

太陽光発電所でのストリング監視による異常検知方法の検討

Examination of the Detection Methods with String Monitoring on PV Power Plant

環境・リニューアブル技術部 丸山 信一郎 SHIN-ICHIRO MARUYAMA

環境・リニューアブル技術部 西尾 新一 SHIN-ICHI NISHIO

太陽光発電所を長期的に安定して運用するために、発電異常の予測や検知を迅速に行い、発電トラブルを防ぐことが重要である。しかし、数千枚～数十万枚の太陽光パネルから構成される発電所において、総発電量から異常を検出することは極めて困難である。そのため、発電所において発生する各種異常を網羅的解析し、各異常の検出手法を提案した。そして、それらがストリング監視でどのように検出できるか三田川太陽光発電所にて実証した。結果、各ストリングの発電量の異常による変化パターンを検出でき、具体的な異常の内容や原因を推定可能にした。

キーワード：太陽光発電所，ストリング，監視，異常検知

For the purpose of the long term and stable operation at the PV power plant. Prevention of generation trouble by quick prediction or detection of the generation abnormality is important. But it is extremely difficult to detect abnormality from quantity of total PV generation comprised of several thousand or hundreds of thousands of pieces of solar panels. Therefore, various abnormality occurred in a power plant were analyzed cyclopaedically and detection technique for each abnormality is proposed. String monitoring at Mitagawa PV power plant demonstrated how they could detect abnormality. As the result, change patterns by the abnormality of the quantity of generation of each string could be detected, and actual abnormal actuations and causes could be estimated.

Key Words: PV Power Plant, String, Monitoring, Detection Method

1. はじめに

太陽光発電所を長期にわたり安定して運用するには発電異常の予測および検知を迅速に行い、発電トラブルを防ぐことが重要である¹⁾。しかし、メガソーラー発電所においては、数千枚～数十万枚の太陽光モジュールから構成されるため、総発電量監視から異常検知を行うことは極めて困難である²⁾。

そこで、太陽光発電所で発生する異常について解析しストリング単位で発電量を測定し、電力線を通信回線として利用する技術のPLC通信により正確かつ迅速に監視できるストリング監視システムを用いて実証実験を行い、異常検出方法を検討した。本報では、その検討成果について述べる。

なお、本成果は、経済産業省の「平成29年度新エネルギー等の保安規制高度化事業（電気施設保安技術高度

化の評価・検証事業）」の一部である。

2. 太陽光発電所の発電監視技術

現在の太陽光発電所の発電監視では、人力によるものから通信技術を用いたものまで幅広い監視手法がある。監視として、新たな設備を必要としない売電メーターの検針結果を利用する方法があるが、月単位かつ全体発電量での監視となり、電力データの取得頻度や緻密さが最も低くなる。また、PCS (Power Conditioning System : 太陽光モジュールで発電した直流電流を交流電流に変換する機器) 単位で遠隔監視する方法では、リアルタイムで状態を監視できるものの太陽電池モジュール（製品）単位での異常を検出することは難しい²⁾。そのため、最も緻密な監視としてモジュール一枚一枚に監視装置を設置して監視する手法が考えられるが、この方法では監視装

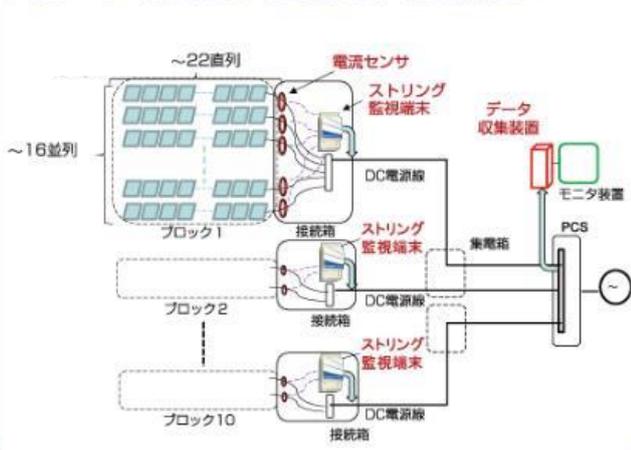


図-1 スtring監視システム例

置のコストが大きくなるという課題がある。よって、これらのことから、コストと緻密さのバランスの良い手法として、モジュールを十数枚直接続したStringという単位での監視手法を選択できる。String監視は

モジュール監視と比べて緻密さは低くなるが、Stringを集約する接続箱に計測装置を設置することで、装置台数をモジュール監視と比べ大幅に削減でき、コスト面で優れている。このような利点から、太陽光発電所でString監視を用いて効果を検討することとした。メガソーラーで用いるString監視システム例を図-1に示す。String監視システムでは、電流センサによりString単位の電流値を計測し端末器に集約し直流電流線に計測値データを乗せ、データ収集機器にデータを収集しモニタリング装置より計測値を読み取る。

3. 発生する異常の網羅的解析

太陽光発電所で発生する異常を故障木解析 (FTA: Fault Tree Analysis) によってその原因を網羅的に解析した³⁾。その結果を図-2に示す。「発電出力の低下」に着目しその発生要因を階層的に検討した。

