

太陽電池モジュールの加速劣化試験による評価

スネイルトレイルの温度サイクル試験およびホットスポットの高温高湿試験

Evaluation of PV modules by accelerated degradation tests

Thermal-cycle test for snail-trail modules and dump-heat test for hot-spot modules

(電力技術研究所 発電G 環境エネルギー T)

太陽電池モジュールでは運転初期段階においてスネイルトレイルやホットスポットなどの劣化兆候が見られることがある。これらの性能低下への影響を加速試験により評価した。⁽¹⁾

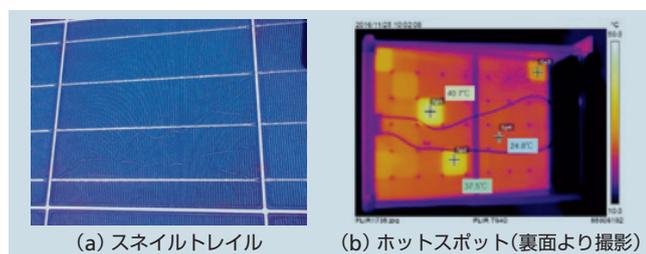
(Environment and Energy Team, Power Generation Group, Electric Power Research and Development Center)

In the early stage of PV operation, modules occasionally show signs of some degradation, snail-trails, or hot-spots. Therefore, we evaluated those modules through accelerated degradation tests.

1 はじめに

太陽光発電設備では、据付時や運転初期において太陽電池モジュールにスネイルトレイルやホットスポットなどが発現することがある。(第1図参照) これらの現象は、一般的に初期段階では発電性能や設備の健全性にほとんど影響はないとされているが、その進展について評価した事例は少ない。⁽²⁾

そこで、これらの現象が進展した場合の影響について加速劣化試験により調査した。



第1図 劣化兆候の事例

○スネイルトレイル

シリコンセル部分に発生した微小なクラックが、浸入した水分などの影響で特有の模様を示す現象。

○ホットスポット

一般的には影などの影響でセルが発熱する現象を指すが、ここではセルが局所的に温度上昇した部分を示す。

2 対象モジュール

評価の対象として、実際に運用中の太陽光発電設備において上記劣化兆候の発生したモジュールを用いた。いずれも、試験開始時において3～5年の運転期間を経過している。スネイルトレイルモジュールについては、兆候のないモジュール(リファレンスモジュール)を含めて2台、また、ホットスポットモジュールについては3台(うち表面ガラス破損1台)とリファレンスモジュールを含めた4台とした。

3 加速劣化試験

試験条件については、それぞれの要因の進展を加速できると考えられる条件とした。また、試験開始前と試験中、定期的なI-V特性、絶縁性能測定、エレクトルミネッセンス(EL)検査*、およびホットスポットの調査を行った。

*PVに電流を流すと発光する性質を利用した検査手法。

発電性能が低下している箇所は発光不良となって現れる。

(1) スネイルトレイルモジュール

スネイルトレイルの発生原因であるクラックの進展による性能への影響評価を行うための試験方法として、温度サイクル試験(Thermal-Cycle(TC)試験: IEC61215準拠; 温度-40⇔85℃繰り返し)を行った。試験サイクルは通常200サイクルが5～10年相当と考えられるため、20年相当の使用を模擬するため600サイクルとした。⁽³⁾

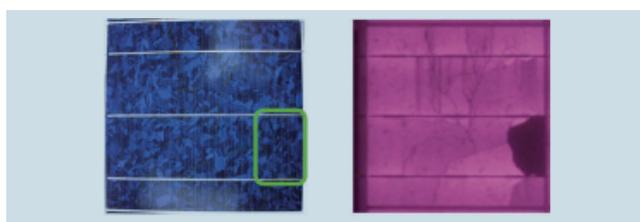
(2) ホットスポットモジュール

ホットスポットの進展については、屋外での使用環境を模擬するため、試験方法を高温高湿試験(Dump-Heat(DH)試験: IEC61215準拠; 温度85℃・湿度85%で保持)とした。試験時間は通常1,000時間が5～10年相当と考えられるため、3,000時間(20年模擬)とした。⁽³⁾

4 劣化評価

(1) スネイルトレイルモジュール

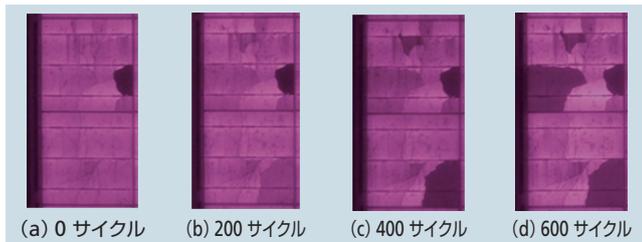
①初期性能 最大出力は定格の99.0%(リファレンスモジュール99.6%)、湿潤リーク電流試験結果(絶縁性能)も良好(>40MΩ)であった。EL検査ではスネイルトレイル部分に暗部が確認された。(第2図参照)



