

赤外線カメラによる PV モジュールのバイパス回路の故障検出技術
 -クラスタ表面の温度変化の周波数解析方法についての調査-

Fault Detection Technology of Bypass Circuit of PV Module with Infrared Camera

-Investigation about The Frequency Analyzing Method of The Temperature Change of The Cluster Surface-

○五十嵐蒼紫¹, 黒田拓希², 西川省吾³

*Aoshi Igarashi¹, Hiroki Kuroda² Shogo Nishikawa³

Abstract: It is necessary to perform frequency analysis of the temperature change for the fault detection. There are three kinds of method of the Fourier Series Development, Discrete Fourier Transform and Fast Fourier Transform. Therefore we compare processing precision and the processing time and identify the most proper method.

1. はじめに

太陽電池モジュールには故障の防止策として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が, Db が故障してしまうと火災や破損の原因になってしまう。

筆者らはこれまでバイパス回路が完全に開放故障した太陽電池モジュールについてストリング単位で検出可能な技術を開発した^[1]。検出の際にクラスタ表面の温度変化を周波数解析するが, 解析点数が多いと解析時間が長くなる。

周波数解析の方法としてフーリエ級数展開, 離散フーリエ変換(Discrete Fourier Transform:以下 DFT), および高速フーリエ変換(Fast Fourier Transform:以下 FFT)がある。故障検出の現場での解析時間が短く, 解析精度が良い解析方法を検討するために, 本報告では開発技術を適用した場合の温度変化についてフーリエ級数展開, DFT, FFT で周波数解析を行う際の解析時間および精度を調査したので報告する。

2. 故障検出原理

Figure 1 に太陽電池の I-V 曲線, Figure 2 に検出回路を示す。交流電源を用いて太陽電池の両端に逆電圧を印加すると, 動作点は I-V 曲線における第 2 象限にある。正常クラスタでは Db が動作するためクラスタにかかる逆電圧は小さく, Db が完全開放状態または部分開放状態の異常クラスタでは Db が動作しないためクラスタにかかる逆電圧は大きい。

外乱の影響による温度変化をモジュールの故障と誤検知してしまうのを防ぐために, 交流の逆電圧を印加しクラスタ表面の温度変化に周期性を持たせる。従って, クラスタ表面の温度変化を周波数解析することで外乱の影響を受けにくい故障検出をすることができる。詳細は参考文献[1]を参照のこと。

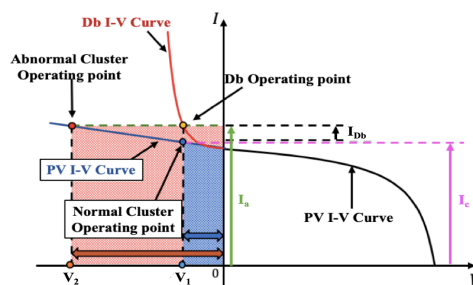


Figure 1. I-V Curves of PV and Db

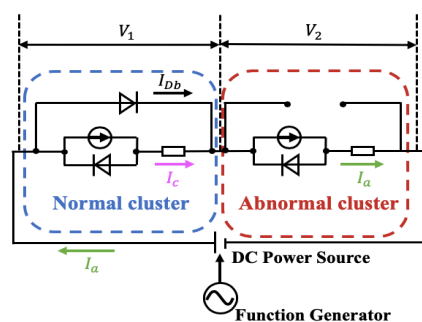


Figure 2. Detection Circuit

3. 試験内容

< 3.1 > 温度変化についての周波数解析

Figure 3 に試験回路を示す。

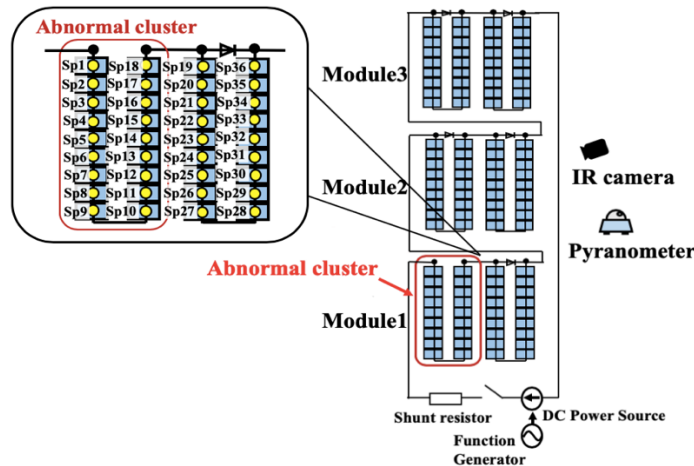


Figure 3. Testing Circuit

1 : 日大理工・学部・電気 2 : 日大理工・院(前)・電気 3 : 日大理工・教員・電気

完全開放状態とした異常クラスタを模擬し、太陽電池に 0.01Hz の交流の逆電圧を印加した。赤外線カメラを用いてモジュール表面温度の計測を 1024 秒間、1 秒間隔で行い、得られた異常クラスタの Sp1~Sp18, 正常クラスタの Sp19~Sp36 の温度変化についてフーリエ級数展開,DFT および FFT を行った。異常クラスタの温度変化には印加電圧の周波数成分が大きく表れるはずなので、各方法の結果について印加電圧の周波数 0.01Hz が大きく表れているか確認した。

