

2024 年度成果報告書

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／

次世代型太陽電池の開発に関する情報収集等調査

2025 年 3 月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

委託先 株式会社三菱総合研究所

目次

1. 研究開発の成果と達成状況	1
1.1 要約	1
1.2 調査の概要・目的	3
1.3 STEP1:従来型太陽電池の標準化動向調査	4
1.3.1 STEP1-1 IEC 規格の新設・改訂等の動向調査	4
1.3.2 STEP1-2 既存 IEC 規格の調査	5
1.3.3 STEP1-3 既存規格の策定経緯の調査	15
1.4 STEP2:ペロブスカイト太陽電池の標準化動向調査	17
1.4.1 STEP2-1 国際会合における動向収集	17
1.4.2 STEP2-2 国際コンソーシアム等の調査	23
1.4.3 STEP2-3 事業者等へのヒアリング調査	32
1.5 STEP3:標準化に向けたとりまとめ	37
1.5.1 STEP3-1 標準化に向けた取り組み方向性の整理	37
2. 研究発表・講演、文献、特許等の状況	40

図 目次

図 1-1 調査の概要	3
図 1-2 太陽電池モジュール製造時の品質管理	7
図 1-3 太陽電池モジュールの製造プロセス・製品に対する監視・測定	8
図 1-4 太陽電池モジュールの年間エネルギー出力、及び CSER の算出方法	14
図 1-5 PACT の屋外曝露試験データ(Single-junction modules)	19
図 1-6 PACT の屋外曝露試験データ(Multi-junction modules)	20
図 1-7 プレコンディショニングの試験フロー	25
図 1-8 パッケージの分解図	26
図 1-9 パッケージの加熱・圧着プロセス	26
図 1-10 外的要因(パッケージ)試験	27
図 1-11 内部要因試験	28
図 1-12 封止の有無によるひずみの差	31
図 1-13 曲げ軸の方向(電流に対して垂直の場合)	31

表 目次

表 1-1 IEC TC82 WG2(第 91 回)の動向	4
表 1-2 既存規格の調査対象一覧	5
表 1-3 太陽電池既存規格のマッピング	6
表 1-4 太陽電池モジュール製造事業者の品質管理に関する主な規定	6
表 1-5 モジュール性能の温度・放射照度特性測定に関する規定	9
表 1-6 測定項目(温度・放射照度マトリクス)	9
表 1-7 測定手法(自然光・ソーラーシミュレータ)	10
表 1-8 特定温度・放射照度における性能の算出方法	10
表 1-9 太陽電池モジュールの入射角特性、分光応答性、動作温度測定に関する規定	11
表 1-10 入射角特性測定手法(屋内・屋外)	12
表 1-11 動作温度測定・評価手法	12
表 1-12 太陽電池モジュールのエネルギー出力評価に関する規定	13
表 1-13 既存規格の策定経緯に関するヒアリング結果	16
表 1-14 ISOS-15 の概要	17
表 1-15 ISOS 評価プロトコル	18
表 1-16 SAYURI-PV 2024 におけるペロブスカイト太陽電池に関する報告の概要	22
表 1-17 PACT の概要	23
表 1-18 PACT で規定されている試験・設計基準プロトコル	23
表 1-19 太陽電池モジュールの屋外曝露試験の手順と出力測定方法	24
表 1-20 プレコンディショニング手順	25
表 1-21 推奨試験プロトコルにおいて記述すべきパラメータ	30
表 1-23 実証事業者・保険会社・海外研究機関のヒアリングの概要	32
表 1-24 実証事業者へのヒアリング結果	33
表 1-25 保険会社へのヒアリング結果	35
表 1-26 海外研究機関へのヒアリング結果	36
表 1-27 ユースケース別の課題	37
表 1-28 各製造事業者の特徴	39

1. 研究開発の成果と達成状況

1.1 要約

(1) 和文要約

2050 年カーボンニュートラルの実現に向けて、太陽光発電を含む再生可能エネルギーの主力電源化を目指し、太陽光発電の最大限導入を進めていく必要がある。その中でも、軽量性や柔軟性等を兼ね備え、性能面でも既存太陽電池に匹敵する可能性のあるペロブスカイト太陽電池の実用化が期待されている。ペロブスカイト太陽電池の社会実装および円滑な国際展開に向けては、製品の規格化や既存関連制度等との整合性の確保、性能評価手法の国際標準化を進めることが極めて重要であり、本調査では、ペロブスカイト太陽電池の国際標準化の状況や動向に関する調査・分析を行った。

最初に、従来型太陽電池に関する標準化動向の調査を行った。従来型太陽電池における今後の新設・改訂予定の規格に関して、IEC の国際会合に参加して調査および整理を行った。また、既存の IEC 規格の整理や、有識者等へのヒアリングを通じて既存規格がどのような経緯で策定されたかについての調査を行った。

次いで、ペロブスカイト太陽電池に関する標準化動向調査の調査を行った。国際会合である ISOS (International Summit on Organic and Hybrid Photovoltaics Stability) では、ペロブスカイト太陽電池の信頼性評価手法や性能測定に関する最新の研究成果が報告され、また、新たにフレキシブル太陽電池向けの機械的特性に関する試験プロトコルの提案が行われていることが明らかとなった。

さらに、国内外の実証事業者や研究機関等へのヒアリングを通じて、ペロブスカイト太陽電池の標準化の動向やニーズ、標準化の意義等について情報収集を行った。様々な意見があったものの、総じて標準化の意義や必要性に関して前向きな意見が得られた。また、発電性能や安全性・信頼性、設置施工方法、法規制、環境配慮等の観点において、普及に向けた課題が多々存在することが明らかとなった。

最後に、これらの調査結果を踏まえて、ペロブスカイト太陽電池の標準化に向けた方向性の検討を行った。

(2) 英文要約

In order to realize carbon neutrality by 2050, it is necessary to promote the maximum introduction of solar power with the aim of making renewable energy, including solar power, the major power source. Among them, perovskite solar devices, which are lightweight, flexible, and have the potential to match existing solar cells in performance, is expected as a next generation technology. For social implementation and smooth international deployment of perovskite solar devices, it is extremely important to standardize products, ensure consistency with existing related legal systems and regulation, and promote international standardization of performance evaluation methods. Based on this background, in this study, the status and trends of international standardization of perovskite solar devices are investigated and summarized.

First, the standardization trends of conventional solar devices were investigated. For conventional solar devices, the trend of new and revision proposal of the standards were investigated with participation in the international meeting of IEC Technical Committee. And the existing IEC standards were investigated and summarized. Background of existing IEC standards were also investigated through interviews with experts.

Next, the standardization trends of perovskite solar devices were investigated. It was found that the latest research results on reliability evaluation methods and performance measurement of perovskite solar devices were reported at the international summit “ISOS” (International Summit on Organic and Hybrid Photovoltaics Stability), as well as proposal of new test protocols for mechanical performance of flexible solar devices.

Information on trends, needs, and significance of standardization of perovskite solar devices were also gathered through interviews with demonstrators and experts from research institutions of perovskite solar devices in Japan and overseas. Although there were various opinions, generally positive opinions were obtained regarding the significance and necessity of standardization. And it became clear that there are many issues to be addressed in terms of power generation performance, safety and reliability, installation methods, legal regulations, environmental considerations, in order to promote the widespread use of this technology.

Finally, the direction toward standardization of perovskite solar devices was examined based on these findings.

1.2 調査の概要・目的

ペロブスカイト太陽電池の社会実装および円滑な国際展開を見据えて製品の規格化や既存関連制度等との整合性の確保、性能評価手法の国際標準化を進めることは極めて重要である。このような点を踏まえ、本調査は、我が国がペロブスカイト太陽電池の産業競争力を確保した上で国際標準化を実現するためにはどのように取り組むべきかを明確にすることを目的とし、図 1-1 のステップで「ペロブスカイト太陽電池の国際標準化に関する調査・分析」を行った。

Step1	Step2	Step3
従来型太陽電池の標準化動向調査	ペロブスカイト太陽電池の標準化動向調査	標準化に向けたとりまとめ
1-1. IEC規格の新設・改訂等の動向調査 規格の新設・改訂等の動向 (IEC TC82 WG2調査)	2-1. 国際会合における動向収集 国際会合における研究開発の動向 (ISOS-15、SAYURI-PV等)	3-1. 標準化に向けた取り組み方向性の整理 - 標準化ニーズ、動向、日本企業の優位性などの整理 - 取り組み方向性の整理
1-2. 既存IEC規格の調査 既存規格の概要、各種基準 (IEC規格の調査)	2-2. 国際コンソーシアム等の調査 - 国際コンソーシアム・各国研究機関の取組 - 各種文献・論文等における情報	
1-3. 既存規格の策定経緯の調査 国内外団体・有識者へのヒアリング調査	2-3. 事業者等へのヒアリング調査 事業者等へのヒアリング調査	

図 1-1 調査の概要

1.3 STEP1:従来型太陽電池の標準化動向調査

1.3.1 STEP1-1 IEC 規格の新設・改訂等の動向調査

(1) IEC TC82 WG2 における動向

STEP1-1 では、従来型太陽電池の規格に関する新設・改訂等の動向について調査を行った。ここでは、太陽電池モジュールの IEC 規格に関して新設や改訂等の議論が行われている「IEC TC82 WG2」における動向の調査を行った。表 1-1 に、IEC TC82 WG2 における規格の新設・改訂の動向を整理した。

ペロブスカイト太陽電池関連では、日本がプロジェクトリーダーを務める、IV 性能特性の測定手法に関する新規規格（#1：ペロブスカイト太陽電池版 IEC60904）の議論が継続している。また、ペロブスカイト太陽電池を直接的に想定した規格ではないものの、同様に日本がプロジェクトリーダーを務める、曲面太陽電池モジュールの IV 性能特性の測定手法に関する新規規格（#21）に関する議論も進んでいる。

表 1-1 IEC TC82 WG2(第 91 回)の動向

#	規格番号/テーマ	対象規格の概要	影響度
1	IEC TS 60904-1-4 ED1	準安定構造太陽電池モジュールのIV特性の測定手法のガイドラインを規定。	高
2	IEC TS 60904-1-2 ED2	両面発電太陽電池モジュールのIV特性の測定方法を規定。	-
3	IEC 60904-8/AMD1 ED3	太陽電池モジュールの分光感度特性の測定における要求事項を規定。	-
4	IEC 61853-1 ED2	照度変化および温度変化に対する発電性能試験方法を規定。	中
5	IEC 61853-2 /AMD1 ED1	分光感度、入射角の影響、モジュール運転温度の測定方法を規定。	中
6	IEC 61853-3 ED2	太陽電池モジュールのエネルギー定格の測定方法を規定。	中
7	IEC 61853-4 ED2	性能測定に関する参照気候プロファイルを規定。	中
8	IEC TS 63209-1 ED2	HJTやTOPCon等におけるLeTID、UVID試験方法を規定。	
9	IEC 63XXX ED1	ユニバーサルコネクタに関する設計思想を規定。	
10	IEC 62852 ED2	太陽光システムにおけるDCコネクタの安全性要求事項および試験方法を規定。	
11	IEC TS 63126	太陽電池モジュール、構成部品等の高温環境下での適格運転ガイドライン。	
12	IEC 61215-1/AMD1 ED2	地上設置型太陽電池モジュールに関する性能上の設計要求事項全般を規定。	中
13	IEC 61215-1-1/AMD1 ED2	IEC61215-1のうち結晶シリコン太陽電池モジュール向けの特別要求。	中
14	IEC 61215-2/AMD1 ED2	地上設置型太陽電池モジュールの性能に関する試験手順全般を規定。	中
15	IEC 61730-2:2023	地上設置型太陽電池モジュールに関する安全性に係る要求事項を規定。	中
16	IEC TS 63543-1 ED1	DC3000Vのシステム電圧に対応した構造要求事項を規定。	
17	IEC TS 63543-2 ED1	DC3000Vのシステム電圧に対応した構造要求事項を規定。	
18	IEC TS 62915 Ed 2.0	太陽電池の設計適格性確認および型式認証に係る再試験ガイドラインを規定。	
19	IEC TS 62788-7-2/AMD1 ED1	太陽電池部材のポリマー材の加速耐候性試験の方法に関して規定。	中
20	IEC TS 62804-1 ED2	太陽電池モジュールのPID試験の方法を規定。	
21	IEC TS 60904-1-3 ED1	曲面太陽電池モジュールのIV特性の測定手法を規定。	高
22	IEC 62941 ED2	地上設置型太陽電池モジュールの製造方法に関する品質システムを規定。	
23	IEC TS 63564	融雪型太陽電池に関する構造的な要求および試験基準を規定。	
24	IEC TS 63556	太陽電池モジュールおよび部材に対する複合加速試験方法を規定。	中
25	IEC 62716:2013 ED2.0	太陽電池モジュールのアンモニア腐食試験方法を規定。	
26	IEC TR 63525 ED1	太陽電池モジュールのリユース時における試験基準を規定。	

出所)IEC TC82 WG2 (第 91 回、2024 年 10 月 21 日～24 日開催)を基に作成

1.3.2 STEP1-2 既存 IEC 規格の調査

STEP1-2 では従来型太陽電池に関する既存規格の調査・整理を行った。調査対象とした既存規格は表 1-2 のとおり。

製造工程の品質管理システムや、発電量等の性能についての試験方法に関する規格を新たに調査対象とした。また、前年度調査を実施した設計適格性、安全適格性、出力測定法などの規格についても更新状況を確認したが、更新は見られなかった。

表 1-2 既存規格の調査対象一覧

規格番号	規格名	概要
IEC61215	地上設置型太陽電池モジュールの設計適格性確認および型式認証	地上設置型太陽電池モジュールに関する性能上の設計要求事項を規定
IEC61730	太陽電池モジュールの安全適格性確認	太陽電池ジュールの安全性に関する要求事項を規定
IEC60904-1	太陽電池のIV特性測定手法	太陽電池のIV特性(出力)測定手法を規定
IEC62548-1 (JIS C 62548)	太陽電池アレイの設計要求事項	太陽電池アレイの設計に関する要求事項を規定
IEC63092	建材一体型太陽電池	建材一体型太陽電池モジュールに対する要求事項を規定
IEC TR63228	有機化合物、色素増感、ペロブスカイト太陽電池のIV特性測定手法	ペロブスカイト等の新型太陽電池のIV特性(出力)測定手法を規定
IEC TS62876-2-1	ナノテクノロジー – 信頼性評価 Part2-1 ナノ構造利用太陽電池の安定性評価	ナノ材料やナノ構造を利用した太陽電池の安定性に関する評価試験手法を規定
IEC62941	地上設置型太陽電池モジュールの製造方法に関する品質システム	太陽電池ジュールの製造工程における品質管理システムを規定
IEC61853	太陽電池モジュールの性能試験とエネルギー評価	太陽電池性能への温度・放射照度等の影響に関する要求事項を規定

※赤字は前年度調査から追加で調査を行った規格

表 1-3 に、太陽電池の主な既存規格の関係性について整理した。代表的な既存規格は、大きく「性能測定」「設計適格性」「安全適格性」に分類されている。また、太陽電池全般を対象とした規格に加えて、太陽電池種類に応じた追加要求事項も一部存在する。そのほかに、品質管理の規格や太陽電池アレイの規格、建材一体型等の特殊用途向けの規格も存在する。ペロブスカイトを含む有機薄膜系向けの規格としては、IEC TR 63228、IEC TS 62876-2-1 等の技術仕様書、技術報告書が発行されている。

表 1-3 太陽電池既存規格のマッピング

		太陽電池全般	シリコン系	化合物半導体系 (Ⅲ-V族、CdTe、CIGS等)	有機薄膜系 (ペロブスカイト、OPV、DSC等)
モジュール	性能測定 (IV測定等)	IEC60904-1~14 IEC61853-1~4	IEC60904-1-2(両面発電)	IEC60904-1-1(多接合型) IEC60904-8-1(多接合型)	IEC TR 63228
	設計適格性 (型式認証)	IEC61215-1(試験要求) IEC61215-2(試験手順)	IEC61215-1-1(c-Si) IEC61215-1-3(a-Si)	IEC61215-1-2(CdTe) IEC61215-1-4(CIGS)	IEC TS 62876-2-1
	安全適格性	IEC61730-1(構造要求) IEC61730-2(試験手順)	-	-	?
	品質管理	IEC62941	-	-	?
システム	太陽電池アレイ	IEC62548-1	-	-	?
	建材一体型	IEC63092-1 IEC63092-2	-	-	?

