

太陽光発電設備の評価・回復手法の 技術情報および利用ガイド 電気編

2024年3月25日（月）

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
大関 崇

Ⅲ 電気編：目次

- 1 はじめに
- 2 用語の定義
- 3 発電システム設計の評価
 - 3.1 システム関係書類の評価
 - 3.2 設置機器・配置設計
 - 3.3 発電特性
 - 3.4 電気システム設計
- 4 発電システム設計の詳細現地調査による評価
 - 4.1 太陽電池モジュールの確認
 - 4.2 太陽電池モジュール以外の機器、電気設備の確認
- 5 発電システムの回復技術
 - 5.1 太陽電池モジュールの交換
 - 5.2 安全化設計
- 別添1 太陽光発電設備システム目視検査シート
- 別添2 太陽電池モジュール目視検査シート
- 別添3 現地における太陽電池モジュールの機能評価手法
- 別添4 I-Vカーブ異常原因と確認方法・対処方法
- 別添5 発電性能のシミュレーション設計におけるチェックリスト
- 別添6 発電実績の評価におけるチェックリスト

1 はじめに

- 現時点で太陽光発電設備のリスクに関して評価・回復フローやその技術に関する例が十分でないため、本ガイドでは太陽光発電設備における電気関係の手段について詳細を記載した。
- 電気設備の場合、リスクがある場合は基本的には交換となる。そのため、評価技術を中心に記述する3章にはシステム設計の評価方法、4章には現地における確認・評価方法、5章には回復技術(リスクをより低減する技術)について紹介する。

Ⅲ 電気編：目次

- 1 はじめに
- 2 用語の定義
- 3 発電システム設計の評価
 - 3.1 システム関係書類の評価
 - 3.2 設置機器・配置設計
 - 3.4 発電特性
 - 3.3 電気システム設計
- 4 発電システム設計の詳細現地調査による評価
 - 4.1 太陽電池モジュールの確認
 - 4.2 太陽電池モジュール以外の機器、電気設備の確認
- 5 発電システムの回復技術
 - 5.1 太陽電池モジュールの交換
 - 5.2 安全化設計
- 別添1 太陽光発電設備システム目視検査シート
- 別添2 太陽電池モジュール目視検査シート
- 別添3 現地における太陽電池モジュールの機能評価手法
- 別添4 I-Vカーブ異常原因と確認方法・対処方法
- 別添5 発電性能のシミュレーション設計におけるチェックリスト
- 別添6 発電実績の評価におけるチェックリスト

3.1 システム関係書類の評価

1. 電力関連書類を確認する。
2. 竣工図書関係書類を確認する。
3. 維持管理関連書類を確認する。

- システム関連書類としては下記が存在する。これらの書類が無い場合は新たに作成するもしくは、設計・施工事業者からデータを取り寄せ、図書を再作成する。

①電力関連書類

- 接続検討回答書
- 特定契約書
- 接続契約書
- システム連系におけるパワーコンディショナの整定値表

②竣工図書関係書類

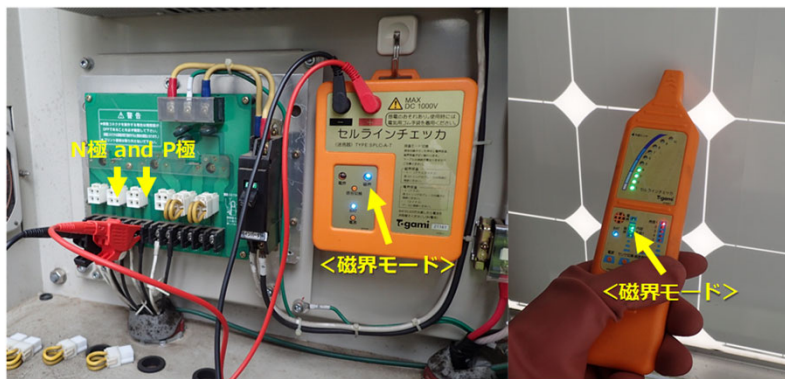
- 各機器の配置図
- 電気配線図
- システム(ストリング)配線図
- 単線結線図
- 各機器の仕様書
- 施工計画書(工事計画書)
- 施工(工事)記録
- 各機器の保証書
- 竣工検査記録及び試験成績書
- 使用前自己確認、使用前自主検査の結果

③維持管理関連書類

- 保守点検計画書
- 法定点検実施記録
- 保守点検実施記録
- 修理、修繕等の記録

3.1 システム関係書類の評価

- 基本的には、書類が無い場合は、現地において目視等により確認する必要がある。この中で、系統(ストリング)配線図については、現地において確認する方法がいくつかあるため、紹介する。



(a) 送信器の設定

(b) 受信器の設定



(c) モジュール表側からの探査

(d) モジュール裏側からの探査

図 配線経路の確認



図 非接触電流測定によるストリング配線の確認方法の概要

3.2 設置機器・配置設計

1. 各機器の設置位置と配置図を確認する。
2. 各機器の数量と部材表等を確認する。
3. 各機器間の配線経路と配線図を確認する。
4. 各機器及び設置環境と各仕様書を確認する。
5. 各機器の保守スペースを確認する。

- 発電システムのうち、配置・設置環境について、現地において設計図書との整合性を確認する。これらの書類が無い場合は新たに作成するもしくは、設計・施工事業者からデータを取り寄せ、図書を再作成する。

- ①各機器の設置位置と配置図の検証
- ②各機器の数量と部材表等の検証
- ③各機器間の配線経路と配線図の検証
- ④各機器及び設置環境と各仕様書との検証
- ⑤各機器の保守スペース検証

3.3 電気システム設計

1. 地絡(対地間絶縁低下)に対する保護対策を確認する。
2. 短絡(正負極間絶縁低下)に対する保護対策を確認する。
3. 過電流に対する保護対策を確認する。
4. 雷害に対する保護対策を確認する。
5. システム最大使用電圧と各機器の仕様を確認する。
6. システム最大使用電流値と各機器の仕様を確認する。

- システム設計全体については、電気設備技術基準への適合を確認することが原則となる。設計図書・仕様書等により各設計項目を確認する。具体的な内容は電技解釈およびその解説などの関連規程への適合性、また、システム設計全体や機器についてはIEC 62548-1(2023)、JIS C62548(2023)を参考に安全設計を確認する。