その結果、39種類(F1~F39)の要因としてまとめること

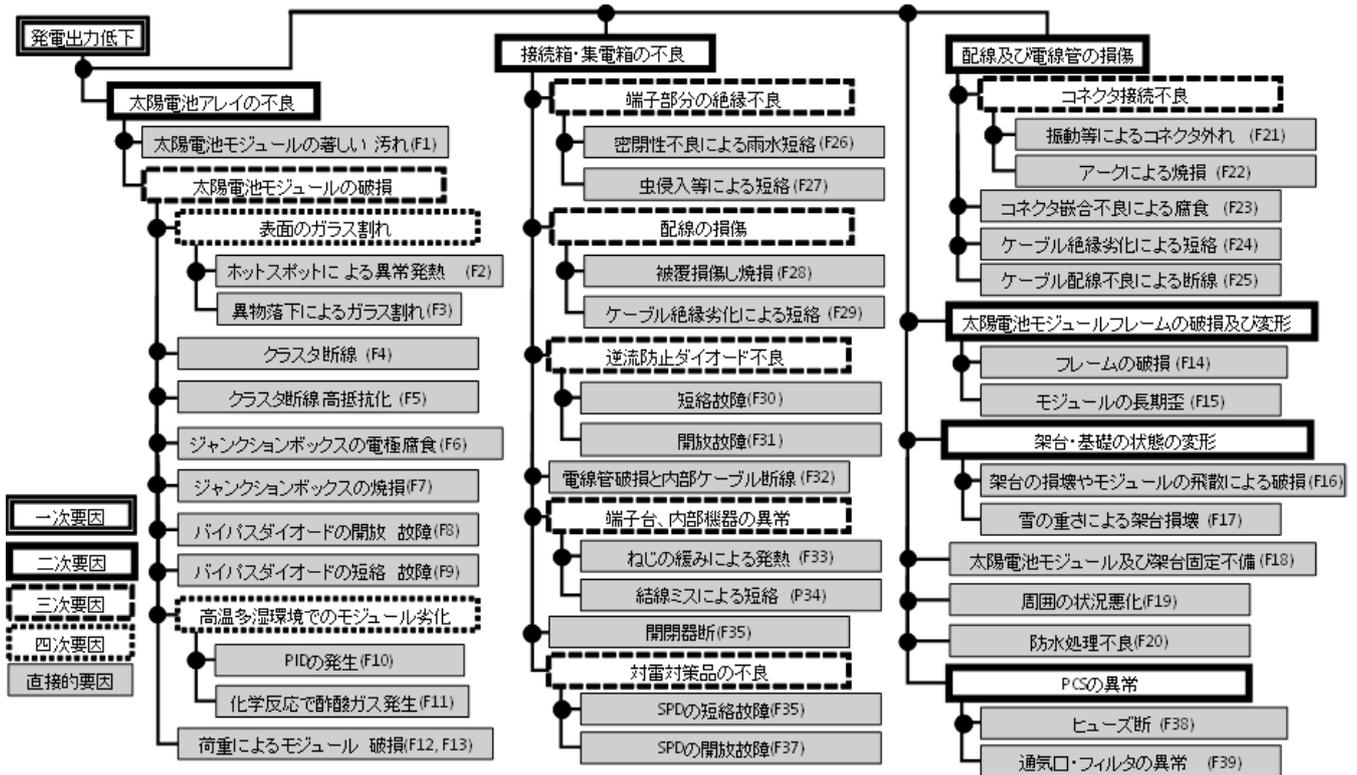


図-2 故障木による太陽光発電所の異常要因解析

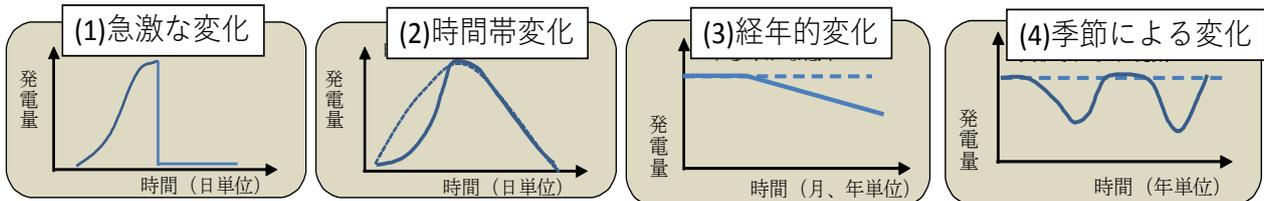


図-3 時系列でみた異常による4種類の変化パターン

ができた。また、FTAによって抽出した39の異常要因は、発電低下が発生する様相として図-3に示す4つの時系列推移パターンに分類できると考えた。(1)急激な変化(以下、変化(1)という)は、突然発電量が低下する変化であり、(2)時間帯変化(以下、変化(2))は、他のストリングと比較して午前・午後の時間帯の発電の動きが異なるものである。(3)経年的変化(以下、変化(3))と(4)季節による変化(以下、変化(4))は、年次など長期の時系列において、冬季や夏季の発電量の違いがあるものである。各要因が具体的にどのような異常であるか、加えてストリング監視においてどのように観測されるかを以下に述べる。

- ・ F1 : 太陽電池モジュールの著しい汚れ
太陽電池モジュール表面の汚れによる発電の低下。モジュール内の発電セルが1枚以上汚れると、該当クラスタのバイパスダイオードがONとなり、モジュールの発電量一部を喪失。一般的にモジュールは3クラスタ構成であるため、1/3を損失。埃、火山灰などの蓄積や、泥の飛散、鳥糞や木葉など飛来物による変化(1)のパターンが発生。
- ・ F2 : ホットスポットによる異常発熱
モジュール内の発電セルがホットスポットになり表面のガラスが熱膨張を繰り返して割れるなどの破損が発生。さらに、ガラス割れから水分が混入し表面の曇りや酸化等を引き起こすなど変化(3)が発生。
- ・ F3 : 異物落下によるガラス割れ
鳥または悪戯などにより石などがガラス表面ぶつけられ割れる。F2と同じ現象を誘引。
- ・ F4 : クラスタ断線
半田クラックやインターコネクタとセルの接触不良などにより、クラスタを構成する配線の一部が断線。バイパスダイオードが動作し、モジュールの発電量の1/3を損失。断線時には、変化(1)が発生。
- ・ F5 : クラスタ断線高抵抗化
F4と同じような原因であるが、断線まで至らず高抵抗化。電圧降下が、バイパスダイオードON時より高くなるとダイオードが動作。一方、動作しない場合は、発熱しエネルギーを消費するため、変化(3)が発生。
- ・ F6 : ジャンクションボックスの電極腐食
樹脂充填の行われていないジャンクションボックスなどにおいて水分の侵入により、酸化や腐食が進行し高抵抗化。変化(3)が発生。
- ・ F7 : ジャンクションボックスの焼損
バイパスダイオードの故障や高抵抗状態を長らく放置した場合や製造時の不具合などで発火する事例⁴⁾