※赤字は前年度調査から追加で調査を行った規格

(1) 太陽電池モジュール製造事業者の品質管理:IEC62941

表 1-4 に、太陽電池モジュール製造事業者の品質管理の規格である IEC62941 で規定されている内容を整理した。IEC62941 は、設計適格性・安全適格性の型式承認を受けた太陽電池モジュールについて、事業計画からアフターサービスまで、製造事業者が満たすべき品質管理の内容を規定している。

表 1-4 太陽電池モジュール製造事業者の品質管理に関する主な規定¹

章	節	概要
4. サポート	4.1 製品・サービス保証体制	人材育成や、製品保証システムの提供(アフターサービス・故障対応等)を行うこと
	4.2 監視・測定装置の管理	製品・プロセスを監視する装置及びIV測定に使用する装置は適切に管理・校正を行うこと
	4.3 製品情報の管理	設計・認定・設計変更・製造プロセス等の記録を、保証期間中は保管すること
5. オペレーション	5.1 オペレーションの要件	オペレーションについて、製品認証、リサイクル要件、保管、輸送等の要件を規定すること
	5.2 製品・サービスの要件	製品・サービスについて、安全性、保証、設計寿命、顧客対応等の要件を規定すること
	5.3 製品・製造プロセス設計	製品および製造プロセスの設計について、必要なインプット・アウトプットが示されていること
	5.4 外部調達管理	調達した材料、部品の品質、トレーサビリティ等を管理し、検査等で製品の品質を確保すること
	5.5 製造・サービス管理	製品の製造、性能評価、提供の各段階で必要な品質管理要件に従うこと
6. 性能評価	6.1 性能監視・評価	製造プロセス及び製品について必要な監視・測定を実施し、提供後も継続的な監視を行うこと
	6.2 故障・苦情等の対応	故障・苦情に対処し、製品の欠陥が判明した場合、関連する製造拠点到アラートを送信すること
	6.3 データの分析	製品及び製造プロセスについて、要件に適合しているかデータ分析によって検証を行うこと
	6.4 内部監査	ISOS19011または同等の基準に基づき定期的に製造プロセスの監査を行うこと
7. 改善	7.1 是正措置・予防措置	製品故障が生じた際は原因を分析し、関連する製造拠点到共有することで再発を防止すること
	7.2 継続的改善	PDCA等構造化されたアプローチを通じて、製品を継続的に改善すること

出所)IEC「IEC 62941 Ed.1」(2019年12月)p.4-21を基に作成

¹ 1章は規格のスコープ、2章は参考文献、3章は用語の定義を示しており、規定の内容ではないため省略した

図 1-2 に、IEC62941 の 5.5 節（製造・サービス管理）で規定されている内容を整理した。本節は太陽電池モジュールの製造・性能測定・提供の各段階における品質管理の要求事項を規定している。

品質管理に関する一般的な要求が中心であることから、ペロブスカイト太陽電池製造時特有の品質基準を求めることは現時点では考えにくい。ただし、IV 特性の測定結果に対する温度・放射照度の影響は、IEC60891 に従い補正する必要がある、使用する補正係数は IEC61853-1 に基づきモジュールの種類毎に決定する必要がある。このことから、ペロブスカイト太陽電池に対してこれらの規格が適応可能か検証する必要がある。

また、太陽電池モジュールの梱包は IEC62759-1（太陽電池モジュールの輸送時の規格）または同等の基準に基づく必要があることが規定されている。これについても、フレキシブル型のペロブスカイト太陽電池に対して同等の基準が適用可能かどうか検証する必要がある。

製造	5.5.1 製品の品質管理	5.5.2 製造工程の品質管理
	- 製造設備に対し性能監視、製品に対し製造中検査・最終検査を実施することで品質を確認する - IEC61215またはIEC62108に従い、製品ラベルに公称電力の許容誤差を記載する - 上記許容誤差内に測定の不確かさが収まっているか、別資料に記載する	- 全ての材料、使用する機器、製造工程等に対し、以下の内容を含む管理計画を策定する - 設計・製造時に発生する可能性がある故障の影響評価(DFMEA・PFMEA) - 製造工程に異常が発生した時の具体的な行動計画(OCAP)
性能測定	5.5.3 性能測定の品質管理	5.5.4 ソーラーシミュレーターの品質管理
	- モジュール温度は$25\pm2^{\circ}\text{C}$、pn接合部とモジュールの測定点の温度差は1°C未満とする - IV特性の測定結果に対する温度・放射照度の影響は、IEC60891に従い補正する - 温度・放射照度の補正係数は、IEC61853-1に基づきモジュールの種類毎に決定し、定期的に再検証を行う計画を策定すること - 参照モジュールは製品と類似のモジュールを使用すること	- すべてのソーラーシミュレーターに対し、統計的な基準に基づく管理計画を策定する - 管理計画には、測定に異常が発生した際のアクションプランを含める - ソーラーシミュレーターは最低年1回、放射照度の均一性と時間的安定性について、IEC60904-9の再認定を受ける必要がある - 二次基準モジュールは、太陽電池モジュールの種類毎に製造・認証されなければならない
提供	5.5.6 識別・トレーサビリティ	5.5.8 製品の保存
	- 製品の変更内容とその影響を、過去および将来の製品に対し追跡可能な形で記録する - 必要に応じて、以下の追跡が行えるようにする - 原材料・部品をロット／バッチレベルで追跡し、サプライヤー、製造日、製造場所を特定する - 各製造工程で、どの機械でいつ処理されたかを記録する - 手作業の場合、作業者の名前を記録する	- 太陽電池モジュールの梱包は、IEC62759-1または同等の基準に基づき試験を行う - 製品のトレーサビリティ情報は、包装の外側から容易に識別できるようにする - 在庫管理システムを活用し、古いものから順に在庫を使用する

図 1-2 太陽電池モジュール製造時の品質管理

出所) IEC「IEC 62941 Ed.1」(2019 年 12 月) p.16-19 を基に作成

図 1-3 に IEC62941 の 6.1 節（性能監視・評価）で規定されている内容を整理した。本節は太陽電池モジュールの製造プロセス・製品に対する監視・測定項目を規定している。

品質管理に関する一般的な監視・測定項目が中心であることから、ペロブスカイト太陽電池特有の項目を求めることは現時点では考えにくい。ただし、出荷前のモジュール性能の測定は、IEC60904-1 等の規格に従って行うことが規定されている。したがって、現在 IEC 会合で議論中であるペロブスカイト版 IEC60904 の基準が、製造品質管理においても適用されることとなる。

製造	6.1.1 製造工程の監視・測定 - 新たな製造工程を導入する場合、製造手段、測定方法、保守手順について検証を行い、その結果を文書化し管理する - 製造工程におけるバラつきが大きくなった場合、管理計画に基づき、製品の封じ込めや100%検査等の行動計画を実行し、顧客への説明も実施する
	6.1.2 製品の監視・測定 - 出荷前のモジュール性能の測定は、IEC60904-3で定義された基準スペクトルを使用し、IEC 60904-1等の規格に従って行わなければならない - 測定条件の管理は、IEC60904-7(スペクトルの補正)及び IEC60891(温度と放射照度の補正)に従い、標準試験条件(STC)への補正の必要性を最小限にする
提供	6.1.3 継続的な製品監視 - 既知の故障メカニズムに対し、それに適合した試験を用いて製品を継続的・定期的に監視する計画を策定する - 製品監視計画の結果及び、この結果に対する措置は記録・保管しなければならない

図 1-3 太陽電池モジュールの製造プロセス・製品に対する監視・測定

出所) IEC「IEC 62941 Ed.1」(2019 年 12 月) p.19-20 を基に作成

(2) 太陽電池モジュールの温度・放射照度依存性測定:IEC61853-1

表 1-5 に、太陽電池モジュールの温度・放射照度依存性測定に関する規格である IEC61853-1 で規定されている内容を整理した。IEC61853-1 は、主に太陽電池モジュールの温度・放射照度特性測定の手法及び、温度・放射照度条件からモジュール性能を算出する方法を規定している。

表 1-5 モジュール性能の温度・放射照度特性測定に関する規定²

章	概要
4. 表示	- 各モジュールには、STC(標準試験条件)における最大出力P_{max}の公称値および最小値を表示すること - STCに加え、NOCT、LIC※1、HTC※2、LTC※3における定格出力を9.2に定められた手順で行い、ラベルまたは別資料に記載すること
5. 試験及び合格基準	- 被試験モジュールについて、IEC61215または IEC61646に従い、試験開始前に光照射による安定化処理を行わなければならない 8章に従い測定した後、STCで再測定を行い性能が安定していることを確認しなければならない
6. 報告書	ISO/IEC17025に従い、性能試験の認証報告書が試験機関によって作成されなければならない
7. 定格出力条件	基準出力条件として、STC、NOCT、LIC、HTC、LTCを規定
8. 温度・放射照度特性測定手法	- 自然光による測定(追尾式・固定式)、ソーラーシミュレータによる測定の方法が示されている - モジュール性能(I_{sc}, V_{oc}, V_{max}, P_{max})について、温度・放射照度マトリクスの各条件で測定しなければならない
9. 電力定格	- 性能を測定していない温度・放射照度の条件において、測定結果から中間値を算出する方法を示している - NOCT、LIC、HTC、LTCは、3体の試験モジュールで決定された値の平均とし、4章に従い表示される

※1 LIC:低照度条件(セル温度 25℃、放射照度 200W・m⁻²)

※2 HTC:高温条件(セル温度 75℃、放射照度 1,000W・m⁻²)

※3 LTC:低温条件(セル温度15℃、放射照度 500W・m⁻²)

出所)IEC「IEC 61853-1 Ed.1」(2011 年 1 月) p.3-16 を基に作成

8 章では、太陽電池モジュールの温度・放射照度特性測定として、表 1-6 に示す温度・放射照度マトリクスの各条件で測定を行うことを規定している。測定温度域は 15℃から 75℃とされており、ペロブスカイト太陽電池においてもこの範囲のみの測定で十分かどうか検証する必要がある。

表 1-6 測定項目(温度・放射照度マトリクス)

放射照度 (W・m ⁻²)	スペクトル	モジュール温度			
		15℃	25℃	50℃	75℃
1100	AM1.5	NA			
1000	AM1.5				
800	AM1.5				
600	AM1.5				
400	AM1.5				NA
200	AM1.5			NA	NA
100	AM1.5			NA	NA

※AM1.5 は IEC60904-3 で定義されている

※測定時の放射照度・温度は右表の範囲で誤差が認められ、IEC60891 の方法で補正可能。補正を行う場合、試験報告書への記載が必要
出所)IEC「IEC 61853-1 Ed.1」(2011 年 1 月) p.9-15 を基に作成

² 1 章は規格のスコープ、2 章は参考文献を示しており、規定の内容ではないため省略し、3 章は試験に用いるモジュールのサンプリングに関する規定を示しているが、一般的な手法を記載しているのみであるため省略した

表 1-7 に示すように、測定手法は自然光による測定方法（追尾式・固定式）とソーラーシミュレータによる測定方法が選択可能である。

表 1-7 測定手法(自然光・ソーラーシミュレータ)

項目	自然光	ソーラーシミュレータ
使用機器・測定条件	● モジュール温度は3点の平均(測定箇所規定有) ● モジュール・基準装置と入射光角度は$\pm 2^\circ$以内、温度は気温$\pm 2^\circ\text{C}$以内 ● 測定時照度変動は、基準デバイスで測定値の$\pm 1\%$以内、風速は$2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$以下(固定式の場合、本条件のみ適用)	● ソーラシミュレータはIEC 60904-9に準拠したクラスBBB以上のものを使用 ● モジュール・基準装置と入射光角度は$\pm 2^\circ$以内、温度は気温$\pm 2^\circ\text{C}$以内
試験方法	● 各条件最低3回測定し、標準偏差5%未満とする ● 3日間以上試験を実施 ● 固定式の場合、長時間試験を行いマトリクスデータを測定する	● 各条件で最低3回測定し、標準偏差を5%未満とする

出所)IEC「IEC 61853-1 Ed.1」(2011 年 1 月) p.9-15 を基に作成

9 章では、表 1-6 に示す温度・放射照度マトリクス以外の条件において、モジュール性能の補間方法を表 1-8 のように定義している。また、算出された結果が誤差関数の最小値をとることを確認し、最小値を取らない場合には他の適切な関係式を用いてフィッティングを行う必要があることを規定している。ペロブスカイト太陽電池は従来の太陽電池と IV 特性が異なることが報告されているため、表 1-8 の補間方法が適用できるかどうかには留意する必要がある。

