

アイシンにおけるペロブスカイト太陽電池開発

岡本 朋也
Tomonari Okamoto
遠山 智之
Tomoyuki Toyama
市川 真也
Shinya Ichikawa

木村 豪
Tsuyoshi Kimura
能地 康德
Yasunori Noji
日比野 洋
Yo Hibino

高橋 国男
Kunio Takahashi
鈴木 晃
Akira Suzuki
中島 淳二
Junji Nakajima

概要

アイシングループは、カーボンニュートラル社会の実現に向けて、様々な取り組みを推進している。中でもペロブスカイト太陽電池(Perovskite Solar Cell, 以下PSCと略記)は、軽量で薄く曲げることも可能であり、これまで取り付けることが難しかった既設工場の壁面や重量制約のある屋根面に装着でき、オンサイトでクリーンな電力エネルギーを供給できる可能性を秘めている。そのため、多くの製造工場を持つアイシンが2035年度に生産カーボンニュートラルを達成するうえで、非常に重要な技術と捉えている。本稿では、アイシンにおける現在のPSCの開発状況について紹介する。

1. はじめに

1.1 アイシンにおける製品、ビジネス展開

アイシンでは、カーボンニュートラル実現に向けたシナリオを策定し、グローバルでの生産CO₂は2030年に2013年比で50%削減、2050年に100%の削減を目標としている。

さらに、昨今の市場要請・競争力の観点から生産CO₂のカーボンニュートラル実現時期の早期化に向け、図1に示すように、生産技術の革新や日常改善による省エネの推進、再生可能エネルギーの導入拡大など、取り組んでいるさまざまな活動を加速している。

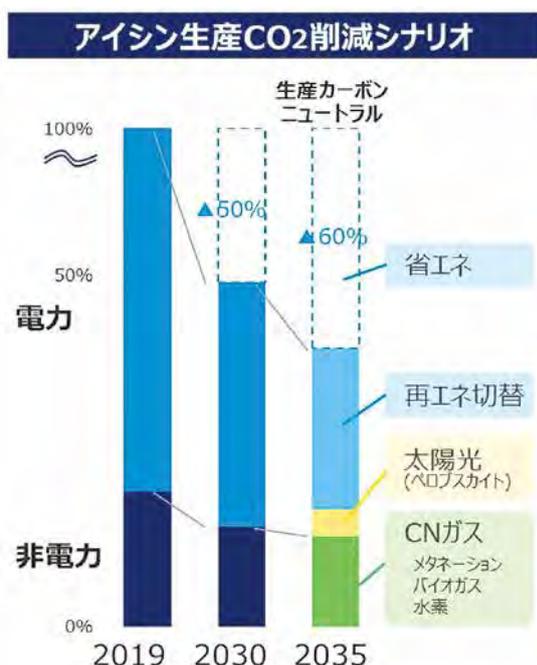


図1 アイシンにおける生産CO₂削減シナリオ

また、図2に示すようなクリーンエネルギーインフラと車両向けデジタルサービスを融合した新しいビジネスモデルを展開することで、エネルギーバリューチェーンビジネス事業の確立を目指している。

これらのビジネス展開を目指す中で、再生可能エネルギーの一端を担うべく、軽量で屈曲性を持つPSCを開発し、建屋屋根での発電、建屋壁での発電、車両での発電に活用、水素生成器での水分解や充電ステーションでの各種電動車への充電、大規模蓄電池への蓄電といった、各種エネルギーインフラの駆動源とすることで新しいビジネスモデル確立への貢献を目指していく。



図2 エネルギーバリューチェーンビジネスへの展開

1.2 モビリティへの展開

カーボンニュートラル技術で地球に優しいモビリティ社会づくりに貢献する為、弊社ではPSCのモビリティ搭載の重要性を発信している。

最近では、再生可能エネルギーからの電力供給を想定した電動化の動きが進み、太陽電池のモビリティ搭載が注目され、各研究機関や企業において開発競争が活発



図6 30cm角のPSCモジュール

2. アイシンモジュールの特徴

2.1 モジュール構造

図7にアイシンのPSCモジュールの特徴を示す。

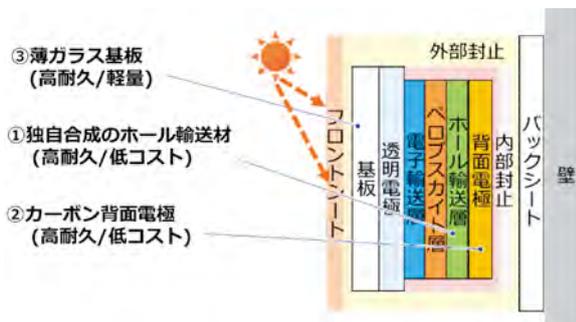


図7 アイシンのモジュール構造

アイシンのPSCモジュールの特徴としては基板から順番に薄膜を形成しているn-i-p構造をとっており、①独自合成のホール輸送材、②カーボン背面電極、③薄ガラス基板の採用が挙げられる。

