

# 事業戦略ビジョン

実施プロジェクト名：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

実施者名：国立研究開発法人 産業技術総合研究所 代表名：小原 春彦（副理事長/研究開発責任者）

---

# 目次

## 2. 研究開発計画

- (1) 研究開発目標
- (2) 研究開発内容
- (3) 実施スケジュール
- (4) 研究開発体制
- (5) 技術的優位性

## 4. その他

- (1) 想定されるリスク要因と対処方針

## 2. 研究開発計画

## 2. 研究開発計画 / (1) 研究開発目標

### 発電コスト20円/kWhというアウトプット目標を達成するために必要な複数のKPIを設定

研究開発項目	アウトプット目標
1. 最適な材料組成の開発	20円/kWhを達成できる（家庭用グリッドパリティ）最適な材料組成の確立

研究開発内容	KPI	KPI設定の考え方
① 実用化企業の太陽電池セル・モジュール作製条件へのフィードバックを目的とした <b>セルの最適化技術開発</b>	効率向上または耐久性向上につながる新規候補材料・組成・プロセスファクタを用いた太陽電池性能（目標は変換効率20%および耐熱・耐湿・耐光試験1500h）	<ul style="list-style-type: none"><li>・MI技術を用いて性能向上に寄与するプロセスファクタを抽出。材料組成および作製プロセスの最適化を行う。</li><li>・また第一原理計算によりペロブスカイト層又は電荷輸送層のバルクの構造及び電子状態を評価。MI技術等と連携しバルクや界面・粒界などの効果価を総合的に判定、新規候補材料を提案。</li><li>・本プロジェクトをモデルとしたケーススタディーによるMIやPI技術の普及を進める。</li></ul>
② 実用化企業の材料・プロセス技術のフィードバックを目的とした <b>セル自動作製システムの構築</b>	電子輸送層塗布、正孔輸送層塗布、ペロブスカイト層塗布、金属裏面電極積層、封止までの5工程自動化に対する達成割合	<ul style="list-style-type: none"><li>・セルの高性能化には新しい材料・プロセス・分析技術が求められている。他方、ペロブスカイト層を再現良く作製することが難しく、新しい技術を比較し、開発方針にフィードバックさせるセル自動作製装置を構築し、企業の技術開発を直接サポート、早期社会実装に貢献する。自動化システムの完成度を指標とした。</li></ul>

## 2. 研究開発計画 / (1) 研究開発目標

### 発電コスト20円/kWhというアウトプット目標を達成するために必要な複数のKPIを設定

研究開発項目	アウトプット目標
2. セル要素技術の開発	20円/kWh達成に資する変換効率と耐久性を両立するセルの要素技術の開発

研究開発内容	KPI	KPI設定の考え方
① 量産可能な作製プロセスの基盤技術構築を目的とした <b>新規塗布・積層技術開発</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>・現状の枚葉式塗布技術に比べてタクトタイムが向上した割合、あるいは歩留まり、あるいは性能到達度</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・量産可能なプロセスによる低コスト化技術の開発に向けて連続生産が可能な技術であるブレード塗布、スプレー塗布等の開発進捗を示す指標とした。</li></ul>
② 太陽電池の耐用年数向上を目的とした <b>耐久性向上に資する技術開発</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>・変換効率20%以上のセルで耐熱・耐湿・耐光試験において初期性能から90%の効率を維持する時間（1500時間までの割合）</li><li>・あるいは耐熱・耐湿・耐光試験において初期性能から90%の効率を1500時間維持するセルの変換効率</li> <li>・光、熱、湿度、酸素に対する劣化メカニズムが解明された割合（例えば光の劣化メカニズムが解明されれば25%達成）</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・発電コストの低減に向けて寿命は直接影響を与える。耐熱・耐湿（温度85℃・湿度85%）、耐光性（100mW/cm<sup>2</sup>疑似太陽光連続照射）を付与する技術開発を進める。目標を変換効率20%以上で、その維持率を90%以上1500時間とし、その効率および性能維持割合を指標とした。</li> <li>・劣化メカニズムの解明に資する技術開発および環境整備の成果としてメカニズム特定件数とした。</li></ul>