表 1-8 特定温度・放射照度における性能の算出方法

項目	温度	放射照度
I_{sc} (短絡電流)	測定した温度依存性を用いて線形補間	測定した放射照度依存性を用いて線形補間
V_{oc} (開放電圧)	測定した温度依存性を用いて線形補間	以下の放射照度Gに関する式を満たすようにフィッティングを行う $V_{oc}(G) = \nu_1 \times \ln(G) + \nu_2$ (ν_1, ν_2 は係数)
V_{max} (最大電圧)	測定した温度依存性を用いて線形補間	以下の放射照度Gに関する式を満たすようにフィッティングを行う $V_{max}(G) = \nu_1 \times \ln(G) + \nu_2$ (ν_1, ν_2 は係数)
P_{max} (最大出力)	測定した温度依存性を用いて線形補間	補間する放射照度に近い領域($\pm 30\%$ 以内)のデータを用いて多項式でフィッティングを行う ※ P_{max} - I_{sc} カーブでは曲線全体を多項式でフィッティングできない可能性がある。この場合、算出条件近傍で追加測定を行う必要がある ※線形デバイスの場合、測定された放射照度の差が30%を超えない場合には、IEC 60891:2009、補正手順3に従い線形補間を使用することができる
確認事項	算出結果が誤差関数の最小値をとることを確認する	

出所)IEC「IEC 61853-1 Ed.1」(2011 年 1 月) p.15-16 を基に作成

(3) 太陽電池モジュールの入射角特性、分光応答性、動作温度測定:IEC61853-2

表 1-9 に、太陽電池モジュールの入射角特性、分光応答性、動作温度に関する規格である、IEC61853-2 で規定されている内容を整理した。IEC61853-2 は、入射角特性、分光応答性、動作温度の測定方法を規定するとともに、IEC61853-3 で用いるエネルギー定格算出に用いるパラメータを取得する方法を定義している。

6 章では、分光応答性測定の内容を規定している。分光応答性測定は、IEC61853-1 で測定された短絡電流 I_{sc} のマトリクス（表 1-6）が、照度・温度に対して 3%以上の非線形性を示した場合のみ測定を実施することを求めている。また、測定方法は IEC60904-8 に準拠することを規定している。

表 1-9 太陽電池モジュールの入射角特性、分光応答性、動作温度測定に関する規定³

章	概要
4. 試験	● 太陽電池モジュールのサンプルに対し、第6章から第8章で規定された試験を実施すること ● 被試験モジュールについて、IEC61215または IEC61646に従い、試験開始前に安定化処理を行うこと
5. 報告書	● 測定方法、試験結果等を記載した試験報告書を作成すること ● 光学的に非対称なモジュールについては、傾斜および方位角方向を図面で指定すること
6.分光応答性測定	● IEC61853-1で測定された短絡電流(I_{sc})が、照度・温度に対して3%以上の非線形性を示した場合、測定を実施すること ● 測定は、IEC60904-8で規定された手順に従って実施すること
7.入射角応答性測定	● 屋外試験と屋内試験が実施可能であり、等価な結果とみなされる ● 屋内試験は回転軸に対するモジュールの対称性を前提としている ● 屋外試験において、光学的に非対称な試験モジュールは2つの傾斜方向に対する光透過率を測定すること
8. モジュール動作温度計算に用いる、係数決定方法	● 試験モジュールは平面に設置し、周囲0.6mも同一モジュールで平面を埋めること ● 測定で得られたモジュール温度と風速を用いて、線形回帰分析から照度係数と風速係数を決定すること ● 照度係数と風速係数は、IEC61215-2に記載の方法で、公称モジュール温度(NMOT)の計算に使用される

出所)IEC「IEC 61853-2 Ed.1」(2016 年 9 月) p.3-19 を基に作成

7 章では、入射角測定について、表 1-10 に示す屋内測定と屋外測定の手法を規定している。なお、屋内試験について、回転軸に対して非対称なモジュールの試験方法が規定されていないため、当該モジュールは屋外試験を行う必要がある。また、屋外測定では、2 軸の追尾装置が必要となるほか、光学的に非対称なモジュールは透過率を 2 つの傾斜方向に対して測定する必要がある。

³ 1 章は規格のスコープ、2 章は参考文献を示しており、規定の内容ではないため省略し、3 章は試験に用いるモジュールのサンプリングに関する規定を示しているが、一般的な手法を記載しているのみであるため省略した

表 1-10 入射角特性測定手法(屋内・屋外)

項目	屋内	屋外
使用機器	● IEC60904-1に準拠した測定装置、IEC60904-2に準拠したPV参照デバイス、角度調整ラック(精度$\pm 1^\circ$) 等 ● IEC60904-9の区間均一性クラスB、及び時間的安定性クラスCを満たしたソーラーシミュレータ	● IEC60904-1に準拠した測定装置、IEC60904-2に準拠したPV参照デバイス、照度・温度センサー 等 ● 2軸の追尾装置^{※2}、及び入射角を精度$\pm 0.5^\circ$で決定する手段(追尾装置だけで満たすことは困難)
試験前の注意事項	● 回転軸に対し非対称なモジュールの試験方法は規定無し ● 試験モジュールに温度制御機能がない場合、室温に対して$\pm 1^\circ\text{C}$以内であることを確認すること	● 1時間未満の試験時間の内、太陽スペクトルの変動が最小かつ風速が4m/s以下を選択すること ● 試験モジュールに温度制御機能がない場合、15分間各センサーの温度差が5℃未満であることを確認すること
試験方法	● 回転角-80°と80°で回転対称性を検証し、入射角をこの範囲^{※1}で変化させる。各設定で、I_{sc}とモジュール温度を少なくとも3回測定すること ● IEC61853-1の結果から、I_{sc}測定値の温度を25℃に補正し、平均値から$I_{sc}(\theta)$を算出すること ● 結果が対称ではない場合、原因がオフセット角か、モジュールの非対称性かを判断し、報告書に記載すること	● 直達水平面照度が総水平面照度の85%未満である測定値を除外すること ● 入射角を-90°から90°のできるだけ広い範囲^{※1}で変化させ、各設定で、I_{sc}、モジュール温度、照度を少なくとも3回測定すること ● IEC61853-1で規定された温度補正係数と、I_{sc}測定値から$I_{sc}(\theta)$を算出すること ● 光学的に非対称な試験モジュールの場合、2つの傾斜方向に対する光透過率を測定すること

※1 -60° から $+60^\circ$ の範囲で最大 10° のステップで変化、この範囲外では最大 5° のステップ

※2 1 軸の追尾装置の場合、補正が必要となる

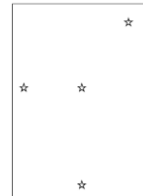
出所) IEC 「IEC 61853-2 Ed.1」 (2016 年 9 月) p.9-14 を基に作成

8 章では、動作温度測定・評価方法として、表 1-11 に示す周囲温度 T_{amb} 、照度 G 、風速 v からモジュール温度 T_m を算出するモデル式を定義しており、試験結果から熱係数（照度係数 u_0 、風速係数 u_1 ）を求める手法を規定している。

本試験では平面モジュールに対する試験方法しか規定されていないことから、曲面を有するモジュールの試験方法を検討する必要がある。

表 1-11 動作温度測定・評価手法

項目	概要
データ処理	● モデル式: $T_m - T_{amb} = G / (u_0 + u_1 v)$ u_0: 照度係数、u_1: 風速係数 ● 参照モジュールを両側に2か所設置し、公称モジュール温度(NMOT)測定値からの差分を用いて温度の補正を行う
使用機器	● 日射量計または参照モジュール(精度$\pm 5\%$、中心から0.3m以内に設置) ● 風速計(0.25m/sから10m/sの範囲測定可能)、環境温度計、セル温度センサー(薄膜の場合、赤外線カメラを使用)
設定方法	● 試験モジュールは$37.5^\circ \pm 2.5^\circ$の傾斜角とし、下端が地表から0.6m上方とする ● 正午前後4時間、日光の照射を妨げる障害物がない場所に設置する ● 試験モジュールは平面に設置し、周囲0.6mも同一モジュールで平面を埋める必要がある
試験方法	● 抵抗負荷またはMPPTトラッカーを使用し、モジュールをSTCにて最大電力点近傍で動作させる ● 晴天の日に、モジュール温度(右図4か所)、周囲温度、照度、風速を記録。(サンプリング間隔1s未満) ● 照度400W/m²未満、照度・風速の変動が大きいデータ等を除外
評価	● 右図4か所のモジュール温度の平均から最も差のある温度を除外し、3点の平均温度をT_mとする ● 10日以上測定値^{※1}のモジュール温度と風速の5分平均値をプロットし、線形回帰分析でu_1(傾き)とu_0(切片)を決定^{※2} - この係数は、IEC61215-2に記載の方法で公称モジュール温度(NMOT)の計算に使用される



※1 それぞれの日について、少なくとも正午前後の測定データが 10 セット以上であることが必要

※2 場所や測定季節により u_0 と u_1 の値に大きなばらつきが生じる可能性があるため、不確実性を引用するか、季節補正を適用することが重要
出所) IEC 「IEC 61853-2 Ed.1」 (2016 年 9 月) p.17-19 を基に作成

(4) 太陽電池モジュールのエネルギー出力評価:IEC61853-3

表 1-12 に、太陽電池モジュールのエネルギー出力評価の規格である、IEC61853-3 で規定されている内容を整理した。IEC61853-3 は、IEC61853-4 に示される基準気候プロファイル⁴を用いて、太陽電池モジュールの年間エネルギー出力量と、STC と比較した性能の指標である CSER (Climatic Specific Energy Rating) ⁵の算出方法を規定している。

なお、本規格では片面受光型モジュールのみを対象としており、両面受光型モジュールは対象外とされている。

表 1-12 太陽電池モジュールのエネルギー出力評価に関する規定⁶

章	概要
4. 試験	● 第7章で定義されている計算に、IEC61853-1およびIEC61853-2に基づいて実施された測定データと、IEC61853-4から提供される基準参照気候プロファイルを使用すること
5. 報告書	● 測定方法、試験結果、使用したデータ等を記載した試験報告書を作成すること
6. 入力データ	● IEC61853-1で規定される、照度・モジュール温度に対するP_{max}のマトリクスデータを使用すること ● IEC61853-2で規定される、入射角特性・分光応答性・動作温度測定のパラメータを使用すること ● IEC61853-4で規定される、基準参照気候プロファイル内のパラメータを使用すること
7. エネルギー出力評価	● 基準参照気候プロファイル1時間毎に、年間8760ステップでエネルギー出力を算出する ● 8760ステップの計算結果を合計することで年間のエネルギー出力を算出 ● 年間のエネルギー出力と、IEC61853-1で測定したSTCにおけるエネルギー出力を用いてCSERを算出

出所) IEC 「IEC 61853-3 Ed.1」 (2018 年 8 月) p.3-13 を基に作成

⁴ 代表的な気候条件をモデル化したデータセットであり、異なる気候条件における性能を比較するために使用される

⁵ 実際のエネルギー収集量を、太陽電池モジュールが常に標準試験条件(STC)で測定されたエネルギー変換効率で動作した場合に得られるエネルギー収集量と比較した比率(無次元値)

⁶ 1 章は規格のスコップ、2 章は参考文献、3 章は用語の定義を示しており、規定の内容ではないため省略した

7 章では、太陽電池モジュールの年間エネルギー出力、及び CSER の算出方法として、図 1-4 に示す内容を規定している。本計算は IEC61853-1 で規定される、照度・モジュール温度に対する $P_{\max}$ のマトリクス（表 1-6）、IEC61853-2 で規定される入射角特性・分光応答性・動作温度測定で得られたパラメータ、及び IEC61853-4 に示される基準気候プロファイルを用いる。

なお、タンデム型太陽電池等の多接合型太陽電池モジュールでは、IEC60904-8-1 に規定されるように参照条件と計算する時間ステップで同じ接合部が発電の出力限界を決める場合のみ分光感度補正を適用可能であることが示されている。したがって、異なる接合部が出力限界となるような太陽電池モジュールについては、別の分光感度補正の手法を検討する必要がある。

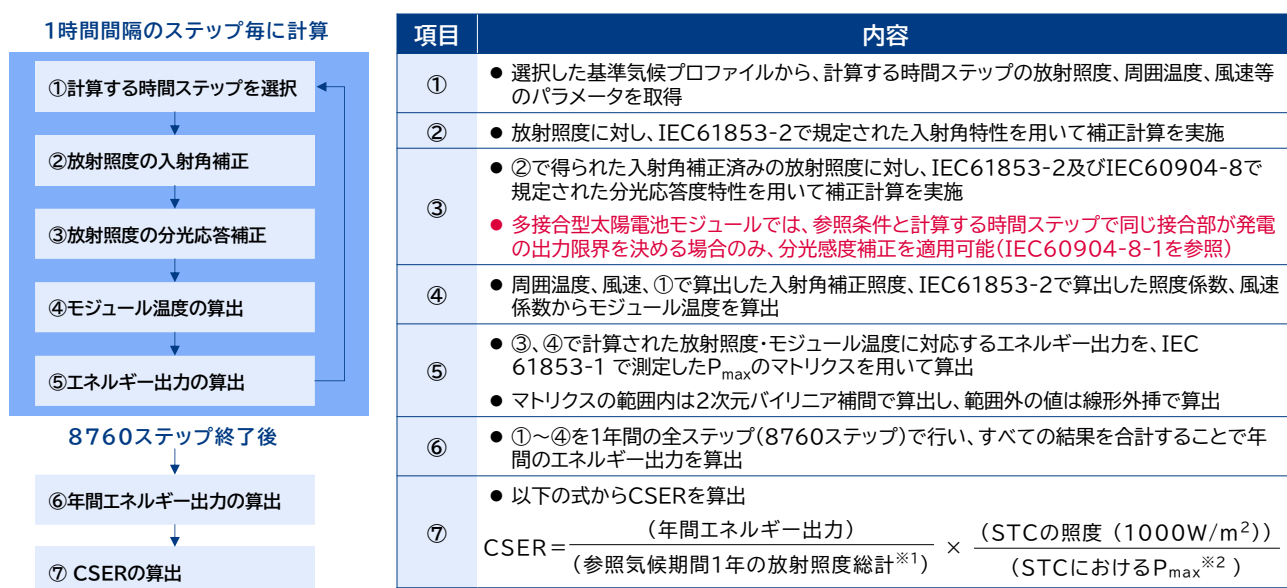


図 1-4 太陽電池モジュールの年間エネルギー出力、及び CSER の算出方法

※1 IEC 61853-4 で規定

※2 IEC 61853-1 における STC での電力測定の値

出所) IEC 「IEC 61853-3 Ed.1」(2018 年 8 月) p.8-13 を基に作成

1.3.3 STEP1-3 既存規格の策定経緯の調査

STEP1-3 では、IEC 規格の策定経緯に関するヒアリング調査を行い、太陽電池の既存規格の策定経緯や標準化を進める上での課題・工夫等に関する調査を行った。

(1) ヒアリング調査概要

ヒアリング調査は、IEC 規格の策定に関与した経験のある有識者や、規格の策定方法や策定経緯に精通している関連団体等、計 4 者/団体に対して実施した。具体的には、結晶シリコン系太陽電池、アモルファスシリコン系太陽電池、CIS 等の薄膜化合物系太陽電池、および太陽電池関連の周辺機器などに関する既存 IEC 規格の策定経緯等について、調査を行った。

