

メガソーラー向けO&Mサービスと 高精度PVモジュール監視技術

河野 亨
Kohno Tohru

大屋 徹治
Ohya Tetsuharu

中村 知治
Nakamura Tomoharu

メガソーラー事業の成否は、20年間安定に性能を発揮し続けるか否かにかかっている。しかし、メガソーラーの歴史は浅く、長期信頼性、維持管理手法に関するデータの蓄積や知見は十分とは言えない。日立グループでは事業者に代わり設備の長期にわたる運用、保守（O&M）を一

括で請け負うサービスに力を入れている。受変電設備の保守の経験に加え、情報インフラを活用したクラウドでの遠隔監視サービスなども提供している。またキーコンポーネントのPVモジュールの故障、劣化を高精度に検出できる独自技術を適用している。

1. はじめに

2012年7月に再生可能エネルギーの固定価格買取制度が開始されて以来、太陽光発電設備の建設は驚異的な伸びを示している。同制度施行までの累計導入量約560万kWに対し約1年後の2013年10月までの累積導入量は約1,126万kWと、約1年強で2倍以上になった。今後さらに大容量の設備の運転開始が続くことから、当面はこの傾向は加速するであろう。

従来、太陽光発電は住宅向けが約80%を占めていたが、この制度施行以来、事業目的の設備が約70%を占めている。事業として重要なことは設備の長期信頼性と、故障・性能劣化を見逃さずに健全な運転を長期間続けることである。

そこで日立グループは、長期の安定運転を支援するO&M（Operation and Maintenance）サービスに力を入れている。特にキーコンポーネントのPV（Photovoltaic）モジュールの故障や劣化の監視については独自技術を開発しクラウドでサービスを提供している。

ここでは、メガソーラー向けO&Mサービスと高精度PVモジュール監視技術について述べる。

2. O&Mサービスの概要とシステム

太陽光発電では、事業を企画する企業が設立するSPC（Specific Purpose Company：発電事業を行う特別目的会社）が事業を運用するケースが多い。このような組織の場合、組織規模も小さく、運用、保守（O&M）に十分なリソー

スを準備することが難しいうえに、太陽光発電は歴史も浅く、O&Mに関する知見も十分とは言えない。そこで、事業者に代わり日立グループが設備のO&Mを、一括して請け負うサービスを提供している。日立グループが、一括して請け負うことで以下に紹介する監視技術やノウハウを適用でき長期間安定した運転を実現することができる。

2.1 メガソーラーの故障要因

メガソーラーは、太陽電池モジュール、PCS（Power Conditioning System）、変圧器、接続箱、受配電盤などで構成される。受変電設備、パワーエレクトロニクス機器、PVモジュールなどメガソーラーの故障要因にはさまざまなものがある。特に長期間にわたり屋外で日光や風雨にさらされることで、太陽電池モジュールの経年劣化による発電出力低下など経験の少ない事象も予想される。また、外的要因として、ほこりなど大気中の汚れがモジュール表面に付着するもの、カラスなどの鳥獣の糞（ふん）や、カラスの仕業と思われる落石などによる表面ガラスの割れなども発生する場合がある。O&Mでは、単に基準に沿ったメンテナンスではなく、このような想定される故障を踏まえたメンテナンスを実施することが重要である。

2.2 サービスメニュー

2.2.1 点検保守サービス

日立グループが提供するO&Mサービスメニューを表1

表1 | O&Mサービスメニュー

日立グループはメガソーラーの運転、保守に必要な業務を幅広くサポートしている。

メニュー	内容
運転支援	・24時間遠隔監視 ・運転データ管理、稼働状況分析（計画値との比較など） ・報告書作成（日報、月報、年報）
日常業務支援	・日常巡視点検（1回／週、月 など）
点検保守	・保守計画 ・定期点検、計画部品交換 ・故障、消耗部品修理対応
緊急対応	・初動対応 ・故障復旧
付帯サービス	・PVモジュール劣化、故障オンライン監視 ・Webサイト構築

注：略語説明 PV (Photovoltaic)、O&M (Operation and Maintenance)