第2図 スネイルトレイルのあるセルの外観とEL画像

これは、スネイルトレイルの発生原因であるクラックの熱膨張・伸縮により電極が断線し、電氣的に分断されたことで集電不良箇所が発生したものと考えられる。

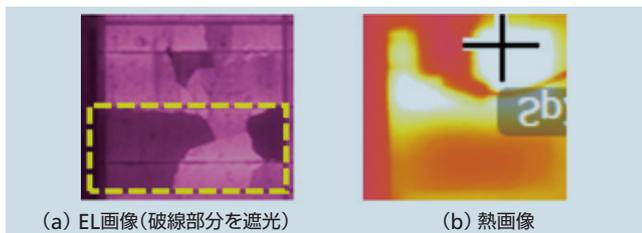
②加速劣化試験 試験前と比較した最大出力の保持率は96.6% (リファレンスモジュール97.4%) であり、絶縁性能も含めて健全性が維持されていたと考えられる。第3図に変化が著しかった2セルの時間経過毎に撮影したEL画像を示す。



第3図 スネイルトレイルの経時変化(2セル分)

上側セルでは試験前から暗部が存在していたが、時間経過に伴い同じセルに新たに2カ所発生した。このセルにおいて暗部は面積の1/4程度になっていた。また、下側のセルでは初期段階で暗部は存在しなかったが、時間経過とともに暗部が発生し、より鮮明になっていたことが確認された。

スネイルトレイルの発生状況によっては集電不良箇所の面積割合はさらに大きくなることも予想される。そこで、セル中の集電不良面積割合が増加したケースを模擬するため、セルの1/2部分を遮光したところ、当該セルにホットスポット (周辺温度+約30℃) が発現した。(第4図参照)



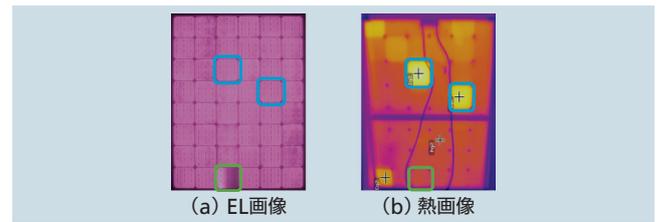
第4図 1/2部分を遮光したセルの発熱状況

以上の結果から、スネイルトレイルの進展に伴い発生した集電不良箇所は、個別セル中の面積割合が1/2以上になるとホットスポットが発現する可能性があり、セル中面積割合もさらに増加する可能性がある。

(2) ホットスポットモジュール

①初期性能 最大出力は定格の95.5~98.5% (リファレンスモジュール96.4%)、絶縁性能も良好であった。しかし、ホットスポットの原因がガラス面の破損のモジュールでは、最大出力は定格の27.9%、絶縁性能も0.5MΩまで低下していたため、この時点で余寿命はないと考えられた。

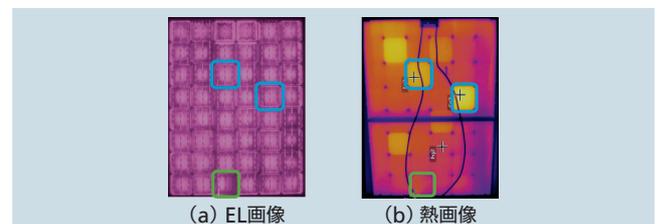
EL検査では、ホットスポットの発生箇所に暗部は確認されず、発生原因の特定はできなかった。また、暗部のあるセルの温度上昇も確認されなかった。(第5図参照)



第5図 ホットスポットモジュールの画像(DH試験前)

②加速劣化試験 性能低下が顕著で、試験前と比較した最大出力の保持率 [%] (ホットスポットモジュール/リファレンスモジュール) は、1,000時間時点で (77.0~84.3/80.0)、2,000時間時点で (68.6~70.1/69.7)、3,000時間時点で (27.4~30.2/29.9)、とそれぞれ大きく低下していた。このような、新品でなく一定期間使用したモジュールのDH試験による著しい性能低下については他の研究機関からすでに報告されており⁽⁴⁾、同様の結果となった。

これらの理由から20年相当の性能低下は、リファレンスモジュールの性能低下状況により1,000時間時点でのデータにより評価を行った。その結果、ホットスポットのあるモジュールでは、20年相当と考えられる運転状態において、ホットスポットを原因とした性能低下は発生しておらず、EL検査での暗部の増加やセル温度の上昇も見られなかった。(第6図参照)



第6図 ホットスポットモジュールの画像(DH試験後)

5 まとめ

スネイルトレイルやホットスポットのあるモジュールの加速劣化試験を行い、20年の経過を想定した劣化の進展を調査した。

その結果、スネイルトレイルモジュールでは、経年による集電不良箇所が発生し、ホットスポットになる可能性があることが分かった。

また、ホットスポットモジュールでは、発生原因が不明なケースでは進展は少なく、ガラス割れのあるモジュールではすでに余寿命はなく、安全面からも取替を要すると考えられた。

参考文献

- (1) (一社)電気学会平成30年度電力・エネルギー部門大会要旨集1-6-129
- (2) Han-Chang Liu et al., Energy and Power Engineering, 2015, 7, 348-353
- (3) 第II期高信頼性太陽電池モジュール開発・評価コンソーシアム最終成果報告書,4章,(独)産業技術総合研究所太陽光発電工学研究センター(2014)
- (4) T. Ngo et al., Jpn. J. Appl. Phys. 55, 052301 (2016)



執筆者/菟田峰生