

太陽電池モジュールの故障検出技術に関する基礎検討  
I-V カーブおよびインピーダンス計測による故障検出の実用性  
Basic Study on Fault Detection Technique of Solar Cell Module  
Fault Detection by I-V Curve and Impedance Measurement

古川義彦<sup>1</sup>, 西川省吾<sup>2</sup>\*Yoshihiko Furukawa<sup>1</sup>, Shogo Nishikawa<sup>2</sup>

Abstract: So far, solar power generation systems have been told to be maintenance free. However, with the spread of solar power generation systems in recent years, many system malfunctions during operation have been reported. It is preferable to reduce the maintenance cost of the solar power generation system as much as possible. Therefore, we investigated the characteristics of the solar cell module simulated malfunction by using the I-V curve measurement and the impedance measurement, which do at relatively low cost, and made a basic study for malfunction detection. The assumed malfunction is an increase in series resistance, a bypass diode (BPD) malfunction by resistance short-circuit, BPD malfunction by complete open, and complete short circuit. As a result of the survey, it was found that characteristic unique to the impedance and the I-V curve appear depending on the type of the defect.

## 1. はじめに

これまで、太陽光発電(PV)システムはメンテナンスフリーであると言われてきた。しかし、近年では PV システムの普及に伴い、運用時のシステムの不具合事例が多く報告されている。<sup>[1]</sup>したがって、PV システムを運転するうえでは、メンテナンスの実施は必要不可欠である。また、メンテナンスにはコストがかかるが、利用者の経済的負担の削減のため、低コストで行える手法を用いることが望ましい。本稿では、比較的 low コストで行える、I-V カーブ計測と、暗所でのインピーダンス計測の二手法を用いた不具合検出の実用性を明らかにするため、不具合のある PV モジュールを用いて各測定及び結果の分析を行った。

## 2. 太陽電池の不具合の模擬

不具合のある PV モジュールの特性を調査するにあたり、既に不具合が生じている PV モジュールを準備することは困難である。よって、本稿では PV モジュール上に不具合を模擬して特性の測定を行った。また、図 1 は測定に使用した PV モジュールの簡易図である。ここで、 $R_d$  と  $R_s$  は不具合を模擬するために接続した抵抗であり、正常時は  $R_d = \infty$ ,  $R_s = 0$  とする。今回想定する不具合は、(1)バイパスダイオード(BPD)の完全開放故障、(2)BPD の完全短絡故障、(3)BPD の抵抗短絡故障(BPD がある抵抗値をもって短絡した状態。), (4)PV モジュールの直列抵抗成分の増加による故障の 4 種類である。ここで、PV モジュールの直列抵抗成分とは、電子が PV モジュール内を通る経路において、電気抵

抗となる要素の足し合わせのことである。

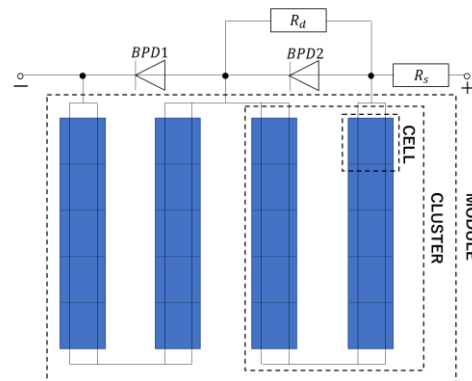


Figure1. Simple drawing of PV module

(1)の故障の場合は、図 1 の BPD2 のみを取り外すことで不具合を模擬した。また、(2)の場合は、BPD2 のみを取り外し、代わりに導線を接続した。(3)の場合は、BPD2 を取り外し、 $R_d$  の抵抗値を任意の値に設定した。(4)の場合は、 $R_s$  の抵抗値を任意の値に設定した。

## 3. 実験方法と計測条件

I-V カーブ計測は、図 1 の PV モジュールの両端に I-V カーブトレサを接続し、十分に日射が当たり、影が表面にかかっていない状態で、各不具合における I-V カーブを測定した。また、インピーダンス計測は、両端に交流電源とパワーアナライザを接続する。次に PV モジュールに光が当たらない状態で、実効値 1V、直流バイアス +0.2V、周波数 50Hz の正弦波を印加する。そして、パワーアナライザで電圧の実効値、電流の実効値、負荷角を測定し、インピーダンスの実部と虚部を算出する。また、周波数は 50Hz から 550Hz ま

で 50Hz 刻みで変化させ、その時々でのインピーダンスの実部と虚部を算出した。また、使用した PV モジュールは多結晶シリコン型であり、測定は不具合を模擬したモジュール単体で行った。

