

結晶シリコン太陽電池モジュールの劣化と寿命予測技術

研究の背景

- 第6次エネルギー基本計画において、2030年の電源構成比率として36~38%の再生可能エネルギーの導入目標が掲げられている。このうち太陽光発電は14~16%であり、再生可能エネルギーの主力電源化における役割は非常に大きい。
- 太陽光発電が主力電源として機能するためには、メガソーラーをはじめ、今後導入が見込まれる水上、空港、工場屋根、ビル壁面などの設置場所での長期安定稼働が求められる。
- 結晶シリコン太陽電池モジュール(パネル)は、初期劣化、経年劣化の順に劣化が進行し、最終的に寿命に至る。太陽電池モジュールの試験に関して、JIS61215では「JIS61215で実施する一連の試験の目的は、PVモジュールの電氣的及び熱的特性を決定し、かつ、費用及び時間の制約内で可能な限り、PVモジュールが一般の屋外の気候に長時間さらされても耐えることを確認することである。適格性が確認されたPVモジュールの実際の期待寿命は、PVモジュールの設計、使用環境及び運転される条件に影響を受ける。」¹⁾とされているところ、**太陽電池モジュールの寿命に関する規格がない**。太陽光発電が社会インフラとして機能するためにはモジュールの生涯発電量が重要であり、寿命の評価・予測が必要となる。

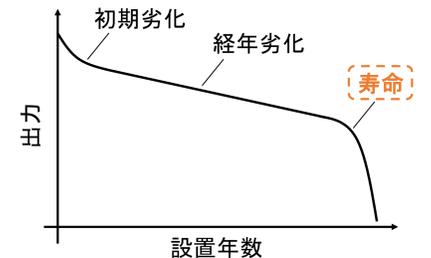


図1 結晶Si太陽電池モジュールの劣化挙動

結晶シリコン太陽電池の湿熱ストレス加速試験による寿命の評価

- 図2、図3は太陽電池モジュールの湿熱ストレスにともなうFF特性の推移である。モジュールは封止材EVAが異なる2種類を準備し、TypeAとTypeCが一般のEVAを、TypeBとTypeDが高耐久EVAを用いている。加速試験は図に示すストレス水準で行った。図2には、試験時間に対応したモジュールのEL像を示した。
- 湿熱ストレス寿命の評価は屈曲が現れる試験時間まで行う必要がある。**IEC規格試験²⁾の条件である85°C85%RH 1000時間(図2(b)のオレンジ矢印)を超えても屈曲劣化が観測できなかったTypeBにおいても、95°C95%RHでは屈曲変化が顕在化した。**
- 図2のEL像において、試験時間に伴いバスバー周辺に暗部が発生している。湿熱ストレスによる劣化は電極の腐食に起因することが多く、一度劣化が始まると急速に進行するのが特徴である。EVA中の酢酸によってAg電極/Si基板界面のガラス層が腐食され、FF特性が急激に低下することが報告されている³⁾。

