

## 太陽電池モジュールのバイパス回路の部分短絡故障検出技術の調査

### Investigation of Partial Short Fault Detection of Bypass Circuit of PV Module

○黒田拓希<sup>1</sup>, 藤田直希<sup>2</sup>, 西川省吾<sup>3</sup>

\*Hiroki Kuroda<sup>1</sup>, Naoki Fujita<sup>2</sup>, Shogo Nishikawa<sup>3</sup>

Abstract: If bypass circuit of the PV modules is short fault, the output of the cluster that has a short fault can no longer be extracted, and the output of the entire cluster decreases. If a partial short fault can be detected, it will lead to early detection. In this paper, we report the technique for detecting a partial short fault position of bypass circuit in the string by observing the change of the surface temperature of the solar cell with the AC power supply and the IR camera.

#### 1. はじめに

太陽電池モジュールにはバイパスダイオード(以下 Db)を含むバイパス回路が設けられている。しかし Db が短絡故障した場合,短絡されたクラスタの出力が取り出されなくなり,クラスタ全体の出力は低下してしまう。また短絡故障から危険性の高い開放故障に至る可能性もあり早期の発見が必要である。また完全短絡故障には至らない状態(部分短絡故障)を検出できれば更なる早期発見につながる。本報告では太陽電池モジュールに方形波電流を流した際の温度上昇を測定し,周波数解析することで部分短絡故障位置を特定する手法を検討したので報告する。

#### 2. バイパス回路の役割と短絡故障

太陽電池モジュールとは一般的には多数のセルが直列に接続され,使用環境に耐えられるようにパッケージされたものである<sup>[1]</sup>。今回は直列接続されたひとかたまりのセル群にバイパス回路が並列接続したものをクラスタと呼ぶ。

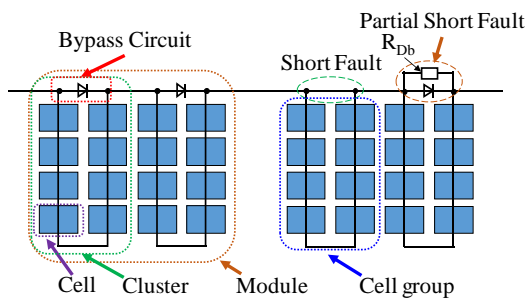


Figure 1. Configuration of PV module

太陽電池モジュールの内部は部分的な影や故障・不具合の影響を抑えることを目的として,セル群と並列にバイパス回路として Db が接続されている。ここではバイパス回路が完全な短絡状態になることを完全短絡故障,また,Db の並列抵抗成分が低下してしまうことを部分短絡故障と呼ぶ。

#### 3. 検出原理

Figure.2 に検出回路,Figure.3 に測定原理( $I-V$  カーブ)を示す。なお, Figure.3 より, (1)式が成立する。

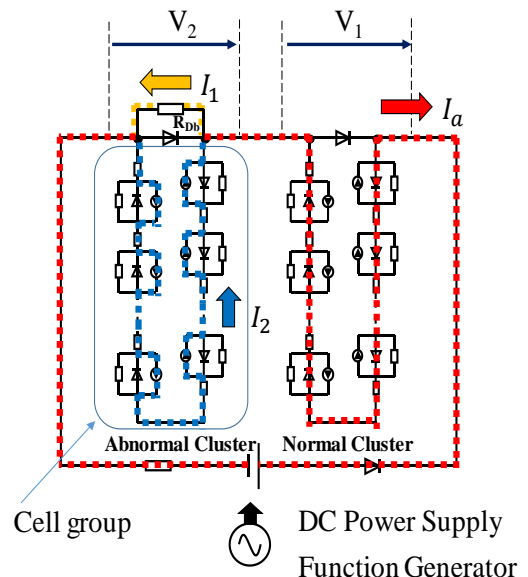


Figure 2. Detection Circuit

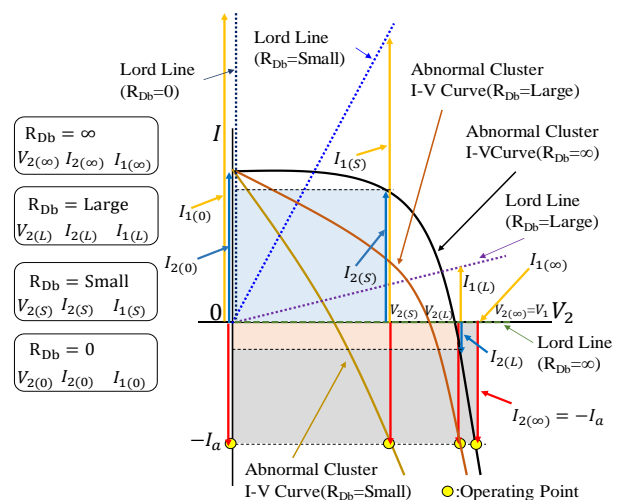


Figure 3. I-V Curves of  $R_{Db}$

$$I_2 = I_1 + I_a \quad (1)$$

Figure.2 の様に直流電源を用いて Db が動作しない方向に電流  $-I_a$  を流す。もし、バイパス回路が正常なクラスタであれば電流がセルに流れ、Figure.3 の様に消費電力 ( $I_{2(\infty)} \times V_{2(\infty)}$ ) が発生しクラスタ表面が発熱する。しかし、バイパス回路が短絡故障、又は低抵抗の部分短絡故障をしている場合  $I_{2(0)}$ ,  $I_{2(s)}$  は I-V カーブの第 1 象限で動作する。そのため温度上昇は小さくなる。高抵抗の部分短絡故障は完全短絡故障より加わる電圧  $V_2$  は大きくなり、I-V カーブの第 4 象限で動作し発熱するが、正常クラスタの電圧  $V_1$  より小さい ( $I_{2(L)} \times V_{2(L)}$ )。太陽電池モジュール表面温度は赤外線カメラにより観察する。その温度変化を周波数解析し、0.01Hz の周波数成分画像を作成する。その後、二値化することで故障位置を特定する。