<3.2>解析精度および処理時間の比較

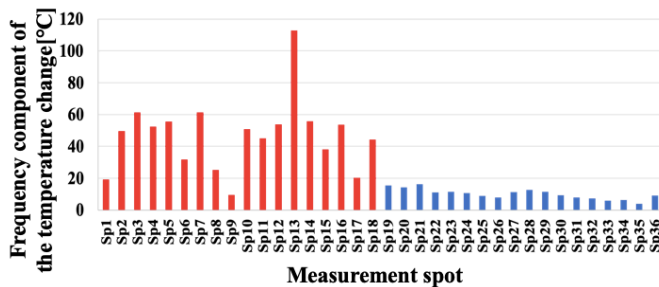
フーリエ級数展開,DFT,および FFT のそれぞれの結果について逆変換し、元の温度変化の値との平均誤差率εを求めて精度を比較した。データ数を N, 元の温度変化の値を T_n, 周波数解析結果を逆変換した値を M_n とすると、平均誤差率εは(1)式で表される。

$$\varepsilon = \frac{100}{N} \sum_{n=1}^N \left| \frac{M_n - T_n}{T_n} \right| [\%] \quad (1)$$

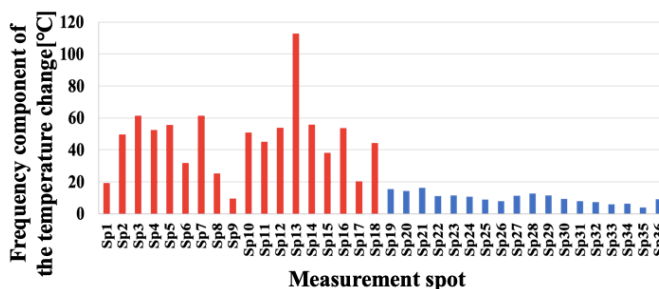
また、データ数と処理速度の関係を比較するためにフーリエ級数展開, DFT および FFT をデータ数ごとに 5 回ずつ処理を行い、処理に要する時間の平均値を処理速度とした。

4. 結果

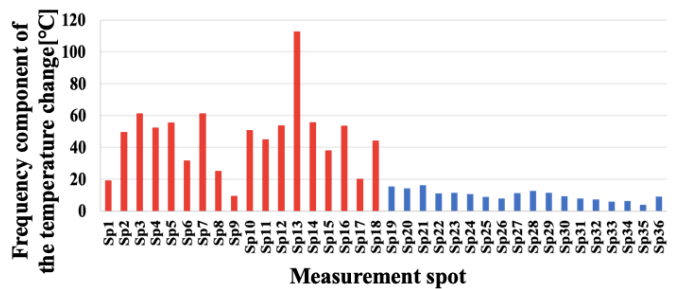
Figure 4 はフーリエ級数展開,DFT および FFT の 0.01Hz における周波数成分の値である。解析方法の違いによる周波数成分の値の差は見られないが、一部の異常クラスタでは周波数成分が強く表れていない。これは、セルの特性差の影響であると考えられる。



(a)The Fourier Series Development



(b)DFT



(c)FFT

Figure 4. Value of The Frequency Component of 0.01Hz

Table1 はフーリエ級数展開,DFT および FFT の結果を逆変換し、元のデータの値を真値として平均誤差率を求めた結果である。平均誤差率の値より、どの周波数解析方法も変換した際の誤差は僅かである。

Table1. Average Error Rate

Average Error Rate of Discrete Fourier Transform [%]	Average Error Rate of Fast Fourier Transform [%]	Average Error Rate of The Fourier Series Development [%]
6.76×10 ⁻¹¹	1.27×10 ⁻¹²	5.19×10 ⁻⁷

Table2 はフーリエ級数展開,DFT および FFT の処理に要する時間であり、フーリエ級数展開と DFT はデータ数が増えるほど時間が急激に増加するが、FFT はデータ数が増えても時間は僅かしか増加しないことがわかる。

Table2. Processing Time

The Number of Data	The Processing Time of The Discrete Fourier Transform [s]	The Processing Time of The Fast Fourier Transform [s]	The Processing Time of The Fourier Series Development [s]
64	1.01	0.87	0.98
128	1.30	0.94	1.11
256	1.95	1.03	1.47
512	3.10	1.06	2.75
1024	6.02	1.13	5.43
2048	218(3m38s)	1.29	104(1m44s)

5. まとめ

処理精度についてはフーリエ級数展開, DFT, FFT はあまり大きな差がない。フーリエ級数展開, DFT はデータ数が増えるほど処理に要する時間が急激に増えていくが、FFT はデータ数が増えても処理に要する時間はほぼ変わらないため、FFT を行う方が周波数解析時間を短くすることができる。

今回行ったのは計測点数が少ないが、セルの特性差の影響を受けにくい全ピクセル数の解析においても同じ試験を行い、処理に要する時間を比較していく。

6. 参考文献

[1] 藤田直希, 西川省吾 : 「太陽電池アレイにおける異常予測・見地に関する研究-バイパス回路の開放故障検出技術における印加電圧波形の影響-」
電気学会全国大会論文集 H30 7-020