ヒアリングの目的は、既存規格の策定当時のやり取りや規格化の進め方を把握し、その知見を活用することで、ペロブスカイト太陽電池の標準化活動を円滑に、かつ効率的に進めることである。

主なヒアリング項目は下記のとおり。

- ① 既存規格の標準化の契機・背景
- ② 標準化を行う目的・戦略
- ③ 標準化の意義・効果
- ④ 標準化を進める上での工夫・課題

(2) ヒアリング結果

ヒアリング結果は表 1-13 のとおりである。

既存規格の標準化の契機としては、市場拡大や公平な性能比較を実現するため、あるいは補助金等の要件としての活用などが主なものであった。特に前者については製造事業者のニーズが強く、業界発展および積極的な海外進出を実現するという機運が高かったと考えられる。

標準化を行う目的・戦略については、最も一般的なものは製品の信頼性確保であるが、当時の太陽電池の規格においては日本の優位技術を積極的に世界標準化にしていこうという目的もあった。何より重要なのは、標準化の目的を明確にすることである。製造事業者にとってメリットがなければ日本がわざわざ標準化を主導する必要はないという意見もあり、標準化を進めるのであればその目的について、日本の事業者間で意思統一を図ることが肝要である。

標準化の意義・効果については、製品の普及促進などの意義はあるものの、海外製品の流入や情報のオープン化などのデメリットもあり、前述のとおり目的や戦略を明確に定めた上で標準化を進めなければならないことが示された。

最後に、標準化を進める上での工夫・課題については、標準化の目的意識の統一に加えて、標準化を推し進めるための適切な人材（プロジェクトリーダー）の選定が重要であるという意見が多数得られた。また、海外各国との関係強化も非常に重要であり、IEC 規格の NP⁷提出前に 5 カ国より多くの国との協力関係を構築することや、国際会合での議論を円滑に進めるためのキーパーソンとの事前調整を行うなど、円滑に標準化活動を進めるための様々な工夫についての情報が得られた。

⁷ New Work Item Proposal (新規提案) のこと

表 1-13 既存規格の策定経緯に関するヒアリング結果

(1) 既存規格の標準化の契機・背景
- 過去の標準化では製造事業者のニーズが強く、業界発展や海外進出の実現のために認証制度および標準化が進んだ - 性能測定手法の標準化は、異なる事業者・製品間で性能を公平に評価するニーズによって進められた - 優位性を持つ技術が存在する場合は、市場での優位性確保のために当該技術を標準化することもあり得る - ドイツの FIT 等の再エネ支援制度や補助事業に対する適用要件としても規格が活用された - 規制強化が標準化の契機となるケースもあり、そのような場合は先行者利益が得られる可能性もある - 市場での事故・不具合に伴う標準化の場合は市場対応が優先され、標準化は積極的な動きとはならない - ユーザー視点では、仕様統一による利便性向上や、一定の性能水準を担保できるなどの標準化ニーズが存在する
(2) 標準化を行う目的・戦略
- 標準化を行う際は目的や戦略の明確化と、標準化までのシナリオが重要である。 - 過去は、日本の優位技術や製品開発戦略を念頭に標準化を先導して、日本の技術を世界標準にする目的があった - 製品の信頼性確保が最も多い目的で、海外製品が流入しやすくなるが、適切な基準設定により参入障壁にもなる - 協調領域のみ標準化に取り組み、それ以外の競争領域では各メーカーに任せるのが良いのではないかと - 特許技術を標準化できれば、製造事業者の利益獲得に貢献できて有益ではあるが、実現の難易度は高い - 日本の製造事業者が不利にならないように、標準化を主導、または適切な方向に誘導するという目的も存在する - モジュール単体ではなく、システムとして一体化させた形での標準化が必要ではないかと
(3) 標準化の意義・効果
- 性能測定方法の標準化によって、製造事業者間の公平・公正な競争を促すことができる - 信頼性・安全性に関する標準規格はユーザーにとっての判断基準となり、普及が進むメリットがある - 国の補助制度に標準規格を活用すれば、更なる導入拡大に寄与することが可能である - マイナスの効果として、規格で定めた性能水準を最低限満たした海外製品が流入してしまう危険性が挙げられる - 標準化を行うことで情報がオープンになるというデメリットも存在する - 目的や戦略が明確に定まっていないと、標準規格が有効に活用されず、標準化の効果はゼロとなる恐れもある
(4) 標準化の進める上での工夫・課題
- 標準化を主導する場合は、まずは国内事業者間で標準化の目的意識を統一することが最優先課題である - 標準化を通じて日本の事業者がいかに海外進出するか等の戦略を検討する場を国として設けるべきである - 国際会合では、高い技術専門性を有し、関連規格にも精通し、自ら英語で議論ができる人材が不可欠である - 関連規格からの継続性や既存規格の実績などが重視されるため、既存事例を踏まえた論理的な議論が望ましい - IEC の標準化では、NP 提出前に 5 カ国より多くの主要国や、国際的なエキスパートと協力関係を構築しておくことが望ましい - 議論を進めるスピード感や、小規模グループで個別議論を実施する等の合意形成方法の工夫も必要である

1.4 STEP2:ペロブスカイト太陽電池の標準化動向調査

1.4.1 STEP2-1 国際会合における動向収集

STEP2-1 では、国際会合における動向収集を行った。具体的には、有機系太陽電池に関する国際会合 ISOS や、産業総合研究所が主催する太陽電池の信頼性に関するワークショップ SAYURI-PV 等において発表された最新の研究成果に関する調査を行った。

(1) ISOS-15

有機系太陽電池の国際会合である ISOS (International Summit on Organic and Hybrid Photovoltaics Stability) は年に一度のペースで会合を開催しており、2024 年は 9 月 30 日～10 月 2 日にドイツ・ベルリンで開催された。以降に、実際の会合に参加してペロブスカイト太陽電池関連の動向を調査した結果を示す。

まず、表 1-14 に、ISOS-15 における各研究者の報告内容を整理した。有機薄膜太陽電池 (OPV) に関する報告もいくつか見られたものの、大半はペロブスカイト太陽電池に関する報告であった。内容としては、ペロブスカイト太陽電池の結晶・デバイス構造に関する報告が最も多かったが、安定性・耐久性や性能測定に関する報告も多く見られた。

報告のあった内容のうち、ペロブスカイト太陽電池の国際標準化を検討する上で参考となると考えられる 9 件について、その概要を整理した。

表 1-14 ISOS-15 の概要

No.	発表者(9/30)	テーマ分類	No.	発表者(10/1)	テーマ分類	No.	発表者(10/2)	テーマ分類
1-1	Monica Lira-Cantu/ Catalan Institute of Nanoscience and Nanotechnology	結晶・界面・ デバイス構造	2-1	Trystan Watson/ Swansea University	製造方法	3-1	Satoshi Uchida/ University of Tokyo	性能評価手法
1-2	Iris Visoly-Fisher/ Ben-Gurion Solar Energy Center	安定性・耐久性	2-2	Aleksandra B Djurišić/ University of Hong Kong	結晶・界面・ デバイス構造	3-2	Wolfgang Tress/ Zurich University of Applied Science	性能評価手法
1-3	Laura Schelhas/ NREL	安定性・耐久性	2-3	Joe Berry/ NREL	安定性・耐久性	3-3	Steve Albrecht/ HZB	結晶・界面・ デバイス構造
1-4	Renjun Guo/ KIT	結晶・界面・ デバイス構造	2-4	Damian Glowienka/ Gdańsk University of Technology	結晶・界面・ デバイス構造	3-4	Pang Wang/ University of Wuppertal	結晶・界面・ デバイス構造
1-5	Mike McGehee/ University of Colorado Boulder	結晶・界面・ デバイス構造	2-5	Julianna Panidi, Imperial College London	有機太陽電池	3-5	Artem Musienko/ HZB	安定性・耐久性
1-6	Nitin P. Padture/ Brown University	安定性・耐久性 機械的特性	2-6	Rongrong Cheacharoen/ Chulalongkorn University	結晶・界面・ デバイス構造	3-6	Francesca Brunetti/ University of Rome Tor Vergata	性能評価手法
1-7	Chang-Qi Ma/ Chinese Academy of Sciences	有機太陽電池	2-7	César Omar Ramírez Quiroz/ FOM Technologies	製造方法	3-7	Antonio Cabas Vidani/ Zurich University of Applied Science	性能評価手法
1-8	Aranzazu Aguirre/ IMEC	安定性・耐久性	2-8	Jonathan Henzel/ TNO	安定性・耐久性	3-8	Chrysi Stavrakī/ Aristotle University of Thessalonik	安定性・耐久性
1-9	P.V.V. Jayaweera/ SPD Lab, Japan	性能評価手法	2-9	Luigi Angelo Castriotta/ University of Rome Tor Vergata	安定性・耐久性 (機械的特性)	3-9	Francesca De Rossi/ University of Rome Tor Vergata	安定性・耐久性
1-10	Jose Prince Madalaimuthu/ Friedrich-Schiller- University Jena	有機太陽電池	2-10	Fredrik Krebs/ InfinityPV	新規アプリケーション	3-10	Stephane Cros/ CEA	安定性・耐久性 性能評価手法
1-11	Stephen Forrest/ University of Michigan	有機太陽電池	2-11	Roja Singh/ KIT	結晶・界面・ デバイス構造	3-11	Sofiia Kosar/ KAUST	結晶・界面・ デバイス構造
1-12	Vida Engmann/ Southern Denmark University	結晶・界面・ デバイス構造	2-12	Kenedy Tabah Tanko/ Catalan Institute of Nanoscience and Nanotechnology	安定性・耐久性	3-12	Yu-Chen Huang/ Taiwan Univ. of Science and Technology	結晶・界面・ デバイス構造
			2-13	Olivier J.J. Ronsin/ HI-ERN	有機太陽電池	3-13	Philippe Holzhey/ University of Oxford	結晶・界面・ デバイス構造
			2-14	Bowen Yang/ Uppsala University	結晶・界面・ デバイス構造			
			2-15	Paul Pistor/ Universidad Pablo de Olavide	結晶・界面・ デバイス構造			
			2-16	Kai Brinkmann/ University of Wuppertal	結晶・界面・ デバイス構造			

1) No.1-2 Ben-Gurion Solar Energy Center/Visoly-Fisher 氏発表

イスラエル・Ben-Gurion Solar Energy Center の Visoly-Fisher 氏は「Solar Stress Test: Evaluating Perovskite n-i-p Solar Cell Stability under Outdoor Operational Conditions」というテーマで報告を行った。本報告では、ISOS-O-2 に基づく屋外暴露試験の結果や、光サイクル試験による屋外劣化減少の予測に関する研究内容が発表された。

なお、表 1-15 に、ISOS の評価プロトコルの具体的な試験条件を参考に整理した。元々は有機薄膜太陽電池向けの評価プロトコルが存在し、その中で「暗所保管試験」、「光照射試験」、「屋外暴露試験」、「温度サイクル試験」、「光・温度複合サイクル試験」が提唱されていた。これに、ペロブスカイト太陽電池の特性を考慮して「バイアス電界試験」や「光サイクル試験」を追加したものが、ペロブスカイト太陽電池の評価プロトコルとして提唱されている。

表 1-15 ISOS 評価プロトコル

評価項目名	評価ID	光照射	温度	相対湿度	試験環境	光源	負荷
暗所保管試験	ISOS-D-1	なし	大気環境 (23±4℃)	大気環境	大気環境	シミュレーター/ 太陽光	開放
	ISOS-D-2	なし	65℃/85℃	大気環境	大気環境/オープン	シミュレーター	開放
	ISOS-D-3	なし	65℃/85℃	85%	環境試験槽	シミュレーター	開放
バイアス電界試験	ISOS-V-1	なし	大気環境 (23±4℃)	大気環境	大気環境	シミュレーター	正: $V_{mpp}/V_{oc}/$ E_g/q & I_{sc} 負: $-V_{oc}$ & I_{mpp}
	ISOS-V-2	なし	65℃/85℃	大気環境	大気環境/オープン	シミュレーター	
	ISOS-V-3	なし	65℃/85℃	85%	環境試験槽	シミュレーター	
光照射試験	ISOS-L-1	シミュレーター	大気環境 (23±4℃)	大気環境	光照射のみ	シミュレーター	MPP/開放
	ISOS-L-2	シミュレーター	65℃/85℃	大気環境	光&温度	シミュレーター	MPP/開放
	ISOS-L-3	シミュレーター	65℃/85℃	~50%	光&温度&湿度	シミュレーター	MPP
屋外暴露試験	ISOS-O-1	太陽光	大気環境	大気環境	屋外環境	シミュレーター	MPP/開放
	ISOS-O-2	太陽光	大気環境	大気環境	屋外環境	太陽光	MPP/開放
	ISOS-O-3	太陽光	大気環境	大気環境	屋外環境	太陽光& シミュレーター	MPP
温度サイクル試験	ISOS-T-1	なし	室温~ 65℃/85℃	大気環境	ホットプレート/オープン	シミュレーター	開放
	ISOS-T-2	なし	室温~ 65℃/85℃	大気環境	オープン/環境試験槽	シミュレーター	開放
	ISOS-T-3	なし	-40℃~85℃	<55%	環境試験槽	シミュレーター	開放
光サイクル試験	ISOS-LC-1	シミュレーター、 2/8/24Hrサイクル (光照射:暗室保管 =1:1or1:2)	大気環境 (23±4℃)	大気環境	光照射のみ	シミュレーター	MPP/開放
	ISOS-LC-2		65℃/85℃	大気環境	光&温度	シミュレーター	MPP/開放
	ISOS-LC-3		65℃/85℃	<50%	光&温度&湿度	シミュレーター	MPP
光・温度複合サイクル試験	ISOS-LT-1	シミュレーター	室温~65℃	非制御	複合試験槽	シミュレーター	MPP/開放
	ISOS-LT-2	シミュレーター	5℃~65℃	50%(40℃超)	複合試験槽	シミュレーター	MPP/開放
	ISOS-LT-3	シミュレーター	-25℃~65℃	50%(40℃超)	湿度制御複合試験槽	シミュレーター	MPP/開放

