高経年太陽電池モジュールの劣化評価

性能評価と微細構造の分析による劣化要因の検討

Deterioration Evaluation of Aged Solar Cell Modules

Examination of Deterioration Factors by Evaluating the Performance and Analyzing the Microstructure

（電力技術研究所　発電G　環境エネルギーT）

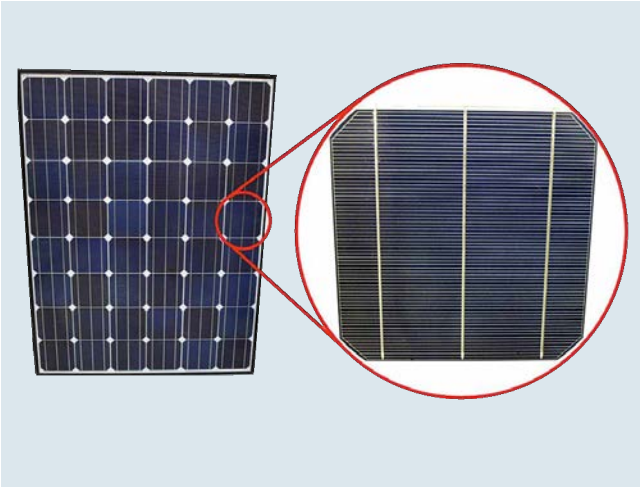
太陽電池はメンテナンスフリーといわれているが、長期間使用することにより出力の低下や、発熱などの不具合が発生する場合がある。そこで、長期間使用した太陽電池モジュールを用いて、発電性能の低下と不具合の発生状況について調査した。

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

Solar cell modules are said to be maintenance free, but if we use modules for a long term, its performance will be decreased, and its temperature might be raised.
So we have made study on long term operated solar cell modules, and investigated the performance decrease and other troubles.

1 背景および目的

太陽光発電設備は長期にわたり効率的に運用することが望ましい。そのためには、太陽電池モジュールの経年劣化傾向を把握し、設備不具合などによるトラブルを防止することが重要と考えられる。現状では劣化メカニズムや劣化セルを長期間使用した場合の影響は明らかになっていない。そこで、（株）シーテック殿と共同で長期間使用した太陽電池の電気特性測定と劣化状況の調査を行い、劣化メカニズムの解明と設備トラブルによる公衆保安への影響について検討した。太陽電池モジュールとセル（拡大）を第1図に示す。



第1図　太陽電池モジュール（左）とセル（右）

2 性能調査

本研究で用いた高経年太陽電池モジュールは四国電力（株）殿から譲渡を受けた。これらは20年以上使用された国内に存在する最も古い太陽電池のひとつであり、性能低下や破損により取り替えられ保管されていたものである。

外観検査において観察された劣化状況としては、電極の腐食、ガラスの破損、表面および封止材の変色、端子ボックスの剥離・熱変形などが多く見られた。

また、電気特性の把握できるモジュールについて出力（W）を測定したところ、約9割のモジュールにおいて定格値の80％以上、約20年の使用期間相応の性能を有していた。

3 ホットスポットの観察

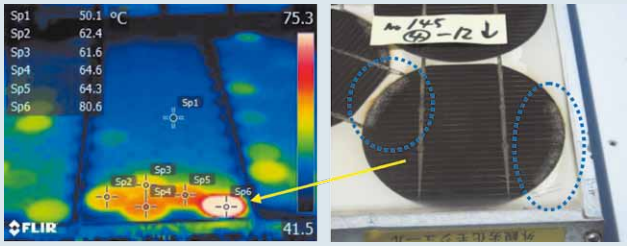
ホットスポットは、セルに影のかかった場合や、不具合があった場合に部分的に温度が上昇する部分をいう。ホットスポットはサーモカメラなどを用いて比較的容易に観察することができる。今回は、単体のモジュール毎に発電状態を模擬することで温度上昇発生の有無を確認した。その結果、全体の約半数のモジュールにホットスポットが確認された。

実際の太陽光発電設備においては、ホットスポットはモジュールの一部に影がかかったり、鳥の糞などによる汚れが原因で発生する場合が多い。これらは一過性であり、影や汚れなどの原因がなくなれば解消される。一方、セルに何らかの不具合がある場合にもホットスポットが発生することがあり、この場合、ホットスポットは不具合を発見する手がかりとなる。

第2図にホットスポットの事例を示す。このセルでは周辺温度と比べて約30℃高く、80℃まで上昇していた。また、当該箇所の外観を調べたところ、電極部分に腐食が発生していることが観察され、このような腐食が原因と考えられるホットスポットが多く見られた。

