

# 太陽光発電システムの経年劣化評価技術の研究

－太陽電池の長寿命化を目指して－

橘泰至\* 豊田丈紫\* 嶋田一裕\*\* 中野幸一\*

太陽電池の劣化要因の解明を目的として、工業試験場において10年間以上使用した3つの型式、多結晶シリコン2種(H10設置、H14設置)と単結晶シリコンの太陽電池について、型式毎の発電特性を測定した。その結果、発電出力が実際に低下していることが確認された。そして、比較的劣化が大きい型式の太陽電池では、内部配線の腐食やセルが割れていることが発電特性を低下させる主要因であることがわかった。さらに、-40℃と85℃の温度環境を交互に繰り返す温度サイクル試験によって、太陽電池の劣化の進行を再現することができた。

キーワード: 太陽電池, 劣化, 要因

Evaluation of Age-related Degradation of Solar Power Systems

- Aiming for a Long-life Solar Cell Module -

Yasushi TACHIBANA, Takeshi TOYODA, Kazuhiro SHIMADA and Koichi NAKANO

In order to clarify the factors that degrade solar cell modules, we examined three types of photovoltaic cells that had been used for more than 10 years in IRII. They were polycrystal silicon solar cell modules installed in 1998 and 2002, and a single-crystal silicon solar cell module installed in 1998. We measured their power generation characteristics, and it was confirmed that their power outputs had reduced. We also investigated the cause for the deterioration of solar cells, and found that the main factors that reduced power generation were broken cells and connection failures in the wiring. Furthermore, we were able to reproduce the degradation of solar cell modules using a thermal cycling test that alternated the temperature between -40°C and 85°C.

Keywords: photovoltaic, degradation, factor

## 1. 緒 言

再生可能エネルギーの固定価格買取制度が平成24年から施行され、石川県内でも太陽電池の普及が拡大している。太陽電池の償却期間は10年以上と長い為、長期に渡る太陽電池の耐久性が求められている。しかし、実際に長期間使用された太陽電池の劣化状態を詳しく調べた事例は稀少であり、劣化の実態は分かっていない。そこで本研究では、太陽電池の劣化要因を明らかにすることを目的として、石川県工業試験場(金沢市)において10年以上の期間、屋外で使用した太陽電池の劣化状態を調査した。

## 2. 評価用太陽電池の抽出

### 2.1 太陽電池

工業試験場では、図1に示す総出力209kWのソーラーシステムを平成10年に導入した。平成14年度に一部の太陽電池を補修のために交換したが、設置以降、系統連系による発電を継続しており、構内電源として利用している。傾斜角度16.7°の大屋根には多結晶シリコン太陽電池を南北向きに各804台、同16.7°の越屋根には単結晶シリコン太陽電池を南北向きに各60台設置している。評価用太陽電池の抽出では、稼働中の太陽電池の熱画像を高所作業車で2~15mの距離から撮影し、図2に示すように特徴的な発熱を示している太陽電池を含む48台の太陽電池を、平成24年に取り外して試料とし、劣化要因について詳しく調べた。

### 2.2 外 観

抽出した太陽電池に近接して肉眼による外観検査を行ったところ、太陽電池セルの割れ(図3)や、太陽電池

\*企画指導部 \*\*化学食品部

セルを充填しているEVA(Ethylene vinyl acetate:エチレン酢酸ビニル)と裏面バックシートの黄変色が確認された。セル割れは、積雪荷重や風圧による機械的ストレスが要因として考えられる。発電部が物理的に破損していることから、発電出力が低下すると推察される。EVAやバックシートは、紫外線の影響や水との反応により劣化して変色したものと考えられる。EVAは本来透明色であり、セルの受光面側にも充填されている。変色により光の透過率が低下すれば、太陽電池セルに到達する光量が減少し、発電出力が低下するものと考えられる。

### 2. 3 発電特性

抽出した各太陽電池の標準試験条件(日射照度1kW/㎡, 太陽電池温度25℃, エアマス1.5)における発電特性を、ソーラーシミュレータ(擬似太陽光の光を太陽電池に照射して、太陽電池の発電特性を正確に測定する装置)を用いて測定した結果を図4に示す。測定した各太陽電池の最大発電出力(Pmax)の平均値は、型式A(平成10年設置多結晶シリコン太陽電池)が73.4W, 型式B(平成14年設置多結晶シリコン太陽電池)が116.5W, 型式C(平成10年設置単結晶シリコン太陽電池)が114.3Wであった。各型式におけるPmaxの定格値は、型式AとBが120W, Cが136Wであり、製造初期のPmax値が定格値であったと仮定すれば、型式A, Cは14年間で、Bは10年間の屋外設置を経てそれぞれのPmaxは、型式Aが38.9%, Bが3.0%, Cが15.9%低下したことになる。いずれの型式のPmaxも、定格値より測定値の方が低く、10年間以上屋外に設置したことにより劣化して、発電出力が低下したと考えられる。また、型式Aには、抽出時において熱画像から劣化していると思われる太陽電池16台が含まれており、これが他の型式と比較してPmaxの低下率が大きくなった一要因と考えられる。そこで、劣化が比較的著しいと考えられる型式Aと、同種類の太陽電池で劣化度合いが比較的小さいと考えられる型式Bについて、それぞれ更に調べることにした。

