

AIを用いたメガソーラー異常診断システム

AI-based Diagnostic System for Utility-Scale Solar Power Plants

谷村 晃太郎*
Kotaro Tanimura

中川 和三
Kazumitsu Nakagawa

浅尾 芳久
Yoshihisa Asao

下口 剛史
Takefumi Shimoguchi

松下 友久
Tomohisa Matsushita

メガソーラー発電所を長期に亘って安定稼働するために、保守点検の高度化、特に目視点検が主流である直流電圧部分の保守効率化が望まれている。当社は、複数枚の太陽電池モジュールが直列して構成されるストリング毎の発電データを、AIを用いた独自の手法で解析し異常判定するシステムを開発した。検出された異常は発電所管理者に日々のメールで異常の種類と緊急度とともに通知され、効率的な保守に活用される。さらに、このシステムを活用し異常に対する点検方法や対策なども提示する診断サービスも提供しており、その事例も紹介する。

To ensure the stable operation of utility-scale solar power plants over the long term, it is necessary to improve the inspection and maintenance levels, especially the inspection efficiency of the DC voltage parts, for which visual inspection has been conducted. Sumitomo Electric Industries, Ltd. has developed a system that detects abnormalities in solar panels by analyzing string data with AI. Data on detected abnormalities, including their types and urgency, are reported to the power plant manager via daily emails and used for efficient facility maintenance. Using the system, we also provide diagnostic services suggesting best inspection methods and countermeasures for the abnormalities.

キーワード：電力線通信 (PLC)、メガソーラー、ストリング監視、異常判定、診断サービス

1. 緒言

我が国では、2009年から段階的に施行された固定価格買取制度の施行後、多種多様な事業者によってメガソーラー発電所建設が始まり、2019年末現在で、太陽光発電は日本国内全体の電源構成の7%に成長している⁽¹⁾。

一方で、発電所の保安については、事業者ごとに温度差があると言わざるを得ない。特に直流電圧部分において、何をどのレベルで点検するかについての保安メニューは電気主任技術者毎に異なり、目視点検を主とした点検が多く採用され、長期安定稼働の面で大きな課題があった。

このような背景を踏まえて、当社では直流電圧部分の発電量をきめ細やかにモニターするストリング監視装置(SSMAP)を製品化した⁽²⁾。計測されたストリング毎の発電量が本装置の特徴である電力線通信(PLC)によって収集され、日射計、気温計、パワーコンディショナ(以下PCS)監視データなどとともに専用メーカーの基幹監視システム(以下、上位システム)に集約され、見える化されるシステムである。

しかしながら、実際に発電所の監視を行う事業者が異常事象に関する専門知識を持ち合わせておらず、見える化された数値やグラフから発電所で何が発生しているか、読み解けないなどのケースが散見された。また、上位システムのなかには異常データの検出・発報機能を備えているものもあるが、大半が判定に閾値を使っていることに問題があった。発電所はそれぞれに異なる環境下で動作しており、画

一的に閾値で判定すると誤検出と誤発報が頻発することとなる。

このような状況を打破するため、当社では経済産業省が主管する平成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・検証事業に参加、そこで培った異常判定技術をベースとして、AIを用いた独自の異常検知システムを開発、製品化した。さらに、このシステムを活かし異常に対する点検内容、対策などを示す診断サービスの提供を開始した。本論文では、開発した異常検知技術の特徴、およびその技術を活用した診断サービス例を報告する。

2. 異常診断システムの概要と特徴

2-1 PLC方式によるストリングデータ収集

図1に、メガソーラー発電所にストリング監視装置を導入した際の構成を示す。

メガソーラー発電所では、太陽電池モジュールを直列接続したストリングを接続箱でまとめて集約し、PCSに接続する。ストリングの発電電力は、PCSにて交流に変換され、配電システムに連系される。

