

NEDO再生可能エネルギー分野成果報告会2025 プログラムNo.1-7

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

発表：2025年7月16日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

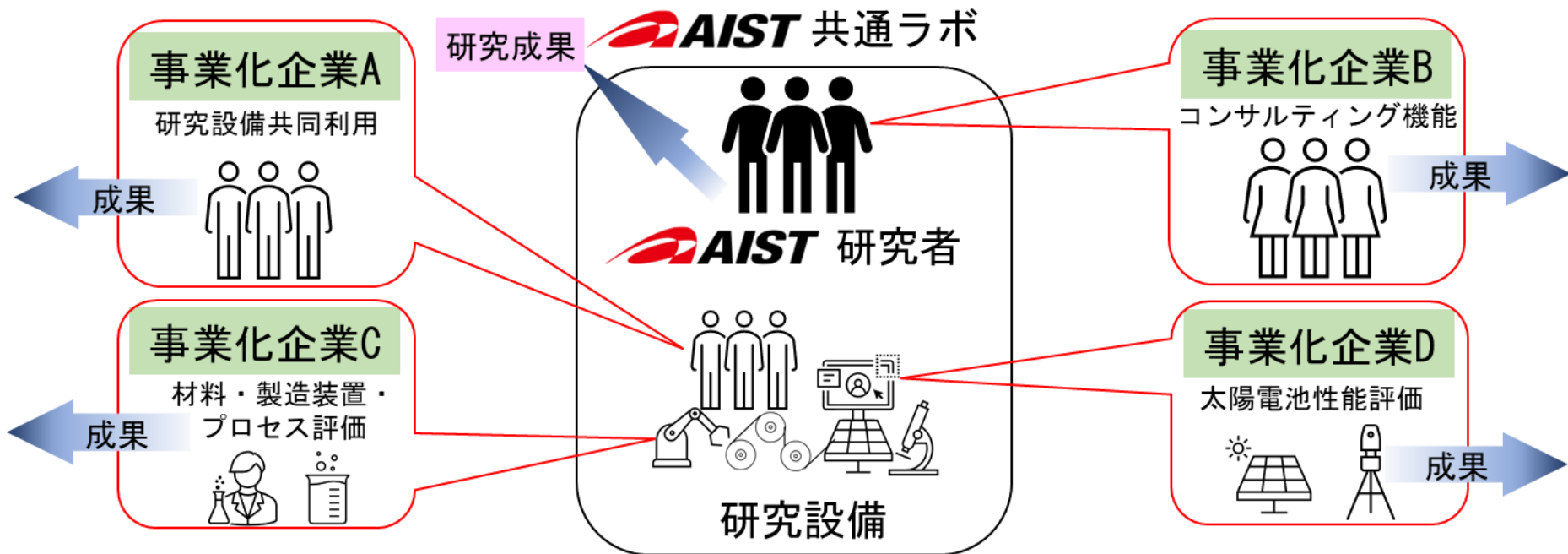
村上 拓郎

(国研) 産業技術総合研究所

<https://www.aist.go.jp>

本事業における目標と産総研の役割

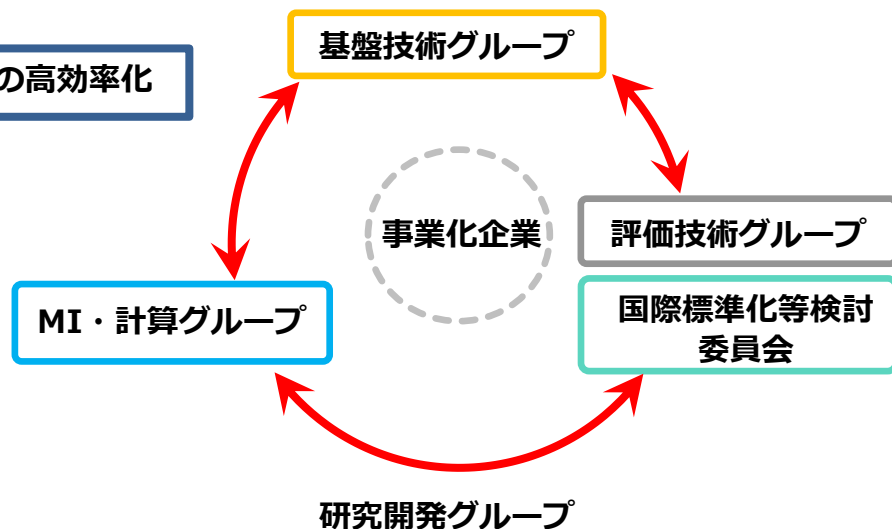
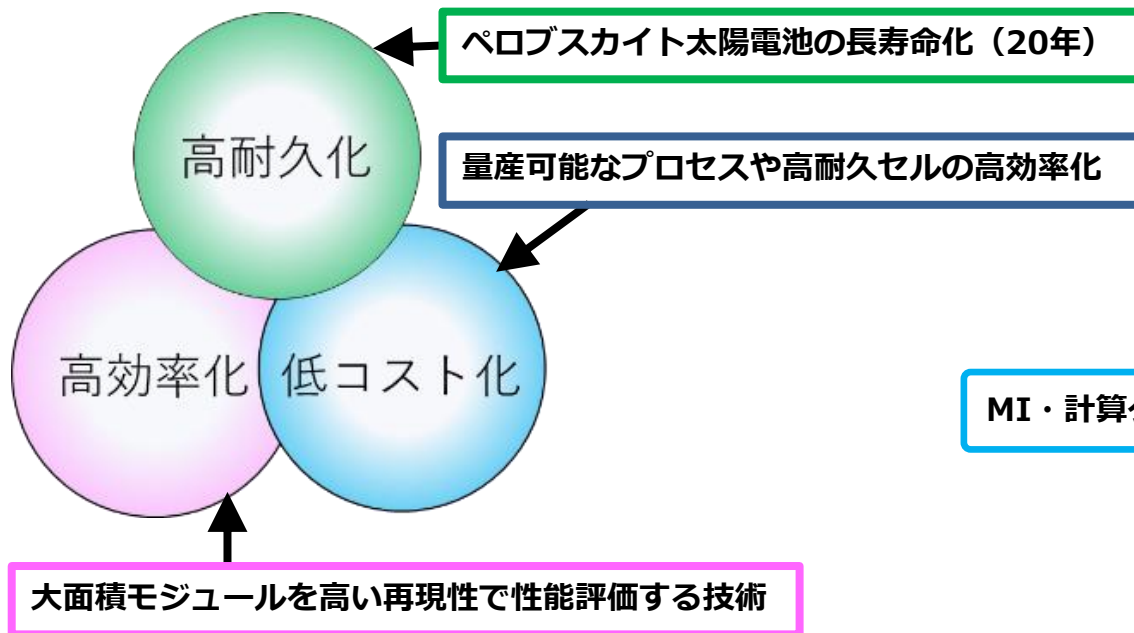
- 発電コスト20円/kWh（FY2025）というアウトプット目標を達成する
- ペロブスカイト太陽電池の実用化に向けて解決すべき技術課題を解決するため、企業が実施困難な製造から分析評価までの**共通基盤技術開発**を一貫で取組む
- 実用化に取り組む企業の基礎的な技術課題解決に活用できる**場所、設備、知見**を提供する
- 研究設備として大型ドライルーム、ロール試験装置等の製造試験設備、電子顕微鏡等の大型分析装置を導入。材料・プロセス評価用自動セル作製装置を構築



