太陽光発電システムの概要と火災調査要領

令和８年 10 月

消防研究センター
火災災害調査部

※この要領は令和８年 10 月現在の技術及び知見に基づいて作成していますので、更新される可能性があります。
※この要領は上記時点で一般的に見受けられる事案を対象としています。全ての事案に適用できるとは限りません。
※一部の写真について加工をしています。

1　はじめに

近年、国内では再生可能エネルギーの導入が急速に進み、「太陽光発電システム」は住宅、事業所、大規模施設等に普及し、各地で様々な形態の製品が採用されている。これに伴い、火災調査の現場においても、構造・環境・電気的特性を踏まえた検討が求められている。

太陽光発電システムは電路遮断時でも発電が継続する特性や、直流電源であることによるアークの持続性など、火災調査上注意すべき点が多い。

本要領では、火災調査で必要と考えられる実務的な情報を紹介する。

2　太陽光発電システムに起因する火災件数

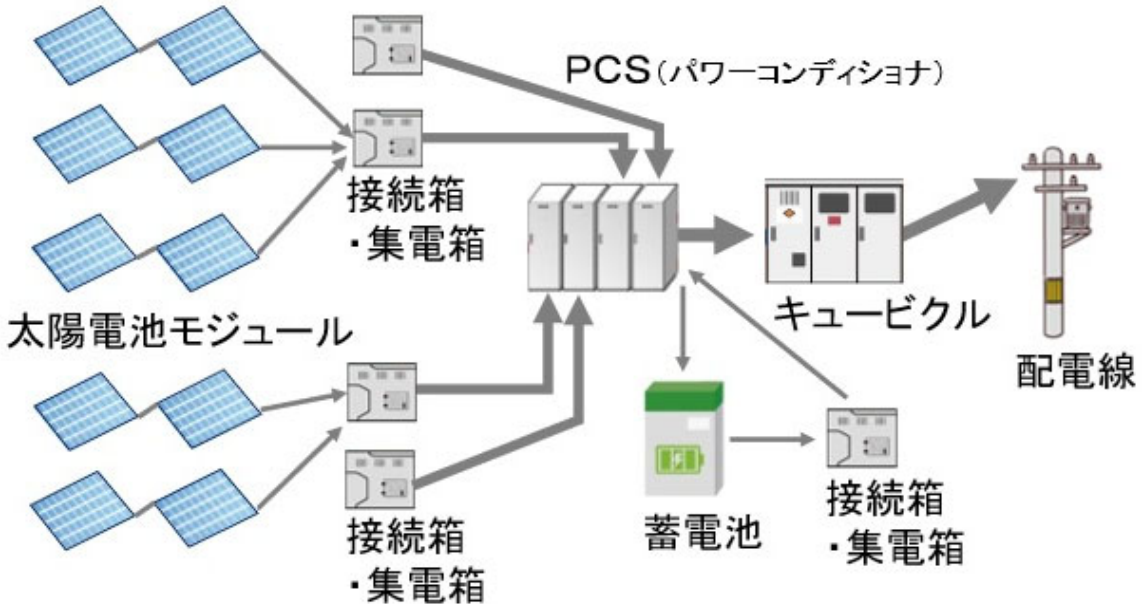
令和２年から令和６年までの過去５年間で「火災等事故報告書」によって報告された火災件数は、表１のとおりである。発火源別にみると、パワーコンディショナ、次いで太陽電池モジュール、接続箱、配線の順になっている。

【表１　太陽光発電システムに起因する火災件数】

年	令和２年	令和３年	令和４年	令和５年	令和６年
件数	16 件	15 件	24 件	35 件	41 件

3　太陽光発電システムの概要

太陽光発電システムは、太陽電池モジュール（以下「モジュール」という。）、接続箱、パワーコンディショナ（以下「PCS」という。）で構成され、発電した電力は、売電又は自家消費に利用される。事業用で高圧連系（高圧売電）する場合は、キュービクルが設置され、蓄電池を備えている場合もある。（図１参照）

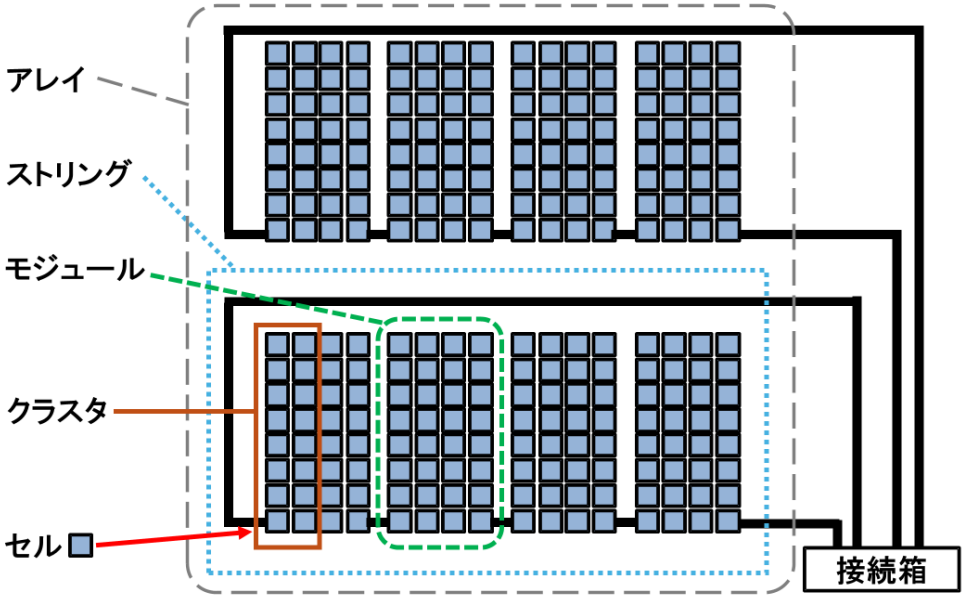


【図１　太陽光発電システムの概要】

(1)　モジュール

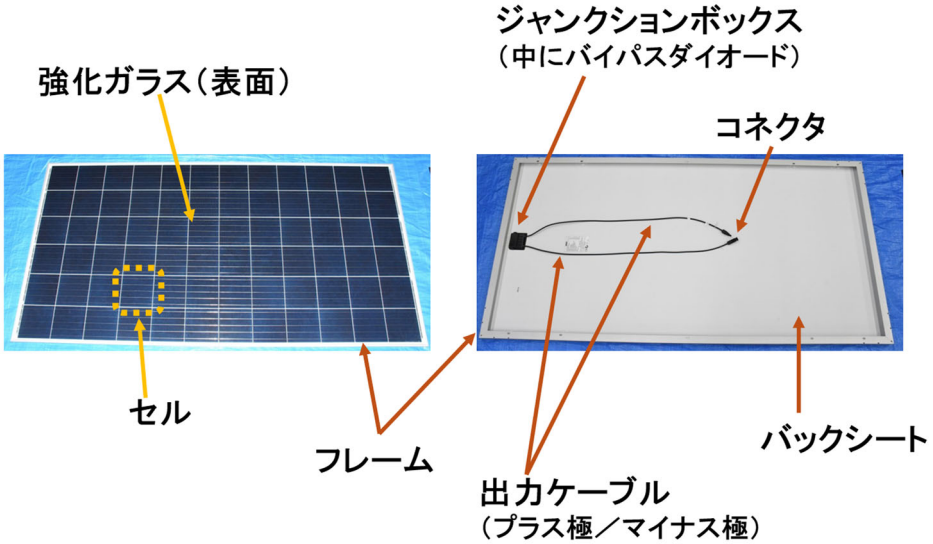
ア　名称等

モジュールとは、いわゆる「太陽光パネル」であり、それが複数枚設置され、集合することで呼び名が変わる。太陽電池の最小単位がセル、そのセルを直列接続させた集合体がモジュール、さらにモジュールを直列接続させた回路をストリング、ストリング全体をアレイと呼ぶ。また、バイパスダイオード（以下「BPD」という。）によって保護されているセルのグループをクラスタという。（図２参照）



【図２　太陽電池アレイの各部名称】

モジュールは、表面が受光面になっており、強化ガラスで保護されている。背面にはジャンクションボックスがあり、中にはBPDが実装されている。ジャンクションボックスからはプラス極及びマイナス極の出力ケーブルが引き出されており、端末の接続部にはコネクタが備えられている。このコネクタに他のモジュールを直列につなぎ、ストリングを形成している。（写真１及び写真２参照）



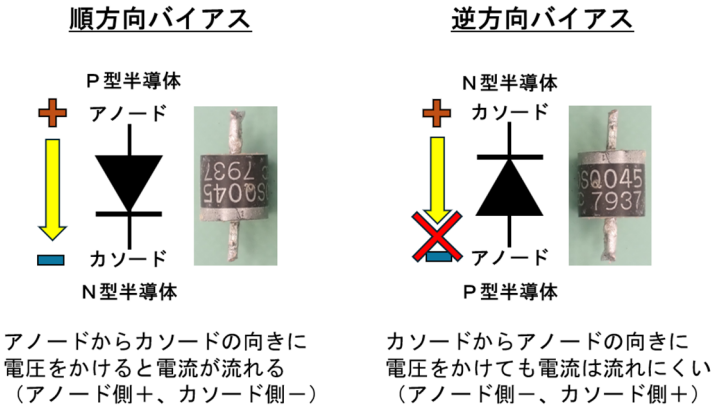
【写真１及び写真２　モジュールの各部名称】

イ　発電メカニズム

太陽電池セルはＰ型半導体とＮ型半導体の PN 接合から構成されるシリコン半導体素子であり、基本構造としてはダイオードと同じである。

一般的にダイオードは、一方向にだけ電流を流す性質を持っているが、Ｐ型半導体（アノード）をプラス、Ｎ型半導体（カソード）をマイナスにして電圧を印加すると、電流が流れる。これを「順方向バイアス」という。