に示す。日常業務支援（日常巡視点検）は目視点検を主体とするもので、破損、変形、腐食、汚損、発錆（はっせい）などの有無を点検する。点検保守は機器の機能維持に最適な定期点検、部品の交換を行う。電気的な健全性の確認（絶縁抵抗測定、PCS、変電機器、監視システムなどの機器の動作確認）、消耗品の交換（ヒューズ、スペースヒータ、フィルタ、パッキンなど）を行う。

2.2.2 遠隔監視サービス

太陽光発電設備は、通常、自動運転で無人運転されることが多い。そのため、万一異常が発生した場合、発見が遅れ長期間の発電能力の低下や、より重大な事故へ進展するおそれもある。その対策として、日立グループでは遠隔監視サービスを提供している。24時間、遠方の監視拠点から顧客発電設備の運転状態を遠隔監視し、故障発生時に電話とメールで顧客へ連絡するとともに、状況に応じて必要な技術者を現地へ派遣するなど迅速な対応を実現している。遠隔監視システムでは、複数拠点に分かれている社内に関連部門でも現地の詳細情報が把握できるシステムを構築している。併せて、運転データの管理や稼働状況分析など発電事業者の負担を軽減するメニューを提供している。

この遠隔監視サービスは日立グループの情報インフラを活用しており、情報セキュリティを含め信頼性の高いサービスを提供している。

3. PVモジュールの劣化、故障監視

3.1 劣化、故障モード

PVモジュールの劣化・故障の要因は、主要コンポーネントであるPVセルのみではなく、モジュールを構成する充填（じゅうてん）剤やセルを接続する配線材の劣化によるところが大きい。セル間は、はんだ付けによりインターコネクタと呼ばれる金属配線で接続される。ジャンクションボックスには、バイパスダイオードが搭載される（図1参照）。

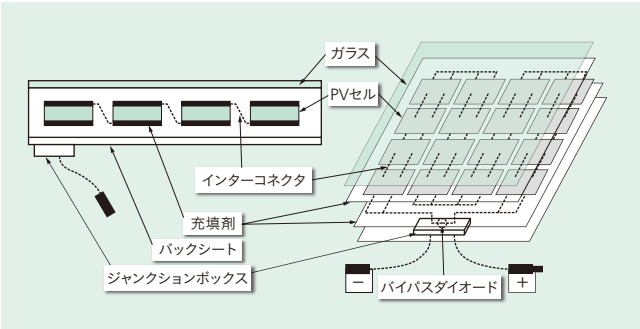


図1 | PVモジュールの断面構造

PVモジュールの劣化・故障要因は、PVセルのみでなく、充填（じゅうてん）剤やインターコネクタの劣化によるところが大きい。

故障モード	要因	等価回路への影響
はんだ剥がれ	・インターコネクタの配線抵抗増加	直列抵抗：Rsの増加
セル劣化	・PVセル性能の劣化 ・オーミック化	シャント抵抗：Rshの低下
断線	・性能劣化大きい場合、バイパスダイオードが常時動作	バイパスダイオード経路オン
光透過率の低下	・ガラスへの汚物付着 ・充填剤剥がれ	光電流：Isc0の減少

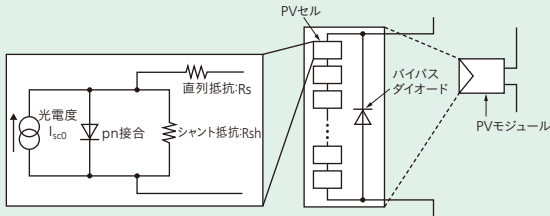


図2 | 故障モードと等価回路

PVモジュールの故障モードは、いくつかの種類に大別され、等価回路上のパラメータに精度よく反映することができる。

これらの劣化・故障現象は、PVセルの等価回路のパラメータに反映し、定量的に把握することが可能である。コンポーネントに起因する故障や劣化は、いくつかの故障モード（はんだ剥がれ、セル劣化、断線、光透過率の低下）に大別でき、モード別に、等価回路上の各パラメータ（直列抵抗、シャント抵抗、バイパスダイオード動作、光電流）へ反映される（図2参照）。

3.2 診断技術

PVモジュールの故障や性能劣化の把握は、発電出力を監視することで行う。発電出力を監視し、日射量と発電出力の比較を行うことが一般的な方法であるが、日射量や気温は変動するうえ、広大な敷地で一様ではないので、ある程度出力が低下するまで劣化や故障と判断することが難しい。