## 3. 劣化要因の考察

### 3. 1 エレクトロルミネセンス画像

太陽電池は、光エネルギーを電気エネルギーに変換するが、逆に外部から電気を印加すると、電気を光に変換して赤外光を出す。この赤外光を撮影したエレク



図1 石川県工業試験場のソーラーシステム

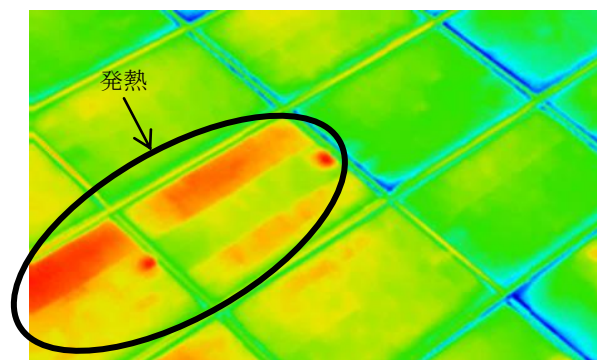


図2 太陽電池の熱画像の例

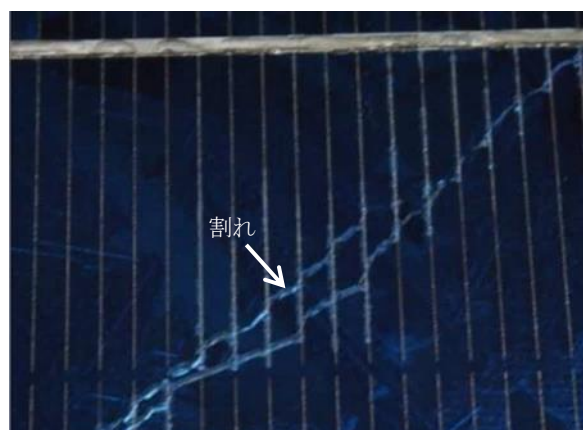


図3 太陽電池の外観例(セル割れ)

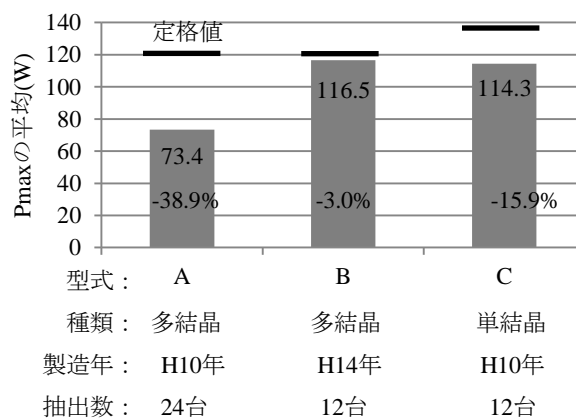


図4 各型式太陽電池モジュールのPmax

トロルミネセンス(Electroluminescence:EL)画像は、正常発電部が発光し、発電異常部は発光せず暗化する。

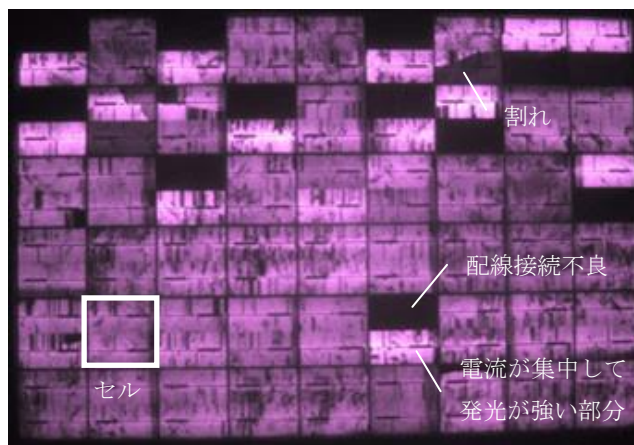
抽出した型式A、Bの太陽電池の中から、Pmaxの測定値が各型式の平均値に近いものをそれぞれ選定し、各型式における定格の短絡電流相当の電流を外部の電源を用いて発電時とは逆方向に流し、暗室において太陽電池の発光面(発電時の受光面)を撮影したEL画像を図5に示す。

