傾斜地設置型/営農型/水上設置型

太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2023 年版

技術資料：

太陽光発電設備の直流感電リスクに関する基礎実験

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。

2023 年 4 月 28 日

国立研究開発法人
新エネルギー・産業技術総合開発機構
AIST
構造耐力評価機構
Structural Performance Evaluation Institute
yec
JPEA 太陽光発電協会
Japan Photovoltaic Energy Association
Deloitte.
デロイト トーマツ
北海道科学大学
北海道科学大学短期大学部
+Professional
生きる、を支える科学技術
NIED 防災科研
公立大学法人 大阪
University Public Corporation Osaka
KYORAKU
国立大学法人 北海道国立大学機構
北見工業大学

太陽光発電設備の直流感電リスクに関する基礎実験

1. 概要

太陽電池モジュールは日中において電圧が発生しているため、その直列接続である太陽電池ストリングおよびその並列接続である太陽電池アレイの電路には、大地に対して電位差が生じている。また、これらは屋外に設置されており面積も広いことから、何らかの原因でこれらの電路に障害が発生している場合には、（PCS の動作状況とは無関係に）ヒトの感電リスクが存在する。

しかし、この感電リスクを高める要因についての検討は十分ではない。そこで、本資料では太陽光発電設備の直流感電リスクに関する基礎実験例を紹介する。

2. 太陽光発電設備において感電リスクが想定される状況

太陽電池アレイにおいて感電リスクが高まる状況は、以下の二つに大別できる。

（a）ヒトが、露出した充電部（端子部や導線：セル、インターコネクタ、ケーブルなど）と（電気的）大地を接続する

（b）ヒトが、大地と接続されていない（＝大地と等電位でない）漏電した金属フレームなどの露出導電性部分と大地を接続する

例えば（a）には、バックシートが破れて露出したセルやインターコネクタと接地されたモジュールフレームや架台を同時に触った場合、あるいは、断線したケーブルの導線部分と架台を同時に触った場合、などが該当する。

また、（b）に関しては、たとえば水上設置型太陽光発電設備では、以下の図 2-1~2-3 のようなケースが考えられる。図 2-1 では、地上部に埋設されている保護接地極からの接地線が、何らかの事由でストリングの途中で断線してしまい（図中 3 と 4 の間）、一部の太陽電池モジュール（図中の 4 と 5）の金属フレームが大地から浮いている状態にあり、さらに、このモジュール（4）の絶縁が悪化している場合である。このとき、大地から浮いているモジュール（4 と 5）の金属フレームは当該電路と同じ電位を有している。このような状況で、絶縁保護装備のないヒトが大地と同電位の金属フレーム（3）と電路と同電位の金属フレーム（4）を同時に触ると感電する可能性がある。図 2-2 は、太陽電池アレイ側の状況は図 2-1 と同じ状況であるが、誤って水中に落下したヒトが、アイランドに這い上がろうとして電路と同電位となっている金属フレームを掴むと感電する可能性がある。

図 2-3 は、地上部に埋設されている保護接地極からの接地線が、何らかの事由により途中で外れてしまい、ストリングを構成するすべてのモジュールの金属フレームが浮いている状況において、やはり、このストリング内のモジュールの絶縁が悪化している場合を示している。このときヒトが、接地極と接続が保たれている金属フレームと大地から浮いている金属フレームを同時に触ると感電する可能性がある。

他方、営農型太陽発電設備については、例えば図 2-4 のような状況が（b）に該当するであろう。この図は、ある太陽電池ストリングの 4 番モジュールの絶縁が悪化していることに

加え、当該モジュールの金属フレームが保護接地に接続されていない状況を示している。当然のことながら、この金属フレームは 4 番モジュールの電路と同じ電位を有した状態である。この状況において、絶縁保護具を装備していないヒトが、（たとえば、架台から外れかけたモジュールを取付けなおそうというような動機で）大地と同電位となるような仕方で立てた金属製の脚立に上がった状態で当該モジュールの金属フレームに触ると感電の可能性がある。

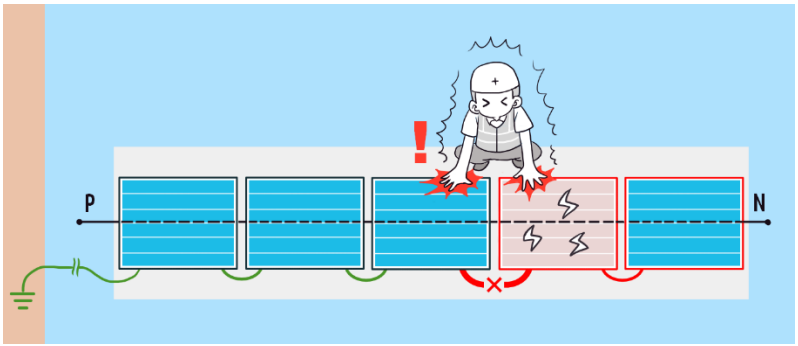


図 2-1　水上設置型太陽光発電設備において感電の可能性が想定されるケース(1)