ストリング監視端末は接続箱内に設置され、各ストリング電流と電圧を計測し、そのデータはストリングが発電した電力を送る直流ケーブルを通信線として利用するPLC方式によって、PCS入力部に設置させたデータ収集装置に伝

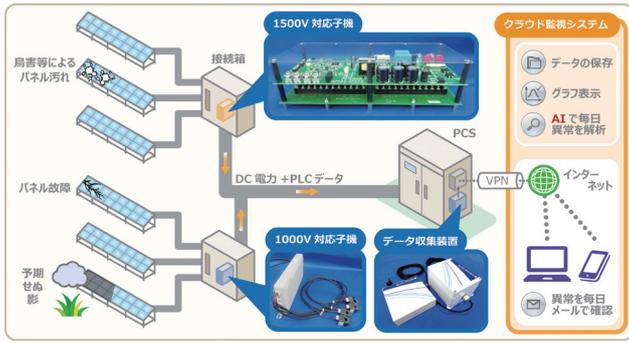


図1 String監視システム構成

送される。PLC方式の採用により、専用通信線の敷設が不要となり、稼働済みの発電所へのString監視装置の後付が容易に行える特徴を持つ。また、通信線を持たないため、誘導雷の影響を受けにくく、雷に対する耐性が高い。これまで70発電所への採用実績があるが、雷による故障の報告はない。

2-2 Stringデータによる異常診断

データ収集装置によって集約されたStringデータはクラウド上に構築されたデータ蓄積・解析装置に蓄積され、メガソーラー発電所の異常診断が行われる。

String数は1MW当り200~300本程度で構成され、人の目による異常判断は大変な労力を要する。当社は、後述するAIを利用した独自の異常診断技術により、図2のようにString異常を7種に分類する技術を開発し、その結果を日次メールとして発電所管理者に送付するシステムを構築した。これによって、管理者は異常の種類と緊急度をスキルレスで日々把握し、タイムリーで効率的な保守を行うことが可能となる。

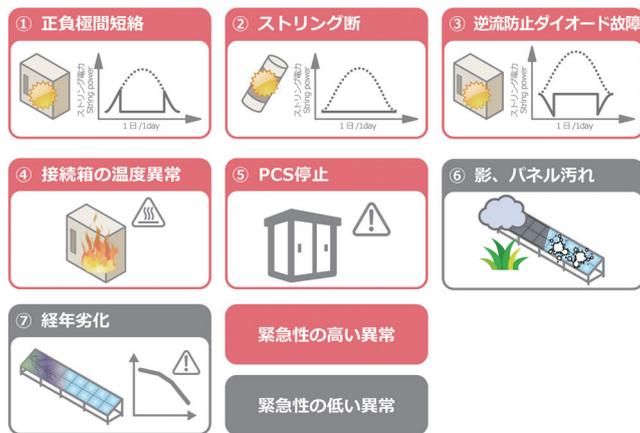


図2 String異常の分類

3. 発電異常診断技術の開発

3-1 診断対象とする異常事象

太陽光発電所の太陽電池モジュール、直流電力機器（逆流防止ダイオード、配線、ブレーカー、コネクタ、端子台など）など直流側の機器に対して、発電出力低下を引き起こす要因をFTA（Fault Tree Analysis）により解析した結果を図3に示す。これら各要因によってどのような発電低下が発生するか検討を行うとともに、実際に異常が発生して困っている事象を顧客にヒヤリングすることで、図2に示す7種類の異常に分類し、String電圧・String電流データからこれらの異常を検出する手法を開発した。異常事象が発電量に与える変化は、図4の3種のパターンに大別される。各パターンに対する異常判定方法について、異常例を挙げ、以下に述べる。

