

高耐久・高効率ペロブスカイトC I S 軽量タンデム太陽電池の研究開発

団体名：東京科学大学、産業技術総合研究所、再委託先：東京都市大学、再委託先：京都大学、再委託先：立命館大学、再委託先：名古屋大学、再委託先：筑波大学

発表日：2026年7月22日

■事業の目的・目標

「太陽光発電導入拡大等技術開発事業」のアウトカム目標が求める 従来設置されてこなかった新市場への最大限の導入拡大 を実現するため、太陽光発電モジュールの軽量化および長期安定稼働を可能とする技術を開発する。今回、高耐久化により、高付加価値を有する「高耐久・高効率ペロブスカイトCIS*軽量タンデム太陽電池」を開発し、我が国の太陽電池産業の競争力強化に資することを目的とする。

*CIS: Cu(銅)、In(インジウム)、Ga(ガリウム)、Se(セレン)等により構成されるカルコパイライト太陽電池

中間目標（2027年度）

1cm角程度のペロブスカイトCIS軽量タンデム太陽電池において、セル変換効率30%（2端子、片面入射、Voc: 2V、Jsc: 19 mA/cm2、FF: 79%）を達成する。

最終目標（2029年度）

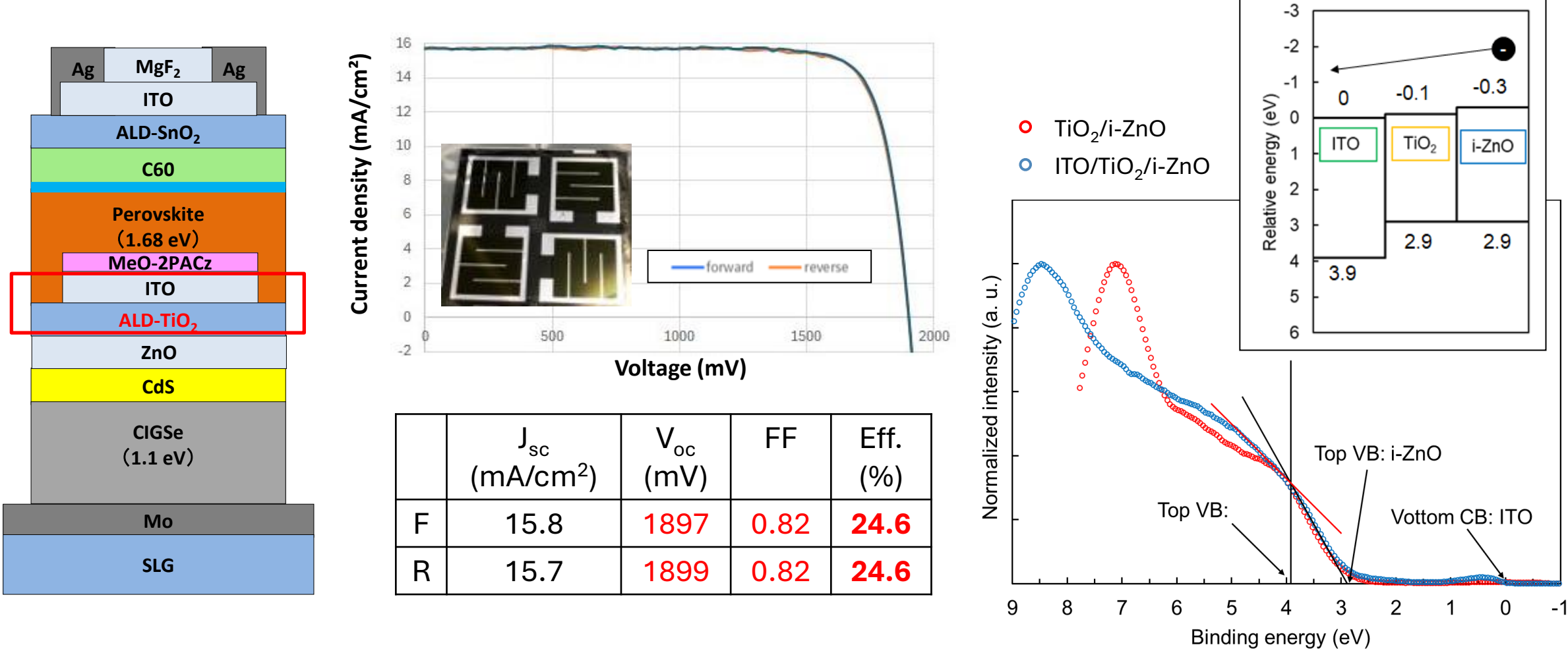
5cm角程度のペロブスカイトCIS軽量タンデム太陽電池において、光電変換効率30%（2端子、片面入射、Voc: 2V、Jsc: 19 mA/cm2、FF: 79%）の達成に必要な大面積化対応技術および接合技術を開発し、変換効率を達成する。また、作製したデバイスの耐久性20年以上を達成する。