3.3 電気システム設計

- 主な確認項目は下記の通りである。
 - ケーブル・アース線、接続箱・集電箱内素子は設備仕様の適合性の確認(アース線の太さや接続方法)。
 - 配線の絶縁距離、熱容量設計、正極、負極を分離して配線されている等の確認。
 - 接地設計、等電位ボンディング方法の確認。
 - ヒューズ、遮断器、ブロッキングダイオードが関連規格、規程などへの適合性の確認。
 - 雷対策として、外部LPS機器、内部LPS機器の関連規格、規程などへの適合性の確認。
 - 地絡検知装置の関連規格、規程などへの適合性、仕様の確認。
 - システム最大使用電圧の確認(温度補正)。
 - 両面受光によりシステム最大使用電流の確認。
 - 獣害対策が適切に行われているかの確認する。
- また、システム設計時の基本的な機器選定として、設備を構成する各機器(太陽電池モジュール、ケーブル、コネクタ、接続箱、集電箱、PCS、トランス、アース線、保護管など)の絶縁性能が法令および関連規格、規程などに適合性を確認する。

3.4 発電特性

1. 発電特性のシミュレーションによる設計値を確認する。
2. 発電実績値を評価する。

(1) 発電特性のシミュレーションによる設計値

- 設置前の発電電力量の予測・推定や評価は、経済性の評価や完工検査、劣化や故障の有無の確認等様々な目的で利用される。一方、発電電力量予測・推定の手法は、簡易的なものから詳細なパラメータが必要になるものまで様々であり、使用するデータベース、設計仕様によってもその値や値の信頼性は変動するため、事業規模や重要度に応じて適したものを選定する必要がある。また、実績発電電力量を評価する際は、月単位、年単位での評価だけでなく、場合によっては時間単位の評価が必要であったり、規模の大きな発電所の場合は発電所内のエリアを区切った評価が必要になるケースもある。加えてモニタリング装置や計測のサンプリングタイムも様々であり、これらは発電所の管理体制にも直結する。なお、発電性能のシミュレーション値がない場合は、実施しなおす必要がある。

① エネルギーの変換工程と損失

② シミュレーション方法

③ 日射量

④ 遮光物

⑤ 太陽電池

⑥ パワーコンディショナ
(PCS)

⑦ 両面受光型太陽電池

⑧ 不確かさ

⑨ 長期予測/経年劣化

3.4 発電特性

1. 発電特性のシミュレーションによる設計値を確認する。
2. 発電実績値を評価する。

(2) 発電実績値の評価

- 発電実績値の評価としては、発電所の稼働値の評価は一般的に月単位で確認される。発電電力量は最も重要な数値ではあるが、発電電力量は日射量に強く依存し、日射量のばらつきは大きいことから、単純に発電電力量を並べるだけでは発電所の正常稼働を確認することはできない。そこで以下のような評価が行われる。

- ① システム出力係数(PR)の過去値との比較
- ② 長期予測値のシミュレーション値との比較
- ③ 実測の気象をベースに計算されたシミュレーション値との比較
- ④ 近隣の数値との比較
- ⑤ 計測システムの確認
- ⑥ 計測に関する保守状態の確認

Ⅲ 電気編：目次

- 1 はじめに
- 2 用語の定義
- 3 発電システム設計の評価
 - 3.1 システム関係書類の評価
 - 3.2 設置機器・配置設計
 - 3.4 発電特性
 - 3.3 電気システム設計
- 4 発電システム設計の詳細現地調査による評価
 - 4.1 太陽電池モジュールの確認
 - 4.2 太陽電池モジュール以外の機器、電気設備の確認
- 5 発電システムの回復技術
 - 5.1 太陽電池モジュールの交換
 - 5.2 安全化設計
- 別添1 太陽光発電設備システム目視検査シート
- 別添2 太陽電池モジュール目視検査シート
- 別添3 現地における太陽電池モジュールの機能評価手法
- 別添4 I-Vカーブ異常原因と確認方法・対処方法
- 別添5 発電性能のシミュレーション設計におけるチェックリスト
- 別添6 発電実績の評価におけるチェックリスト

4 発電システム設計の現地調査による評価


- 4章では現地における確認方法を示す。現地調査による評価の目的は、「設計通り施工、機器選定がされているかの確認」「不具合などを含めた発電設備の性能の確認」となる。
- 3章により関連図書の有無、また設計図書等から電気システム設計を確認後、その設計通りに施工されているか、機器選定が行われているかを確認、評価を行う。また、設置後数年たっているなどの場合、不具合などを含めた、発電設備の現状の性能を含めて評価を行う。ここでは、太陽電池モジュールおよびそれ以外に大別して、評価方法を示す。
- 評価方法としては、基本的には目視による確認、維持管理・点検記録を確認することを基本とする。発電設備の評価の考え方としては、発電設備の価値を評価することが主眼であるため、保守点検や事故時の現地駆け付けや不具合に切り分けといった目的を主眼としていない。そのため、測定に関する詳述はしないが、発電設備の現状性能を把握するためには、書面や目視だけではわからない項目もあり、必要な場合は測定を行うという手順となる。その具体的な測定方法は、保守点検などで行う項目と類似しているため、基本的には太陽光発電システムの保守点検ガイドラインを参照することが望ましい。
- 上記の目的のもと、本文書では、現地目視のポイント、保守点検ガイドラインに記載以外の測定方法について紹介する。

4.1 太陽電池モジュールの確認

1. 太陽電池モジュールを目視により確認する。
2. 太陽電池モジュールを目視以外による方法(測定など)で確認する。

(1)太陽電池モジュール(目視の範囲)

- 近年、屋外に設置された太陽電池モジュールの劣化に関する大規模な検査結果が報告されている。目視検査に関する具体的でかつ統一された検査項目・検査手法は、現在確立されていないが、以下に目視による確認すべき項目の例を以下に参考として示す。

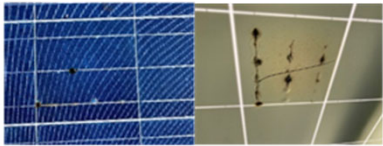
事象	A 経過観測 B 電気測定 C 補修、交換	最終的なリス ク
 割れモジュール検出 打痕無し	C 交換	地絡 火災
 割れモジュール検出 打痕有り	C 交換	地絡 火災
 破損	C 交換	
 カバーガラス汚れ	A 経過観察 B 電気測定	部分的な高抵抗化