がある。変化(1)が発生すると考えられるが、事前に多くの場合で変化(3)の状態を経過。

- ・ F8 : バイパスダイオードの開放故障
バイパスダイオードが開放状態で故障すると、物影などで発電低下して本来動作する局面で動作せず、当該クラスタで多くの電力を発熱により消費⁵⁾。変化(1)が発生。
- ・ F9 : バイパスダイオードの短絡故障
バイパスダイオードが短絡状態で故障すると、当該クラスタが短絡状態となり発電に寄与しなくなる。ジャンクションボックス内、またはクラスタで発電電力を消費して発熱状態となる。故障状況により変化(1)または変化(3)が発生。加藤らの実フィールドでの研究報告(2004年実施、当該発表は2012年)⁶⁾によると、産総研メガソーラータウンに設置された5640枚のモジュールのうち、1273枚でF8の開放故障とあわせてバイパスダイオードの故障を確認。
- ・ F10 : PIDの発生
PID(Potential Induced Degradation)は、ストリング電圧が1000Vを越える高電圧システムにおいて2010年頃から報告されはじめている異常である⁷⁾。高電圧に加えて、高温、多湿環境で発生しやすい。発電セルからモジュールのフレームに電流が漏れ出し、発電セルの発電能力が失われていく。変化(3)が発生。
- ・ F11 : 化学反応で酢酸ガス発生
モジュール内部に水分が混入し、封止材と化学反応を起こして酢酸ガスが発生し、モジュール表面剥離や裏面にふくらみなどが発生した事象を報告⁸⁾。これらの異常は、F10と同じような時系列パターンと考えられる。
- ・ F12, F13 : 荷重によるモジュール破損, F14: フレームの破損
モジュールの上に重量物が落下、または堆積し、モジュールやそのフレームが物理的に破壊された状態。発電の電気回路が物理的に切断され、断線状態に至ると考えられ、変化(1)が発生。
- ・ F15 : モジュールの長期的歪
基礎の変形や毎年の積雪荷重によりフレームに長期的に歪みが発生する状態。発電セルを接続するインターコネクタなどが断線すると変化(1)が発生。
- ・ F16 : 架台の損壊やモジュール飛散による破損, F17 : 雪の重さによる架台の破損, F18 : 太陽電池モジュールおよび架台固定不備
架台が地震や台風によって損壊した際や強風などによってモジュールが飛散した状態。断線が発生する

- と F15 と同様に変化 (1) が発生。
- ・ F19 : 周囲の状況悪化
物影によって日射がさえぎられ、発電量が低下。雑草などの成長によって変化 (2) や変化 (3) が発生。また太陽の軌跡の関係で冬季のみ影響が出ることもあり、その場合は変化 (4) も同時に発生。
- ・ F20 : 防水処理不良
施工不良などにより F10 と同様な状態が発生。
- ・ F21 : 振動等によるコネクタ外れ
コネクタの接合部分が断線または高抵抗化。不良の程度により変化 (1) , または変化 (3) が発生。
- ・ F22 : コネクタ内アークによる焼損
F21 の状態がより進行し、コネクタ内でアーク放電や発熱等が発生し焼損した状態。変化 (1) が発生。
- ・ F23 : コネクタ嵌合不良による水分の侵入
コネクタの嵌合が不十分で、中に水分等入り高抵抗化。変化 (3) と断線状態になると変化 (1) が発生。
- ・ F24 : ケーブル絶縁不良による短絡
獣害や、落雷などによるケーブル被服の絶縁不良、風などによる揺れで架台とのこすれによる被覆の摩耗など、ケーブル被服の絶縁が劣化し、短絡事故が発生。短絡が発生した瞬間に変化 (1) が発生。
- ・ F25 : ケーブル配線不良による断線
ケーブルが、風などによる振動で、断線が発生。断線した瞬間に変化 (1) が発生。
- ・ F26 : 密閉性不良による雨水短絡, F27 : 虫侵入等による短絡
接続箱や集電箱内に雨水や動物などが入りこみ、端子部分で短絡が発生。短絡した瞬間に変化 (1) や短絡に至るまでの変化 (3) が発生。
- ・ F28 : 被覆損傷し焼損, F29 : ケーブル絶縁劣化による短絡
接続箱や集電箱内のケーブルの被覆部分の破損。熱や動物などによって被覆が損傷。F26, F27 と同様な変化を発生。
- ・ F30 : 逆流防止ダイオードの短絡故障
当該ダイオードで保護されていたストリングの開放電圧が、PCSの最大電力点より制御された電圧を下回った際に逆流が発生し、当該ストリングが発熱。変化 (1) と変化 (3) が発生。
- ・ F31 : 逆流防止ダイオードの開放故障
当該ダイオードで保護されていたストリングが断線状態となり、変化 (1) が発生。
- ・ F32 : 電線管破損と内部ケーブル断線
草刈などのメンテナンス作業や、自然災害などで配線が切断された状態。変化 (1) が発生。