産総研が取組む実用化に向けた共通基盤技術開発

- アウトプット目標を達成するモジュール性能（初期変換効率17%・寿命20年・劣化率 1%/年）を想定し超軽量太陽電池小面積セルで**初期変換効率20%以上**且つ、耐熱・耐湿・耐光（IEC TS 62876-2-1準拠）による劣化加速試験**1500時間**後の性能維持率**90%以上**の達成に向けて進捗させる
- 実用化に取り組む企業に対しセル製造技術・劣化解析技術・モジュール性能評価技術は適宜協力する

実用化に向けた3大課題

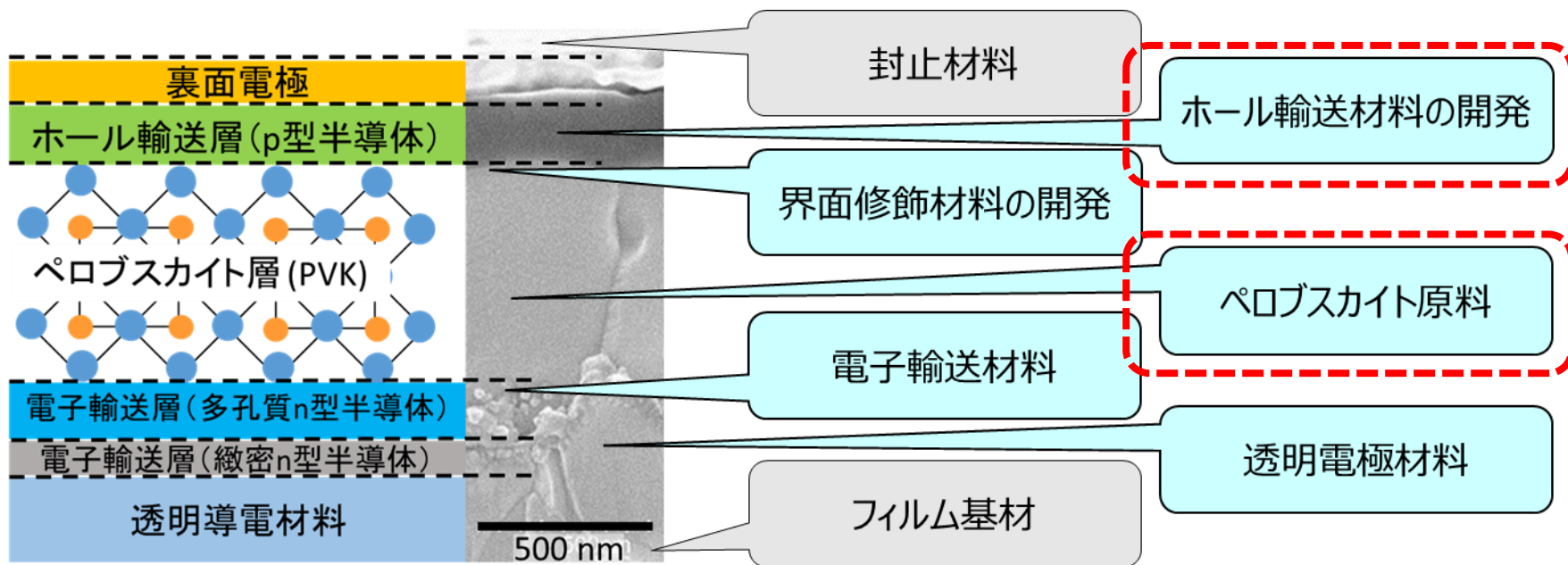


ペロブスカイト太陽電池の課題～耐久性の向上～

背景と課題

- ペロブスカイトはイオン結晶であり、水が結晶内に入ると結晶構造が変化し分解
- 光照射で有機材料が酸化されてしまう

目標：耐熱・耐湿試験および耐光試験（IEC TS 62876-2-1準拠）において初期 効率の90%以上を維持し1500h以上の耐久性が得られる技術を開発する



- 水分をブロックする表面処理等・材料等の開発