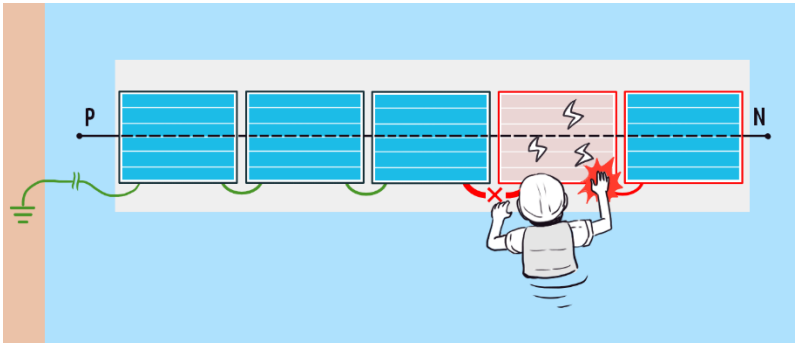


図 2-2　水上設置型太陽光発電設備において感電の可能性が想定されるケース(2)

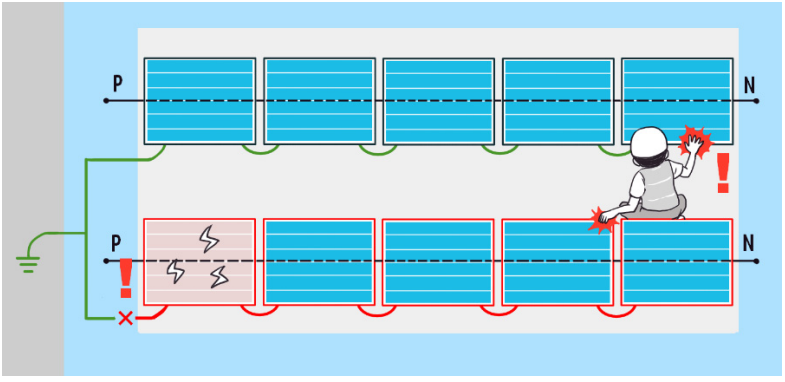


図 2-3　水上設置型太陽光発電設備において感電の可能性が想定されるケース(3)

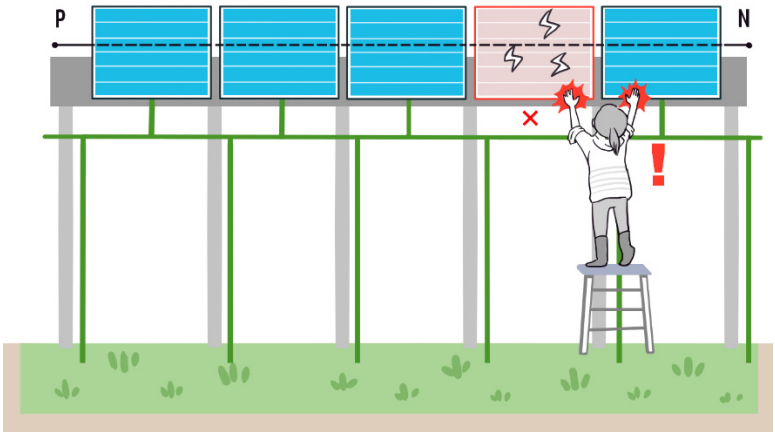


図 2-4　営農型太陽光発電設備において感電の可能性が想定されるケース

3. 直流電流の感電による人体反応

図 3-1 は、IEC TS60479-1（2005）における左手から両足への感電電流（直流）と通電時間、安全限界に関する曲線である。直線 a は人体が感覚によって感知できる最小の電流（感知電流）であり、また、折れ線 b は誤って充電部分に接触しても自分の意志で離すことができる最大の電流（離脱電流）である。

領域	生理学的影響
DC-1	通常無反応，わずかに刺すような痛み
DC-2	通常有害な生理学的影響なし.
DC-3	心臓に回復可能な障害と伝達障害が起きる可能性がある.
DC-4	危険な病理生理学上の症状が引き起こされることがある. DC-4-1：心室細動確率約 5%以下 DC-4-2：約 50%以下 DC-4-3：約 50%以上

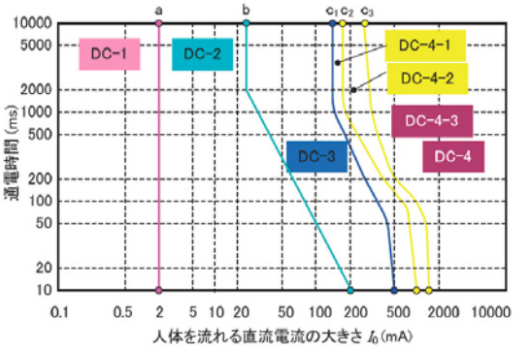


図 3-1　ヒトに直流電流が通過した場合の人体反応
IEC TS60479-1（2005）を元に作成

4. 太陽光発電設備の感電リスクに関する基礎実験

ここでは、太陽光発電設備の感電リスクに関して実施したいくつかの実験例を紹介する。実験に用いた太陽電池アレイは、産総研福島再生可能エネルギー研究所（FREA）に設置されている約 250kW の太陽電池アレイである（図 4-1）。定格出力 250W、定格開放電圧 29.94V の結晶 Si 太陽電池モジュール 11 枚の直列接続で一つのストリングが構成されており、アレイ全体は 84 ストリングの並列構成である。なお、ストリングの電路は「非接地」である。また、保護接地に関しては各モジュールの金属フレームを接地線で連結し、それらを櫛状に