## 2. 研究開発計画 / (1) 研究開発目標

### 発電コスト20円/kWhというアウトプット目標を達成するために必要な複数のKPIを設定

研究開発項目	アウトプット目標	
3. 分析・評価技術開発	20円/kWh達成に資する分析・評価技術の開発	
研究開発内容	KPI	KPI設定の考え方
① 太陽電池の高性能化に資する <b>分析技術の開発</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>変換効率低下因子の特定技術を開発した件数。合計4件以上を目標とする。</li> </ul>	セル内部の性能低下因子を特定し、課題解決の技術開発にフィードバックさせることで開発のリードタイム短縮を図る。
② 太陽電池セル・モジュール開発に資する <b>高精度・高能率な性能評価技術の開発</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高精度・高能率な性能評価手順の開発件数、もしくは、高精度性能評価測定の実施件数（測定手順開発1件以上、高精度測定は期間全体で110件以上を目標とする）。</li> </ul>	ペロブスカイト太陽電池の特性に応じた性能評価技術を開発し、その高精度化を進める。企業等の開発品の第三者測定を実施し、デバイス（セル・モジュール）開発を支援する。また、測定の高能率化も図り、更なるデバイス開発の進展に寄与する。面積<900cm <sup>2</sup> のペロブスカイト太陽電池の測定件数を従来の50%増を想定。
③ <b>実用サイズモジュール（面積&gt;900cm<sup>2</sup>）の性能評価技術の開発</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実用サイズモジュールの屋内性能評価体制および計測システム構築の進捗度（設計、装置導入、測定法開発、測定精度評価、の各ステージ完成を進捗の評価ポイントとする）</li> <li>屋内測定での変換効率の測定精度</li> </ul>	実用サイズモジュール（1.2m角以上の面積）の屋内性能評価測定を実現するための体制構築・計測システム技術開発の進捗度合いを指標とする。また、実現する測定精度を技術面の指標とする。2025年までに実用サイズモジュール等を変換効率測定精度±1.0%（1σ）以内を目指す。企業等の開発品を高精度で第三者評価し、実用サイズモジュール開発にフィードバックする。
	<ul style="list-style-type: none"> <li>屋外環境下での高精度性能・発電量計測系構築の進捗度と効率測定精度（精度±2.0%（1σ）以内を目標とする）</li> </ul>	屋外環境下でのモジュールの高精度性能評価技術を開発し、企業等が自社で大面積開発品を一定水準で評価できる技術の確立、それによる開発のリードタイム短縮に貢献する。屋外曝露による発電特性劣化評価にも供することが可能。

## 2. 研究開発計画 / (1) 研究開発目標

発電コスト20円/kWhというアウトプット目標を達成するために必要な複数のKPIを設定

研究開発項目	アウトプット目標
4. 国際標準化等を見据えた試験技術開発及び委員会の開催	国際標準化に資する試験技術の開発

研究開発内容	KPI	KPI設定の考え方
① 太陽電池の耐久性・信頼性を評価する加速劣化試験方法の開発	加速劣化試験方法を開発するために検討した試験方法の数	・型式認証などの基礎となる加速劣化試験方法の開発に向けて各種試験方法の検討が重要。
② 国際標準化等検討委員会	委員会の開催回数	・ペロブスカイト太陽電池の国際標準化に関する国内事業者・関係機関の合意形成を図ることが重要。

## 2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容 (全体像)

### 各KPIの目標達成に必要な解決方法

#### 1. 最適な材料組成の開発

研究開発内容	KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 (成功確率)
① 実用化企業の太陽電池セル・モジュール作製条件へのフィードバックを目的とした <b>セルの最適化技術開発</b>	効率向上または耐久性向上につながる新規候補材料・組成・プロセスファクタを用いた太陽電池性能 (目標は変換効率20%および耐熱・耐湿・耐光試験1500h)	提案時TRL 個別プロセスファクタの関係性や個別材料のみの解析・評価 (TRL4) 現状TRL ・PIを活用し研究者以上の最適プロセス条件を見出し、効率21%超 (0.16cm <sup>2</sup> ) 達成。変換効率と耐久性を両立する最適化実施中  ・計算により劣化現象を解決可能な材料候補の合成が終了 (TRL5)	・総合的な因子間の解析 ・実験・計算科学・MIの連携により実デバイスでの有用材料を提案 ・効率20%耐熱・耐湿・耐光試験1500h (TRL6)	・実験・計算・文献データからMI解析しプロセスインフォマティクス、総合最適化 ・ニューラルネットワーク、ベイズ最適化、LASSO等 ・計算科学による各層の材料構造・状態解析 ・有望候補材料の界面・粒界の構造・特性解析 ・MIと計算科学の連携により総合的に開発、新規候補材料を提案し性能向上 ・セル自動作製技術によるばらつき低減	初期変換効率向上についてPI活用が有効であることが実証されたため、耐久性を目的とした最適化を進める (70%)
② 実用化企業の材料・プロセス技術のフィードバックを目的とした <b>セル自動作製システムの構築</b>	電子輸送層塗布、正孔輸送層塗布、ペロブスカイト層塗布、金属裏面電極積層、封止までの5工程自動化に対する達成割合	提案時TRL 材料塗布の一部を自動化 (TRL2) 現状TRL 自動セル作製装置を運用中 (TRL5)	基板からスタートしてセル作製が自動でできる (TRL6)	基板の搬送、原料溶液の滴下・塗布、加熱・蒸着・封止までの作業を自動化させる機器を組み合わせシステムを構築する。	自動セル作製装置は稼働開始 (100%)