- 酸化を抑制する材料等（抗酸化材料等）の開発

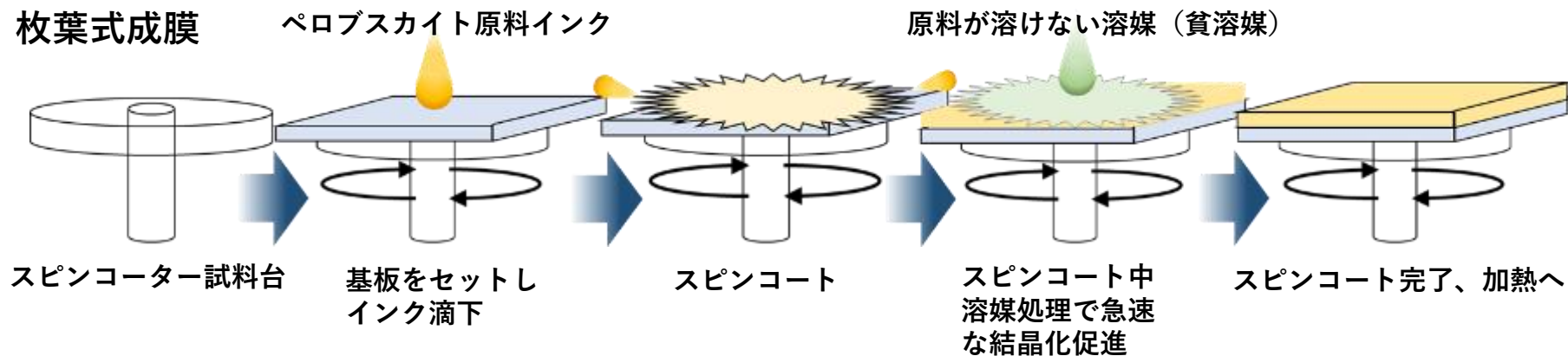
実用15年～20年相当の
耐久性を目指す

背景と課題

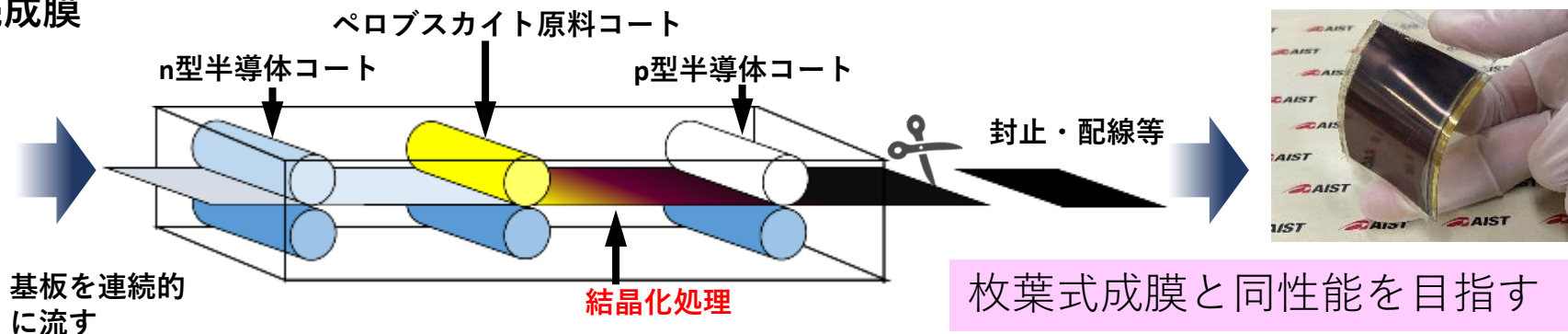
- これまで枚葉式でペロブスカイトを成膜し高性能化していた
- ペロブスカイトを連続成膜する手法の技術開発が重要

目標：量産可能な作製手法により受光面積 1cm^2 以上の小面積セルで20%以上の初期効率を達成

枚葉式成膜



連続成膜

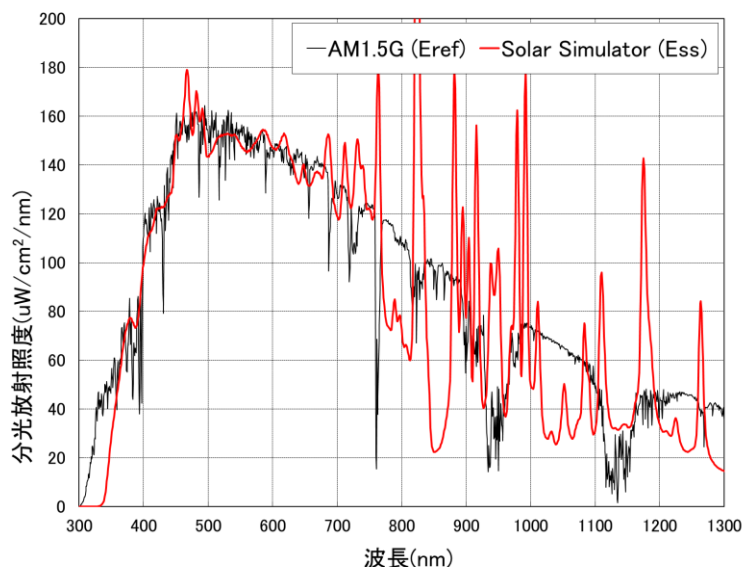


枚葉式成膜と同性能を目指す

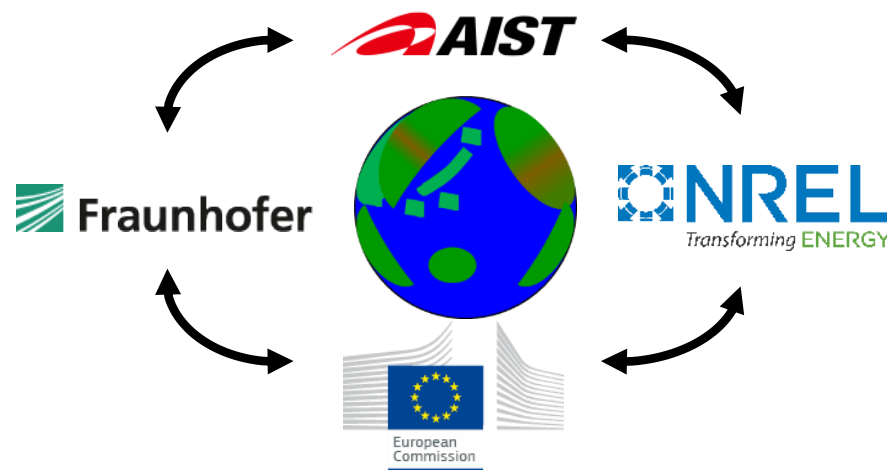
背景と課題

- ペロブスカイト太陽電池は、電流時間応答が従来太陽電池よりも遅く、従来型測定（パルス光）は困難。新しい測定手法を確立を目指す。
- 産総研は世界主要機関と性能評価技術の国際整合性を検証。ペロブスカイト太陽電池においても国際的に認知された性能評価第三者機関としての地位を確立する。

