

KISTEC におけるペロブスカイト太陽電池測定法の 国際標準化活動について

戸邊 智之¹, 青木 大輔¹, 斎藤 英純¹, 瓦家 正英^{1,2}, 馬飼野 信一³
川崎技術支援部 太陽電池評価グループ¹
産業技術総合研究所²
有機系太陽電池技術研究組合³

1. はじめに

次世代太陽電池として注目を集めているペロブスカイト太陽電池は、2012年にエネルギー変換効率が10%を超えて以降研究開発が活発化し、近年においては光電変換効率が26%を超える報告も出てきている^{1,2,3}。さらに、大面積化、モジュール化の開発も行われており実用化まであと一歩の所まで研究開発が行われている⁴。実用化のためには評価法の国際標準化が必要不可欠であるが、ペロブスカイト太陽電池のような準安定太陽電池は、現在の太陽電池評価基準である国際電気標準会議(IEC) 60904-1を使用し評価することが困難である。KISTECは有機系太陽電池技術研究組合(RATO)と連携して、経済産業省(METI)の委託事業(2021年~2023年)として国際標準化活動を行った。本稿では、国際標準化活動の一環として行った国際ラウンドロビンテストおよび、IEC-TC82での技術仕様書(Technical Specification: TS)提案、新業務項目提案(New work item Proposal: NP)承認までの経過と今後の予定について述べる。

2. 実験及び結果

一般的に、太陽電池の発電性能は、IEC 60904-1に規定された電流-電圧(I-V)測定によって評価される⁵。この測定法は一定の速度で電圧を変化させそれに対応する電流の変化を求めているが、ペロブスカイト太陽電池の様な準安定太陽電池は図1に示すように、電圧変化に対する電流の応答がシリコン太陽電池と比較して遅いためIEC 60904-1をそのまま適用することは困難である⁶。また、電圧の掃引方向の違いによりヒステリシスが生じることや、光照射・電圧印可・熱履歴などが発電性能に影響するため定常値を得ることが困難である。このような性質があるため、ペロブスカイト太陽電池の特性に合わせた測定法の標準化が望まれている。このような状況を踏まえ、KISTECは世界各国の主要な研究機関と連携したハブ・アンド・スポーク方式(KISTEC: ハブ、各計測機関: スポーク)による国際ラウンドロビンテスト(2023年4月~10月)を実施し、各機関の測定法を相互比較するなど発電性能評価法の標準化にむけた取り組みを進めてきた。国際ラウンドロビンテスト参加機関は、KISTECの他、国立研究開発法人産業技術総合研究所(AIST: 日)、電気安全環境研究所(JET: 日)、フラウンホーファー太陽エネルギー

システム研究所(Fraunhofer ISE: 独)、欧州委員会共同研究センター(JRC: EU)、オーストラリア連邦科学産業研究機構(CSIRO: 豪)、国立再生可能エネルギー研究所(NREL: 米)の7機関である(図2)。

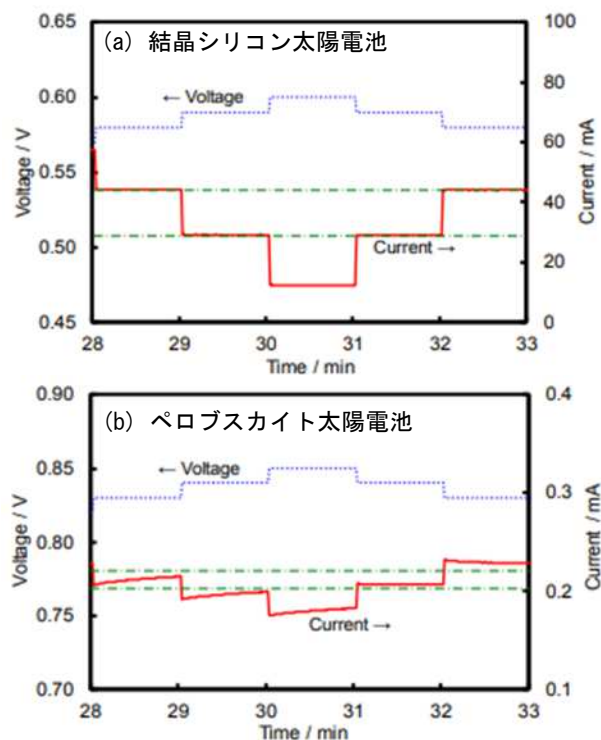


図1 電圧印可後の過渡電流(a)結晶シリコン太陽電池、(b)ペロブスカイト太陽電池



図2 国際ラウンドロビンテスト参加機関とハブ・アンド・スポーク方式概略図

実験は以下のような手順ですすめられた。評価デバイスは、封止されたペロブスカイト太陽電池の単セル(ITO / TiO₂ / MAPbI₃ / Spiro-OMeTAD / 金属電極, 受光面積 : 0.0784cm²)を WPVS 型パッケージに搭載し使用した。ハブ機関である KISTEC は 40 個のセルの選定を行い、国際ラウンドロビンテストにおける事前性能評価は、I-V 測定、独自開発した MPPT 法による P_{max} 測定を行い各機関へ試料(2 個)を送付した⁶⁾。各機関では表 1 に示した方法で P_{max} (最大出力)を測定し、測定後 KISTEC にセルを返却した。セルが KISTEC に到着した後、MPPT 法により再度 P_{max} を測定し、劣化のないサンプルを選んで比較した。