4. 試験内容

太陽電池モジュールは多結晶系シリコン、開放電圧 22.1V、短絡電流 4.3A、最大出力 70W のものを三枚直列に接続し試験を行った。 $R_{Db}$  は 2Ω, 4Ω, 6Ω, 8Ω の 4 パターンに分けて測定し、Db が動作しない方向に 400 秒間方形波電流(最大値:4.3A)を流し測定した。印加した方形波は周波数が 0.01Hz、デューティ比 50%とし、直流バイアスをかけ常に第 4 象限で動作するようにした。その際、電圧、電流及び日射強度は 1 秒間隔で測定した。赤外線カメラを用いて熱画像は 5 秒間隔で測定した。

5. 結果

例として  $R_{Db}=2\Omega$  の電流波形とその時の温度変化を Figure2 に示す。

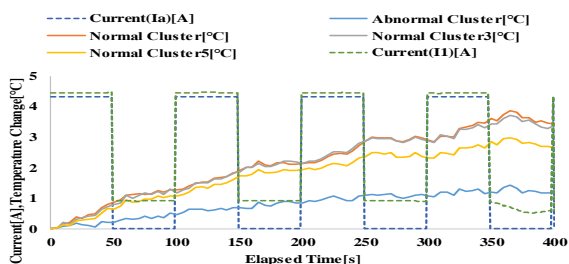


Figure 4. Temperature Change and Current

Figure 4 より、正常クラスタに比べ異常クラスタの温度上昇が小さいことが確認できる。これは、異常クラスタのセル群に流れる電流が少なく正常クラスタよりも異常クラスタのセル群で生じる消費電力が少ないことが原因である。

各部分短絡故障時の二値化画像を Figure5 に示す。

①は部分短絡故障した異常クラスタ、②～⑥は正常ク

ラスタである。Table 1 は各試験における温度変化の周波数成分の二値化画像の赤色割合である。

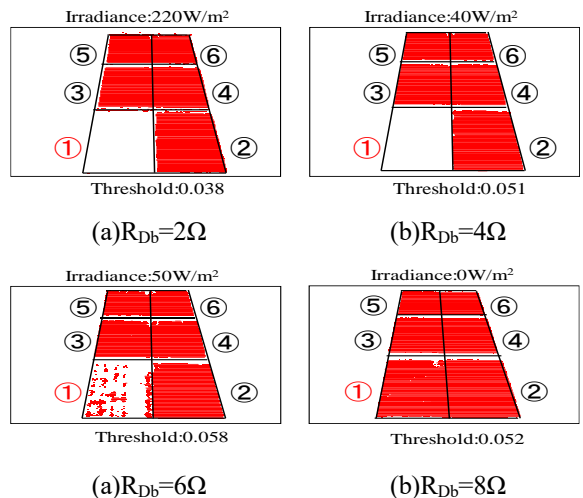


Figure 5. Divalued image

Table 1. Ratio of red

| $R_{Db}$<br>[Ω] | Ratio of red [%] |      |      |      |      |      |
|-----------------|------------------|------|------|------|------|------|
|                 | ①                | ②    | ③    | ④    | ⑤    | ⑥    |
| 2               | 1.05             | 88.6 | 85.8 | 87.3 | 84.5 | 87.6 |
| 4               | 0.00             | 86.6 | 83.4 | 84.2 | 76.0 | 78.0 |
| 6               | 15.2             | 86.1 | 80.1 | 83.3 | 75.1 | 78.8 |
| 8               | 97.8             | 99.9 | 99.9 | 99.9 | 99.9 | 99.9 |

$R_{Db}=6\Omega$  以下は異常クラスタの赤色割合が 20%以下に抑えられており、かつ正常クラスタが 70%以上を示している。しかし、 $R_{Db}=8\Omega$  では異常クラスタ、正常クラスタ共に二値化画像の赤色割合が 90%以上含まれている結果となり、異常クラスタと正常クラスタの識別は困難であった。これは  $R_{Db}$  が大きくなるほど異常クラスタのセル群に流れる電流の値は大きくなり、正常クラスタとほとんど変わらない温度変化をすることが原因である。今回の結果から、異常クラスタの赤色割合が 20%以下かつ、正常クラスタは 70%以上であれば故障検出可能といえる。

6. まとめ

方形波電流を流した際の温度上昇を測定し、周波数解析することで部分短絡故障位置を特定する手法を検討した。 $R_{Db}=6\Omega$  以下であれば部分短絡故障個所の検出が可能である。

7. 参考文献

[1]「太陽電池モジュールの信頼性試験と寿命評価」高薄一弘 技術情報協会 P21