- ・ F33 : ねじの緩みによる発熱
施工時のトルク管理などが不十分で、ねじが緩み接触抵抗の増加やアーク放電が発生。端子の高抵抗化による変化 (3) と接触不良による変化 (1) が発生。
- ・ F34 : 結線ミスによる短絡
施工不良により、ショート状態で結線され課電時に短絡が発生。変化 (1) が発生。
- ・ F35 : 開閉器断
開閉器が異常電流や高温などでトリップを発生。変化 (1) が発生。
- ・ F36 : SPDの短絡不良
SPD(Surge Protective Device)は、雷などによって発生する高圧誘導電圧・電流をアースに逃す装置である。この装置が短絡した場合は、他の正負端子短絡などと同様に変化 (1) が発生。
- ・ F37 : SPDの開放不良
雷などの高圧誘導電圧・電流を逃がせないため、配線にダメージを与え焼損。ダメージの度合いによって変化 (1) や変化 (3) が発生。
- ・ F38 : ヒューズ断
PCS内部ないし、集電箱などのヒューズが異常電流や温度によってトリップ。変化 (1) が発生。
- ・ F39 : 通気孔, フィルタの異常
換気フィルタの目詰りによりPCS内部の温度が上昇しPCSが停止。変化 (1) が発生するが、通常PCSで異常を検知。

以上39件の直接的要因が太陽光発電所で発生する異常と言える。ここまでの解析結果のうち、断線関連の異常 (F12, F13, F14, F16, F17, F18, F23, F22, F25, F31, F32, F35, F37, F38) は、発電量の急激な低下により検出できる。また、PCSの異常である F39 は、発電停止が起こった場合にPCSによって検出できるため検討対象外とする。

4. 提案手法

FTAでの解析により、各直接的異常の要因がどのような発電量の変化パターンとして表れるかを3章で検討した。本章は、それらのパターン毎にストリング監視を用いて異常を自動的に検出する手法について提案する。

(1) 急激な変化が発生する異常の検出

本節では、急激な変化として発生すると考えられるとした、F24, F26, F27, F28, F29, F30, F34, F36を自動的に検出する方法を提案する。

急激な変化をとらえるためには、監視装置側の計測周期を短くすることが基本的には必要である。今回使用し

たストリング監視装置では、ストリング単位の電流値を6秒毎にサンプリングを行い、1分間毎に平均化処理を行った値を収集している。一般的なストリング監視装置でもこのような統計処理が行われている。加えて、太陽光発電の発電量は、PCSによるMPPTにより最大限の発電量を取り出すように数百～数千Hzで制御される。そのため、急激に電流が低下するような場面であってもMPPTにより電流が数ミリ秒程度で回復する場合もある。ストリング監視装置で、このような瞬間的かつ小さな変化を捉えることは難しい。一方で、今回検出しようとしている異常は一度発生した場合に、自然に回復するということは考えにくい。異常が発生するとその異常が継続した状態となると考えられる。

本検討では、明け方、夕方の日射強度が少ない(100 W/m²以下)の時間帯に着目した。この時間帯では、太陽電池モジュールは発電しており、この電力によってストリング監視装置は動いているが、PCSは起動するまでには至っていない。そのため、この時間帯に、正負間の短絡や、逆流防止ダイオードの短絡故障などが発生していた場合には、太陽電池モジュールの発電した電力が該当の故障箇所に流れこむ現象が発生する。ストリング監視はそれらの異常な電流を計測し、これによって瞬間的な変化によって発生した異常を検出することができる。また電流と電圧から短絡抵抗値なども計算でき、その値からどのような異常であるか推測結果を提示できる。

このような太陽光発電所の朝夕の時間帯を用いた異常電流の研究は一部行われている⁹⁾が、ストリング監視装置のような市場に流通するコモディティ製品を用いた手法やPCSと監視装置の動作開始・停止時間の差を用いるような手法は十分に研究されていない。

(2) 時間的変化、季節変化が発生する異常の検出

FTAで時間的変化が発生するとしたF18やF19にあたる異常を検出するには、教師無し学習の一つ、k-means¹⁰⁾を用いた

F18やF19では主に物影が発生する。この物影は、太陽の移動によって、影響範囲がかわり、時間的に発電が変化する。この物影による朝方、夕方の発電変化の検出のために、晴れの一日間、すべてのストリングの計測結果を使用する。この複数本のストリングの時系列発電量データを、k-meansによりクラスタリングし、影による異常のあるストリングを自動的に検出する。

k-meansの適用時は、一時的な雲等の影響を除外するために、発電データを1時間の平均値とした。また、使用したデータは発電が期待できる6:00から17:59までの12時間とした。この1時間ごとの平均値データをk-

meansでクラスタリングするために、k(クラスタ数)を決定する必要がある。kについては数学的に適当な値を求めることもできるが、今回は経験的にk=9とした。

クラスタリングの結果として、一日の発電量の最も大きなクラスタを1とし、他のクラスタの発電割合を計算した。評価は、一日(6:00-17:59)、朝方(6:00-10:59)、日中(11:00-12:59)、夕方(13:00-17:59)の4区分で行い、割合が0.9以下を異常と定義した。特に、朝方と夕方で異常と判断されたストリングをF18、F19と判定した。

(3) 経年的変化が発生する異常の検出

経年的に変化のある異常として分類されたF1、F2、F3、F5、F6、F9、F21、F23、F33、F37を自動的に検出する方法としては、年単位での長い期間での変化を監視する。

