

# 太陽光発電所の雷害事例より その調査手法と対策を考える

## Consideration of Investigation Methods Learned from the Lightning Damages of Solar Power Plants

金丸義男\*<sup>1</sup> 鳥原 亮\*<sup>2</sup>

### 1. はじめに

電気設備の保安全管理において、雷被害への対策は重要なものであることは周知の事実である。これは太陽光発電所でも当然である。筆者らの一人が電気設備を管理する宮崎県内では2015年8月6日から7日にかけて強い雷雨があり、自身が県内中部にて管理する出力2MW規模の太陽光発電所も雷の被害に遭った。直後の点検では目視等による異常は確認できなかったものの、日が経つに連れて太陽電池モジュール（PVモジュール）の異常が目立つようになり、被害が拡大していることを認識した。他方、同日に県内南部において落雷が多発した地域の太陽光発電所の状況を確認したところ、大きな被害が無いという事実もあった。

本稿では、雷害のあった発電所と被害のなかった発電所で、被害の状況、設備や施工状況を比較しながら、太陽光発電所の雷害対策のキーポイントや保安点検の在り方について考えていきたい。

### 2. 雷被害と調査の概要

被害のあった発電所（A発電所）では2015年8月7日0時4分29秒にパワーコンディショナ（PCS Power Conditioner System）盤にて太陽電池側からの直流過電流が検出され、停止した。重故障は関係者にアラートメールにより通知される。翌朝PCSメーカーと連絡を取り合ったうえで、システム復帰・連系を行った。システムは正常に運転を開始した。なお、このとき、発電所全体を目視にて大まかな点検をしたが、PVモジュールの破損等、目立った故障は見当たらなかった。図1にA発電所の概観を示す。

約1か月後の9月5日、月次点検のためこの発電



図1 A発電所の概観

所を訪れた際、メンテナンス業者から雷撃によるPVモジュールの損傷は47枚という報告がなされたため、現地にて詳細に調査を行うこととした。A発電所は化合物系PVモジュールを用いており、ストリングはモジュール8直列4並列からなる。調査は主に、発電時のストリング電流、停止時の開放電圧及び絶縁抵抗測定を行った。調査時の結果の一例を図2に示す。一部のストリングで、発電電流が著

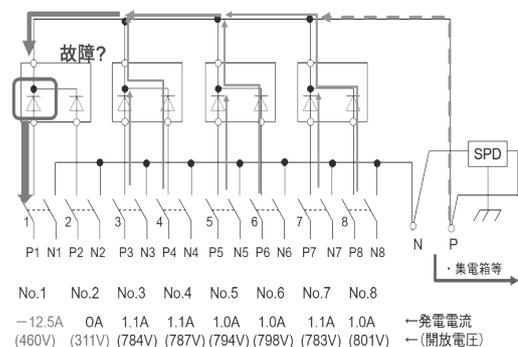


図2 各ストリングの開放電圧、発電電流及び逆流経路

\*1 (一社)九州電気管理技術者協会宮崎県支部

\*2 宮崎県工業技術センター 機械電子部

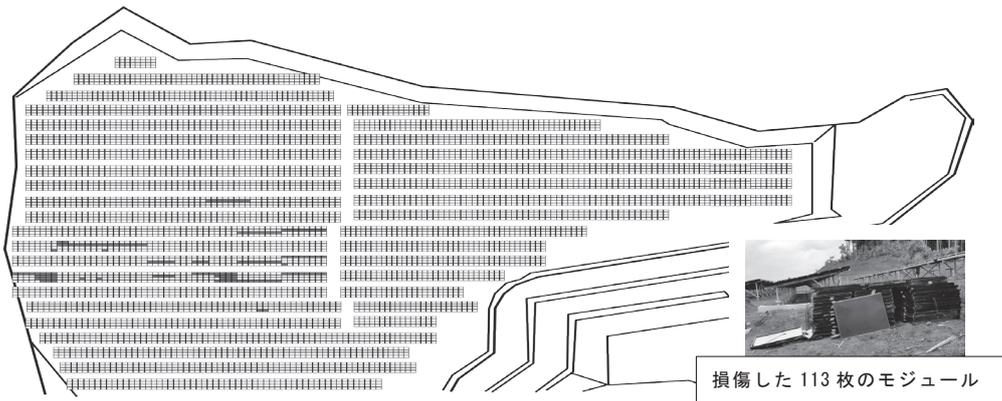


図3 A 発電所のモジュール配置図（着色部が損傷したPVモジュール）

しく低い箇所や逆流が認められ、そのストリングの開放電圧は、健全なストリングよりも低いことが確認された。また、接続箱内にあるブロッキングダイオードにも損傷が確認され、内部でショート状態にあった。