表 1 各機関におけるペロブスカイト太陽電池の P_{max} 決定方法

| Laboratory | Method |
|------------|--|
| KISTEC | MPPT by using the custom software made by KISTEC. |
| AIST | MPPT by using the custom software made by AIST. |
| CSIRO | Dynamic I-V repeated over a small voltage sweep range. |
| Fraunhofer | MPPT by using the manual method. |
| JRC | Steady-state I-V and P-V curves measured manually stepwise starting from P_{max} , then I_{SC} , then P_{max} again, then V_{OC} , then P_{max} again. |
| NREL | Asymptotic P_{max} protocol. |
| JET | MPPT by using the custom software made by JET. |

測定結果は、JAB RL230-2008 (日本適合性協会)に則り、KISTEC と各機関の En 数により各機関との互換性を評価した。図 3 に、KISTEC と各機関での P_{max} 測定結果および En 数を示す。En 数が 1 以下であることから、KISTEC と各機関との P_{max} 測定結果は適合しているといえ、今回用いられた各機関での P_{max} 定常値評価方法が、すべて互換性のある測定法であることが明らかになった。

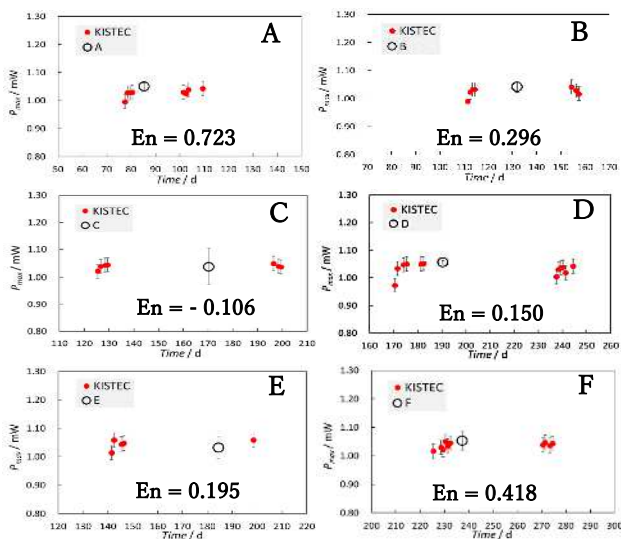


図 3 KISTEC と各機関間の P_{max} および En 数の数値

3. 考察及び今後の展開

各国の太陽電池評価機関においては、ペロブスカイト太陽電池に対して独自に開発した性能評価法を用いて測定を行っているが、各機関が測定した P_{max} が互いに一致するかどうか本事業以前には確認されていなかった。本事業で国際ラウンドロビンテストを実施した結果、参加した各機関で非常によく一致した測定値が得られた。この結果をもとに国際電気標準会議 (IEC) において新業務項目提案 (New work item Proposal : NP) を行い 2024 年 2 月に承認された。KISTEC の国際標準化活動はこの NP 提案承認をもって終了し、産業技術総合研究所 (AIST) に引き継がれたが、今後も技術仕様書 (Technical Specification : TS) の発行を目指して協力していく。

【謝辞】

本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) および、経済産業省 (METI) の委託を受けて実施したものであり、関係各位に感謝いたします。

【参考文献】

1. M. M. Lee, J. Teuscher, T. Miyasaka, T. N. Murakami, H. J. Snaith, *Science*, 338, 643 (2012)
2. H.-S. Kim, C.-R. Lee, J.-H. Im, K.-B. Lee, T. Moehl, A. Marchioro, S.-J. Moon, R. Humphry-Baker, J.-H. Yum, J. E. Moser, M. Grätzel, N.-G. Park, *Sci. Rep.*, 2, 591 (2012)
3. National Renewable Energy Laboratory (NREL), “Best Research Cell Efficiency Chart”
https://www.nrel.gov/pv/cell_efficiency.html
4. 積水化学株式会社「国内初、ペロブスカイト太陽電池を建物外壁に設置した実証実験開始」2023 年 2 月 13 日
5. IEC 60904-1, “Photovoltaic devices - Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics: 3rd edition,” 2020
6. H. Saito, D. Aoki, T. Tobe, S. Magaino, *Electrochemistry*, 88, 218223 (2020)

【外部発表】招待講演 2 件