太陽光発電の発電は、図-4の青線(i)に示すように、天候によって日々大きく変動する。図の例では3年間の日々の日中11:30～12:30の1時間の平均発電電力を示している。この変動を抑えて長期間の発電データを比較・検討するために、黄線で示すような包絡線(ii)を用いた値のスムージングを行う。包絡線は過去30日のデータを用いて、もっとも発電量の大きい1日の値を結んでいくことにより描画した。

日々の発電実績から経年的変化に該当するストリングを抽出するために、発電実績を正規化する。太陽光発電所では、モジュールは架台に設置されるが、この架台の角度は固定であることが大半であり、季節による太陽軌道の違いにより発電量が異なる。正規化はこの影響を排除するために行った。

正規化する対象のストリングとして、最大値仮想ストリングを生成した。三田川太陽光発電所で生成した結果を図-4の緑線(iii)に示す。最大値仮想ストリングとは、発電所内のすべてのストリングの日々の最大発電量の値を抽出した時系列の値である。つまり、n本のストリングがある発電所のある1日の発電実績値の集合Pを式(1)、最大値仮想ストリングの発電実績値P_vを式(2)と定義する。

$$P = (P_1, P_2, \dots, P_n) \quad (1)$$

$$P_v = \max(P) \quad (2)$$

この最大値仮想ストリングの発電実績値P_vを用いて、各ストリングの発電実績値を正規化した。最大値仮想ストリングを用いて、(ii)の時系列データを正規化した例を(iv)に示す。

異常検出では、この正規化値をストリング別に線形回帰した。そして、一般的にモジュールの経年劣化保証の下限である、年率1%を越えて発電が低下しているストリングを経年的な異常を持つストリングとして検出し

た。つまり、各ストリングの正規化値を y 、時間経過を x として、最小二乗法を用いて $y=ax+b$ の a と b を推定し、 a について年率 1% を越えるものを異常とする。また、冬季においては、太陽の軌道の関係上、夏季とくらべて障害物による影が広がるため、冬季を排除して夏季(4月から9月末)のデータのみを用いる。

