

屋外設置済み太陽電池の評価と保守

Evaluation and Maintenance of the Solar Panels Installed Outdoors

池田 輝雄
Teruo IKEDA

概 要

2012年7月に「再生エネルギー固定価格買取制度 (FIT:Feed-In Tariff)」が始まり、急速な勢いで日本中にソーラーパネルが設置されている。ビジネスとしての「売電」を考えた場合、メンテナンスを欠かすことはできない。そのような中、アイテスでは設置済みソーラーパネルの9割以上を占める「結晶型ソーラーパネル」の検査装置である Solamente-Z および Solamente-iS を開発した。これにより、大幅に出力低下したソーラーパネルを簡単に発見・特定することが可能となった。その方法について紹介する。

1. はじめに

2012年にFIT開始当初は、太陽光発電による発電電力の買取価格が40円/kWhと他国と比較して高く設定されたこと¹⁾、他の再生エネルギーの発電方式に比べてシステムが簡単で参入が容易であったことから異業種からの参入もあって、急速に太陽光発電所が増えた。しかし、2016年8月時点での買取価格は、産業用途の太陽光発電所で24円/kWhまで下がり¹⁾、新規に太陽光発電所を建設することに対して、投資や収益の面からは魅力が低下している。

ここで、太陽光発電所建設を請け負うことで事業規模を拡大してきた業者は、事業規模を維持するため、建設から保守へと向かい始めている。しかし、一般財団法人太陽光発電協会から提示されている点検ガイドラインでは、目視検査、安全面での電気検査（地絡故障、漏電等）については記されている²⁾が、発電の心臓部とも言えるソーラーパネルの発電性能の点検については明示されていない。

それは、ソーラーパネルの発電電力が天候・日射量・気温等の外部環境に影響されてしまうため、発電性能を正確に測定することがきわめて難しいことにある。

そこでアイテスでは、ソーラーパネルの構成・構

造に着目し、ストリングの開放電圧とインピーダンスを計測することで、故障（または劣化）したソーラーパネルを短時間の作業で簡単に発見する方法を開発、製品化したのでここに紹介する。

2. 太陽電池発電システムの構成

ここでは、日本国内の太陽光発電所の9割以上を占める結晶型ソーラーパネル（単結晶、多結晶、ヘテロ結合型など）について説明する。

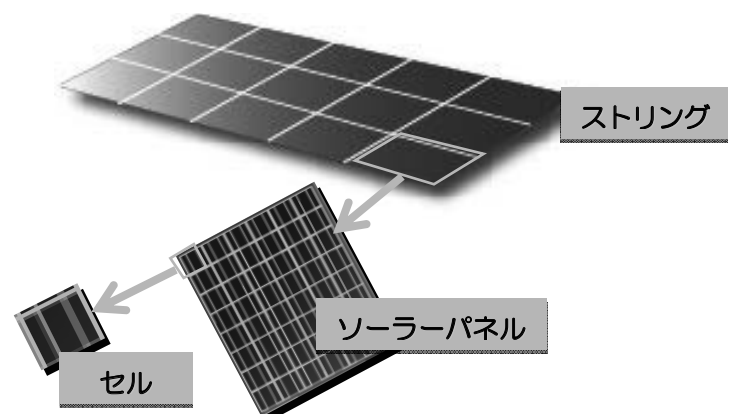


図1 太陽電池の構成

結晶型ソーラーパネルは約150mm（6インチ）角のセルを発電最小単位として構成されている。セル

に太陽光が照射されると、約 0.5~0.6V、約 8A の電気エネルギーに変換される。セル 1 枚の電圧は低すぎて利用しにくいいため、直列に接続して数十 V 程度に高めたものがソーラーパネルである。さらに複数のソーラーパネルを直列に接続して、数百ボルトに高めたものをストリングと呼んでいる (図 1)。