目標：受光面積900 cm²以上のセル・モジュールの屋内測定において測定再現性 $\pm 0.5\%$ (1 σ)以内, 受光面積1.2m²角以上の場合は $\pm 1.0\%$ (1 σ)以内の測定精度を達成する。年間30件以上の第三者測定を実施可能な評価体制を整える。



基準太陽光（AM1.5G）と
疑似太陽光スペクトル



世界主要機関との国際比較測定（ラウンドロビン測定）による性能評価技術の国際整合性の検証

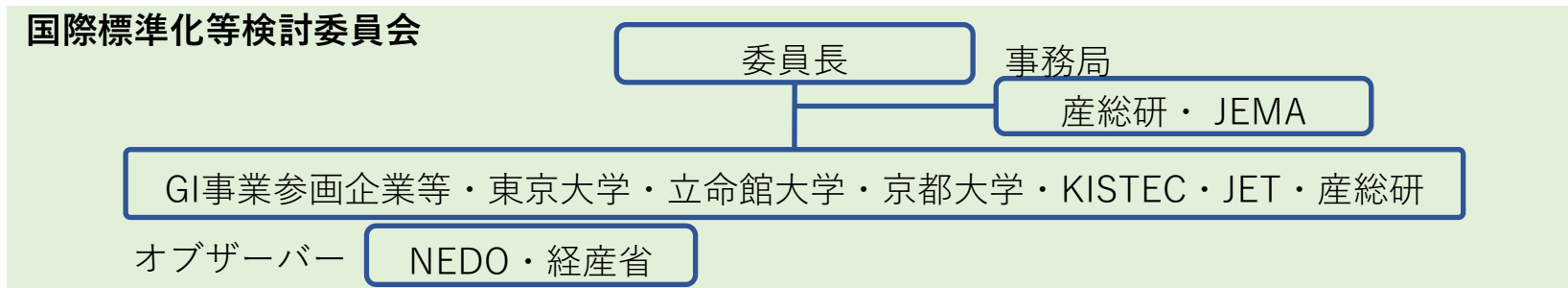
国際標準化等検討委員会の設立と運営

背景と課題

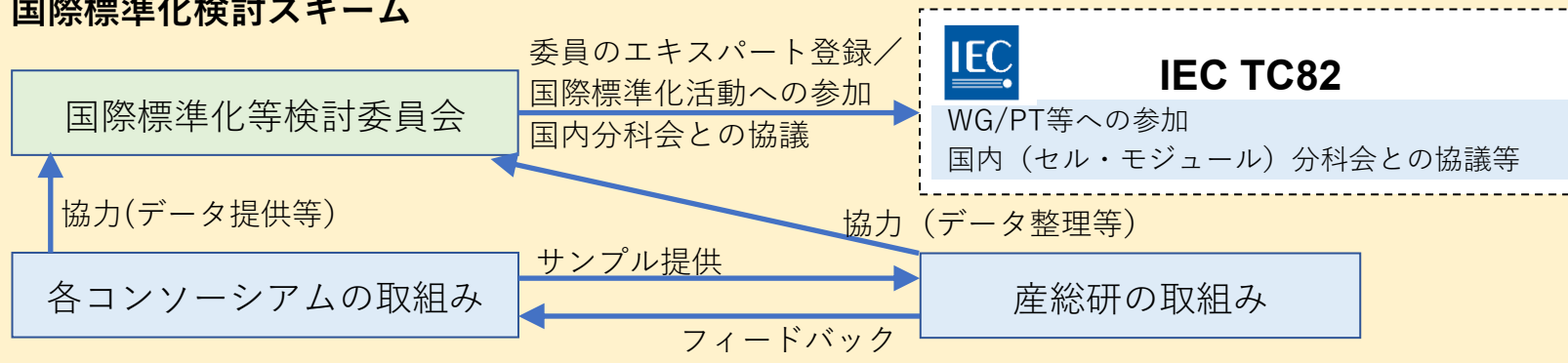
- ペロブスカイト太陽電池の社会実装に向けて国際標準の検討が必要。

目標：委員会を開催し検討事項の整理取りまとめに加えて、標準に必要なセル・モジュールの試験項目策定に必要な加速劣化試験等の検討を行う。

- ペロブスカイト太陽電池の実用化に向けてGI実施事業者を中心に関係機関が連携する体制「**国際標準化等検討委員会**」を2024年3月に設置。これまで4回委員会を開催し、性能評価試験方法と信頼性評価試験方法について検討。