開発概要（各機関の役割分担）

- ①ペロブスカイトトップセルの高電圧化ならびに高耐久化
- ②可動ハロゲンイオンによる電極の腐食
- ③電子輸送層（ETL）材料に用いている有機材料の耐久性
- ④ボトムであるCIS太陽電池の高効率化並びに接合技術の開発
- ⑤屋外暴露試験を踏まえたペロブスカイト太陽電池の高耐久化

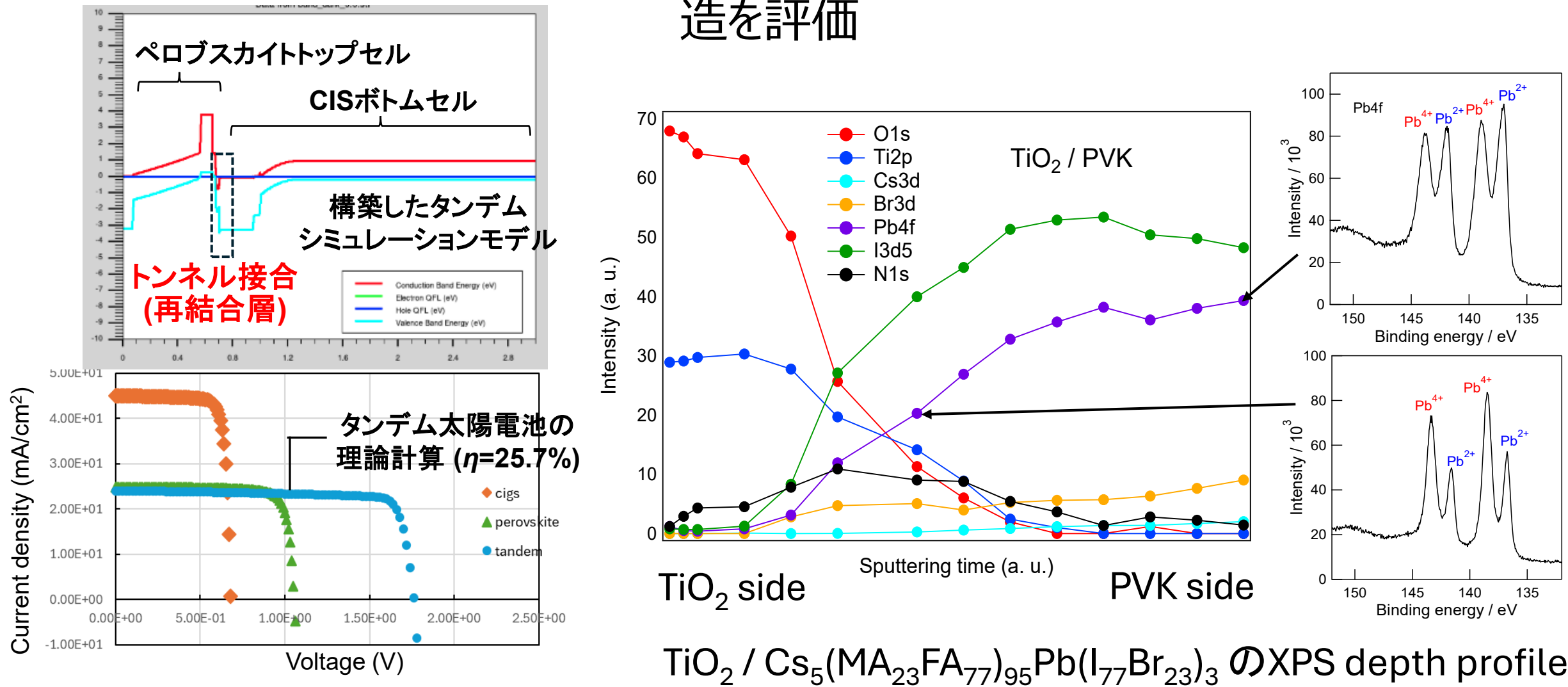
■2025年度の主な成果

キャリア再結合層を改善することで1cm²以上のペロブスカイト/CIGSタンデムセルで世界最高効率24.6%を達成（2026年2月時点）



再結合層検討に向けたタンデム構造の解析モデルを構築

無機系ETL候補材料/ペロブスカイト界面のハロゲンの拡散挙動、化学状態解析、バンド構造を評価



■課題と今後の取り組み

【産業技術総合研究所】樹脂フィルム基板0.5 cm²サイズで達成したボトムセル用CISセル効率21.2%の技術を大面積化および多様な基板に応用し、高効率ボトムセル実現を目指す。異なる基板材料それぞれに合わせたCIGS製膜条件出しを行う。また、接合技術開発については直積み2端子構造と並行してスマートスタック技術の可能性を引き続き検討し、実デバイス作製に展開する。

