

◀技術解説▶

「太陽光発電システムの故障事例」

～雷による太陽光パネル故障の調査～

株式会社アイテス ^{まつした} 松下 ^{ひでし} 英司、^{とだ} 戸田 ^{ゆうすけ} 祐介

はじめに

稼動後の太陽光発電システムの現場では様々な故障事例に遭遇することがある。その中で今回は天災の一つである雷害事例を取り上げる。落雷により太陽光パネルではどのような故障が発生するのか。まず雷による太陽光パネルの故障のメカニズムに関して説明し、次に実際に発生した事例を代表的な太陽光パネルのタイプ別に紹介する。

1. 落雷によるパネル故障について

1.1 落雷後のパネル調査について

弊社がこれまで雷害が発生した発電所にて確認した太陽光パネルの故障はパネル背面のジャンクションボックスに集中していた。被害が大きい場合はジャンクションボックス部そのものが破壊されている。この場合、導通不良になっており目視でも比較的容易に故障パネルを特定することができる（写真1参照）。

さらにジャンクションボックス内のバイパスダイオードの短絡故障も発生する。この場合、ジャンクションボックスの樹脂カバーの変形が

見られる（写真2参照）こともあるが、外観上はほとんど変化がないことも多く、故障パネルの特定には目視だけでなく電気測定が必須となる。次にバイパスダイオードの短絡故障が発生した場合、太陽光パネルの電気回路がどのような状態になっているのか述べる。

1.2 バイパスダイオードの短絡故障について
結晶系 Si 太陽光パネルでは太陽電池セルの直列回路とバイパスダイオードが並列に接続された回路の単位をクラスターと呼んでいる（第1図参照）。結晶系 Si 太陽光パネルでは通常3つのバイパス回路が設けられており3クラスターが直列に接続されている。バイパスダイオードが短絡すると発電電流が迂回回路に逆流してしまい当該クラスター内に短絡電流が流れることになる（第2図）。クラスターが短絡状態になると太陽光パネル全体の電圧が低下し発電による出力が低下してしまう。

薄膜系 CIS 太陽光パネルにもバイパスダイオードは配置されているが結晶系 Si 太陽光パネルとは違い複数のクラスター構成にはなっていない。太陽光パネルにバイパスダイオードは1つ（第3図）配置されバイパスダイオードが

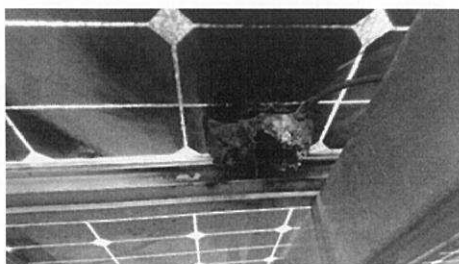
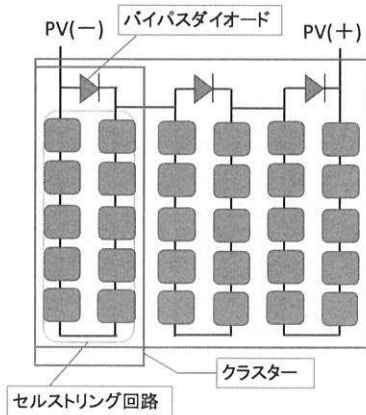


写真1 故障した太陽光パネル（ジャンクションボックス部）

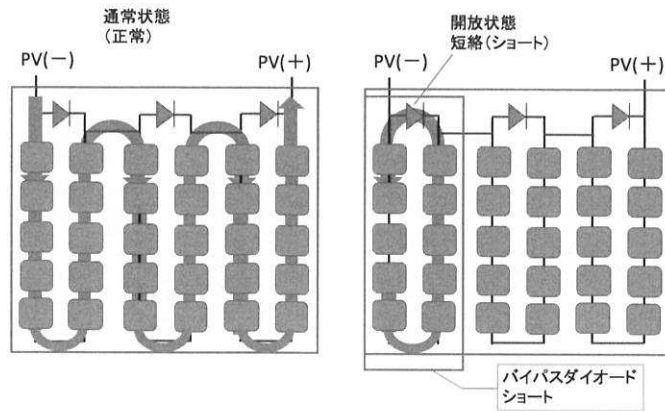


写真2 変形したジャンクションボックス

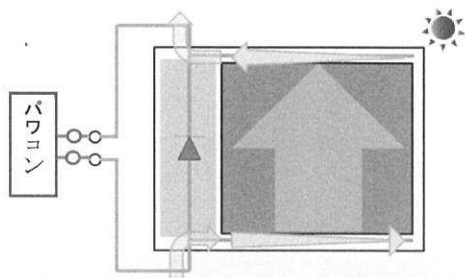
(1)