型式AのEL画像には、片側半分が暗化し、他方の発光が強くなっているセルが複数確認できる。これは、セル上の2並列の配線のうち、片方で接続不良を生じているためと考えられる。接続不良が生じた側では、電流が流れない(または小電流である)ため暗化し、他方では電流が集中して流れるため周囲のセルと比較して発光が強くなっていると推察できる。この他に、セルが割れることによってセル表面に印刷してある配線が断線して接続不良になっている部分が暗化しているセルも確認できた。このような理由で1/4以上の面積が暗化しているセル(暗化セル)の数と、モジュールのPmaxの関係をグラフにすると図6のようになった。これを回帰分析して導出した一次の回帰式、決定係数(R<sup>2</sup>)、回帰直線、有意確立(p値)も合わせて図6に記載する。ここで、回帰式に用いるxは暗化セルの数、yはPmaxである。この回帰分析の結果から、xの係数は負の値であることが分かり、型式Aではモジュール内の暗化セルの数が1つ増加することでPmaxは2.741W低下する傾向があることがわかった。決定係数R<sup>2</sup>が0.5447であることから、相関係数Rは0.7380となり、中程度の相関で回帰式を導出できている<sup>3)</sup>ことが分かる。また、この回帰分析の有意確立(p値)は5.83E-05(0.05以下)であることから、導出した回帰式は有意<sup>3,4)</sup>であり、これらのことから本回帰分析結果は有効と考える。

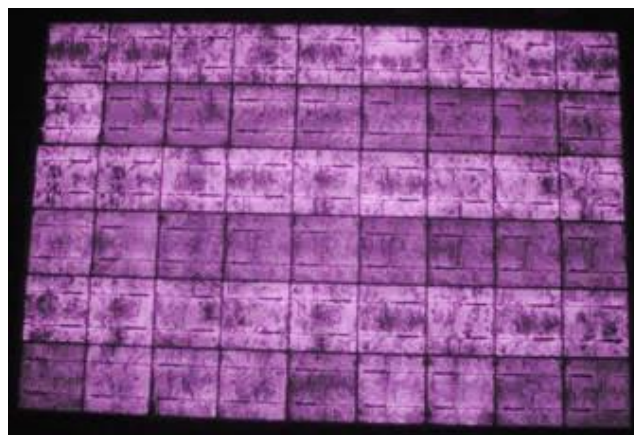
一方、Pmaxの定格値からの低下率が3.0%であった型式BのEL画像では、配線の接続不良やセル割れが原因と考えられる暗化セルは確認できなかった。これらEL画像の違いより、型式Aの太陽電池では、配線の接続不良やセル割れがPmaxを低下させる主要因になっていることが分かった。

### 3. 2 温度サイクル試験

屋外に設置した太陽電池は、昼夜や季節による温度変化の影響を受ける。そこで、温度変化と太陽電池の劣化との関係を明らかにするため、抽出した型式Aの



型式A



型式B

図5 EL画像例

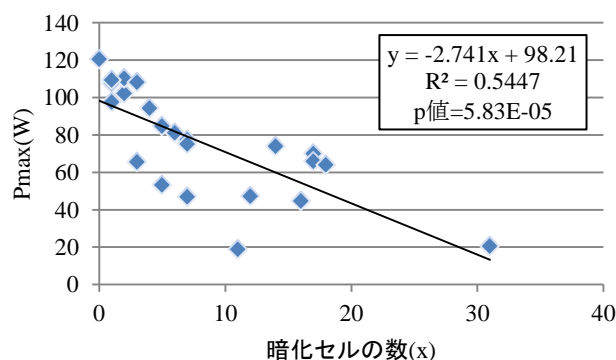


図6 暗化セルとPmaxの関係

中から比較的Pmaxの測定値が高い太陽電池を選定して、JIS C8990に準じて-40℃と85℃の温度環境を交互に繰り返す温度サイクル(Thermal cycling:TC)試験を行った。TC試験を200回繰り返す前と後のEL画像は図7のようになり、TC試験200回後のEL画像にはTC試験前には確認できなかった暗化した部分が新たに複数発生

しており、配線の接続不良やセルの割れが新たに生じたと考えられる。また、標準試験条件におけるPmaxの値は、TC試験200回後に約30%低下して、108Wから76Wになった。これらのことから、TC試験は太陽電池の劣化評価の加速試験として有効であると考えられ、温度変化の影響を受けて進行する太陽電池の劣化現象を再現できた。