【東京都市大学】ペロブスカイト組成およびパッシベーション処理の再検討により、ペロブスカイト単セルの開放電圧向上を目指す。また、耐久性を評価する環境を整備し、高耐久なペロブスカイト組成と添加剤のスクリーニングを行う。

【東京科学大学】ペロブスカイト光吸収層を塗布・製膜する装置を導入し、酸化物系無機ETLを用いたペロブスカイト太陽電池の作製環境を構築することで、都市大・甲南大との連携による界面評価を加速する。また、硫化物系スパッタ装置を導入し、硫化物系ETLを開発する。デバイス・シミュレータを用いた再結合層の電気的設計を実施する。

【京都大学（甲南大学）】種々の酸化物との界面についてXPS測定を進め、ペロブスカイト単体の熱力学データの評価を組み合わせる拡散・反応を抑制可能な界面構造を検討し、その知見をトップセルを担当する機関（都市大・科学大）へフィードバックする。

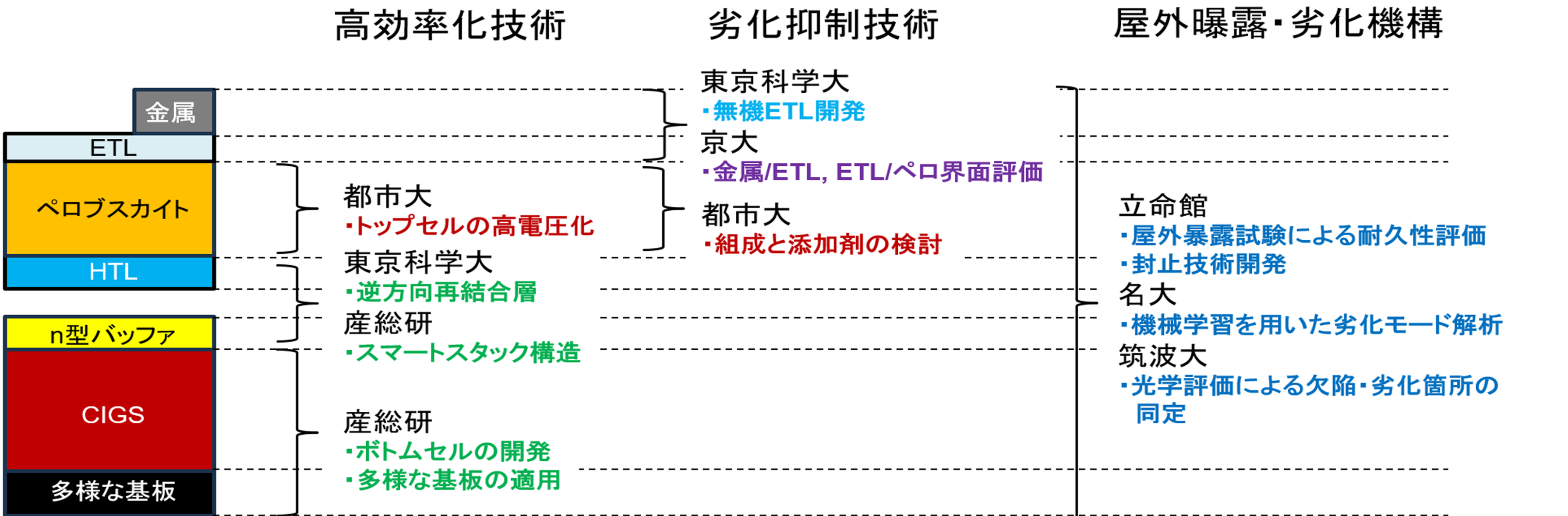
【立命館大学】封止直後、および、屋外暴露初期（数日間）では外観変化がなかったものの、出力は低下した。今回は太陽電池の端子を開放状態で屋外暴露したが、今後は、実動作状態である最大電力点追尾制御下にて実施する。併せて、封止構造の改良を検討するとともに、破壊検査などによって劣化の主要因の分析を行い、セル作製を担う機関（産総研・東京都市大）にフィードバックする。