有機半導体であるホール輸送材は性能と耐久性に関わる重要な材料の一つであり、その耐久性確保が課題となっている。独自合成にあたり、耐久性を確保と合成容易性を考慮した分子構造とすることで、耐久性と低コストの両立を図った。

また、背面電極材料をどのような材料にするかについても社会実装に向けた課題である。研究段階において背面電極には金属薄膜、特に金薄膜を用いることが多いが、大面積に敷設することが多い太陽光発電においてはコストに見合わない。そこで、独自配合のカーボンを利用することで金薄膜と同等の性能を確保するとともに、社会実装にむけコスト低減を目指している。

発電層であるペロブスカイト層は外部空気の侵入により劣化し易いことが知られている。一般的にPSCは薄膜太陽電池であり、屈曲性を持たせられることから樹脂フィルム基板での研究が行われている。しかし、これらの樹脂フィルムではガス透過性の観点から封止性能を高めるのは難しい。弊社では封止性にとって有利であるガラス基板を採用した。さらに、重量と屈曲性確保するため薄ガラスによる検討を進め、軽量性と屈曲性の両立を

目指している。

2.2 低コスト・高耐久性ホール輸送材料開発

アイシンではPSCの効率と耐久性に重要な役割を果たす正孔輸送材料(HTM)の研究開発を行っている。一般的に使用されている市販品の2,2',7,7'-テトラキス-(N,N-ジ-4-メトキシフェニルアミノ)-9,9'-スピロピフルオレン(spiro-OMeTAD)は十分な導電性と正孔移動度を確保するには、ドーパントとしていくつかの材料(LiTFSI,FK209,4-tert-ブチルピリジンなど)が必要になる。我々は色素増感型太陽電池の増感色素合成で培った技術を元にこれまでフタロシアニン、ポルフィリン錯体をベースにしたHTM開発を進めた。さらに、低分子有機半導体でドナー(D)・アクセプター(A)・ドナー(D)型構造の開発を進めており、単一のドーパントで初期効率が高く出力安定性が高いHTMの開発に成功している。一方で、一部のドーパントは吸湿性およびイオン移動が起こりやすいためペロブスカイト層の劣化を引き起こすことでPSCの長期耐久性に欠点がある³⁾。この欠点を改善するために、ドーパントを添加しない4-((E)-4-(ピス(4-((E)-4-(ジメチルアミン)スチリル)フェニル)アミノ)スチリル)-N,N-ジメチルアニリンをベースとした、MSTPA-1(図8)と名付けた新しいピラミッド型ドナー-アクセプター-ドナー(D-A-D)⁴⁾型HTMを開発した。

本材料は、コア材料のトリフェニルアミノ基⁵⁾がアクセプター、N,N-ジメチルアニリンがドナーとして機能する。ドナー部分は、コア材料のトリフェニルアミンと炭素-炭素二重結合によって化学的に結合しており、N,N-ジメチルアニリンは、HTMとペロブスカイト界面の親和性に重要な役割を果たす。一方、トリフェニルアミノ基は、正に帯電したキャリアが背面電極に到達するための経路を形成し、高いキャリア抽出機能を有する。

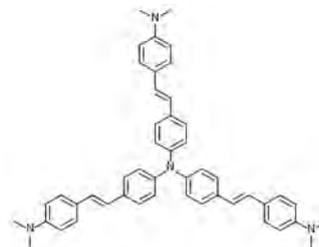


図8 MSTPA-1構造

ドーパントフリーHTMの性能を評価するために、ペロブスカイト材料としてCsFAMAPbI₃を使用した順構造型PSCで検討した。1sun照射条件下では、MSTPA-1を使用したデバイスは1.09Vを超える高い開放電圧(Voc)で19.6%の電力変換効率(PCE)を示した(図9)。また、暗所保管時の長期安定性も大幅に向上し、半