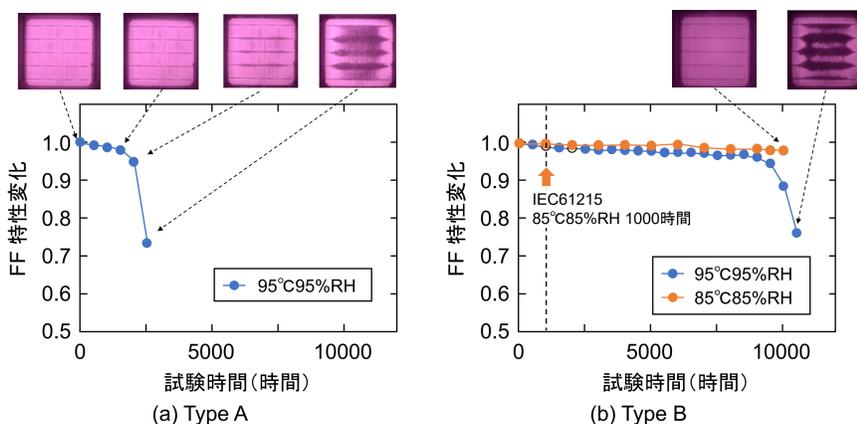


図2 太陽電池モジュール(PERC,1セル)の湿熱ストレスによるFFの変化率。縦軸は試験前のFFを1.0としている。

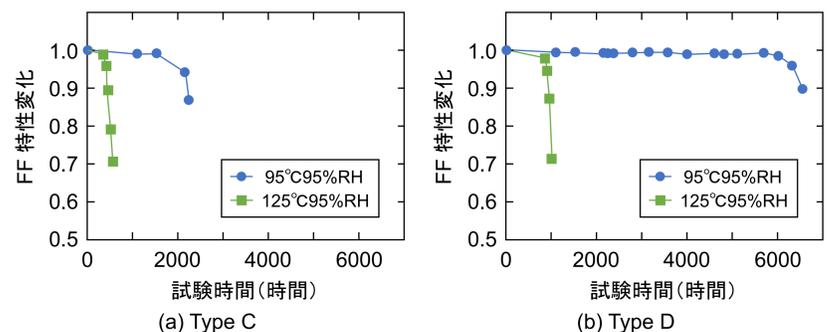


図3 太陽電池モジュール(AHBSF,1セル)の湿熱ストレスによるFFの変化率。縦軸は試験前のFFを1.0としている。

結晶シリコン太陽電池モジュールの寿命予測

- 加速試験の結果をもとに市場での太陽電池モジュールの寿命を予測する技術が開発されている⁴⁾。寿命の予測に用いる加速試験の必要条件として、図2と図3で示したように、**①寿命劣化が観測されるまで(屈曲が確認できるまで)実施すること、②2水準以上のストレス条件で実施すること**、が挙げられる。後者はアレニウス則に従い活性化エネルギーの算出に用いられ、劣化メカニズムの考察と寿命劣化予測の物理的根拠となる。さらに、**③複合ストレス試験を実施すること**が挙げられる。市場に設置するときの実環境では湿熱に加えてUV光など複数の環境ストレスが同時に掛かっているため、市場での寿命劣化の予測には不可欠である。
- 太陽光モジュール寿命予測の報告(図4)に図3の湿熱ストレスによる寿命の結果(FF10%低下する試験時間、図中の●および■)をプロットしたところ、従来の予測⁵⁾に整合する結果が得られた。図中×でIEC規格試験の条件を示す。

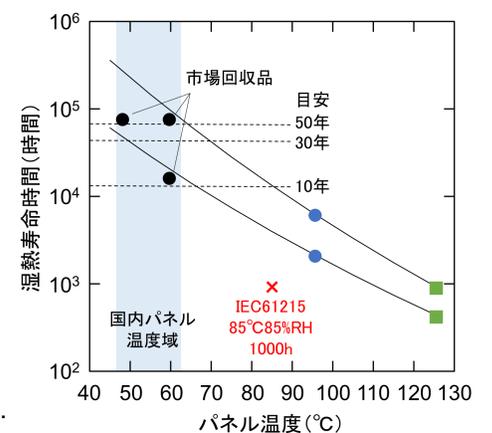


図4 加速試験にともなう太陽電池モジュールの寿命予測。参考文献5のFig.1を加工。

結論

- 太陽電池モジュールの湿熱ストレス加速試験によるFF特性変化の結果をもとに寿命について議論した。
- 寿命を定量的に議論するためには、FFの屈曲変化が現れる試験時間まで観測するなど、適正な加速試験が必要である。
- 長寿命で生涯発電量が多いパネルの開発には、適正な加速試験に基づく寿命の評価とメカニズムの議論が必要である。

謝辞

- 本研究において各種試験を行った伊野裕司氏(元産総研)に感謝する。

参考文献

- JIS C 61215-1:2020 地上設置の太陽電池(PV)モジュール — 設計適格性確認及び型式認証 — 第一部:試験要求事項(日本規格協会)。
- IEC61215-2 Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval- Parts: Test procedures (INTERNATIONAL ELECTROCHEMICAL COMMISSION)。
- 新楽浩一郎,「結晶シリコン太陽電池パネルの劣化寿命予測」(加速試験の実施とモデルを活用した製品寿命予測, 技術情報協会)p.145 (2023)。
- 特許6811974号, 特許6818307号, 特許6837649号
- 新楽ら, 第67回春季応用物理学学会, 14p-A402-7 (2020)。

再生可能エネルギー研究センター太陽光モジュールチーム: <https://www.aist.go.jp/fukushima/ja/unit/pmac.html>

棚橋克人¹, 白澤勝彦¹, 平藤駿介², 吉田篤司², 伊藤憲和², 立花福久¹, 高遠秀尚¹, 新楽浩一郎²
1. 産業技術総合研究所 再生可能エネルギー研究センター, 2. 京セラ株式会社

