

地球温暖化防止の日本の再エネ拡大の切り札、ペロブスカイト太陽電池とは

(一財) 建築コスト管理システム研究所・新技術調査検討会

1 はじめに

地球温暖化とは、地球の平均気温が長期的に上昇することである(図1)。気候変動に関する政府間パネルIPCCのAR6/WG1 報告書(2022)によれば、20世紀半ば以降の温暖化は人為起源の温室効果ガス(二酸化炭素、メタン、フロン等)が主な原因とされている。

温室効果ガスが増え過ぎると、宇宙に逃げるはずの熱が逃げず、地表にたまりすぎて、気温が上昇し、地球全体の気候が変化する。

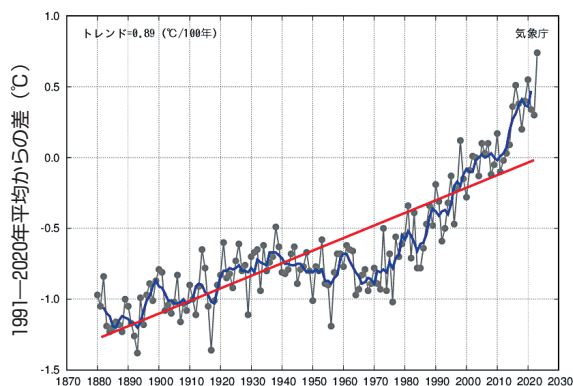


図1 世界の年平均気温の偏差 出典：気象庁

2015年に196の国と地域によって採択されたパリ協定は、世界の平均気温の上昇を産業革命以前の水準から2℃未満にするとともに、1.5℃に抑制するように努力することを目標に掲げ、各国の温室効果ガス削減目標が示された。

我が国では、2050年のカーボンニュートラル(温室効果ガスの排出を全体としてゼロとする)の実現に向けて、日本政府は2030年に国内全体で46%のCO₂削減(2013年比)を目標として定め、そのために総発電量の36～38%を再生可能エネ

ルギーで賄うと表明している。

再生可能エネルギーには風力、水力、太陽光、地熱、バイオマス等の種類があるが、主力の一つとして期待されているのが、太陽光発電である。

そこで、従来の太陽電池の課題を克服する次世代太陽電池として、いま最も注目されている「ペロブスカイト太陽電池(図2)」を紹介する。

2 ペロブスカイト太陽電池とは

2-1 材料による分類

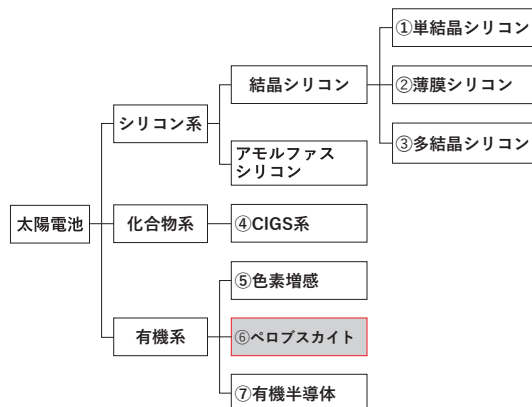


図2 主な太陽電池の材料による分類

新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)
「太陽光発電に関するNEDOの取り組み」より作成

- ①単結晶シリコン太陽電池は、高純度のシリコン結晶ウェハー(シリコンを薄い板状に切断したもの)を利用し、その規則正しい原子配列により、高い発電効率を実現しているが、他の太陽電池と比較するとコストが高い。
- ②薄膜シリコン太陽電池は、結晶シリコンの100分の1程度のごく薄いシリコン膜を使う。
- ③多結晶シリコン太陽電池は、原材料に多結晶シリコンを使用しているため、単結晶シリコン太陽電池よりも変換効率が低い、最も一般的な

種類の太陽電池である。

- ④CIGS系太陽電池は、省資源でなおかつ多結晶シリコンに近い性能が出せる。
- ⑤色素増感太陽電池は、製造が容易で多様な色合いで製造可能である。
- ⑥ペロブスカイト太陽電池は、「ペロブスカイト」と呼ばれる結晶構造を持つ材料を用いた、日本で発見された新型太陽電池である。
- ⑦有機半導体太陽電池は、常温で塗布するだけで製造でき、カラフルで軽量である。