図2のストリングNo.1においては開放電圧が460V、ストリングNo.2では311Vであり、定格開放電圧（880V）の約6割～4割の電圧しかなかった。また、ストリングNo.1は発電電流がマイナスであり、同一接続箱の他のストリングから電流が流れていることは確認できたが、その逆電流が他のストリングの発電電流の合計より大きいことから、PCS盤の直流幹線のブスバーからの逆電流がある可能性が考えられた。PCS盤から各接続箱の配線状況を図4に示す。

逆電流は、やがてPCS盤内のヒューズを溶断することで収まったと思われるが、各ストリングからの逆流は続いていたため、その後も被害の拡大は続き、最終的に損傷のあったPVモジュールは113枚であった（図3）。PVモジュールの損傷は、主にモジュール裏面にあるバイパスダイオードの損傷（図5）が多く、中にはタブ線の焦げ（図6）なども見

られた。

損傷したPVモジュールの位置は、図3に示す通り、一部のアレイに集中している傾向があった。加えて損傷のあるPVモジュールを含むストリングでは、直列接続のモジュール8枚すべてが損傷している箇所も多く見られた。なぜこのように偏った損傷が起きたのか、現地調査初期の段階では理解に苦しんだ。現在保安管理をされている主任技術者の方々やメンテナンス業者の方々もこのような事態に遭遇する可能性があるため、この原因をなるべく詳しく説明していきたい。

化合物系PVモジュールは結晶シリコン系のPVモジュールと比較して、開放電圧が3～4倍、短絡電流は1/3～1/4倍という特長があるため、化合物系PVモジュールを使用する太陽光発電所では、接