出所) Nature Energy, Volume 5 Issue1 “Consensus statement for stability assessment and reporting for perovskite photovoltaics based on ISOS procedures”(2020 年 1 月) p35-49 を基に作成

2) No.1-3 National Renewable Laboratory(NREL)/Schelhas 氏発表

米国・NREL の Schelhas 氏は、「Assessing the Reliability of Metal Halide Perovskite Solar Modules Through Accelerated Testing and Field Deployment」というテーマで報告を行った。本報告では、PACT（Perovskite PV Accelerator for Commercializing Technologies）のウェブサイト上で公開している屋外暴露試験データやその成果が紹介された。また、本年度、PACT から発表された Light and elevated Temperature Induced Degradation（LeTID：高温光誘起劣化試験）の試験基準についても報告された。

なお、図 1-5 および図 1-6 に、参考としてウェブサイト上で公開されている PACT の屋外暴露試験データを示した。PACT のウェブサイトでは定期的に試験データが更新されており、屋外暴露試験データに関しては、Single-junction modules と Multi-junction modules の2種類のグラフが公開されている。

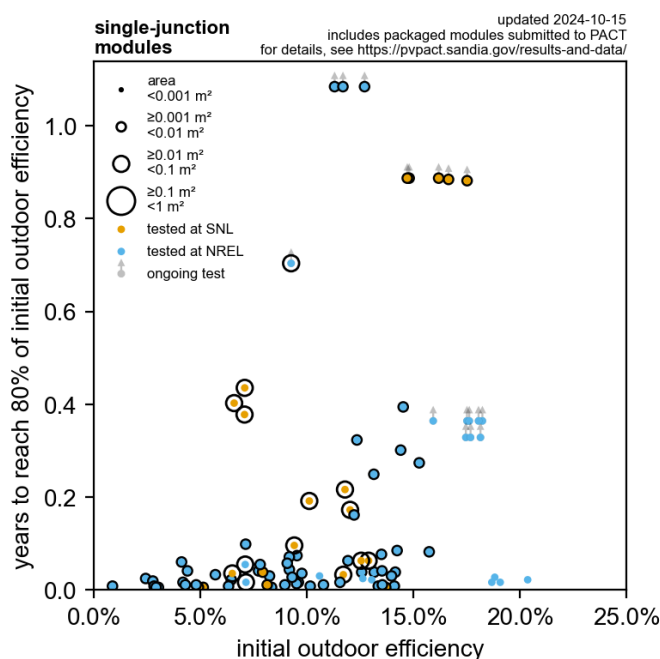


図 1-5 PACT の屋外暴露試験データ(Single-junction modules)

出所)NREL「Results and Data」(閲覧日:2024年10月24日) <<https://pv pact.sandia.gov/results-and-data/>>

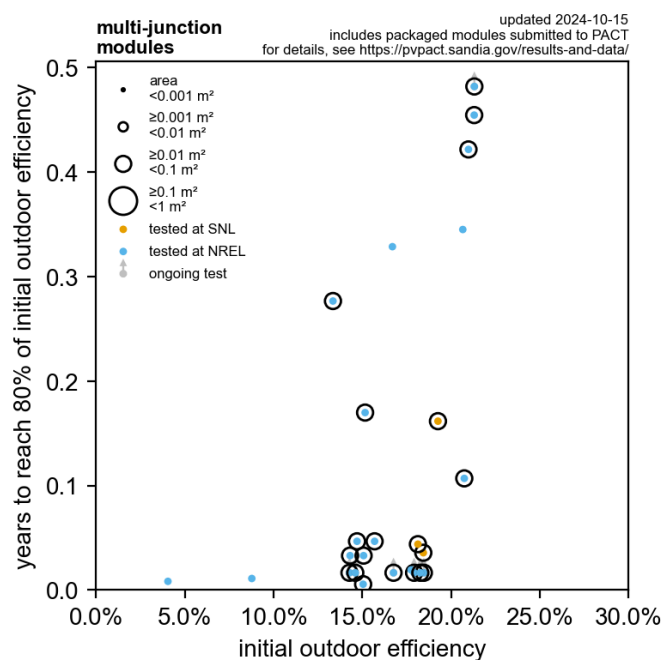


図 1-6 PACT の屋外曝露試験データ (Multi-junction modules)

出所) NREL 「Results and Data」 (閲覧日: 2024 年 10 月 24 日) <<https://pv pact.sandia.gov/results-and-data/>>

3) No.1-6 Brown University/Padtire 氏発表

米国・Brown University の Padture 氏は、「Connecting Mechanical Properties, Reliability, and Stability of Perovskite Solar Photovoltaics」というテーマで報告を行った。本報告では、ペロブスカイト太陽電池の耐久性向上における機械的特性の重要性を強調した。その上で、界面処理によって機械的特性が向上し、ペロブスカイト太陽電池の耐久性向上に繋がった事例を紹介した。さらに、機械的特性試験に関する合意声明にも言及した。

4) No.2-3 NREL/Berry 氏発表

米国・NREL の Berry 氏は、「Priorities for Metal Halide Perovskite Photovoltaics: What are we really trying to do here?」というテーマで報告を行った。本報告では、屋外劣化を予測する上では温度と光の組み合わせ (LeTID 試験) が最も重要である旨や、些細な試験条件の差異が結果に大きな影響をもたらすことを踏まえて試験条件の報告方法に関する標準化の取組を開始したことが報告された。

5) No.2-8 TNO/Henzel 氏

オランダ・TNO の Henzel 氏は「The Impact of Low-Intensity Illumination on the Reverse Bias Behavior of Perovskite Solar Cells」というテーマで報告を行った。本報告は、部分影による逆バイアス印加時の降伏電圧の挙動に関する内容である。

6) No.2-9 CHOSE・University of Rome Tor Vergata/ Castriotta 氏発表

イタリア・CHOSE (University of Rome Tor Vergata 兼任) の Castriotta 氏は、「Transition of Perovskite Solar Technologies to being Flexible」というテーマで報告を行った。本報告では、フレキシブル太陽電池を実現するためには適切な材料の選択・設計による性能向上が不可欠であることや、No.1-6 の Padture 氏の発表でも言及された機械的特性試験に関する新たな ISOS 評価プロトコルが提案された。

7) No.3-1 東京大学/内田氏発表

東京大学の内田氏は、「Performance Evaluation by MPPT At Low light Intensity Condition Toward The Indoor Photovoltaics」というテーマで報告を行った。本報告は MPPT 法に関する標準化の重要性に関する内容である。また、鉛フリー型ペロブスカイト太陽電池の開発についても言及された。

8) No.3-5 HZB/Musiienko 氏発表

ドイツ・HZB の Musiienko 氏は、「Transition of Perovskite Solar Technologies to being Flexible」というテーマで報告を行った。本報告では、屋内加速試験による屋外劣化傾向の予測方法が議論され、光サイクル試験が屋外劣化傾向の最も適切な予測方法であるという研究成果が示された。

9) No.3-6 CHOSE・University of Rome Tor Vergata/Brunetti 氏発表

イタリア・CHOSE (University of Rome Tor Vergata) の Brunetti 氏は、「Flexible perovskite solar cells and modules: strategies for stability under different aging environment」というテーマで報告を行った。本報告では、屋内向けペロブスカイト太陽電池の普及に向けた、屋内光に合わせた試験ガイドラインの必要性について言及された。

(2) SAYURI-PV

SAYURI-PV は、産業総合研究所が開催する太陽電池の信頼性に関するトピックを議論する国際的なワークショップであり、正式な名称は「Sustainable Actions for “Year by Year Aging” under Reliability Investigations in Photovoltaic Modules」である。

表 1-16 に、2024 年 11 月 7 日、8 日に開催された SAYURI-PV 2024 における、ペロブスカイト太陽電池に関する報告内容を整理した。ペロブスカイト太陽電池の安定性について、分析結果及び改善手法の報告のほか、PACT におけるプレコンディショニング標準化に関する検討状況の報告がなされた。

表 1-16 SAYURI-PV 2024 におけるペロブスカイト太陽電池に関する報告の概要

題目	所属団体(発表者)	要点
Insights into the reliability of perovskite solar cells from outdoor exposure, stress testing, and mobile ion analysis	日本:産業技術総合研究所 (Mr. Takeshi Tayagaki)	- 屋外環境で生じるイオンマイグレーションによる劣化が課題 ✓ 活性化エネルギー、移動するイオン種を特定する解析手法を報告 - 光サイクル試験で屋外環境を模擬、LeTID(UVeTID)が屋外における劣化要因
Damp heat and high temperature test of flexible perovskite solar cell modules	日本:立命館大学 (Mr. Takashi Minemoto)	- 積水化学と共同でフレキシブル太陽電池のDH試験を実施し、劣化を検証 ✓ 高温試験(85℃-105℃, 4,000時間)では、致命的な劣化は生じない ✓ 高温高温試験(85℃, 85%)の結果、高WVTR※1条件で致命的な劣化が発生 - 高温によるバンドギャップ増加及び、水の取り込みによるPbI₂層生成が劣化要因
Assessing the Reliability of Metal Halide Perovskite Photovoltaic Modules with Accelerated Testing at the PACT Center	米国:NREL (Ms. Laura Schelhas)	- 以下の評価で、初期出力から80%以上の性能を10週間担保できる可能性有り ✓ 封止試験:DH試験(48h)、温度サイクル試験(-40℃~85℃、50サイクル)、湿潤凍結試験(10サイクル) ✓ 光曝露試験:1kW/m²、50~90℃、100h - スクライビング起点の損傷、ポイド形成、金属ハロゲン化物の拡散が主な劣化要因
Damp heat and high temperature test of flexible perovskite solar cell modules	米国:Sandia National Laboratory (Mr. Joshua Stein)	- プレコンディショニングについて、MPPTで測定の上、出力が安定するまで光サイクルを行う手法を提案(PACT Draft 1.0) - プレコンディショニング標準化に向けては複数の課題が存在 ✓ 光サイクル試験に耐えることができないモジュールへの対応 ✓ 予測とは異なる性能変化(例:温度上昇で電圧が上昇) ✓ モジュールバッチ内及びバッチ間の性能差
Damp heat and high temperature test of flexible perovskite solar cell modules	サウジアラビア:KAUST (Mr. Stefaan De Wolf)	- バンドギャップ低減の課題に対し、以下のアプローチで改善を確認 ✓ トップコンタクトに電荷移動層としてMgF₂を使用 ✓ ボトムコンタクトに金属酸化物による分子工学を実施 - 両面タンデムは広いバンドギャップを必要とせず、ハロゲン化物の分離も生じない

※1 WVTR: Water Vapor Transmission Rate(水蒸気透過率)

1.4.2 STEP2-2 国際コンソーシアム等の調査

STEP2-2 では、国際コンソーシアム等における標準化動向の調査・整理を行った。具体的には、米国の PACT における取り組みや、国際会合 ISOS で紹介された機械的特性に関する試験プロトコルに関する論文の調査を行った。

(1) PACT

PACT は、米国の国立研究所が主幹団体となり、米国エネルギー省・太陽エネルギー技術局の基金で運営を行っているプロジェクトであり、正式な名称は「Perovskite PV Accelerator for Commercializing Technologies」である。本プロジェクトは、実環境においてペロブスカイト太陽電池の正確な出力測定や劣化予測を行うための評価・測定手法を確立することを目指している。表 1-17 に PACT の概要を整理した。なお、昨年度までは民間の試験機関等も参画していたが、2024 年 10 月の組織再編に伴い、参画企業が Sandia National Laboratories、National Renewable Energy Laboratory のみとなり、研究焦点がペロブスカイト、タンデム型、有機系など次世代 PV 技術に特化された。

表 1-17 PACT の概要

通称	PACT
正式名称	Perovskite PV Accelerator for Commercializing Technologies
主幹団体	Sandia National Laboratories (米国)
参画団体	Sandia National Laboratories、National Renewable Energy Laboratory ※2024 年 10 月に変更
期間	2021 年～
参照 URL	https://pvpact.sandia.gov/
概要	米国エネルギー省・太陽エネルギー技術局 (SETO) の基金により設立。米国の研究機関や民間企業等が連携して、ペロブスカイト太陽電池の測定・評価手法の確立に向けた取り組みを行う。
ゴール	実環境において正確な出力測定・劣化予測が可能となる評価・測定手法を確立することを目指す。
国際標準化に向けた状況	PACT 内で評価・計測等を実施する際のサンプル設計基準や試験プロトコルを策定。

出所) PACT 「Perovskite PV Accelerator for Commercializing Technologies」 <<https://pvpact.sandia.gov/>> (閲覧日:2025 年 2 月 28 日)より作成

PACT では、表 1-18 に示す 4 つの試験・設計基準プロトコルを策定しており、PACT 自身が研究機関や事業者等の要請を受けてペロブスカイト太陽電池の測定や評価を行う際における基準を定めている。各プロトコルの内容については以降に概説する。

表 1-18 PACT で規定されている試験・設計基準プロトコル

プロトコル名	概要
屋外曝露試験プロトコル	太陽電池モジュールの屋外曝露試験の手順と出力測定方法を規定
プレコンディショニング試験プロトコル	プレコンディショニング試験の手順を規定
パッケージングの設計基準	PACT にて実施する試験に用いる太陽電池サンプルのセル保護構造を例示
加速試験プロトコル	太陽電池モジュールの各種加速試験の手順を規定

出所) PACT 「Publications and Protocols」 <<https://pvpact.sandia.gov/publications-and-protocols/>> (閲覧日:2025 年 2 月 28 日)より作成

1) 屋外曝露試験プロトコル

本プロトコルでは、メタルハライドペロブスカイト（MHP）太陽電池モジュールの屋外曝露試験の手順および出力測定の方法を規定している。表 1-19 に、具体的な試験手順や出力の測定方法を整理した。

