

# 次世代型太陽電池でエネルギーの未来を創る

～大学発ベンチャー企業の取り組み～



株式会社エネコートテクノロジーズ  
技術部 GM / 工学博士  
廣島 安

## 1. はじめに

昨今の気候変動や温暖化問題、そしてその対策として掲げられているカーボンニュートラル（CN）社会の実現は、世界中で多くの関心が寄せられている。国内におけるCNへの取り組みは、2020年10月の臨時国会で当時の菅首相が、2050年までに温室効果ガス排出ゼロ～CN社会の実現を目指すことを宣言したことから本格的に始まった。2021年4月の地球温暖化対策推進本部では2030年度温室効果ガスを2013年から46%削減することが表明され、さらにこの政策目標を実現するための具体策として、2021年6月には「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が示された。これは温暖化対策を経済成長の制約やコストとしてではなく、成長の機会ととらえて「経済と環境の好循環」を作っていく産業政策である。この政策の中には成長が期待される14分野の産業があげられている。たとえばエネルギー関連では洋上風力産業や水素産業、輸送・製造関連ではEV等の自動車産業や次世代半導体産業、そして家庭・オフィス関連では次世代型太陽光産業などが記されている。今後の日本社会全体を電化・電動化に移行させていく意向がうかがえる。

この政策の実現にはいくつもの新技術の実現が鍵となる。その中の注目技術のひとつとして次世代型太陽電池がある。「次世代型太陽電池に関する国内外の動向等につい

て」(2022年11月資源エネルギー庁)では、日本国内の太陽光発電の導入目標を2030年に電源構成比14～16%、発電電力量1290～1460億kWhとしており、ほかの再生エネルギーに比べて最も大きく、非常に意欲的な目標になっている。

経済産業省では国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）に総額2兆円の基金を造成し、企業の研究開発、実証から社会実装までを支援するグリーンイノベーション（GI）基金事業を立ち上げた。次世代型太陽電池事業もその対象分野であり、その実用化事業として上限498億円（現在は648億円に増額）のNEDOプロジェクトが現在実施されている。同プロジェクトにおける次世代型太陽電池は具体的にはペロブスカイト太陽電池（Perovskite Solar Cells：PSCs）であり、その研究開発から製品化、実用化・実証事業まで、幅広く産官学が連携する取り組み体制となっている（図1）。

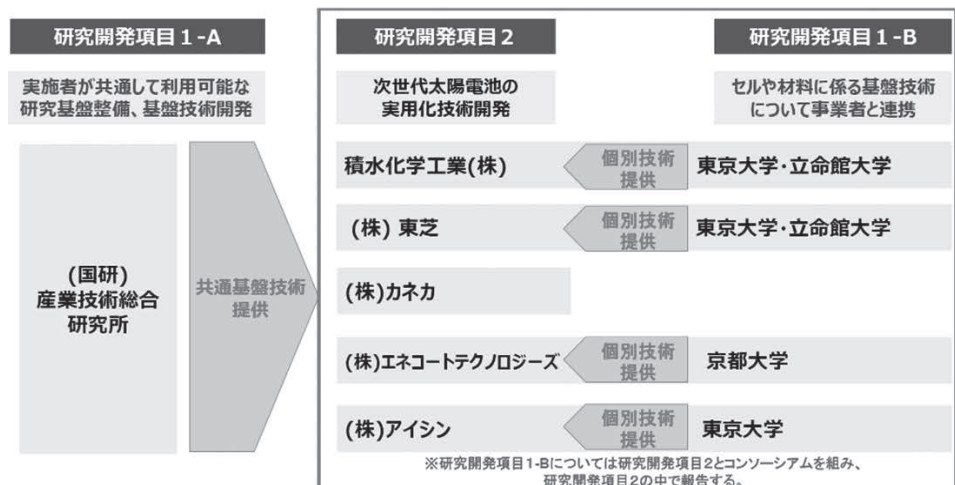


図1 グリーンイノベーション基金事業 次世代型太陽電池の開発 実施体制

出典：2022年度WG報告資料 2022年11月29日 新エネルギー部 NEDOより引用

この実施体制の中で、PSCsの実用化に向けて“専業メーカー”として取り組んでいるのが弊社：株式会社エネコートテクノロジーズである。次項では簡単に弊社の紹介をさせていただき、その後にPSCsの紹介と今後の展望について述べていく。