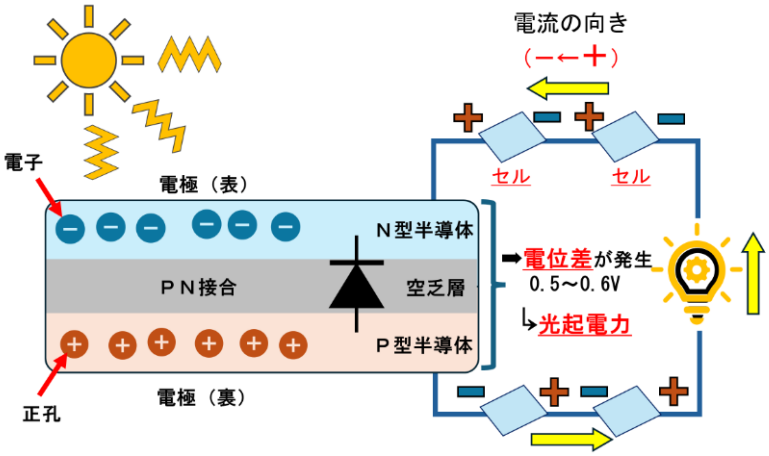
一方、Ｎ型半導体（カソード）をプラス、Ｐ型半導体（アノード）をマイナスにして電圧を印加すると、電流は流れにくい状態となる。これを「逆方向バイアス」という。（図３参照）



【図３　ダイオードに印加させる電圧の向き】

PN 接合の境界付近には空乏層が形成され、内部に電界が存在している。光が空乏層にあたると電子･正孔の対が生成され､内部電界によって電子はＮ型半導体側へ、正孔はＰ型半導体側へ分離されることで電荷の偏りが生じ、電位差（0.5～0.6V）が発生する。これを光起電力という。

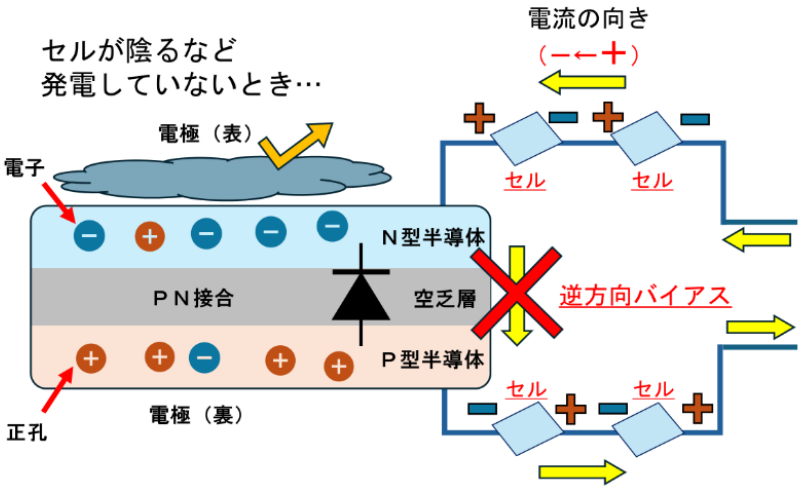
セルは発電中、電池として振る舞うため、Ｐ型半導体（プラス）から外部に向かって電流が流れるが､その向きはダイオード記号の順方向とは逆になる。（図４参照）



【図４　発電時のセル】

セルが発電していないとき、セルは電池としての働きを失い、PN 接合ダイオードとして振る舞う。この状態では「逆方向バイアス」がかかるため、電流は流れにくい状態となる。しかし、セルはストリング内で直列接続されているため、他のセルからの電流によって強制的に逆方向電流が流れ、発熱（ホットスポット）が起こる。

これを防ぐため、クラスタごとにBPDが接続されており、「逆方向バイアス」時にはBPDが導通して一時的に電流を迂回させ、セルを保護する。（図５参照）

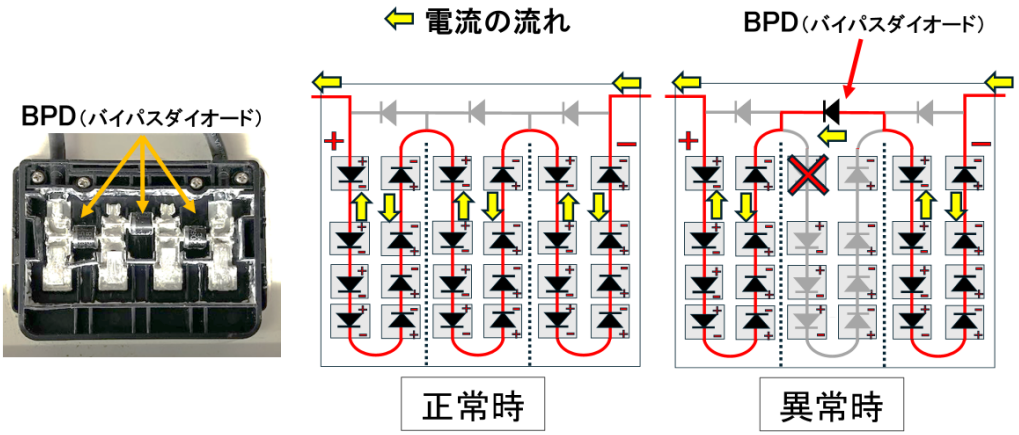


【図５　非発電時のセル】

ウ　バイパスダイオード（BPD）の役割

正常時は、全てのセルが同一方向に電池として発電しており、並列接続のBPDは「逆方向バイアス」がかかっているため、電流は流れず、セルに流れる。BPDは単に待機しているだけとなる。

しかし、影がかかったり、何らかの要因で発電できなくなった異常セルはダイオードとして働くため、「逆方向バイアス」となる。さらに他のセルから逆電圧が印加されて電流が流れると、異常セルが抵抗のように振る舞い、発熱する。このとき、異常セルがあるクラスタのBPDはプラスからマイナスへの順方向に電圧が印加されることとなり、「順方向バイアス」となったBPDに迂回して電流が流れる。これがBPDの役割である。（図６参照）



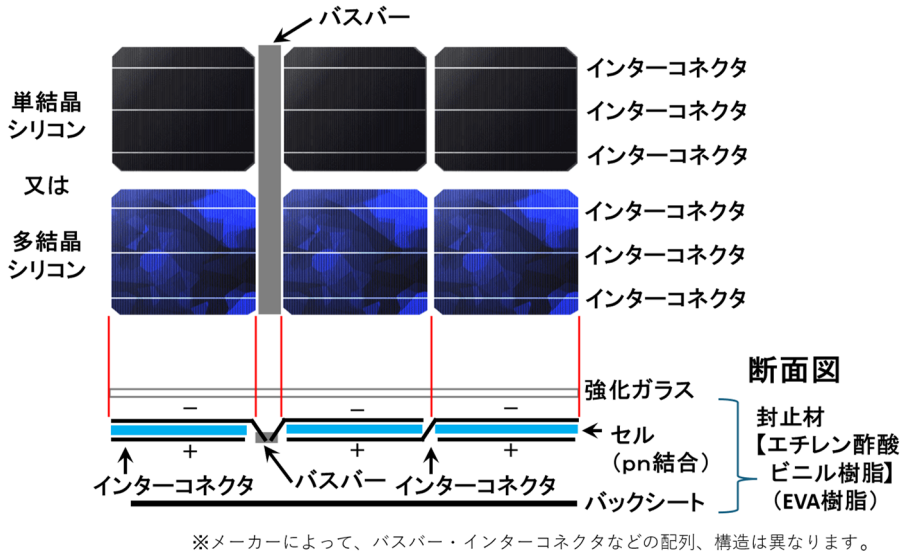
【図６　モジュールにおけるBPDの役割】

エ　セルの構造

セル単体で発電しただけでは、電力として不足する。そのため、電圧を高める方法として、セル同士をインターコネクタと呼ばれる金属導体で直列に接続している。

セルの構造としては、複数のセルをインターコネクタで直列接続し、バスバーによって電流が集約され、さらにジャンクションボックス内のBPDへとつながってい

る。また、強化ガラス、セル、バックシートは、封止材（EVA）と呼ばれる透明の合成樹脂で隙間なく一体化されている。（図７参照）



※メーカーによって、バスバー・インターコネクタなどの配列、構造は異なります。

【図７　セルの構造図】

(2)　接続箱

数回路のストリングを並列接続してまとめる装置で、以下のようなものがある。

ア　逆流防止ダイオード

並列接続のストリングに電位差が発生した場合、電位の低いストリングに電流が逆流することを防ぐ目的で設置されているダイオード（逆流防止ダイオードが短絡故障すると、逆流を防ぐことができないため、現在はストリングヒューズが主流）

イ　端子台

数回路のストリングを並列接続するために、ねじ式、スプリング式などでケーブルを固定する部材

(3)　集電箱

他回路のストリングを並列接続して、大電流（100A～）を PCS に送る装置で以下のようなものがある。

ア　直流用遮断器

直流はアーク放電が消えにくいため、接点距離が大きく、特殊構造をしている遮断器（定格電圧が高く、極性がある。）

イ　ストリングヒューズ

一定の電流値になると、溶断するヒューズ

ウ　バスバー

大電流を分配・集電するための厚い金属板

エ　SPD（サージプロテクトデバイス）

通常は絶縁状態であるが、雷サージや開閉サージなどで、異常な過電圧が発生した場合、大電流を大地に逃がし、結果として過電圧から設備を守る保護装置

(4)　ケーブル

太陽光発電システムでは、モジュールで発電した電力を送電するためのケーブルが使用されており、これらは設計段階で想定される敷設環境と電流条件に基づいて選定

されている。埋設配線とする場合や物理的な損傷から保護する必要がある場合には、ケーブルをFEP管（波付硬質ポリエチレン管）などに通線する施工が採られることも多い。直流回路では実務上、公称断面積5.5㎟、８～14㎟、22～38㎟が主流であり、想定される電流が大きい場合や配線距離が長い場合には、60㎟以上のケーブルが用いられることもある。また、モジュール間接続や短距離のストリング配線では、2.5㎟や４㎟のPVケーブルが使用される場合もある。PVケーブルは直流回路用途に特化した構造を有し、耐熱性や耐候性に優れるため、ストリング電流が比較的小さい条件下では、2.5㎟であっても成立するケースがある。

また、ケーブルの種類は敷設環境に応じて選定され、屋内ではCVやEM-CV、屋外では耐候性ケーブル、埋設部では地中敷設に適した構造のケーブルが用いられる。

このように、ケーブルの種類は主に敷設環境から、公称断面積は主に電流条件から決定される。

なお、PCSや接続箱、蓄電池などの機器接続部については、端子構造や許容温度条件を考慮し、各機器のメーカーが指定するケーブルの種類及び公称断面積を優先するものとしている。