集線して土中に埋設された接地抵抗（C 種）に接続することで電気的に大地との等電位を得る設計となっている。

図 4-1　実験に用いた太陽電池アレイ
（産業技術総合研究所福島再生可能エネルギー研究所内）

(1) 単一ストリングを対象とした実験

この実験では、単一ストリングを対象に、その活線部分と大地（保護接地極と電位の等しい架台部分）に接触した場合に模擬人体抵抗（*Rh*）に流れる電流（感電電流 *Ih*）を測定した（図 4-2）。なお、*Rh* については、人体抵抗の最低状態である「全身が濡れた状態」を想定し、JEAG8101-1971 や海外の消防リスク評価関係の報告書を参考に 500Ω を採用した。また、感電電流 *Ih*[μA]は *Rh* の両端電圧[V]を 1msec の測定間隔で 15 秒間測定し、各測定値を *Rh*[Ω]で除して算出した。

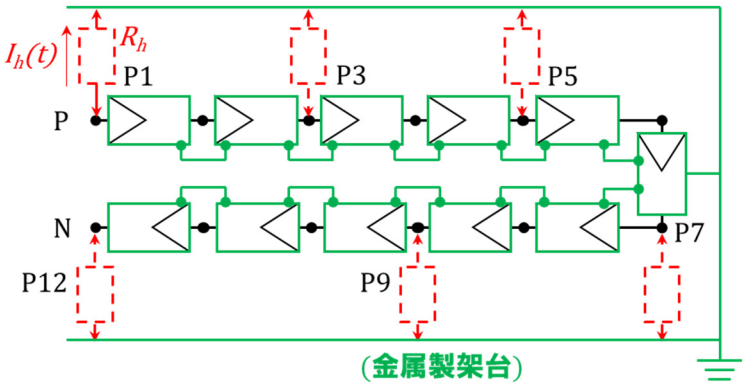


図 4-2　単一ストリングを対象にした感電リスク実験の環境

a) 接触位置と感電電流の関係

図 4-2 に示す 11 枚直列の単一ストリングにおいて、P 端（P0）から N 端（P11）のいくつかの活線部に *Rh* が接触した場合の *Ih* の経時変化を図 4-3 のグラフに示す。

接触位置と *Ih* の関係に関しては，大地と同電位となるストリングの中央付近を軸とした対称性をもち、ストリング中央から P 側はストリングから大地の方向へ，中央から N 側は大地からストリングの方向へ電流が流れていることがわかる。つまり、非接地ストリングにおいては、接触部位がより端部であるほど感電リスクが高い。

また、*Ih* は数十 msec 付近に極値をもち，その後は絶対値が減少する波形となっている。この測定時の開放電圧（*Voc*）は 375V、対地絶縁抵抗（*Rpe*）は 316MΩ であるから、オームの法則にしたがえば P 端（P1）接触時の感電電流 *Ih* は

$$I_h = \frac{375/2[V]}{316[M\Omega]} = 0.593[\mu A] \quad \cdots\cdots (4.1)$$

となるが、実際の感電電流は接触直後に増加して十数 msec の時点で 20.1μA に達し、その後急激に減少して上記の計算値に収束するような変化をしている。そして、このような挙動は他の接触位置でも同様である。この変化は、ストリングと大地には対地絶縁抵抗だけでなく対地静電容量が介在し、その充放電動作が感電電流の挙動に関与していることを示唆している。

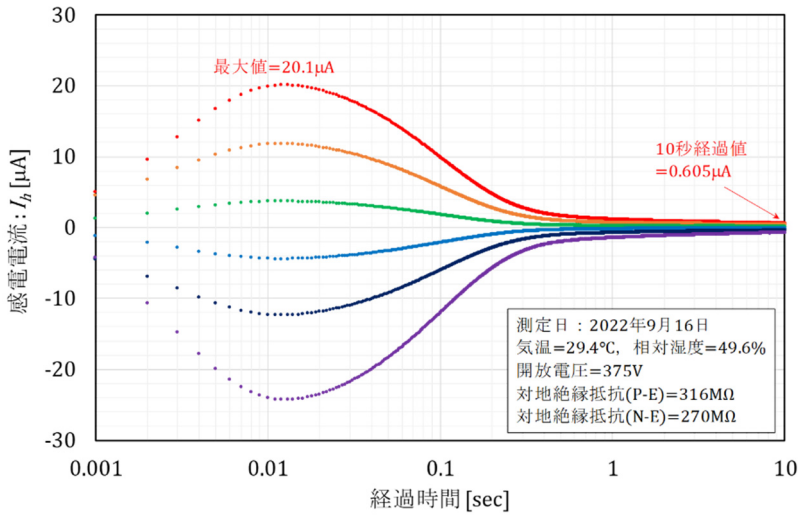


図 4-3　接触位置と感電電流

b) 人体抵抗と感電電流の関係

図 4-4 は、絶縁抵抗計による絶縁抵抗測定値（*Rpe*/*Rne*）がそれぞれ 177MΩ と 160MΩ の 11 枚直列のストリングに、500Ω（標準）/1,000Ω/2,000Ω の異なる *Rh* を接触させた場合の感

電電流の極値 *Ih,p* を示したものである。この図から、少なくとも 200MΩ 程度の高絶縁ストリングにヒトが接触する場合には、*Rh* の大小による感電電流の変化はないことがわかる。