つまり、ストリングとは数百~千個以上のセルを直列に接続することによって扱いやすい電圧にしているのである。ところが、そのうちの 1 箇所でも壊れたり、影になると、直列接続であるためにストリング全体に電流が流れにくくなる。発電力の低下を押しやるため、数枚のセルに並列になるようにバイパスダイオード (以下、BPD) を配置する (複数のセルと BPD が並列になったグループをクラスタと呼ぶ)。影になったセルや故障したセル、断線故障がある場合でも、他の健全セルが発電した電流は BPD を迂回路にすることで、発電力低下を極小化している。つまり、太陽光発電の最小単位はセルであるが、クラスタを基本単位とした発電が行われているのである。

ソーラーパネル内には複数 (3 個程度) のクラスタが存在し、外部に取り出せるという意味での発電力はクラスタ単位である。

3. クラスタ故障に目を付ける

セルは P 層、N 層を接合した半導体で、発電素子として利用した場合、一般的には図 2 のような簡易な等価回路として扱うことができる。

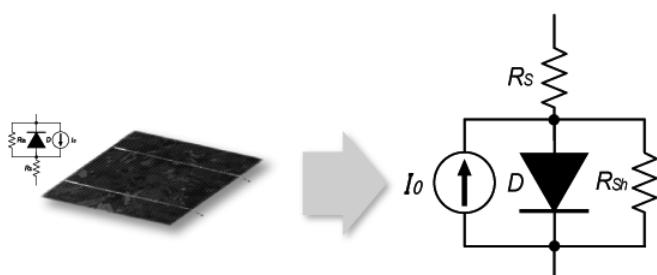


図 2 セルの等価回路

さらに、セルを直列に接続した、ソーラーパネル、ストリング全体に対しても同様の等価回路を使って表すことができる (図 3)。

ソーラーパネルの健全性を点検するために、一般的には IV 測定機 (電流・電圧特性を測定する) が使われる。これはその時点における日射量・影等に対してどういった出力特性が得られるかを測定する

ものである。日射量は刻々と変化すること、十分な日射量が得られるのは 1 日のうちでも数時間しかないこと、などを考慮すると太陽光発電所という現場における定期点検に利用するのに適しているとはいいきれないところがある。図 4 はパネルに影がかかった場合の、ソーラーパネル 8 枚の正常パネルとクラスタ故障パネルの IV カーブ (赤線・左軸) と PV カーブ (青線・右軸) である。この図から、ソーラーパネル 8 枚だけであっても影や雲の影響があると、正常か異常かを判定することは不可能である。ましてや太陽光発電所においてストリングで測定する場合、10~20 枚のソーラーパネルのうち 1 箇所でも影がかかると、正常かどうかを判定できるデータは得られない。また太陽光発電所の点検は、いつも快晴であるとは限らないのである。得られた IV カーブからそこに故障が潜んでいるかどうかは、ソーラーパネルを熟知した専門家でも困難である。