日立グループは、実際の動作点から、より正確な日射量（想定日射量）、温度（想定温度）を推定し、その推定値と等価回路の各パラメータ値から理論発電量を算出して、実

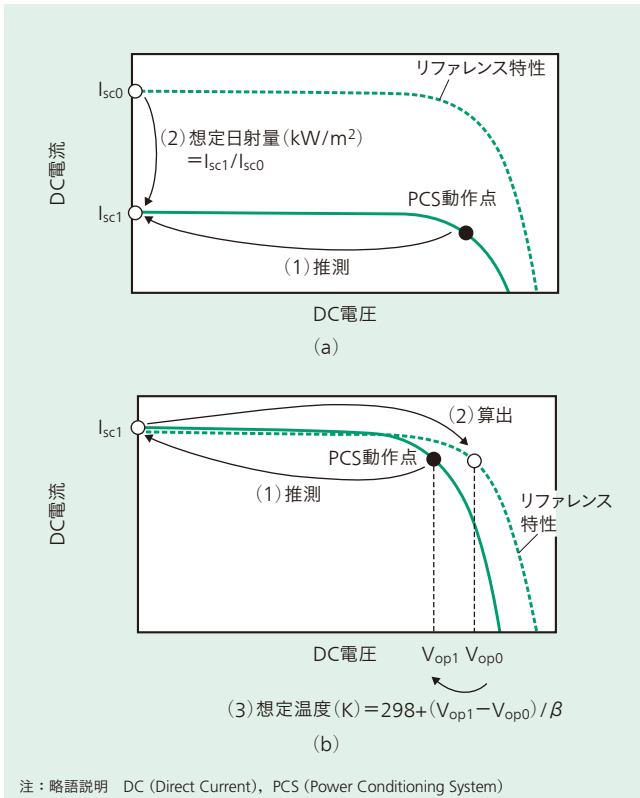


図3 | 想定日射量の算出 (a) と想定温度の算出 (b)

PCSの動作点 (DC電圧とDC電流) からPVに照射している日射量 (想定日射量) とPVセルの動作温度 (想定温度) を求める。

際の実発電量と比較することにより、PVの状態を高精度に把握するという監視方法を開発した^{1), 2)}。

この手法のキー技術は、最終判定に日射計や温度計の測定値を使わず、PVモジュールの特性と測定値から求める理論日射量 (想定日射量) と、理論モジュール温度 (想定温度) を使うことである (図3参照)。この手法により、不確かな代表点の日射計に頼ることがなく、また気温からモジュール温度を推定することも不要となる。

PVモジュールの診断は、前述の想定日射量、想定温度と、計測された運転電圧から理論上の想定電流を算出し、計測された電流と比較することで行う。想定電流と計測電流が異なるということは、PVモジュールの故障か性能劣化があることを意味する。モジュール故障数を仮定し、その数を可変しながら想定電流と計測電流が一致するまで計算を繰り返す。こうしてPVモジュールの故障数を推定する。ストリングモニターを採用している場合は、故障モードを加味した計算を行い、実際のストリング電流とどのモードが最も近いかを監視する (図4参照)。

日立製作所中央研究所に設置した50 kWシステムを用いて実証を行った。ダンブラ (ダンボールプラスチック) を表面に置くことで、PVモジュールの故障を模擬した (図5参照)。ダンブラを32枚配置したケースでは故障数33個という結果が得られ、2%~3%程度の損失を検知可能で

