

インピーダンス計測による太陽電池ストリングの故障検出技術

—太陽電池モジュールのインピーダンスの調査—

Detection technology of fault of PV string by impedance measurement

—Investigation of impedance of solar module—

○河村健一¹, 栗原勇斗², 山木耄馬², 西川省吾³

*Kenichi Kawamura¹, Yuto Kurihara², Kazuma Yamaki², Shogo Nishikawa³

Abstract: The purpose of this study is to develop a technique to detect the type and degree of failure that occurs in a solar cell string by measuring the impedance of the string. In this paper, we report the results of experiments on the impedance of photovoltaic modules.

1. はじめに

本研究の目的は太陽電池ストリング(複数のモジュールを直列接続したもの)のインピーダンスを計測することにより, ストリング内で発生した故障の種類と程度を検出する技術を開発することである. 本稿では太陽電池モジュールのインピーダンスについての実験結果を報告する.

2. 試験内容

本試験では, モジュールの16枚のセル(多結晶 Si, 15cm 角)とバイパスダイオードが並列に接続されたクラスタが2つ直列に接続されているモジュールを用いた. これを正常モジュールとし, 片方のバイパスダイオードを開放させたモジュールを開放モジュールとした. また, 計測中はモジュールに光が当たらないように黒いカバーの上に置いて測定した. Figure1 に測定回路を示す.

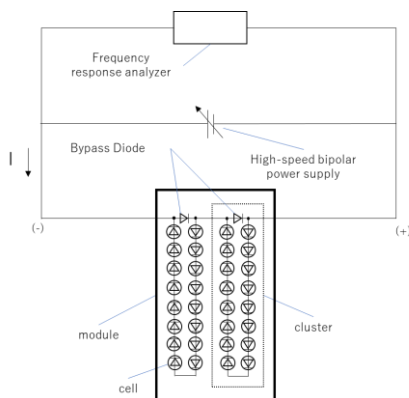


Figure1. Measurement circuit diagram

- (1) 各モジュールのインピーダンスの周波数特性を調査した. 以下に計測条件を示す.

A) 印加電圧: $V_a = 5.0V$

B) バイアス電圧:

$$V_b = 0, -1.0, -2.0, -3.0, -4.0V$$

C) 測定周波数範囲: 100mHz~1MHz

計測結果からコルコルプロットを作成した.

- (2) 各モジュールの回路構成と回路定数を求めた.

3. 試験結果

Figure2 に各バイアス電圧における開放モジュールと正常モジュールのインピーダンスのコルコルプロット, Figure3 に各バイアス電圧における正常モジュールのインピーダンスのコルコルプロットを示す. なお, 正常モジュールの $V_b = -3.0, -4.0V$ のときは機器がオーバーロードになり, 測定不可能だった.

Figure2 より, 開放モジュールでは, 虚部が負となる半円を描いているため, モジュール全体の等価回路は RC 並列回路であると考えられる. 一方, 正常モジュールは, 値が非常に小さく, 点のように表された. また, ばらつきはあるものの V_b が 0V の場合は負電圧に比べ半円の大きさが小さく, V_b の大きさによりインピーダンスが変化することが分かる.

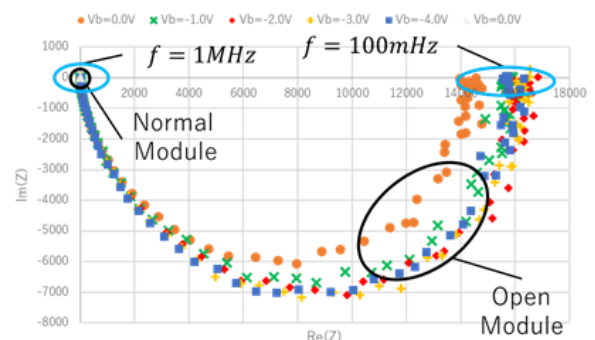


Figure2. Impedance characteristics of open and normal modules

Figure3 より正常モジュールの等価回路はバイアス電圧を小さくすると虚部が正となる直線を描く RL 直列回路の要素が大きくなり, RC 並列回路の要素が小さくなっている.