(5)　パワーコンディショナ（PCS）

PCSは、モジュールの直流（DC）を売電又は自家消費に利用するために交流（AC）に変換する装置である。

ア　PCSの主な機能としては以下のようなものがある。

(ｱ)　インバータ機能

直流から交流に変換

(ｲ)　最大電力点制御（MPPT）

一番発電できるポイント（最大電力点）に制御

(ｳ)　系統連系制御

設備保護、安全確保のため、異常時に運転を停止

(ｴ)　保護機能

過電圧、過電流、漏電、地絡、異常温度を監視

イ　PCSの主要な回路及び構成部品は、以下のとおりである。（図８参照）

(ｱ)　DC入力端子

DC入力端子は、ストリングにつながるケーブルをPCSに接続する端子であり、接続方法はコネクタ、ねじ止めなどがある。PCS内部でストリングが並列接続される場合がある。

(ｲ)　点検端子

点検端子は、各ストリングの電圧等を測定・確認するための端子である。点検端子が設けられている場合、本体表示器や遠隔監視システム等により確認する場合がある。

(ｳ)　DCスイッチ

DCスイッチは、直流回路を開閉し、回路を切り離すための部品である。DCスイッチで回路を遮断した場合でも、モジュール側では発電により電圧が発生しているため、取り扱いには十分注意する必要がある。

(ｴ) SPD（サージプロテクトデバイス）

前記(3)エ参照

(ｵ) DC EMI フィルタ

DC EMI フィルタは、PCS 内部のスイッチング動作によって発生する不要な電磁ノイズ（EMI）のストリング側への流出や、ストリング側から侵入する電磁ノイズを低減する回路であり、主にコモンモードチョークコイル、コンデンサなどで構成されている。

(ｶ) DC/DC コンバータ

DC/DC コンバータは、直流電圧を昇圧又は降圧する回路である。DC/DC コンバータを備える PCS では、この回路を利用して最大電力点制御（MPPT）を行うことが一般的である。主に MOSFET、IGBT、リアクトル（コイル）、コンデンサ、ダイオード、電流センサなどで構成されている。

(ｷ) DC リンクコンデンサ

DC リンクコンデンサは、一次側から供給される直流電圧を平滑化し、DC/AC インバータへ安定した直流電力を供給するための回路である。主に電解コンデンサ、フィルムコンデンサ又はその組合せで構成されている。

(ｸ) DC/AC インバータ

DC/AC インバータは、直流電力を商用周波数の交流電力に変換する回路であり、MOSFET や IGBT などのスイッチング素子を高速にオン・オフすることで交流波形を生成する。主に MOSFET 又は IGBT、ゲート駆動回路、電流センサなどで構成されている。

(ｹ) AC フィルタ

AC フィルタは、DC/AC インバータで生成した交流に含まれる高調波成分を低減し、出力波形を正弦波に近づける回路であり、主にリアクトル（コイル）とコンデンサで構成されている。

(ｺ) AC リレー

AC リレーは、制御回路からの信号を受けて接点を開閉し、回路の接続・遮断を行う部品である。AC リレーのほか、電磁接触器（MC）、ソリッドステートリレー（SSR）等の開閉器が用いられることがある。これらは系統連系保護装置と連動して回路を開閉する。

(ｻ) 漏電検出機能

漏電検出機能は、交流出力側の漏れ電流を監視し、異常を検出した場合には保護回路と連動して PCS の運転を停止し、系統との接続を遮断する保護機能である。漏電検出機能を内蔵している機種が一般的であるが、PCS 外部の交流出力側に漏電遮断器（ELB）を別途設置している場合もある。

(ｼ) AC EMI フィルタ

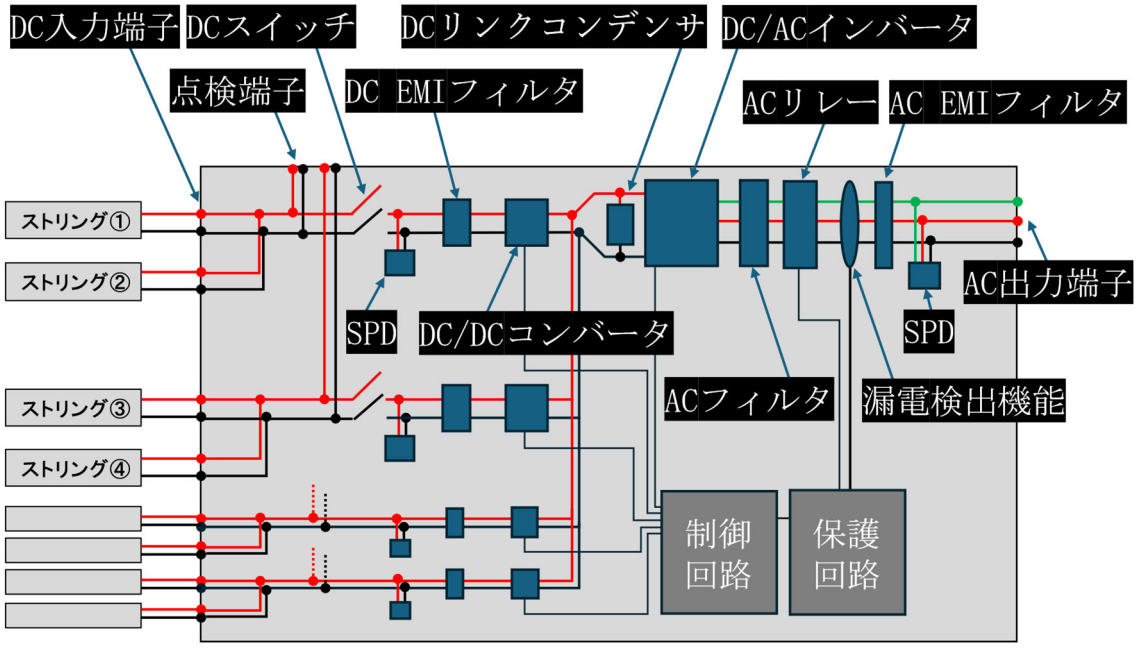
AC EMI フィルタは、PCS 内部で発生する電磁ノイズ（EMI）の交流系統側への流出や、交流系統側から侵入する電磁ノイズを低減する回路であり、主にコモンモードチョークコイル、コンデンサなどで構成されている。

(ｽ)　AC 出力端子

AC 出力端子は、住宅用では単相３線式（100/200V）、事業用では設備規模や受電方式に応じて単相交流のほか、三相交流（３線式・４線式）を出力する端子である。大容量の電力を扱う設備では、電力を効率良く扱うことができる三相交流が用いられる。

(ｾ)　その他

制御回路、保護回路、循環ファン（冷却ファン）、ヒートシンクなどがある。



※メーカー、機種によって構成は異なる

【図８　PCS の構成図】

(6)　接地

モジュールから PCS 間の直流回路（プラス極及びマイナス極）は、設計上、通常運転時は非接地方式とされ、大地から絶縁されている。一方、モジュールフレーム、架台、接続箱及び PCS の金属外箱などの露出導電部は、感電防止、漏電時の安全確保、雷サージ及び SPD の確実な動作を目的として接地されており、直流回路とは電気的に分離されている。

SPD が正常であっても接地が不十分な場合は、保護機能が大幅に低下する可能性がある。

4　太陽光発電システムの火災調査要領

太陽光発電システムに関する火災調査を行う上で、共通して把握すべき事項は以下のとおりである。（図９参照）

① モジュールは日射を受けている限り、継続的に発電する

② PCSよりもモジュール側（一次側）は全て直流である

③ モジュールの枚数が増えるほど、ストリング電圧は高くなる

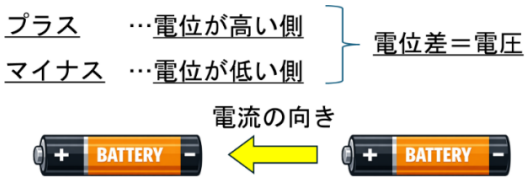
④ モジュールの最大出力電流は、おおむね10A前後である

⑤ 直流は電位差によって、電位の低い方へ電流が逆流することがある

⑥ 直流のアーク放電は持続性があり、電圧が高いほど危険性が増加する

【図９　共通事項】

電流の向きは、正電荷が移動する向きとして定義されており、電位の高い側から低い側へ流れる。この電位の差を電位差（電圧）という。（図 10 参照）



【図 10　直流における極性】

(1)　現場到着時における調査

ほかの火災事案同様に、現場到着時から火災の状況把握、写真撮影、情報収集を現場速報と並行して行う。

太陽光発電所においては、管理者、実務者、保守点検業者などを確保し、早期に関係者へ電路遮断を要請して遮断器などで停止させることが必要である。また、モジュール自体の発電は停止できないため、遮断器よりも一次側には感電危険区域を設定し、指揮本部、活動隊が連携して活動することが重要である。なお、一般住宅においても太陽光発電システムが設置されていることに気づいた場合には、指揮本部に報告し、太陽光発電所と同様に感電防止対策を講じることが求められる。

(2)　現場見分

鎮火後、現場における調査は、安全管理、焼損範囲の確認及び写真撮影、環境、周囲の状況、現場保存に留意して行う。詳細な鑑識見分に向けて、鑑識物件の収去を検討する。

ア　安全管理

モジュールは遮光しない限り、直流電圧が出力され続けることを念頭に鎮火後の火災調査を行う必要がある。

人体内部の抵抗は一般に約 500Ω とされており、仮に住宅用太陽光発電システムにおける DC300V が人体に印加された場合、約 0.6A の電流が人体に流れる計算となる。この電流値は心室細動を誘発する可能性がある極めて危険なレベルであり、感電防止対策を徹底することが不可欠である。

調査時においては、モジュールを完全に遮光することが最も安全な作業環境を確

保する手段である。加えて、すべてのストリングを遮断器等により切り離すことで、感電の危険性を可能な限り低減する措置を講じることが重要である。

見分対象がどのようにして無電圧となっているか、その遮断時に立会うなど確実に確認してから見分を行う。

イ　焼損範囲の確認

太陽光発電システムが関係する火災の場合は、火災による影響で二次的に高電圧の負荷が設備等にかかることで、離れている複数箇所で焼損している場合があり、確認が必要である。そのため、目に映る焼損箇所のみに捉われず、調査範囲を広くとって確認を行う。

ウ　現場保存

実況見分を後日行う場合は、事業所の関係者等と綿密に調整し、現場保存を行う。

エ　環境、周囲の状況

焼損範囲を確認する中で環境や周囲の状況についても調査し、写真撮影を行う。発火源だけでなく、着火物や出火に至る要因を検討する上で大切な情報となる。(表２参照)