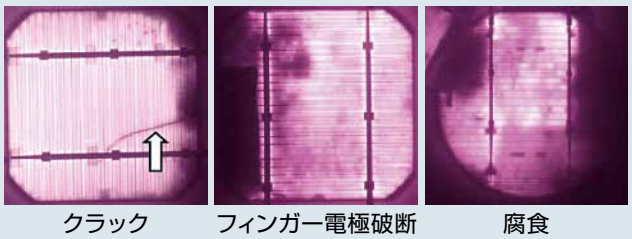
4 エレクトロルミネッセンス（EL）検査

太陽電池は発光ダイオードと同様の半導体であるため、外部から電流を流すことによって発光する。この現象をエレクトロルミネッセンス（EL）という。太陽電池が健全な状態であれば一様に発光するが、一部のセルに不具合がある箇所では部分的に暗くなる。結晶シリコン型の太陽電池では、発生した近赤外光を特殊なカメラで



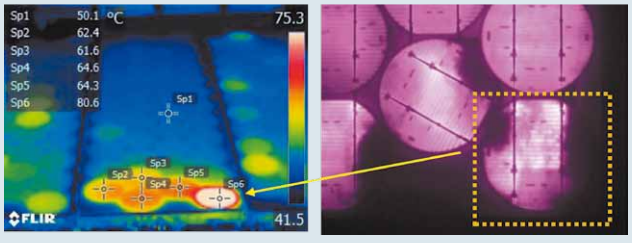
第2図　ホットスポットとセルの外観

撮影することにより、劣化箇所を特定することができる。この手法を用いて高経年モジュールを検査した。第3図にEL検査により確認された不具合箇所の事例を示す。暗部の状態により、セルのクラック、製造時に発生したと思われる電極の破断、腐食などの不具合を推定することができた。



第3図　EL画像の事例と不具合の関係

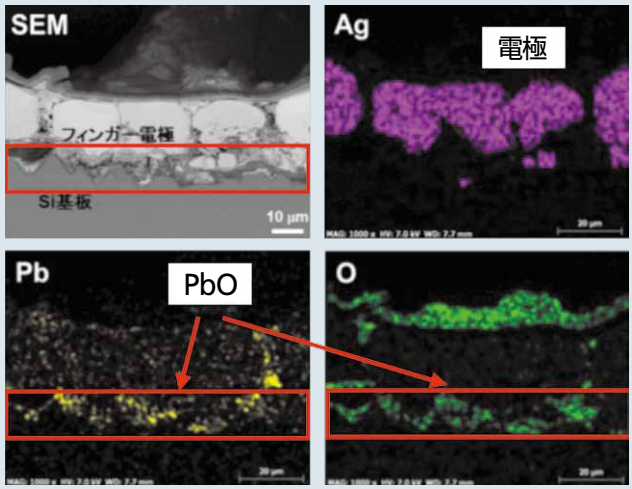
また、第2図で観察されたホットスポット箇所では、腐食の発生部分に対応してEL画像に暗部があることが確認された（第4図）。



第4図　ホットスポットとEL画像の暗部

5 電子顕微鏡による微細構造分析

微細構造分析のためのサンプル切断方法として、複数の物理的・化学的な性質が異なる材料を積層した構造を保つことが可能なウォータージェットによる切断方式を採用した。この方法により切出した領域（断面）の電子顕微鏡（SEM）による観察とエネルギー分散X線分光法（EDS）による元素分析を行った。代表事例として第2図のホットスポット発生箇所の分析結果を第5図に示す。



第5図　電子顕微鏡写真と元素分析の結果

この領域では、セル（Si）と電極（Ag）の間に鉛（Pb）と酸素（O）が確認された。これは酸化鉛（PbO）と推測され、電気伝導度が低いためセルと電極の間の電気抵抗が増加し、当該セルの正常な部分に電流が集中したことによりホットスポット（発熱）が発生した。原因としては、水の浸入により封止材が分解して発生した酢酸が電極に含まれる鉛成分を腐食したことが推測された。

6 まとめ

今回、高経年太陽電池モジュールの劣化状況調査により、性能低下の主な原因やその症状としてのホットスポットの発生について把握できた。太陽光発電設備においてホットスポットが確認された場合、その発熱状況を把握して設備の保守管理をすることが必要である。しかし、ホットスポットが進展し、発熱温度がモジュールの可燃性部材（封止材）の発火温度（約450℃）まで上昇する可能性がある。モジュール単体としては延焼の可能性は低いと考えられているが、可燃物が近傍にある場合には火災に至るリスクが高まる。

このため、公衆保安確保の観点では、設備の周辺に可燃物（落ち葉、営巣材、枯草等）のない状態にしておくことが重要であり、モジュールの異常発熱を防止するための保護回路（バイパスダイオード）が正常に機能していることにも注意する必要がある。

今後は、本研究の成果を太陽光発電設備の保安管理へ活用していきたい。

執筆者／菰田峰生