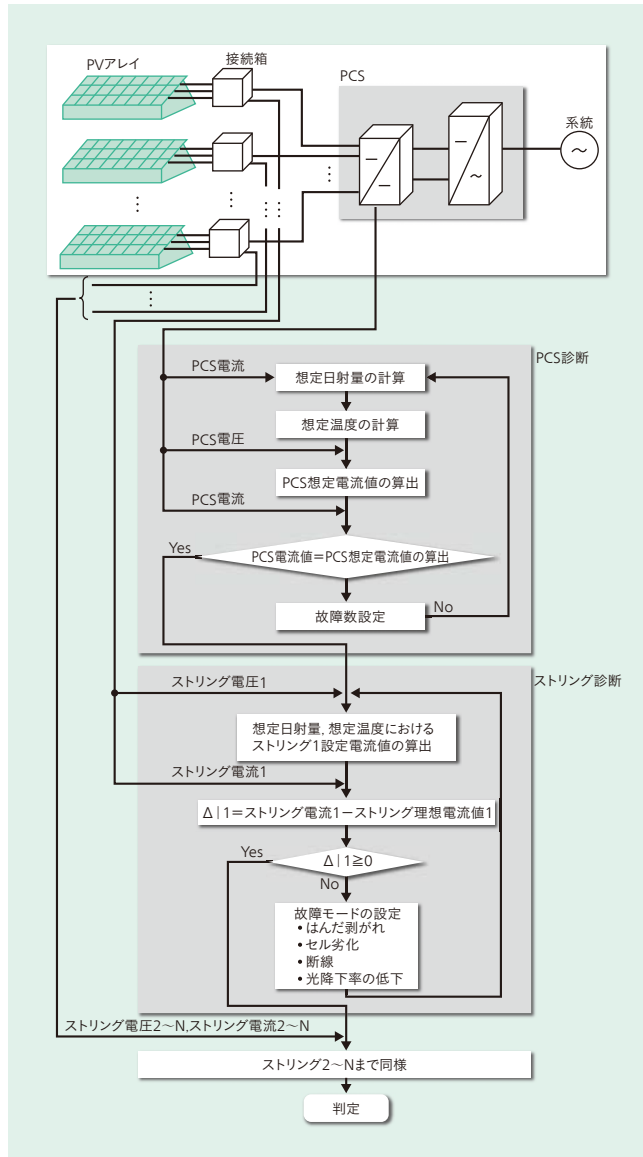


図4 | 診断フローチャート

PCS電圧、PCS電流から想定日射量、想定温度を求め、理論上の想定電流と計測電流が一致するまで、故障モードの設定を繰り返す。

あることが確認できた (表2参照)。また、2種類の故障を模擬 (1つ目は、1.3 Ωの配線抵抗を挿入、2つ目はダンブラを配置) し、ストリング診断を実施したケースでは同様に

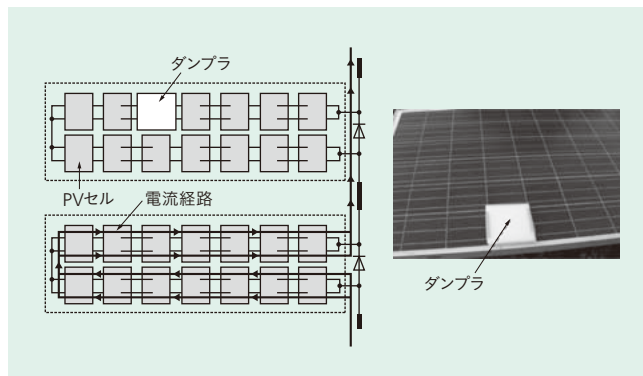


図5 | ダンブラ (ダンボールプラスチック) による故障模擬

ダンブラを配置することにより、電流が強制的にバイパスダイオードを流れるので、故障モード「断線」が模擬される。

表2 | 50 kWシステムでの実証結果（PCS診断）

故障模擬（ダンブラ）32個 に対して、PCSのDC電圧、DC電流のみから、モジュール故障数33個を判定した。

試験内容	PCS診断					モジュール故障数
	想定電力	実電力	想定温度	想定日射量	劣化率	
ダンブラ 32個 配置	36.4 kW	36.3 kW	60.7℃	0.83 kW/m ²	2.34%	33

表3 | 50 kWシステムでの実証結果（ストリング診断）

ストリングモニターのDC電圧、DC電流を用いることで、2%～3%の損失であっても、故障モードの検知が可能である。

試験内容	ストリング診断結果				判定
	想定電力	実電力	想定温度	想定日射量	
ダンブラ 配置	1.965 kW	1.899 kW	43.7℃	0.67 kW/m ²	断線
抵抗 1.3Ω挿入	2.511 kW	2.468 kW	53.7℃	0.88 kW/m ²	はんだ 剥がれ

