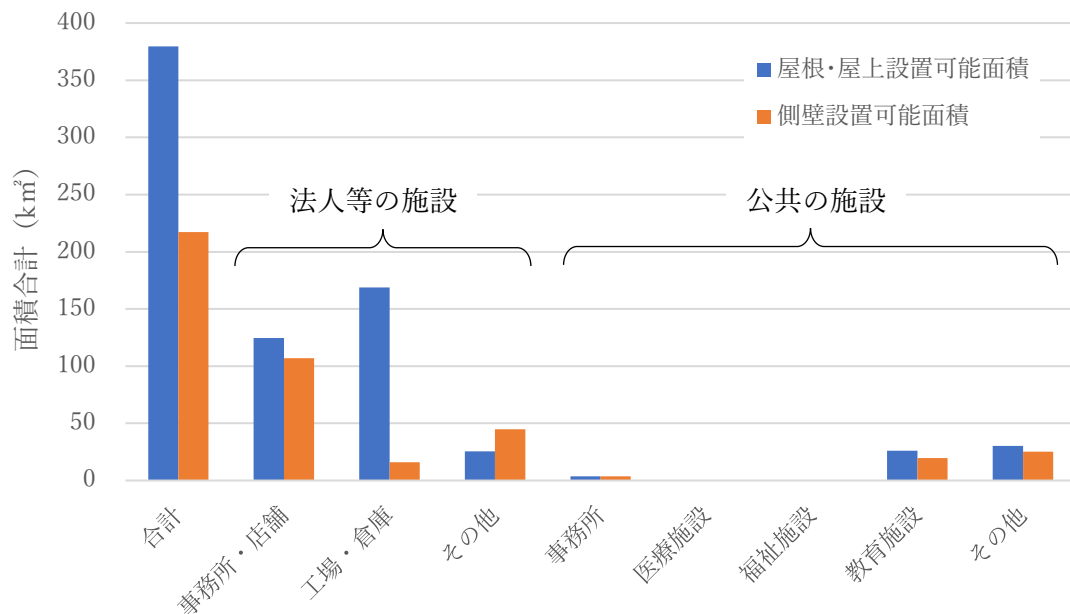


図 8-2 非住宅建築物の屋根設置可能面積と側壁設置可能面積

8.1.3. 住宅及び非住宅建築物の屋根・屋上への設置可能面積と側壁への設置可能面積をまとめた結果

表 8-11 に、住宅及び非住宅建築物の屋根・屋上への設置可能面積と側壁への設置可能面積をまとめた結果を示す。

表 8-11 建築物の種類別のペロブスカイト太陽電池設置可能面積の推計結果

建築物の種類		屋根・屋上 設置可能面積(k m ²)	側壁 設置可能面積(k m ²)
住宅	戸建	764	
	長屋	16	
	共同住宅	120	182
法人等の 非住宅建築物	事務所・店舗	125	107
	工場・倉庫	169	16

建築物の種類		屋根・屋上 設置可能面積(k m ²)	側壁 設置可能面積(k m ²)
	その他	26	45
公共の 非住宅建築物	事務所（庁舎）	4	4
	医療施設	0	0
	福祉施設	0	0
	教育施設	26	20
	その他	30	25
合計		1,278	399

8.2 建築物へのペロブスカイト太陽電池設置可能面積から推計した最大発電容量

太陽電池の性能の基本となるエネルギー変換効率の一般的な評価には、標準試験条件として 1kW/m²が用いられている。太陽電池の変換効率が 10%であれば、1 m²あたり 0.1kW の発電量が得られる計算である。ペロブスカイト太陽電池のセルの変換効率は 25%を超えているが、モジュールにするともう少し変換効率は下がる。また、経年劣化による影響も加味して、変換効率を 10%、15%、20%の 3 パターンに設定して比較検討した。

表 8-12 に、建築物の屋根・屋上への設置可能面積に対する変換効率別の最大発電容量の推計を示す。また表 8-13 に、側壁への設置可能面積に対する変換効率別の最大発電容量の推計を示す。

表 8-12 建築物の種類別の屋根・屋上へ設置した場合の変換効率別の最大発電容量推計

建築物の種類		屋根/屋上 (k m ²)	変換効率 10% 発電容量(GW)	変換効率 15% 発電容量(GW)	変換効率 20% 発電容量(GW)
住宅	戸建	764	76	115	153
	長屋	16	2	2	3
	共同住宅	120	12	18	24
法人等の 非住宅建築物	事務所・店舗	125	12	19	25
	工場・倉庫	169	17	25	34
	その他	26	3	4	5
公共の 非住宅建築物	事務所	4	0	1	1
	医療施設	0	0	0	0
	福祉施設	0	0	0	0
	教育施設	26	3	4	5
	その他	30	3	5	6
合計		1,278	128	192	256

表 8-13 建築物の種類別の側壁へ設置した場合の変換効率別最大発電容量推計

建築物の種類		側壁 (k m ²)	変換効率 10% 発電容量(GW)	変換効率 15% 発電容量(GW)	変換効率 20% 発電容量(GW)
住宅	戸建				
	長屋				
	共同住宅	182	18	27	36
法人等の 非住宅建築物	事務所・店舗	107	11	16	21
	工場・倉庫	16	2	2	3
	その他	45	4	7	9
公共の 非住宅建築物	事務所	4	0	1	1
	医療施設	0	0	1	1
	福祉施設	0	0	0	0
	教育施設	20	2	3	4
	その他	25	3	4	5
合計		399	41	61	82

以上より、表 8-14 に、屋根・屋上設置による最大発電容量と側壁設置による最大発電容量を合計した推計値を示す。

表 8-14 建築物の種類別の屋根・屋上及び側壁へ設置した場合の変換効率別最大発電容量推計

建築物の種類		設置面積 (k m ²)	変換効率 10% 発電容量(GW)	変換効率 15% 発電容量(GW)	変換効率 20% 発電容量(GW)
住宅	戸建	764	76	115	153
	長屋	16	2	2	3
	共同住宅	301	30	45	60
法人等の 非住宅建築物	事務所・店舗	232	23	35	46
	工場・倉庫	185	18	28	37
	その他	70	7	11	14
公共の 非住宅建築物	事務所	7	1	1	1
	医療施設	4	0	0	0
	福祉施設	1	0	0	0
	教育施設	46	5	7	9
	その他	56	6	8	11
合計		1,677	168	252	335

8.3 建築物の設置可能面積から推計した最大発電容量とケース別変換効率の分析

図 8-3 に、全ての建築物にペロブスカイト太陽電池を設置したことを想定した場合の、変換効率別（10%、15%、20%）の最大発電量（GW）を示す。

建築物に限って設置することを想定した場合、20GW の発電に必要な面積は、変換効率 10% の場合であっても、全建築物の設置可能面積の 12% である。さらに、20GW の 2 倍の 40GW の場合でも、全建築物の設置可能面積の 24% であることから、建築物に対する設置面積が不足する可能性は低いと考えられる。