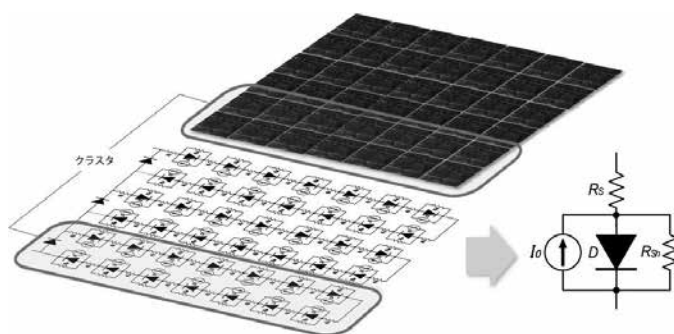


図 3 ソーラーパネルの等価回路

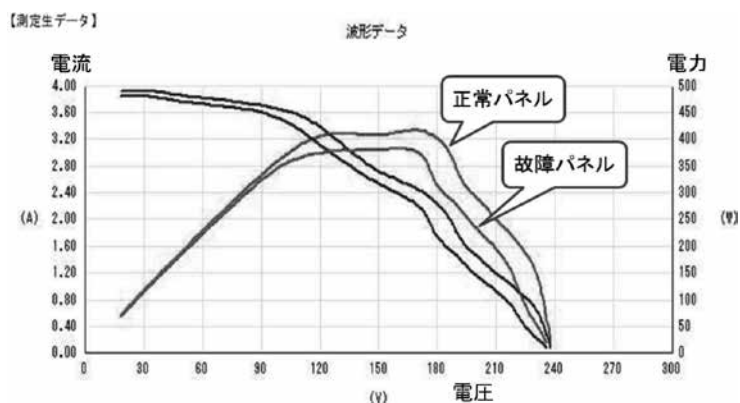


図 4 影がある場合の IV カーブ

そこで、アイテスではソーラーパネルの構造に目を付けた検査装置であるソラメンテを開発した。これはクラスタ故障を簡単に見つけるものである。クラスタ故障とはクラスタ単位で発電力が低下する故障である。大きく分けて 3 種類ある。

まずは断線パネルである。断線箇所が存在するクラスタは当然のことながら発電には寄与できない。断線しているクラスタの分だけ、開放電圧が下がることになり、他のクラスタで発電した電流は BPD を迂回路として流れていく。この場合、パネルの抵抗値はとて大きくなる（断線故障）。

次に高抵抗化パネルである。ソーラーパネルのどこかに数Ω程度以上の抵抗体が存在する故障である。例えば、インタコネクタと呼ばれる導電体（一般には銅が使われる）が外れかけてはいるが電気的には微妙につながりが残っている状態である。発電電流は、8 アンペア程度にもなるため、高抵抗となっている部分で電圧降下が起こり、そのクラスタ内での発電力を打ち消してしまう。この場合、他のクラスタで発電された電流は断線故障と同じように BPD を迂回することになる。ただし、電気的にはつながっているため、開放電圧を測定すると正常パネルと同じ電圧を測定できてしまうので、開放電圧測定だけでは見つかからない故障モードである（高抵抗化故障）。

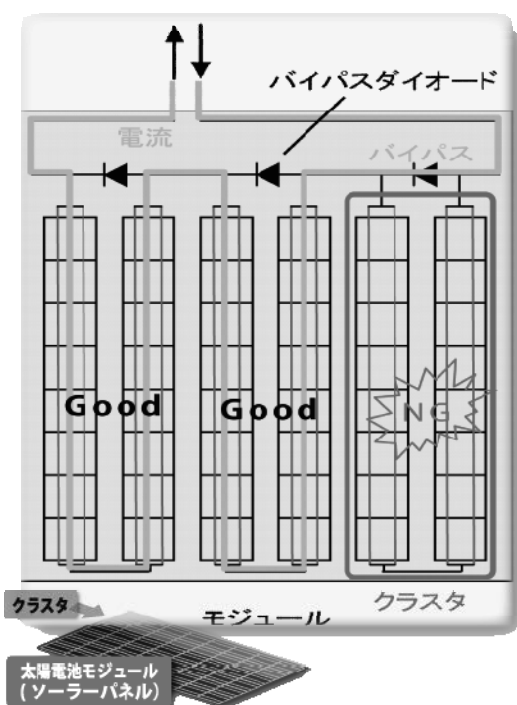


図5 断線故障、高抵抗化故障時の電流の流れ

最後に BPD の短絡故障である。クラスタが影や故障のために発電状態にないときは迂回路として働くのが BPD であるが、通常発電時には逆バイアス電圧の状態になることで逆流を防ぐ。BPD が短絡故障状態になると発電時・非発電時のどちらにおいても、そのクラスタで発電した電流は逆流することに

なる。この状態ではクラスタ分の発電力が低下してしまうため、やはりクラスタ故障として扱うことができる。雷被害があった太陽光発電所では BPD の短絡故障が多発するという故障が目立っている(図6)。