2%～3%程度の損失を検知可能であることが確認できた（表3参照）。

3.3 クラウドでのサービス提供

運転状態はネットワークでPCSから収集できる。こうして得られたDC（Direct Current：直流）電圧・DC電流、日射計測値、気温計測値を日立のデータセンターの監視サーバに送信し、サーバ内で診断を行い、診断結果を蓄積するシステム（図6参照）を構築することで、さまざまなサービスの拡張を図っている。

例えば、劣化率を時系列に解析する機能を追加し、オン

サイトでの調査を行うべきかの判断をする。日立グループは、劣化・故障を含んだ電流－電圧特性を高精度に再現する技術を保有しているため、その技術を取り込んで、故障モジュールをローカライズするまでの一貫したサービスを実現する。

監視サーバ内診断機能のフレキシビリティを高めることで、長期間運用にわたる高精度な監視サービスが実現される。例えば、長期運用でのモジュール交換により、複数の種類のPVモジュールが混在することが予測されるが、監視サーバ内に、新規に追加されたモジュール情報を反映することで数種類のPVモジュールが混在した状況でも、高精度な監視を維持することが可能となる。

さらに、過去からの劣化率の変化分や日立グループ内で実施している屋内加速試験の試験結果をクラウド上で組み合わせることで、15年後、20年後の損失を予測し、モジュールの最適な交換タイミングを提供するサービスなどの開発を進める。

4. おわりに

日本は大量の太陽光発電が運転される時代を迎えた。しかし、本格的な発電設備としての歴史は浅く、長期の安定な運転をサポートする技術の確立が望まれる。ここで紹介した故障監視技術もその1つである。今後、故障監視技術に加え、長期信頼性に関する検証技術が一体となって事業としての太陽光発電の導入を後押しすることが期待できる。

参考文献

- 1) T. Kohno, et al.: A Technique for Detecting Faults in a Photovoltaic Array, 27th EU-PVSEC, proc, pp. 3610-3615
- 2) T. Kohno, et al.: Experimental Verification of Fault-diagnosis Architecture in a Large-scale Photovoltaic Power Plant, 28th EU-PVSEC, proc, pp. 3709-3713

執筆者紹介



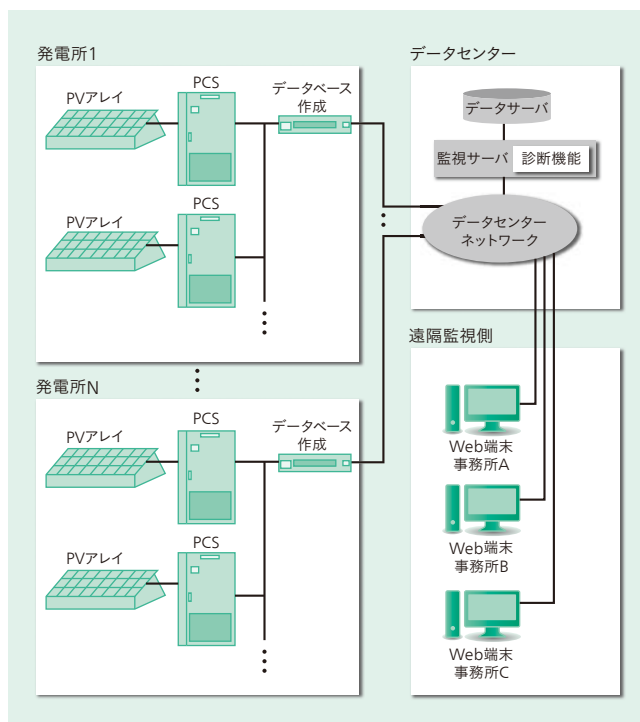
日野 亨
日立製作所 中央研究所 エネルギーエレクトロニクス研究部 所属
現在、メガソーラーの技術開発に従事



大屋 徹治
日立製作所 電力システム社 日立事業所 太陽光発電システム部 所属
現在、メガソーラー発電設備のシステム設計業務に従事



中村 知治
日立製作所 電力システム社 電機システム事業部 所属
現在、メガソーラーの技術開発に従事
技術士（電気電子部門）
電気学会会員、IEEE会員

**図6 | 診断機能のクラウド化**

複数のサイトの診断データや時系列に診断結果を蓄積することにより、サービスを拡張する。