【名古屋大学】連携機関と解析用データの形式について検討し、セルの初期性能についての解析から着手することで合意した。ペロブスカイト太陽電池の公開データベースを調査し、長期的な性能変化の解析に向けた基盤として活用可能であることを確認した。数値・テキストなど異種データを統合可能な階層モデル構造の導入を進める。

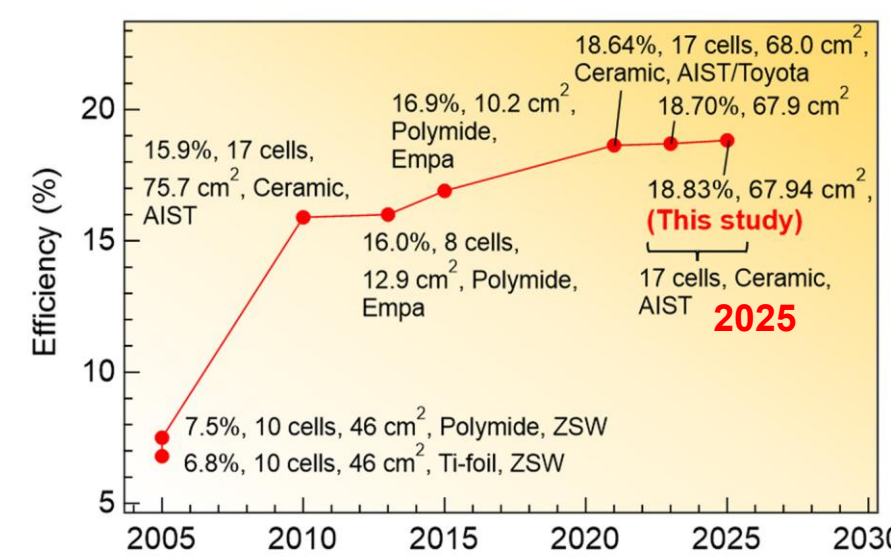
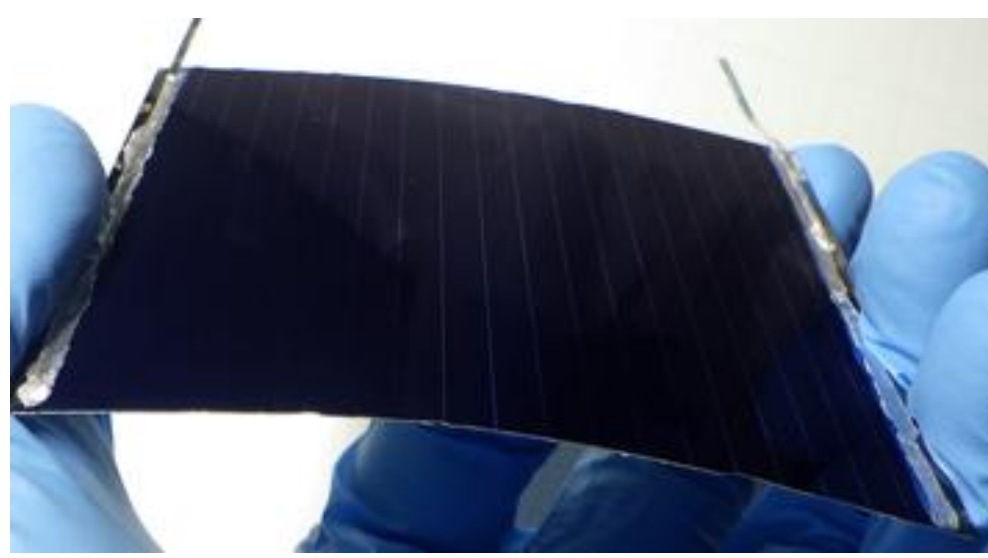
【筑波大学】タンデム構造における各サブセルの損失寄与（QFLS、Eu）を分離解析した。今後はバイアス光の導入による各サブセルの電位勾配下での蛍光分光、外部放射効率（ERE）の計測により、損失評価の精密化を図り、解析結果をセル作製を担う機関にフィードバックする。また屋外暴露試料の劣化解析についても実施する。