4.1 太陽電池モジュールの確認

(1) 太陽電池モジュール(目視の範囲)



表面、裏面の焦げ C補修、交換 地絡
火災



ダミーモジュール焼損 C補修、交換 ガラス破損
絶縁不良
レイアウト合わせのダミーモジュールが短絡
地絡
接続状態
火災



絶縁抵抗低下 B電気測定 地絡
部分的な高抵抗
化
晴 6MΩ、雨 0.5MΩ



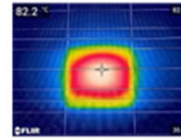
太陽電池内部に緑青を確認。ケーブル異常なし
バックシート膨張
この事象が絶縁抵抗低下と因果関係は未確認。



バックシート剥がれ C補修、交換 地絡
ラミネーション不良と
推測される
押すとボコボコする



セル・バックシート焼損 C補修、交換 ガラス破損
絶縁不良
地絡
火災



モジュールの飛散 C補修、交換 地絡
火災
近隣への飛散



蓋が外れ、脱落 C補修、交換 地絡



ジャンクションボックスで裂け、膨み C補修、交換 地絡
火災

開放電圧は、3枚が正常、1枚が0V、1枚が1クラスタ分低下、4枚が2クラスタ分低下。

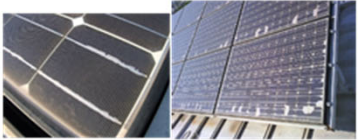


JB焼損 C補修交換 絶縁不良
地絡
火災



4.1 太陽電池モジュールの確認

(1) 太陽電池モジュール(目視の範囲)



設置 7 年後全数剥離 設置 17 年後全数拡大

剥離の発生

B 電気測定

部分的な高抵抗化



雷害
モジュール高抵抗化

B 電気測定
C 補修交換

焼損
地絡



設置後 8 年で落下 端子箱内の充電部露出
バイパスダイオードがポットングされていない端子箱。

端子箱フタ落下
固定ネジ部樹脂劣化
充電部露出

C 補修、交換

絶縁抵抗低下、
地絡、
火災
感電事故



設置 7 年後全数剥離 設置 17 年後全数拡大

剥離の発生

B 電気測定

部分的な高抵抗化

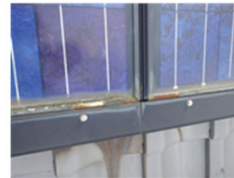


左：落下したフタ 右：正常なフタ

鉄フレーム腐食
太陽電池モジュールの
フレームが鉄のためサ
ビが発生

B 電気測定
C 補修、交換

地絡
火災
太陽電池ガラ
ス落下飛散

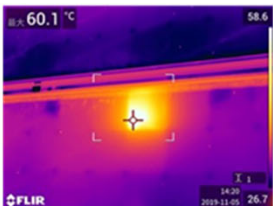


設置 10 年後全数剥離 設置 19 年後全数剥離

剥離とホットスポット
の発生

B 電気測定

部分的な高抵抗化



設置 19 年後全数剥離

4.1 太陽電池モジュールの確認

1. 太陽電池モジュールを目視により確認する。
2. 太陽電池モジュールを目視以外による方法(測定など)で確認する。

(2)太陽電池モジュール(目視以外による評価)

- 太陽電池モジュールの現地における機能評価については、機械学習などによる不具合箇所探索方法を含めて各種の手法が提案・実施されており、想定される不具合やその重篤度レベルなどに応じて適切な手法を選択する必要がある。ここで紹介する手法に関する代表的な測定手法や検出が可能な不具合事象例を表(別添04)にまとめた。個々の手法については各種レポートなどに詳述されているため、ここではこれら機能検査における留意事項や推奨事項などを中心に記載する。

①地上撮影EL (夜間)

②地上撮影IR

③ドローン搭載IR

④昼間PL撮影

⑤昼間I-V測定

⑥ダークI-V測定

⑦インピーダンス測定

⑧UV蛍光測定

⑨屋外非破壊分光分析

⑩等電位の確認

4.2 太陽電池モジュール以外の機器、電気設備の確認

1. 接続箱、集電箱、パワーコンディショナ(PCS)、コネクタ、配線及び配線保護、受変電設備、監視装置及び計測装置等、その他設備を目視により確認する。
2. 保守点検等で実施する電気性能を測定により確認する。

- 太陽電池モジュール以外の機器、電気設備の確認の確認箇所と主な目視確認項目は下記の通り。また、各項目の目視の例示を示す。

- ①接続箱：内部の外部、設置及び固定、内部の状態
- ②集電箱：集電箱外部、設置及び固定、内部の状態

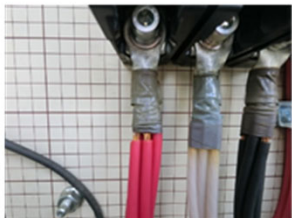
4.2 太陽電池モジュール以外の機器、電気設備の確認

①接続箱：内部の外部、設置及び固定、内部の状態

②集電箱：集電箱外部、設置及び固定、内部の状態



例：錆無し：176MΩ
錆有り：①0.356MΩ ②0.989MΩ



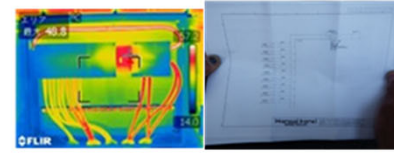
事象	A 経過観測 B 電気測定 C 補修、交換	最終的なり： ク
2 区分の集電箱内に水が溜まっていた。また、その影響と考えられる腐食（錆）が発生している。集電箱は絶縁抵抗値が低下	C 補修、交換：浸水は、配管からの逆流が原因であったため、応急処置として、配管に小さな穴をあけて水抜きを実施	地絡 火災
端子部に虫が挟まっていた	C 補修、交換：虫の除去	虫 火災
端子の処理の粗雑。	C 補修、交換 他	火災