【表２　環境及び周囲の状況】

① 延焼状況	着火物となり得る可燃物の有無（枝木、枯れ草、動物の巣等）
② 外的要素	動物の痕跡（ねずみ等による噛害「こうがい」、死骸、ふんの痕跡）
③ 人的要素	除草作業や機器交換作業に伴う影響（配線の損傷、誤配線、接続不良、取付不良等）
④ 気象条件	出火当日の天候、落雷、雹「ひょう」等による痕跡（電子部品への影響や雨水浸入の可能性）
⑤ 定常的な遮蔽物	樹木、建物、構造物等により、年間を通じて又は特定の時間帯に継続的に影を生じさせる状況の有無（BPD への影響等）

オ　収去

詳細な鑑識見分に向けて、鑑識物品の収去を検討する。

大事な物証が落下している可能性が十分考えられるため、落下物については写真撮影し、収去した位置を記録して収去する。

また、鑑識物品を理解しやすくするために、焼損していない同型品の提供を依頼しておく。

(3)　鑑識見分の準備及び調整

鑑識見分の準備及び調整は、立会いの日程調整、鑑識見分場所の調整、資料提出依頼、同型品（同等品）の提供依頼、鑑識物件の把握、太陽光発電所の場合は、発電所の概要を把握する。

ア　立会いの日程調整

鑑識を実施する日程調整を事業所、メーカーと調整を行い、必要に応じて事業所を通じ、施工業者、保守管理業者などの立会いも依頼する。メーカーへの連絡は事業所任せにせず、消防から日程調整と技術者の立会いを依頼する。鑑識当日の流れ、情報共有してほしい事項、時間は当日夕方遅くなることも念頭に連絡をしておく。

また、バイパスダイオードテスター、ストリングチェッカー、熱画像直視装置等の測定機器について、太陽光発電システムの保守管理のために業者等が保有している可能性があるため、ストリング内の BPD の故障診断をする場合や高電圧のストリング電圧を測定する場合は、機器の持参及び鑑識時の測定を依頼することも検討する。消防が保有しているテスター等で測定する場合は、測定範囲を超えていないか注意する。

イ　鑑識見分場所の調整

留意点は以下のとおりである。

(ｱ)　鑑識場所は天候に左右されない場所を確保する。

(ｲ)　通常は消防署に持ち帰って実施することが基本であるが、鑑識物件によっては事業所の敷地内で行うことも考えられる。立会いの人数が多くても十分作業できるスペースであるか調整する。

ウ　資料提供依頼

(ｱ)　図面（配線図、系統図、配置図等）

焼損品が事業用の場合は事業者、住宅用の場合は所有者に提供依頼する。

各図面から当該太陽光発電システムの概要（モジュールの枚数、仕様、ストリングの配線状況、PCS との接続状況）を把握する。

(ｲ)　ログ

PCS には保護機能の一つとして、発電量・エラー情報などの動作記録（ログ）が保存されている。これには、PCS 本体だけでなく、遠隔監視装置に記録されるログも含まれる。出火原因やその要因を検証するためには、火災発生前後のログの取得が重要であり、以下の情報について提供を依頼する。

ａ　運転開始・停止時刻

ｂ　時間別の発電量

ｃ　エラーの種類および発生時刻

ｄ　その他、異常検知に関連する記録

ログは Excel で読み込める形式（CSV 形式等）で受領すると分析の汎用性が高いため、可能であれば CSV 形式での提供を求める。また、取得したログをそのまま信じるのではなく、記録されている時計（時刻設定）が正確か、関係者の申述内容と時系列が整合しているかを確認しておく。

ログの提供は、事業用の場合は発電所を管理する事業者に依頼する。住宅用の場合は、ログがないことが多いが、エラーコードなどの記録が残っていないか設置業者、メーカーに確認する。（図 11 参照）

番号	設備	統計期間	統計開始時間	値	単位
1	125KTL-JPH0(COM2-7)	1 時間	2024-12-17 05:00:00	0	kWh
2	SmartLogger	1 時間	2024-12-17 05:00:00	0	kWh
3	SmartLogger	1 時間	2024-12-17 05:00:00	データなし	kWh
4	125KTL-JPH0(COM2-4)	1 時間	2024-12-17 06:00:00	0.12	kWh
5	125KTL-JPH0(COM2-10)	1 時間	2024-12-17 06:00:00	0.12	kWh
6	125KTL-JPH0(COM2-12)	1 時間	2024-12-17 06:00:00	0.09	kWh
7	125KTL-JPH0(COM2-2)	1 時間	2024-12-17 06:00:00	0.1	kWh
8	125KTL-JPH0(COM2-6)	1 時間	2024-12-17 06:00:00	0.05	kWh
9	125KTL-JPH0(COM2-3)	1 時間	2024-12-17 06:00:00	0.12	kWh
10	4.95KTL(COM1-15)	1 時間	2024-12-17 06:00:00	0.01	kWh

アラーム名	アラームID	発生時間	終了時刻
ストリング入力電圧が高い	2001	2022-01-20 08:22:32	2022-01-20 08:22:41
ストリング入力電圧が高い	2001	2022-01-20 08:45:07	2022-01-20 08:45:11
ストリング入力電圧が高い	2001	2022-01-20 08:45:31	2022-01-20 08:50:48
ストリング入力電圧が高い	2001	2022-01-20 08:45:31	2022-01-20 08:50:51
設備異常	2064	2022-01-20 08:45:30	2022-01-20 08:50:50
ストリング入力電圧が高い	2001	2022-01-20 08:45:31	2022-01-20 08:50:49
ストリング入力電圧が高い	2001	2022-01-20 08:45:31	2022-01-20 08:50:50
ストリング逆接続	2011	2022-01-20 08:45:31	2022-01-20 08:50:51
ストリング入力電圧が高い	2001	2022-01-20 08:45:31	2022-01-20 08:50:50
ストリング入力電圧が高い	2001	2022-01-20 08:45:31	2022-01-20 08:50:51
ストリング逆接続	2011	2022-01-20 08:45:31	2022-01-20 08:50:48

【図 11　運転履歴（発電量）とエラー履歴（エラーメッセージ）のログ】

(ｳ)　製品情報及び技術資料

製品情報及び技術資料の提供は、メーカーに依頼する。（表３参照）

【表３　製品情報及び技術資料】

製品情報	① 製品名:	⑦ 製造国:		技術資料	① 仕様書
	② 製造業者:	⑧ 製造期間:			② 回路図
	③ 型　式:	⑨ 製造・販売台数:			③ 構造図
	④ 製造番号:	⑩ リコール情報:			④ 展開図
	⑤ 製造年月日:	⑪ 発煙・発火件数及び概要（同型式、同種構造含む）:			⑤ 部品図（パーツリスト）
	⑥ 購入年月日:	⑫ 安全装置等の種類及び取付位置:			⑥ 基板図
					等

エ　同型品（同等品）の提供依頼

鑑識見分時に比較するため、事業者又はメーカーへ同型品若しくは同等品の提供依頼を行う。（提供依頼をする際に、焼損品との比較をするために分解してもよいか、事前に確認すること）

オ　鑑識物件の把握

提供された資料を事前に確認しておく。発電所全体、システムの概要を把握するとともに、どのような構造、回路をしているのか、遮断器や安全装置がついているのかなど、鑑識物件のみならず、鑑識物件が設置されていた環境なども含めた本件に関する全ての事項を事前に把握しておく。

(4)　鑑識要領

鑑識は、①情報共有、②鑑識見分（外観、分解）、③鑑識結果まとめの順で行う。

鑑識見分を開始する前に各機関が集まり、情報共有を行う。消防からは、覚知から鎮火までの時系列や発見・通報・初期消火の状況などを共有する。事業所からは太陽光発電システムの概要、管理状況、ログの記録状況など、メーカーからは製品情報、発煙発火事例、リコール情報などを共有してもらう。情報共有によって、鑑識見分に臨む全員が共通認識を持って、見分に臨むことができる。

鑑識見分に先立って、分解手順を確認する。段階的に部品名の表示、焼損状況を確認しながら、見分できた事項をホワイトボードに記載していく。

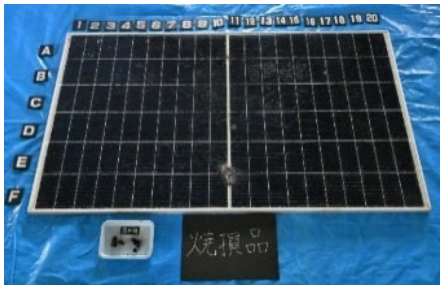
以下、モジュール、接続箱・集電箱、PCS、ケーブルの鑑識要領について紹介する。

ア　モジュール

(ｱ)　外観

３(1)で紹介したインターコネクタ及びバスバーがどのように配列され、BPDにつながっているのか、どのクラスタを管理しているのかメーカーに確認しながら、見分を行う。

セルに対して縦横で番号を付ければ、どの箇所で焼損、破損、汚損等があるのかを明示しやすく、効率的に見分を進めることができる。（写真３及び４参照）



【写真３　受光面の付番の状況】

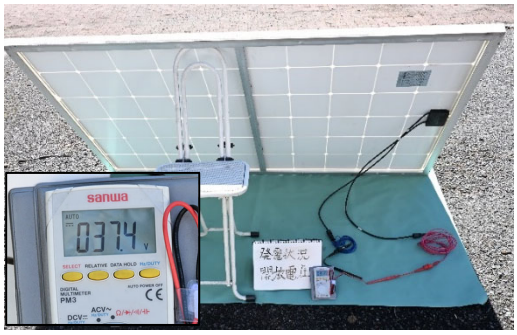


【写真４　裏面の状況】

(ｲ)　発電状況

分解を行う前に天候及び気温を記録するとともに、日射を受けたときのモジュールのプラス端子とマイナス端子間の電圧を測定することで、モジュールの開放電圧は正常の範囲内か否か、熱画像直視装置があれば、局所的な発熱（以下「ホットスポット」という。）があるかどうかを確認することができる。（測定機器の測定範囲内で行うこと）