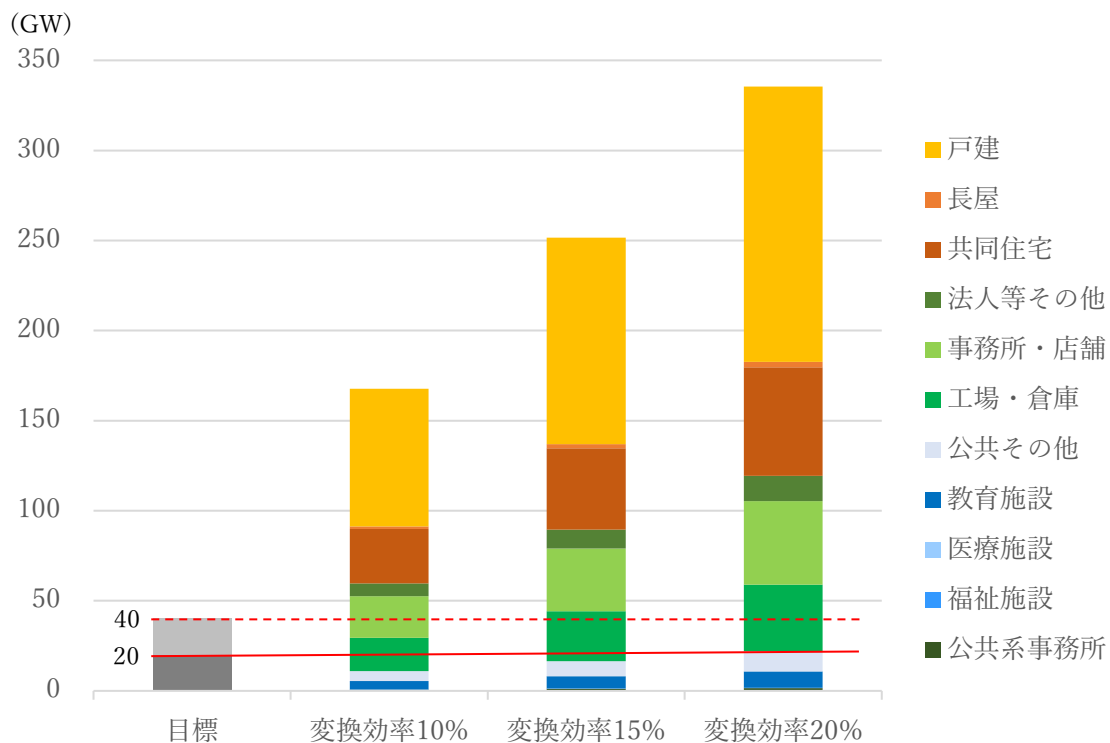


図 8-3 全ての建築物にペロブスカイト太陽電池を設置したと仮定した場合の変換効率別（10%、15%、20%）の最大発電量

屋根・屋上に設置した場合と側壁に設置した場合の発電量を比較すると、屋根・屋上設置では戸建住宅が最も大きく、次に工場・倉庫となっている（図 8-4 参照）。自動車工場などは重量物を扱うため、床面積は広いが比較的低層となっており、屋根面積が大きくなる。一方、屋根は耐荷重性が小さいので、シリコン系太陽電池を設置しようとする場合、補強工事が必要になる場合がある。その点、ペロブスカイト太陽電池が有する軽量性という特長を活かせば、補強工事の必要がなく、比較的簡単に設置できると考えられる。

一方、側壁への設置では、共同住宅が大きく寄与していることが分かる。次に側壁設置の発電量が多いのが事務所・店舗である。近年では 20 階建て以上の超高層ビルが増えており、オフィスビルだけでなく、住宅用マンションの高層化も都市部を中心に増加がみら

れる（図 8-5 及び図 8-6 参照）。今後、発電場所として高層建築物の側壁が活用されると考えられる。

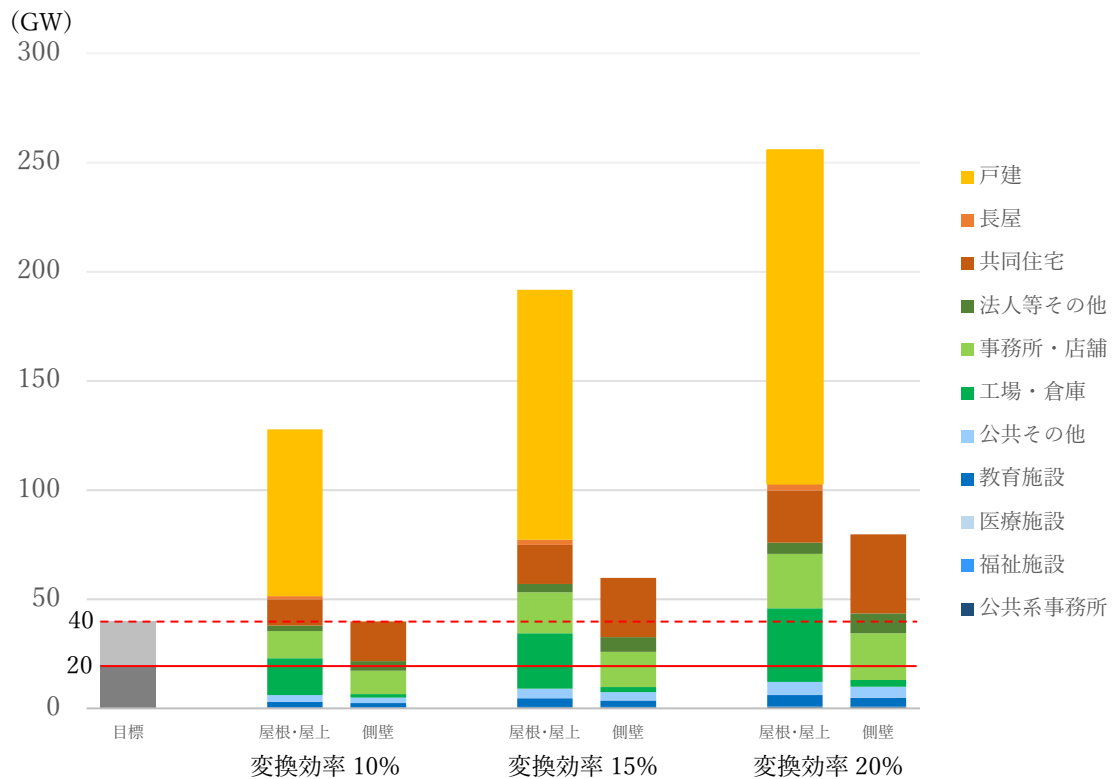


図 8-4 屋根・屋上に設置した場合と側壁に設置した場合の変換効率別（10%、15%、20%）の最大発電量の比較



図 8-5 超高層建築物¹²⁹

¹²⁹ 画像は「BLUE STYLE COM <<https://www.blue-style.com/>>」より引用。

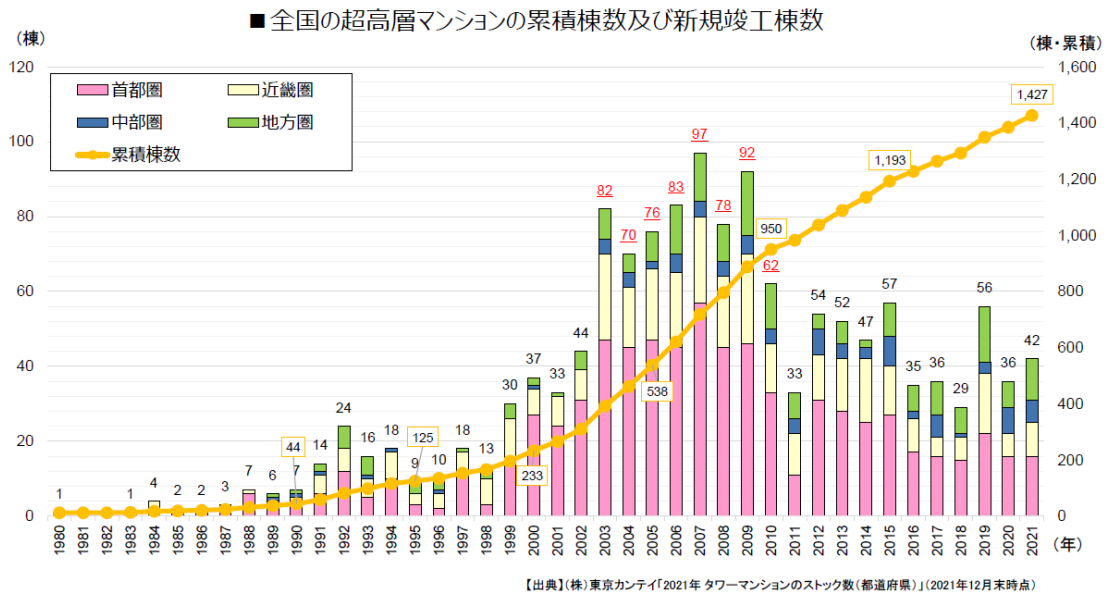


図 8-6 増加する超高層マンション 130

シリコン系太陽電池は、既にその応用製品として BIPV が実用化されており、一部の高層ビルに設置されているが、ペロブスカイト太陽電池に関しては、その BIPV 化に必要な側壁設置技術が確立されているわけではない。ペロブスカイト太陽電池も BIPV への応用開発が進められているが、新築もしくは改築時の建材として使用されることを想定したもので、完成した後の建築物に後付けで設置しているものは、まだ実証実験段階にある。強風に飛ばされず、且つ外壁修繕の際に取り換えが容易な設置方法の開発が待たれるところである。

また、今回の推計では想定に入れなかったが、窓や高層ビルに多いカーテンウォールの内側からペロブスカイト太陽電池を張るというアイデアも出されている。室内からの設置にすると、風雨にさらされることのない環境で発電できるため、耐久性の点からも安定して発電に寄与することが期待されている。但しこの場合、ガラスを通すために屋外設置と同じ変換効率は得られない。加えて日光の透過率が下がってしまう。このあたりの課題をどのように克服していくかも考えていかなければならない。

他に考慮すべき点としては、近隣の建築物が受ける日影の影響がある。住宅密集地や都市部では建築物同士の間隔が狭くなり、屋根・屋上や側壁でも時間帯によって、また季節によっては近隣の建築物の影になって太陽光が遮られる(図 8-7 参照)ため、発電量が下がってしまう。他にも曇天や雨天など天候の変化によっても、発電量は大きく左右される。ペロブスカイト太陽電池の設置計画を立てる時には、このあたりも考慮する必要が出てくる。