## 2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容 (全体像)

### 各KPIの目標達成に必要な解決方法

#### 2. セル要素技術の開発

研究開発内容	KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 (成功確率)
① 量産可能な作製プロセスの基盤技術構築を目的とした <b>新規塗布・積層技術開発</b>	・現状の枚葉式塗布技術に比べてタクトタイムが向上した割合、あるいは歩留まり、あるいは性能到達度	提案時TRL 量産可能な手法に着手 (TRL3) 現状TRL ブレードコートによる性能達成度96%。蒸着とスプレー塗布でのペロブスカイトを成膜し20.2%。 (TRL5)	量産可能手法にて枚葉式で作製した効率レベル (TRL6)	ブレードコート、スプレーコート等で平滑なペロブスカイト層を成膜する。 ブレードコート、スプレーコート等で150℃以下で平滑に各種材料を積層させる。	ブレードコート技術で変換効率19.2%(1.6cm <sup>2</sup> )を達成。枚葉式の変換効率の9割以上を達成。(96%)
② 太陽電池の耐用年数向上を目的とした <b>耐久性向上に資する技術開発</b>	変換効率20%以上のセルで耐熱・耐湿・耐光試験において初期性能から90%の効率を維持する時間 (1500時間までの割合) ・あるいは耐熱・耐湿・耐光試験において初期性能から90%の効率を1500時間維持するセルの変換効率	提案時TRL 変換効率20%で耐熱性500h、耐湿性20h、耐光性20h (TRL3) 現状TRL 耐熱1500h後効率19% 耐光2000h後効率14% 耐湿(40℃湿度90%) 2000h後効率17% 85℃85%は<100h (TRL3)	変換効率20%で耐熱・耐湿・耐光試験1500h後の維持率90%以上 (TRL6)	耐湿性向上に向けては、防湿材料の導入と探索・開発を進める。  耐光性については劣化因子の特定と劣化抑制処理(材料開発・洗浄技術)技術の開発を進める。  熱、光、湿度の関係性について明らかにする。	封止セルを開発済み。 1.5cm <sup>2</sup> のミニモジュールで初期効率20%達成済み。 0.12cm <sup>2</sup> のセルで85℃耐熱性試験後効率19%達成済み。 耐久性が高いセルの効率向上で目標達成予定。 (60%)
	劣化メカニズムの特定件数	提案時TRL 材料劣化を評価 (TRL4) 現状TRL 湿度の影響が大きく、酸素の影響は少ない (TRL4)	定常的な検査で劣化部位・要因を特定 (TRL6)	分光手法とインピーダンス解析を組み合わせ劣化部位を特定し、劣化要因を解明する。	酸素と湿度の影響を切り分けた。光の影響を含めて劣化解析中。 (60%)

## 2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容 (全体像)

### 各KPIの目標達成に必要な解決方法

#### 3. 分析・評価技術開発

研究開発内容	KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 (成功確率)
① 太陽電池の高性能化に資する <b>分析技術の開発</b>	変換効率低下因子の特定技術を開発した件数	提案時TRL 特定技術は複数提案。客観的な評価が少ない (TRL 4) 現状TRL 劣化部位を特定した評価が可能。また、劣化評価手法として発光イメージング法も適用。(TRL5)	因子の特定をルーティン作業で実施できる状態 (TRL6)	太陽電池性能に影響を与える因子を抽出。その因子を測定する手法を電気物性測定、分光測定、発光イメージ測定などを組合せて確立。様々な条件で作製した性能の異なるセルや性能劣化前後の比較により、セルの劣化に伴う変化をモニタリングし劣化測定技術を構築。また、屋外曝露および屋内加速劣化試験による太陽電池の劣化モードの解明にも活用	性能低下因子を特定するための物性評価技術を開発。分析技術をルーティン作業で実施できる技術の報告無し (70%)
② 太陽電池セル・モジュール開発に資する <b>高精度・高能率な性能評価技術の開発</b>	高精度・高能率な性能評価手順の開発件数、もしくは、高精度性能評価測定の実施件数	提案時TRL 性能評価技術を開発中 (TRL 4) 現状TRL 種々サンプルの性能評価測定を継続実施し、高精度性能評価測定実施 (TRL6)	性能評価技術の高精度化・高能率化 (TRL7)	定常出力特性評価手順の確立 ・種々サンプルの性能評価測定により測定手順改善と測定精度の再検証を行う。 ・高能率な手順提案と実験での検証 ・人材の育成、測定スキル向上 ・2025年度も新規開発品の性能評価測定を実施。測定を通して、手順確認、精度検証、スキル向上を図る。	高精度化・能率化な評価方法の開発に向けて、構築したペロブスカイト太陽電池セル性能評価測定系の活用 高度な測定スキルを有する人材育成を図る (80%)
③ <b>実用サイズモジュールの性能評価技術の開発</b>	・実用サイズモジュールの屋内性能評価体制および計測システム構築の進捗度 (完成割合) ・屋内測定での変換効率の測定精度	提案時TRL 実用サイズモジュールでの評価の実施なし (TRL 3) 現状TRL 実用サイズモジュール評価系の導入 (TRL4)	実用サイズモジュール評価系の構築 (TRL6)	実用サイズモジュールの性能評価技術 ・大面積照射定常光シミュレータ等装置・評価システム導入を完了(2025年5月)。システムの早期立ち上げと実験検証 (手順、測定精度) ・測定誤差要因の算定と見直しにより精度を向上	大面積モジュールに対応した評価体制を構築し、上で開発する高精度・高能率技術を適用する (70%)
	屋外環境下での高精度性能・発電量計測系構築の進捗度と効率測定精度	提案時TRL 高精度評価技術は未開発 (TRL 4) 現状TRL 温度・照度特性評価を実施中 (TRL 4)	屋外測定技術の確立と高精度化 (TRL 6)	屋外性能評価技術の開発と高精度化 ・現有設備を活用 (移設・整備拡充) し、ペロブスカイト太陽電池に適した屋外計測系 (日射計測、温度計測) の早期構築 ・温度・照度補正方法の開発	高速日射計測、補正方法の開発がポイント。結晶Siで開発中の技術を発展させる。GI基金実施者からの太陽電池サンプル提供協力あり