国際標準化検討スキーム

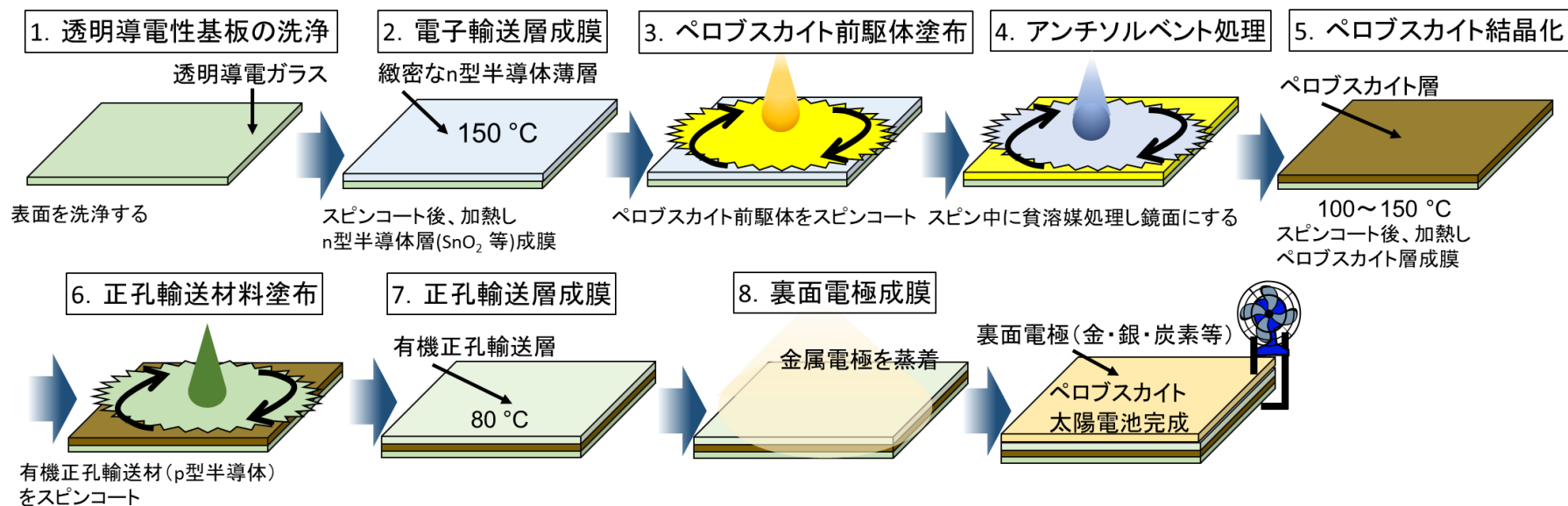


セル自動作製システムの構築

背景と課題

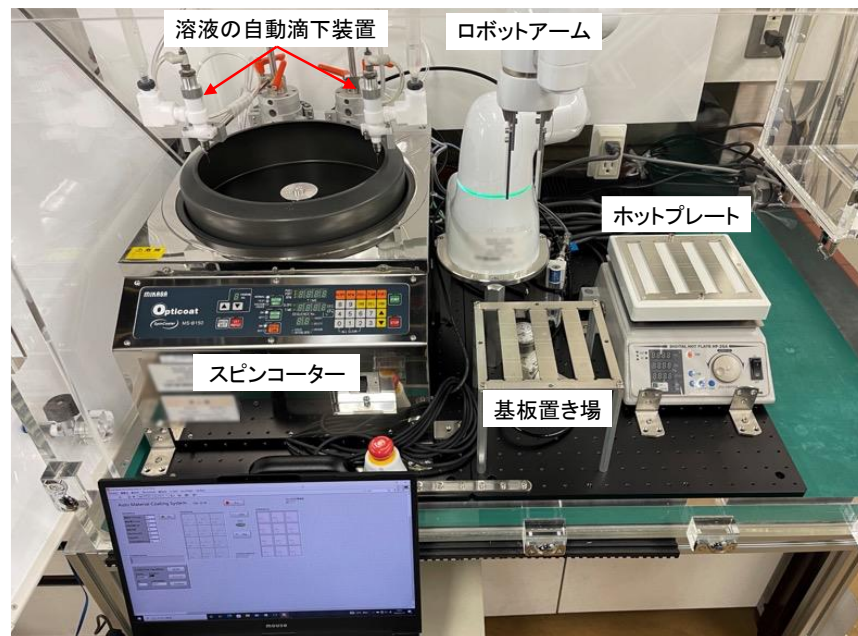
- ペロブスカイト太陽電池はデータのばらつきが大きく、開発リードタイムの短縮には再現性向上が重要。
- 部材メーカーなどセル作製のノウハウが無い企業がセル性能を容易に評価できるシステムが必要。

目標：ヒューマンファクターを除去した太陽電池作製条件の探索や材料の性能評価を可能にする為、太陽電池を自動で作製するシステムを構築する



セル自動作製システムの構築

- 再現性が最も得られにくいペロブスカイト成膜プロセスの自動化からスタート
- ペロブスカイトスピンコート、アンチソルベント処理、加熱処理の自動化成功
- データ再現性向上を確認し、セル作製の全工程自動化へ発展
- 基板洗浄、スクライブ、各種材料スピンコート、界面処理、電極蒸着までのセル作製プロセスすべて自動化させるシステムの構築成功



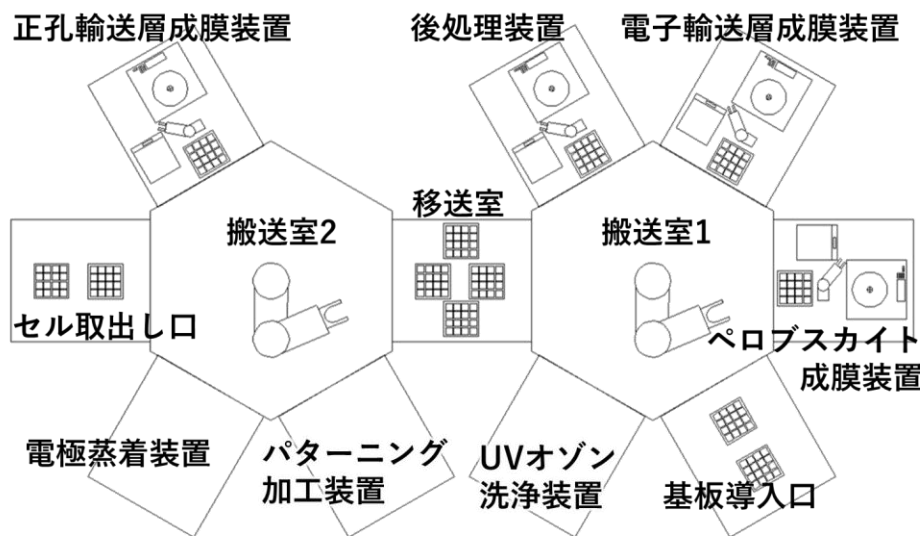
ペロブスカイト自動成膜システム



ペロブスカイト太陽電池自動作製システム

セル自動作製システムの構築

- 基板洗浄、スクライブ、各種材料スピンコート、界面処理、電極蒸着までのセル**作製プロセスのすべてを自動化**させる世界初のシステムを開発
- 自動化で研究者による作業誤差を取り除き、太陽電池性能のばらつきを抑制
- 高い太陽電池性能が得られる最適作製条件の探索が可能
- 材料やプロセスの開発時間を短縮**し、研究開発の効率を向上
- 2024年10月2日プレスリリース