モジュールに著しい焼損や破損がある場合は、漏電による感電や再出火する危険性があるため、焼損状況によっては実施を見合わせる。（写真５及び写真６）



【写真５　発電状況】



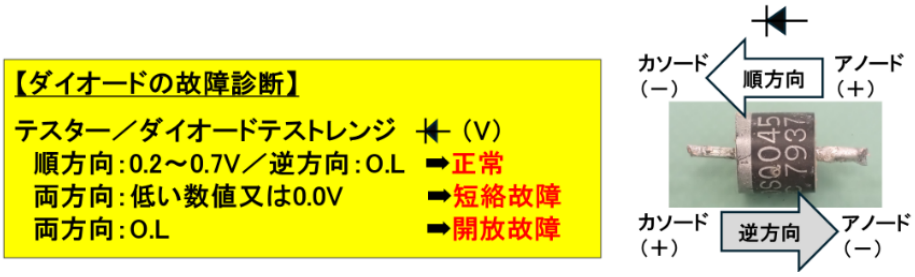
【写真６　熱画像直視装置の状況】

(ｳ)　ジャンクションボックス

モジュール裏面のジャンクションボックスの外観、充填材の焼損状況を確認しながら除去する。（セルは日射を受けると、発電するため、分解時は屋内で裏返しにするかセルへの遮光を行うこと）

ジャンクションボックス内のバスバー等の金属導体の溶融状況を確認し、溶融があれば、拡大観察を行う。

テスターを使ったBPDの故障診断は、一般的なダイオードの故障診断と同様にBPD 単体を取り外し、テスターのダイオードテストレンジで測定を行う。（図 12 参照）



【図 12　ダイオードの故障診断】

テスターではBPD単体の測定しかできないが、バイパスダイオードテスターがあれば、接続箱やPCSの端子部分でストリングの異常の有無を確認することができる。バイパスダイオードテスターは、太陽光発電事業者や保守点検業者が保有していることが多い測定器であり、現場見分時に異常のあるストリングを切り分ける必要がある場合に、使用するか判断する。

バイパスダイオードテスターを使ったストリング単位のBPDの故障診断は、ストリング内のバイパスルート抵抗値、開放電圧値を同じ仕様、同じ枚数のストリングと比較することで、判別することができる。（図 13 参照）

ただし、異常があるストリングまでは特定できるが、どのモジュールに異常があるかは特定できない。特定にはモジュールを１枚１枚切り離す必要がある。



【バイパスダイオードテスターによる故障診断】		
バイパスルート抵抗値	開放電圧値	
同じ仕様、同じ枚数のストリングと同数値		➡正常
０Ω又は低い数値	異常のあるクラスタ分小さい数値	➡短絡故障
OPEN （高い数値は開放故障の疑い）	正常値	➡開放故障

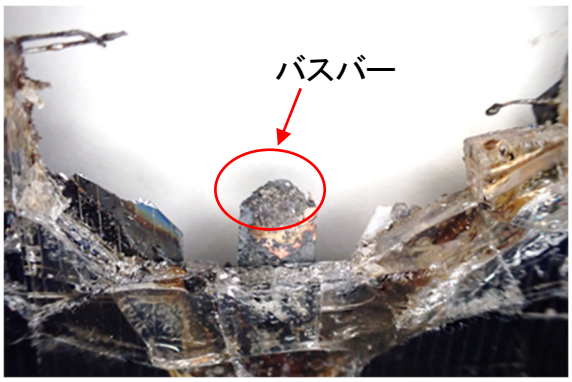
バイパスダイオードテスターで測定できるストリングの測定値

バイパスルート抵抗値 ／ 印加電流値
開放電圧値 ／ 短絡電流値

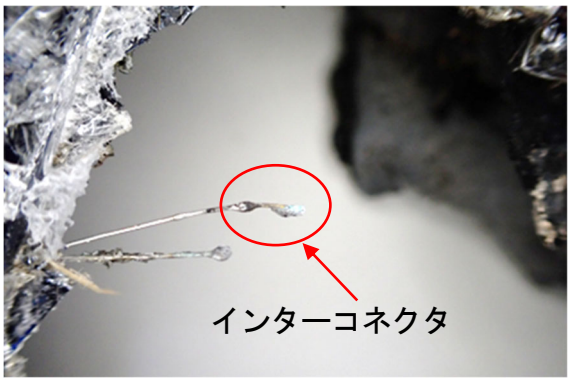
【図 13　バイパスダイオードテスターによる故障診断】

(ｴ)　セル

セルに焼損がある場合は、EVA 樹脂を除去し、焼損部位のインターコネクタ、バスバーなどの導体に溶融がないか確認し、溶融があれば、拡大観察を行う。(写真７及び写真８参照)



【写真７　バスバーの状況】



【写真８　インターコネクタの状況】

(ｵ)　その他

必要に応じて、着火物や延焼経路を検討するため、何に着火したのか多目的ライター等を使って燃焼実験を行う。

(ｶ)　BPD の短絡故障

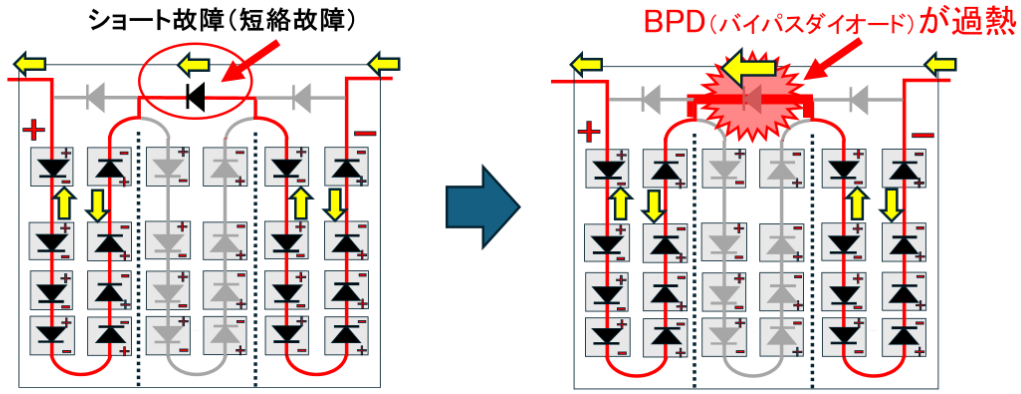
BPD の短絡故障とは、ダイオードが故障により常に導通した状態となることをいう。BPD は、異常時に断線して開放故障に至るよりも、内部が溶融して導通状態となる性質があるため、一般に短絡故障の方が発生しやすい。

短絡故障が発生した場合、主としてモジュール電圧および出力の低下を引き起こす。局所的な発熱（ホットスポット）の発生を抑制する点では安全側の故障と位置づけられる。

短絡故障に至る要因としては①不良セルや継続的な影の発生によって、BPD の導通状態が長時間継続することによる過熱、②雷サージや PCS の誤接続等による過電圧・過電流の印加、③はんだ不良やジャンクションボックスの放熱不良などの構造的要因による内部温度の上昇が考えられる。

BPD の短絡故障が理想的な短絡状態（０Ω）である場合には、電圧降下はほとんどなく、発熱は伴わない。しかし、内部劣化により抵抗成分を有した導通状態

の場合には、順方向・逆方向を問わず電流が常時流れ、電流値に応じた電圧降下及びジュール損失が発生し、発熱を伴う可能性がある。このようにBPDが発熱した場合、BPD 本体に加え、周辺配線やインターコネクタ等の接続部が過熱する可能性がある。（図14参照）

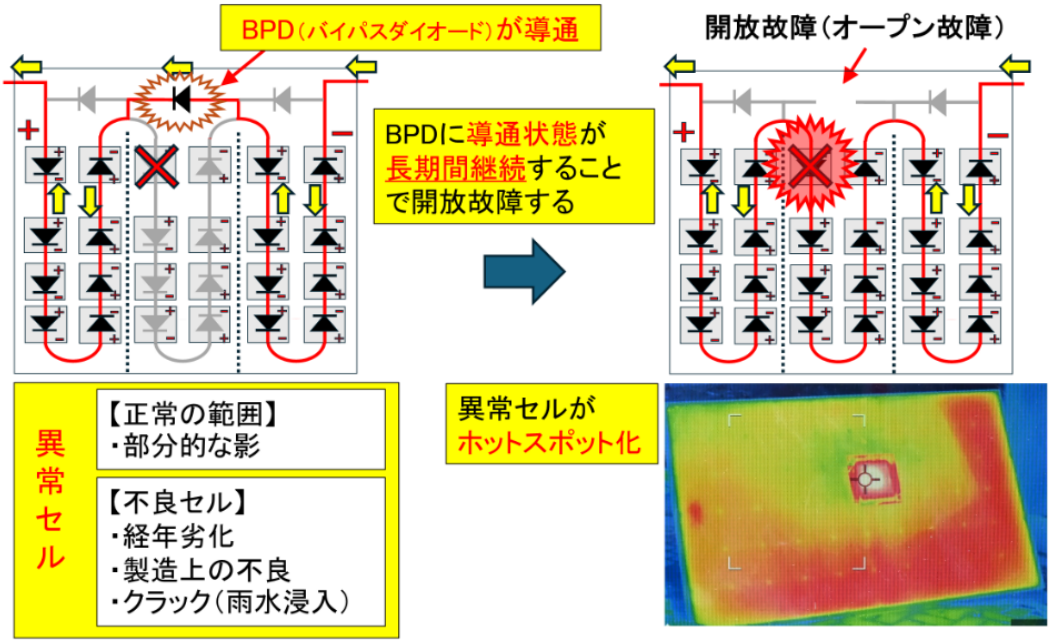


【図14　BPDの短絡故障】

(ｷ)　BPDの開放故障

BPD の開放故障とは、断線状態となり、異常時に電流をバイパスできなくなる故障をいう。BPDの短絡故障がさらに長期間継続すると、開放故障に至る。

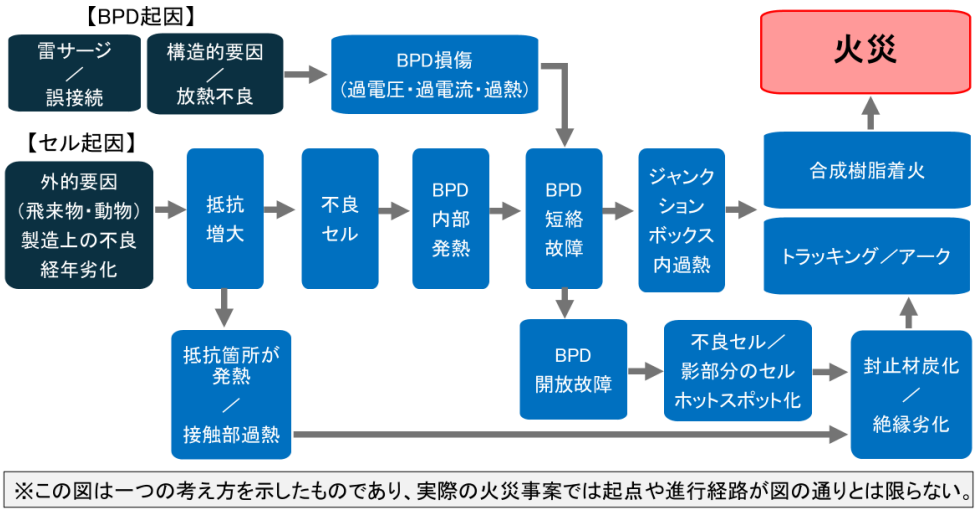
BPD が開放故障した状態で不良セルや部分的な影が発生すると、当該セルが逆方向バイアスとなり、ホットスポットが生じる。この状態が継続すると、封止材の劣化・炭化を経てトラッキングやアーク放電に至り、火災の危険性が高まるため、開放故障は危険側の故障と位置づけられる。（図15参照）