## 2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容 (全体像)

### 各KPIの目標達成に必要な解決方法

#### 4. 国際標準化等を見据えた試験技術開発及び委員会の開催

研究開発内容	KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 (成功確率)
① 太陽電池の耐久性・信頼性を評価する加速劣化試験方法の開発	加速劣化試験方法を開発するために検討した試験方法の数	提案時TRL 屋外曝露や耐久性・信頼性試験方法を調査する状況 (TRL3) 現状TRL 光サイクル試験 (可視光、UV光) を実施中。 屋外曝露試験を検討(一部開始) 3種類 (TRL4)	耐久性・信頼性を評価する加速劣化試験条件の開発・提案 (TRL6)	屋外曝露試験と屋内耐久性試験を比較実施することにより、太陽電池の耐久性・信頼性を評価する加速劣化試験条件を開発する。GI実施事業者の開発する太陽電池を評価する。	GI実施事業者の開発する太陽電池を評価することで、実用化に向けた加速劣化試験条件の開発が可能 (70%)
② 国際標準化等検討委員会	委員会の開催回数	提案時TRL (TRLなし) 現状TRL 開催回数4回 (TRLなし)	委員会の設置、開催 (TRLなし)	ペロブスカイト太陽電池の国際標準化に関して、GI基金参加事業を含む国内関係機関の意見集約、合意形成を図る。意見聴取として事業者との個別ヒアリングも実施する。	

# 事業開始からの進捗状況

研究開発内容	実施計画・マイルストーン	開発進捗	進捗度
<p>1. 最適な材料組成の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>セルの最適化技術開発</li> <li>セル自動作製システムの構築</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>自動塗布システム設計完了</li> <li>自動測定システム完成</li> <li>自動蒸着システム完成</li> <li>自動封止システム完成</li> <li>MI最適化開始</li> <li>MI最適化ファクター・材料候補提示</li> <li>PIによるプロセス最適化</li> <li>PIによるプロセス最適候補提示</li> <li>PI・計算によるサポート継続</li> <li>計算科学による材料探索開始</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>セル自動作製システム（塗布システム、蒸着システム）を完成</li> <li>自動測定システムを完成</li> <li>自動封止システムを完成</li> <li>運用開始</li> <li>実験データを収集</li> <li>MI最適化ファクター・材料候補提示</li> <li>PIによるプロセス最適化し、最適候補提示、研究者の最適値を超える効率達成</li> <li>PIによる高耐久化条件探索中</li> <li>PI・計算によるサポート継続中</li> <li>ペロブスカイト表面のパッシベーション分子挙動を計算科学により再現</li> </ul>	○
<p>2. セルの要素技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>新規塗布・積層技術開発</li> <li>耐久性向上に資する技術開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>連続作製手法で効率17%達成</li> <li>連続作製手法で効率20%達成（2025年前期）</li> <li>効率20%で耐熱・耐湿・耐光性500h（2023年後期）</li> <li>効率20%で耐熱・耐湿・耐光性1000h（2024年後期）</li> <li>効率20%、耐熱・耐湿・耐光性1500h（2025年後期）</li> <li>セル劣化メカニズム解明</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1ステップブレードコートにて19.2% (&gt;1cm<sup>2</sup>), 20%(&lt;1cm<sup>2</sup>)を達成</li> <li>スプレー蒸着システムを想定した2ステップ法で効率20.2%(&lt;1cm<sup>2</sup>)を達成</li> <li>効率22.6%で耐熱1500 h 後の効率19.2%を達成</li> <li>効率18%で耐光2000 h 後の効率14%</li> <li>効率17%で耐湿（40℃湿度90%）2000h</li> <li>1.5cm<sup>2</sup>で効率20%達成（ミニモジュール構造）</li> <li>新規ホール輸送材を用いて発電効率19%を達成</li> <li>吸着導入可能な新規界面修飾型ホール輸送材、電子輸送材を開発</li> <li>無機正孔輸送層および透過率の高い透明導電材料を開発</li> <li>太陽電池が劣化する水蒸気暴露量を調査</li> <li>熱、湿度、酸素の影響を分離してX線回折により評価するシステムを立上げ、ペロブスカイト結晶の劣化を実験的にシミュレーションした。</li> </ul>	○