■実用化・事業化の見通し

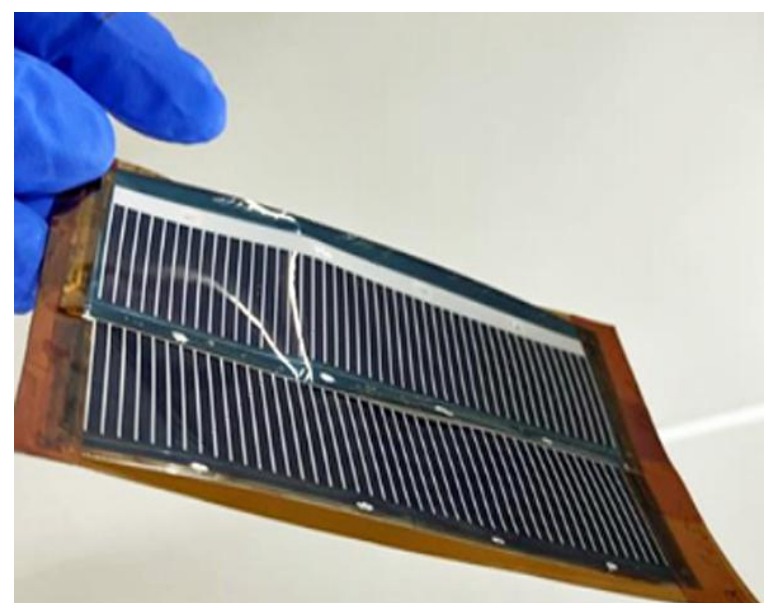
- 本事業では、これまでに培ってきたCIS薄膜太陽電池の高効率化に資する技術をさらに発展させるとともに、ペロブスカイトCISタンデム太陽電池を開発し、次々世代太陽電池の研究開発において重要な基盤技術を確立する。
- ペロブスカイトCISタンデム太陽電池の構成においてCIS系は有望なボトムセルとして期待されており、狭禁制帯幅CIS太陽電池をさらに発展させることで実用化を目指す。
- ペロブスカイトCISタンデム太陽電池の構成においてペロブスカイトは有望なトップセルとして期待されており、ペロブスカイト層とETLの高耐久化が必要とされ、研究開発を実施する。
- 事業後半に加速試験による耐久性の実証を屋外暴露試験と並行し実施することを計画しており、ペロブスカイトCISタンデム太陽電池の構成において長期耐久性実現を目指す。