【図15　BPDの開放故障】

(ｸ)　出火に至る要因の検討

出火に至る要因として、大きく分けてセル起因によるものとBPD起因によるものが考えられる。それぞれの相関関係を図にすると以下のようになる。（図16参照）



【図 16　モジュール火災の発生要因フロー】

イ　接続箱及び集電箱

接続箱及び集電箱は、ストリングを集約する箇所であり、非常時に電力を遮断する遮断器や機器を保護するための避雷器等も設置されている。

接続箱及び集電箱自体に焼損があるときは、溶けや接続部の緩みがないか確認する。また、接続箱及び集電箱に焼損がなくても、モジュールへの過電流による影響が考えられるとき、その要因となっている場合もある。

(ｱ)　逆流防止ダイオード

BPD と同じ要領でテスターを用いて故障診断することができる。

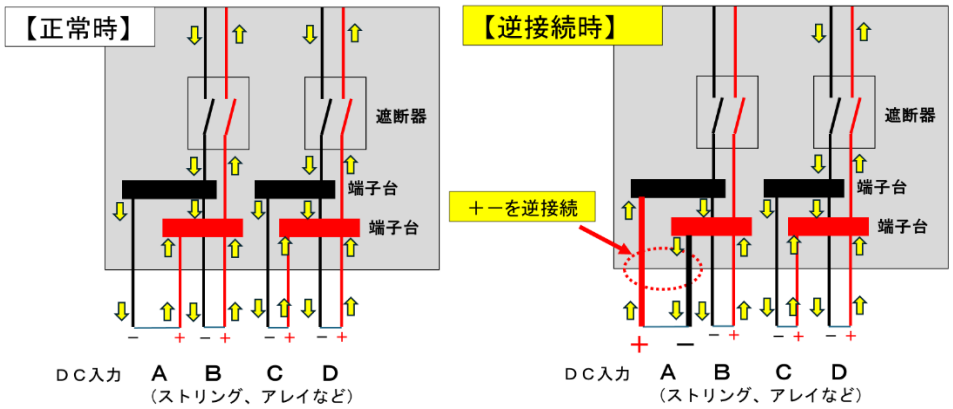
(ｲ)　ストリングヒューズ

テスターの抵抗レンジで、導通試験し、溶断の有無を確認する。

(ｳ)　接続部の異常による他の機器への影響

a　配線の逆接続

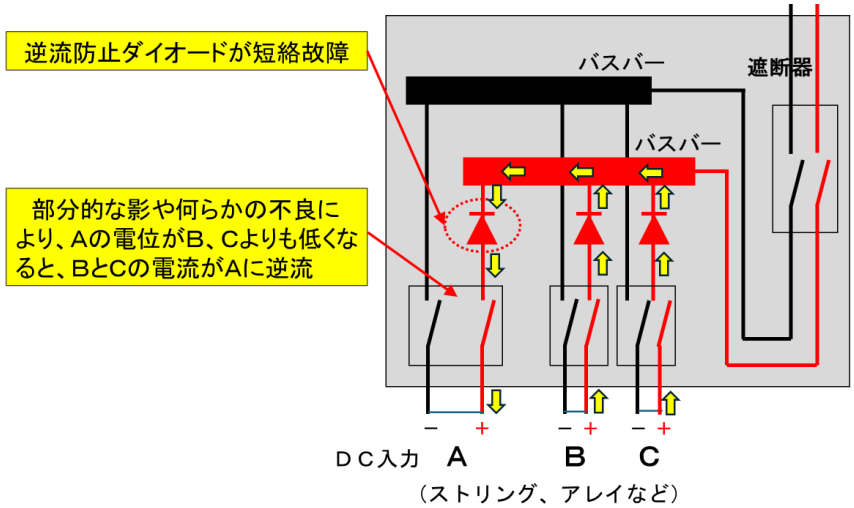
配線の逆接続とは、ストリングＡとＢが並列で端子台に接続されている場合、プラスとマイナスを逆接続してしまうと、ＡとＢのストリングが直列の短絡状態になり、電流がループする。PCS は正常に発電できなくなるため、エラーが発生する可能性がある。また、ループ電流は、日射条件が弱い時間帯や PCS を停止した場合であっても、定格電流が継続して流れる点に注意が必要である。（図 17 参照）



【図 17　逆接続のイメージ】

b　逆流防止ダイオードの短絡故障による逆流

並列接続部において、ストリングの逆流防止ダイオードが短絡故障を起こし、そのストリングが他のストリングよりも電位が低くなると、電流が逆流する。並列のストリング数だけ逆流電流が大きくなるため、ジャンクションボックス内のはんだ接合部やインターコネクタ等の断面積が小さい導体が過熱、逆方向リーク電流によるバイパスダイオードの過熱が起こる可能性がある。（図 18 参照）



【図 18　逆流防止ダイオードの短絡故障】

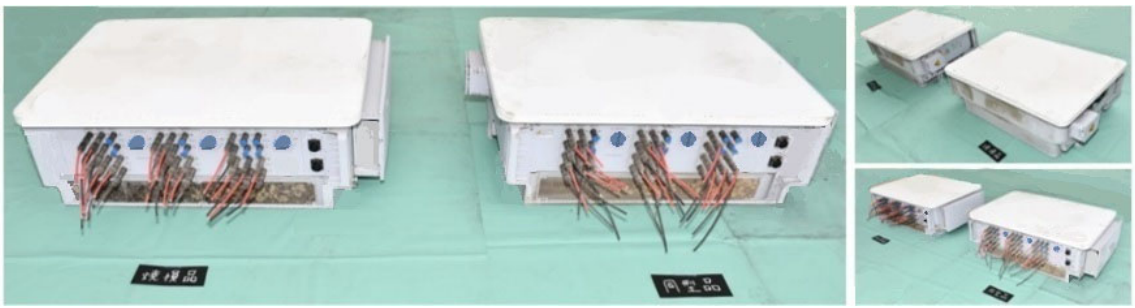
ウ　パワーコンディショナ（PCS）

PCS は、モジュールで発電された直流電力を交流に変換する機器であり、機器を監視する機能も含め、内部は基板、電子部品や配線で構成されている。

メーカーや機種によって構造は異なるため、事前に入手した回路図等を参考に、見分を行う。

(ｱ)　外観

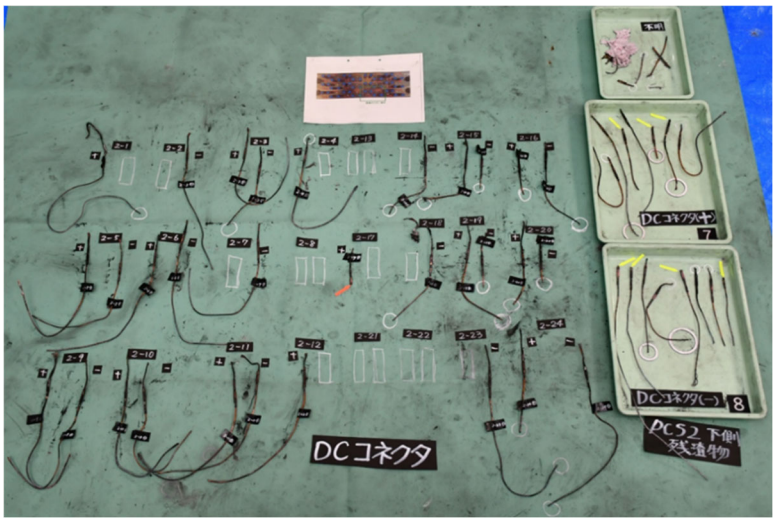
他の製品鑑識と同様に同型品を並べ、外観から見分を行う。写真は正面のほか２面が写るように全ての方向を撮影すると焼けの方向性が示しやすい。（写真９参照）



【写真９　外観の状況】

(ｲ)　DC 入力端子

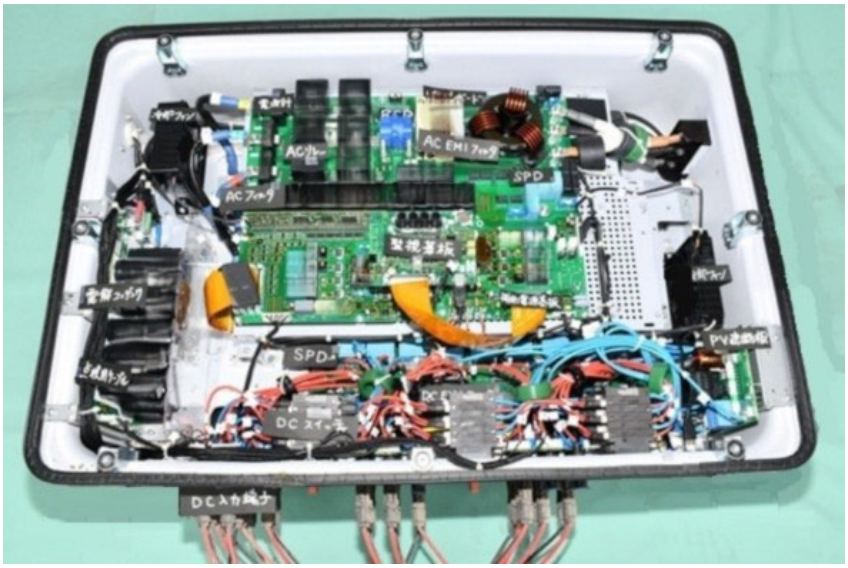
PCS によって、MC4 型コネクタで接続するものや端子台で配線をねじ止めするものなど接続方法が異なる。焼損が激しい場合、接続箇所が判別できるものは札で明記し、落下物として判別不能なものはトレイなどで区別する。溶融箇所は矢印などで示す。(写真 10 参照)