2-2 構造と発電原理

ペロブスカイト太陽電池は、従来の太陽電池と同様に太陽光を当てることで電気を生み出す。太陽光が当たると電子（-）と正孔（+）が発生し、これらが移動することで電気が発生する。従来の太陽電池は光を吸収する素材がシリコン系であるのに対し、ペロブスカイト太陽電池はペロブスカイト構造を持つ物質を採用している（図3）。

ペロブスカイトは結晶構造の一種で（図4）、この構造を持つ物質は多様な電氣的・磁氣的性質があり、シンプルな構造なので、様々な物質から

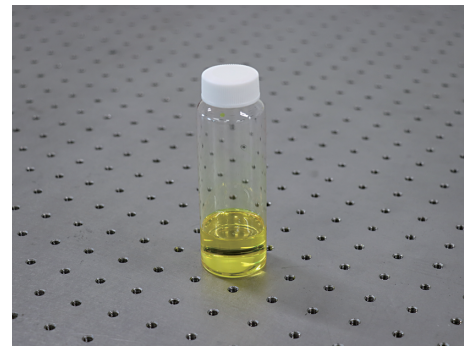
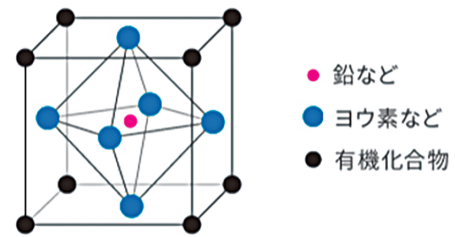


図4 ペロブスカイトの結晶構造と溶液 出典：㈱アイシン

合成してつくることができる。このペロブスカイト構造を持つ物質を材料とする太陽電池をペロブスカイト太陽電池と呼んでいて、2009年に桐蔭横浜大学の宮坂力特任教授によって発見された「日本生まれ」の素材である。

2-3 メリットと課題

2-3-1 メリット

- ①発電効率がシリコン太陽電池と同程度

ペロブスカイト太陽電池が広い範囲の光吸収スペクトルを持ち、従来のシリコン太陽電池と同じように高照度時に発電するのに加えて、低照度や室内光波長でも効率的に変換できるからである。

- ②柔軟性があり、軽量で薄い

シリコン太陽電池は、材料であるシリコン結晶ウエハーの性質が薄く割れやすいため、ガラスに貼り付けてポリマーシートで挟む構造になっており、面積に対して重量が重くなり、曲げることはできない。

ペロブスカイト太陽電池の厚さは約31 μ m (0.031mm) で、単結晶シリコン太陽電池（約30～40mm）と比較すると「約100分の1の厚さ」である。

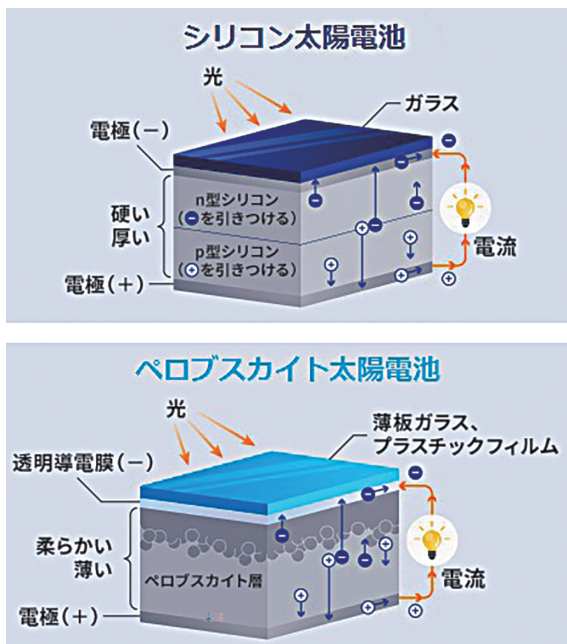


図3 シリコン太陽電池とペロブスカイト太陽電池の構造 出典：㈱アイシン

重さも2.5g/W以下で、シリコン太陽電池(62.5g/W)と比較すると「約25分の1の重さ」である(表1)。したがって、薄くて軽いため、曲げることができる。

表1 ペロブスカイト太陽電池とシリコン太陽電池の比較

	厚さ	重さ
シリコン太陽電池	約30～40mm	62.5g/W
ペロブスカイト太陽電池	約31μm	2.5g/W
シリコン太陽電池に対し	約1/100	約1/25