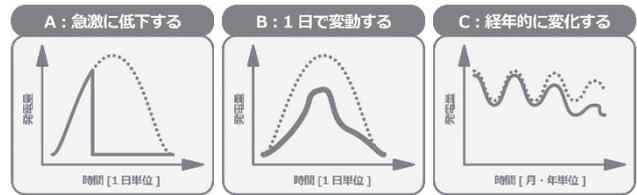


図4 定義した発電量の変化パターン

3-2 逆流防止ダイオード短絡故障の検出

急激な発電量の低下を捉えるためには、短周期の計測データを監視することが有効である。本製品は、サンプリング周期6秒の瞬時値を1分毎に平均化処理した値で解析する。逆流防止ダイオード短絡故障は、日中時間帯の発電量の変化が微量なことから、朝方と夕方の日射強度が少ない時間帯に着目した。当該時間帯の日射強度はおおよそ100W/m²程度と小さいが、太陽電池モジュールは発電状態で動作する。この僅かな発電電力によりString監視端末は稼働するが、PCSは起動に必要な電力量が得られないため停止状態となる。健全な発電所では、PCS停止時は太陽電池モジュールの発電電力が流れるルートが構築されないため、当該時間帯の発電電力量は0となる。しかし、逆流防止ダイオードが短絡故障したStringの開放電圧の低下が発生した場合、周囲の太陽電池モジュールから電流が流れ込み、当該Stringに対する逆流が発生する。図5の例では、逆流防止ダイオードが短絡故障したStringが影により開放電圧が低下した状態での電流変化を示しており、0~3秒におけるPCS停止期間で電流の逆流が確認できる⁽³⁾。本製品はこの電流の逆流現象を監視することで、従来検出が極めて難しかった逆流防止ダイオード短絡故障を高精度に診断する。