## 2. 株式会社エネコートテクノロジーズ

弊社は京都大学発のベンチャー企業として誕生した。設立のきっかけは、2013年安倍政権時代の文部科学省による官民イノベーションプログラムの中で、大学が事業を行うための予算として京都大学を含む4大学に1000億円の資金配分がされたことによる。京都大学はその資金を原資に産学官連携本部を設立し、同大学発のベンチャー創生のため、大学100%出資子会社である京都大学イノベーションキャピタル株式会社（京都iCAP）を2014年に設立。そして2016年には事業化を目指す研究開発プロジェクトを起業前から助成する制度「京都大学インキュベーションプログラム（IPG）」をスタートさせた。この第1回IPGにPSCsの事業化を目指す京都大学化学研究所若宮教授と、現エネコートテクノロジーズ社加藤代表取締役社長がコンビを組み応募、第1号案件として採択された。その後、3年間のインキュベーションプログラムを終え、2018年に株式会社エネコートテクノロジーズが発足、2019年に京都iCAPからの出資を受け事業をスタート、2022年3月には事業会社やベンチャーキャピタル計18社から約15億9000万円のシリーズBラウンド資金調達を実施し、これまでの資金調達累計は20億円を超える。弊社のコーポレートミッションは、①低照度向け高効率太陽電池を用いたデバイスによるIoT化促進への貢献、②高照度向け軽量薄膜太陽電池によるカーボンニュートラル社会実現への貢献であり、これまでに多くのパートナー企業と共同研究や業務提携などの契約を結びながら、前記ミッションの実現に向けた活動を進めている。

## 3. ペロブスカイト太陽電池の特徴と期待

“ペロブスカイト”太陽電池という聞き慣れない名前に「？」が頭に浮かぶ諸兄姉も多いかと思う。政府が掲げる2050年のCN実現に向けて注目技術のひとつであるが、具体的にどんな太陽電池であるのか、初めて耳にする方には名前から想像するのは難しい。ここでは、現在広く使われている「シリコン系太陽電池」と比較しながら、「ペロブスカイト太陽電池」について簡

単に紹介する。

現在、一般住宅の屋根の上や、郊外などでは広範囲な土地に太陽電池パネルが多数設置されている光景を目にすることがあるが、それらのほとんどはシリコン系太陽電池とよばれるものである。シリコン系太陽電池に関しても過去にNEDOプロジェクトが実施され、国内企業の技術や生産レベルは引き上げられ、世界シェアの上位を占めるに至った。そして政府の「FIT制度」もあり国内での太陽電池の普及も進んだが、中国勢が巨額な投資と製造コストの引き下げで市場を席卷し、現在では日本企業はそのシェアを落としている。シリコン系太陽電池のサプライチェーンの約9割が中国勢に占められている状況といわれている。

前述の「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」の中で注目技術としてあげられている次世代型太陽電池は、ペロブスカイト太陽電池（PSCs）とよばれている新しいタイプの太陽電池である。ここでいう「ペロブスカイト」とは結晶構造の一種の名前であり、その語源は、同構造を発見したロシア人科学者；Lev Perovski氏にちなんで名づけられている。この次世代型太陽電池においては、光を吸収し電気を発生する発電層の物質がペロブスカイト結晶構造であることから「ペロブスカイト太陽電池」とよばれている（ちなみにシリコンはダイヤモンド構造とよばれる別の結晶構造を有する）。ペロブスカイト構造を有する化合物は世の中に無数に存在するが、有機・無機ハイブリッドのペロブスカイト結晶に発電性能があることを見出したのは桐蔭横浜大学の宮坂力教授であり、ノーベル賞受賞候補者として注目されている。そして京都大学化学研究所の若宮教授はPSCsの鍵材料であるペロブスカイト薄膜に当初から着目しており、その材料開発に携わっている。

PSCsはシリコン系太陽電池と同じく、いくつかの半導体の層が積み重なってできているデバイスであるが、使用されている材料や製造工程は大きく異なっている。シリコン系太陽電池の場合、原料となるシリコンを1000℃以上の高温で溶融した後に固化・結晶化させる、もしくは真空装置を用いてシリコン薄膜を形成するなど、その製造コストは比較的高い。またシリコンは固く、脆い性質があるため曲げることが困難であり、太陽電池として設置する場合には平坦で頑丈なケースに入れ固定する必要がある。住宅の屋根や郊外に設置されている太陽電池パネルの形態を見ると、