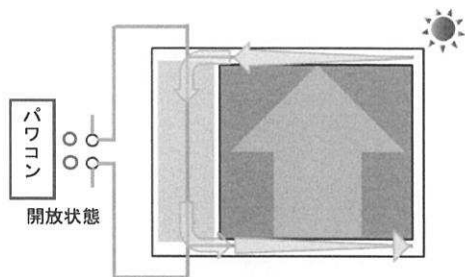
第1図 太陽光パネルの構成図



第2図 通常状態とバイパスダイオードの短絡状態



第3図 薄膜系 CIS 太陽光パネルの構成図



第4図 薄膜系 CIS 太陽光パネルのバイパスダイオードの短絡状態

短絡すると太陽光パネル全体が短絡してしまう(第4図参照)。

さらにバイパスダイオードが短絡故障すると当該太陽光パネルの出力が低下するだけでなく、当該太陽光パネルが接続されているストリングに対して発電電流が逆流する可能性がある。

2. 結晶系 Si 太陽光パネルの雷害事例

2.1 現地状況

本事例は雷の被害を受けたメガソーラーへ訪問し現地調査を行ったものである。発電所の周辺環境は畑が広がっている平地であり、特異な背の高い構造物は建っていない。その一面に太陽光パネルが何万枚も設置された地上設置型の太陽光発電所である。当該発電所は建設後およそ5年が経過している。電気主任技術者が常駐しており、メンテナンス要員も定期的に入れている。草刈など手入れが行き届き太陽光パネルの裏面側もしっかりと草刈が行われていた。PCS は一局集中型の大型パワコン、接続箱は逆流防止ダイオード付き開閉器タイプ、多結晶太陽光パネルでストリング構成は14直である。PCS には接続箱単位の発電量などをモニタリングする遠隔監視機能が搭載されており、常駐する電気主任技術者はパソコンや携帯端末を使って常時状況を把握されている。雷の被害を受けた箇所の状況は次の通りである。著しく焦げている様な外観上の問題で不具合判定した太陽光パネルはアレイから取り外されていた。接続箱内にある各ストリングの開閉器の一部では固着しスイッチ機能を有さない状態であり、その前後で物理的に断線し絶縁テープで絶縁処理がされた状態であった。太陽光パネルと架台を固定する金具が吹き飛んでいる箇所があったが、すでに修復されていた。

(2)

2.1.1 被害発生時の状況

当該発電所の近くに住む常駐する電気主任技術者に被害発生前後の状況を伺った。5月19日、天候は曇り、雷が鳴り響いていた。午前2時頃、PCSのアラートが発動。PCSの直流太陽光パネル側のブレーカーがトリップしたことによる異常を検出していた。この時期よく発生する事象で、原因は雷光による過電流を検出したものと考えられていた。発電所に駆け付けた際は焦げ臭い異臭があったが、変電設備などには異常はなかった。5月20日、同じく悪天候。遠隔監視モニターで電流がほとんど流れていない接続箱を確認している。5月21日、天候は雨。PCSのアラート機能により地絡検出。非常巡視を行った結果、アレイでは太陽光パネル裏面の著しい焦げやケーブルの断線を発見した。接続箱では一部のストリングの開閉器が固着し操作できないものを発見した。

2.1.2 雷の直撃点

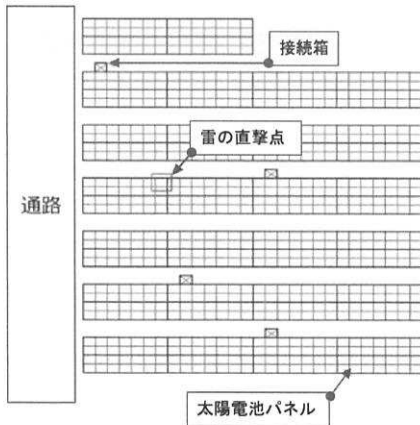
現地調査を行った範囲は雷の直撃点から周辺のおよそ200kW分の太陽光パネルである。その範囲の太陽光パネルと接続箱の位置関係を第5図に示す。

太陽光パネルは白地に四角枠で示し、接続箱は×印に四角枠で示している。1つのストリングは縦2列×横7列の14直列で構成されている。1つの接続箱は13または14ストリングの並列接続で構成されている。被害発生時の非常巡視では太陽光パネルと架台を固定する金具が吹き飛ばされていることを発見している。該当の金具には金属が融けた痕跡も見られた(写真3)。これらのことから雷が落ちた位置と推測した。