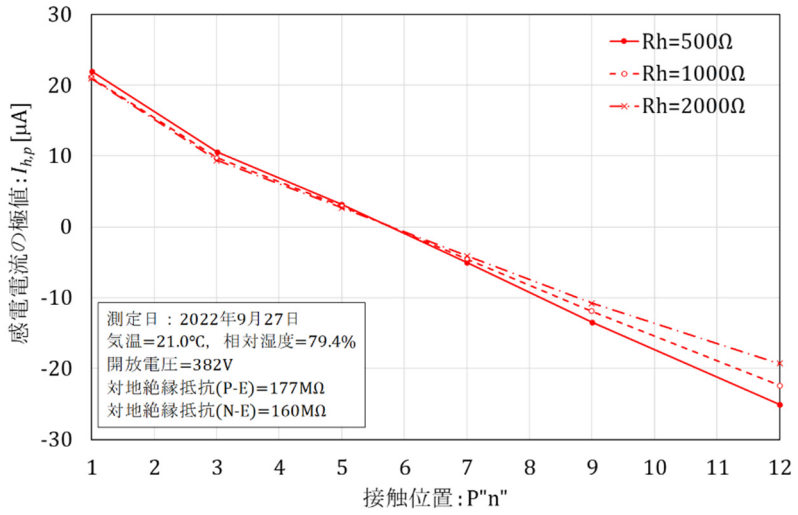


図 4-4　人体抵抗と感電電流

c) 太陽電池モジュール直列枚数と感電電流の関係

図 4-5 は、太陽電池モジュール直列枚数を 1 枚から 9 枚まで変化させたストリングの P 端および N 端に接触した場合の *Ih* の経時変化を示したものである。この図から直列枚数が多いほど *Ih* が大きくなることがわかる。ただし、直列枚数が変化しても *Ih* が極値となるタイミングは変わらない。つまり同種太陽電池モジュールの直列枚数が増加しても時定数的な要素は不変であることが示唆される。

図 4-6 は、図 4-5 の極値の絶対値|*Ih,p*|を、モジュール直列枚数を説明変数として図示したものであり、それぞれの近似関数も併記している。この図から *Ih* は概ね太陽電池モジュール直列枚数の二乗に比例することがわかる。これは *Voc* が太陽電池モジュール枚数に比例することとストリングの対地絶縁抵抗の逆数が太陽電池モジュール枚数に比例することの二つの関係から説明できる。

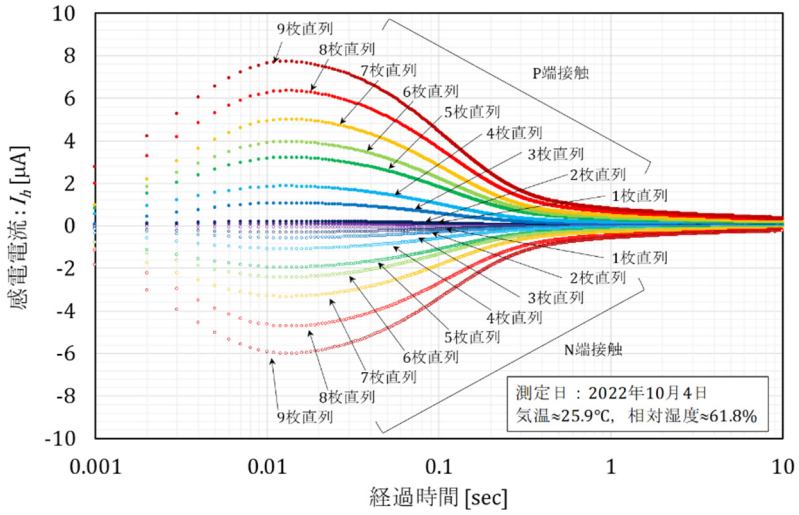


図 4-5　太陽電池モジュール直列枚数と感電電流

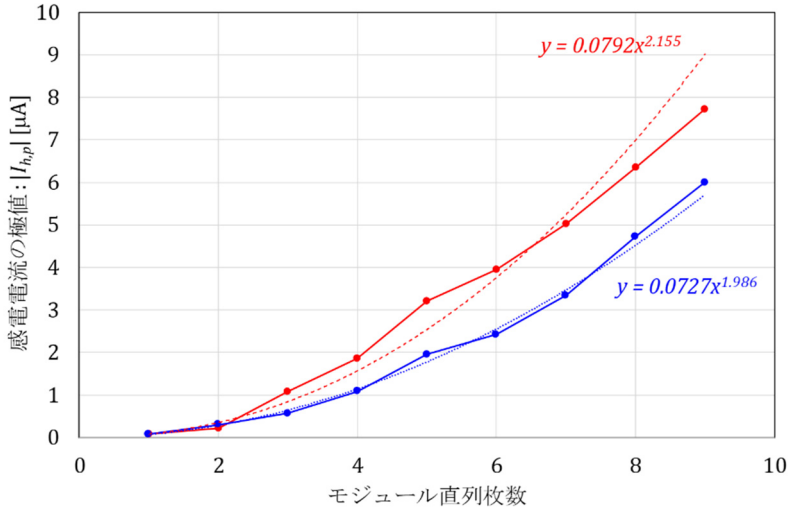


図 4-6　太陽電池モジュール直列枚数と感電電流の極値

d) 雨天時の感電電流

図 4-7 は、雨天時（モジュール表面が降雨で濡れている状態）の *Ih* の経時変化の例である。縦軸の大きさの違いに注意して図 4-3 と比較すると、この例ではストリング中央ではなく P3 付近に大地との等電位点が存在している。したがって、感電電流は N 側に向かってより大きくなっている。N 端（P12）に接触した場合での極値-150μA は「接触位置と感電電流の関係」(1)の実験との比較では、それぞれおよそ 6.2 倍であることから、雨天時のほうが感電リスクが高い。ただしこれは一例であり、実際には設備の素性や降雨の状況によってさまざまな様相になると思われる。なお、太陽電池モジュールに降雪がある場合も同様である。