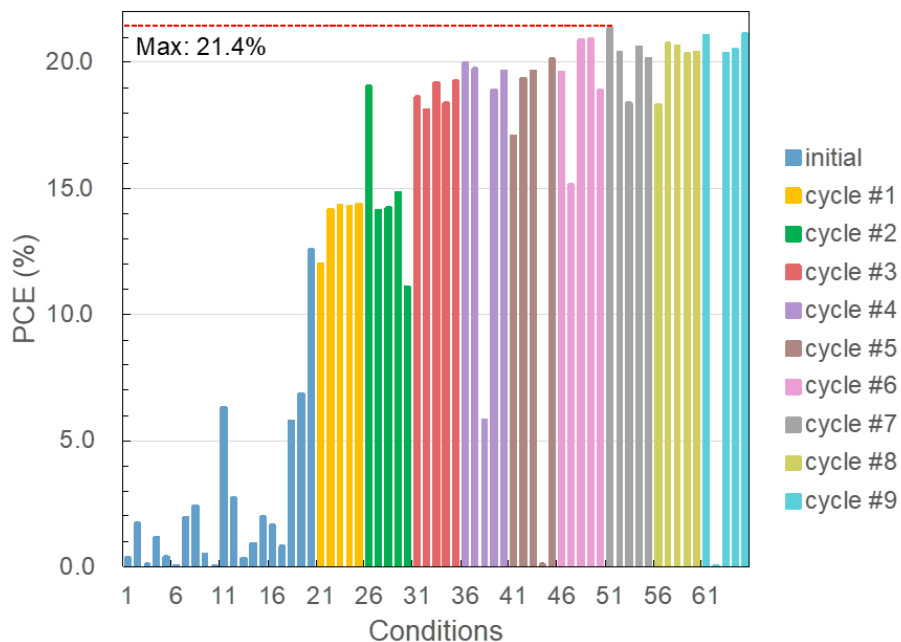


ペロブスカイト太陽電池自動作製システム

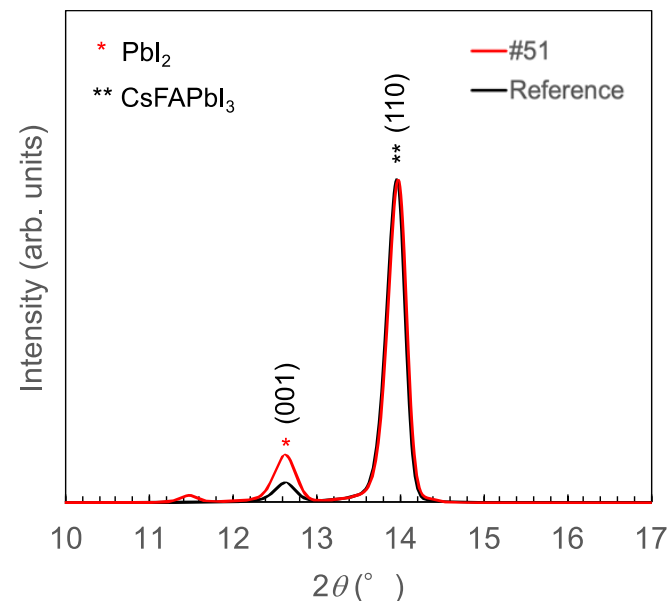
山本晃平、江口直人、村上拓郎 クリーンエネルギー 2025年5月号 48-55

AIを活用したセル作製条件の最適化

- セル作製条件の最適化は数十万通り以上の組合せがある
- AI活用しセル作製条件を最適化することで材料や太陽電池の開発時間短縮に期待
- ペロブスカイト層は自動塗布システムを使い製膜しヒューマンファクタを減少させることで実験再現性とデータの精度を高めた
- ペロブスカイト組成2種、加熱温度、スピンコート回転数を最適化
- AIが研究者による最適条件よりも高い変換効率が得られる条件を提示



AI 最適化による変換効率 PCE : **21.4%** (従来手法の変換効率PCE : 20.4%)

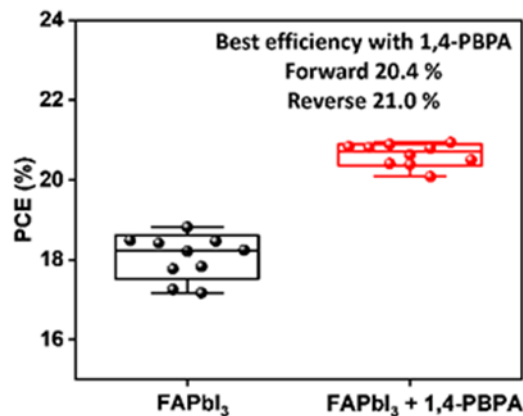
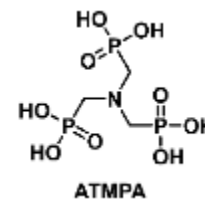
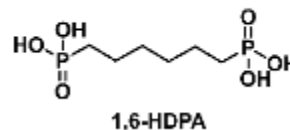
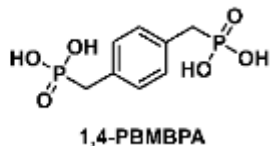
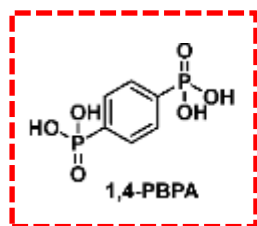