年以上にわたって初期効率をほぼ一定に維持している。さらに材料コストはspiro-OMeTADに対して60%低減することに成功した(図10)。

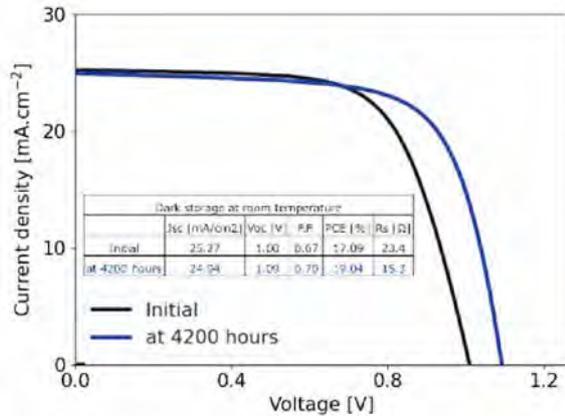


図9 IV特性

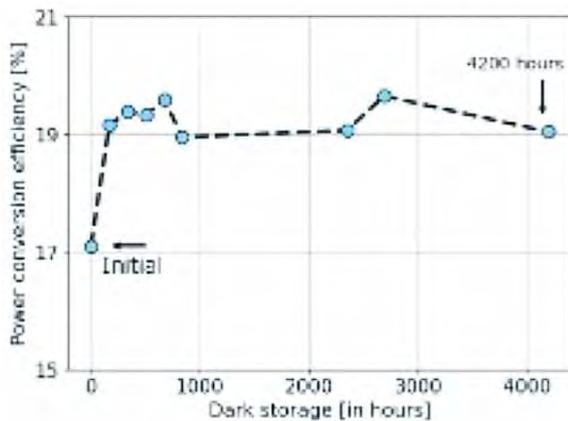


図10 長期安定性

2.3 カーボン電極材料の開発

PSCの性能向上に向けて研究開発で用いられるミニセルサイズ(10mm²以下)の対向電極には高導電性とミニセル製造時の性能安定性から金電極が主に採用されている。しかし、実用化に向けた300mm角サイズの太陽電池モジュールにおいては、2025年度の発電コスト目標20円/kWhをクリアするためにはより低コスト電極材料が求められる。また、金電極は太陽電池モジュールの70℃高温環境下における光発電中に金イオンが溶出しペロブスカイト層を攻撃して太陽電池モジュールの発電性能を著しく低下させる問題が知られている。金属電極の代替として化学的に安定かつ高導電性を有するカーボンナノチューブ等も注目されているが、実用化にはまだ多くの課題がある。

弊社ではこれらの問題解決を目指し、ミクロンオーダーの均一な膜厚の電極が作製可能な塗布工法に適用しており、低コストのカーボンペースト材料に注目し、新たなPSC用カーボン電極材料の開発を材料技術部と連携し材料メーカーと共同で実施した。

PSCの対向電極として求められる主な特性として、受光面に用いられる透明電極同等以上の導電性(約10Ω/□)を十数ミクロンの電極厚さで確保すること、対応電極はペロブスカイト層とホール輸送層の上部に積層成形することから、電極作製時に両者を劣化させないカーボンペーストになるように溶媒選定が重要になる。ペロブスカイト層は水分により分解することから、非水溶媒系でかつホール輸送層を侵さない有機溶媒を過去のデータを基に溶解度パラメータ(ハンセンパラメータ)を用いて抽出し、カーボンフィラーを高分散させられる有機溶媒を実験により選定した。

開発したカーボンペーストは低コストで高導電率を有するミクロンサイズの黒鉛フィラー、黒鉛フィラー間とホール輸送層界面の導電性を担うナノサイズのカーボンブラックとバインダーとなる樹脂成分の3種を最適配合させた。対向電極は優れた生産性が期待できるダイコート工法を用い、高導電率を有する黒鉛フィラーを電流が流れる方向に配向させた電極構造とすることで高い導電性を確保した。

これにより、電極厚み20μm以下でシート抵抗値10Ω/□以下という業界最高水準の導電性を持ち、金電極と比較し1/100以下の低コストカーボン電極材料の開発に成功した。