製造不良 電線不足 C 補修、交換
許容電流不足

焼損、火災
黄色電線 1 本

改修後、黄色電線 2 本

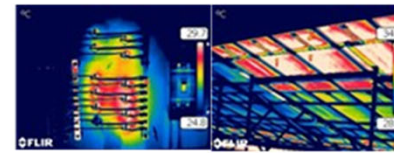


右側、最下段 BLD 逆接続

下側が逆設置、逆接続

製造不良 ブロッキングダイオード逆接続 C 補修、交換

機器破損、焼損

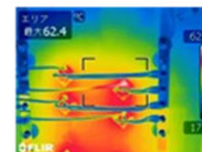


BLD 発熱していない 太陽電池は発熱している



左：発熱したコネクタ、右：正常なコネクタ

ブロッキングダイオード端子発熱 C 補修、交換：電線、端子交換 焼損、火災
端子コネクタの変形による異常発熱
端子、電線の変色



4.2 太陽電池モジュール以外の機器、電気設備の確認

①接続箱：内部の外部、設置及び固定、内部の状態

②集電箱：集電箱外部、設置及び固定、内部の状態



遮断器接続不良

芯線、線径違いによる接続不良の可能性

集合盤配管部腐食
盤の外部、内部でサビが発生。

穴あけ加工部分で発生。

加工部の塗装処理が未実施。

また盤底部が地上から近く雨水の地上跳ね返りにより多くの水が盤底部に付着する状態であった。

C 補修、交換：より線は締付後応力緩和が生じ易く増し締め

C 補修、交換：サビ部の補修
定期的目視点検

絶縁不良
機器焼損

地絡
短絡
火災
サビ進行で配管体に穴が開き内部に水、害虫、小動物が入り。
機器故障。



接続箱隙間腐食

盤の外部、内部でサビが発生。

穴あけ加工部分で多く発生。加工時の鉄切粉が除去されず隙間に残りサビが発生した。

隙間から毛細管現象で水が盤内部に侵入して盤内部もサビが拡大した

C 補修、交換：サビ部の補修
A 経過観測：定期点検の確認

地絡
短絡
火災
サビ進行で配管体に穴が開き内部に水、害虫、小動物が入り。
機器故障。

4.2 太陽電池モジュール以外の機器、電気設備の確認

③パワーコンディショナ(PCS)

- ・PCS外部、設置及び固定、内部の状態
- ・PCS内サージ保護デバイス(SPD)の状態確認
- ・PCS格納筐体外部、設置及び固定、内部、の状態



配線口パテ未施工
不要穴の塞ぎ未施工

C補修、交換：パテ埋め施工

地絡、短絡、
災
草、虫、露、
水
侵入による
器故障



PCS 設置高不足

C補修、交換：雑草除去

浸水、
地絡、
火災



ケーブルが入っていない。
コネクタ部分。
パテ埋めが未実施
で虫、小動物の進入
が容易にできる状態。

C補修、交換

地絡、短絡、
災
草、虫、露、
水
侵入による
器故障



PCS内浸水
配管端部処理が不適切
水抜き穴が無い
端末口が上向き
防水処理が未施工

C補修、交換：補修

浸水、
地絡、
火災



4.2 太陽電池モジュール以外の機器、電気設備の確認

③パワーコンディショナ(PCS)

- ・PCS外部、設置及び固定、内部の状態
- ・PCS内サージ保護デバイス(SPD)の状態確認
- ・PCS格納筐体外部、設置及び固定、内部、の状態



PCS 内浸水

C 補修交換: DC 配線 地絡
保護管、パテ是正、基盤故障
入線方向是正



PCS 離隔不足

配管 端部処理が不適切、水抜き穴が無い

A 経過観測: 定期点検時確認
機器故障
C 補修、交換



端末口が上向き
防水処理が未施工



PCS モニター部分に
ひび割れ
納品時に装着されている外装フィルムの劣化
施工時には剥がす必要がある

A 経過観測 エラー等の
C 補修、交換 認ができなくなる



フィルタ部分の錆



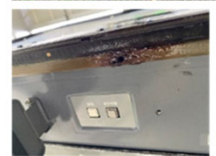
B 電気測定
C 補修、交換

PCS の停止



蓋固定ビス不可

C 補修交換: ビスサイズ変更、新規タップ施工、最悪は筐体交換
水分侵入
地絡
機器故障
火災



4.2 太陽電池モジュール以外の機器、電気設備の確認

③パワーコンディショナ(PCS)

- ・PCS外部、設置及び固定、内部の状態
- ・PCS内サージ保護デバイス(SPD)の状態確認
- ・PCS格納筐体外部、設置及び固定、内部、の状態

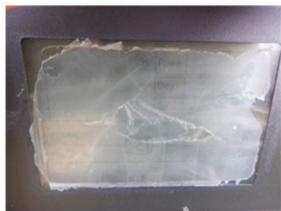


PCS5 台中 3 台が同じ積算発電量となっていた
発電は問題ない状態

機器故障



PCS 操作ユニットの扉を開けたところハチの巣有り
C 補修、交換：蜂がないことを確認し、除去
人的被害
ユニットの交換

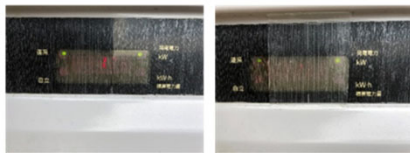


モニター表示無し
発電は問題ない状態

エラー等の確認できなくなる



コネクタの差し込み不足が6箇所を確認された
PCS 内部のロックナットが破損している可能性がある
C 補修、交換
異常発熱・焼損
火災



PCS 表示パネル破損(アクリル板割れ)
A 経過観察
C 補修交換：表面パネル交換
アクリル板は蓋にシール固定されている状態で日射によりアクリル板が収縮し破損
アクリル表面のラミネートを剥がしていないことにより悪化

機器破損

4.2 太陽電池モジュール以外の機器、電気設備の確認

③パワーコンディショナ(PCS)