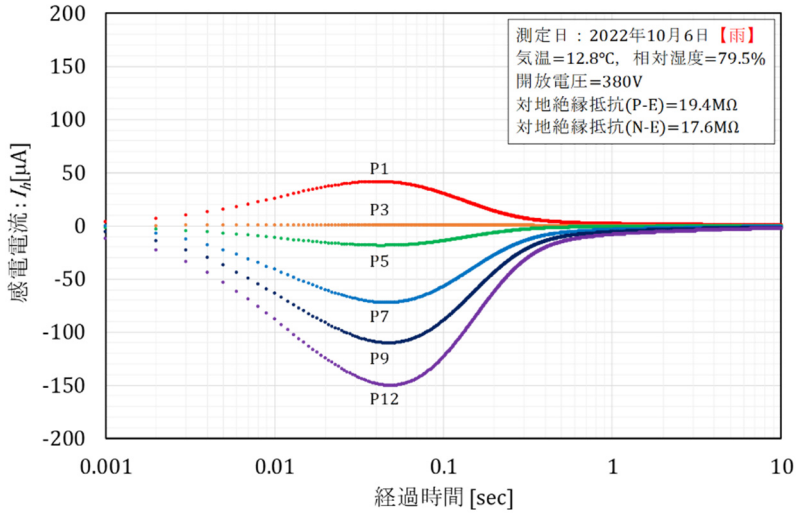


図 4-7　雨天時の感電電流

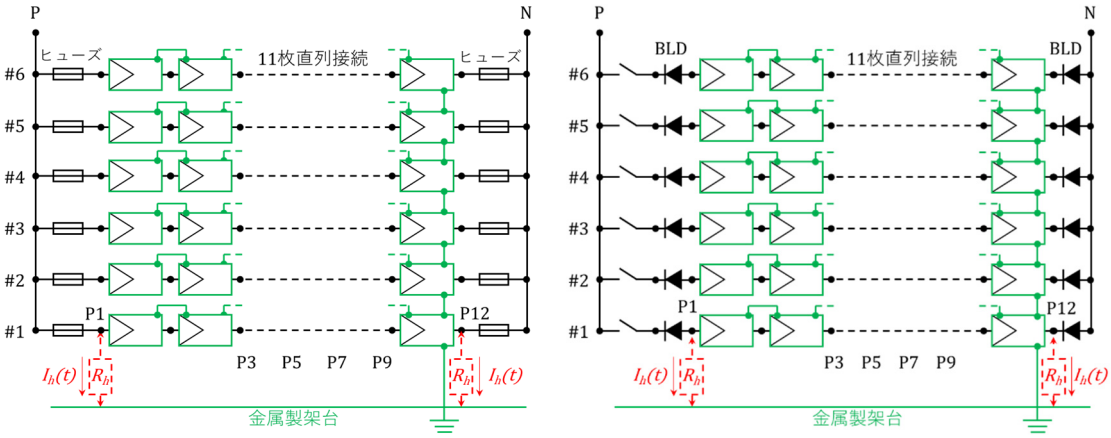
(2) 並列ストリング（アレイ）を対象とした実験

図 4-8 は並列ストリングでの実験の機器構成である。太陽電池モジュール直列数は 11 枚に固定し、ストリング並列接続数は最大で 6 並列までとする。また、並列接続時にストリングの両端に組み込む保護素子はヒューズ（同図(a)）とブロッキング・ダイオード（BLD）（同図(b)）の二通りとする。*Rh* の接続は#1 ストリングに固定し、その P1（P 端）から P12（N 端）までの 6 か所に接触させる。なお、そのほかの測定方法は単一ストリングの場合と同じである。

a) ストリング並列数と感電電流の関係

前述の図 4-8 の機器構成（ヒューズ）を用いてストリング並列接続数を 1 から 6 まで変化させた場合の各接触点での *Ih* を測定した。一例として P 端（P1）接触時の *Ih* の変化を図 4-9 に示す。この図から並列数が多くなると感電電流も大きくなることがわかる。

また図 4-10 は、ストリング並列接続数を説明変数として図 4-9 の十数 msec 付近に存在する *Ih* の極値を図示したものである。また、同図にはその線形近似直線も併記している。この図から感電電流とストリングの並列接続数には概ね比例関係があることがわかる。そしてこの事柄は、並列ストリング全体の対地絶縁抵抗が各ストリングの対地絶縁抵抗の並列合成となっていることで説明することができる。