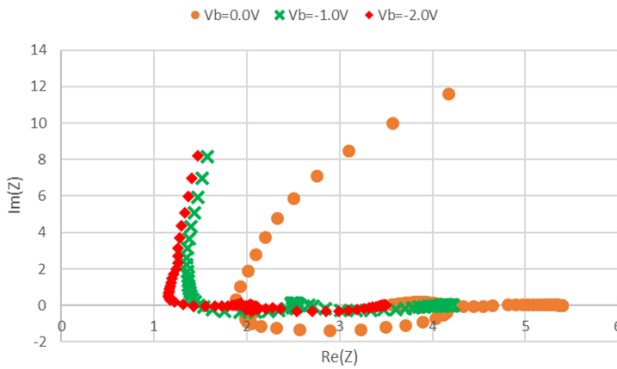


Figure3. Impedance characteristics of normal modules

ここで, RC 並列回路の要素が小さくなったのは, 逆バイアス電圧を大きくしていくことでバイパスダイオードに順方向電圧が印加され ON 状態になり, セルに電流が流れなくなるため, モジュールのインピーダンスよりも測定機器や配線などのインピーダンスの方が大きくなったと考えられる^[1].

Table1 と Table2 に各バイアス電圧の開放モジュールと正常モジュールの R と C の値を示す. この時, R と C は以下のような式で求めた^[1].

$$R = R_1 - R_2 [\Omega] \quad (1)$$

$$C = \frac{Y}{X\omega_1 R_1} [F] \quad (2)$$

ここで, $R_1[\Omega]$ は周波数 $f = 100\text{mHz}$ のときの抵抗値, $R_2[\Omega]$ はコイルコイルプロットの実部 $\text{Re}(Z)$ の最小値, $Y[\Omega]$ は虚部 $\text{Im}(Z)$ の大きさの最大値, $X[\Omega]$ と $\omega_1[\text{rad/s}]$ は, 各々, Y のときの実部 $Z(\text{Re})$ と角周波数である.

Table1. Open module R and C

Bias voltage V_b [V]	Resistance R[k Ω]	Capacitance [μ F]
0.0	14.47	0.410
-1.0	15.50	0.455
-2.0	16.53	0.470
-3.0	16.14	0.500
-4.0	15.74	0.481

Table2. Normal module R and C

Bias voltage V_b [V]	Resistance R[Ω]	Capacitance [μ F]
0.0	3.51	0.406
-1.0	2.88	0.257

Table1 より, 開放モジュールの R と C は逆バイアス電圧を大きくすると大きくなる傾向にある.

Table1,2 より, 正常モジュールの R は開放モジュールより非常に小さいことが分かる. Figure4 に開放モジュールと正常モジュールの IV 特性を示す. 赤線が開放モジュール, 青線が正常モジュールを表している. また, V_{oc} は開放電圧, I_{sc} は短絡電流である. これより, 正常モジュールでは負の V_b が印加されるとバイパスダイオードが ON になり, 電流が大きく流れるのに対し, 開放モジュールは V_b が変化しても電流の変化は小さいためと考えられる.

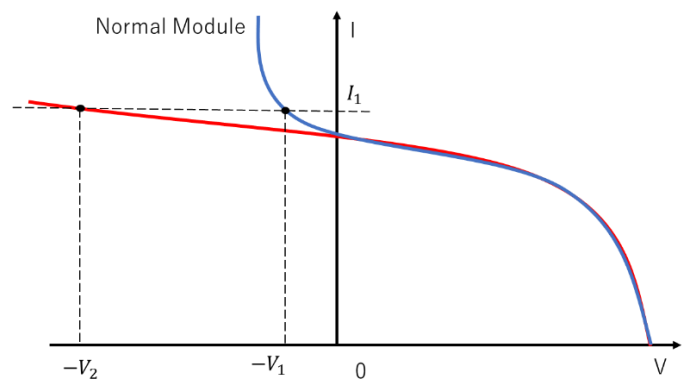


Figure4. IV characteristics of the module

また, C はある一定のバイアス電圧をかけると極めて大きな値になっている. これは, ある一定の電圧でバイパスダイオードに順方向電圧がかかったため, ダイオード特性によるものと考えられる.

4. まとめ

本稿では太陽電池モジュールのインピーダンス特性について調査した. その結果, 開放モジュールは RC 並列回路であり, バイアス電圧の負の値によりインピーダンスの大きさが変化することが分かった.

5. 参考文献

[1] 横澤康汰:「インピーダンス計測による太陽電池モジュールのバイパス回路の故障検出技術」令和3年度日本大学修士論文, pp.24-26