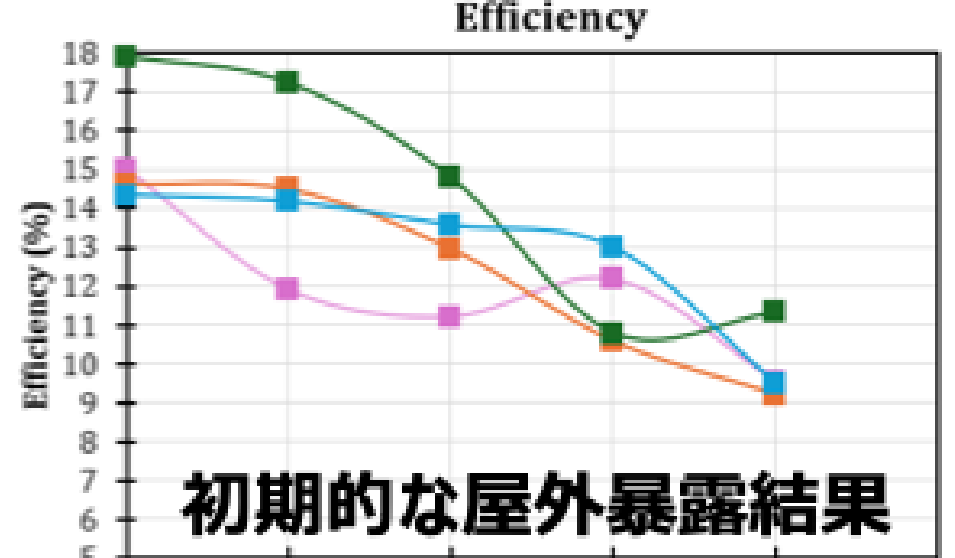
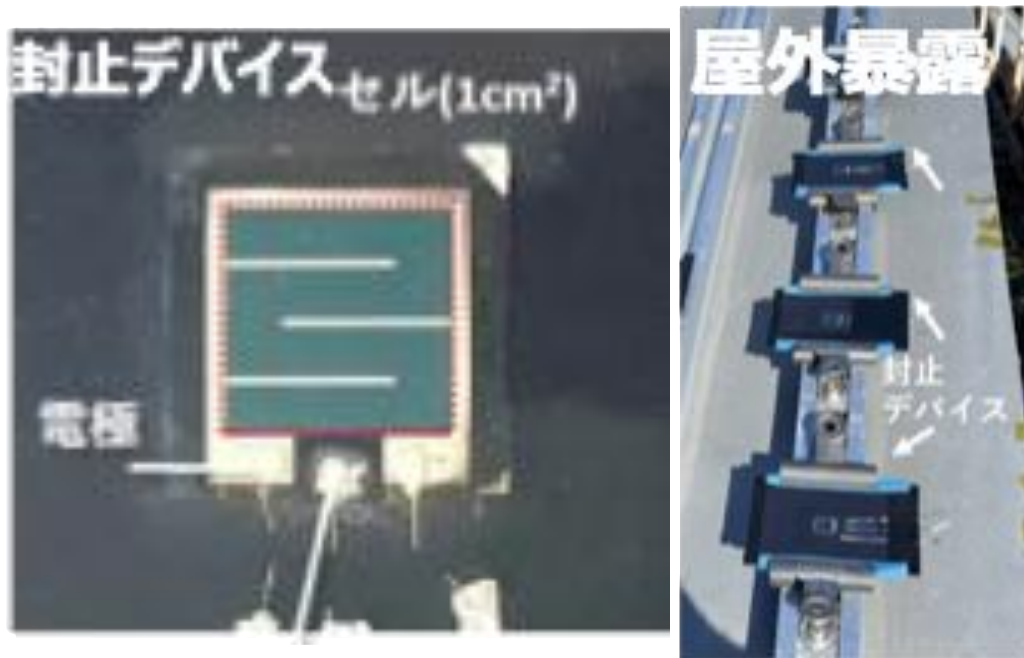
ボトムセルとして有望なCIS太陽電池（集積構造フレキシブルミニモジュール）では、現在まで世界最高効率18.83%を達成（17セル、面積67.94 cm²） S. Ishizuka et al., Appl. Phys. Express 18, 106501 (2025).