設置条件が制限されていることがわかる。シリコン系太陽電池の利点は、光から電気への変換効率が高く（～25%程度）、またその特性も安定していることである。

一方のPSCsは、ペロブスカイト半導体材料を含む溶液をガラス基板やフィルム基板に塗布して乾燥、焼成することで作製することができる。ここで用いる製造工程の温度はせいぜい百数十℃程度であり、前述のシリコン系太陽電池の場合に比べるときわめて低い温度で製造が可能である。すなわち製造時に消費するエネルギー量が非常に少ない。またPSCsを構成する各層は非常に薄い膜であり、ガラス等の基板部分を除くと全層合わせても1～2ミクロン程度である。シリコン系太陽電池（結晶系）の厚み：100ミクロン程度と比較すると非常に薄いことがわかる。

太陽電池の性能を表す重要な指標として、発電性能（発電効率）がある。シリコン系太陽電池で高い発電性能を有する単結晶型は25%を超える性能を有している。PSCsでは、研究開始当初は10%未満と低位であったが、ここ10年程度の間記録が次々に更新され、2023年には25%を超える発電性能が報告されている。すなわちPSCsは単結晶型のシリコン系太陽電池に並ぶ発電性能を有するに至っている。加えて、PSCsは高照度と低照度の両方で発電できる特徴がある。従来の単結晶型のシリコン系太陽電池は高照度下において高効率に発電する利点をもつが、低照度下ではほとんど発電しない。アモルファス型のシリコン系太陽電池は反対に低照度下において発電する利点があるが、高照度下での発電性能は低い。これに対してPSCsは、屋外の太陽光が照射する高照度下の環境においても、室内の照明光の環境下においても使用することができ、活用領域が広いのも特徴のひとつである（表1）。

太陽電池を製造する際に使用されるエネルギーと、

表1 シリコン系太陽電池（結晶系、アモルファス系）とペロブスカイト太陽電池の比較

	結晶シリコン	アモルファスシリコン	ペロブスカイト
発電性能（高照度）	◎ ～25%	△ 10%程度	◎ ～25%
発電性能（低照度）	× 殆ど発電しない	○ 発電する	◎ 良く発電する
重量	× 重い	◎ 軽い	◎ 軽い
薄さ（発電層）	△ 数百μmオーダー	◎ 数μmオーダー	◎ 数μmオーダー
柔軟さ	× ない	△ ある程度可能	○ 可能
原料・生産コスト	○ 量産効果で安い	△ ある程度安い	○ 安くなる可能性大
輸送・設備コスト	△ ある程度安い	△ ある程度安い	○ 軽いので安い

出典：各種資料より作成。

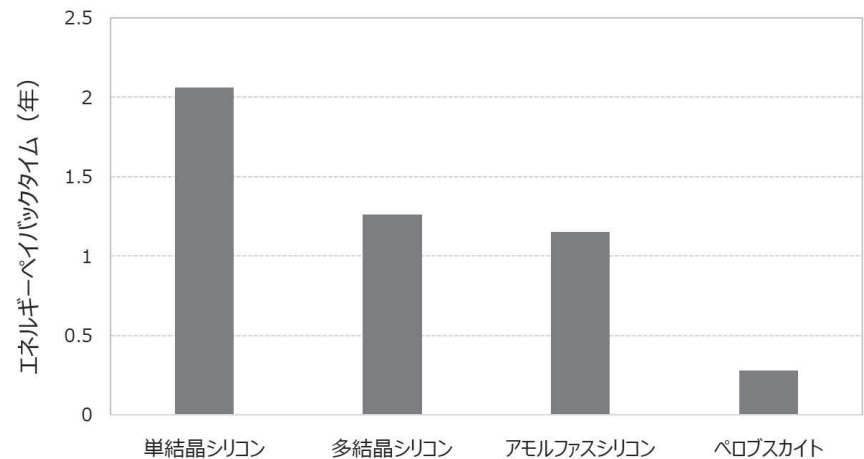


図2 各太陽電池のエネルギーペイバックタイム

出典：R. Vidal, J-A. Alberola-Borràs, N. Sánchez-Pantoja and I. Mora-Sero, Adv. Energy Sustainability Res. 2021, Vol.2, 2000088 より作成。

製造された太陽電池が発電するエネルギーに関して、スペインのジャウメ1世大学は各種太陽電池のエネルギーペイバックタイム（製品のライフサイクル中に投入されるエネルギーに対し、そのエネルギーを発電によって生み出すのに必要な稼働時間）を報告している（図2）。これから明らかなように、複数のタイプがあるシリコン系太陽電池（単結晶型、多結晶型、アモルファス型）のいずれに対しても、PSCsのエネルギーペイバックタイムは短く、短期間でエネルギーの収支が黒字になることがわかる。

