

赤外線カメラによる太陽電池モジュールの故障検出技術の検討

—モジュール温度変化の周波数解析による故障検出—

Study on Fault Detection Technology of PV Module with IR Camera

—Fault Detection by Frequency Analysis of Module Temperature Change—

○藤田直希¹, 西川省吾²*Naoki Fujita¹, Shogo Nishikawa²

Abstract: Solar power generation system has been widely used as a maintenance-free power generation facility. However, there are various faults in practice, and there is a possibility of the loss of output, afire accident, and so on. We have developed the fault detection technology of the PV module with an IR camera and an external power supply. This method applies an AC voltage to the PV module, and the temperature change at that time is observed by the IR camera, and the frequency analyzed. In this paper, we report on the failure detection technique by applying the binary processing to all pixels of the thermal image obtained by the analysis.

1. はじめに

太陽光発電システムは、メンテナンスフリーの発電設備としてこれまで広く普及してきた。しかし、太陽光発電にも様々な故障が存在しており、出力低下が生じるもの、故障の種類によっては火災事故を引き起こすものもある^[1]。現在、太陽電池モジュールの故障検出に関しては数多くの提案があるが故障箇所の特長に長時間を要し、日射強度の影響を受けやすいといった課題がある。筆者らはこれまでに外部から太陽電池モジュールに対して交流電圧を加えることで意図的に規則性を持たせた温度変化をモジュール表面に生じさせ、その温度変化を赤外線カメラによって観測し、周波数解析^[2]することにより正常箇所との差から異常箇所を特定する技術を提案してきた^[3]。今回は、取得した熱画像の全てのピクセルにおいて温度変化を周波数解析して、その結果を二値化することによる故障検出技術について検討したので報告する。

2. 測定原理・方法

2 種類の故障事例(バイパス回路開放、インターコネクタ断線)について調査した。共通事項として電圧印加時間は 400 秒、熱画像は 5 秒毎、印加電圧等の値はデータログにより 1 秒毎で測定した。

〈2. 1〉バイパス回路開放故障 試験に用いたモジュールは最大出力 70W、開放電圧 22.1V のものを用い、屋外で計測した。印加電圧の周波数は 0.01Hz、実効値は開放電圧と等しくなるようにした。試験回路を Figure1、印加電圧を式(1)に示す。Figure1 において、正常クラスターではバイパス回路が働くため、印加電圧のほぼ全てはバイパス回路が開放故障している異常クラスターに印加され、温度変化においても印加電圧の周波

数成分は異常クラスターの方が強く表れる。

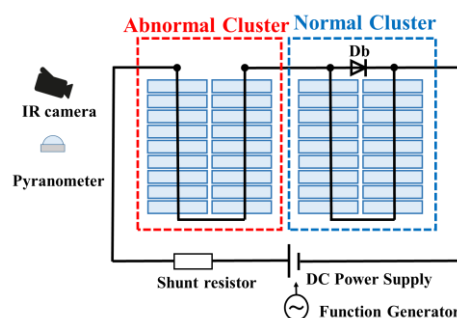


Figure 1. Measuring Circuit(Bypass Circuit Open Failure)

$$v=18.9+15.9\sin \omega t \quad [\text{V}] \quad \dots\dots\dots (1)$$

〈2. 2〉インターコネクタ断線故障 試験に用いたモジュールは最大出力 265W、開放電圧 38.3V、短絡電流 8.97A のものを用い、屋内で計測した。印加電圧の周波数は 0.01Hz、実効値は開放電圧と等しくなるようにした。また、試験中に流れる電流は短絡電流を超えないようにした。試験回路を Figure2、印加電圧を式(2)に示す。

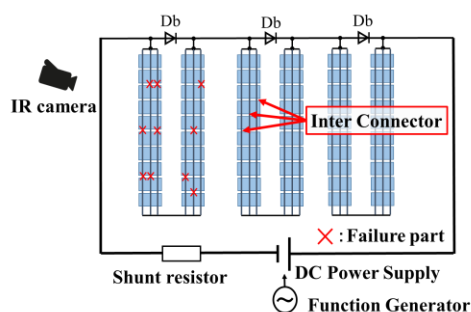


Figure 2. Measuring Circuit

(Inter Connector Disconnection Failure)

$$v=36+4.7\sin \omega t \quad [\text{V}] \quad \dots\dots\dots (2)$$

Figure2 において、正常部分は外部電源からの電流が

通ることによって発熱する。しかし、インターコネクタが断線しているセルの先では電流が流れず温度変化は少ない。このことから、正常部分では印加電圧の周波数成分が表れ、断線先では表れない。

3. 結果

〈3. 1〉バイパス回路開放故障 試験結果の熱画像を Figure3, 各点の周波数結果を Figure4 に示す。Sp1～3 はそれぞれ、異常クラスタ内において温度変化が印加電圧に追従している点、正常クラスタ中心付近、異常クラスタ内において温度変化していない点である。