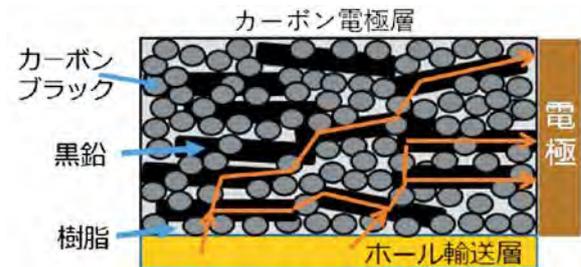


図11 低コストカーボン電極

3. 発電実証実験

3.1 工場模擬壁面における実証実験

PSCにおいて、耐久試験の規格化が十分に進んでおらず、加速試験と実使用における耐久性の知見が十分に得られていない。

そのため、実使用環境下における特性および耐久性を確認することが非常に重要となる。

アイシンでは下記条件下により、屋外暴露状態での発電実証試験を実施した。

設置場所 : アイシン技術センター(愛知県刈谷市)
 パネル : 30cm角パネル試作品
 壁材 : 角波鋼板(白色)
 方位・角度 : 南面・90°

制御方法 :MPPT制御
試験期間 :2024年4月21日～継続中



図12 アイシン技術センター実証

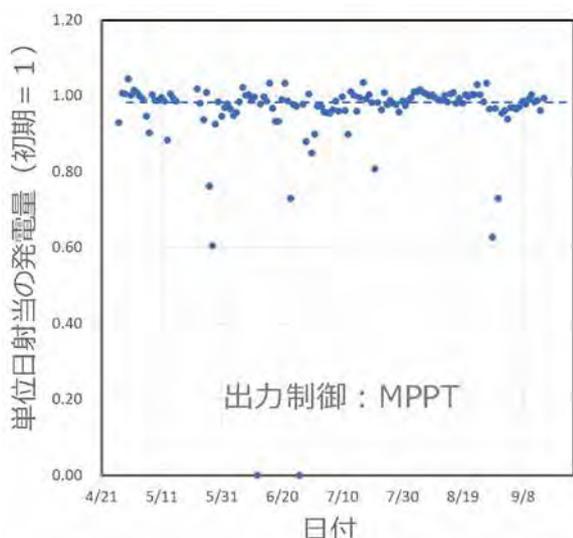


図13 発電実証試験結果

3.2 車載実証実験

各研究機関や企業では、実用化を目指し乗用車のルーフや商用トラックのバンへ搭載し駆動用電力や電装品の電力補助の用途として使用することを想定している。車載用太陽電池は走行時の部分陰等における発電性能の変化へ対応できることが求められており、太陽電池搭載車両による実証が進められている。その中で、NEDOで実証試験を実施した結果において、複数の走行データから太陽電池による発電量により年間7000 km以上の走行が可能で、通勤距離10km (往復20km) では充電回数ゼロとなるデータが示され効果が検証されている⁶⁾。

一方、実際の走行パターンとされる住宅街、郊外、山間部、都市部等で発電量が著しく低下するパターンが存在する。弊社のPSCモジュールを使用し愛知県近郊を走行

した際のデータでは、山間部 (図14) の木による日陰の影響により発電量が大きく低下しており、トンネル内 (図15)、高架下 (図16) では僅かな発電量しか得られない状態であることが分かった。



図14 山間部



図15 トンネル内



図16 高架下

この課題に対して日陰等を考慮したモジュール構成や制御開発が必要となる。今後は、車両への導入効果検証、モビリティ搭載を目的とした開発がさらに進むと予測される。

4. おわりに

本稿では、PSC開発に関する最近の活動の一部を紹介した。色素増感太陽電池開発で培った有機系太陽電池製造技術や、錯体・有機半導体の合成技術を活かしてPSCの早期社会実装を実現し、自社工場のカーボンニュートラルのみならず世界のカーボンニュートラルに貢献できるよう、今後も開発を進めていく。

参考文献

- 1) T. Toyoda, et al., Dye Solar Cell Osaka Pre-Symposium (Osaka, Japan, July.25,2003)
- 2) T. Toyoda, et al., J. Photochem. Photobiol. A Chem., 164,203-207(2004)
- 3) Nobuko Onozawa-Komatsuzaki et. al., ACS Energy Materials 2024 7(8), 3082-3090.
- 4) Pham, Hong Duck et. al., Advanced Electronic Materials 2020 6(4), 1900884.
- 5) Hongwei Zhu et. al., ACS Energy Letters 2021 6(1), 208-215.
- 6) NEDO:太陽光発電システム搭載自動車検討委員会 中間報告書(3)(2023.2月)
[<https://www.nedo.go.jp/content/100961854.pdf>]

筆者



岡本 朋也

先進開発部
グリーンエネルギー開発室
PSC開発に従事



木村 豪

先進開発部
グリーンエネルギー開発室
PSC開発に従事



高橋 国男
先進開発部
グリーンエネルギー開発室
PSC開発に従事



遠山 智之
先進開発部
グリーンエネルギー開発室
PSC開発に従事



能地 康德
先進開発部
グリーンエネルギー開発室
PSC開発に従事



鈴木 晃
先進開発部
グリーンエネルギー開発室
PSC開発に従事



市川 真也
先進開発部
グリーンエネルギー開発室
PSC開発に従事



日比野 洋
先進開発部
グリーンエネルギー開発室
PSC開発に従事



中島 淳二
先進開発部
グリーンエネルギー開発室
PSC開発に従事