屋外曝露試験では、ペロブスカイト太陽電池の寿命が数時間～数週間程度と幅が広いこともあり、現時点では具体的な試験期間は定めていないものの、数週間～数か月間の屋外試験を行うことを想定している。また、本試験は MPPT 制御下での実施を想定しており、この時の I-V 測定や I_{sc} 、 V_{oc} の測定は任意となっている。

なお、本プロトコルは追尾式・固定式の架台のいずれにも適用される。

表 1-19 太陽電池モジュールの屋外曝露試験の手順と出力測定方法

試験手順	出力測定方法
1. 太陽電池モジュールの背面に温度センサーを貼り付け、モジュールを架台に設置。	測定開始直後の1～3時間は定期的に、最初の24時間は適切な頻度で稼働状態を確認する。出力の急低下がみられた場合は試験の終了を推奨。
2. カバーがあれば外し、MPPT制御状態にて測定を開始。	第1週の間は少なくとも1日に一度状況を確認する。クラック、接合不良、セル変色等がないか、サンプルを目視確認する。
3. 日中はMPPT制御を維持したままにする（日中の定義は日の出/日没時間、あるいは地平線に対する太陽の位置で決定）。	運転開始から2週間経過後は確認頻度を減らしてもよいが、少なくとも週3回は確認することを推奨。
4. 夜間はMPPT制御をオフにする。周囲の気象データ収集とモジュール温度の測定は夜間も継続する。	測定機器では計測できない試験環境（雪、雹、山火事の煙など）も記録する。
5. 試験はサンプルの出力が測定開始時の80%を下回るまで続ける。ただし習熟度の低い技術であるため、出力が10%を切るまで試験を続けてもよい。	電圧・電流は1分間隔（またはより短い間隔）で記録する。放射照度・モジュール温度・周囲の気温も同じ間隔で記録する。

出所) PACT 「PACT Perovskite PV Module Outdoor Test Protocol Version 0.1」 (2023 年 5 月 5 日)

2) プレコンディショニング試験プロトコル

本プロトコルでは、メタルハライドペロブスカイト太陽電池モジュールの出力測定前のプレコンディショニング（前処理）方法を規定している。図 1-7 にプレコンディショニングのフローを、表 1-20 にプレコンディショニング手順を整理した。

PACT が規定するペロブスカイト太陽電池のプレコンディショニングでは、実設置環境における日夜の日射サイクルを通じた安定性を評価するため、MPPT 制御下において $1,000 \pm 20 \text{ W/m}^2$ の連続光の 8 時間照射と、その後の 16 時間の暗所保管を交互に行い、最低 2 サイクルの光照射後の出力変化が 5% 以内であればプレコンディショニングが完了したとみなす。なお、試験は屋内で実施する。

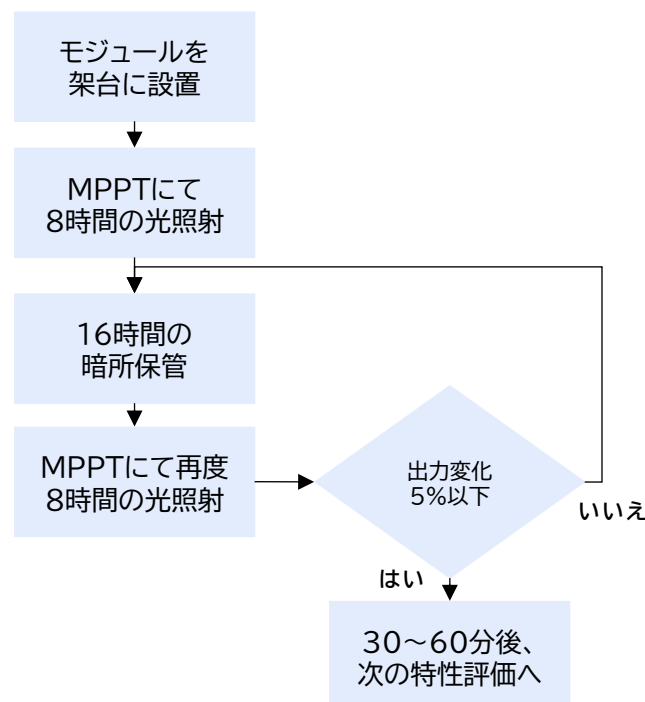


図 1-7 プレコンディショニングの試験フロー

出所) PACT 「PACT Module Preconditioning Protocol Version 0.1」 (2022 年 3 月 30 日) p.4(Figure 1) を基に作成

表 1-20 プレコンディショニング手順

プレコンディショニング手順
1. モジュールの温度を $40 \sim 60^\circ\text{C}$ に維持した状態で 8 時間の連続光照射を行う。モジュールは MPPT 制御下で稼働させ、放射照度は $980 \sim 1020 \text{ W/m}^2$ の範囲とする。
2. 光照射後は暗所で 16 時間保管する。モジュールの温度は $20 \sim 30^\circ\text{C}$ に保ち、MPPT 制御はオフにする。
3. 光照射は最低 2 サイクル行う。2 度の光照射による出力の差が 5% 以下であれば試験を終了する。終了要件を満たさない場合、5 サイクルをもって試験を中止する。
4. 光照射時には電流と電圧を 15 分間隔(またはより短い間隔)で記録する。放射照度・ブラックパネル温度・モジュール温度も同じ間隔で記録する。

出所) PACT 「PACT Module Preconditioning Protocol Version 0.1」 (2022 年 3 月 30 日) p.4(Figure 1) を基に作成

3) パッケージング(セル保護構造)の設計基準

本プロトコルでは、PACTにて出力測定や評価試験を実施する際の、メタルハライドペロブスカイト太陽電池モジュールサンプルのパッケージング(セル保護構造)の設計基準を規定している。図 1-8 にパッケージの分解図を、図 1-9 にパッケージの加熱・圧着プロセスの概要を示した。

パッケージングは、150mm×150mm のカバーガラスの中心にペロブスカイト太陽電池を配置し、縁にポリイソブチレン(PIB)素材のシール材を 2 層に重ね合わせ、それらを加熱・圧着して作成する。圧着の際は内部に気泡が入らないようにして、測定や評価時における湿度等の外部雰囲気の影響を最小化することが目的である。

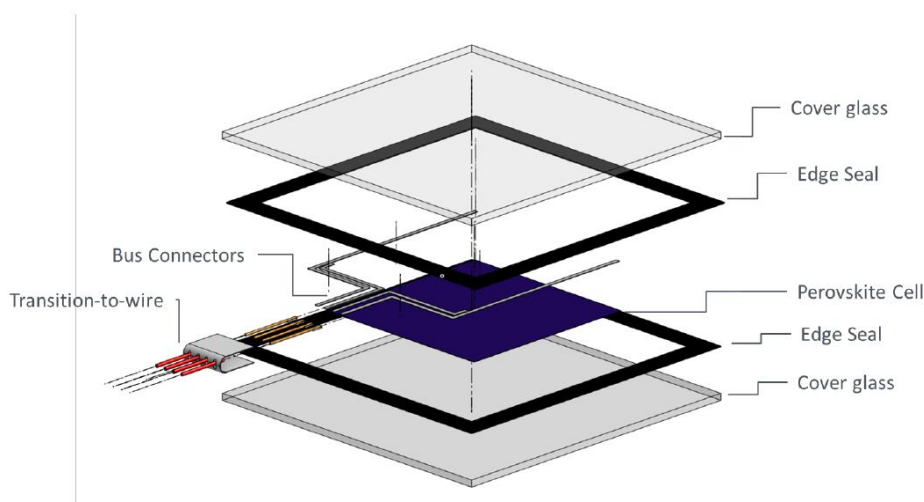


図 1-8 パッケージの分解図

出所) PACT 「PACT Recommended Packaging Procedure – version 4」 (2022 年 3 月 29 日) p.1 (Figure 1)

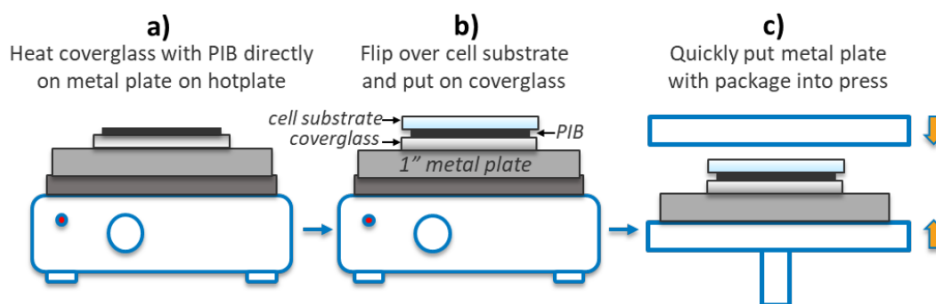


図 1-9 パッケージの加熱・圧着プロセス

出所) PACT 「PACT Recommended Packaging Procedure – version 4」 (2022 年 3 月 29 日) p.3 (Figure 3)

4) 加速試験プロトコル

本プロトコルでは、メタルハライドペロブスカイト太陽電池モジュールの各種ストレス試験の手順を規定している。図 1-10、図 1-11 に各種ストレス試験の概要および試験フローを整理した。

試験項目は、大きく外的要因(モジュール構造起因の劣化)の評価と内部要因(ペロブスカイトセル起因の劣化)の評価に分けられる。外的要因評価としては、高温高湿試験、温度サイクル試験、結露凍結試験があり、内部要因評価としては、LeTID(高温光誘起劣化試験)が挙げられる。

2024 年 6 月に更新された加速試験プロトコルでは、IEC61215 を補強する試験 (LeTID) のみに特化して内部要因試験が規定された (図 1-11)。LeTID 試験の条件として、1sun 下、1,000 時間の試験で、温度は最低でも 75℃が必要とされている。さらに、PACT としては屋外使用を考慮して 90℃での試験を推奨している。なお、図 1-11 に示したテストフローはあくまで、IEC61215:2021 の補足的試験として位置付けられており、IEC61215:2021 に基づいたモジュール試験に加えての活用が想定されている。

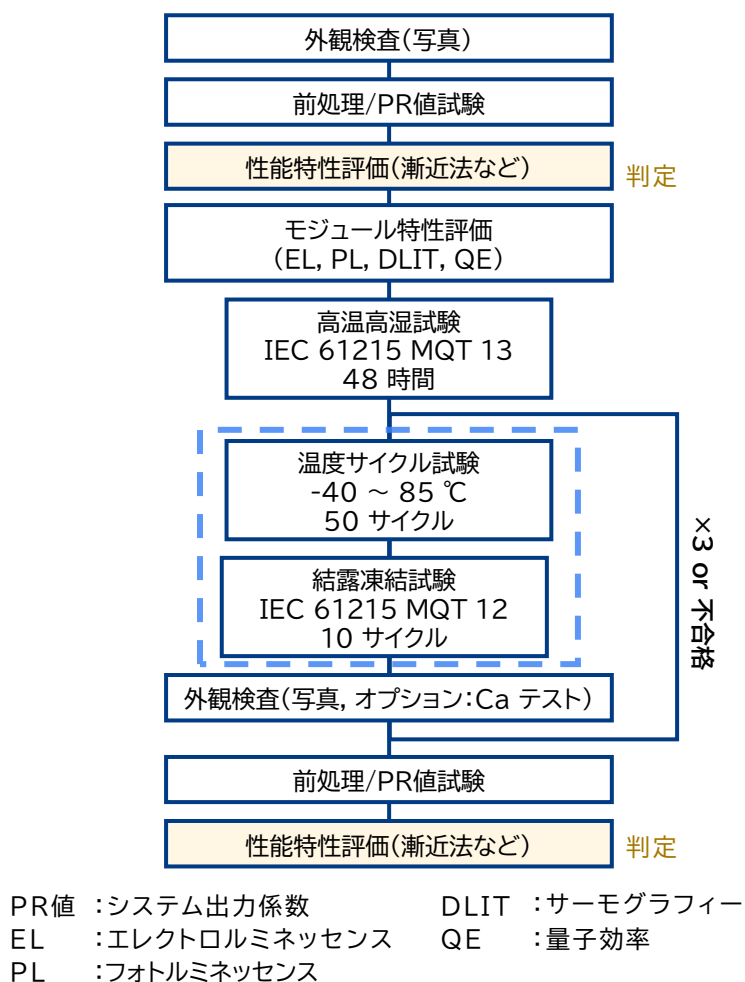


図 1-10 外的要因(パッケージ)試験

※ IEC 63209-1 sequence 3 を修正したもの

出所) PACT 「PACT Perovskite PV Module Stress Testing Protocol Version 0.3」 (2024 年 6 月 12 日) p.4 (Figure 4-1)、p.5 (Figure 1-2)を
 基に作成

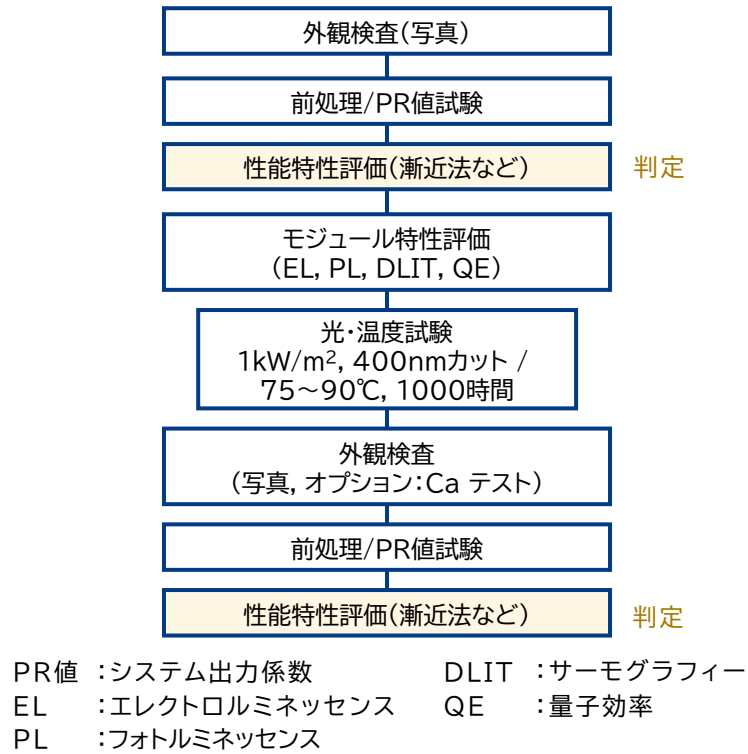


図 1-11 内部要因試験

※IEC61215 を補強する評価のみに特化しており、IEC 61215:2021 で捕捉できない、LeTID(光・温度)試験条項を規定
 出所) PACT「PACT Perovskite PV Module Stress Testing Protocol Version 0.3」(2024 年 6 月 12 日) p.4 (Figure 4-1)、p.5 (Figure 1-2)を
 基に作成