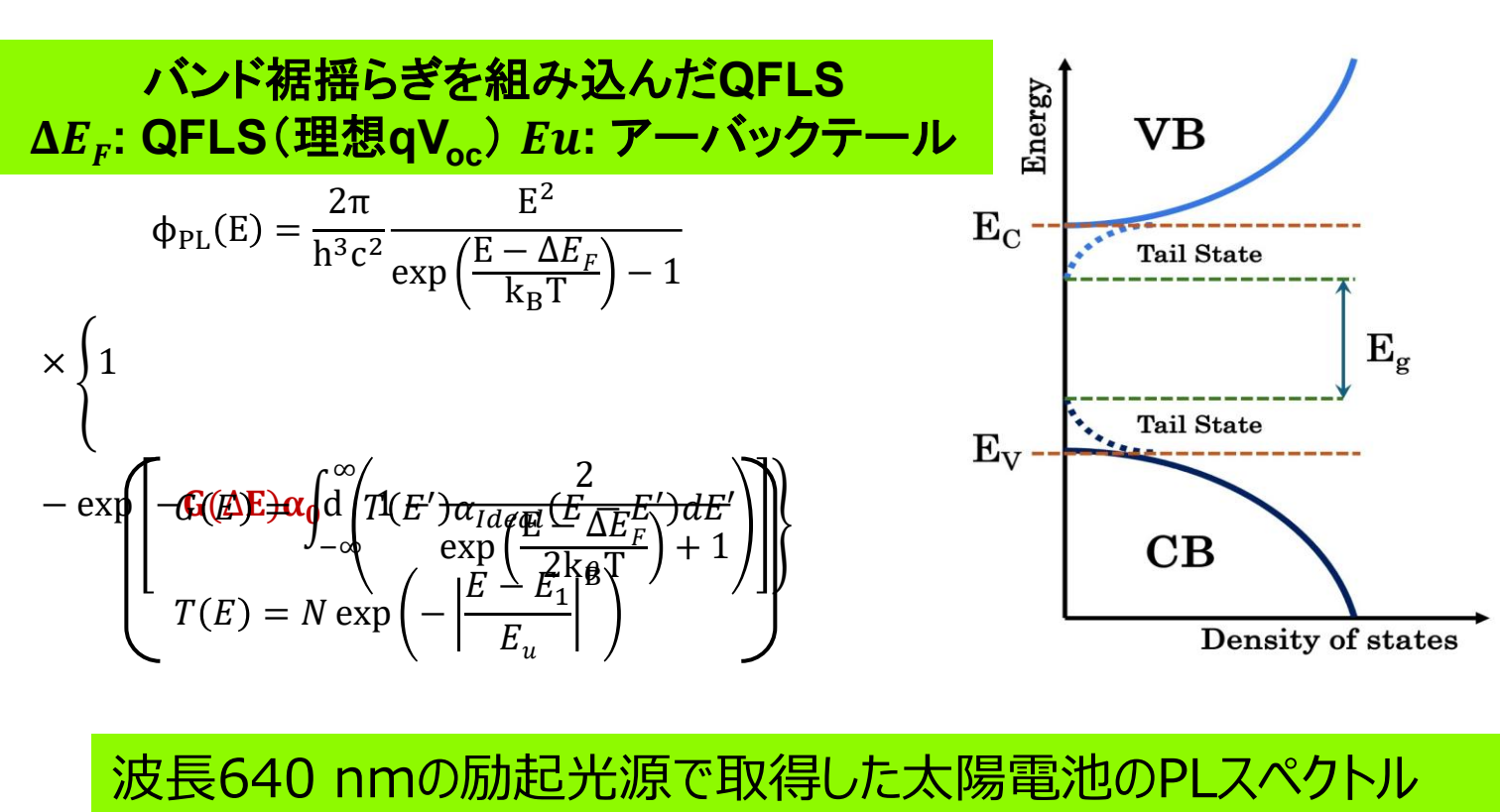
集積構造型と並行して、グリッド電極構造CISミニモジュールも開発中



封止技術開発と屋外暴露試験



電気・光学特性評価によるエネルギー損失解析



劣化の機械学習モデルの構築と要因解析

条件	カテゴリ数	最頻カテゴリ
Cell architecture	7	nip
Perovskite	462	MAPbI
ETL stack	1452	TiO2-c/TiO2-mp
HTL stack	1965	Spiro-MeOTAD
Perovskite deposition procedure	199	Spin-coating
Substrate	194	SLG/FTO
Back contact	286	Au
Perovskite additives	1012	Cl

Co-evaporation
Doctor blading
Drop-infiltration
Drop-infiltration >> CBD
Drop-casting
Drop-casting >> CBD
Electrodeposition
Evaporation Evaporation >> CBD
Evaporation >> Evaporation
Evaporation >> Gas reaction
Evaporation >> Spin-coating
Inkjet printing
Slot-die coating
Spin-coating
Spin-coating >> CBD

波長640 nmの励起光源で取得した太陽電池のPLスペクトル

変換効率22.7%試料(V_{oc}=1.98 V)

劣化試料