研究開発内容	実施計画・マイルストーン	開発進捗	進捗度
<p>3. 分析・評価技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>分析技術の開発</li> <li>高精度・高能率な性能評価技術の開発</li> <li>実用サイズモジュール（面積 &gt;900cm<sup>2</sup>）の性能評価技術の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>第三者性能評価測定開始（面積&lt;30cm角）</li> <li>高能率計測手順開発完了（面積&lt;30cm角）</li> <li>実用サイズ計測系構築、性能評価開始</li> <li>物性評価技術確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>企業および外部研究機関開発品等のペロブスカイト太陽電池（面積&lt;30cm角）の性能評価測定を実施しフィードバック</li> <li>高能率計測手順開発完了（面積&lt;40cm角）</li> <li>ペロブスカイト太陽電池（&lt;40cm角）の性能評価測定（第三者測定）を実施</li> <li>実用サイズ計測系構築（&gt; 1.2m角）装置立上げ開始</li> <li>蓄積電荷からモバイルイオン（拡散イオン）濃度の見積り手法を確立</li> <li>励起強度の異なる蛍光寿命測定から劣化原因を特定する技術を開発</li> <li>種々条件設定（熱・光・電気バイアス条件等）設定によるインピーダンス測定系を開発し、それをを用いたセル特性の不安定性要因解明を開始</li> <li>屋外曝露および屋内加速劣化試験による太陽電池の劣化モードを解明</li> </ul>	○
<p>4. 国際標準化等を見据えた試験技術開発及び委員会の開催</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>国際標準化委員会を立上げ</li> <li>第1回 国際標準化委員会を開催（以後、2回/年程度で開催）</li> <li>環境試験装置の導入</li> <li>屋外曝露計測系の構築</li> <li>加速劣化試験条件抽出</li> <li>加速劣化試験プロトコル検証（2025年後期）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>国際標準化委員会を立上げ、第5回（2025年7月）を開催</li> <li>委員会の体制・実施項目の概要について概ね合意</li> <li>スコープの範囲、委員会の役割、スケジュールについて概ね合意</li> <li>小型環境試験装置の導入</li> <li>屋外性能評価の要素技術として、温度・照度補正方法の開発に着手</li> <li>モジュールの加速劣化試験および光サイクル試験を実施、試験結果をフィードバック</li> </ul>	○

## ペロブスカイト太陽電池の最適な材料組成の開発実施内容 (MI・計算G)

- セルの最適化技術開発ではプロセスインフォマティクス(PI)の試みとし、性能と相関性があるパラメータを用いてベイズ最適化を実施。研究者が事前に最適化した条件よりも高い変換効率を示す実験条件を提案することに成功。マテリアルインフォマティクス(MI)・PI技術がペロブスカイト太陽電池のセル作製プロセスの最適化に活用可能であることを実証。さらに、高い変換効率に加えて耐久性を向上させるためのベイズ最適化を実施中。
- セル自動作製システムの構築では、基板搬送およびペロブスカイト前駆体溶液の塗布、基板加熱工程の自動化の初期システムを検討。自動成膜システムの実証結果を展開させて、セル自動作製システムを開発し導入。装置の本格稼働を開始し、実施企業の条件検討を実施中。

## 変換効率と耐久性を両立するペロブスカイト太陽電池セルの 要素技術の開発実施内容（基盤技術G）

- ロールtoロール成膜の課題抽出と基盤技術開発に向けて、ブレードコート手法にて成膜条件を検討。最適化させることで効率20.7%（0.16 cm<sup>2</sup>）、効率19.2%（1.1cm<sup>2</sup>）に向上。
- 蒸着およびスプレーコートによる成膜条件も検討し効率20.2%(<1cm<sup>2</sup>)を達成
- 耐熱試験（85℃）1500h後の効率19.2%を達成。耐光試験（疑似太陽光）2000h後の効率14%を達成。耐湿試験（40℃湿度90%）で2000h後の効率17%達成
- スクライブ技術を活用し1.5cm<sup>2</sup>で変換効率20.0%を達成。
- 正孔輸送材の耐熱性向上について引続き検討中
- 大面積化へも対応可能となる自己組織化単分子膜(SAM)を形成する新規ホール輸送材料および電子輸送材料を開発。
- 劣化に至る水蒸気暴露量を推定するため、水蒸気透過率（WVTR）の異なる封止材料を用い、累積水蒸気透過量とセル劣化の関係性を解明