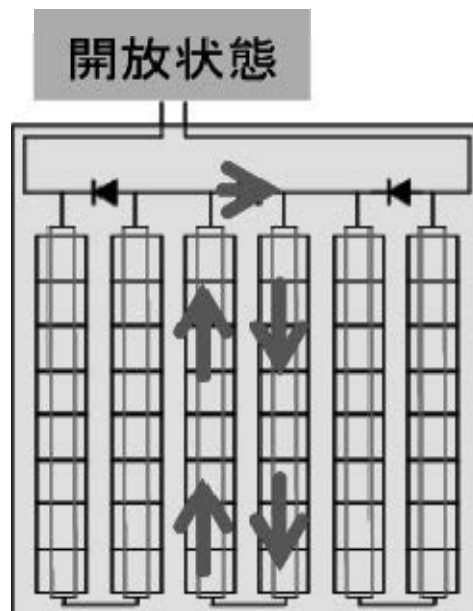


図6 BPD 短絡時の電流の流れ

一般的なソーラーパネルは3クラスタで構成されているため、クラスタ故障が発生すると33%の出力低下となる。

この3種のクラスタ故障は、ソラメンテによって容易に特定することができる。

4. ソラメンテ登場

ソラメンテは1次検査機 Solamente-Z と2次検査機 Solamente-iS の2種類の装置がある。Solamente-Z はストリングの接続箱にある P と N の電極端子にプローブを当てることで、開放電圧 (Voc) と抵抗値 (Rs) を測定する。また Solamente-iS は磁気センサを搭載し、電流が流れたときに発生する微少な磁界を検出することで電流の流れを感知するものである。

・1次検査 Solamente-Z

Solamente-Z にてストリングの「開放電圧」と「インピーダンス (抵抗値)」を測定する。太陽光発電所内の太陽電池のストリングは同じ構成 (同じ型式のソーラーパネルを同じ数だけ直列にしている) であるため、同じ環境 (日射量、気温等) であれば、開放電圧と抵抗値はほぼ同じ結果が得られる。それら

を相対比較することで不良ストリングを特定するのである。断線故障があれば、通常は1クラスタ分である「約 10V の電圧低下」と「抵抗値の異常な増大」があり、高抵抗化故障であれば、電圧降下は起こらないが「抵抗値の増大」、また BPD 短絡であれば1クラスタ分の約 10V の電圧降下が検出できる。まとめると表 1 のようになる。

表 1 クラスタ故障モードの特定

故障モード	開放電圧	抵抗値
正常	正常	小
断線故障	低い	大
高抵抗化故障	正常	大
BPD 短絡	低い	小

正常のソーラーパネルではその直列抵抗は約 1Ω と言われている。15 直のストリングではおよそ 15～20Ω 程度、20 直のストリングでは 20～30Ω 程度になる。

図 7 は実際の太陽光発電所で行った Solamente-Z での測定結果をグラフにしたものである。発電所の仕様は次の通りである。

- ・発電規模 約 500kW
- ・ストリング数 110 ストリング
- ・1 ストリングあたりパネル数 14 直列接続
- ・多結晶パネル

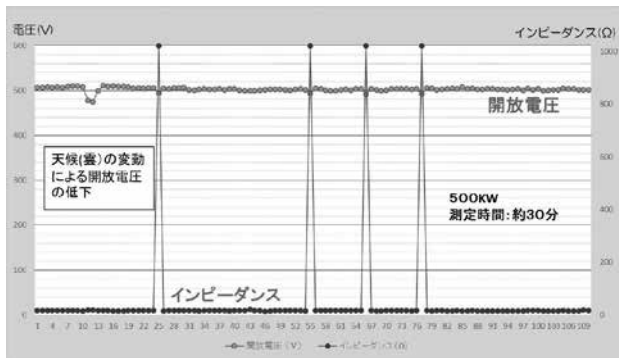


図 7 太陽光発電所での測定結果

開放電圧（青線・左軸）は全体に渡って 500V 前後であるが、少しの間だけ雲によって日射が遮られたため電圧が下がっている部分があることが分かる。また、抵抗値（赤線・右軸）はほぼ 15Ω 前後で揃っているが 4 ストリングだけ異常に大きくなっている（図 7）。