PSCsのほかの特徴として、薄く、軽く、曲がる太陽電池が実現できる点があげられる。先に述べたように、PSCsの製造工程は比較的低温で完結できるため、PETフィルムなどのフレキシブルな基板上に作製することができる。そしてその厚みも薄いことから、柔軟で軽量の太陽電池が実現できる。図3は弊社の試作品の一例である。このように薄く、軽く、柔軟なフィルム状のものが太陽電池として機能する。この特徴を

活かした利用として、たとえば倉庫やカーポート等の耐荷重の小さな屋根に対して容易に設置することができる、もしくは簾やロールスクリーンのように壁面に設置し、必要な時だけ出して発電することもできる。さらには折り畳んで持ち運び、必要な場所で広げて発電することもできる。いずれも従来のシリコン系太陽電池では想像できなかった新しい太陽電池の使い方であり、これまで使用されていなかった太陽光の利用など、新しい発電の世界がこのPSCsによって実現できると期待されている。このほかにもPSCsにはいくつかの特徴を有しているが、詳細は関連図書をご覧ください。

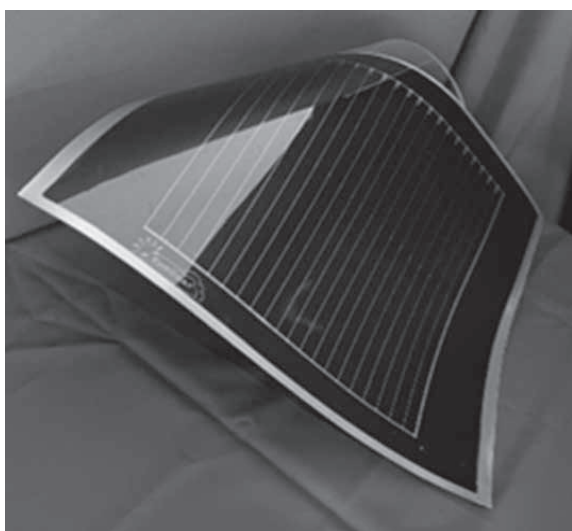


図3 フレキシブルなペロブスカイト太陽電池

## 4. 今後の展開に向けた課題

PSCsはこれまでのシリコン系太陽電池と異なる特徴を有し、次世代型太陽電池として大きく期待できる一方で、実用化に向けてはまだいくつかの課題が残っている。ここではそれら課題について述べる。

### ①大面積化への対応

PSCsはすでに従来のシリコン系太陽電池と同程度の発電効率が報告されているが、その発電面積はまだテストセル等の小さいものが多い。すなわち実験室レベルの小型の太陽電池から今後の実用化に向けては、同程度の高い性能を維持しつつ、大面積のPSCsを生産する技術が必要となる。先に述べたように、PSCsではペロブスカイト半導体材料を含む溶液を基板上に塗布して乾燥、焼成し、結晶化させることで発電層が形成される。その発電層の厚さは1ミクロン以下であ

る。実用化に向けては、たとえば数10cm四方や1m四方の基板全面に対して均一に1ミクロン以下の溶液を塗布し、均一に乾燥、焼成、結晶化することが鍵となる。大面積化についてはすでに国内各社でも取り組まれているが、最近では中国企業から1.2×0.6mの基板で高い発電効率を実現した発表があり、世界の関連企業間で競争が行われている。

### ②生産性の向上

PSCsは現在も開発途上にあり、従来のシリコン系太陽電池に比べまだ生産性は低く、それによる発電コストは高い状態である。今後のPSCsの発電コストを下げるためには、より効率的な生産方法の実現が鍵となる。前述の大面積化への対応も生産性を上げるひとつの方法であるが、ほかにも製造工程の簡略化や、またロールtoロール方式等の新しい生産方式を採用する取り組みもある。今後のPSCsが使用される最終製品を意識した生産ラインの構築が必要になってくるであろう。冒頭に述べたNEDOプロジェクトにおいては、PSCsにおいてもシリコン系太陽電池と同等の14円/kWhを実現することが目標として示されている。