4. 測定結果

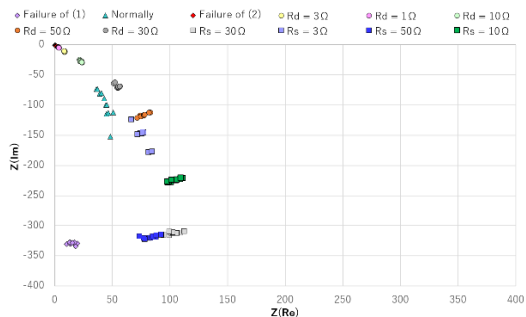


Figure2 The value of the impedance at each failure

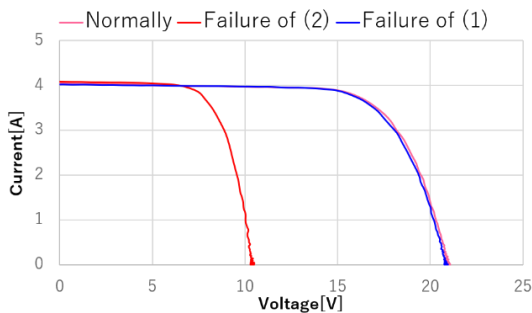


Figure3 I-V curve characteristics in failure of (1) and (2)

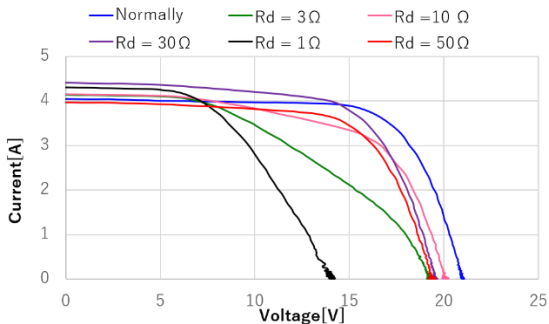


Figure4 I-V curve characteristics in failure of (3)

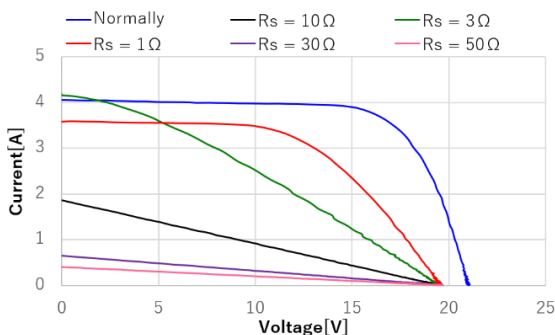


Figure5 I-V curve characteristics in failure of (4)

図 2 は(1)~(4)の不具合において、横軸にインピーダンスの実部を、縦軸にインピーダンスの虚部を取った

グラフである。これより、(1)と(2)の不具合は正常時と比べて大きな差が見受けられるが、(3)と(4)においては、抵抗の値によっては正常時とあまり差が見受けられないことが分かった。

図 3, 図 4, 図 5 は(1)~(4)の不具合において I-V カーブ測定を行い、正常時の I-V カーブと比較している。これより、(1)の不具合では I-V カーブに全く差が見受けられないことが分かった。また、(2)の不具合では、理論通り、開放電圧(Voc)が、正常時の半分になっており、それ以外の変化は認められなかった。

(3)の不具合では、十分に抵抗値が小さい場合には、Voc の値が低下し、Voc 付近の傾きが減少することが分かった。また、全ての抵抗値において、短絡電流(Isc)付近の傾きが、若干大きくなっていることも読み取れる。

(4)の不具合では、抵抗値が上昇するにつれて、Voc 付近の傾きが小さくなっていることが読み取れる。また、抵抗値が十分に大きい場合では、特性が直線状になっており、Voc 付近の傾きが小さくなるにつれて、Isc の値も低下していることが読み取れる。

5. 二手法を用いた不具合検出の実用性

I-V カーブの測定のみでは、(1)の不具合を発見することができない。しかし、暗所でのインピーダンス計測を行えば、正常時と(1)の不具合の間には大きな差を得られる。また、図 2 の結果より、Rd=50Ωの時の(3)の不具合と、Rs=3Ωの時の(4)の不具合は、おおよそ同じ場所に分布しているが、I-V カーブ測定を行えば、Voc 付近の傾きに大きな差を見ることができる。

このように、簡易的に行える二手法を両立して使用することで、検出精度の向上及び実用的な不具合検出が期待できる。

6. まとめ

不具合が模擬された PV モジュールの I-V カーブ計測と、暗所でのインピーダンス計測を行うことで、一部を除き、それぞれの不具合に特徴的な特性変化が見られることが分かった。また、両手法を併用することで検出精度と実用性の向上が望める。

7. 参考文献

[1]若林始・五十嵐剛・大谷謙仁・高島工：「太陽光発電システムの不具合事例に関する設置者の意識調査」, 電気学会電力・エネルギー部門大会, Vol.2009, No.146, pp.08-3-08-4, 2009