

# 太陽電池モジュールの環境劣化による故障の診断に関する研究

材料環境部

河合信次 平井智紀

生産技術部

福島章吾

株式会社 戸上電機製作所

相島 武 片淵 健

太陽電池モジュールにおける漏電を検知及び検出する技術開発のために、人為的に漏電状態となるモジュールを作製することを目的とし、市場に流通する結晶系 Si 市販モジュールに対して三点曲げ変形治具付き温度サイクル (TC) 試験及び水没試験を実施した。その結果、200 サイクルの TC 試験及び 30 日間の水没試験実施後においても、モジュールの絶縁抵抗の低下は確認されなかった。

## 1. はじめに

2012 年 7 月 1 日の再生可能エネルギー全量固定価格買取制度開始に伴い、住宅用システムに加え、大規模太陽光発電システム施設 (メガソーラ) が急速に普及し始めている。太陽光発電システムが長期間にわたって運用されるためには発電量の確保と共に、その運用期間中における安全性の確保が求められる。安全性に関しては、太陽光発電システムは他の工業製品及び発電設備とは異なり、直流の発電であるため、感電や火災といったリスクが存在する<sup>1), 2)</sup>。なお、交流の場合はパワーコンディショナを介しているため、漏電等のリスクは遮断することが可能である。太陽光発電の先進地であるヨーロッパやアメリカでは既に太陽光発電システムが出火原因である火災事例が報告されている<sup>3)</sup>。また、最近では日本でも住宅用及び事業用太陽光発電システムにおいてモジュールが出火原因と考えられる火災事故が発生している<sup>4)</sup>。これらを背景として、国立研究開発法人産業技術総合研究所の加藤は、太陽光発電システムにおける保守保安点検の必要性を説いており<sup>1), 4)</sup>、近年直流電気安全性に関する研究が活発化している<sup>2)</sup>。直流電気による火災リスクの主な原因は、モジュールにおけるバイパス回路の開放故障、直流アーク及び地絡であるという報告がされている<sup>5), 6)</sup>。また、太陽光発電システム火災が日中に発生した場合、太陽光が照射する限り、モジュールは発電し続けるため、放水等の消火活動時に感電リスクが生じる。一方、山口等は屋外環境下においてモジュールの絶縁抵抗値が不規則に変動し、不安定であると報告しており<sup>7)</sup>、

これは火災によって誘発された感電リスクとは異なり、モジュールそれ自体に漏電が発生し、感電の可能性があることを示唆している。この不安定現象が発生した場合、太陽光発電システムでのモジュール交換作業で、感電リスクが発生することになるため、漏電箇所の検出及び検知器の開発が急務となっている。漏電箇所の検出及び検知器の技術開発に当たっては、漏電現象を生じたモジュールの入手が必須であるが、そのようなモジュールは一般には入手困難である。

そこで本研究では、我々が培った加速劣化試験方法及び手法<sup>8)</sup>を用いて、人為的に漏電状態となるモジュールを作製することを目的とし、二つの手法で漏電モジュール作製を試みた。一つは治具によってモジュールに対して三点曲げ方式の機械的負荷をかけた状態で、温度サイクル試験 (TC 試験、以下 TC 試験という) を実施し、セル割れ、セル間配線剥離及びバックシート割れを誘発させ、絶縁抵抗値を低下させる試みである。もう一つはバックシートに割れのあるモジュールを水槽中に水没させ、モジュール内に水を浸入させることで絶縁性を下げる試みである。

## 2. 実験方法

### 2.1 供試モジュール

試験には、市販モジュールを用いた (以下モジュール A, B 及び C という)。これらのモジュールは全て多結晶 Si モジュールであり、各モジュールの試験枚数は 3 枚とした。

## 2.2 加速劣化試験

### (1) 変形治具付き温度サイクル試験

文献8では、単独でのTC試験ではモジュールのバックシートに割れが発生していないことが明らかになっている<sup>8)</sup>。そこで本研究では、モジュールに変形治具を取り付け、三点曲げ方式によって機械的負荷をかけた状態で(最大たわみは約25mm)、 $-40^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$ の温度範囲を200サイクル繰返すTC試験を行った。本研究ではこの試験を単独でのTC試験と区別するために、「変形治具付きTC試験」と称し、一方、単独でのTC試験は「単独TC試験」と称することとした。サイクル温度が $25^{\circ}\text{C}$ 以上ではSTCピーク出力電流に相当する電流である7.8~7.9Aを注入した。TC試験にはエスペック(株)製MS-4050を使用した。図1と図2に温度サイクル試験機と直流電源装置の外観をそれぞれ示す。



図1 温度サイクル試験機の外観



図2 直流電源装置の外観

### (2) モジュールの水没試験

DH試験1000時間とTC試験200サイクルを繰返す拡張試験によってバックシート割れを確認した多結晶SiモジュールI<sup>8)</sup>を水槽中に浸漬する水没試験を実施した。モジュールIは拡張試験実施後、試験枚数10枚全てに裏面の端子箱付近よりバックシート割れが発生しているが、絶縁抵抗値は全て測定限界値 $5\text{G}\Omega$ 以上であることを確認している。図3に水没試験の様子を示し、モジュール枚数は1枚とした。



