

別紙 1 (博士論文の審査結果の要旨)

専攻名 システム創成科学専攻

氏 名 佐藤梨都子

太陽光発電が長期安定化電源として発展するためには、積算発電量の評価を必要とする。太陽光発電は、制御できない日射照度や温度といった気象条件によって出力が変化する。さらに太陽電池の中には、曝露された環境履歴によって発電性能が変化するため、以前と同じ日射照度や温度といった環境であっても、異なる発電量を示すものがある。本研究では、そのような発電性能変化を準安定性と呼び、準安定性が積算発電量へ与える影響について、有機薄膜太陽電池 (OPV) と結晶 Si 裏面パッシベーション (PERC) 太陽電池について調査した。

第 1 章では、太陽電池の種類や特性、太陽光発電システムの概要など一般的なことについて述べ、太陽光発電の現状および本研究の目的を示した。

第 2 章では、本研究における太陽電池の評価方法を説明した。太陽電池の評価には、国際規格にて標準試験条件 (STC) が定められている。産業技術総合研究所九州センターの屋外曝露試験場では、市販の太陽電池が発電設備として系統連系負荷に接続されている。本研究では、室内測定と屋外測定の双方を用いて太陽電池モジュールを評価した。室内測定では、屋外曝露された太陽電池モジュールを定期的に設置架台より取り外し、ソーラシミュレータを用いて STC での電流-電圧 (I - V) 特性を取得した。一方、屋外測定では、太陽電池モジュールを直並列で構成した太陽電池アレイの I - V 特性、斜面全天日射照度と太陽電池の温度を得て、STC における日射照度で規格化したシステム出力係数 (PR) と、STC の温度である 25 °C で PR を規格化した $PR_{T=25}$ を算出し、太陽電池の発電性能の経時変化を常時観察可能とした。

第 3 章では、3 年半にわたる OPV の屋外曝露の

結果をもとに、実環境下における発電量の経年変化および季節変動について述べた。まず、屋外曝露されている OPV アレイの発電量を解析した結果、これまで報告されている初期の急激な劣化と、続く緩やかな二次劣化を確認した。さらに、これまでの報告に加え二次劣化中の OPV アレイの発電量は、夏季に上昇し冬季に低下する季節変動を示すことを明らかにした。また、初期状態から約 1 年間暗所保管していた OPV モジュールへ光照射したところ、発電性能の向上と、その後の暗所保管による発電性能の低下を観測し、さらにこれらが可逆変化であることを確認した。光照射効果による出力上昇飽和に比べ、暗所保管による出力低下は極めて大きな時定数を有するため、日照のある屋外での積算発電量評価には大きな影響はないことが分かった。

OPV アレイの発電量が夏季に上昇する原因の一つに、過去の研究報告から熱回復が考えられたため、熱履歴と発電性能の関係を調査した。二次劣化中の OPV モジュール 4 枚を、恒温槽で温度一定環境に保持し、発電性能が変化するか否かを経時的に観察した。冬と夏の屋外モジュール裏面温度を考慮し、保持温度を -10、10、30、60 °C としたところ、60 °C に保持したモジュールのみ熱回復が見られた。さらに、二次劣化中の OPV モジュールの温度係数を求め、毎月の $PR_{T=25}$ を得たが、発電性能の季節変動は消えなかった。これらの結果から、OPV の熱回復が発電性能の季節変動をもたらすことが明らかになった。

第 4 章では、PERC 太陽電池の発電量について、これまでに室内測定で報告されている光誘起劣化 (LID) に焦点を絞り、屋外曝露初期の発電性能の変化について述べた。2 型式の PERC 太陽電池に対して、異なる回路条件下で、屋外曝露による光照射を実施した。室内測定の結果、劣化の程度は異なるものの、両型式のいずれの回路条件でも屋外曝露開始直後に LID が観察された。開放回路条件において光照射直後に約 5% も出力が低下したモジュールでは、完全回復しなものの光誘起回復 (LIR) も見

られた。曝露中の各回路条件における PERC 太陽電池の温度の解析から、LID に比べ LIR は高温状態を必要とすることが示唆された。

第 5 章では、第 3 章及び第 4 章で得られた知見から、OPV と PERC 太陽電池の発電性能について減衰曲線の推定モデルを提案し、準安定性が積算発電量に与える影響を検討した。推定減衰曲線モデルのフィッティングの結果、系統電源としての OPV の寿命は曝露開始から 3 年程度と推定した。また、熱回復による発電性能の回復割合が、長期運用時の積算発電量に与える影響は大きいことが示された。一方、PERC 太陽電池は、本研究の解析対象期間では安定化していないと考えられ、推定モデルは得られなかった。

第 6 章では本論文で得られた結果についてまとめ、今後の課題についても触れた。本論文では、環境履歴により発電性能が変化する準安定性に焦点を絞った。積算発電量の評価のためには、劣化や準安定性に加え、日射照度や温度のみならず、スペクトルなどを考慮した発電量評価も必要であり、今後の課題としたい。

以上、本論文は、準安定性が積算発電量へ与える影響について、有機薄膜太陽電池 (OPV) と結晶 Si 裏面パッシベーション (PERC) 太陽電池について有用な知見と指針が示されている。

令和 2 年 2 月 14 日に実施した博士論文公聴会においても種々の質問がなされ、いずれも著者の説明により質問者の理解が得られた。

また、本研究は、審査付学術論文 7 編 (うち第一著者 3 編)、学会発表 59 件 (うち国際会議 21 件) 等で報告されており、著者は研究者としての十分な能力を有していると言える。

以上の審査結果に基づき、本論文は博士 (工学) の学位を授与するに値すると判断され、審査員全員一致で合格と判定した。