(a) ストリングの両端がヒューズの場合　　(b) ストリングの両端が BLD の場合

図 4-8　並列ストリング（アレイ）を対象にした感電リスク実験の環境

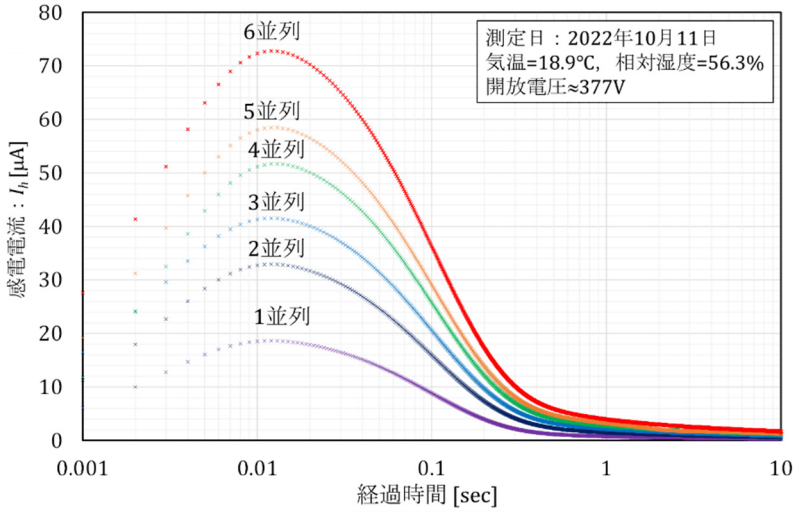


図 4-9　ストリング並列数と感電電流（P 端接触時）

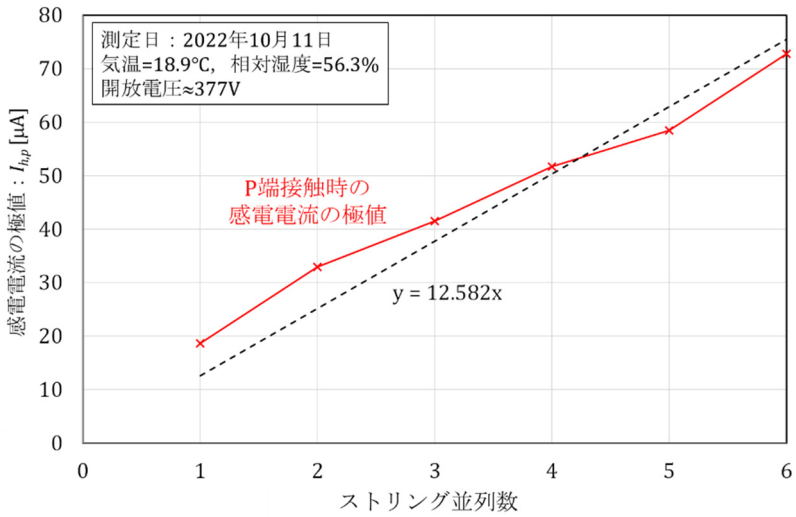


図 4-10　ストリング並列数と感電電流の極値（P 端接触時）

b) ヒューズと BLD の比較

「ストリング並列数と感電電流の関係」の実験と概ね同じ時間帯（つまり同様な気温および相対湿度の環境条件）において、図 4-8 (b)の機器構成（P 端 BLD）を用いてストリング並列数と感電電流の関係の実験と同様な測定を行った。図 4-11 は並列接続数が 5 の場合の各接触位置での *Ih* の変化を、ヒューズの場合と BLD の場合のそれぞれについて図示したものである。この図から両者に大きな差異はないことがわかる。つまり、少なくとも BLD がストリングの片端の接続されているアレイでは、*Ih* の挙動に影響を及ぼさないことがわかる。