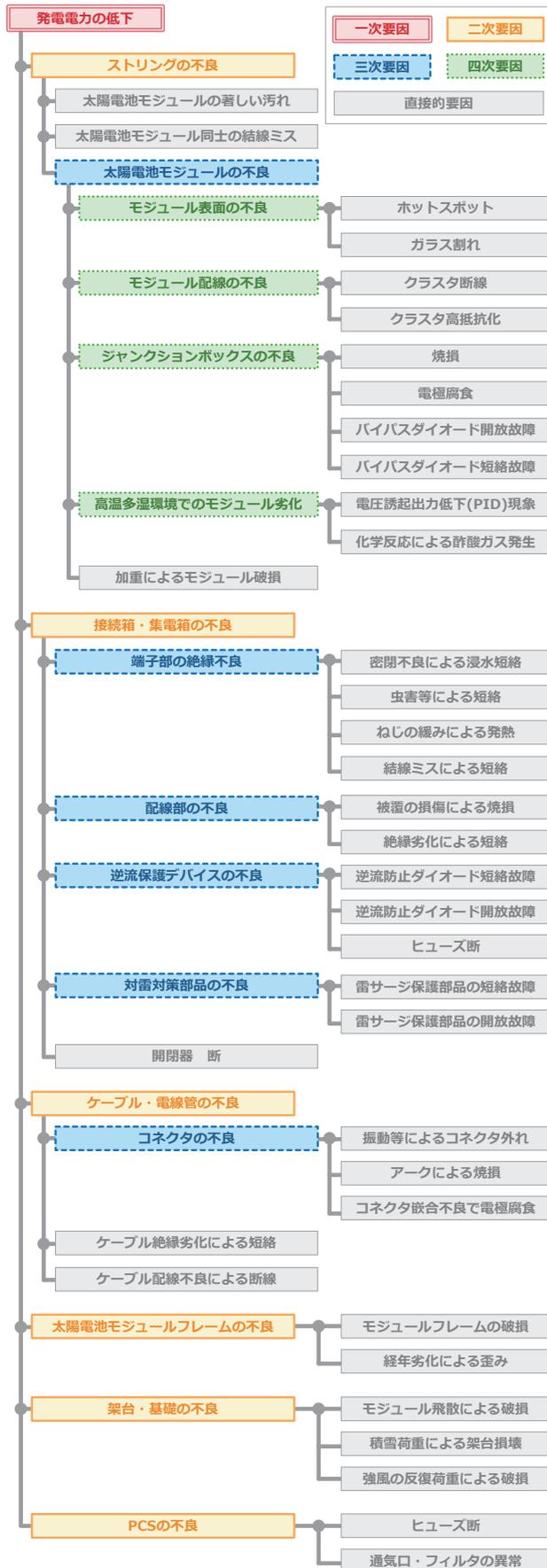


図3 FTAによる発電低下要因の解析結果

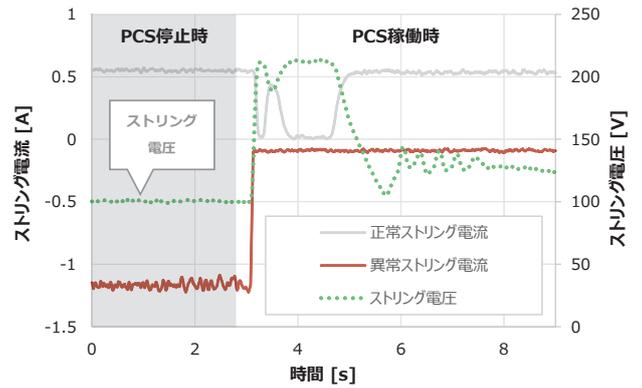


図5 逆流防止ダイオード短絡故障ストリング電流の様子

3-3 影による発電低下の検出

発電量が1日の時間帯で変化するパターンを捉えるためには、発電波形の特徴を的確に把握し、膨大な発電データを傾向別で分類することが有効である。発電量が時間帯で複雑に変化する異常事象に関して、本製品は、教師なし学習の1つであるクラスタリング手法を用いて、技術者による波形確認結果に近い、特徴別の波形分類を実現した⁽⁴⁾。影による発電量の変化は太陽の動きによるため、時間帯毎に発電への影響が異なる。解析対象データは、日の出時間から日の入り時間までのおよそ12時間の発電電力の1時間平均値を用いることで、日射変動による短期的変動成分を除去した。クラスタリング手法を適用することで、図6に示すように、発電波形の特徴別にデータを自動分類する。ストリングの発電性能評価は、発電時間帯を朝方、日中、夕方の3時間帯に分け、正常ストリングに対して各時間帯毎の発電量低下により、午前影などの異常グループを

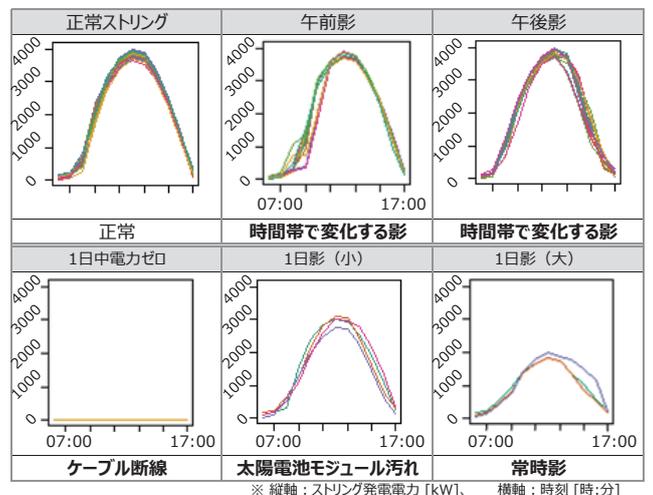


図6 クラスタリング手法を用いた異常波形の検出例

検出する。影と判定されたストリングを現地調査した結果、**図7**に示すように影の原因がそれぞれ確認できた。雑草等による影の場合は、原因を取り除くことにより売電ロスの改善が期待できる。本製品は、このように発電量が時間帯で変化する異常事象の検出を実現した。