図3 モジュールIの水没試験の様子

## 2.3 モジュール特性評価

### (1) 外観試験

モジュールA、B及びCに表れる外観上の劣化を巨視的に見つけるために、加速劣化試験の前後で外観試験を行った。各モジュールの受光面側では、セル割れ、セル間配線部の劣化様相、気泡、剥離等の有無を、裏面側では、バックシートの変色の有無等を目視でそれぞれ観察した。その結果は、各モジュールの受光面側と裏面の写真撮影を行って、記録した。

### (2) 絶縁抵抗試験

モジュールA、B及びCについて、モジュール通電部とフレーム部が十分に絶縁されているかを調べるために、加速劣化試験の前後で絶縁抵抗試験を行った。絶縁抵抗試験には、菊水電子工業製TOS7200を使用した。なお、測定機の抵抗値測定可能範囲は、上限で $5\text{G}\Omega$ 、下限で $1\text{M}\Omega$ である。

### (3) 電流-電圧(I-V)特性評価

擬似太陽光光源(ソーラシミュレータ)により、モジュールA、B及びCのI-V測定を行った。測定時の条件は標準測定条件(Standard Test Conditions: STC)である入射光放射照度 $1000\text{W}/\text{m}^2$ 、スペクトルAir Mass (AM) 1.5G、デバイス温度 $25^{\circ}\text{C}$ で行った。ソーラシ

ミュレータはパルス光型で（測定時のパルス幅：25 msec）、シャープ製 SHSS-01 を使用した。本測定装置の光源は Xe ランプ 2 灯、Ha ランプ 16 灯で構成されている。スペクトル合致度、放射照度場所むら及び放射照度時間変動率はいずれも IEC60904-9 の等級で最上位の A である。I-V 測定は初期状態および加速劣化試験実施後で行った。I-V 測定から得られるモジュールの短絡電流 (Isc)、開放電圧 (Voc)、最大出力 (Pmax) 及びフィルファクタ (FF) を求め、性能を評価した。なお、水没試験ではモジュールの絶縁抵抗のみを測定した。

### 3. 結果及び考察

#### 3.1 変形治具付き TC 試験

変形治具付き TC 試験実施後のモジュール A、B 及び C は、その全てにおいて、外観及び乾式絶縁抵抗値の変化は確認されなかった。一般に、太陽電池モジュールは屋外に曝露されるため、バックシートは高い絶縁性及び耐候性を有している。併せて、封止材との高い密着性も確保されており、そのことがモジュールの高い絶縁性につながっている。その絶縁性確保のためのモジュール構造から、変形治具付き TC 試験の実施により、バックシートに割れを発生させ、絶縁性を低下させることを試みたが、単独 TC 試験と同様にバックシート割れの発生及び絶縁性の低下は共に確認されなかった。今後はバックシート割れがあるモジュールに対して変形治具付き TC 試験を実施し、そのき裂をより深くすることで絶縁性の低下を検証する。

#### 3.2 モジュールの水没試験

前述のモジュール I について水没試験を行ったが、水没後 7 日間及び 30 日間経過しても、受光ガラス側に変色等の外観変化はなく、絶縁抵抗値はいずれも絶縁抵抗試験器の上限の 5 GΩ 以上であり、抵抗値の低下は確認されなかった。バックシートは接着剤を用いて、ポリエチレンテレフタレート (PET) やフッ素系樹脂を貼り合わせて多層構造にすることにより、高絶縁性を保持している。バックシート割れのき裂が封止剤ま

で達していないため、水の浸入が抑止され、結果として絶縁性低下に繋がらなかったと考えられる。そこで今後は、バックシートを貫通するような深いき裂を入れたモジュールに水没試験を実施し、水浸入効果による漏電発生につながり得る絶縁性劣化について検討する予定である。

### 4. おわりに

人為的に漏電状態となるモジュールを作製するために、三点曲げ変形治具付き TC 試験とモジュールの水没試験を実施した結果、以下の結論を得た。

- 1) モジュール A、B 及び C は、いずれも変形治具付き TC 試験 200 サイクル後においても絶縁特性は変化せず、絶縁性の低下には至らなかった。
- 2) バックシートに割れが著しく発生しているモジュールに対する水没試験では、30 日間経過しても、絶縁性低下が確認されなかった。

本研究を実施するにあたって使用したソーラシミュレータ、TC 試験機、直流電源装置及び絶縁抵抗試験機は、平成 22 年度経済産業省・アジア基準認証推進事業補助金を受けて導入した。

### 参考文献

- 1) 加藤和彦, 電気学会誌, 134, No. 10, 672-676 (2014).
- 2) 大関崇, 電気学会誌, 134, No. 10, 693-695 (2014).
- 3) H. Laukamp et al., Proceedings of 28<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference, 3862-3867 (2013).
- 4) 加藤和彦, 太陽光発電システムの不具合事例ファイル, 日刊工業新聞社 (2010).
- 5) 池田一昭, 電気学会誌, 134, No. 10, 683-687 (2014).
- 6) 石井隆文, 電気学会誌, 134, No. 10, 678-692 (2014).
- 7) 山口富三雄, 中村國臣, 日本信頼性学会誌, 24, No. 4, 333-334 (2002).
- 8) 河合信次, 福元豊, 玉井富士夫, 平成 25 年度佐賀県工業技術センター研究報告書, No. 22, 49-58 (2013).