¹³⁰ 国土交通省「超高層マンションを取り巻く現状について」(2022年)

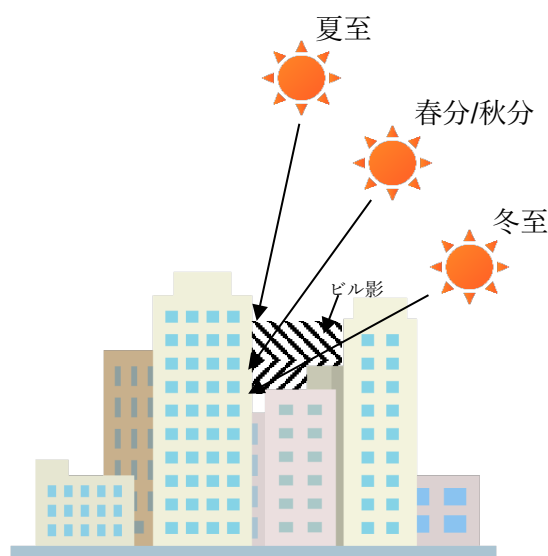


図 8-7 建築物が密集した場所での影の影響

8.4 20GW 以上の発電量を確保するための需要創出が可能なシナリオ分析

建築物設置可能面積の推定値から、政策次第で 20GW 以上の発電量を確保することは十分可能と考えられる。問題は、どのようなシナリオでそのような需要を創出していくかである。

シリコン系太陽電池のコストが下がったこともあり、住宅向けの固定価格買取制度（FIT・FIP 制度）¹³¹による調達価格/基準価格¹³²は、すでに 15 円/kWh まで下がっている。また、調達期間/交付期間¹³³は 10 年となっており、その期間内で投資が回収されるシナリオが求められる。

「次世代太陽電池戦略」では、発電コストの観点から需要（発電量）予測を行っているが、発電コストが高い段階ではペロブスカイト太陽電池の導入量は限定的となる可能性があることを指摘している。「次世代太陽電池戦略」では 16 円/kWh が一つの分岐点としているが、これは 2024 年度までの調達価格/基準価格である 16 円/kWh を基準としていることによると考えられる。この試算はシリコン系太陽電池の実績値を参考にして行われているので、シリコン系太陽電池では設置が難しい場所（側壁や曲面の屋根など）では多少発電コストが高くても認められる可能性はあると考えられる。

そこで、ペロブスカイト太陽電池の導入当初は、公共系建築物への設置が主体となって量産効果によるコスト低減を図り、シリコン系太陽電池と同等の発電コストになれば民間の建築物への設置を進めていくシナリオが考えられる。

¹³¹ 資源エネルギー庁「(FIT・FIP 制度) 買取価格・期間等」

<https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/fit_kakaku.html>

¹³² Ibid., FIT 制度であれば調達価格、FIP 制度（入札制度適用区分を除く）であれば基準価格という。

¹³³ Ibid., FIT 制度であれば調達期間、FIP 制度であれば交付期間という。

ここでは、次のように3つの需要創出シナリオを想定した。

【シナリオ1：公共系建築物への設置を優先して需要を創出する】

変換効率が10%の場合、公共系非住宅建築物の設置だけでは11GW程度の発電量にしかならないことから、目標の20GWの発電量を得るためには民間の住宅、非住宅建築物への設置を促進する政策が必要になる。変換効率が20%であれば、公共系非住宅建築物の設置のみで20GWの発電量を確保することができる。この場合、20GWを超えるまでは教育施設など設置可能面積の大きい公共施設への設置を優先することで、ペロブスカイト太陽電池メーカーの量産効果によるコスト低減の機会を伺うことができる。

ペロブスカイト太陽電池の導入当初は、耐久性や変換効率が想定通りとはならない場合も考えられるが、行政側が導入リスクを取ることで、民間の需要を促すことが期待できる。特に側壁設置においては、東京都庁をはじめとした20階建以上の庁舎が20棟以上存在する¹³⁴（図8-8参照）ので、そういった庁舎に設置すれば高層建築物の側壁利用という新しい考え方へのアピールにもなるだろう。もちろん、高層に限らず一般のビルへの側壁設置を進めることが、ペロブスカイト太陽電池の普及促進につながると考えられる。



群馬県庁舎（33F 建）

東京都庁第一本庁舎（48F 建）

香川県庁舎（21F 建）

図8-8 高層建築物の庁舎の例¹³⁵

【シナリオ2：FIT・FIP 制度に基づくが、シリコン系太陽電池よりも高い調達価格/基準価格を設定してペロブスカイト太陽電池の需要を創出する】

現時点では、ペロブスカイト太陽電池メーカーのコスト見通しが不明であるものの、過去のシリコン系太陽電池を使用した FIT・FIP 制度を参照しながら、ペロブスカイト太陽

¹³⁴ 「BLUE STYLE COM <<https://www.blue-style.com/>>」のデータベースより抽出。

¹³⁵ 画像は「BLUE STYLE COM <<https://www.blue-style.com/>>」より引用。

電池の導入を促進するよう調達価格/基準価格を調整するシナリオである。

図 8-3 に示したように、設置可能面積で大きな比率を占めるのは戸建住宅である。2022 年の住宅用太陽光発電導入件数は、累計で 316 万件¹³⁶となっている。総務省の 2018 年統計¹³⁷では、戸建住宅の戸数が 2,876 万戸と普及率は 11%になっている。また、新築と既築の比率は 3:7 であり¹³⁸、既築の方が多い。現在の太陽光発電設備は大半がシリコン系太陽電池であるが、既築住宅では設置のための補強工事が必要な場合があるため、設置をあきらめたケースもあると思われる。軽量性を特長するペロブスカイト太陽電池であれば、補強工事にそれほどコストを掛けなくてもよい。これを強みと捉え、普及率を上げていくための、より効果的なインセンティブ設定が必要である。

他には初期導入時における補助金も考えられるが、蓄電池を併設して自家発電を促進していくことが望ましい。その場合、分散電源が可能となり、災害や大規模停電の対応強化につなげることができる。

【シナリオ 3：10GW までは公共建築物及び工場・倉庫に焦点を置き、10GW 以上は民間施設に焦点を置いて需要を創出する】

基本的には、シナリオ 1 をベースにするが、側壁より設置が容易な屋根・屋上を優先して普及させていくシナリオである。ポイントは民間施設への導入が促進されるよう、10GW に到達するまでにシリコン系太陽電池の発電コストと同等もしくはそれ以下にすることである。

変換効率 10%の場合を想定してシナリオを考える。導入初期は品質信頼性が安定しない場合もあり、変換効率 10%程度で見込んだ保守的なシナリオとした。この場合、最大発電量は公共の非住宅建築物のみでは 10GW 程度にしかならない。そのため、公共の建築物以外への設置が必要になるが、工場・倉庫のように設置面積が大きい建築物から優先的に設置した方が効率的であろう。工場・倉庫は 1 棟あたりの屋根・屋上の面積が事務所よりも大きいことが推測されるからである（図 8-9 参照）。ペロブスカイト太陽電池を設置する企業には、設置コストの一部負担や FIT・FIP と同様な制度を設ければ設置導入が促進されると考えられる。

積水化学が 2030 年に年間 1GW の生産ラインを設置する計画を発表しているが、仮にそこだけで生産するとすれば累計 10GW に達するまでに 10 年かかることになる。できるだけ早期に目標コストを達成するには、量産投資に対する補助金の提供だけでなく、品質や性能の向上につながる稼働中のデータを活用しなくてはならない。現在の耐久性が 10 年程度とされているが、20 年が保証できるまで市場投入を待たずに限定数量でも良いので、10 年保証の製品を市場に導入して、品質改善のフィードバックループを確立し、次の 10 年に

¹³⁶ 太陽光発電協会「太陽光発電の導入拡大に向けた課題と規制・制度の改革要望」（2024 年 3 月 22 日）

¹³⁷ 総務省統計局「平成 30 年住宅・土地統計調査, 第 180 表」（2019 年）

¹³⁸ 太陽光発電協会「太陽光発電の状況」（2020 年 10 月 30 日）

備えていくことも一案であろう。



図 8-9 大きな屋根の自動車工場¹³⁹

¹³⁹ 画像はトヨタ自動車 75 年史「高岡工場」より引用。

<<https://www.toyota.co.jp/jpn/company/history/75years/index.html>>

9. ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンを構築していくための戦略分析

本章では、8章までの調査・分析結果を踏まえて、クロス SWOT 分析法を用いて、ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンを構築していくための戦略について分析する。

9.1 ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーン別のクロス SWOT 分析の構成

クロス SWOT 分析法を用いて、ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンのプロセス（原材料、構成材（素部材）生産、ペロブスカイト太陽電池生産）別に以下について分析した。