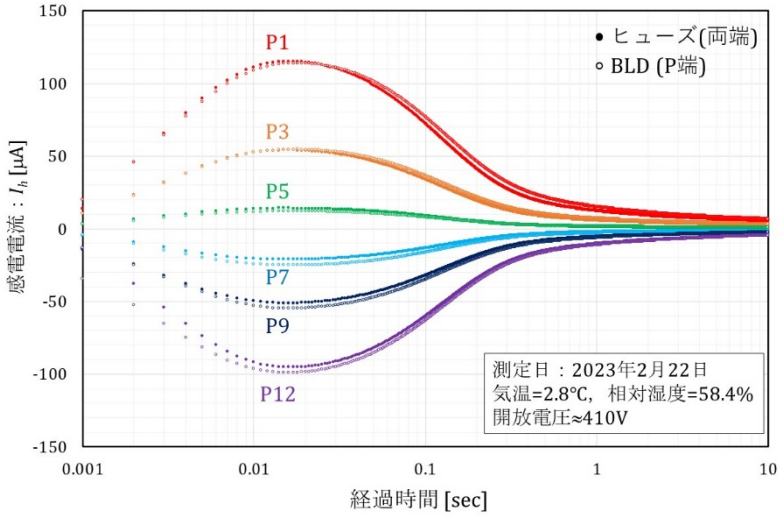


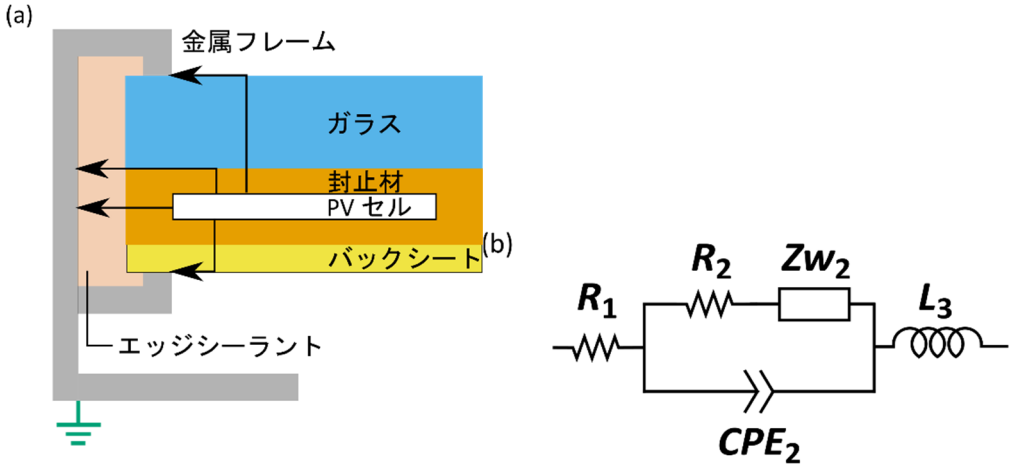
図 4-11　ヒューズと BLD での感電電流の挙動

5. 太陽電池モジュール湿潤化による絶縁抵抗低下について

太陽光発電設備全体の絶縁抵抗は、配線被覆材などとともに、太陽電池モジュール内電路と金属フレームなどの可触部間の二重絶縁構造により担われており、このモジュール内外の湿潤化は太陽電池モジュール内電路と可触部間のリーク電流を増大させることで、太陽光発電設備全体の絶縁抵抗低下などを引き起こすことが考えられる。太陽光発電設備の安全性確保および地絡事故などによるシステム損傷の予防に向けて絶縁健全性は定期検査などで点検されているが、降雨時などモジュール湿潤状態での測定は人的安全面および実施容易性の低さから継続的実施が困難な場合が多い[1)]。そこで、降雨時などにおける太陽電池モジュールの絶縁健全性低下の程度を定量的に把握し、かつ太陽電池モジュール内の絶縁性能低下の要因を探る目的で、屋外に設置した太陽電池モジュールの絶縁性能を気象環境（特に降雨）との関係に着目した検討を行った。

(1) 実験実施概要

太陽電池モジュールにおいて、電路（太陽電池セルなど）と可触部（金属フレーム）は、絶縁性の高い樹脂製封止材およびガラス･バックシート･エッジシーラントにより隔絶され、電気的絶縁性が確保されている（図 5-1a）。高いシステム電圧が印加される条件では、この隔絶部に若干のリーク電流が生じるが、国際試験規格に沿った型式認証試験においては絶縁抵抗下限値（＝リーク電流限界値）が規定されている[2)]。このリーク電流は、（図 5-1a に示すように）封止材・ガラスなどの絶縁部材バルク部だけでなく、これら部材間の界面など複数の経路をたどるものと考えられる。また、それぞれの部材の絶縁性は当該部材の特性（水分浸透性など）によって変化することなどから、その電流経路や強度は一定ではない。このような、部材バルク部・部材間界面に生じるリーク電流の複雑な態様について、その経路変化や部材の電気的特性変動に起因する絶縁性変化を一括して把握するために、この隔絶部の電気的構成を（図 5-1b に示す）交流等価回路とみなして、太陽電池モジュール電路とフレーム間の交流インピーダンス測定を実施した。この交流等価回路においては、RC 並列回路内にある抵抗成分 *R2* が太陽電池モジュール絶縁抵抗を主体的に担っているため、本稿においては抵抗成分 *R2* の湿潤時などにおける変動について記述する。



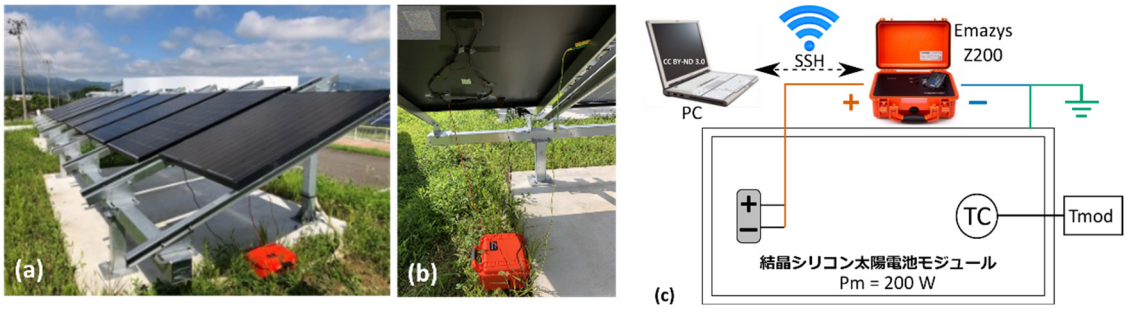
(a) 想定されるリーク電流経路　　(b) 想定した交流等価電気回路

（*R1*・*R2*・*CPE*・*Zw2* は、それぞれ直列抵抗成分・並列抵抗成分・コンデンサ成分・ワールブルグインピーダンス成分を示す。また、*L3* は補正用インダクタンス成分を示す。）