(2) 機械的特性に関する試験プロトコル

1.4.1 (1) で説明した ISOS 会合において、機械的特性試験の合意声明として紹介されていた論文⁸について説明する。また、本調査では、当該論文の理解およびその背景情報を調査するために、本論文の筆頭著者である福田研究員にもインタビューを実施した。その内容の要旨も示す。

1) 概要

当該論文では、機械的特性評価において推奨される曲げ試験の試験プロトコルが示されている。本項では、その概要について説明する。

表 1-21 に推奨試験プロトコルにおいて記述すべきパラメータを示す。赤字で記載したパラメータは推奨試験プロトコルにおいて、曲げ試験の際に測定・記述が必須であるとされているものである。

デバイス特性に関しては、材料構造に合わせたひずみを算出するために、厚みや封止構造の情報を明記する必要があることが触れられている。封止構造に関しては、図 1-12 のように、同じ曲率で曲げた場合でも、封止構造の有無により、デバイスに発生するひずみは異なる点に留意が必要である。

環境条件に関しては、デバイス劣化に寄与する可能性があるため、明記する必要があるとされている。例えば、封止構造がないセルの場合、大気中で試験する際には酸化による劣化も考慮すべきである。また、対照実験として、同じ環境下で曲げ試験を行わずに保管したサンプルと、変換効率の変化を比較すべきであることも指摘されている。

曲げ条件に関しては、現状のペロブスカイト太陽電池の一般的な材料の場合、1%のひずみをもたらす曲率において、1,000 サイクルの曲げ試験を実施することを推奨している。なお、留意点として、電流の方向に対する曲げ軸の方向が、性能劣化の程度に影響を及ぼすことが指摘されている。例えば、図 1-13 に示すように、電流に対して曲げ軸の方向が垂直である場合、曲げ軸方向と平行に太陽電池セルや電極の断裂が発生する恐れがあるため、曲げ軸と垂直方向である電流の流れが完全に遮断され、性能劣化への影響が大きくなり得る。

⁸ Fukuda, K., Sun, L., Du, B. et al. A bending test protocol for characterizing the mechanical performance of flexible photovoltaics. Nat Energy (2024).

表 1-21 推奨試験プロトコルにおいて記述すべきパラメータ

分類	パラメータ	補足
デバイス特性	基板の厚さ (t_s)	ひずみの値を計算するには最低限基板の厚みが必要。多層モデルを使用して計算する場合には、デバイスの厚さと各層の厚さが必要
	デバイスの厚さ (t_d)	
	各層の厚さ	
	封止構造	厚みも含めて記載が必要
	光活性面積ごとの重量	単位は $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ を推奨
環境条件	雰囲気	大気中または N_2 雰囲気下。大気中では相対湿度 $55\pm 15\%$ 推奨
	温度	25°C 推奨
	照度	標準 $100\text{ mW}\cdot\text{cm}^{-2}$ AM1.5-Gスペクトルを推奨
	大気圧	$96\pm 10\text{ kPa}$ 推奨
	バイアス	暗所と照射下双方における、開回路とMPPTの測定を推奨
曲げ条件	曲げひずみのタイプ/方向	引っ張りひずみか圧縮ひずみのどちらであるかも重要
	曲げ半径	塑性変形が起これると予想されるひずみ1%の応力を与える半径が望ましい。ただしこの値は材料に依存する
	曲げサイクルの推奨数	現状1,000サイクルを推奨。フレキシブル太陽電池の性能向上に伴い更なるサイクル数が要求される可能性
	サイクリング速度	$0.15\sim 30$ サイクル/分を推奨
	曲げ軸の方向	電流に対する曲げ軸方向が重要。垂直方向と平行方向の両方の曲げ軸で試験することを推奨
ひずみ計算	シンプルなモデル	基盤の厚みと曲げ半径から計算可能
	多層モデル	シンプルなモデルが適用不可な薄い/柔らかい基板に使用
性能の提示	PCE	標準条件下で測定開始時と終了時のPCE値が必要。追加で曲げ試験中のin situ PCEの値を示すことを奨励
	J_{sc} , FF, V_{oc}	曲げ試験前後の測定値を示すことを推奨
	外部量子効率(EQE)	曲げ試験前後の測定値を示すことを推奨

※赤字は曲げ試験の際に測定・記述が必須であるパラメータ

出所) Fukuda, K., Sun, L., Du, B. et al. A bending test protocol for characterizing the mechanical performance of flexible photovoltaics. Nat Energy (2024).を基に作成

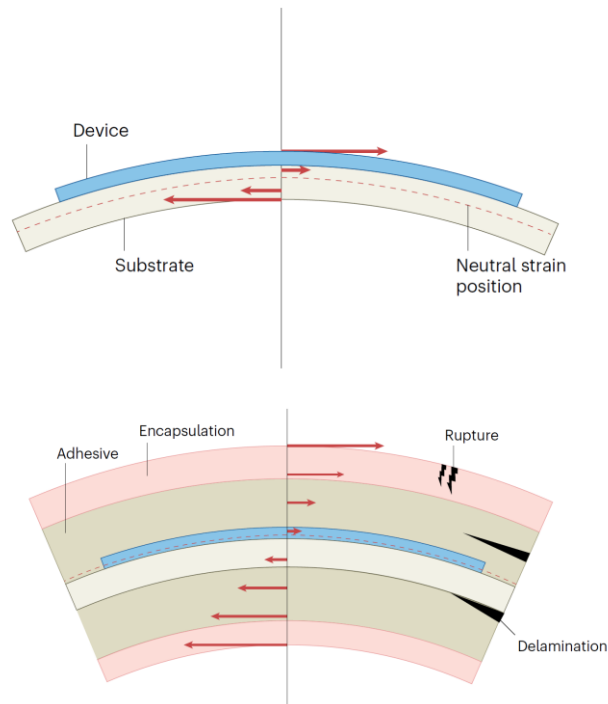


図 1-12 封止の有無によるひずみの差

出所) Fukuda, K., Sun, L., Du, B. et al. A bending test protocol for characterizing the mechanical performance of flexible photovoltaics. Nat Energy (2024).を基に作成

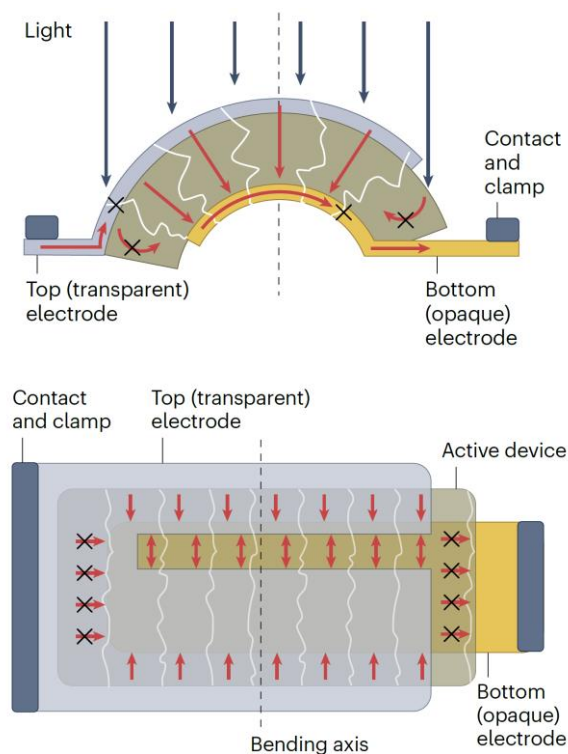


図 1-13 曲げ軸の方向(電流に対して垂直の場合)

出所) Fukuda, K., Sun, L., Du, B. et al. A bending test protocol for characterizing the mechanical performance of flexible photovoltaics. Nat Energy (2024).を基に作成

1.4.3 STEP2-3 事業者等へのヒアリング調査

STEP2-3 では、需要家側の事業者に対してヒアリング調査を行い、ペロブスカイト太陽電池の標準化に係るニーズや導入課題に関する調査を行った。また、海外研究機関へのヒアリング調査も実施し、ペロブスカイト太陽電池の標準化に係る動向等を調査するとともに、標準化に係る連携可能性を議論した。

(1) ヒアリング調査概要

ヒアリング調査の実施先は表 1-22 のとおりである。需要家側の事業者として、ペロブスカイト太陽電池の導入を予定している実証事業者 12 事業者と、ペロブスカイト太陽電池の本格普及に当たって保険商品の検討を行っている保険会社 2 事業者に対してヒアリングを実施した。また、海外研究機関へのヒアリングは、現在日本が IEC の国際会合において提案しているペロブスカイト版 IEC60904 の検討に関連する研究機関 1 機関に対して実施した。

主なヒアリング項目は下記のとおり。

- ① ペロブスカイト太陽電池のユースケース・ニーズ（実証事業者、保険会社）
- ② 導入・保険組成時の課題、および必要な情報・支援（実証事業者、保険会社）
- ③ 国際標準化のメリット、ニーズ（実証事業者、保険会社、研究機関）
- ④ 国際標準化の動向、連携可能性（研究機関）

表 1-22 実証事業者・保険会社・海外研究機関のヒアリングの概要

分類	ヒアリング先	ヒアリング目的	主なヒアリング事項
実証事業者 （導入予定企業）	12 事業者	ペロブスカイト太陽電池を導入するユーザー（需要家）側としてのニーズを把握する	・ ユースケース、ニーズ ・ 導入に当たっての懸念点・課題 ・ 導入検討時に必要な情報・支援 ・ 国際標準化のメリット・デメリット
保険会社	2 事業者	ペロブスカイト太陽電池向けの保険を検討する上で、どのような基準・水準が必要となるか、保険会社の立場でのニーズを把握する	・ 保険の検討状況 ・ 保険組成時の懸念点・課題 ・ 保険組成時に必要な情報・支援
海外研究機関	1 機関	欧州の中心的な機関の 1 つで、日本が提案中のペロブスカイト版 IEC60904 との関連もあり、今後の連携可能性を把握する	・ 技術開発動向 ・ 国際標準化の動向 ・ 国際標準化のニーズ・意義 ・ 連携可能性

(2) ヒアリング結果:実証事業者

実証事業者へのヒアリング結果は表 1-23 のとおりである。

ニーズ・ユースケースとしては、ペロブスカイト太陽電池の特徴である軽量性、柔軟性、施工容易性、低照度特性等を活かしたユースケースが期待されていることが分かった。

導入に当たっての懸念事項・課題としては、発電性能関連の情報不足や、安全性・耐久性への懸念、コストの高さなどが挙げられた。まだ確立していない技術ということもあり、不明事項などがあつた際に相談する窓口が分からないという声も挙げられた。

導入を検討する上で必要な情報としては、発電量や安全性・信頼性、コスト、設置方法などに関する詳細情報が求められている。特にコストについては、従来型太陽電池と匹敵する価格や補助金の必要性が期待されているという意見もあった。また、特にフレキシブル型のペロブスカイト太陽電池に関しては、新しい設置・施工方法が中心となることもあり、設置・施工に関するガイドラインがあると望ましいという声も挙げられた。

国際標準化に関しては、ユーザーにとっては導入ハードルの低下や市場展開への活用など、メリットが多いと捉えられている。一方、技術発展の阻害や開発スピードの低下、価格競争力の低下といったデメリットも一部の事業者から指摘されていた。

表 1-23 実証事業者へのヒアリング結果

(1) ニーズ・ユースケース		
	BIPV	高層建築物の壁面や、バルコニーへの設置など、BIPV（建材一体型太陽電池）としての期待が大きい
	軽量性	倉庫等の耐荷重の低い屋根や、下水道施設の覆蓋など、軽量性を活かしたユースケースも期待されている
	柔軟性	体育館等の湾曲した屋根や、曲面状のタンク壁面への設置など、柔軟性を活かしたユースケースも存在する
	施工容易性	設置・撤去の容易性を活かし、プール等の水面に未利用時期に限定して設置する方法も検討されている
	低照度特性	IoT センサーの電源や、その他の室内機器など、低照度での発電性能を活かす方法も存在する
	特殊設置	通信基地局のポールへの円筒状での設置などの特殊な設置形態の検討も行われている
(2) 導入に当たっての懸念事項・課題		
	発電性能	発電効率や発電量などの情報が不足している一方で、各社のノウハウもあり取り扱いが難しい
	安全性	電圧が高いことや、耐火性能等に関する安全性の懸念が払拭されなければならない
	信頼性	経年劣化が懸念され、シリコン系太陽電池のような発電保証による担保が必要である
	コスト	システム費用、特に設置費用が高額となる点が懸念である
	設置・施工	設置方法が確立されておらず標準化が必要、また施工時にしわによる意匠性・性能への影響なども懸念される
	保守管理	現場での対応も発生することから、トラブルシューティングに関するマニュアルが必要である
	有害物質	破損時等に含有されている鉛が環境に与える影響に関する情報や、安全性に関する啓発などが必要である

表 1-23 実証事業者へのヒアリング結果(続き)

(3) 導入を検討する上で必要な情報・支援	
発電性能	経年劣化や設置形状、影の影響を考慮した発電実績データ（電流・電圧、照度・温度依存性含む）が必要である
安全性	風雨・防火耐性等の安全性に関するデータ（認証試験結果、実証データ、メーカー試験結果）が必要である
信頼性	耐久性に関するデータや、加速試験等による根拠も含めた上での耐用年数に関する情報が必要である
コスト	コストパフォーマンスの情報や、従来型太陽電池と同水準のコストを実現する金銭支援が不可欠である
設置・施工	設置工法や施工事業者、周辺機器等の施工関連情報や、導入に際する制約条件などが整理されるべきである
法規制	関連法制の情報や、建築基準法・条例等の制約に対する国・行政主導での推奨設置方法の提示が望まれる
環境配慮	鉛の漏出等に関する環境面・安全面でのデータや、廃棄物の量などの情報もあると望ましい
(4) 国際標準化によるメリット・デメリット	
- 品質や性能が担保されることで、ユーザー側にとっての導入ハードルは低下し、普及につながると考えられる - 最終ユーザーに対しても、根拠を持って信頼性や安全性を説明することが可能となり、訴求力が向上する - 各事業者間の製品の性能を比較できるようになり、国際競争力の向上や、海外展開の観点でも重要と考えられる - 新たな場所への設置を検討する際に、標準規格が存在すれば関係省庁と協議も円滑に進められることが期待される - ユーザー側としては、あまりデメリットは考えにくい - 標準化によって技術発展の阻害や開発スピードの低下が起こるのであれば、デメリットになり得る - 標準化が日本企業の価格競争力の低下につながるのであれば望ましくはない	