よく見ると、この抵抗値が大きい 4 ストリングでは開放電圧が少しだけ（約 10V）下がっていること

が分かる。断線故障が発生していることが一目瞭然である。

電圧を測定するための一般的なテスターで開放電圧を測定すると、図 7 の青線のようなグラフを描くことはできるが、青線だけでは全ての断線故障を発見するのは難しい。

ここで、ソーラーパネルの断線故障について触れておくと、各セルはインタコネクタでハンダ接続される。ソーラーパネル 1 枚あたりでは、数百カ所におよぶハンダ接続が施されている。ジャンクションボックス内にある BPD もハンダ接続である。屋外に設置されたソーラーパネルは、セルとインタコネクタの熱膨張率の違いからハンダ外れが発生する（図 8）。

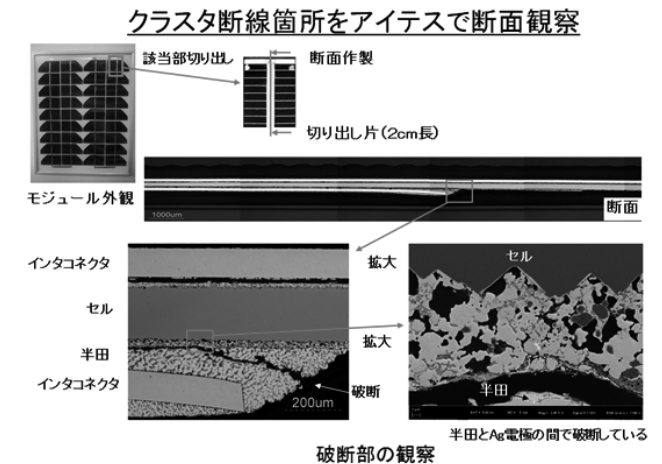


図 8 インタコネクタのハンダ外れ

・2 次検査 Solamente-iS

1 次検査にて故障ストリングを特定できたら、Solamente-iS で電流が流れていないクラスタを探すことになる。ストリングをパワーコンディショナー（以下、PCS）に接続して通常の発電状態にすると電流が流れることになるが、断線故障しているクラスタには電流が流れていないので、そのクラスタを探す。

この発電所は 110 ストリング、1 ストリングあたり 14 枚パネル（パネル枚数は 14×110＝1540 枚）の 500kW の発電所であるが、約 1 時間の作業時間で 4 枚の故障パネルを見つけることができた。このうちの 1 枚を上からサーモカメラで撮影したものが図 9 である。

このソーラーパネルは 3 クラスタで構成されており、断線故障となっている左端のクラスタは温度が

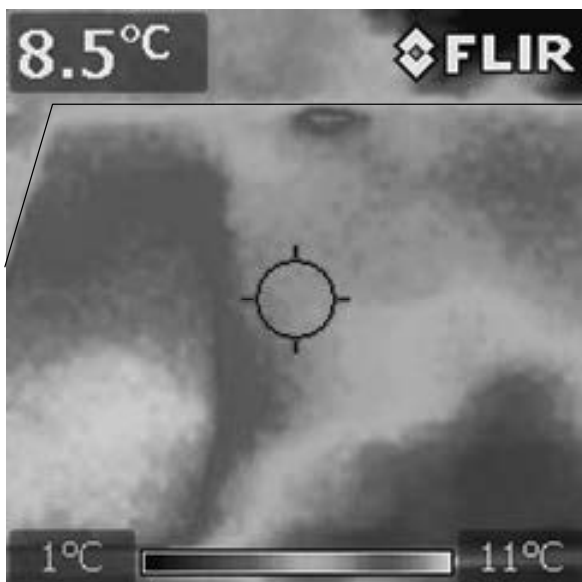


図9 断線故障をサーモカメラで撮影

高くなっているのが分かる。ソーラーパネル全体には同じように日射が当たっているが、電気エネルギーに変換されて回収されている正常部分より、断線故障のクラスタでは電気エネルギーに変換されても回収できず、熱エネルギーに変わってしまっていることが分かる。なお、この太陽光発電所ではBPDの短絡故障は発見されなかったが、BPD短絡故障については以下の作業手順で故障箇所を特定することが可能である。