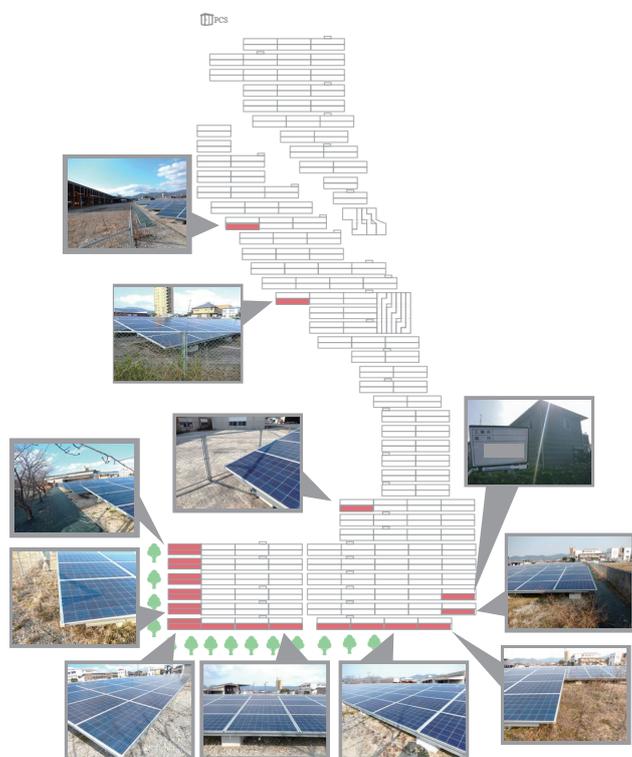


図7 影検出ストリングの現地調査例

3-4 経年劣化による発電低下の検出

発電量が経年的に変化するパターンを捉えるためには、年単位の長期間データを傾向別で分類することが有効である。**図8**の例では、日々大きく変動する発電電力から特徴点を抽出して性能診断波形を生成する。

得られた性能診断波形を用いて、太陽電池モジュールの一般的な経年劣化保証である年率1%低下を下回るストリングを診断するが、実際には季節性の影により経年劣化診断が難しいストリングが存在する。本製品では、季節性の影の影響を除外した上で経年劣化の診断機能を実現した。

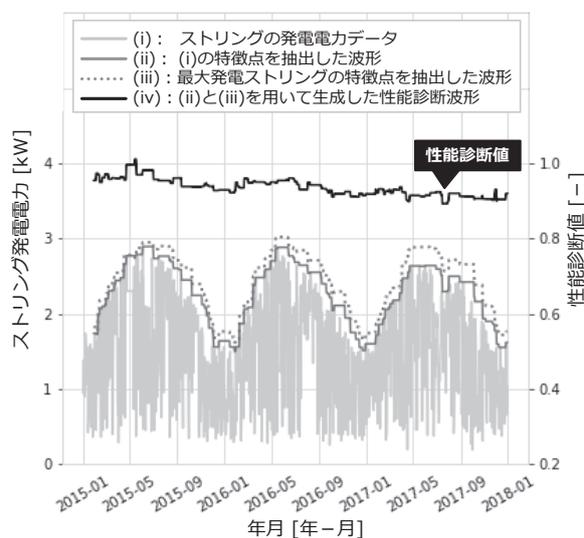


図8 スtringの性能診断波形を生成する例

4. 異常診断サービスと売電ロス改善例

本装置による自動異常診断及び、**図9**に示す日々の発電レポートメールでは、日々の発電状況や異常診断結果が通知されるが、異常状況のトレンドを正しく把握し、費用対効果の高い異常対策を適切な時期に実施できれば、保守の更なる省力化・効率化が期待できる。

当社は2019年11月末より、これらを実現する、発電所解析レポートサービスの提供を開始した。本サービスでは、日次レポートメールの内容に加えて、前年からの異常状況の変化や、費用対効果を考慮した異常対策案を示し、発電所をきめ細かく解析する。