- ・PCS外部、設置及び固定、内部の状態
- ・PCS内サージ保護デバイス(SPD)の状態確認
- ・PCS格納筐体外部、設置及び固定、内部、の状態



コネクタ変形/溶着
/焼損

C補修交換
: コネクタ交換
差し込み側のみ

異常発熱・焼損
火災



コネクタ爪破損

C補修交換
: コネクタ交換

脱落
異常発熱・焼損
火災



コネクタ異種嵌合

C補修交換
: コネクタ交換

異常発熱・焼損
火災



コネクタ破損

C補修交換
: PCS側コネクタ交換

異常発熱・焼損
火災



4.2 太陽電池モジュール以外の機器、電気設備の確認

④コネクタ、配線及び配線保護

- ・配線及び配線保護
- ・各配線の状態、設置及び固定状態の状態
- ・各配線保護材の状態



結束バンドが劣化により切れ、配線のぶら下がり

地絡
除草作業時に切断



コネクタ差込不足
雨水が当たる位置に設置。

コネクタ発熱
焼損
地絡
火災



コネクタの接触不良
ドローン点検で未発電回路を検出。その後の目視点検でコネクタの接触不良（N側コネクタから心線が見える状態）を検出。

地絡
火災



コネクタ差込不足。
雨水が落ちる先にコネクタが設置

コネクタ発熱
焼損
地絡
火災



4.2 太陽電池モジュール以外の機器、電気設備の確認

④コネクタ、配線及び配線保護

- ・配線及び配線保護
- ・各配線の状態、設置及び固定状態の状態
- ・各配線保護材の状態



コネクタ焼損

架台縦棧の内溝に延長線が収納されており、そこに雨水が流入しショート。延長側コネクタが互換品のためより悪化。



コネクタ交換

コネクタ固定位置不良

雨水の流入箇所



コネクタ脱落
土壌沈下により DC 配線が緊張状態。一部脱落発生。
わずかなシマ渡り箇所では延長線を施設していないことが原因。

C 補修交換
: 延長線施設

絶縁不良
地絡
火災

絶縁不良
地絡
焼損
火災

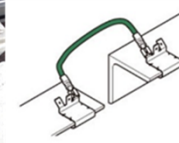
絶縁不良
地絡
焼損
火災



接地固定ネジ部のサビ発生。

C 補修、交換 : 適切なネジに交換

等電位の喪失
サビ進行後接地線が外れる



接地金具不適切
金具の差込不足による電氣的接続不完全

C 補修、交換

等電位の喪失



接地線未施工

C 補修、交換

地絡、
火災

ケーブル保護管未施工

4.2 太陽電池モジュール以外の機器、電気設備の確認

④コネクタ、配線及び配線保護

- ・配線及び配線保護
- ・各配線の状態、設置及び固定状態の状態
- ・各配線保護材の状態



配管割れ
経年劣化、径の問題
が原因と考えられ
る

〇補修、交換

地絡、火災、



保護管破損

〇補修、交換

地絡、火災



保護管未施工

〇補修、交換：補修、
保護管施工

地絡、火災



ケーブル保護管未
施工
小動物に噛み切ら
れた

〇補修、交換

地絡、短絡、
火災



パテが無く保護配
管内に浸水

〇補修、交換：配管
に小さな穴をあけ、
水抜き。
パテの埋め直しを
して、管端部を雨水
が直接当たらない
箇所に移動

地絡、火災

4.2 太陽電池モジュール以外の機器、電気設備の確認

④コネクタ、配線及び配線保護

- ・配線及び配線保護
- ・各配線の状態、設置及び固定状態の状態
- ・各配線保護材の状態



防水パテ不備

C 補修、交換：パテ埋め再施工
地絡、火災



配線断線

C 補修交換：配線補修
保護管補修



幹線裂傷

C 補修交換：幹線交換
機器停止
地絡
火災

CVT の架空配線が架台に沿って施設されており、架台固定金具角にて配線自重により裂傷。



通信不通ケーブルの締め付け不良が多数
通信が途絶していた

PCS の停止



樹脂製結束バンドの部材選定不適切

C 補修、交換：高耐候性部材交換
地絡、火災、ケーブル固定脱落



結束バンド破損

C 補修、交換：高耐候性部材補修
地絡、火災、ケーブル固定脱落



結束バンド破損
ケーブル雨水暴露

C 補修、交換：高耐候性部材補修
地絡、火災、ケーブル固定脱落

4.2 太陽電池モジュール以外の機器、電気設備の確認

④コネクタ、配線及び配線保護

- ・配線及び配線保護
- ・各配線の状態、設置及び固定状態の状態
- ・各配線保護材の状態



※BPD 破損確認のため端子箱のフタを外している。

直接接続極性違い C 補修、交換 焼損、火災



モジュール間の接地線が切れていた C 補修、交換 接地の不備



PCS 接地線の露出 接地抵抗値 NG C 補修、交換 接地の不備



4.2 太陽電池モジュール以外の機器、電気設備の確認

⑤受変電設備(対象:高圧以上で連系されている発電所)

- ・高圧用受変電設備外部、設置及び固定、内部の状態
- ・特別高圧用受変電設備外部、設置及び固定、内部の状態
- ・受変電設備用消防設備(消火器)の確認

⑥監視装置及び計測装置等

- ・監視装置又は計測装置外部、設置及び固定の状態
- ・監視又は計測データの保存状態
- ・運転データ計測については、IECなど計測関係の規格を引用する。
- ・計測装置の校正期間の適合確認
- ・期間については、それぞれの機器仕様に従う。無い場合は、IECなど関係の規格を引用する。
- ・校正期間を超過している場合は、校正を実施する。
- ・監視カメラの設置状態

⑦その他設備

- ・構内柱(配電鉄塔、外灯、監視カメラ用鋼管柱等)の設置状態

4.2 太陽電池モジュール以外の機器、電気設備の確認

⑤受変電設備(対象:高圧以上で連系されている発電所)

⑥監視装置及び計測装置等

⑦その他設備



ケーブルへ雪の重み
が掛かったこと
による引込柱傾き

発電停止

感電などの
次災害



引込柱地盤流出

〇補修、交換:土砂
を追加固める。

引込柱倒壊に
よる他物への

地盤が流出

シート上の流水を
避ける

損傷
感電事故

引込柱根巻コンク
リートが少ない。

上記で不十分な場
合は支線を追加し
支持をする

定期的に点検を実
施



引込柱に樹木が接
触

発電停止

感電などの
次災害



電力量計の落下

〇補修、交換

発電停止



引込柱(CT)に草木
巻き付き

発電停止

感電などの
次災害



感電

4.2 太陽電池モジュール以外の機器、電気設備の確認

⑤受変電設備(対象:高圧以上で連系されている発電所)