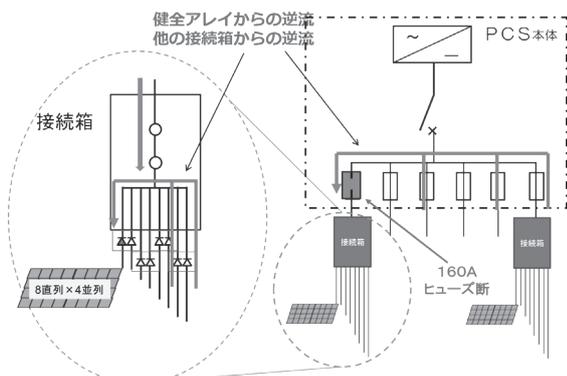


図4 PCS盤から各接続箱の配線状況及び損傷部への逆電流経路

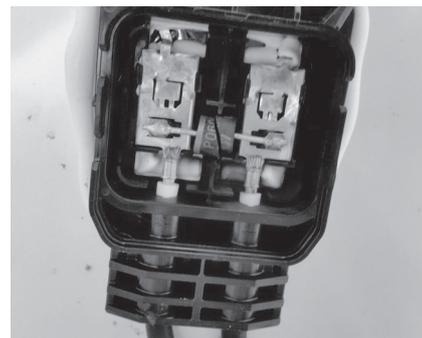


図5 バイパスダイオードの損傷状況

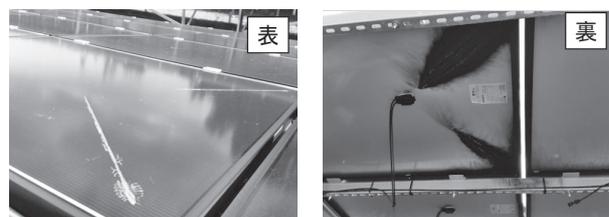


図6 高熱によると思われるPVモジュール内タブ線の損傷状況

続箱にケーブルが集約されるまでに、設計した電圧・電流になるよう、直並列接続されることが一般的である。この中の直列接続されたPV モジュール群をサブistringと呼ぶことにする。A 発電所ではサブistring (8 直列) を 4 並列接続した後、それらをistringとして接続箱の開閉器に接続している。調査では、逆流電流を生じているistringにおいて、各PV モジュール表面両端の電極部及び裏面のジャンクションボックスまでの電極線の通電状況を(株)アイテス社製ソラメンテ iSにて確認した。事例の一つとして図2に示した8つのistringのうち、No.2のistringを測定した結果をもとに話を進める。No.2のistringでは1つのサブistringで4枚のモジュールにバイパスダイオードが短絡故障状態にあることが分かった。各サブistringの開放電圧は約750Vであるのに対し、故障を含むサブistringでは311Vであり、このistringには図7に示す発電電流のループがあることが確認された。このようなistring構成の場合、ループ電流を防止するためにはサブistring毎に逆流防止素子やヒューズ等による保護措置を行う必要があるが、当該発電所ではそのような設計・施工ではなかったことが、被害の拡大の一因になった可能性がある。しかしながら、化合物系PV モジュールの発電所では、このようなケースが多数あるのではないだろうかという不安がある。

次に、接地の状態について説明する。A 発電所ではPV モジュールのフレームと架台の金属部とが、図8に示す押さえ金具によって固定されている。これを聞いただけで「接地が取れている」と思われる方も少なくはないであろう。しかしながら、フレームや押さえ金具にはアルマイト加工処理されているものが多く、そのほとんどは通電しない被膜がフレーム及び押さえ金具の表面を覆っている。A 発電

所はまさにその通りであり、フレームと押さえ金具には電気的な導通は無く、結果として接地されていない状態であった。他の発電所ではフレームの被覆を突き破るためのアースプレート(歯付きプレート)を備えた押さえ金具を採用している発電所もあったので、太陽光発電所の主任技術者は、自身が管理する発電所にて現状を確認すべきである。

また、架台毎の接地抵抗値を測定したところ、どの架台も基準とする10Ω以下であるものの、それぞれ1Ωから4Ω程度のバラツキがあることが確認された。図3の配置図において、中央にある通路を挟んで左右、および上下に並ぶ架台の列には、それぞれ接地線が地中に埋設されていたが、架台同士の連結は無く接地抵抗値も異なっていた。図9に接地抵抗値のバラツキの例を示す。

接地抵抗値とPV モジュールの被害の関係に着目すると、接地抵抗値の高い架台ほどPV モジュールの損傷が多い傾向が見て取れる。電技解釈においては基準値を下回る接地抵抗値であれば「良」であるが、このようなケースを見る限り、やはり接地の等電位化は必要である。なお、自身が管理する太陽光発電所において、等電位であるかどうかを調べたい場合、保護導通試験器により測定する方法もあるが、

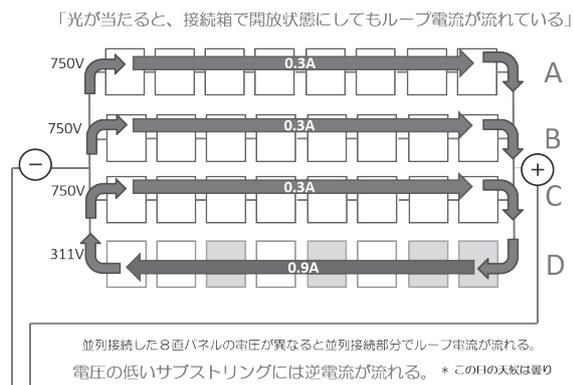


図7 No.2のistring内の電流ループ状況

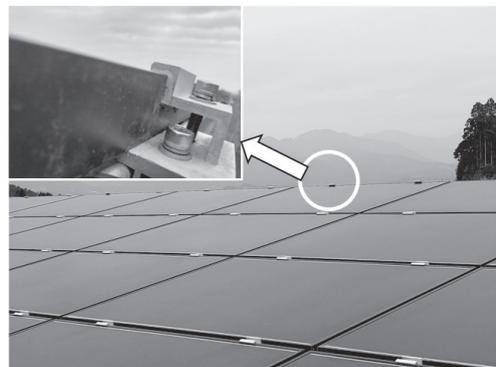


図8 押さえ金具によるモジュール固定

アース工事(接地棒)単体で測定すると皆100Ω以上で基準外、杭打ち工法の杭により下記の接地抵抗値になっている模様。また列間の抵抗差もバラバラだった。

架台列D・7アレイ [被害モジュール20枚]	3.00Ω	2.30Ω	架台列H・5アレイ [被害モジュール無し]
架台列C・7アレイ [被害モジュール25枚]	4.00Ω	2.30Ω	架台列G・5アレイ [被害モジュール無し]
架台列B・7アレイ [被害モジュール59枚]	3.80Ω	1.20Ω	架台列F・4アレイ [被害モジュール無し]
架台列A・7アレイ [被害モジュール無し]	4.00Ω	1.80Ω	架台列E・3アレイ [被害モジュール無し]