- ・ 内部環境としての日本の強みと弱み
- ・ 外部環境としての「機会」と「脅威」（国際情勢の流動性や経済安全保障の観点を含む）
- ・ 強みを活かして機会を捉える戦略及び弱みを克服して機会を捉える戦略
- ・ 強みを活かして脅威を回避する戦略及び弱みを克服して脅威を回避する戦略

なお、ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーン・プロセスを構成する、「応用製品」、「設置・施工」及び「回収・リサイクル」については、まだペロブスカイト太陽電池の実用化及び量産化に向けた投資が始まったばかりであり、ペロブスカイト太陽電池の市場が形成されていないことから、これらのプロセスは、クロス SWOT 分析の対象外とした。

9.2 原材料のサプライチェーン等に関するクロス SWOT 分析

表 9-1 に、原材料のサプライチェーン等に関するクロス SWOT 分析の内容を示す。

ヨウ素については、日本は、チリに次いで世界第 2 位のヨウ素産出量を誇る。日本のヨウ素の埋蔵量は世界一で、経済的に回収可能なヨウ素資源の 79%は日本に埋蔵されている。ペロブスカイト太陽電池による発電規模が 20~40GW に達しても、ペロブスカイト太陽電池に使用するヨウ素は、日本の年間のヨウ素の生産量の 2~4%であり、ヨウ素がペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンに顕著な影響を及ぼす可能性は低いと考えられている。

しかし、日本では、ヨウ素は、天然ガスとともに汲み上げられる「かん水」から製造されるため、ペロブスカイト太陽電池に加え、ヨウ素関連製品の価値の向上によりヨウ素の需要が急激に高まった場合、汲み上げるかん水の量を急激に増やすと地盤沈下の恐れがある。これが脅威になる可能性があるため、地盤沈下のリスク管理を踏まえた増産計画が求められる。

なお、地盤沈下のリスクが懸念されるレベルのヨウ素の増産が必要になった場合を想定して、リスク、ペロブスカイト太陽電池や他のヨウ素製品からヨウ素を回収・リサイクルする技術を開発し、ヨウ素の回収・リサイクルの仕組みを確立しておくことも必要になると考えられる。

一方、インジウムに関しては、日本のインジウムの生産は、中国、韓国に次いで世界 3 位である。インジウムは、ペロブスカイト太陽電池（主にフィルム型）の構成材（透明電極）である ITO の原料であり、LCD や OLED といったフラットパネル・ディスプレイにも使われているが、インジウムは世界的に需要が多く、その生産量が世界的に限られている。今後、世界的にペロブスカイト太陽電池の需要が大幅に高まっていくと、中国、韓国等のインジウムの主要産出国がインジウムの輸出規制を行なう可能性があり、これが脅威になりかねない。

このようなことから、今後、ペロブスカイト太陽電池の量産に向けて、フラットパネル・ディスプレイの回収・リサイクルを推進し、インジウムのリサイクル品の生産を上げていく必要があると考えられる。

表 9-1 原材料のサプライチェーン等に関するクロス SWOT 分析の内容

項目		内容	
サプライチェーンのプロセス		内部要因	
対象: 原材料		日本の強み	日本の弱み
		<p>【ヨウ素】</p> <ul style="list-style-type: none"> 日本は、チリに次いで世界第 2 位のヨウ素産出量（世界の 30%）を誇る。 日本のヨウ素の埋蔵量は世界一で、経済的に回収可能なヨウ素資源の 79% が日本に埋蔵されている。 家電リサイクルが制定されており、LCD や OLED といったフラットパネル・ディスプレイの回収再利用が進んでいる。 <p>【インジウム】</p> <ul style="list-style-type: none"> ITO ターゲット¹⁴⁰の回収再利用が進んでいる。 	<p>【ヨウ素】</p> <ul style="list-style-type: none"> 特になし。 <p>【インジウム】</p> <ul style="list-style-type: none"> 日本のインジウムの生産は、中国、韓国に次いで世界第 3 位であるが、インジウム需要の 3 分の 1 を輸入に依存している。
外部要因	機会	強みを活かして機会を捉える戦略	弱みを克服して機会を捉える戦略
	<p>【ヨウ素】</p> <ul style="list-style-type: none"> 産出量世界一のチリのヨウ素生産が安定している。 <p>【インジウム】</p> <ul style="list-style-type: none"> 特になし。 	<p>【ヨウ素】</p> <ul style="list-style-type: none"> 国内生産量と輸入量のバランスによりヨウ素供給を安定化する。 <p>【インジウム】</p> <ul style="list-style-type: none"> 特になし。 	<p>【ヨウ素】</p> <ul style="list-style-type: none"> 特になし。 <p>【インジウム】</p> <ul style="list-style-type: none"> 特になし。
	脅威	強みを活かして脅威を回避する戦略	弱みを克服して脅威を回避する戦略
	<p>【ヨウ素】</p> <ul style="list-style-type: none"> 汲み上げるかん水の量を急激に増やすと、地盤沈下のリスクが増加する。 	<p>【ヨウ素】</p> <ul style="list-style-type: none"> かん水汲み上げによる地盤沈下リスクを引き起こさないレベルでヨウ素生産量を維持しつつ、ペロブスカイト太陽電池の生産計画を立案し、実行する。 	<p>【ヨウ素】</p> <ul style="list-style-type: none"> 特になし。

¹⁴⁰ 薄膜の製造、特に透明導電性コーティングの製造に使用される特殊な材料で、酸化インジウムと酸化スズとの混合物で構成されている。

項目	内容	
<p>【インジウム】</p> <ul style="list-style-type: none"> インジウムの主要産出国(中国、韓国等)がインジウムの輸出規制を行なう。 	<ul style="list-style-type: none"> 地盤沈下のリスクが懸念されるレベルのヨウ素の増産が必要になった場合を想定して、ペロブスカイト太陽電池や他のヨウ素製品からヨウ素を回収・リサイクルする技術を開発し、ヨウ素の回収・リサイクルの仕組みを確立しておく。 <p>【インジウム】</p> <ul style="list-style-type: none"> 日本で生産される ITO ターゲットやフラットパネル・ディスプレイの材の回収を進め、インジウムのリサイクル品の生産を増加する¹⁴¹。 	<p>【インジウム】</p> <ul style="list-style-type: none"> 特になし。

¹⁴¹ 矢野経済研究所「令和2年度重要技術管理体制強化事業調査報告書」(2021年3月23日), 52p

9.3 構成材生産のサプライチェーン等に関するクロス SWOT 分析

(1) 基板フィルム／基板ガラス生産

表 9-2 に、基板フィルム／基板ガラス生産のサプライチェーン等に関するクロス SWOT 分析の内容を示す。

ガラス型ペロブスカイト太陽電池に使用される基板ガラスのサプライチェーンに関しては、薄板ガラスを含め、概ね問題は無いと考えられる。

一方、基板フィルムに関しては、日本で、PET に代わるフィルム素材として、高機能ポリイミドを素材とする機能性透明フィルム（TORMED[®]（トーメッド））が開発されているが、まだ上市して 1 年程度¹⁴²であり、コスト対応や生産規模の拡大はこれからであると思われる。

なお、インジウムの供給が逼迫して、ITO 電極付 PET フィルム基板の生産量が制限される可能性があるが、今後、高機能透明ポリイミド・フィルムの応用範囲を拡大して十分な生産量を確保することにより、ペロブスカイト太陽電池メーカーにとって、高機能透明ポリイミド・フィルムの価格が障害とならないようにする戦略が必要になると考えられる。

¹⁴² (株) I.S.T プレスリリース (2024 年 2 月 29 日)