4-1 異常診断サービス内容のご紹介

本サービスでは、当社の保有する様々な発電所データのヒストグラム解析により、発電所の運用状態を評価することが可能である。例えば**図10**では、顧客発電所Aのストリング発電状況の分散が大きく、理想的な発電環境でないストリングが多いことがわかる。ヒストグラムの山が低く分散が広がる原因は、雑草等による影の増加や、モジュール清掃等の定期メンテナンス不足である。さらに、ヒストグラムの山が2つ確認できることから、影や定期メンテナンス不足の影響を受けているストリングが多数存在することがわかる。前述した異常解析結果を活用した費用対効果の高いメンテナンス提案を提供する。

4-2 影の除去が困難な場合の売電ロス改善例

現地調査によりフェンスの影が確認された発電所では、**図11**に示す配線替え工事を提案し、実際に売電量の改善を実現した。本事例では、影の除去が困難であったため影の影響を受けるストリング数を減らすアプローチを提案した。売電量の改善効果をシミュレーションで試算した後に工事を実施した結果、発電量が2.3%向上した。配線替え工



図9 日次レポートメールサンプル

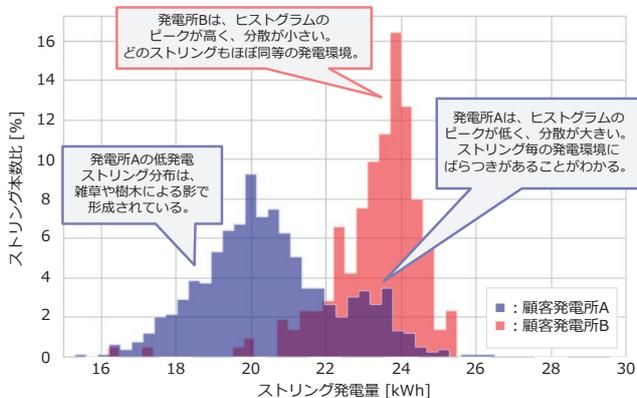


図10 ヒストグラムによる発電量実績値の比較例

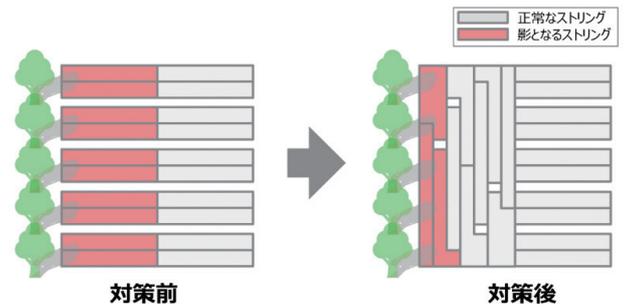


図11 String配線替え工事提案の例

事の費用は約8年で回収でき、残り運用期間15年間の継続した売電改善効果も期待できる。

5. 結 言

太陽光発電設備の異常診断技術は、設備の長期安定稼働と、将来の保守人材不足への対応に不可欠と考えられる。常時遠隔監視技術であるString監視を応用した異常検知技術のさらなる高精度化を図り、診断サービスの高度化及び現地保守点検の省力化を推進する。

・SSMAPは住友電気工業㈱の登録商標です。

参 考 文 献

- (1) 環境エネルギー研究所、2019 (暦年) の自然エネルギー電力の割合 (速報)、<https://www.isep.or.jp/archives/library/12541>
- (2) 後藤哲生ほか、メガソーラー用String監視装置、SEIテクニカルレビュー第190号、p.33-38 (2017)
- (3) 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—String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 (March 2018)
- (4) 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String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 (February 2018)

執筆者

谷村晃太郎* : パワーシステム研究開発センター



中川 和三 : パワーシステム研究開発センター
主席



浅尾 芳久 : パワーシステム研究開発センター
グループ長



下口 剛史 : パワーシステム研究開発センター
部長



松下 友久 : エネルギーシステム事業開発部
グループ長



*主執筆者