注) g/W:Gross Weight(総重量)は、その名のとおり、商品、梱包箱、梱包材すべてを含めた重量のことを指す。

③建築物への幅広い応用が可能

- ・ガラス型：光透過性があるため、Low-Eガラス(ガラス表面に膜を貼り、遮熱や断熱性能を向上させる)と組み合わせて使用することが可能である(図5)。



図5 ガラス型ペロブスカイト太陽電池 出典：パナソニック(株)

- ・フィルム型：柔軟な基板上に作成できるため、曲面や可撓性のある構造にも適用可能である(図6)。



図6 フィルム型ペロブスカイト太陽電池
出典：積水化学工業(株)

- ・タンデム型：紫外光から赤い光でよく発電するペロブスカイト太陽電池と、赤い光から赤外光でよく発電するカルコパイライト太陽電池を重ね変換効率26.5%を達成したものである(図7)。

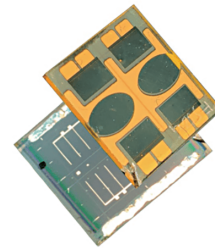


図7 タンデム型ペロブスカイト太陽電池 出典：(株)PXP

④設置場所の柔軟性

日本は、国土面積当たりと平地面積当たりの太陽光発電の導入量が主要国で1位(図8、図9)であり、設置のしやすい平地も限られている。大容量のシリコン太陽電池を平地に設置(図10)する場所の確保が課題となっている中、ペロブスカイト太陽電池には、薄くて、軽く、柔軟であるといった特性があるので、これまでの技術では設置が難しかった場所にも導入できるものとして期待が高まっている。

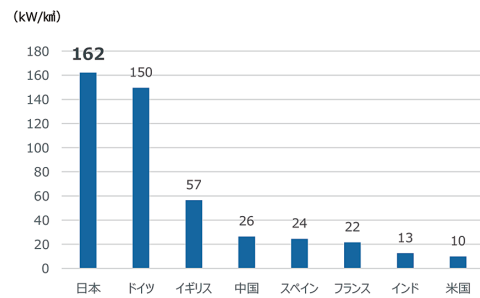


図8 国土面積当たりの太陽光設備容量 出典：資源エネルギー庁

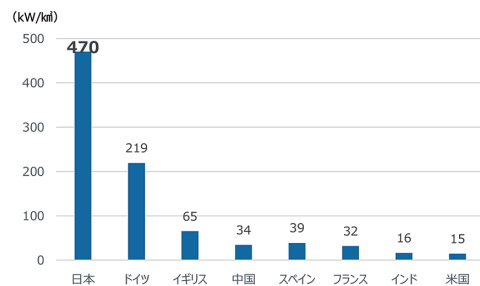


図9 平地面積当たりの太陽光設備容量 出典：資源エネルギー庁



図10 大容量シリコン太陽電池の設備例
(広島県安芸高田市某発電所)
出典：(株)ウエストホールディングス

⑤日本国内で原材料を調達できる

主な原料であるヨウ素生産量は、日本の生産量が世界シェアの約3割で、世界第2位である(第1位はチリで約6割)。そのため、サプライチェーンを他国に頼らずに安定して確保でき、経済安全保障の面でもメリットがある(図11)。