(3) ヒアリング結果:保険会社

保険会社へのヒアリング結果は表 1-24 のとおりである。

ペロブスカイト太陽電池に係る保険としては、従来型太陽電池と同様に、火災保険、賠償責任保険、瑕疵保険の3種類について検討が行われていることが確認された。

保険組成時の懸念事項としては、ペロブスカイト太陽電池の耐火性、耐風性、耐衝突性が挙げられた。更に、導入実績が存在しないことも懸念事項であるとの意見が得られた。

また、保険組成を行うにあたっては、故障や経年劣化に関する実績データや、耐火性能等に関する情報が必要であるという意見を得た。

表 1-24 保険会社へのヒアリング結果

(1) ペロブスカイト太陽電池に係る保険の検討状況
- ペロブスカイト太陽電池向けの保険について、火災保険、賠償責任保険、瑕疵保険の3種類の検討を進めている - 従来型太陽電池と比較した際のユースケースやリスクの違いが重要であり、情報収集を行っている - 火災保険では、ペロブスカイト太陽電池の耐火性能がどの程度なのかというデータについて着目している - 賠償責任保険の検討では、従来にない設置場所が想定されるため、設置技術や規制・基準等の動向を注視している - 瑕疵保険の設計には瑕疵発生頻度や平均修理コスト等が必要であり、標準化等を通じたデータ提供があれば検討が進む - 現時点ではペロブスカイト太陽電池への保険付保実績はないとの認識である
(2) 保険組成時の懸念事項・課題
- 導入実績や事故実績が存在しない中で、どのように保険条件を設定するのが課題である - ペロブスカイト太陽電池の火災リスクが従来型太陽電池よりも高いのであれば、保険料に影響するため留意が必要である - フィルム型製品の設置方法は懸念事項の一つであり、接着なのかボルト固定なのかによってもリスクが異なる - 外部からの衝突にどの程度耐え得るか等も懸念事項であり、耐久性の確認が必要である - 屋根設置の場合は、太陽電池が風で飛ばされないか等の耐風性についても懸念となり得る - タンデム型については地上設置を想定しており、従来型太陽電池とリスクは大きく変わらないと想定している
(3) 保険組成時に必要な情報・支援
- リスク、設置方法、耐久性等の各要素において、従来型太陽電池と比較した際の違いに関する情報が、検討の上で重要である - 瑕疵保険の組成には故障や経年劣化等の実績データが必要となる - 耐火性能に関する情報は重要であり、可燃性が高いものを建物設置する場合はリスクが大きくなる - 経年劣化の有無や、時間経過に伴い各種リスクが増加しないかという観点も必要な情報となる - 従来型太陽光の保険組成時は、メーカーや施工事業者から提供された実績を基に検討を進めたものと想定される - 施工ガイドライン等の整備のみならず、認証・規格に合致していることが保険商品の認可取得において有利である - NEDO 事業における実証試験データ等の情報が連携されると、保険組成においては有益である

(4) ヒアリング結果:海外研究機関

海外研究機関からは、表 1-25 の通りの意見を得た。

技術開発動向については、安定性の向上、性能劣化メカニズムの解明、主要な材料の選定などが課題視されていることが確認された。

国際標準化の動向については、性能測定標準化を迅速に進めることが、安全適格性、設計適格性の規格化や、市場における製品の信頼性を担保することにつながる点が強調された。

また、多くのメーカーが既存規格を使用して商業化を目指す一方で、製品の訴求に規格を活用したい屋内用太陽電池メーカーや、出力保証を行う太陽電池設置事業者からは標準化のニーズがあるとの意見が得られた。

最後に、標準化を推進するにあたっては、共同研究や委員会前の合意形成の重要性が強調された。

表 1-25 海外研究機関へのヒアリング結果

(1) 技術開発動向
・ ペロブスカイト太陽電池の発電効率は飛躍的に向上している ・ 商業化に向けては、安定性の向上が大きな課題である ・ 使用時の性能劣化メカニズムが明らかになっていないため、耐用年数を評価できない ・ 太陽電池モジュールの大型化・大量生産は問題視していない ・ 主要な材料が定まっていないため、化学メーカーは材料の製造規模を拡大することが困難な状況である ・ メーカー間での情報共有が行われていないため、主要な材料が定まるには時間を要するのではないかと
(2) 国際標準化の動向
・ 多種多様な製品が存在するため、ペロブスカイト太陽電池の製品自体の標準化は時期尚早である ・ 現状、各国研究機関で異なる測定方法が使用されており、性能測定結果の信頼性が担保されないことが課題である ・ 安全適格性、設計適格性の標準化を行うためにも、直ちに性能測定の標準化を行うことが必要である ・ 屋外試験によって性能劣化メカニズムを理解することが、品質保証基準を検討する上で有効なアプローチである ・ 現在、多くの研究グループが安定性試験のために ISOS プロトコルを使用しているが、今後は IEC 規格の策定が必要である ・ 屋内用太陽電池の標準化に向けて、LED シミュレーターの校正、スペクトル応答の規格の見直しが必要である ・ 長期的には、現行規格に含まれないフレキシブル型太陽電池や BIPV 等の適切な試験基準の構築が必要である
(3) 国際標準化のニーズ・意義
・ メーカーは迅速に商業フェーズへ移行するために、最適ではないと理解しながら既存の IEC 規格を使用している ・ 一部の屋内用太陽電池メーカーは、現行の規格で製品特性を訴求できないため、規格化に意欲的に取り組んでいる ・ 太陽電池設置事業者は出力保証を行うため、モジュールの定格出力評価について高い確実性を求めている ・ 性能評価方法の標準化によってグローバル市場において製品が適切に評価されることになり、投資促進につながる ・ 標準化によって長期的な信頼性が担保されることで、ペロブスカイト太陽電池を導入する障壁低減につながる
(4) 国際標準化における日本との連携可能性
・ 既に屋内用太陽電池や IEC TC82 における IV 特性に関する取り組みで協力しているが、更なる協力の余地がある ・ 標準化のプロセスを加速することにつながるため、国際研究所同士の連携は重要である ・ IEC の委員会に持ち込む前に連携を行い、事前に 2、3 か国間で合意形成を行うことが有益である ・ Oxford 大学をはじめとする英国の主要な研究グループとの共同研究は、標準化に向けて有効な方法である

1.5 STEP3:標準化に向けたとりまとめ

STEP3 では、STEP1 および STEP2 の調査結果を踏まえて、ペロブスカイト太陽電池の標準化に向けた取り組みの方向性について、とりまとめを行った。

1.5.1 STEP3-1 標準化に向けた取り組み方向性の整理

(1) ユースケース別の課題

表 1-26 にペロブスカイト太陽電池のユースケース別の課題を整理した。

表の横方向には、日本国内の製造事業者が取り組んでいるペロブスカイト太陽電池の種類として、屋外用・屋内用のフィルム型太陽電池、ガラス一体型太陽電池、タンデム型太陽電池の4種類のユースケースを想定した。また表の縦方向には、各ユースケースに対する設置例および期待されるペロブスカイト太陽電池の優位性に加えて、STEP2-3 で実施した需要家ヒアリングを通じて得られた「ペロブスカイト太陽電池を普及させるうえで想定される課題」を、「発電性能」、「安全性・信頼性」、「設置・施工」、「法規制」、「環境配慮」の5つに分類した。

表 1-26 ユースケース別の課題

	フィルム型		ガラス一体型	タンデム型
	屋外	屋内		
設置例	軽量屋根/壁面/湾曲面/水上	IoT機器	窓/バルコニー	屋根/野立て
(ペロブスカイトの) 優位性	軽量性 柔軟性 施工容易性	軽量性 柔軟性 低照度特性	軽量性	—
発電性能	曲面での発電量評価手法の確立	低照度での性能評価手法の確立		
	ペロブスカイト太陽電池の性能評価手法の確立			
安全性・信頼性	信頼性評価手法の確立			
	可触部への設置に関する安全基準の整備(高電圧/耐火性)			
設置・施工	施工手法の確立(軽量屋根、湾曲面等)		施工手法の確立(BIPV等)	
	維持管理ノウハウの獲得			
法規制	新たなユースケースでの規制対応 (製油所に設置する際の消防法対応等)		建築基準法等への対応(BIPV)	
	可触部への設置に関する規制の構築(高電圧/耐火性)			
環境配慮	鉛の漏出に関する環境面・安全面のデータ整備			
	従来の太陽電池より厳格な鉛含有量に関する規制への対応(例:EUのRoHS規制)			

※実証事業者等へのヒアリング結果で挙げられた課題を中心に整理

まず、「発電性能」に関しては、総じてペロブスカイト太陽電池の性能手法の確立が求められている。加えて、従来とは異なる用途への対応として、屋外用フィルム型太陽電池では曲面における発電量評価手法、屋内用フィルム型太陽電池では低照度での性能評価手法、などが必要とされている。

「安全性・信頼性」に関しては、ペロブスカイト太陽電池の実用化に向けた信頼性評価手法の確立が求められているほか、人が触れる可能性の高い場所に設置される用途に関しては、高電圧への対応や耐火性の観点を中心として安全基準の確立が求められている。

「設置・施工」に関しては、屋根設置や地上設置等の従来用途以外の設置方法における維持管理ノウハウの獲得が求められている。また、軽量屋根や湾曲面へのフィルム型太陽電池の設置や、建材一体型太陽電池の設置のような、従来のシリコン系太陽電池ではあまり想定されない設置場所においては、太陽電池およびその設置場所の特性に応じた施工手法の確立が必要である。

「法規制」に関しては、安全性・信頼性に関連して、可触部への設置に関する規制の構築が求められている。また、屋外用フィルム型太陽電池では、従来設置し得なかった場所への設置が想定されるため、新たなユースケースに応じた規制対応が求められる。一例として、製油所のタンクの壁面に設置する場合の消防法令への適応が挙げられる。また、建材一体型太陽電池では、建築基準法等への対応も求められる。

「環境配慮」に関しては、全ユースケース共通して、鉛の漏出に関する環境面・安全面のデータ整備が求められている。また、建材一体型太陽電池や屋内機器用途では、欧州の RoHS 規制等で、従来の太陽電池よりも厳格な鉛含有量に関する規制への対応が今後求められる可能性がある。

(2) 各製造事業者の特徴

表 1-27 に、ペロブスカイト太陽電池の各製造事業者の特徴を整理した。

表 1-27 各製造事業者の特徴

企業名	積水化学工業	東芝	エネコート	アイシン	パナソニック	カネカ
主なタイプ	フィルム型	フィルム型	フィルム型	ガラス型	ガラス型	フィルム型 タンデム型
主な技術面での強み	R2R製造技術/封止技術	大面積化プロセス技術(塗布技術等)	低照度での高出力化、封止技術	スプレー塗工技術	インクジェット印刷技術	ヘテロ接合型太陽電池(シリコン系)
技術成熟度/事業化予定	実証段階/2025年度	実証段階/2026年頃	実証段階/2027年度量産予定	研究段階/2030年代	実証段階/2026年	研究段階/2026年度以降
ターゲット市場	工場屋根、建物外壁、公共領域等	軽量屋根・壁面設置	室内用途、都市部ビル壁面、車載用	既築建築物(住宅・事業所)	建材一体型	屋根、壁面(壁・窓)、車載用
海外展開意向	意向有	-	-	-	-	-
主なGI基金テーマ(研究開発費(政府+民間))	超軽量太陽電池 R2R製造技術開発 (60億円)	フィルム型ペロブスカイト太陽電池実用化技術 (44億円)	設置自由度の高いペロブスカイトPVの社会実装 (35億円)	高効率・高耐久モジュールの実用化技術開発 (14億円)	-	高性能ペロブスカイトPV技術開発 (29億円)
標準化に対する意向(GI基金情報)	標準化戦略チームが存在。詳細不明。	国際標準化の協力実績あり。 ただし、足下では、自社の特許創出を進めるとの記載有。	意向有。国際標準化にも積極的。 以下に興味有。 ・動作環境試験、保管耐久性試験 ・壁面の発電量のシミュレーション ・模倣品の排除	意向有。 発電性能評価法の国際標準化に協力中。自社戦略としては、まずは建物を対象に国内規格対応、将来的に車載用途標準化も検討するという方針。	不明。	意向有。 安全性・性能評価手法に関する標準化に期待。ただし、差別化に有効な技術は特許化またはクロースにするとの記載有。

出所)NEDO「次世代型太陽電池の開発」(2025年2月13日)

<<https://green-innovation.nedo.go.jp/project/next-generation-solar-cells/scheme/>>

経済産業省「次世代型太陽電池戦略」(2025年2月13日)

<https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/perovskite_solar_cell/pdf/20241128_1.pdf>

積水化学工業「ペロブスカイト太陽電池事業説明会」(2025年2月13日)

<https://www.sekisui.co.jp/ir/event/other/_icsFiles/afieldfile/2025/01/07/20250107PVK.pdf>

パナソニック「あらゆる窓や壁、建物を、再生可能エネルギーの源に——「ガラス型ペロブスカイト太陽電池」実用化に向けた取り組み プロジェクトリーダー・金子 幸広 エンジニア・渡邊 菜々美」(2025年2月13日)

<<https://news.panasonic.com/jp/group-magazine/articles/16400>>

各製造事業者の主なペロブスカイト太陽電池のタイプとして、積水化学工業、東芝、エネコートはフィルム型太陽電池に取り組んでいる一方で、アイシンやパナソニックはガラス型太陽電池の開発に注力している。また、カネカはフィルム型とタンデム型の両方を開発しており、幅広いタイプでの開発が進められている。

技術面での強みに関しては、積水化学工業やエネコートが封止技術を強みとしている。また、積水化学工業、東芝、アイシン、パナソニックなどの企業は、製造プロセスにおいて強みを有している。

事業化の時期については、2025年度から一部企業において製品の量産が開始される予定である。大半の企業は2027年頃までに量産を開始する計画となっており、早々に事業化が進む見込みである。

また、ペロブスカイト太陽電池のターゲット市場としては、軽量屋根や建材一体型太陽電池、車載用太陽電池など、従来型太陽電池では設置が難しくペロブスカイト太陽電池の特性が活かせる用途が主に想定されている。

2. 研究発表・講演、文献、特許等の状況

なし

契約管理番号:	24001225-0
---------	------------