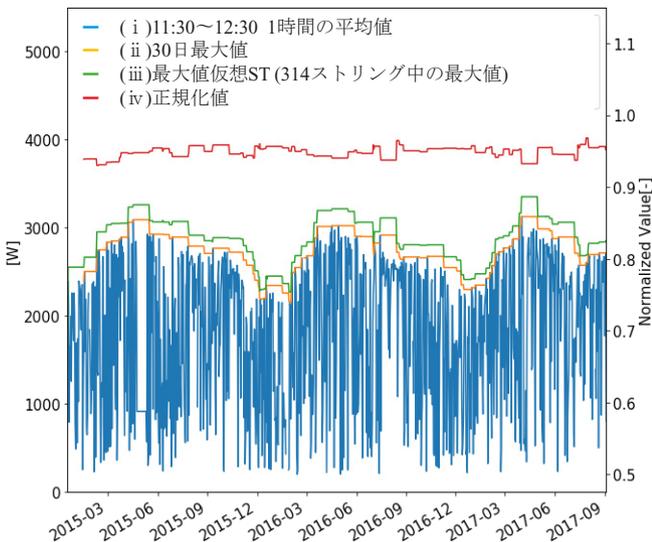


図-4 発電実績値と最大値による包絡線

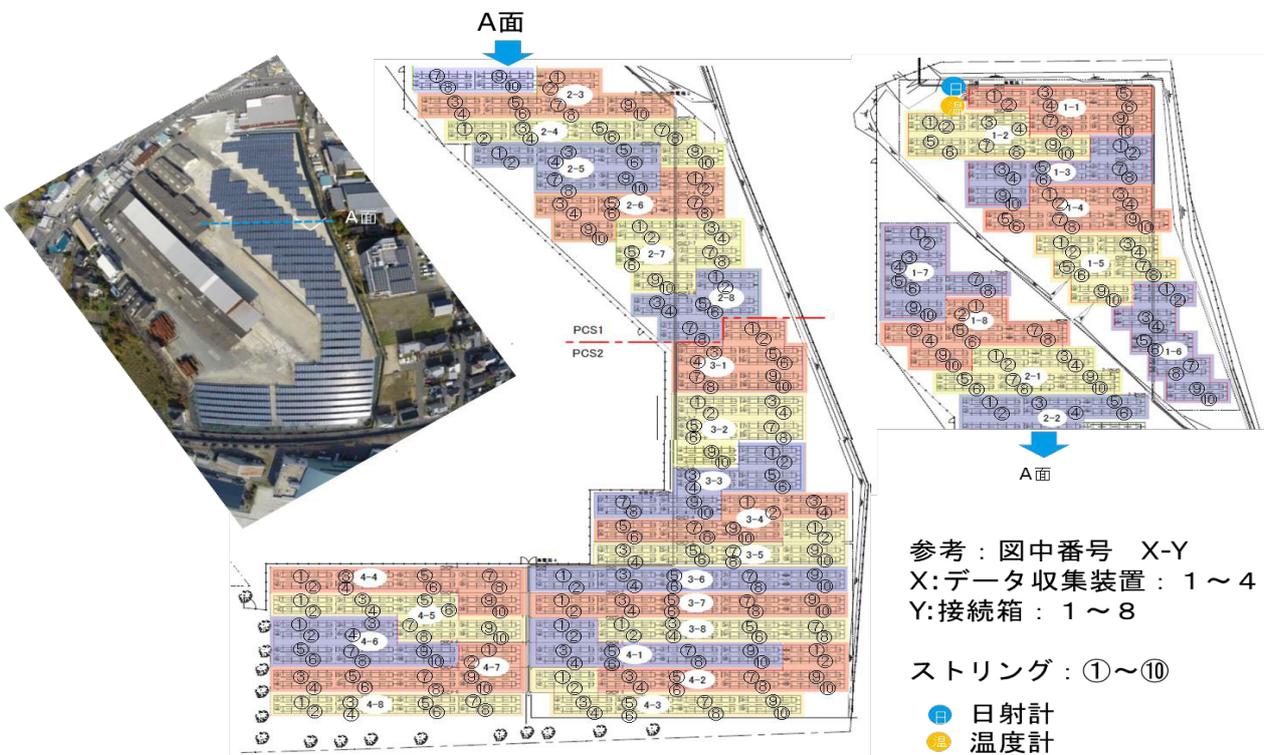
5. ストリング監視実証実験

(1) 概要

実証実験は、ストリング計測監視について、商用施設としては初となる直流電源線を通信線として利用する PLC ストリング監視を竣工当初より採用した三田川太陽光発電所にて実施した。三田川太陽光発電所の諸元を以下に示す。

- ①所在地：佐賀県神埼郡吉野ヶ里町吉田2810
- ②竣工：2014年12月
- ③発電出力：1MW
- ④太陽電池：多結晶シリコン型 250W × 4,396 枚
- ⑤パワーコンディショナ：500kW × 2 台
- ⑥ストリング数：314 箇所

三田川太陽光発電所のストリングは、図-5のような配置で、ストリング単位での発電状況と異常箇所を図-6のモニターにより監視されている。既存の計測監視モニターは、ストリングから収集した発電電流データのリアルタイム(1分毎)表示ならびに、周囲より発電出力が低下しているストリングを簡易な閾値判定により検知し、当該のストリングの電流計測値を黄色表示することで注意を喚起するモニタリングシステムとなっている。また



※モジュールの3色の色分けは各接続箱に属するモジュールの区別を示す

図-5 三田川太陽光発電所での各種機器と各ストリングの配置

計測したデータは、サーバに蓄積されているので約3年間で取得した各stringの電流と電圧のデータを解析し、発電電力の時間・季節的变化と経年的変化について評価した。



図-6 string単位の計測監視モニター

(2) 発電電力の時間・季節的变化の検出評価

k-meansでの検出の評価のため、冬季・夏季のデータを実際にk-meansを用いてクラスタリングし、現地確認により評価を行った。

はじめに、夏季の快晴日(2015/6/4)の結果について図-7に示す。横軸と縦軸はそれぞれ、各stringの時間と時間帯毎の発電量を、赤破線は各クラスタの発電の平均値を示す。314本のstringの時系列変化がクラスタリングされていること、また特徴的な波形を持つクラスタがC2, C3, C4, C5, C6, C9等にクラスタリングされていることが判断できる。C1, C7, C8が異常の無い発電を1日通して行っているstringでありクラスタ間の差は少ない。C5は日中に発電が低く、C6は1日を通して発電が低い。C2とC4は夕方に発電が低く、C3, C9は朝方に発電が低い。

次にクラスタリングから、異常判定を行った結果を表-1に示す。前章に記載の方法のように、各時間帯で最も多い発電量の平均値を持つクラスタをまずは選択した。各種時間帯の正常と異常を「○」と「×」で表している。また各時間帯で最大クラスタとなったクラスタを表中で赤丸とした。例えば、C2は1日異常であり、夕方異常でもあるが朝方と日中は正常であると、この提案手法によって判定できる。同様の評価を冬季(2015/12/1)でも行い結果を三田川発電所の地図上にマップしたものを

図-8に示す。日中異常を黒、朝方異常を青色、夕方異常を赤色として、該当のstringを示している。この地図は上が北方向、下が南方向となっており朝方異常は発電所の東側、夕方異常は発電所の西側に分布していることが確認できる。冬季は夏季では異常とならなかったような部分に影が伸びて影響が出ていることが確認できる。一方で東側境界では、夏季に異常とされていたstringが冬季には異常ではないとされた。これは、夏季と比較すると冬季は太陽の軌道が低く、該当stringに影のかかる時間帯の日射強度が全体的に少なく影による発電の低下が顕在化しにくいためである。