⑥監視装置及び計測装置等

⑦その他設備



電力量計収納箱内
に蟻が侵入 C 補修、交換

発電停止



草が繁殖して入口
が消滅 A 経過観測
B 電気測定
C 補修、交換

発電損失



植栽繁殖
製品損壊 C 補修交換: 伐採

機器破損、
焼損
地絡、
火災



フェンス倒壊

C 補修、交換

人畜の侵入、
発電



機器設備の
破損



フェンス倒壊

C 補修交換: 再施工

近隣道路への
倒壊/飛散

4.2 太陽電池モジュール以外の機器、電気設備の確認

⑤受変電設備(対象:高圧以上で連系されている発電所)

⑥監視装置及び計測装置等

⑦その他設備



動物に齧られ空いた穴と考えられる
C補修、交換



消火器収納箱の破損
C補修、交換
海岸近くの発電所のため、強度が下がった恐れもある



消火器使用期限切れ
C補修、交換
※点検 2019年1月

人畜の侵入、停電

機器設備の故障

出火時、初期対応不可

出火時、初期対応不可



スズメバチの巣が発見された
スズメバチの活動時期のためその場での除去はせず、お客様へ報告

獣害
コネクタ脱落
C補修交換:コネクタ再接続
コネクタをテープ保護
ケーブル断線

工事の際に出たと思われる残材が多数放置されていた
C補修、交換
環境汚染

4.2 太陽電池モジュール以外の機器、電気設備の確認

⑤受変電設備(対象:高圧以上で連系されている発電所)

⑥監視装置及び計測装置等

⑦その他設備



バッテリーエラー C 補修、交換
ランプが赤点灯

PCS の停止



BB フラッシュが故障により点滅して
いない C 補修、交換

ガラス等に。る鳥害(フンなど)



法面崩落、フェンス C 補修、交換
傾き

法面崩壊
土砂崩れに。る周辺への被害拡大



4.2 太陽電池モジュール以外の機器、電気設備の確認

1. 接続箱、集電箱、パワーコンディショナ(PCS)、コネクタ、配線及び配線保護、受変電設備、監視装置及び計測装置等、その他設備を目視により確認する。
2. 保守点検等で実施する電気性能を測定により確認する。

- 太陽電池モジュール以外の主な測定項目は下記の通りである。基本的にはJEMA/JPEAの太陽光発電保守点検ガイドライン：<https://www.jpea.gr.jp/wp-content/themes/jpea/pdf/t191227.pdf>、産業技術総合研究所が公開している「太陽光発電の直流電気安全のための手引きと技術情報(第2版)：[https://unit.aist.go.jp/rpd-envene/PV/ja/service/PV_Electrical_Safety/Technical_Information_on_PV_Electrical_Safety2\(AIS T2019\).pdf](https://unit.aist.go.jp/rpd-envene/PV/ja/service/PV_Electrical_Safety/Technical_Information_on_PV_Electrical_Safety2(AIS T2019).pdf)の保守点検手順などを参考とするとよい。

①接続箱

- ・ 接続箱内開閉器、遮断器等の動作
- ・ 接続箱内各回路の開放電圧値
- ・ 接続箱内各回路の絶縁抵抗値
- ・ 接続箱内各回路のI-Vカーブ測定
- ・ 接続箱の接地状態と接地抵抗値

②集電箱

- ・ 集電箱と接続されている機器間電線路の絶縁抵抗値
- ・ 集電箱の接地状態と接地抵抗値

③パワーコンディショナ (PCS)

- ・ PCSと接続されている機器間電線路の絶縁抵抗値
- ・ PCSの接地状態と接地抵抗値
- ・ PCS内各回路の開放電圧値（接続箱機能内蔵PCSの場合）
- ・ PCS整定値の確認
- ・ PCS運転履歴の確認

④配線及び配線保護

- ・ 断線、地絡の確認

Ⅲ 電気編：目次

- 1 はじめに
- 2 用語の定義
- 3 発電システム設計の評価
 - 3.1 システム関係書類の評価
 - 3.2 設置機器・配置設計
 - 3.4 発電特性
 - 3.3 電気システム設計
- 4 発電システム設計の詳細現地調査による評価
 - 4.1 太陽電池モジュールの確認
 - 4.2 太陽電池モジュール以外の機器、電気設備の確認
- 5 発電システムの回復技術
 - 5.1 太陽電池モジュールの交換
 - 5.2 安全化設計
- 別添1 太陽光発電設備システム目視検査シート
- 別添2 太陽電池モジュール目視検査シート
- 別添3 現地における太陽電池モジュールの機能評価手法
- 別添4 I-Vカーブ異常原因と確認方法・対処方法
- 別添5 発電性能のシミュレーション設計におけるチェックリスト
- 別添6 発電実績の評価におけるチェックリスト

5.1 太陽電池モジュールの交換

1. 不具合の太陽電池モジュールを交換する。
2. 交換後の太陽電池ストリングの電圧・電流を再設計する。

- 太陽電池モジュールの劣化・損傷にともなう不具合については、電気的安全性との関わりから基本的には補修は避けるべきであり、交換を選択することが適切である。
- ただし、交換用モジュールが入手困難な場合や応急的処置が必要な場合もあり、また近年頻発したバックシートの亀裂現象に対応するため、エポキシ・ポリウレタン・シリコンなどを亀裂部に充填する方法や接着剤付きテープを貼付する方法が検討されてきている。
- このような手法を用いたバックシート修復により、太陽電池モジュールの電気的絶縁性の回復が確認されており、屋内加速試験においても再度の絶縁低下が生じないことは報告されているが、現時点では長期間の屋外使用による電気的絶縁性の再低下などについての知見は集積されていない、また、修復部位からの亀裂拡大などの長期的影響についても、今後の検討課題となっている。なお、バックシートの修復については、適切な修復方法を選択するために、その素材を見極める必要がある。後述するような屋外でも利用可能なバックシート素材判定機器の利用も可能ではあるが、製造企業への問い合わせや同型式モジュールの化学分析などをあわせて実施することが推奨される。

5.2 安全化設計

1. 機器交換等により安全化設計を行う。

- 太陽光発電設備の太陽電池モジュール以外は、評価結果に問題がある場合、基本的には交換を行う。原則として電気設備技術基準等の法令への適合は最低限満たしたうえで、リスク低減のためには安全化の再設計を行うことが望ましい。
- 安全化の基本的な考え方として、①事故を発生させない設計(基本的なシステム設計)、②事故発生時に検知可能なこと、③事故検知後に速やかに遮断可能なこと、である。
- ①の事故を発生させない設計は基本的なシステム設計としてJISC 62548(2023)/IEC 62548-1(2023)などを参考とすることが重要である。その後、②、③については、さまざまな安全化設計がある。主な安全化方法は下記の通りである