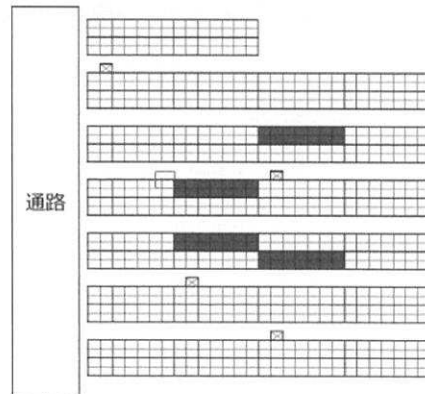
2.2 外観不良パネルの確認

非常巡視時に発見された外観不良パネルは現地調査時には撤去された状態であった。第6図の濃く塗りつぶした位置に設置されていた。

撤去された太陽光パネルはジャンクションボックス周辺に著しい焼損が見られた(写真4参



第5図 太陽光パネルと接続箱の位置関係



第6図 外観不良太陽光パネル

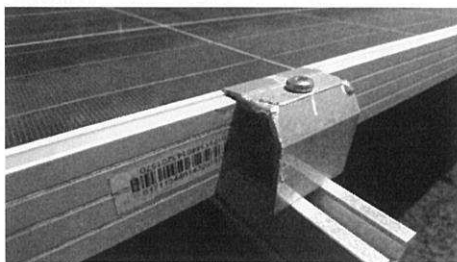
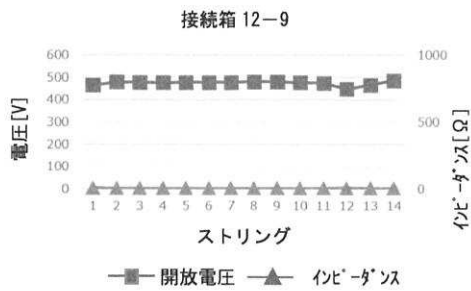


写真3 雷直撃箇所の太陽光パネル

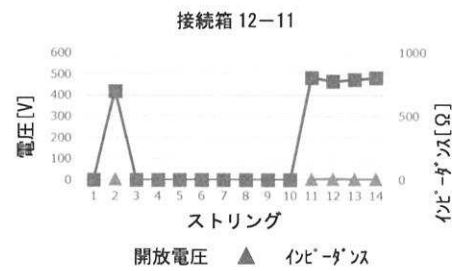


写真4 焼損したジャンクションボックス

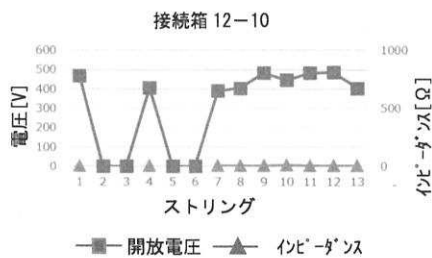
(3)



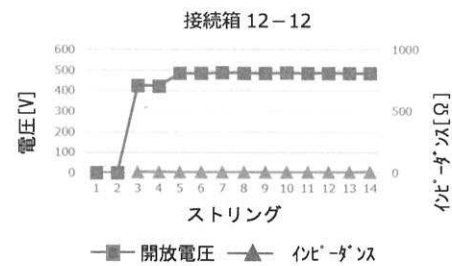
第7図 スtringの開放電圧とインピーダンス



第9図 Stringの開放電圧とインピーダンス



第8図 Stringの開放電圧とインピーダンス



第10図 Stringの開放電圧とインピーダンス

照)。

該当する全56枚の太陽光パネルの外観を確認したが、程度は異なるもののそれらのいずれにもジャンクションボックスでの焼損が見られた。太陽電池セルや外枠のアルミフレームにはジャンクションボックスの周辺を除き、外観上の不具合は確認できなかった。

2.3 接続箱内部の調査

接続箱4箇所ですtringチェッカーソラメンテ-Z^{※1}により各stringの開放電圧とインピーダンスを測定した。測定のため開閉器を開放状態にするが、一部で固着し操作できないものがあった。各接続箱で測定したデータをグラフ化した(第7図～第10図)。

55string中15stringは開放電圧が0[V]である。この原因は太陽光パネルが取り外されているため、あるいはケーブル断線が発生しているためである。残り40stringについてはインピーダンスの値が低いことから太陽光パネル内部や配線ケーブルに高抵抗化が発生していない。しかし接続箱12-10(第8図)では開放電圧に不均衡なstringが見ら

※1 stringチェッカーソラメンテ-Z(株)アイテス社製
<https://www.solamente.biz/products/sz-200/>

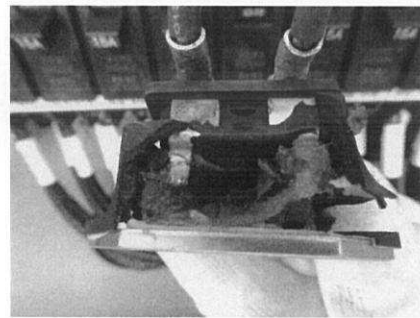


写真5 焼損した逆流防止ダイオード

れる。開放電圧が低下しているstringは、インピーダンスに差異がないこと、外観不良パネルがないことなどから、バイパスダイオードの短絡故障を疑った。4つの接続箱のstringについてソラメンテ-iSを使って太陽光パネルを調査した。詳細については2.4電気測定によるパネル調査に記載する。