# ペロブスカイト太陽電池の分析・評価技術の開発実施内容（評価技術G）

## 分析技術

- 劣化評価技術として、過渡発光分光法、インピーダンス計測法、過渡電流応答計測法などを開発。様々な条件で作製した性能の異なるセルや性能劣化前後の比較により、性能劣化因子の特定と劣化メカニズム解明中。屋外曝露と屋内加速劣化試験を比較検討し劣化モードの解明に着手。

## 性能評価技術

- 高精度性能評価測定（第三者測定）として新開発デバイスの性能評価測定を実施、測定手順の検証、測定精度の評価を実施し、測定結果は各デバイス開発元にフィードバック
- ペロブスカイト太陽電池（<40cm角）の性能評価測定を実施し、結果をフィードバック。変換効率の測定再現性±1%以内達成
- 実用サイズモジュールを想定した1.2m角対応の屋内性能評価計測システム装置を構築し調整中。
- ペロブスカイト太陽電池の性能評価技術として、温度・照度補正技術を検討
- 屋外性能評価方法の開発に向けて、現有設備を活用（移設・整備拡充）した屋外計測系を構築中

# ペロブスカイト太陽電池の国際標準化等を見据えた試験技術開発及び委員会の実施内容（国際標準化等検討委員会）

## 太陽電池の耐久性・信頼性を評価する加速劣化試験方法の開発

- 実用化に向けた耐久性・信頼性に関する試験技術開発に関して、GI基金参加企業へのヒアリングを実施
- GI参画企業の加速劣化試験および光サイクル試験を実施、試験結果をフィードバック

## 国際標準化等検討委員会

- 2025年7月28日に第5回国際標準化等検討委員会（現地＋オンライン）を開催。
- 太陽電池モジュール認証の為の規格策定に関する過去の経緯について確認し、標準化試験項目の案について議論を進めた。
- GI実施事業者のニーズを踏まえ、ペロブスカイト版の型式認証規格（IEC 61215）及び安全適格性規格（IEC 61730）等を念頭において標準化に必要な事項を整理・検討していく。

## 2. 研究開発計画 / (3) 実施スケジュール

### 複数の研究開発を効率的に連携させるためのスケジュールを計画

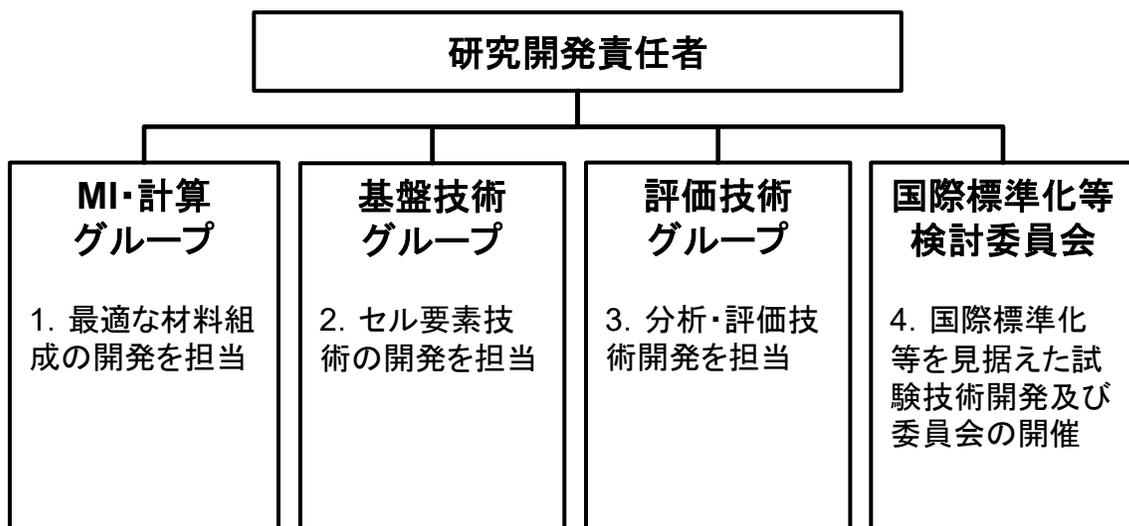
研究開発内容	2022	2023	2024	2025
研究設備・環境整備状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ドライルーム導入完了</li> <li>・大型分析装置導入完了</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・塗布試験装置導入完了</li> <li>・各種計測分析装置導入完了</li> </ul>		
ペロブスカイト太陽電池の最適な材料組成の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自動塗布システム設計完了</li> <li>・MI最適化開始</li> <li>・計算科学による材料探索開始</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自動塗布システム完成</li> <li>・MI、PI最適化ファクター・材料候補提示</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自動蒸着、封止システム完成</li> <li>・PIによるプロセス最適候補提示</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自動作製・測定システム完成</li> <li>・PI・計算によるサポート継続</li> </ul>
変換効率と耐久性を両立するペロブスカイト太陽電池セルの要素技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・連続作製手法で効率17%達成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・効率20%で耐熱・耐湿・耐光性 500h</li> <li>・セル劣化メカニズム解明</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・効率20%で耐熱・耐湿・耐光性 1000h</li> <li>・連続作製手法で効率18%達成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・連続作製手法で効率20%、耐熱・耐湿・耐光性 1500h</li> </ul>
ペロブスカイト太陽電池の分析・評価技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・第三者性能評価測定開始 (面積&lt;30cm角) (以後継続実施)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・物性評価技術確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・効率低下因子特定技術確立</li> <li>・屋外性能評価系構築完了</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実用サイズ計測系構築、性能評価開始</li> <li>・モジュール劣化解析サポート</li> <li>・屋外高精度測定手法開発完了</li> <li>・実用サイズ計測の精度目標達成</li> </ul>
国際標準化等を見据えた試験技術開発及び委員会の開催		<ul style="list-style-type: none"> <li>・国際標準化委員会を立上げ</li> <li>・第1回 国際標準化委員会を開催 (以後、2回/年程度で開催)</li> <li>・環境試験装置の導入</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・屋外曝露計測系の構築</li> <li>・加速劣化試験条件抽出</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・加速劣化試験プロトコル検証</li> </ul>