<<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000009.000019821.html>>

表 9-2 構成材（基板フィルム／基板ガラス）生産のサプライチェーン等に関するクロス SWOT 分析の内容

項目		内容	
サプライチェーンのプロセス		内部要因	
対象: 構成材(基板フィルム／基板ガラス)生産		日本の強み	日本の弱み
		<p>【基板フィルム】</p> <ul style="list-style-type: none"> 基板フィルム用の PET フィルムは国内で安定生産可能。 PET フィルムよりも高耐熱性の機能性透明フィルムである高機能ポリイミド(TORMED®)が、日本で上市された。 <p>【基板ガラス】</p> <ul style="list-style-type: none"> BIPV 向け基板ガラスは国内で安定生産可能。建材として使用するガラスに関しては、供給量、価格ともに全く問題なし。 薄板ガラス(0.3mm)も国内で安定生産可能。 	<p>【基板フィルム】</p> <ul style="list-style-type: none"> 特になし。 <p>【基板ガラス】</p> <ul style="list-style-type: none"> 特になし。
外部要因	機会	強みを活かして機会を捉える戦略	弱みを克服して機会を捉える戦略
	<p>【基板フィルム】</p> <ul style="list-style-type: none"> フィルム型ペロブスカイト太陽電池の需要が高まる。 <p>【基板ガラス】</p> <ul style="list-style-type: none"> 薄板ガラスのペロブスカイト太陽電池の基板への応用に関する価値が世界的に認識され、需要が拡大する可能性がある。 	<p>【基板フィルム】</p> <ul style="list-style-type: none"> PET フィルムの安定した生産体制と適正価格を維持する。 <p>【基板ガラス】</p> <ul style="list-style-type: none"> 薄板ガラスを基板とするペロブスカイト太陽電池の製品化とその応用を加速し、早期に当該タイプのペロブスカイト太陽電池の市場を押さえる。 	<p>【基板フィルム】</p> <ul style="list-style-type: none"> 特になし。 <p>【基板ガラス】</p> <ul style="list-style-type: none"> 特になし。
	脅威	強みを活かして脅威を回避する戦略	弱みを克服して脅威を回避する戦略
	<p>【基板フィルム】</p> <ul style="list-style-type: none"> インジウムの供給が逼迫して ITO 電極付 PET フィルム基板の生産量が制限される。 	<p>【基板フィルム】</p> <ul style="list-style-type: none"> 高機能透明ポリイミド・フィルムの増産体制を整え、その価格が、ペロブスカイト太陽電池メーカーの障害にならないようにする。 	<p>【基板フィルム】</p> <ul style="list-style-type: none"> 特になし。

項目	内容	
【基板ガラス】 ・ 特になし。	【基板ガラス】 ・ 特になし。	【基板ガラス】 ・ 特になし。

(2) 封止材／バリアフィルム生産

封止材、バリアフィルムともに国内で安定生産が可能であり、大きな脅威はないと考えられる。現状では、国内における封止材及びバリアフィルム生産のサプライチェーンに対して大きな影響を及ぼさないと考えられることから、封止材及びバリアフィルムの生産について、クロス SWOT 分析を行わないものとした。

なお、積水化学が、フィルム基板のペロブスカイト太陽電池の封止材やバリアフィルムの封止技術のノウハウを蓄積¹⁴³し、概ね耐久性 20 年の目途が立っている¹⁴⁴としている。また、麗光、東レ、リンテック等の国内企業がペロブスカイト太陽電池用のバリアフィルムについて研究開発しており、ペロブスカイト太陽電池の封止材やバリアフィルムに関する日本の技術は、海外よりも大きくリードしていると考えられる。

(3) ペロブスカイト層材生産

7 章の調査結果より、現状では、国内におけるペロブスカイト層材生産のサプライチェーンに対して殆ど影響を及ぼさないと考えられることから、ペロブスカイト層材の生産については、クロス SWOT 分析を行わないものとした。

(4) 電子・正孔輸送層材生産

電子・正孔輸送層材に関しては、解決すべき技術的課題があるものの、日本は高度の技術力を持つ大手・中堅企業がペロブスカイト太陽電池用の電子輸送材や正孔輸送材の開発を行っており、サプライチェーンの観点から大きな問題は無いと考えられることから、電子・正孔輸送層材の生産に関して、クロス SWOT 分析を行わないものとした。

(5) 透明・裏面電極材生産

透明電極、裏面電極ともに国内で安定生産が可能であり、大きな脅威はないと考えられる。現状では、国内における透明電極や裏面電極生産のサプライチェーンに対して大きな影響を及ぼさないと考えられることから、透明電極及び裏面電極の生産については、クロス SWOT 分析は行わないものとした。

なお、前述したように、フィルム型ペロブスカイト太陽電池の透明電極に使用されている ITO は、レアメタルであるインジウムを使っているため、インジウムの供給が懸念されているが、日本企業の ITO ターゲットの生産量は世界トップクラスであり、フィルム基板の透明電極の材料としての ITO の代替材料に関する研究が進んでいる。

¹⁴³ 積水化学工業株式会社「薄くて曲がるペロブスカイト太陽電池」で描く、新しい資本主義の勝ち筋」積水化学 Web サイト（2023 年 10 月 12 日）

<https://www.sekisui.co.jp/connect/article/1393104_40890.html>

¹⁴⁴ 積水化学工業株式会社「ペロブスカイト太陽電池事業説明会質疑応答（2025 年 01 月 07 日開催）」（2025 年 01 月 15 日更新）<https://www.sekisui.co.jp/ir/event/other/1425673_40089.html>

9.4 ペロブスカイト太陽電池生産に関する SWOT 分析

表 9-3 に、ペロブスカイト太陽電池生産のサプライチェーン等に関するクロス SWOT 分析の内容を示す。

ここでは、「ペロブスカイト太陽電池製造技術」と「ペロブスカイト太陽電池量産体制」の 2 つの視点で分析する。

(1) ペロブスカイト太陽電池製造技術

ペロブスカイト太陽電池の量産化に向けた塗布・成膜技術は、様々な材料やプロセス条件を擦り合わせて品質や生産効率を引き上げていく「擦り合わせ¹⁴⁵」の技術が必要であり、それを日本企業は得意としている。

ヒアリングした企業のコメントの中に、材料が業界標準的な仕様に統一されない理由として、「基板の種類（ガラス、フィルム）と積層の順序（順構造、逆構造）の 4 つの組合せで開発が進んでおり、それぞれで使う材料・仕様が違うため、まだ決定的な組合せが見通せていない。（7.1.2 項(4)参照）」というコメントがあった。ここから、最適な条件を見出すために試行錯誤を繰り返している様子がわかる。

さらに製造では、材料の組合せの他、ドライプロセスにおける温度プロファイル制御、Roll to Roll で $1\mu\text{m}$ 以下の層を均一に連続して成膜するための精密な制御などの技術が必要となる。つまり、コントロールすべき様々なパラメータを擦り合わせて最適条件を見出していく必要があることを意味している。このような状況こそ、ペロブスカイト太陽電池の製造技術開発に関わる企業同士の「擦り合わせ」の技術は日本の強みとなる。

現在、最長 10 年間、研究開発・実証から社会実装までを継続して支援するグリーンイノベーション（GI）基金事業が進行中である。ペロブスカイト太陽電池の製造技術を開発する企業にとっては、開発資金が得られる機会であり、量産レベルで高い品質を維持しつつ低コスト化する技術開発への意欲が高まるものとなる。

そういった中で、2024 年 11 月 28 日に、経済産業省が「次世代型太陽電池戦略」を発表し、2040 年には自立化が可能な発電コスト（10 円/kWh～14 円/kWh 以下）のペロブスカイト太陽電池技術を確立し、実現を目指すことを表明した。ペロブスカイト太陽電池メーカー各社の技術的課題を解決し、生産効率の高いペロブスカイト太陽電池生産技術を早期に実用化する動きが加速するという期待は高い。

一方、脅威となるのは、製造装置と製造方法を合わせて提供する、いわゆるターンキー・ソリューションが登場した場合である。シリコン系太陽電池では、開発競争に出遅れた中国のメーカーが、ターンキー・ソリューションを積極的に導入することによって、シリコン系太陽電池を大量生産し、規模の経済を発揮した低コスト化によって、世界市場で

¹⁴⁵ 1990 年代に日本の自動車メーカーを研究した東京大学教授（当時）の藤本隆宏氏が提唱したことから、日本の製造業の強みとされている。

大きなシェアを獲得した経緯がある¹⁴⁶。ペロブスカイト太陽電池でも、そのようなターンキー・ソリューションが登場してしまうと、シリコン系太陽電池と同じ道をたどる恐れがある。

もっとも、シリコン系太陽電池はペロブスカイト太陽電池よりも構造が単純で、主材料のシリコンは熱や水分に対しても安定している素材であるため、ターンキー・ソリューションの構築は比較的簡単である。一方、ペロブスカイト太陽電池は複雑に各パラメータが絡み合っているため、すぐにターンキー・ソリューションが登場することはないと考えられる。そこで、ペロブスカイト太陽電池の製造装置については、標準化して設備投資を抑える一方、レシピ（各装置のプロセスシーケンスや制御パラメータなどの処理プログラム）と材料仕様は「秘伝のタレ」として秘匿し、それらの情報が国外へ流出しないよう厳重に管理していく戦略が考えられる。

この場合、外部とのインターフェースを標準化して他の製品やサービスとの関係を容易にし、内部情報を秘匿して価値創出部分を保持するという「オープン・クローズ戦略¹⁴⁷」が参考になる。

(2) ペロブスカイト太陽電池量産体制

経済産業省が発表した「次世代型太陽電池戦略」では、官民連携し、世界をリードする「規模」と「スピード」を持って、ペロブスカイト太陽電池量産技術の確立・生産体制整備・需要創出を三位一体で進めていくことが表明された。これに先立ち、GX サプライチェーン構築支援事業の募集が、2024年6月から開始された。これは、量産を志向するメーカーの投資意欲の追い風となっている。