AI 最適化したペロブスカイト層のXRD

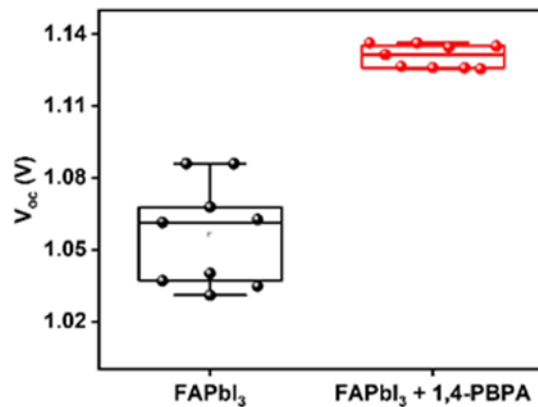
N. Eguchi, T. Fukazawa, K. Yamamoto, H. Kanda, T. Miyake, T. N. Murakami, *EES Solar*, 2025, DOI: 10.1039/D5EL00007F

ペロブスカイト層の耐久性を向上させる添加剤

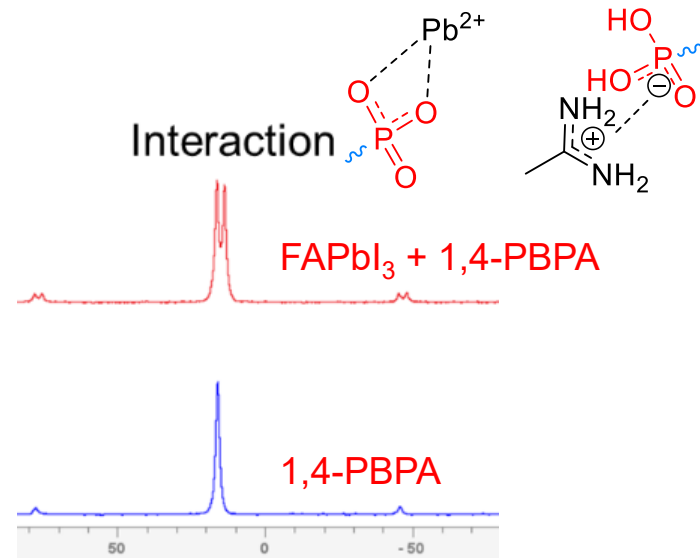
- ペロブスカイト層の耐久性向上に向けた添加剤を探索
- ホスホン酸が鉛と強く相互作用する点に着目し効果的な分子構造を特定
- 初期効率が向上し、効率の再現性も向上



1,4-PBPA 添加による効率向上

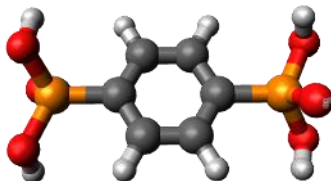


添加による開放電圧向上

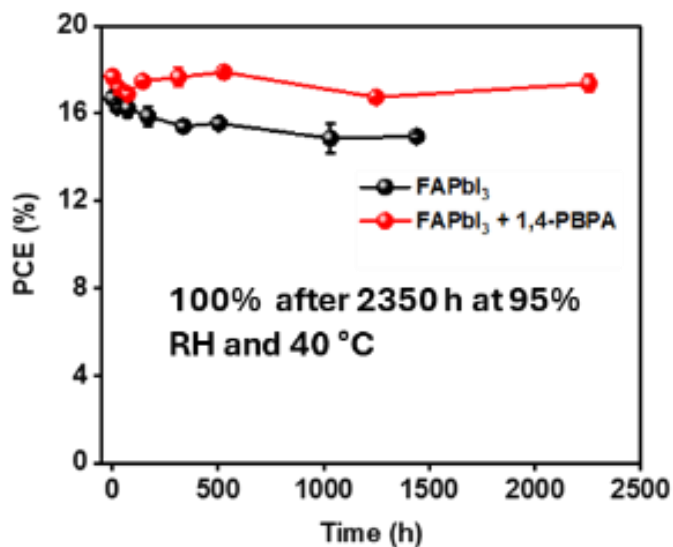


ペロブスカイト層の耐久性を向上させる添加剤

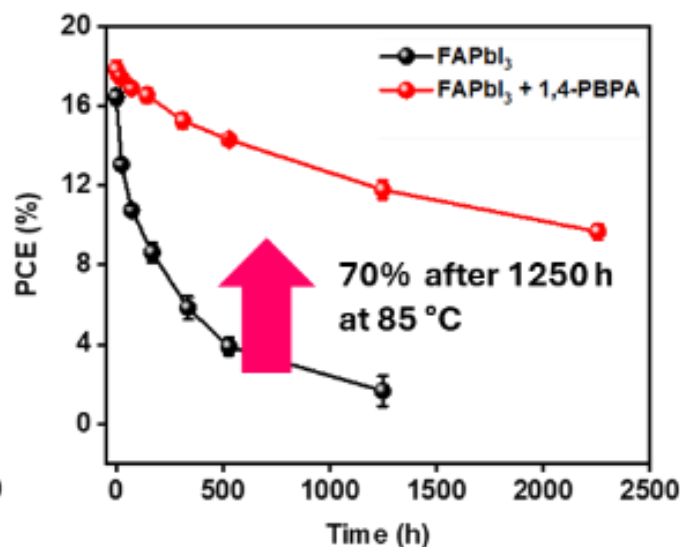
- 初期変換効率、**耐湿、耐熱性を向上**（湿度95%, 40°Cで2300h効率低下なし、85°Cで1250h後維持率70%）



1,4-phenylenebis(phosphonic acid) (1,4-PBPA)



