

## テンプレートマッチング法を適用した太陽電池パネルの診断方法 PV strings diagnose system applied the template matching method with TDR waveforms

樋熊 利康<sup>†</sup>  
Toshiyasu Higuma<sup>†</sup>

### 1. はじめに

住宅や業務用の大規模な太陽光発電システムが運用開始し始めてから十数年経過し、19 年には住宅用システムにおいて FIT 終了を迎える時期となった。長寿命である太陽光発電パネルにおいても様々な外的要因により劣化が進みつつあると考えられる。大規模システムにおいてはパネル枚数が膨大となり不具合個所の発見等に費やす工数削減は今後の課題である。本研究では太陽光パネルを複数枚直列接続して構成するストリング中の不良が生じているパネルの位置を特定する方法について検討した。TDR 法を用いた不具合位置の特定方法について実験設備での検証結果等について報告する。

### 2. 研究対象

#### 2.1 太陽光発電システム不具合要因と検出法

太陽光発電システムにおいてストリング部の不具合として下記の事例が紹介されている[1]。

- ①Open 故障
- ②パネル自体の断線、工事時の配線忘れ、配線の断線
- ③アース線不良：工事ミスによる接続不良、未接続
- ④地絡：配線劣化、パネル浸水による地絡
- ⑤パネル内部配線接触不良
- ⑥ガラス横変

上記の中で⑥ガラス横変についてはパネル内のセルや配線等への変化が想定できないが他の要因については電気回路的な特性の変化が期待できるため、電気配線のインピーダンス変化点の解析に用いる TDR 法[2]が適用できるものと推察される。

#### 2.2 実験用システムの構成

図 1 に実験用に設置した太陽光発電システムの構成図を示す。定格出力 185W のパネルを 8 枚直列に配置している。

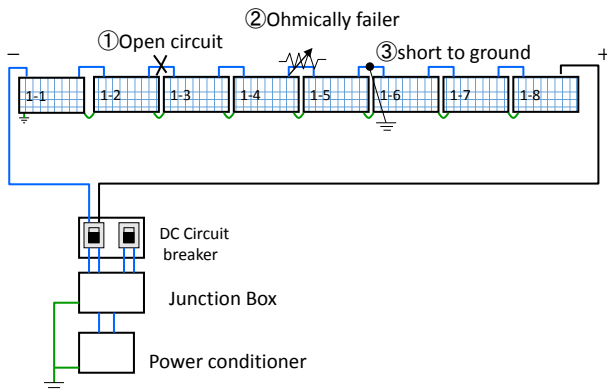


図 1 実験用システムの構成

パネルの接続部分に模擬的に不具合を再現するためにケーブルを解放、アース電位への短絡（地絡）、抵抗性の劣化については  $1.5\Omega \sim 10\Omega$  の固定抵抗を直列に接続した。

#### 2.3 太陽電池パネルの回路モデル

図 2 に太陽電池パネルストリングの構成と簡易な等価回路図を示す。太陽電池パネルストリングは太陽電池セル並びにセル間を接続する内部配線とで構成される第一の導体と外枠フレーム相互に接続され構成される第二の導体の対で伝送線が構成されているものとみなすことができる。集中常数回路に置き換えると、電池セル、内部配線の直列抵抗と GND 電位となっている外枠フレームと内部配線等との浮遊容量で構成されるラダー回路型の等価回路として表現できる。したがって、パネル内部やパネル相互を結ぶ出力線の断線や抵抗性の不良位置の検出は出力線と GND 線間にステップ状信号を印加し、反射波を解析することにより実現できる可能性がある。

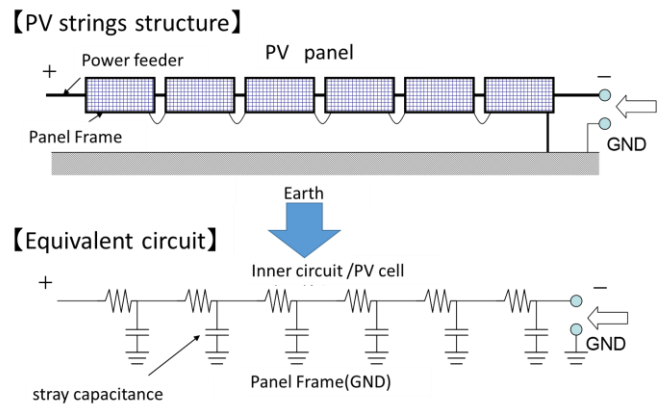


図 2 太陽電池ストリングの等価回路

### 3. 実験用システムのインパルス応答

#### 3.1 試験装置の構成

図 3 にインパルス応答波形の収集に用いた装置の構成を示す。波形観測にはアナログ帯域 200MHz、等価サンプリング 10GHz、分解能 8bit の性能を有する、pico テクノロジー社製、型番 3206 オシロスコープを用いた。インパルス発信器には DST 社製、PCL-850L（最高発信周波数 850MHz、周波数分解能 0.1Hz）を用いた。信号を結合するプローブは発電動作時の DC 電圧が 400V 程度となるため、カップリングコンデンサには DC600V の高耐压品を用いている。

<sup>†</sup> 三菱電機株式会社 MITSUBISHI ELECTRIC CORP.