### ③耐久性の確保

PSCsの製造工程は比較的低温のプロセスで完結する特徴があった。これにより製造に費やすエネルギーが少なく、またフィルム基板に形成できる利点があるが、一方で耐久性を確保することもクリアしなければならない。耐久性とは、たとえば耐熱性や耐湿性、そして耐光性など、さまざまな過酷な環境下でも特性が低下せず、長期間その性能が維持されることである。今後、特に屋外で長期間使用される用途にPSCsが適用される場合は、これらの耐久性（長期信頼性）の確保は重要な要素となる。

### ④特徴を活かした用途展開

PSCsは薄く、軽く、柔軟で、手軽に設置できる利点がある。すなわち大掛かりな補強工事等をしなくても、比較的容易に既存設備に後付けすることが可能になる。耐荷重が十分でない建築物の屋根、またビルや工場、橋梁、高速道路などの壁面への設置が想定される。従来利用されていなかった新たな用途展開を実現するには、各種建築物を手掛けるゼネコン、デベロッパー、建材メーカ、ハウスメーカなどとの協業、製品開発が有功と考えられる。業界の垣根を超えた取り組みがPSCsによる新しいビジネスを創出するであろう。

またPSCsのほかの特徴として低照度環境下での発電効率が高い点がある。すなわち屋外の日陰環境や、屋内では室内照明による発電利用が可能である。いずれも従来のシリコン系太陽電池では活用されていなかった“弱い”光のエネルギーを利用する用途である。IoT時代の到来によって、橋梁や道路などのインフラ設備をモニタリングするセンサや、またビルなど大型建築物では建物内の環境を監視する多数のセンサの設置が検討されている。これらとPSCsを組み合わせることで、センサモジュールのバッテリーレス化や非常時におけるバックアップ電源等としてPSCsは機能すると考えられる。図4は株式会社マクニカと弊社が試作した空気質モニタリングセンサのモジュールである。屋内照明の環境下で温度、湿度、照度、CO<sub>2</sub>のセンサを動作させ、無線にてデータが送信される。このセンサモジュールは2023年度に東京都庁内に設置され、実証実験が行われている。

今後のPSCsの用途展開を考える際、シリコン系太陽電池と同じ領域に参入するのではなく、軽量化やフレキシブル性などPSCsが有する特徴を活かした市場を創出することが肝要であると考え。そのためには市場が求める“隠れた”ニーズを見つけ、それに合わせたマーケティング戦略が重要になる。

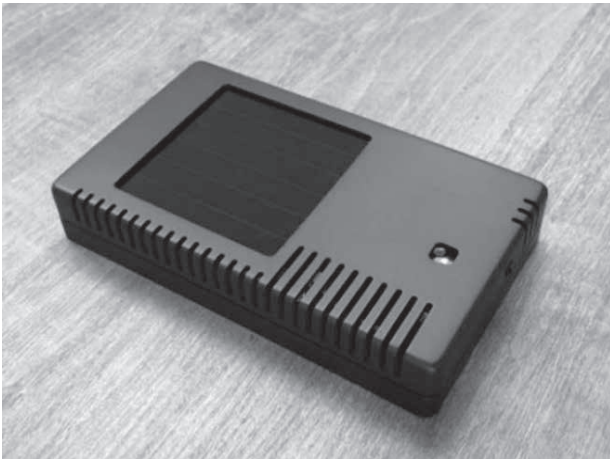


図4 ヘロブスカイト太陽電池を搭載した空気質モニタリングセンサ

## 5. おわりに

これまでのシリコン系太陽電池では、かつては国内企業が高い技術力を有し存在感を示していたが、現在では海外勢に大きくシェアを奪われてしまった。似たような状況は半導体産業やディスプレイ産業にもみら

れ、世界的に高いプレゼンスを示していた国内企業も、現在は海外勢にその地位を奪われている。今回の日本発のPSCs産業の行く末はどうなるのか、どうすれば同じ轍を踏まないようにできるのか、国や企業がとるべき戦略、方向性が問われている。PSCs開発とその普及は、冒頭に述べたCN社会の実現に向けた重要な施策のひとつであると同時に、日本の将来のエネルギー自給率にも関連するテーマととらえる必要がある。図1に示した各国内企業では各々の用途に向けた取り組みがすでに進められている。弊社においても室内から屋外、さらには宇宙分野までを視野に入れ、どこでも発電し電力を供給する「どこでも電源<sup>®</sup>」の普及を目標に掲げ、さまざまな暮らしに役立つPSCsを開発し、早急な製品化の実現を目指している。