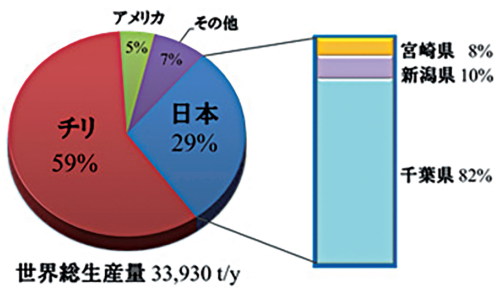


図11 世界市場での日本のヨウ素生産量
出典：千葉ヨウ素資源イノベーションセンター

⑥製造工程が少ない

塗布や印刷などで製造が可能のため工程が少なく(図12)、工場での電気代や人件費を抑えることが可能になり、低コスト化に繋がる。

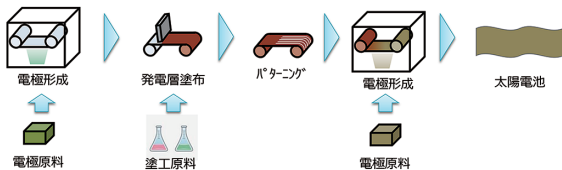


図12 ペロブスカイト太陽電池の製造工程イメージ
出典：資源エネルギー庁

⑦レアメタルを含まない

地球上に存在する絶対量が少ない希少なレアメタルを含んでおらず、低価格なヨウ素(前述⑤)などを材料としている。

⑧輸送・設置コストが抑えられる

従来の太陽電池よりも非常に軽いため、輸送コストが抑えられる。また、架台などの必要もなく、設置コストも抑えることができる。

⑨従来より大面積のモジュールが作成できる

NEDOとパナソニック(株)は、ガラスを基板とする軽量化技術や、インクジェットを用いた大面積塗布法を開発し、これらの技術を用いて作製した世界最大のペロブスカイト太陽電池モジュール(有効面積802cm²:縦30cm×横30cm×厚さ2mm)で世界最高のエネルギー変換効率16.09%を達成した(図13)。



図13 世界最大面積と世界最高変換効率を達成したペロブスカイト太陽電池モジュール

出典：新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)
「2020年1月20日ニュースリリース ペロブスカイト太陽電池大面積」

2-3-2 デメリット

①変換効率が低い

開発当初のペロブスカイト太陽電池のエネルギー変換効率は3%程度に留まり、シリコン太陽電池の一般的なエネルギー変換効率の14~20%程度と比較すると変換効率の低さが課題であった。

しかし、2023年時点では、20%前後にまで高めることに成功している。今後はこのエネルギー変換効率を塗布や印刷技術で量産可能なレベルで実現させることが課題である。

②性能が安定しない

ペロブスカイト太陽電池は、外的要因の影響

を受けやすいという不安定性がある。外的要因としては酸素・水分などが、結晶内の結合に影響を与え、発電効率の低下に繋がる。

③耐久性が低い

酸素・水分などの影響で結晶内の結合に支障をきたした場合は、耐久性が低くなる。光を照射することにより性能が回復する光改善という現象により一部修復できるが、完全には解決できない。

この現象に対しては、電池の封止方法を改良することで、耐久性の向上が期待されている。

④鉛が使用されている

少量であるが材料に鉛が使われており、何らかの理由で漏れ出した場合、環境汚染に繋がるため、厳密な管理が必要になる。実用化に向けて、鉛を使わない材料での高変換効率や高耐久性を目指した素材開発が世界的に行われているが、依然として鉛を使用した場合との変換効率の差が大きく、現在は鉛に代わる素材はない。

一方、シリコン太陽電池では、1990年代から2000年代に製造された太陽電池の電極に数%から数十%の鉛が使用されていたが、2010年代以降では鉛フリーの電極も増えており、鉛の含有率は全体的に減少している。

以上のメリットとデメリットの比較を表2に表す。

表2 結晶シリコンとペロブスカイトの比較

	結晶シリコン	ペロブスカイト
発電効率	◎ 20%程度	◎ 7~20%程度(研究レベル)
高照度の発電(外の太陽直下)	◎ よく発電する	◎ よく発電する
低照度の発電(室内の部屋)	× ほとんど発電しない	◎ よく発電する
柔軟性	× ない	○ フィルムで可能
重量	× 重い	◎ 軽い
厚さ(発電層)	△ 数百μm	◎ 数十μm
光透過性	× ない	◎ ある
原料	× 日本国内で賄えない	◎ 日本国内で賄える
生産コスト	○ 量産効果で安い	◎ 生産が簡易で安い
性能の安定性	◎ 安定性がある	△ 安定性がない
耐久性	◎ 20~25年	△ 10年(積水化学工業)
鉛の使用	△ 鉛フリー電極も増えている	× 使用されている
輸送と設置コスト	△ 量産効果で安い	◎ 軽いので安い
モジュール寸法	◎ 大	△ 小(開発中)

3 ペロブスカイト太陽電池の活用例とプロジェクト例

ペロブスカイト太陽電池のメリットである「軽い」「曲がる」「安い」の特徴を活かせば、これまでシリコン太陽電池が設置できなかった曲面や、都市部のビルの壁面や窓、自動車の屋根、服やモバイル端末といった身の回りの物への設置が可能になり、生活の中のあらゆるもので発電ができるようになる(図14)。