5.2 安全化設計

- ① MLPE(Model level power electronics)は、太陽電池モジュールごとに接続されたDC/DCコンバータやパワーコンディショナである。モジュール単位で低電圧に分離することができるため、感電でリスク、発火リスクを低減することができる。
- ② スtringスイッチは、string単位に切り離せるスイッチである。米国におけるラビットシャットダウンに代表されるような機器として、パワーコンディショナ付近の停止ボタンなどによる切り離すことができる装置がある。
- ③ アーク検知装置は、回路内のアーク発生を検知し、string単位で回路を開放する装置であるアーク故障検知・遮断装置を利用する場合は、IEC 63027:2023 Photovoltaic power systems – DC arc detection and interruptionまたはUL 1699b)に適合した装置を利用すること。基本的には、正負どちらかの片極側におけるアーク(直列アーク故障)を検知することを想定しているため、正負極間の絶縁低下によるアーク(並列アーク故障)は検知できないこともあることに留意が必要である。

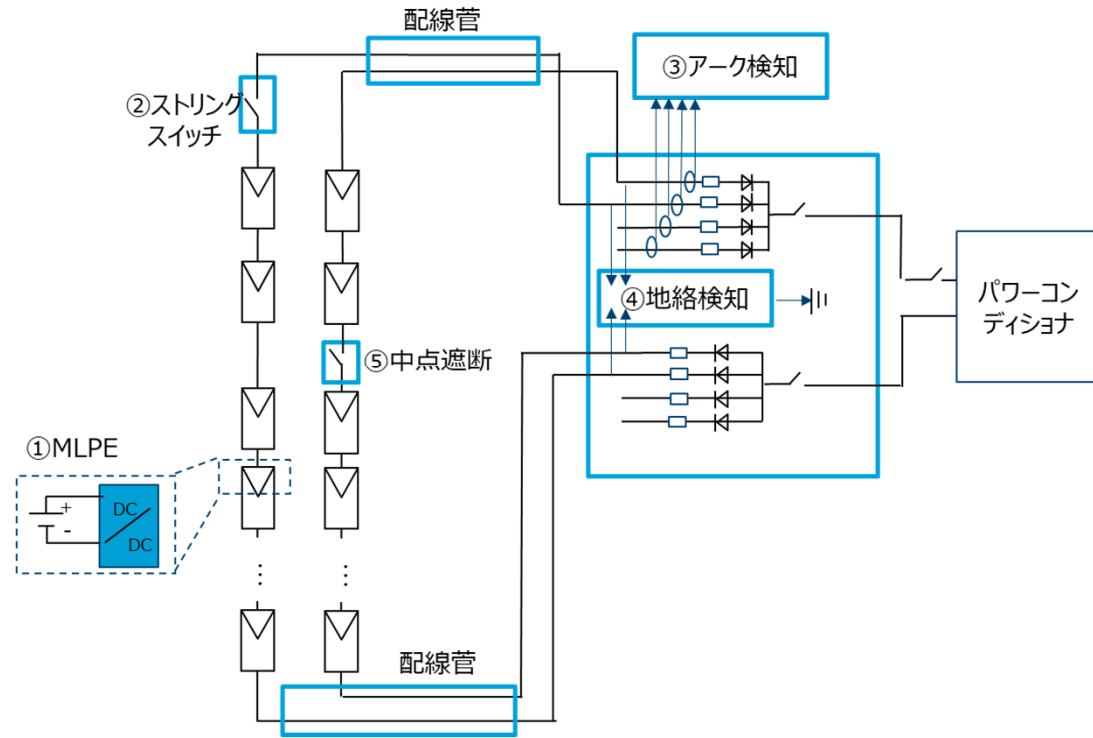


図 太陽光発電設備の電気安全設計例

5.2 安全化設計

- ④ 地絡検知装置は、太陽電池アレイ側の絶縁抵抗監視・検知方法、残留電流監視モニタによる監視・検知方法がある。太陽電池アレイ側の絶縁抵抗監視装置は、JIS C 62548(2023)/IEC 62548-1(2023)では、運転開始直前及び少なくとも24時間に1回の頻度で、対地間の絶縁抵抗を測定することを求めている。パワーコンディショナ内臓の場合は、IEC 62109-2に適合したもの、絶縁監視装置はIEC 61557-2、IEC 61557-8に適合する装置とすることが必要である。残留電流監視モニタによる監視・検知は、連続残留電流の限界値の監視によって実施する。各装置は、JIS C 62548(2023)/IEC 62548-1(2023)に規定されている装置等を利用することが必要である。なお、地絡検知手法は、絶縁抵抗の測定方法が様々存在し、手法によっては不感帯が存在する場合や利用可能な電気回路構成があるため、機器の仕様書および太陽光発電設備全体の回路構成を確認し、不感帯の範囲などを把握しておくことが重要である。