2024年12月、積水化学が、GI基金の支援を受けて、政府が目指す2030年までの早期のGW級の供給体制の構築の実現に向けた、フィルム型ペロブスカイト太陽電池の量産化を開始することを発表した。国内におけるフィルム型ペロブスカイト太陽電池の量産化に大きな弾みがついたと考えられる。

一方、国内の人件費やエネルギー費、土地や建設費などのインフラコストが日本は高く、ペロブスカイト太陽電池製品の最終コストが高くなるという弱みがある。この弱みを克服するためには、ペロブスカイト太陽電池製品の歩留まりを向上させ、生産効率を上げる必要がある。

また、「次世代太陽電池戦略」においては、基本的考え方として、「太陽電池産業を巡る過去の反省を踏まえ、官民連携し、世界をリードする「規模」と「スピード」で、時間軸の中で目標を定めながら、量産技術の確立・生産体制整備・需要創出を三位一体で進める。」ことが示されている。これは、「規模」と「(事業展開)スピード」に優る中国が太

¹⁴⁶ 丸山知雄「世界の太陽光発電産業のなかの中国」経済論叢（京都大学）第188巻第2号（2014年5月）

¹⁴⁷ 小川紘一「オープン・クローズ戦略」翔泳社（2015年）

陽電池産業を急成長させて世界を席卷したことを意識したものである。これまでの中国企業の事業展開スピードの速さは目を見張るものがあるが、その要因として、ほとんどがオーナー企業であり太陽電池産業に事業を集中して迅速で果敢な経営判断ができたこと¹⁴⁸が挙げられている。もちろん、中国政府の政策¹⁴⁹が後押しした面もある。ペロブスカイト太陽電池をリードする日本企業は、オーナー企業ではなく複数の事業を持つ大企業が多く、中国企業とは対極にある。官民連携のスピードを上げて対処していく必要があるだろう。

なお、中国の一部の企業が 2024 年以内に GW 規模の生産ラインの整備を進めているとされているが、中国が大量生産による低コスト化を実現し、価格競争となれば日本の脅威となる。日本は、規模の競争ではなく、工程数削減など生産性を高める技術によって低コスト化を実現して対応していかなければならない。

¹⁴⁸ 丸川知雄「世界の太陽光発電産業のなかの中国」経済論叢（京都大学）第 188 巻第 2 号（2014 年 5 月）

¹⁴⁹ NEDO「第 13 次 5 カ年計画期間の中国の再生可能エネルギーの政策と状況」（2020 年 4 月）

表 9-3 ペロブスカイト太陽電池生産のサプライチェーン等に関するクロス SWOT 分析の内容

項目		内容	
サプライチェーンのプロセス		内部要因	
対象:ペロブスカイト太陽電池生産		日本の強み	日本の弱み
		<p>【ペロブスカイト太陽電池製造技術】</p> <ul style="list-style-type: none"> ペロブスカイト太陽電池の量産化に向けた塗布・成膜技術は、様々な材料やプロセス条件を擦り合わせて品質や生産効率を引き上げていく「擦り合わせ」の技術が必要であり、それを日本企業は得意としている。 <p>【ペロブスカイト太陽電池量産体制】</p> <ul style="list-style-type: none"> 一部(金属類)を除いて、ほぼ全ての材料加工が日本で可能。 	<p>【ペロブスカイト太陽電池製造技術】</p> <ul style="list-style-type: none"> 特になし。 <p>【ペロブスカイト太陽電池量産体制】</p> <ul style="list-style-type: none"> 日本のインフラコスト(人件費、エネルギー費、土地・建築物など)が高いため、製品コストが高くなる。
外部要因	機会	強みを活かして機会を捉える戦略	弱みを克服して機会を捉える戦略
	<p>【ペロブスカイト太陽電池製造技術】</p> <ul style="list-style-type: none"> GI 基金事業が進行中。 <ul style="list-style-type: none"> ➢ NEDO に約 2 兆 4500 億円の基金を造成し、官民で野心的かつ具体的な目標を共有した上で、これに経営課題として取り組む企業等に対して、最長 10 年間、研究開発・実証から社会実装までを継続して支援する、 <p>【ペロブスカイト太陽電池量産体制】</p> <ul style="list-style-type: none"> GX サプライチェーン支援事業が進行中。 <ul style="list-style-type: none"> ➢ GX 分野の国内製造サプライチェーンを、世界に先駆けて構築することを支援することを目的とする。 	<p>【ペロブスカイト太陽電池製造技術】</p> <ul style="list-style-type: none"> 国内企業同士で「擦り合わせ」を行い、製造ノウハウの蓄積を図る。 製造装置の標準化を進めて設備投資コストの削減を行うが、レシピ(各装置のプロセスシーケンスや制御パラメータなどの処理プログラム)と材料仕様は「秘伝のタレ」として、各社で秘匿する。 <p>【ペロブスカイト太陽電池量産体制】</p> <ul style="list-style-type: none"> 政府の補助制度を活用して量産体制を構築。 ペロブスカイト太陽電池の国内需要を掘り起こし、着実に量産化が進むよう計画していく。 	<p>【ペロブスカイト太陽電池製造技術】</p> <ul style="list-style-type: none"> 特になし。 <p>【ペロブスカイト太陽電池量産体制】</p> <ul style="list-style-type: none"> ペロブスカイト太陽電池製品の歩留まりを向上させ、生産効率を上げることにより低コスト化を図る。

項目	内容	
脅威	強みを活かして脅威を回避する戦略	弱みを克服して脅威を回避する戦略
<p>【ペロブスカイト太陽電池製造技術】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ターンキー・ソリューションが登場する。 <p>【ペロブスカイト太陽電池量産体制】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 中国では巨大EMS（Electronics Manufacturing Service）にみられるように、広大な土地に部材から組み立てまで一貫した工場を構えて、大量生産体制を整えることが可能。 	<p>【ペロブスカイト太陽電池製造技術】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ターン・ソリューションが容易に実現できないように、製造装置は標準化してもレシピは秘匿する「オープン・クローズ戦略」を採る。 ・ 経済安全保障の観点から、ペロブスカイト太陽電池製造技術のノウハウ（レシピなど）を国外に流出させないための措置を取る。 <p>【ペロブスカイト太陽電池量産体制】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 国内のサプライチェーンを強化して、生産リードタイムの短縮を図り、疑似的な一貫生産体制を構築する。 ・ 量産規模のみに頼らない低コスト化の技術を開発する。 	<p>【ペロブスカイト太陽電池製造技術】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 特になし。 <p>【ペロブスカイト太陽電池量産体制】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 特になし。

10. ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーン構築・強化並びにペロブスカイト太陽電池の普及・市場確保に必要な支援策の検討

本章では、7章で議論したペロブスカイト太陽電池のサプライチェーン全体の課題、8章で議論した20GW以上の発電量を確保するための需要創出が可能なシナリオ、及び9章のクロスSWOT分析結果を踏まえて、ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンの構築・強化に加え、ペロブスカイト太陽電池の普及・市場確保に必要な支援策について検討する。

10.1 ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンの構築・強化に必要な支援策

(1) ペロブスカイト太陽電池実用化・製品化の鍵を握る技術開発に対する支援策

企業がペロブスカイト太陽電池の実用化・製品化を進めていくうえで、特に、表10-1に示した技術開発項目が大きな鍵を握るものと考えられる。

政府としては、引き続き、関連する企業に対して、GI基金によりこれらの技術開発研究や実証実験に対する支援を実施していくことが重要である。

表 10-1 ペロブスカイト太陽電池の実用化・製品化の鍵を握る重要技術開発項目

技術開発項目	概要
代替材の開発	ペロブスカイト太陽電池の透明電極に使用されるITOに含まれるインジウムの代替材（銀ナノワイヤやカーボンナノチューブを含む）の開発
封止材・バリアフィルム の性能向上	20年の耐久性の確保に向けたペロブスカイト太陽電池用の封止材・バリアフィルムの性能向上
量産に向けた製造技術 の確立	1 μ m以下の厚さのペロブスカイト層を、大量に均一に塗布するための技術の確立
	ペロブスカイト結晶を形成するドライプロセスを制御する技術の確立

(2) ペロブスカイト太陽電池生産のサプライチェーンに関する情報の流通速度の強化

サプライチェーンを構成する企業群が多いと、企業間で在庫や物流リードタイムの延長などが発生する。いかに無駄のないサプライチェーン網を構築するかが競争優位につながっていくのである。

台湾や中国のEMS（Electronics Manufacturing Service）は、広大な敷地に部材毎の工場で材料から製品までの一貫生産を行い、在庫や物流リードタイムを短縮した。韓国の財閥系企業は大規模投資を行い、自社工場の周辺にサプライヤーを配置したクラスターを形成した。どちらも規模の経済性を発揮したサプライチェーン強化戦略である。