また、図-9に現地踏査した結果を示す。影を生じる原因となる障害物があることや、実際に影がかかっていることを確認した。このように一日の発電の時系列推移を

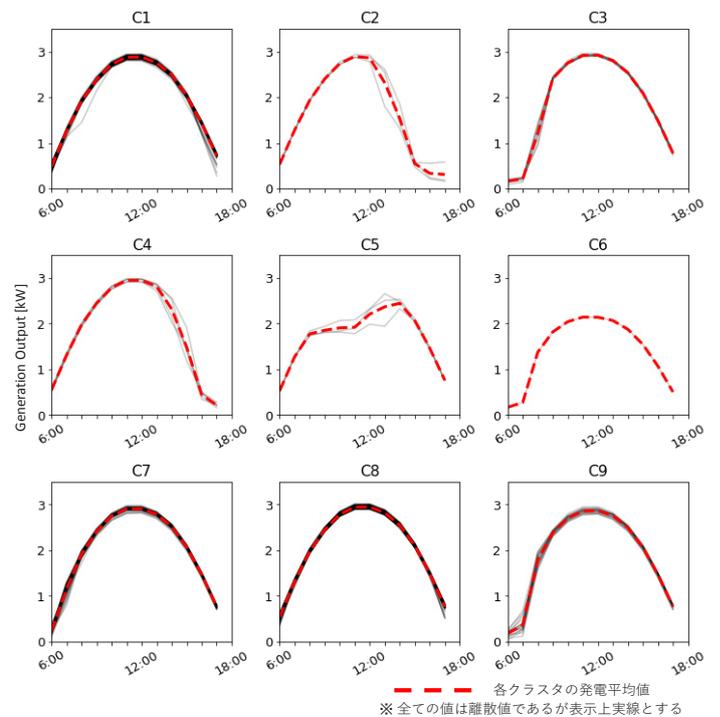


図-7 k-meansによるクラスタリング結果

表-1 クラスタリングによる異常判定

	string数	1日	朝方	日中	夕方
C1	107	○	○	○	○
C2	3	×	○	○	×
C3	8	○	×	○	○
C4	5	○	○	○	×
C5	3	×	×	×	○
C6	1	×	×	×	×
C7	42	○	○	○	○
C8	129	○	○	○	○
C9	16	○	×	○	○

k-means により9種類にクラスタリングし、時間帯別にその発電平均値を比較することで影による異常を自動的に判定でき、F18, F19を自動的に検出できた。

(3) 発電電力の経年的変化の検出手法の評価

年的変化を線形近似の閾値により検出する手法を評価するために、取得した3年分のデータを用いて評価実験を行った。発電所での計測は、1分毎に行われているため、これを1日分平均化し発電実績とした。この実績値から前章での記述のように処理を行い、正規化値を算出し異常検出を試みた。

提案手法で異常と判定されたストリングを地図と時系列の変化と共に図-10に示す。地図上で黒色にしてあるのが、異常疑いのあるストリングである。発電所は竣工から約3年が経過しているが、時系列のグラフでは、値を半年単位で平均化している。また、この異常検出を行うにあたり、前述の障害物の影による時間変化が見られるストリングは取り除いている。グラフの3-3-6等の表記はストリングの識別子である。このように9本程度のストリングが経年的な変化有として検出された。時系列推移のグラフから経年的に発電量が低下していることが確認できる。これらのストリングでは3年間で平均し