4つの接続箱でソラメンテ-Zにより逆流防止ダイオードの抵抗を調査したところ、2個が短絡していることが分かった。また、目視により写真5のような損傷している逆流防止ダイオードユニットが1箇所(逆流防止ダイオード2個)あった。逆流防止ダイオードは合計4個が

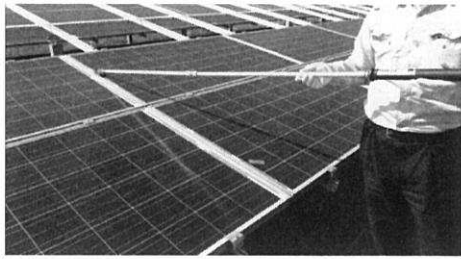


写真6 ソラメンテ-iSによる点検

短絡故障していた。興味深いことに短絡故障している逆流防止ダイオードと固着した開閉器、ならびに2.2項の外観不良パネルのストリングは一致していた。

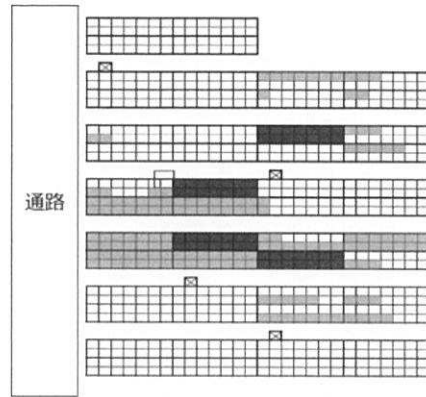
2.4 電気測定によるパネル調査

対象としたエリアで太陽光パネルをパネルチェッカーソラメンテ-iS^{*2}を使ってバイパスダイオードの短絡故障を調査した。ソラメンテ-iSは太陽光パネル表面から発電電流を感知する測定器である。ストリングを開放状態にすると正常なクラスターでは電流は流れないが、バイパスダイオードが短絡故障しているとクラスター内ではループ回路が形成され短絡電流が流れる。開放状態の太陽光パネルで写真6のようにソラメンテ-iSのセンサーを太陽光パネル表面の電極に当てクラスター単位で検査した。

その結果、バイパスダイオードが短絡故障している太陽光パネルが144枚見つかった。それらは第11図の薄く塗りつぶした位置に設置されていた。

雷の直撃点や損傷の激しいストリングのあるアレイから離れたアレイにまで被害が及んでいることがわかった。2.2項の外観不良パネルの確認ではジャンクションボックス周辺に焼損が見られたため、ジャンクションボックス周辺を注視し外観を確認したが損傷は見られなかった。外観不良が見られなかったためサーモカメラによりジャンクションボックスの熱分布を調べた。多くの太陽光パネルでは写真7のようなバイパスダイオード付近で熱の差異を確認できたが、一部の太陽光パネルでは写真8のような

^{*2} パネルチェッカーソラメンテ-iS(株)アイテス社製
<https://www.solamente.biz/products/si-200/>



第11図 ソラメンテ-iSによる点検結果

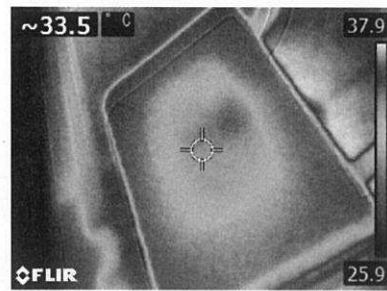


写真7 ジャンクションボックスの熱分布

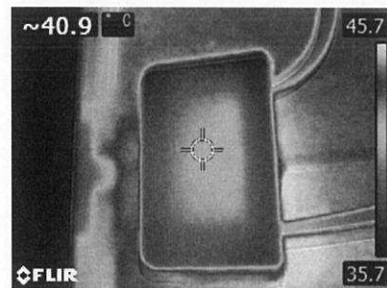


写真8 ジャンクションボックスの熱分布

熱の差異は観察されなかった。

3. 薄膜系 CIS 太陽光パネルの雷害事例

3.1 現地状況

本事例は電気工事会社より紹介を受けて調査を行ったものである。PCSは一局集中型、接続箱は逆流防止ダイオード付き開閉器タイプ、薄膜系 CIS 太陽光パネルのストリング構成は6直4並列である。定期点検で各ストリングのIV