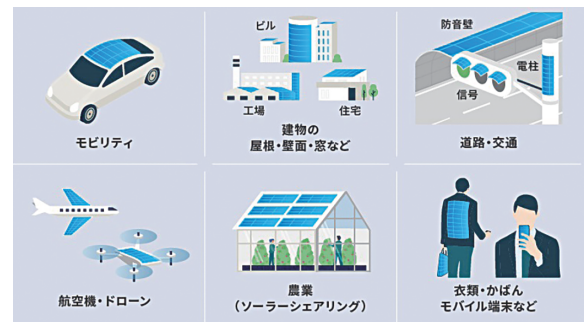


図14 ペロブスカイト太陽電池の活用例 出典：(株)アイシン

「内幸町一丁目街区南地区第一種市街地再開発事業」を推進する第一生命保険(株)、中央日本土地建物(株)、東京センチュリー(株)、東京電力パワーグリッド(株)及びTF内幸町特定目的会社がCO₂排出量実質ゼロの実現に向けて、外壁にペロブスカイト太陽電池を設置するサウスタワー(図15)プロジェクトを進めている。



図15 サウスタワーの完成イメージ 出典：東京電力ホールディングス(株)

- ・ 場所：東京都千代田区内幸町1丁目
- ・ 建築概要：事務所、商業、ホテル、ウェルネス促進施設など 地上45階、地下3階、高さ230.23m(最高232.52m)、延べ面積287,000㎡の超高層ビル
- ・ 基本設計は日建設計、実施設計は、清水建設
- ・ 2024年3月着工し、2027年3月竣工予定

本プロジェクトにおいては、積水化学工業(株)が開発したフィルム型ペロブスカイト太陽電池（以下、「PSC」という）（図16）を東京電力ホールディングス(株)と共同で、本プロジェクトで建設予定の建物（サウスタワー）のスパンドレル部の外壁側内部に設置し（図17）、都心部におけるエネルギー創出の最大化及びエネルギーの地産地消の促進に取り組む。

また、積水化学工業(株)は、現在、30cm幅のペロブスカイト太陽電池のロールtoロールでの連続生産が可能となっており、耐久性10年相当、発電効率15%に成功している。既に建物壁面への実装工事も行われるなど、実証の取組みも進捗が見られており、世界初となる1MW超の建物壁面への導入計画が公表された。

今後、1m幅での量産化技術を確認させ、2025年の事業化を目指している。

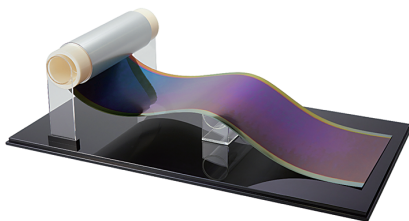


図16 フィルム型ペロブスカイト太陽電池（PSC）
出典：積水化学工業(株)

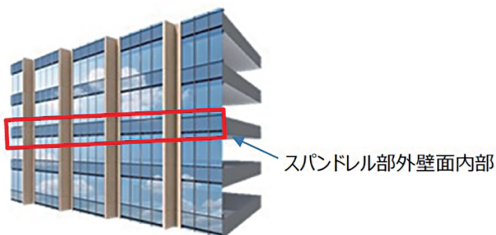


図17 PSC設置イメージ
出典：東京電力ホールディングス(株)

4 ペロブスカイト太陽電池に関する官民の動きと導入見込み

積水化学工業(株)等、国内メーカーや経済産業省、東京都といった約150団体が「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」を発足させ、2024年5月29日に第1回を開催した。また、2021年度に策定した現行のエネルギー基本計画は、2030年度の電力構成で太陽光や風力といった再生可能エネルギーにペロブスカイト太陽電池の導入を想定していなかった。そこで、2040年度の電力構成を定める次期エネルギー基本計画にペロブスカイト太陽電池の導入を想定し、反映させるため、今夏にも同年度の導入目標を策定することになっている。

みずほリサーチ&テクノロジーズ(株)は、ペロブスカイト太陽電池の導入量が2040年度に3,830万kW、2050年度は8,420万kWになると予想している。（既存の太陽発電の導入規模は7,000万kW）

5 おわりに

本レポートでは、いま最も注目されている「ペロブスカイト太陽電池」について紹介した。冒頭で述べたように、地球温暖化防止のためパリ協定は、世界の平均気温の上昇を産業革命以前の水準から2℃未満にするとともに、1.5℃に抑制するように努力することを目標としている。

我が国の発明である「ペロブスカイト太陽電池」は、本レポートで示したようにメリットが多々あり、課題もあるが、国内外のメーカー・研究機関等が主導権を握ろうと課題克服や性能向上で競い合っていて、今後の再生可能エネルギーの主力になると予想される。

最後に、本調査にあたって、資料、データの使用を了解していただいた、東京電力ホールディングス(株)、(株)アイシンに感謝を申し上げます。