## 2. 研究開発計画 / (4) 研究開発体制

# 一貫の利点を生み出す研究開発実施体制の構築

実施体制図 ※総事業費/国費負担額：38.5/38.5億円

主体の体制における役割とその連携方法



### 主体の役割

- MI・計算グループはセルの最適化技術開発およびセル自動作製システムの構築を担当。
- 基盤技術グループは新規塗布・積層技術開発および耐久性向上に資する技術開発を担当。
- 評価技術グループはセル分析技術の開発、高精度・高能率な性能評価技術の開発、実用サイズモジュール（面積>900cm<sup>2</sup>）の性能評価技術、国際標準化等を見据えた信頼性評価試験の開発を担当。
- 国際標準化等検討委員会は委員会の開催、実用化に必要な標準等を検討し、国内外との合意形成を図る。
- 基盤技術グループが各種条件で作製した、セル性能のデータはMI・計算グループに共有し、MI・PI等の技術により最適化した作成条件を基盤技術グループにフィードバックする。
- 基盤技術グループが各種条件で作製したセルを評価技術グループにて分析評価を行い、基盤技術グループにフィードバックする。
- 基盤技術グループで作製されたセルを用いて、評価技術グループにて高精度測定法の技術開発を行う。

### 本プロジェクトにおける他実施者等との連携（貢献）

- 基盤技術グループで得られた、セルの高性能化技術に関する共通基盤的な知見について連携企業に共有する。知財が発生する技術については権利化後に共有する。
- 評価技術グループでは、「次世代型太陽電池実用化事業」の実施者が作製した太陽電池セル・モジュールの高精度測定を実施する。また連携企業と協力し国際標準化に供する耐久性・信頼性を評価する試験技術の開発やその試験条件・プロトコルの開発に向けたデータ蓄積を進める。

## 2. 研究開発計画 / (5) 技術的優位性

### 国際的な競争の中においても技術等における優位性を保有

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
1. 最適な材料組成の開発	セルの最適化技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>MI技術①ベイズ最適化を用いた多元化合物の組成最適化技術</li> <li>MI技術②実験・計算のデータ同化による材料特性評価技術</li> <li>計算科学の技術①第一原理計算を中心とした電子状態と原子構造の解析技術</li> <li>計算科学の技術②表面・粒界・界面のモデリング技術</li> <li>素子開発の技術①</li> <li>素子開発の技術②</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ 磁性材料で有効性を検証し、論文発表済み。他の材料系やプロセスパラメータの最適化へ転用可能</li> <li>→ 磁性材料に対して開発し、論文発表済み。ペロブスカイト系の特性評価に転用可能</li> <li>→ 半導体・電池関連の材料系で実績・ノウハウ多数。MI・実験連携が可能</li> <li>→ 任意の表面・粒界方位や異種物質界面モデルの自動生成が可能。欠陥濃度を変えつつも、適切な形の複数結晶モデル（スーパーセル）を作る手法を確立</li> </ul>
	セル自動作製システムの構築	<ul style="list-style-type: none"> <li>ロボットを用いた基板搬送技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ ロボットを活用した実験システムの構築経験を保有。基板搬送まで含めたペロブスカイト太陽電池自動作製システムは国内に無いものと認識</li> </ul>