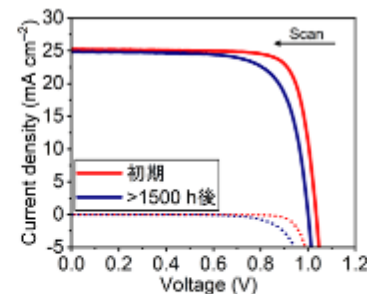
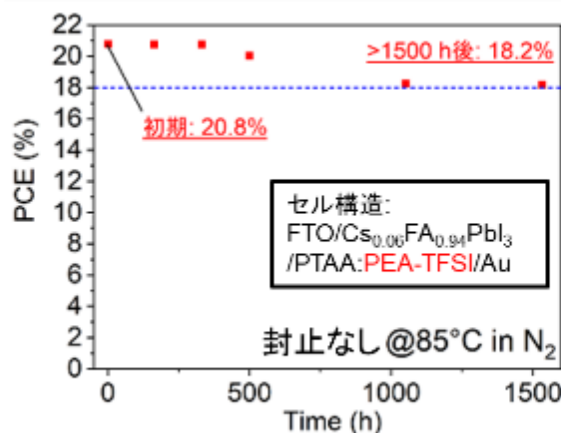
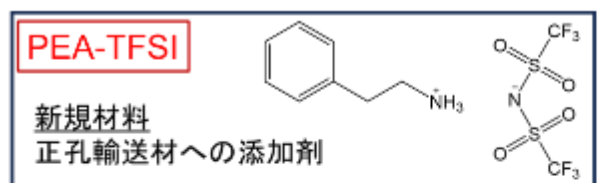
耐湿性向上



耐熱性向上

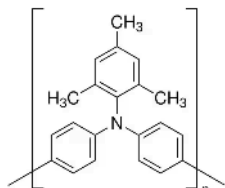
ホール輸送層の耐久性を向上させる添加剤

- ホール輸送材の機能発現に必要なドーパントが耐久性低下の原因となる
- 高耐久化に向けて劣化要因にならないドーパントの開発を進めている
- ポリマー型ホール輸送材PTAAと新規ドーパントPEA-TFSIを組合せて耐熱性を向上
- 85°C**の耐熱性試験において**1500時間後に効率18%以上**（維持率88%）を達成した（封止なし、N₂、セル面積0.12cm²）



封止@85°C	J _{sc} (mA/cm ²)	V _{oc} (V)	FF	PCE (%)
初期	25.2	1.03	0.80	20.8
>1500 h	24.8	1.00	0.73	18.2

PTAA



N. Nishimura, H. Kanda, R. Katoh, A. Kogo, T. N. Murakami, *J. Mater. Chem. A*, 2024, 12, 15631-15640

ペロブスカイト太陽電池の屋外暴露試験

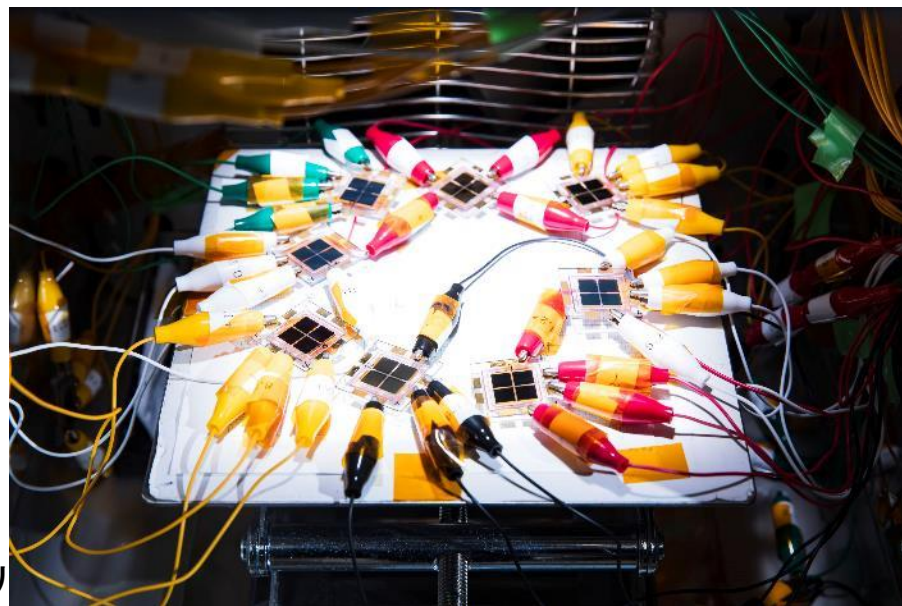
- 屋外環境における太陽電池の劣化を調べるために屋外曝露試験を実施している
- 封止したペロブスカイト太陽電池セルを最大出力追尾（MPPT）にて稼働させ出力を測定



ペロブスカイト太陽電池セルの屋外暴露試験の様子

研究開発成果の企業展開

- 実用化に取り組む企業と適宜契約を締結し、企業の早期事業化に貢献する。
- 産総研で開発した材料、連続成膜技術、プロセスインフォマティックス（PI）、セル・モジュール劣化解析、モジュール性能評価について、GI参画企業へ順次展開中。量産に向けた技術開発をサポート。
- 企業が開発中のペロブスカイト太陽電池モジュールについて加速劣化試験および屋外暴露試験の分析結果をフィードバック。



今後の技術課題

内容	技術課題
セルの最適化技術開発	AIを用いた高効率・ 高耐久化条件 の探索
セル自動作製システムの構築	太陽電池性能 自動計測システム の稼働開始
量産可能な新規塗布・積層技術開発	1cm ² で20%以上の初期効率達成
耐久性向上に資する技術開発	耐熱性、耐光性のホール輸送材の開発 加速劣化1500h後の効率18% 達成
高性能化に資する分析技術の開発	セル・モジュール劣化解析技術の開発 セル 劣化機構の解明
モジュール開発に資する 高精度・高能率な性能評価技術の開発	高精度化とより 能率的な評価手法 の開発、 および有用性の検証
実用サイズモジュール(面積>900cm ²) の性能評価技術開発	1.2m角以上 の大型モジュールを性能評価 する屋内計測システムの構築。 屋外性能評価測定技術の開発