【写真 10　DC 入力端子の状況】

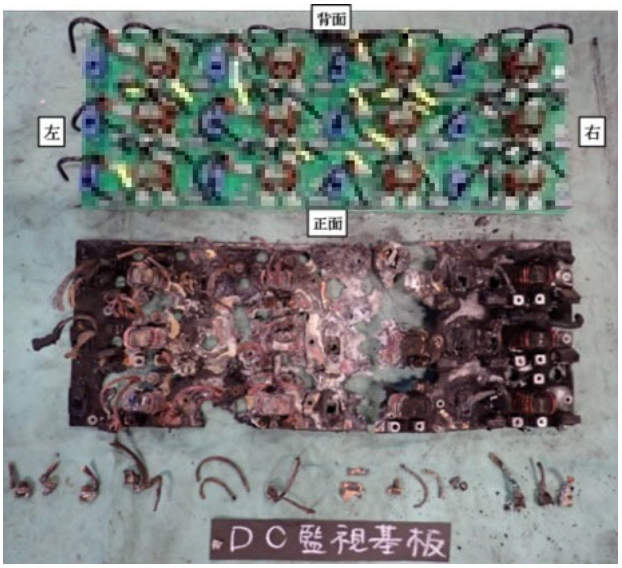
(ｳ)　各基板、内部部品等

同型品がある場合は、メーカー担当者に確認しながら、同型品に部品名称の札をつけ、部品名称と位置を明らかにする。分解の過程で段階ごとに撮影を行う。(写真 11 参照)

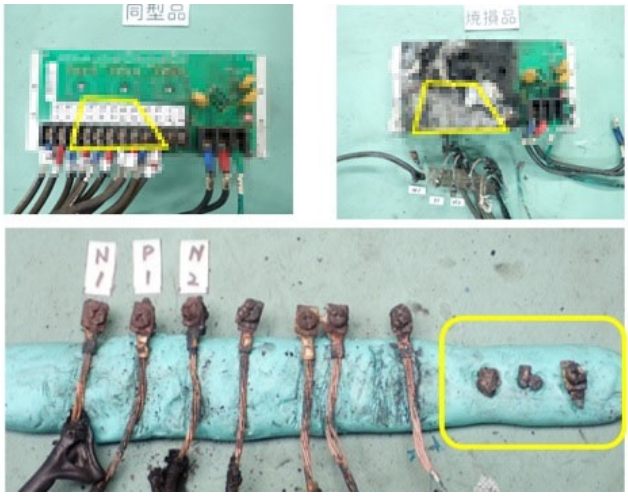


【写真 11　同型品 PCS への札つけ状況】

様々な基板が入っているため、母材の焼け込み箇所に何があるか確認を行う。母材の焼け込みで端子台が欠損している箇所を同型品の基板に矢印で示すと、分かりやすい。焼け込み箇所のパターンや端子間に電位差があり、炭化導電路が確認される場合（抵抗値「100Ω以下」）は、トラッキングの可能性が考えられ、ねじ止め箇所に緩みがあれば、接触部過熱の可能性を検討することができる。(写真 12 及び写真 13 参照)



【写真 12　基板の状況】

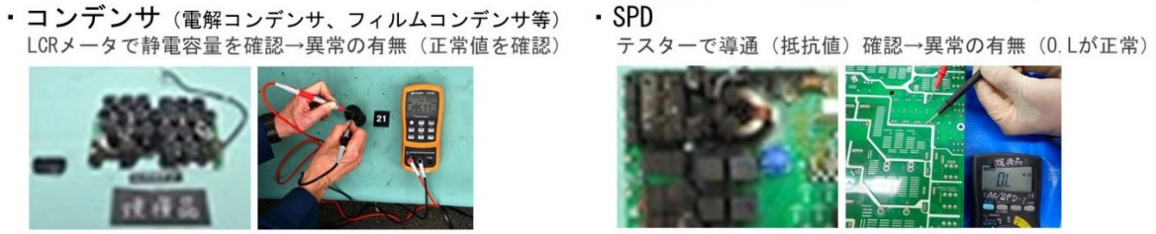


【写真 13　端子の状況】

ねんどや焼損箇所を明示する矢印等を使用すると、効率的に詳細な見分を行うことができるため、写真撮影においてもこれらの点に留意する。

(ｴ)　電子部品

コンデンサ（電解コンデンサ、フィルムコンデンサ等）は、メーカーに静電容量の正常値を確認し、LCR メータを用いて異常の有無を確認する。SPD はテスターの抵抗レンジで導通状況を確認する。焼損がない場合も異常な数値を示している場合、過電圧や過電流など出火との関連性の検討材料にする。（写真 14 参照）



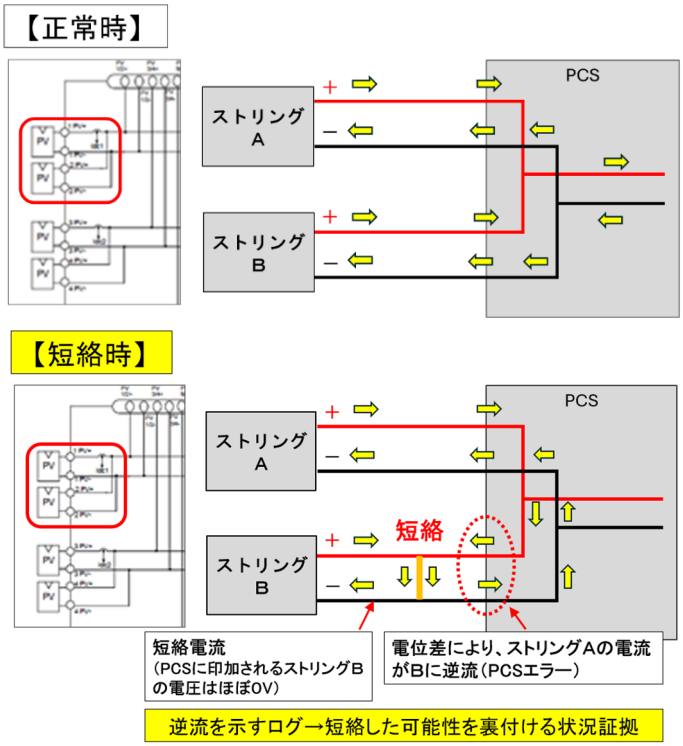
【写真 14　電子部品の状況】

(オ)　出火に至る要因の検討

PCS のエラーに関連する現象の一例を紹介する。

a　並列ストリングの短絡による逆電流

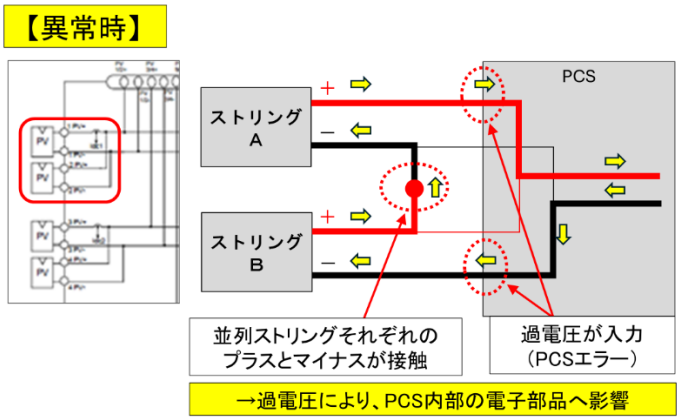
ストリングＢのケーブルが短絡を起こすと、Ｂのモジュール側は短絡電流が流れ、PCS 側はＢの電圧がほぼ０V になるため、電位差によりストリングＡの電流が並列のＢに逆流する。このとき、PCS はエラーを記録するため、短絡した可能性があることを裏付ける状況証拠となる。（図 19 参照）



【図 19　並列ストリングの短絡による逆電流】

b　並列ストリングの直列化による過電圧

PCS で並列になっているストリングが短絡などを起因として、それぞれのプラスとマイナスが電気的に接続すると、２つのストリングが直列となり、PCS に過電圧がかかる。このとき、PCS はエラーを記録し、PCS 内部部品に影響が及ぶ可能性がある。（図 20 参照）

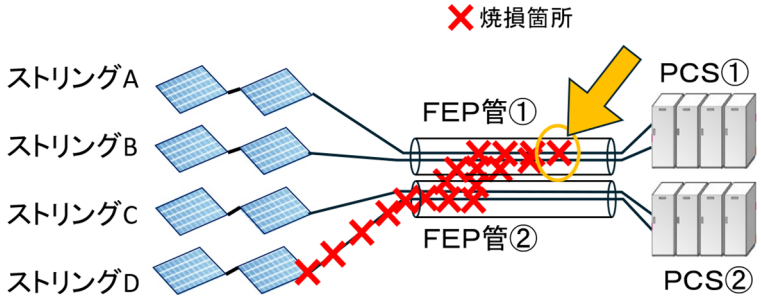


【図 20　並列ストリングの直列化による過電圧】

エ　ケーブル

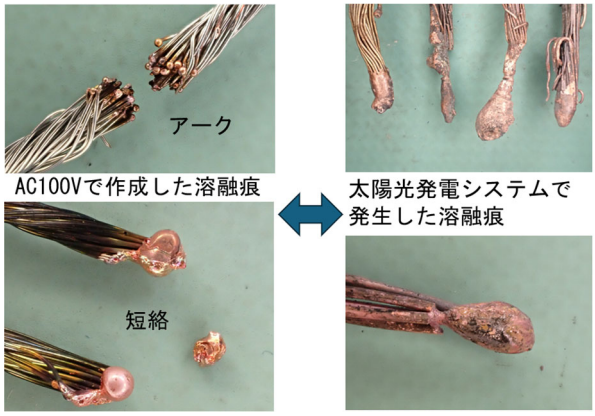
ストリング側の発電は出火後も継続されることから、ケーブルで出火すると、PCS側からストリング側に向かって短絡やアーク放電を繰り返しながら、延焼していく。