日本で同様な戦略を採ることはできないが、ペロブスカイト太陽電池生産のサプライチェーンに関する情報の流通速度を上げることで、在庫や物流リードタイムを圧縮して海外の大企業に対抗する戦略を採ることが考えられる。

情報流通に関連したデータ連携という視点では、日本は経済産業省主導でウラノス・エコシステム¹⁵⁰が立ち上っている。これは、脱炭素社会・循環経済の実現といった社会課題の解決とイノベーションを両立させるため、企業や業種を横断して、データやシステム連携を行うためのプラットフォームを構築することを目的にした取組みである。現段階では、先行ユースケースとしてバッテリーのカーボンフットプリント算出に向けたデータ連携システムの運用を目指しているが、ゆくゆくは他の製品にも展開していく計画である。

ペロブスカイト太陽電池についても、早期にこの情報流通プラットフォームを活用して、リードタイム短縮や生産性の向上につなげていくことが期待される。

(3) ペロブスカイト太陽電池の重要技術の海外流出対策

前述したペロブスカイト太陽電池の実用化・製品化の鍵を握る重要技術開発項目に関する技術情報は、日本がペロブスカイト太陽電池開発競争に打ち勝っていくうえで、海外に流出しないように防護していくことが重要になってくる。

これは、ペロブスカイト太陽電池の製造に係わるシステムも同様である。中国は、主にドイツなどから、シリコン製造エンジニアを採用し、製造機器メーカーのノウハウ・技術を吸収し、日本企業も、中国国内で、同国の太陽光パネルメーカーに製造委託することを進めた¹⁵¹。かつては太陽電池メーカーが製造技術を握っていたのであるが、技術が製造装置メーカーに徐々に移っていき、製造装置メーカーが太陽電池生産に必要な装置一式を「ターンキー・ソリューション」として提供するようになった¹⁵²。中国の新興太陽電池メーカーは、自前の製造技術の欠如を補うために、海外の製造装置メーカーが提供するターンキー・ソリューションを積極的に導入¹⁵³することにより、シリコン太陽電池モジュールの大量生産を加速させていった。日本は結晶シリコンの研究では先行していたのであるが、中国が、国策としてシリコン太陽電池の高性能化を進め、さらに国からの補助で安く製造できるようになった。これが、シリコン太陽電池の価格の下落を招き、日本がシリコン太陽電池の市場を失った大きな要因である。

以上から、政府は、経済安全保障の観点から、インジウムの代替材、フィルム型ペロブスカイト太陽電池用の封止材、塗布技術、ドライプロセス制御技術といった、ペロブスカイト太陽電池の実用化・製品化の鍵を握る重要技術に加え、ペロブスカイト太陽電池の製造・量産に関わる装置も対象として、輸出管理について本格的に検討を開始する必要がある。

10.2 ペロブスカイト太陽電池の普及・市場確保に必要な支援策

(1) ユーザーの視点を踏まえたペロブスカイト太陽電池の普及策

電力消費者の視点では、ペロブスカイト太陽電池が必要なのではなく、安価な再生可能エネルギー由来の電力が必要なのである。事業者側にとっては、太陽電池のみならず、パワーコンディ

¹⁵⁰ 経済産業省「ウラノス・エコシステムの概要」(2024年6月)

¹⁵¹ 経済産業省「次世代太陽電池戦略」(2024年11月28日)

¹⁵² 丸山知雄「世界の太陽光発電産業のなかの中国」経済論叢(京都大学)第188巻第2号(2014年5月)

¹⁵³ Ibid.

ショナーや蓄電池、更には効率的な電力制御を含めた電力供給システムを構築して、付加価値の高いサービスにつなげていくことが重要である。

従って、ペロブスカイト太陽電池を普及させていくには、パワーコンディショナーや蓄電池といった機器の他に、自律的な電力制御システムなどを含めた電力供給サービスの開発が欠かせないものと考えられる。

(2) 法規制の整備

ペロブスカイト太陽電池・BIPV 製品は、建築物（ビル、住宅、倉庫、工場等を含む）の屋根、窓、壁面等への取り付けが必要であるが、ペロブスカイト太陽電池・BIPV 製品の各種建築物への設置や施工方法について検討が進められている。

ペロブスカイト太陽電池・BIPV 製品の実装においては、今後、建築基準、防火、安全性等の観点から、建築基準法への適合や消防法への対応が必要になることから、建築基準法、消防法を含め、早急に、ペロブスカイト太陽電池・BIPV 製品の設置や施工に関連する法規制の整備を進めていく必要がある。

(3) 蓄電池とのセットによるペロブスカイト太陽電池の普及策

我が国は、電気の安定供給、再生エネルギーの活用、また、想定される巨大地震への備えの一環として、地域ベースで災害時における非常用電源を確保することが一層求められている。

災害時においては、地域の再生可能エネルギー等の自立的な電源の活用を可能にするよう、蓄電池、燃料電池、コージェネレーション、デジタル技術等を活用した地域のエネルギー供給網の構築を進めつつ、分散型エネルギーシステムの構築に向けて、システム全体としてのコストや安定性等を考慮しつつ、取組みを進める必要がある。

ペロブスカイト太陽電池の場合、地域に存在する建築物（商用ビル、倉庫、工場、住宅等）の屋根、壁面、窓等にその応用製品である BIPV を設置することが可能であるため、建築物内にペロブスカイト太陽電池とセットで定置型蓄電池を設置し、各建築物間を繋ぐことにより分散電源化することができる。

このように、ペロブスカイト太陽電池は、国内の地域ベースで、分散電源化することが可能であり、日本の電力レジリエンスに大きく貢献することができる。政府は、ペロブスカイト太陽電池の普及・需要拡大策の一環として、建築物にペロブスカイト太陽電池と定置型蓄電池を組み込み、各地域で太陽光発電を軸とした分散電源化を推進していくことが重要になる。

(4) 税控除方式の導入

令和 6 年度税制改正において、再生可能エネルギー発電設備に係る課税標準の特例措置（固定資産税）が示された（表 10-2 参照）。

これは、再生可能エネルギー発電設備に対して、固定資産税を軽減する措置であり、太陽光発電設備については、FIT・FIP 制度の認定を受けたものを除くものを除き、ペロブスカイト太陽

電池を使用した一定の設備¹⁵⁴、または認定地域脱炭素化促進事業計画に従って取得した一定の設備¹⁵⁵に限るとされている¹⁵⁶。

表 10-2 ペロブスカイト太陽電池に係る税制措置¹⁵⁷

対象設備	発電出力	課税標準割合※1
太陽光発電設備※2 ・ペロブスカイト太陽電池を使用した一定の設備 ・認定地域脱炭素化促進事業計画に従って取得した一定の設備	1,000kW以上	3/4 (7/12～11/12)
	1,000kW未満	2/3 (1/2～5/6)
風力発電設備	20kW以上	2/3 (1/2～5/6)
	20kW未満	3/4 (7/12～11/12)
中小水力発電設備	5,000kW以上	3/4 (7/12～11/12)
	5,000kW未満	1/2 (1/3～2/3)
地熱発電設備	1,000kW以上	1/2 (1/3～2/3)
	1,000kW未満	2/3 (1/2～5/6)
バイオマス発電設備 (2万kW未満)	1万kW以上	2/3 (1/2～5/6) ※3
	1万kW未満	1/2 (1/3～2/3)

※1 本特例措置による軽減後の課税標準の割合。固定資産税額＝設置する設備の評価額×課税標準割合×固定資産税率（1.4%）。

※2 「ソーラーカーポート（駐車場屋根）の導入を行う補助金の支援を受けて取得した設備等」は今回、対象から除外。

※3 「一般木質バイオマス・農産物残さ区分」については、6/7（11/14～13/14）。

ペロブスカイト太陽電池製品の普及に当たっては、「再生可能エネルギー発電設備に係る課税標準の特例措置」の考え方を踏まえ、例えば、ペロブスカイト太陽光発電＋蓄電池にかかる固定資産税を軽減することで、導入する側に大きなメリットを与えることができると考えられる。

(5) ペロブスカイト太陽電池のリサイクル技術及びリサイクルシステムの開発

太陽電池のライフサイクル全体では、太陽電池の製造からリサイクル・廃棄に至るまで適切に行っていくとともに、それが適切に評価される仕組みを構築することが求められている。ペロブスカイト太陽電池には鉛が含有されていることから、鉛を適切に処理・回収することが求められる。政府としても、ペロブスカイト太陽電池に含まれる鉛の処理・回収に加えて、ペロブスカイト太陽電池を効率的にリサイクルする技術の開発を進めていく必要がある。

このような太陽電池のリサイクル・廃棄の問題は、サーキュラー・エコノミーに大きく関係する。実際、日本においても、2023年3月に「成長志向型の資源自律経済戦略」¹⁵⁸が策定され、