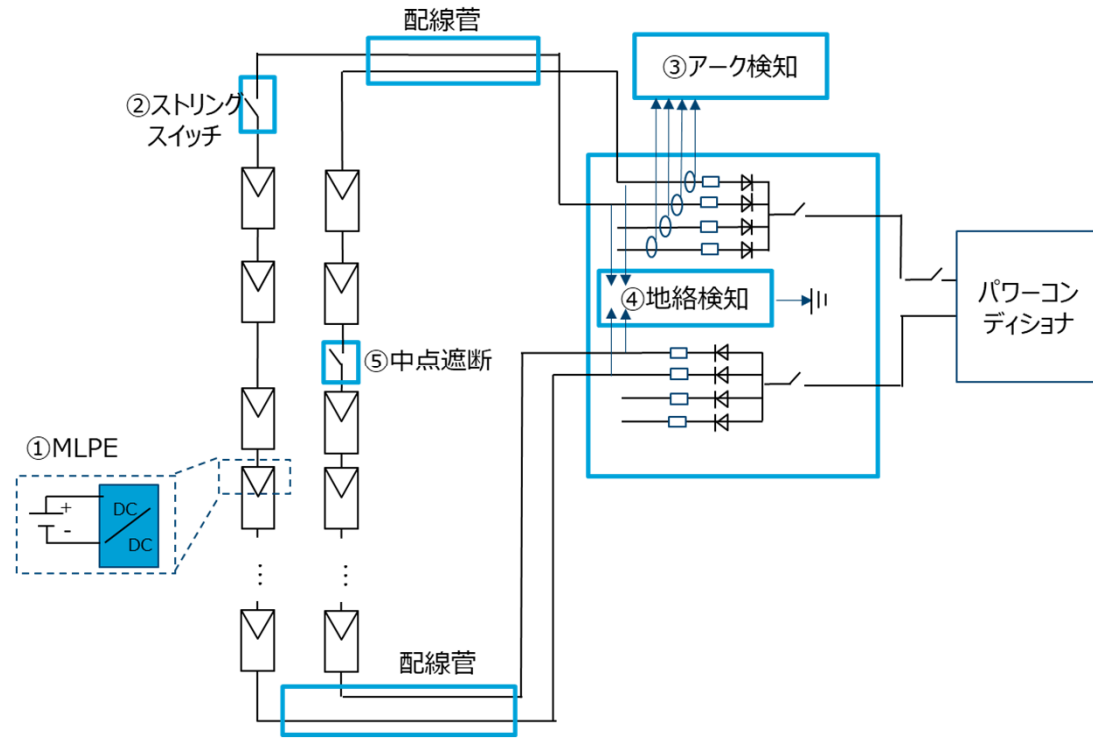


図 太陽光発電設備の電気安全設計例

5.2 安全化設計

- ⑤ 中点遮断スイッチは、ストリング内の中点のどこかで遮断可能な装置である。米国などにおいて、ストリング内の感電電圧を低減させる目的のスイッチである。並列アーク遮断できない可能性がある。しかしながら、時には、正負極間の短絡のため、接続箱やパワーコンディショナ停止では、回路の閉回路が継続するため、アークを遮断できない可能性がある。しかしながら、本装置を利用することにより、正負極間の短絡においても閉回路を1か所遮断可能なため、並列アークの継続を停止できる可能性がある。ただ、並列アークの検知方法は課題として残っている。

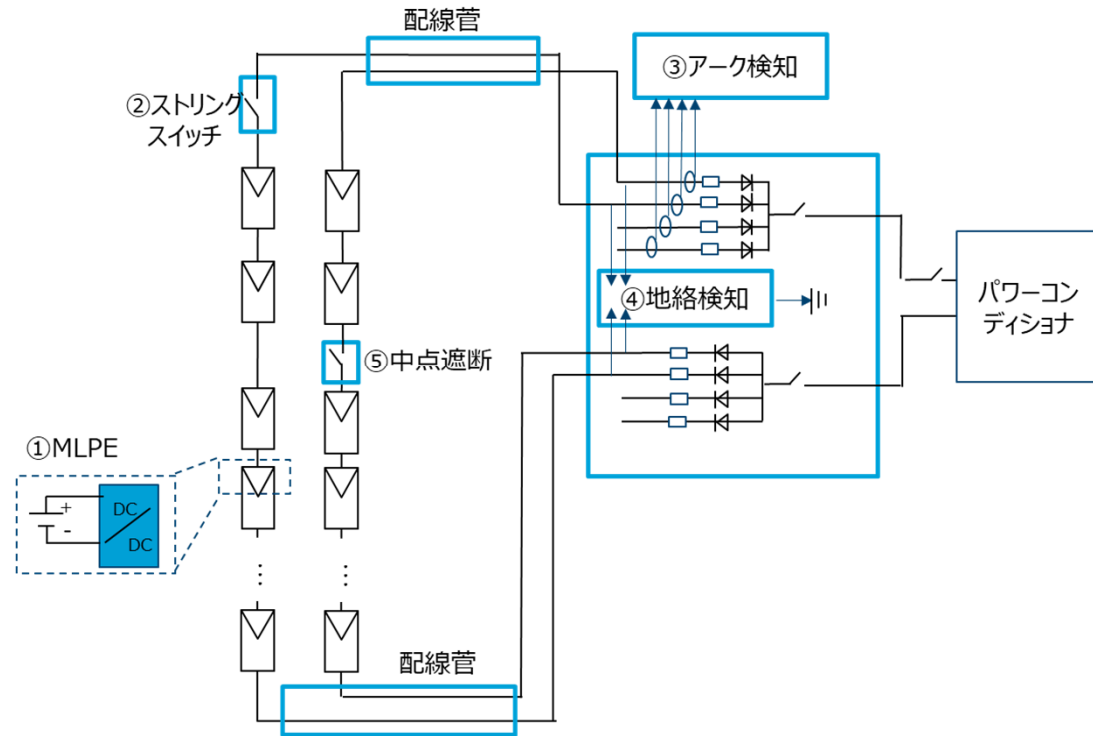


図 太陽光発電設備の電気安全設計例

Ⅲ 電気編：目次

- 1 はじめに
- 2 用語の定義
- 3 発電システム設計の評価
 - 3.1 システム関係書類の評価
 - 3.2 設置機器・配置設計
 - 3.4 発電特性
 - 3.3 電気システム設計
- 4 発電システム設計の詳細現地調査による評価
 - 4.1 太陽電池モジュールの確認
 - 4.2 太陽電池モジュール以外の機器、電気設備の確認
- 5 発電システムの回復技術
 - 5.1 太陽電池モジュールの交換
 - 5.2 安全化設計
- 別添1 太陽光発電設備システム目視検査シート
- 別添2 太陽電池モジュール目視検査シート
- 別添3 現地における太陽電池モジュールの機能評価手法
- 別添4 I-Vカーブ異常原因と確認方法・対処方法
- 別添5 発電性能のシミュレーション設計におけるチェックリスト
- 別添6 発電実績の評価におけるチェックリスト

別添

1. 別添1 太陽光発電設備システム目視検査シート
2. 別添2 太陽電池モジュール目視検査シート
3. 別添3 現地における太陽電池モジュールの機能評価手法
4. 別添4 I-Vカーブ異常原因と確認方法・対処方法
5. 別添5 発電性能のシミュレーション設計におけるチェックリスト
6. 別添6 発電実績の評価におけるチェックリスト

ご清聴ありがとうございました。

この成果物は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP20015）「太陽光発電主力電源化推進技術開発／太陽光発電の長期安定電源化技術開発」の結果として得られたものです。