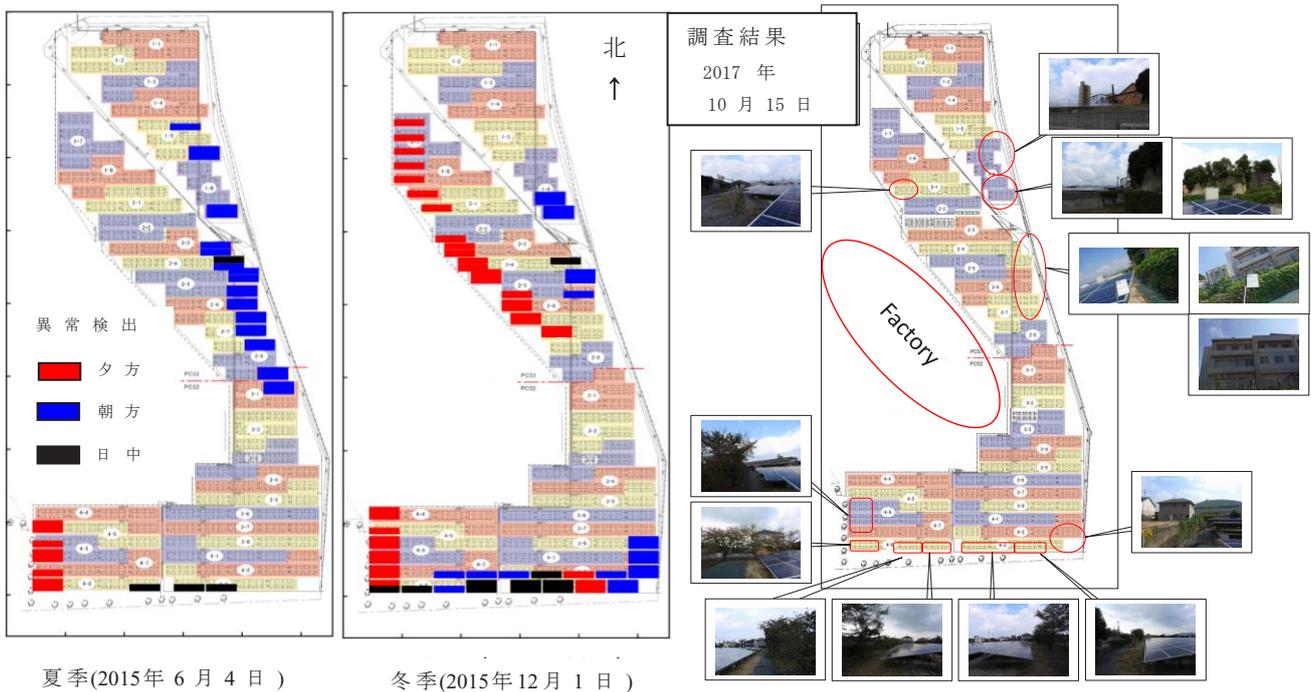


図-8 障害物などの影による時間変化異常の検出結果

図-9 障害物などの現地踏査結果

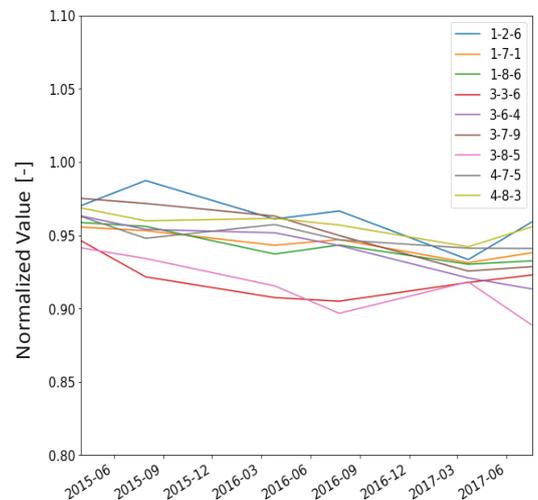
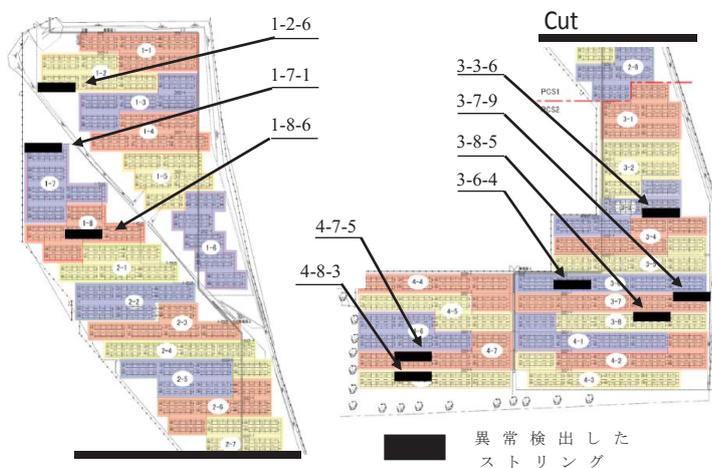


図-10 経年的変化のあるストリング一覧 (3-3-6などの表記はストリングの識別子)

て 4% 程度の低下が確認された。これはモジュールの保証値で一般的に用いられる 1 年間での 1% よりも僅かに高い値である。

これらのストリングに対して、F1, F2, F3, F5, F6, F9, F21, F23, F33 のような異常が発生しているかを確認するために、現地調査で IV カーブ走査と熱画像によるモジュール異常検査¹¹⁾を行った。現地調査の 2017/10 時点で、最も低下が大きいストリングである 3-3-6 3-6-4, 3-8-5 を重点的に調査した。まず、熱画像による判定によってバイパスダイオードに異常 (F8, F9) のないことが 3 ストリングとも確認できた。また、IV カーブの走査を 3 ストリングで行ったが、IV カーブの外観による評価でも異常のないことを確認できた。

これらのストリングの発電量の低下は、約 4% 程度と太陽電池モジュールの一般的な性能保証の年率 1% と比べて僅かに高いものの、他の異常検出手法を用いても異常のないことが確認できたため、低下は正常範囲であると考えられる。

6. 結論

本検討により、約 4,000 枚の太陽光モジュールで構成されるメガソーラー発電所の三田川太陽光発電所において、目視点検によってくまなく異常の有無を確認するのではなく、PCS 単位よりも詳細な設備監視のストリング監視により早期に異常箇所を特定できることを確認した。

また、FTA 解析によって抽出した設備異常による阻害要因と各要因に対する発電量低下の特徴をパターン分類し、収集したデータの解析や異常の再現実験によりストリング監視データの変化から異常状態を検出できることを確認した。

今後、太陽光発電所の高度な保守運用管理を実現する中で生かしていくことができる。

謝辞：本報をまとめるにあたり、経済産業省の「平成 29 年度新エネルギー等の保安規制高度化事業（電気施設保安技術高度化の評価・検証事業）」の共同事業者である住友電気工業株式会社、構造計画研究所株式会社、日本大学理工学部西川教授にご指導、ご助言を賜りましたこと、ここに記して深謝の意を表します。

参考文献

- 1) 谷村晃太郎ほか：太陽電池アレイにおける異常予測・検知に関する研究—ストリング監視システムを用いた逆流防止ダイオード短絡故障の検知，平成30年電気学会全国大会，7-018，2018.03
- 2) 近藤真由ほか：太陽電池アレイにおける異常予測・検知に関する研究—ストリング監視システムを用いた正負極間短絡事故の検知，平成30年電気学会全国大会，7-019，2018.03
- 3) 池上洋行ほか：太陽光発電所で発生する異常の網羅的解析とストリング監視による異常検出手法，電気学会 新エネルギー・環境研究会，FTE-18-006，2018.02
- 4) 大関崇，吉富政宣：太陽光発電の火災リスクに関して，安全工学会，2013.
- 5) 藤田直希ほか：太陽電池アレイにおける異常予測・検知に関する研究—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，平成30年電気学会全国大会，7-020，2018.03
- 6) K.Kato：V module failures observed in the field - solder bond and bypass diode failures -, IEA PVPS Workshop@ EUPVSEC 2012, Characterising and Classifying Failures of PV Modules, 2012.
- 7) S. Pingel, O. Frank, M. Winkler, S. Daryan, T. Geipel, H. Hoehne and J. Berghold：Potential Induced Degradation of solar cells and panels, Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2010
- 8) T. Shinoda：Acetic acid production rate in EVA encapsulant and its influence on performance of PV modules, Mitsui Chemicals, 2nd Atlas/NIST PV Material Durability Workshop, 2013
- 9) Y. Zhao, B. Lehman, J.-F. DePalma, J. Mosesian and R. Lyons：Fault evolution in photovoltaic array during night-to-day transition, IEEE, 2010 IEEE 12th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics, 2010
- 10) J. MacQueen：Some methods for classification and analysis of multivariate observations, Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, vol. 1, No. 1, pp. 281-297, 1967
- 11) 加瀬亮一，西川省吾：太陽電池モジュールのバイパス回路の開放故障検出技術に関する基礎検討，太陽エネルギー，第3巻，No 43, pp.43-50, 2017