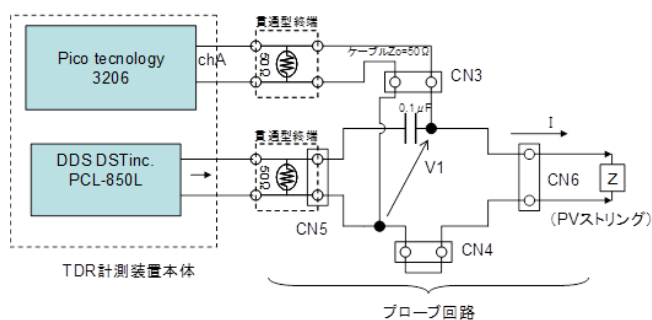


図3 計測装置の構成

### 3.2 インパルス応答の観測結果

図4に断線時の太陽電池+出力線とアース間の TDR 波形を示す。計測は2枚毎に断線箇所を作り実施した。横軸単位は ps、縦軸は  $\mu\text{V}$  である。立ち上がりから 200ns の時刻でレベルの低下がみられる。この時刻に相当する距離の地点で出力ケーブルと太陽電池パネルの境界があることが推測できる。この波形から、太陽電池パネルの特性インピーダンスは出力ケーブルよりも小さいことが予測できる。また、太陽電池パネルの直列枚数に比例して波形の立ち上がりの時刻が変化している。1枚あたりの信号伝播時間は 70-80ns と読み取ることができる。

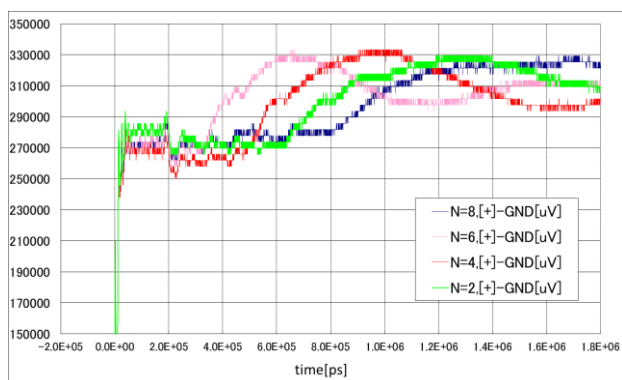


図4 断線時のインパルス応答波形

### 4. 位置推定自動化の検討

3章に示した結果により不良個所に相当する時刻に波形の変化が現れることが確認できた。不良個所の位置推定機能を実用化するには不良位置の抽出を自動化することが必須である。以下、波形の変化点抽出の自動化について検討した結果を示す。

特徴点の抽出方法として、画像処理で広く用いられているテンプレートマッチング法を検討する。PV の診断では発電特性の計測により、不具合症状を一次判定する。すなわち、断線、抵抗性不良、地絡、アース線未接続の種別は TDR 実施前にあらかじめ判別されるため、波形の特徴抽出には症例別のテンプレートを用意し、比較することができるため判定時間やその確度を向上できる可能性が高い。目視でもある程度識別可能な断線の事例についてテンプレートマッチング法を適用し、可否並びに検出可能な精度の概略評価を実施した。

### 4.1 テンプレートマッチング法の検討

図5は太陽電池パネルの不良位置推定におけるテンプレートマッチング法適用の概念図である。パネルの位置特定には接続箱からパネルまでの配線を削除すること、開放端までの時刻を切り出すことが必要である。このため、配線端のテンプレートと開放端のテンプレートを用意し、その相互相関を評価して、時刻の切り出しを行う。図6は一例として正規化相互相関を求め、その最大値の時刻にテンプレートを原波形上にプロットしたものである。図に示すように変化点に一致する時刻に最大値を示していることがわかる。

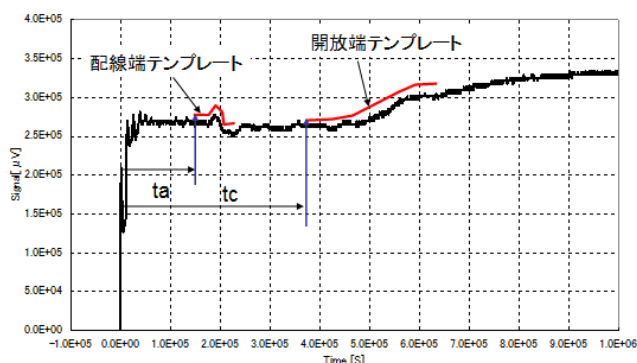


図5 テンプレートマッチング法適用の概念図

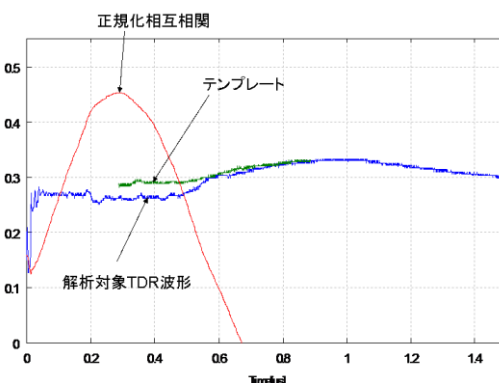


図6 計算結果

### 5. まとめ

TDR 波形にテンプレートマッチング法を適用し太陽光発電システム中の不具合位置の推定の可能性について検討した。今後は、他の不具合要因について検討を進め位置推定の自動化の精度向上図ってゆく予定である。

#### 参考文献

- [1] 日刊工業新聞社、加藤和彦著 2010年7月20日初版「太陽光発電システムの不具合事例ファイル」
- [2] アジレントテクノロジー株式会社 アプリケーション・ノート 1304-2「タイム・ドメイン・リフレクトメトリの原理」