¹⁵⁴ グリーンイノベーション基金補助金を受けて取得した1,000kW未満の設備。なお、ペロブスカイト太陽電池を設置するために必要な下地構造部等のうち、償却資産として課税されるものについては、架台として本特例措置の対象に含む。

¹⁵⁵ 以下①～③のいずれかの補助金等を受けて取得した50kW以上の設備（建築物の屋根及び公有地に設置された設備を除く）。①二酸化炭素排出抑制対策事業費（地域脱炭素移行・再エネ推進交付金及び民間企業等による再エネ主力化・レジリエンス強化促進事業に限る）②需要家主導型太陽光発電・再生可能エネルギー電源併設型蓄電池導入支援事業費（需要家主導型太陽光発電の導入支援事業に限る）③株式会社脱炭素化支援機構が行う対象事業活動に対する投融資

¹⁵⁶ 資源エネルギー庁「再生可能エネルギー発電設備に係る課税標準の特例措置（固定資産税）」資源エネルギー庁 Web サイト < https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/support/business2.html >

¹⁵⁷ 出典：経済産業省「次世代型太陽電池戦略」（2024年11月28日）

¹⁵⁸ 経済産業省「成長志向型の資源自律経済戦略」（2023年3月31日）

「成長志向型の資源自律経済」の確立に向けて、以下等の観点からサーキュラー・エコノミーへの転換の必要性について論じている¹⁵⁹。

(a) 資源制約・リスク

- 日本の調達力の相対的な低下
- 高まる供給途絶リスク
- 調達コストと資源枯渇リスクの増大
- EUのサーキュラー・エコノミーの移行に向けた取組み強化のための措置

(b) 環境制約・リスク

- 廃棄物の越境移動に関する規制化の動き
- 進む最終処分量の極小化
- 循環資源の利活用において改善の余地があること
- マテリアル由来のCO₂削減の必要性

(c) 成長機会

- 高まる市場拡大への期待と動き出す成長投資

欧州委員会（European Commission: : 以下 EC）は、2022年3月、EU市場に投入される製品の設計、生産、使用、販売のあらゆる側面を、より環境に優しく、持続可能性と気候目標を達成するための循環型にすることを目的として、「持続可能な製品イニシアチブ」（Sustainable Products Initiative: SPI）を提案した。SPIは、製品の環境性能の向上と循環性（リユース、修理、リサイクル）を確保することにより、持続可能な製品を標準化することを狙いとするものである¹⁶⁰。

ECは、SPIを実施するための法的手段の一環として、欧州エコデザイン指令（European Ecodesign Directive（2009/125/EC））に代わる「持続可能な製品のためのエコデザイン規則」（Ecodesign for Sustainable Products Regulation: ESPR）を制定した（2024年6月施行）。ESPRの制定により、製品の耐久性、再利用性、修理可能性、リサイクル可能性、エネルギー効率、二酸化炭素排出量などに関して、製品に要求される持続可能性に関する要件を設定することができるようになるとしている。同規則は、欧州エコデザイン指令（2009/125/EC）とは異なり、エネ

¹⁵⁹ 経済産業省「資源循環政策の動向について」（2024年10月）

< https://www.cjc.or.jp/commend/pdf/senshinjirei/r06/00_meti.pdf >

¹⁶⁰ European Commission, "Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL, establishing a framework for setting ecodesign requirements for sustainable products and repealing Directive 2009/125/EC," March 2022.

ルギー関連製品以外にも幅広い製品、例えば繊維製品、家具、電子機器などにも適用されるとしている¹⁶¹。

政府としても、「成長志向型の資源自律経済戦略」の一環として、再利用、リサイクル等を念頭に置いた、ペロブスカイト太陽電池及びその応用製品の設計に関する技術及びリサイクルシステムの開発を推進していくことが望ましいと考えられる。

(5) 分散型エネルギーモデルを踏まえた地域再生のビジョンの策定

我が国の分散型エネルギーを取り巻く環境は、①太陽光発電コストの急激な低下、②デジタル技術の発展、③エネルギーシステム改革の進展、④再生可能エネルギーを求める需要家とこれに応える動き（RE100、SDGs等）、⑤多発する自然災害を踏まえた電力供給システムの強靱化（レジリエンス向上）の要請、⑥再エネを活用した地域経済の活性化等への注目等により大きな転機を迎えている¹⁶²。

こうした変化により、「大手電力会社が大規模電源と需要地を系統でつなぐ従来の電力システム」から「分散型エネルギーリソースも柔軟に活用する新たな電力システム」へと大きな変化が生まれつつあり、需給一体型の電力モデル（分散型エネルギーモデル）の普及をより一層促進することが求められている¹⁶³。

その一方で、人口減少及び高齢化の加速により、地方の衰退が進んでいることから、政府は地域再生に力を入れている。地域に賦存するエネルギー資源を有効に活用し、需給一体型の電力モデルを構築することは、生活に必要なライフラインの維持と国土強靱化に繋がり、エネルギーの地産地消は、地域経済の活性化に大きく資すると考えられる。

こういったことから、政府として、ペロブスカイト太陽電池と蓄電システムを軸とする、地域分散型エネルギーモデルを踏まえた地域再生のビジョンを描いていくことが必要になると考えられる。

¹⁶¹ European Commission, “Ecodesign for Sustainable Products Regulation,” EC website

< https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/ecodesign-sustainable-products-regulation_en>

¹⁶² 資源エネルギー庁「分散型エネルギープラットフォーム」資源エネルギー庁 Web サイト（2024年10月24日更新）< https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/bunsan_plat/>

¹⁶³ Ibid.

11. おわりに

本調査研究では、ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンの現状や課題について調査し、ペロブスカイト太陽電池の建築物への設置可能面積の推定に基づき、20GW以上の需要確保が可能なシナリオについて分析した。加えて、ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンを構築していくための戦略について分析することにより、ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーン構築・強化並びにペロブスカイト太陽電池の普及・市場確保に必要な支援策について検討した。

これらを踏まえて、以下の支援策を提示した。

【ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーン構築・強化に関する支援策】

- ・ ペロブスカイト太陽電池実用化・製品化の鍵を握る技術開発に対する支援
- ・ ペロブスカイト太陽電池生産のサプライチェーンに関する情報の流通速度の強化
- ・ ペロブスカイト太陽電池の重要技術の海外流出対策

【ペロブスカイト太陽電池の普及・市場確保に必要な支援策】

- ・ ユーザーの視点を踏まえたペロブスカイト太陽電池の普及策
- ・ 法規制の整備
- ・ 蓄電池とのセットによるペロブスカイト太陽電池の普及策
- ・ 税控除方式の導入
- ・ ペロブスカイト太陽電池のリサイクル技術及びリサイクルシステムの開発
- ・ 分散型エネルギーモデルを踏まえた地域再生のビジョンの策定

今後、日本において、2040年に向けて、ペロブスカイト太陽電池の市場を確立し、市場を安定化させていくには、政府は、地域住民、地方自治体、地域産業団体等と集中的に意見交換を行いつつ、日本の未来社会の在り方として、ペロブスカイト太陽電池と蓄電池を軸とする分散型エネルギーモデルに基づく地域分散型社会を実現させていくためのビジョンについて、明確化していくことが必要である。

このようなビジョンがなければ、国内で長期的にペロブスカイト太陽電池システムを普及・定着させていくことはできない。分散型エネルギーモデルを踏まえた地域再生と地域分散型社会の実現に向けた、政府の強い意志とリーダーシップに期待したい。

最後に一言申し上げたい。

ペロブスカイト太陽電池は、AI、合成生物学、量子技術等に代表される新興技術の一つであり、社会を変革させるゲームチェンジャーとして注目されるべき技術の一つでもある。実際、新興技術は、基礎研究や応用研究の段階のものが多く、それら技術の実用化及び社会実装に向けて、米

国及び中国を中心として各国間で激しい競争が行われている¹⁶⁴。その中で、日本政府が、ペロブスカイト太陽電池の実用化と社会実装に向けて大きく舵を切ったことは特筆すべきことであるといっても過言ではない。

本研究が、今後の日本の新興技術戦略を考えるうえで、一助となれば幸いである。

¹⁶⁴ 公益財団法人未来工学研究所「我が国の経済安全保障・国家安全保障の未来を左右する新興技術－日本として考えるべき外交政策 米中2強の時代に求められる新興技術戦略－」外交・安全保障調査研究事業費補助金（調査研究事業）（2023年3月）

(禁無断転載)

24-8-2

次世代型太陽電池産業におけるサプライチェーンの構築と課題
報告書

令和7年2月

一般財団法人 機械振興協会 経済研究所
委託先:公益財団法人未来工学研究所

〒105-0011 東京都港区芝公園3丁目5番8号

TEL: 03-3434-8251

<http://www.jspmi.or.jp>