1. Solamente-Z でストリングごとの開放電圧と抵抗値測定により、抵抗値は正常であるが開放電圧が1クラスタ分（約10V）低下していることが確認できたら、BPD短絡故障を疑う。
2. ストリングを開放状態（ソーラーパネルとPCSを切り離れた状態）にして、電流が流れない状態にする。この状態で、Solamente-iS を使って“電流が流れている”クラスタを探す（図6）。

5. 保守の必要性

メガソーラーと言われる1MWの太陽光発電所では約4000枚のソーラーパネルが設置されている。1クラスタあたり14直とすると、286ストリングとなる。図10のように各ストリングは接続箱でまとめられてPCSへ接続される。

複数のストリングは接続箱で束ねられてPCSへ接続される。全てのソーラーパネルが健全で、正常に発電すれば、各ストリングの電圧-電流特性（以下、IV特性）は同一になるため、PCSが導く電力最大動

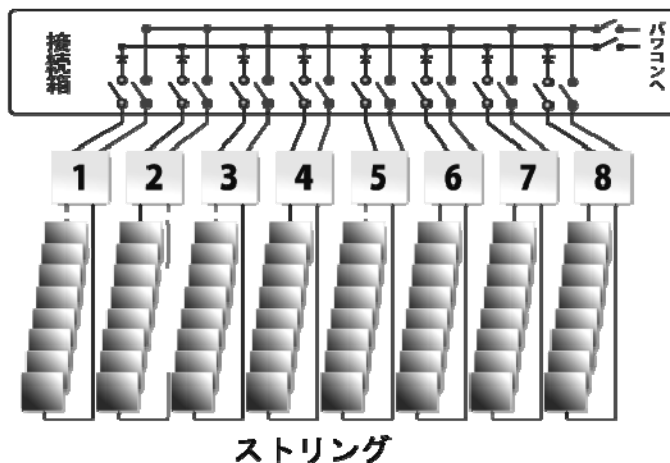


図10 接続箱内のストリング接続

作電圧はそれぞれのストリングの電力最大動作電圧と一致する。しかし、一部のソーラーパネルに影がかかったり、故障があったりするとIV特性が不揃いになり、各ストリングは電力最大動作電圧で動作しなくなる。このため、1枚の故障パネル（1箇所のクラスタ故障）が存在すると、故障箇所以上の発電電力低下となって影響を及ぼすことになる。全てのソーラーパネルが正常の場合のIVカーブを赤線とし、1枚のソーラーパネルが故障になると、それにつられてIVカーブが青線のように変化し、その結果として複数枚分の発電電力が低下する（図11）。

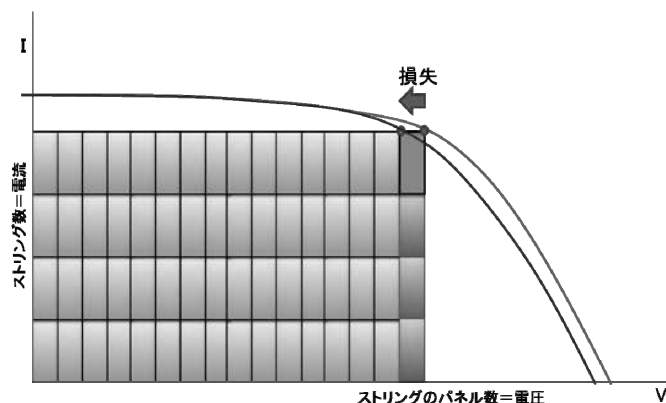


図11 1部の故障による発電電力低下

さらに故障箇所が多くなり、ストリングの開放電圧が健全ストリング（赤線）の電力最大電圧に達しないとその故障ストリング（青線）は全く発電しないことになる。具体的には、ソーラーパネルの電力最大動作電圧は開放電圧の約80%なので、雷被害等で一部のストリングの20%が故障してしまうと、そのストリングは全く発電（売電）に寄与できなくなる（図12）。