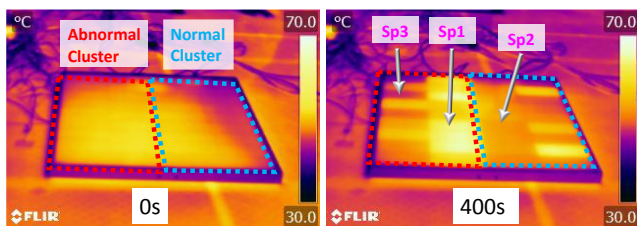


Figure3. Thermal Imaging

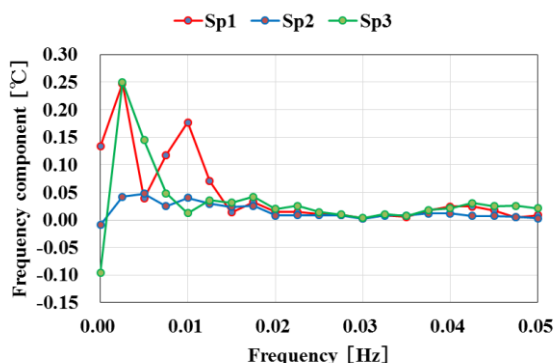


Figure 4. Frequency Analysis Results

Figure3 から分かるように、異常クラスタ内においてもセルの特性差により発熱していない箇所がある。この結果、Figure4 に示す通り Sp1 では Sp2 と比べ印加電圧の周波数成分が十分に強く出ているが、Sp3 では違いが見られない。よって、観測者が選ぶ点によっては開放故障していても故障と判断されない可能性がある。この課題を解消するため、取得した熱画像のピクセル全てにおいて周波数解析し、その結果を二値化したものを Figure5 に示す。なお、閾値は 0.1°C とした。

Figure5 より、異常クラスタ内における約 7 割の部分が着色されている。それに比べ正常クラスタ内では着色部分がないことから異常クラスタの位置を視覚的に発見することが可能となる。

〈3. 2〉インターコネクタ断線故障 Figure6 に当該試験における周波数解析結果を二値化処理したものを示す。なお、閾値は 0.05°C とした。

Figure6 において、モジュール内の黄色い枠線で囲った

部分では、他のセルと比較し印加電圧の周波数成分が表れていない部分が存在する。これは、インターコネクタが断線したことによるもので、この結果よりインターコネクタが断線している位置を特定することが可能である。

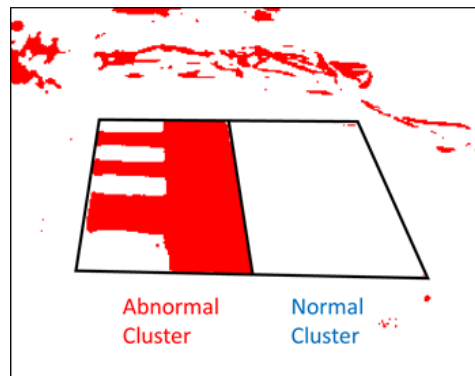


Figure 5. Binarization Imager (Bypass Circuit Open Failure)

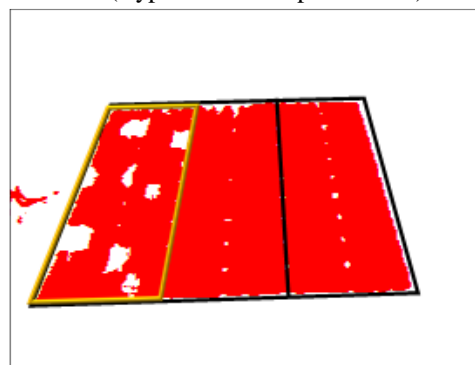


Figure 6. Binarization Imager (Inter Connector Disconnection Failure)

4. まとめ

今回は、太陽電池モジュールの故障検出において、温度変化の周波数解析結果を二値化処理することによる故障検出技術について検討した。この手法を用いることにより、解析結果が可視化でき故障検出が容易になった。また、異常クラスタ内にも発熱しないセルがあることから、二値化処理し可視化することで、故障診断の際に判断を誤る可能性の低減に成功した。今後は二値化処理するにあたっての適切な閾値について調査を進めていく。

5. 参考文献

[1] 池田一昭:「太陽光発電システムの直流電気事故対策 - 1 (バイパス回路の点検)」, 電学誌 134 巻 10 号
 [2] 宇野幸一・磯部直吉:「改定 交流回路」, 東京電機大学出版局, P128~131, 1991
 [3] 藤田直希・西川省吾:「赤外線カメラによる太陽電池モジュールの故障検出技術の検討」, 日本大学理工学部卒業論文, pp.12~17, 2018