### 3. 3 その他の劣化要因

上記以外では、外部から浸入する水が劣化要因として考えられる。太陽電池内部の充填材として使用されているEVAは、水との加水分解により酢酸を生成する<sup>1,2)</sup>。この酢酸によって太陽電池内部の配線が腐食されると、配線の電気抵抗が増大してPmaxが低下すると考えられる。そこでEL画像において、正常に発光する部位と、発光しない部位周辺のEVAを採取して、EVA内部に含まれる酢酸量を測定した。型式Aの他に、国内の屋外で10~22年間設置されていた太陽電池4型式においてもEVAを採取して同様の測定をしたところ<sup>2)</sup>、EL画像において発光しない部位周辺のEVA内部の酢酸濃度は、おおよそ100ppm以上であった。このことから、EVA内部の酢酸濃度が100ppm以上になった場合には、太陽電池内部において配線の腐食が進行して、発電特性を低下させると考えられる。

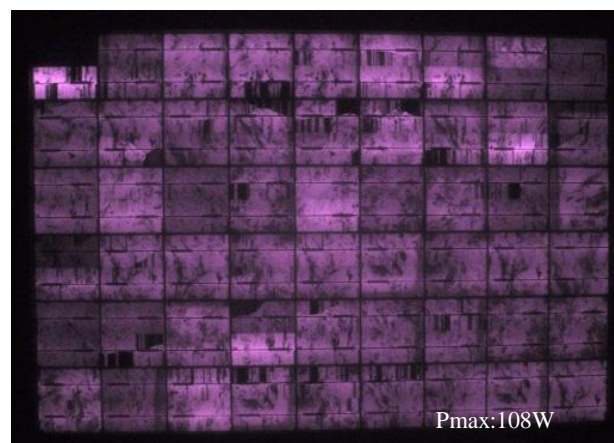
## 4. 結 言

工業試験場において10年間以上屋外に設置していたソーラーシステムの太陽電池3型式について劣化の状態を調べ、次のことが分かった。

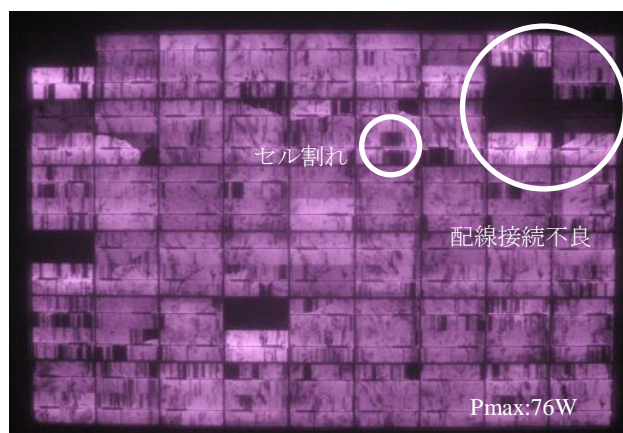
- (1) 劣化程度が比較的大きい型式A(平成10年設置多結晶シリコン太陽電池)における劣化の主要因は、EVAの加水分解により太陽電池内部の配線の腐食が進行して接続不良となることやセル割れが劣化の主要因である。
- (2) -40℃と85℃の温度環境を交互に繰り返す温度サイクル試験は、太陽電池の劣化評価の加速試験として有効であり、温度変化の影響を受けた太陽電池の劣化の進行を再現することができた。

## 謝 辞

本研究を遂行するに当たり、独立行政法人産業技術総合研究所 増田淳氏、阪本貞夫氏、日立化成株式会社 清水成宜氏、大日本印刷株式会社 門脇将氏、凸



TC試験前



TC試験200回後

図7 TC試験前後のEL画像

版印刷株式会社 計智郎氏を始め、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に参画した皆様に、測定のご協力、適切なお助言を頂きました。関係諸氏に感謝致します。

## 参考文献

- 1) 門脇将. “フィンガー電極断面観察”. 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. 独立行政法人産業技術総合研究所. 2014, p.105-112.
- 2) 計智郎. “酢酸分析”. 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. 独立行政法人産業技術総合研究所. 2014, p.119-127.
- 3) 沢田史子, 杉森公一, 大藪多可志. 基礎から学ぶ統計解析 Excel2010対応. 共立出版株式会社, 2011, p.33-91.
- 4) 内田治. すぐわかるEXCELによる回帰分析. 東京図書株式会社, 2002, p.68.