さらにストリングに逆流防止ダイオードがなければ、他のストリングで発電した電流が故障ストリングに逆流することになり、とても危険でもある。

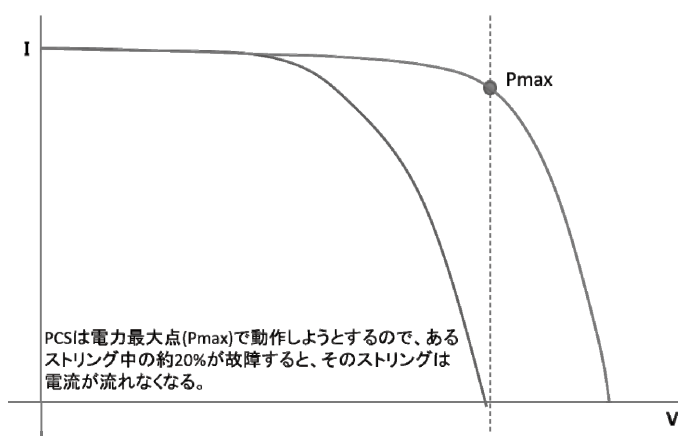


図 12 最大電力点に達しないストリング

以上のように、太陽光発電所を保守するにあたり、発電性能の維持・安全性の確保という観点からもソーラーパネルの点検は不可欠である。しかし、電気事業法の範囲で実施されている現状の点検では、PCSから電力会社への送電線接続までの部分にとどまっていることが多い。これは点検業務を行う管理者が、天候に影響されながら直流で発電する太陽電池についての知識と理解の不足が大きいものと思われる。

6. あとがき

これまでソーラーパネルは、メンテナンスフリー、壊れないかのように宣伝されてきた。しかし、我々がソラメンテを片手に日本各地の太陽光発電所を点検して廻ったところ、数多くの故障パネルを発見・特定してきた。ソーラーパネルを設置して売電を始める前に故障パネルが見つかることも珍しくない。竣工して1年しか経っていない1MWの太陽光発電所（総パネル数は約4000枚）で80枚近くの故障パネルを発見したこともあった。

発電事業主は故障パネルの存在を疑いながらも確たる証拠がないのでクレームできないことが多々ある。ソーラーパネルメーカーに日照条件などに問題はないかと問われた場合、従来の天候の影響を受けた点検記録では、明確な実証データとならないため、交換交渉に至らないのが現状である。やはりクラスタ故障など故障対象となるパネルをユーザーが特定する必要がある。外観を見ただけで故障パネルを見

つけることは不可能に近い。

いかに簡単に故障パネルを発見・特定していくのかは、太陽光発電所の保守点検を行う上で非常に重要であり、ソラメンテはこれを具現化した。今後もアイテスは故障の解析技術力を生かし、それらの原因を物理的に解明し、太陽光発電所の点検を容易にする製品を市場に提供していく。

参考文献

- 1) 経済産業省 資源エネルギー庁 ホームページ、
http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/kakaku.html
- 2) 2014年5月30日 一般財団法人 太陽光発電協会（JPEA）、
「太陽光発電システム保守点検ガイドライン【10kW以上の一般用電気工作物】」
<http://www.jpea.gr.jp/pdf/upper10kw.pdf>
「太陽光発電システム保守点検ガイドライン【住宅用】」
<http://www.jpea.gr.jp/pdf/inspection.pdf>

(いけだ てるお/株式会社アイテス)



池田 輝雄

1991年3月岡山大学工学部電気電子工学科卒業。同年4月日本アイ・ビー・エム株式会社に入社、2008年9月より株式会社アイテス入社し現在に至る。ソーラーパネル検査装置開発に従事する。