図 20 の場合、PCS①のケーブルのうち、もっとも PCS 側に位置する箇所（矢印で示す場所）が出火箇所と判断できる。（図 21 参照）



【図 21　ケーブルの延焼方向】

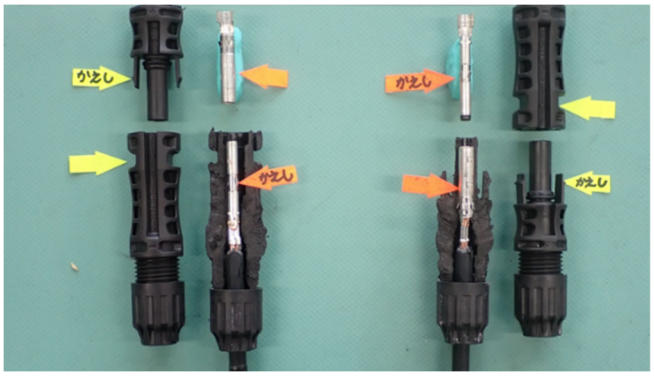
高電圧の直流による短絡、アーク放電で発生した溶融痕は、いわゆる光沢がある球状ではなく、熱痕と同様に光沢がなく、なだらかな形状をしている場合が多い。（写真 15 参照）



【写真 15　溶融痕の形状】

ケーブルの接続部には、現在 MC４型コネクタが多く使用されている。MC４型コネクタは、スイスのストーブリ社が開発した製品であるが、業界の実質的な標準となっており、各社から互換品が販売されている。

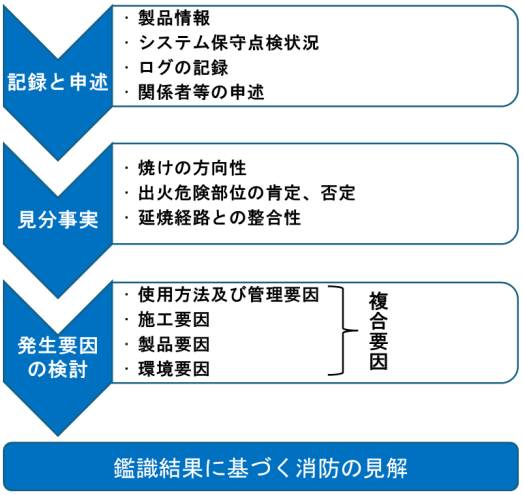
しかし、異なるメーカーの互換品コネクタを混在させて使用すると、接触不良や防水性能の低下など不具合が発生する可能性がある。（写真 16 参照）



【写真 16　MC４型コネクタ】

(5)　鑑識結果のまとめ

鑑識結果に基づき、消防の見解をまとめる。これまで聴取内容や提供を受けた情報を踏まえ、見分事実から異常箇所に対する検討を行う。このとき、休憩等を設け、消防のみで見解を検討する。(図 22 参照)

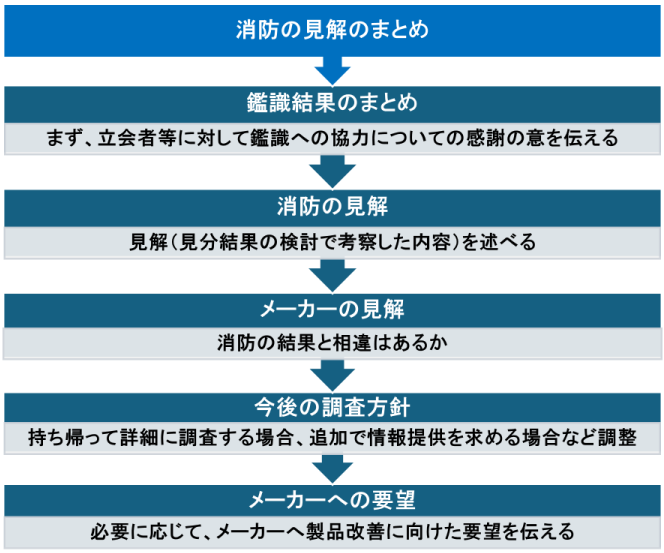


【図 22　消防の見解のまとめ】

鑑識結果に基づく消防の見解を説明するにあたって、まず検討内容を踏まえ、どの箇所の焼損が特に強いのかを示し、出火の可能性がある部位がいくつ存在するのかを明確にする。さらに、それぞれの部位から出火した可能性の有無、想定される発生要因を順に説明する。そこから出火したと仮定した場合に、実際の延焼経路と整合性があるかどうかを丁寧に示し、総合的な見解を示す。

次に、メーカーに見解を求める。相違がある場合は、今後の調査方針を協議する。

今後の対応として、詳細な調査を行うことや情報提供を求めることなどを調整する。類似火災防止の観点からメーカーに対して改善を要望する場合は、その旨を伝え、メーカー担当者と協議の上、必要に応じて文書（要望書）を提出して対応を求める。(図 23 参照)



【図 23　鑑識結果のまとめ】

5　消防活動上の留意事項

(1)　火炎に対する発電特性

火炎には赤外線成分が含まれるため、夜間において肉眼では暗く見える火炎であっても、モジュールは発電を継続している場合がある。また、モジュールは損傷していても、BPD を有するモジュールでは発電が継続することがあり、外観上で無通電とは判断はできない。モジュールの発電を停止させる確実な方法がないため、発電中の太陽光発電システムのケーブルを不用意に切断すると、アーク放電が発生する可能性が高く、重大な危険を伴う。

ケーブルからの延焼を抑制するために切断が必要と判断される場合には、事業者と協議を行った上、最終手段として実施するものとする。その際、PCS を停止させ、接続箱の遮断器を遮断し、回路の電流を止める。感電及びアーク放電に対する十分な安全対策が確保された場合に限り、配線中の二箇所を同時に、迅速かつ１回の動作でケーブル切断を行う。

(2)　感電に関する留意事項

火災現場における周囲が濡れている状況では、断熱材や壁、床などの部材の導電性が高まる。太陽光発電システムのケーブルが脱落又は損傷し、これらの部材に接触している場合には、部材を介して電流が流れる可能性が高くなる。

消防隊員が使用する革製手袋や繊維製手袋は､濡れてしまうと感電の危険性がある。そのため、活動時には電気絶縁性の高い手袋や、ビニル又はゴムなどの水を通さない手袋を内側に着用し､その上に耐切創性の高い手袋を重ねて使用することが望ましい。靴は、帯電防止性能を有するものであっても、外部から水が浸入しなければ感電の危険性は低いため、内部に水が浸入しない防火靴を着用する。これらの感電防止対策を講じることが重要である。

また、住宅用太陽光発電システムを想定した実験では、破壊器具でモジュールを破壊したところ、心臓を停止させるのに十分な電流が流れることを確認している。とびロなどの破壊器具は、木製の柄やゴム巻きの柄であっても完全に絶縁されているわけではなく、感電の危険性がある。

放水時については､電気が放水の水を伝わりノズルまで到達する可能性があるため、感電防止対策を講じた上で、基本的に噴霧注水とし、棒状注水を行う場合は、10m程度距離をとる対策を講じる。

(3)　崩壊・崩落による危険

太陽光発電システムが設置された屋根は、屋根荷重が増加しており、火災の影響により崩壊、崩落する危険性がある。また、高温になった強化ガラスは一般的な板ガラスの性状に戻り、大きな破片となって割れることがある。破損したガラス片の落下による受傷危険がある。

(4)　燃焼時に発生する有毒ガス

火災時の熱や炎により、モジュールの合成樹脂が分解又は燃焼する際、フッ化水素や有機化合物などが生成される。発生量には差があるものの、燃焼時に生成されるガスには人体に有害な成分が含まれているため、活動時には面体及び空気呼吸器の着装に留意する必要がある。

6　おわりに

太陽光発電システムは、住宅用から事業用まで多種多様な機器が接続されており、火災調査を実施するにあたって、基礎的な構成、動作原理などを理解しておく必要がある。

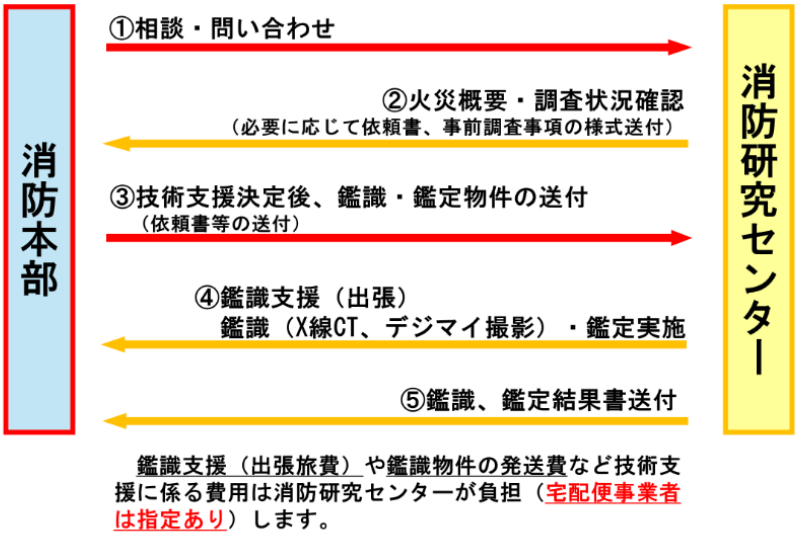
太陽光発電システム火災においては、製品単体の調査にとどまらず、各機器間の因果関係、設置環境・周辺状況などの環境的要因を含め、総合的な観点からシステム全体が出火に関与した可能性を検討することが重要である。

そのため、現場見分や鑑識見分で得られた結果に加えて、メーカーからの技術情報、太陽光発電事業者が保有するログなどの記録を積極的に収集し、詳細な分析を行うことが求められる。出火原因及び出火に至る要因を多角的に検討し、太陽光発電事業者への対策を講じさせたり、製品に起因する可能性が考えられる場合には、メーカーへ改善を要望することで、類似火災の防止へとつなげることができる。

最後に、本要領が今後の太陽光発電システムに関連する火災調査の参考となれば幸いである。

7　その他

消防研究センターでは、消防本部への火災調査における技術支援として、出張による合同鑑識の支援、X線CTシステム、デジタルマイクロスコープによる鑑識物件の撮影、成分分析などの鑑定等を行っている。（図24参照）



【図24　技術支援の流れ】