図9 架台毎の接地抵抗値測定例

マルチテスター等で架台同士の抵抗差を測定することでもおおよそ判定できる。経験的な私見になるが、架台同士の抵抗差が1Ω以下であれば、等電位とみなして良いと考えている。

### 3. 雷被害の無かった他発電所との比較

A 発電所の雷被害発生約3時間前、宮崎県南部のB 発電所では、8月6日20時50分24秒に直流過電流によりPCSが故障停止となった。付近の落雷の有無については、当日の雷雲の動き及びフランクリンジャンプの落雷証明により、同時刻に落雷が多発していたことを確認している。B 発電所ではPV モジュールに被害は無く、復帰操作後、翌日には通常どおり発電を再開していた。PV モジュールの種類及び接続箱内部の部品等はA 発電所と大きな違いはなかったが、やはり接地の状況に大きな違いがあった。すなわち、B 発電所はモジュールのフレームと架台をボルトで固定しており、アルマイト加工の被覆を突き破るための菊座金を使用していた(図10)。

また、架台間もアース線で電氣的に接続されており、等電位を図った施工を行っていた(図11)。

筆者らが同様の雷被害を受けた岐阜、熊本、鹿児島太陽光発電所にも足を運び状況を調査したところ、被害が大きかった発電所では、アース取り付け金具の緩みによる等電位化のミスやそもそも等電位化されていないという状態であり、被害の少なかった発電所ではやはり等電位化ができていた。ただし、

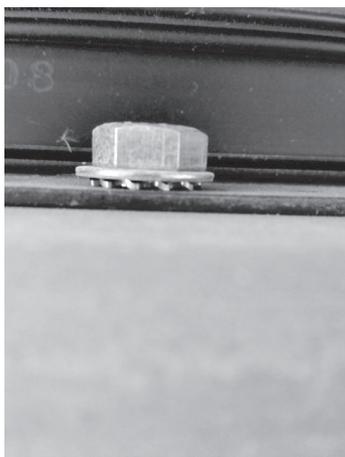


図10 モジュールフレームと架台の固定状況(菊座金を使用)

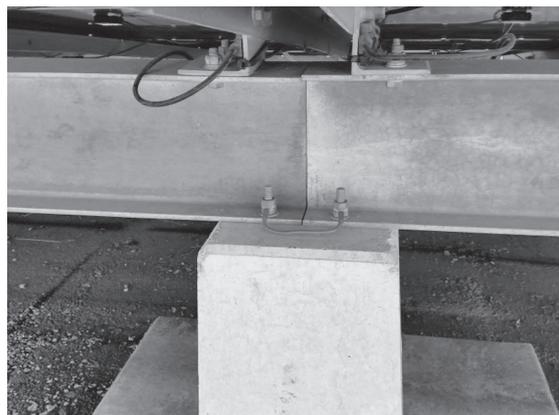


図11 等電位化を目指した施工状況

被害が大きかった発電所では3か月後、被害が少なかった発電所では2年後にPCS盤にて直流地絡を検出し、調査の結果ブロッキングダイオードの地絡が確認された。これは雷被害の後遺症として、遅れて発生した損傷の蓋然性が高い。各保護機器は、一時の雷害には耐えたように見えて、実際はダメージを受けており、そのダメージは蓄積されていくと思われる。

### 4. おわりに

本報では、太陽光発電所の雷害事例から筆者らが悩みながら原因追求を行った過程と、雷被害から発電所を守るための対策について報告した。保安全管理者のポイントとして、落雷や雷光等に起因する過電流によるPCS停止の時は、復帰操作だけで済ませることなく、ストリングの発電電流が低い箇所は無いのか、また、逆電流が生じていないか、開放電圧に大きな差が無いかなどを確認する必要がある。特に、雷害の後遺症は遅れて顕在化する可能性があることも留意すべきである。

さらに、雷被害を最小限に留めるには接地が重要であり、モジュールフレーム～架台～接続箱～集電箱～PCS収容部が等電位化されていることを確認すべきである。特にフレームと架台間が絶縁状態になっていないか、また、架台と架台間の抵抗差が1Ω以上になっていないかという点も確認することが重要である。

最後に、本報が太陽光発電所の安全性向上の一助となれば幸いである。