## 2. 研究開発計画 / (5) 技術的優位性

### 国際的な競争の中においても技術等における優位性を保有

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
2. セル要素技術の開発	新規塗布・積層技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>高効率ペロブスカイト太陽電池作製技術</li> <li>ペロブスカイト層のブレードコート技術</li> <li>ペロブスカイト層の結晶化過程の解析技術</li> <li>ペロブスカイト層の蒸着技術</li> <li>金属酸化物等の界面バッファ層形成技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ 効率20%以上を達成できる技術を保有</li> <li>→ ペロブスカイト層のブレードコート技術を保有している機関は2者程度と認識</li> <li>→ 高輝度X線回折等による結晶化過程の解析技術を保有</li> <li>→ ペロブスカイト層のレーザー蒸着による成膜技術を世界で最初に構築</li> <li>→ 電荷輸送層/電極界面のバッファ層形成技術(ALD)を保有</li> </ul>
	耐久性向上に資する技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>劣化抑制材料の開発技術</li> <li>劣化解析技術</li> <li>封止方法と水分暴露量計算方法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ 劣化評価のための封止セル作製技術を保有している機関は5者程度と認識</li> <li>→ 分光分析による劣化解析技術を保有</li> <li>→ 封止性能の目標を立てられる。</li> </ul>

## 2. 研究開発計画 / (5) 技術的優位性

### 国際的な競争の中においても技術等における優位性を保有

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
3.分析・評価技術 開発	セル開発に資する物性分析技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>レーザー分光による過渡応答測定を含む各種分光分析の技術</li> <li>インピーダンス分光によるデバイス界面物性の評価技術</li> <li>劣化因子を特定するモデルデバイス作製技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ 太陽電池の高速レーザー分光等による解析技術で実績がある機関は限られる。</li> <li>→ 太陽電池の基礎的なインピーダンス解析を実施している機関は限られる。</li> <li>→ モデルデバイスの作製はオリジナル</li> </ul>
	高精度・高能率な性能評価技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>結晶Si、CIGS薄膜等各種太陽電池（セル、モジュール）の高精度性能評価測定技術</li> <li>国際相互承認トレーサビリティを担保した計測技術（計測法、人材）</li> <li>基準太陽電池の一次校正技術（世界PVスケール(WPVs)の1機関）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ 高精度な性能評価技術の蓄積（評価技術、計測スキル）</li> <li>→ 世界を先導する性能評価機関として認知されている（例えば、Eff.Tables 指定ラボ）</li> <li>→ 性能評価基準の根幹をなす基準セル一次校正の日本で唯一の機関。校正トレーサビリティ体系を維持</li> </ul>
	実用化サイズデバイスの性能評価技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>太陽電池モジュールの性能評価技術（STC、温度依存性）</li> <li>結晶Si、CIGS薄膜等PVモジュールの屋外高精度評価技術、温度・照度補正技術</li> <li>屋外設置システムの発電量計測技術</li> <li>屋外曝露サイトの活用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ 各種太陽電池モジュール計測技術の蓄積</li> <li>→ 現在開発を進める屋外高精度評価技術をペロブスカイト太陽電池の屋外計測に展開可能</li> <li>→ 屋外曝露サイト計測システムの本事業への転用が可能</li> </ul>

## 4. その他

## 4. その他 / (1) 想定されるリスク要因と対処方針

### 本プロジェクトだけでは解決しきれない課題とその対応

- 本プロジェクトでは実用化を可能にする共通基盤技術の開発を進めるが、製造コストを正確に評価することが難しい。特に材料コストは最終的な受注量や為替相場、需給バランスで単価の変動が予測される。この課題を解決するために、代替可能な材料や技術の選択肢（技術ポートフォリオ）を可能な限り広く準備しておく必要があると考えている。
- 将来の社会情勢の変化により必要とされる技術の内容や完成時期が変化する可能性も考えられる。例えば既存のガス・石油・石炭火力発電等の電力単価高騰や、地域情勢の不安定化による材料供給網が滞る等により、次世代型太陽光発電の社会実装条件が変化する可能性がある。この課題も上記同様に代替可能な材料や技術の選択肢（技術ポートフォリオ）を可能な限り広く準備しておく必要があると考えている。
- 産総研では必要とされる材料や技術、目標等が変化し、新しい専門分野が必要な場合に組織として対応し、内部から適任者を探し、メンバーの組入措置も可能である。技術条件や情勢の変化に柔軟に対応する。