図 5-1　太陽電池モジュールのリーク電流の概要

(2) 実施方法

使用したモジュールリーク電流解析システムを、図 5-2 に示す。福島県郡山市に設置した太陽光発電設備の架台端部に電気的に独立した太陽電池モジュール（1 台）を設置した。当該太陽電池モジュールの出力端子とフレーム部端子を屋外対応型交流インピーダンス測定装置（Emazys Z200）に接続することにより、太陽電池モジュール電路とフレーム間の電気的絶縁部のインピーダンス特性を測定した。この測定においては、180Hz~95kHz 間の 48 周波数において、交流電圧 2.2V を測定電圧として実部インピーダンスおよび虚部インピーダンスを昼間時に記録した。取得したインピーダンスデータについて、想定した交流等価回路をもとに抵抗成分 *R2* などの各成分を抽出した。これら抽出成分から計算したインピーダンスと実測インピーダンスの平均差異は 3%以内に収まり、想定した交流等価回路の妥当性が確認できた。モジュール裏面温度は、モジュール裏面中央に貼付した熱電対により測定するとともに、気温・湿度などの気象データを測定対象から 300m 内にある気象観測ステーションにおいて収集した。なお、この気象データのうち、感雨時間（CRT）はヒータを内蔵する感雨計により測定した 1 分間ごとの感雨時間（秒）であり、湿潤センサ出力（Wet Sensor）はヒータを装備しない湿潤センサからの測定出力を表している。したがって、前者は表面湿潤保持状態を加味しない感雨データを示し、後者は表面湿潤を含む濡れ状態を示している。



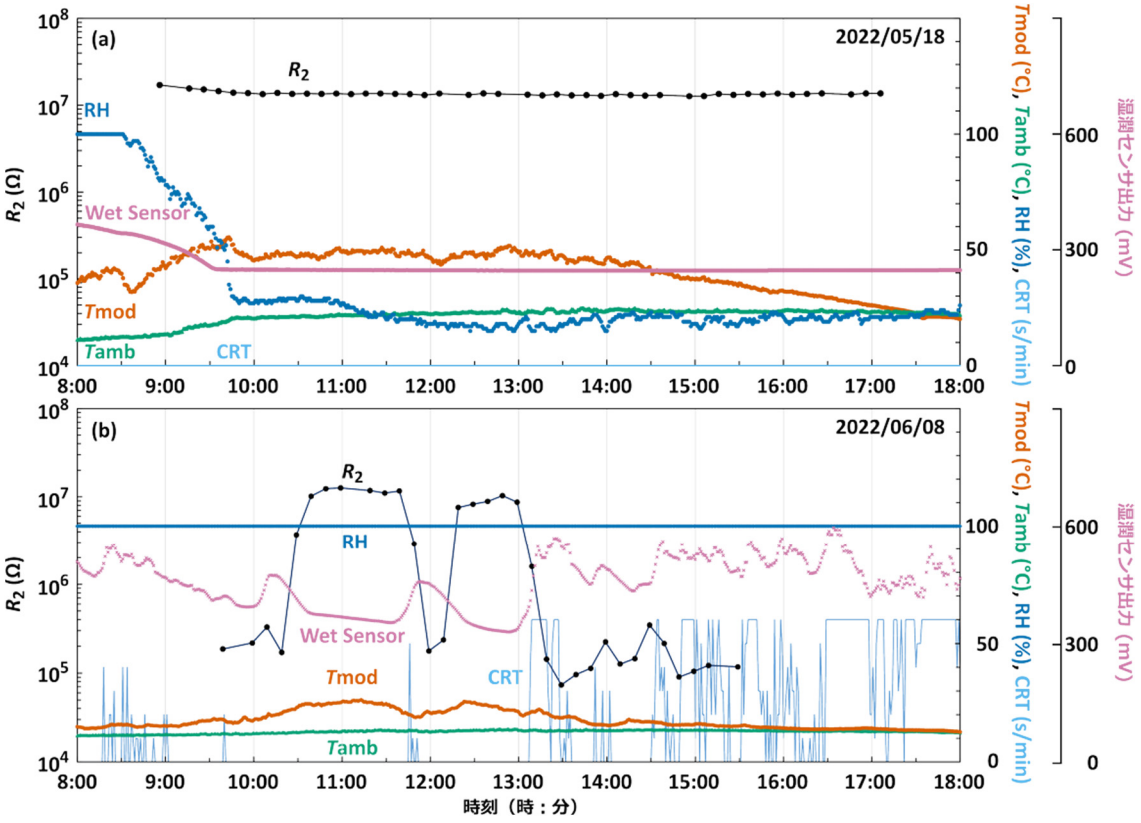
(a), (b) 屋外設置状況　　(c) 測定装置構成

図 5-2　モジュールリーク電流解析システム

(3) 実施結果

乾燥状態と湿潤状態における太陽電池モジュールの絶縁抵抗成分（*R2*）の変動を、図 5-3 に示す。降雨が観測されず、極めて低い相対湿度と一定気温が続く典型的な乾燥気象条件下においては、日射によるモジュール裏面温度の変動にほとんど影響されず、抵抗成分 *R2* は $10^7\Omega$ を下回ることはなかった（図 5-3a）。これに対して、太陽電池モジュールの湿潤を生じる降雨が観測された場合には、明らかな抵抗成分 *R2* の低下が確認された（図 5-3b）。すなわち、太陽電池モジュールの湿潤度を反映する湿潤センサ出力は、感雨から一定時間後に増大するとともに、（本例の場合には）抵抗成分 *R2* は 2 桁以上減少した。この変動傾向は、間欠的降雨により繰り返し観測され、太陽電池モジュールの湿潤度と抵抗成分 R2 の明確な相反変動が示された。なお、降雨によるモジュール裏面温度の下降と抵抗成分 R2 の減少（図 5-33b）が同期している可能性も考えられたが、後述する温度依存性検討の結果から、この同期は否定された。

各季節の代表的気象条件で測定した抵抗成分 R2 の全出現頻度は二峰性の分布を示し（図 5-4a）、湿潤センサからの測定出力にほぼ同期して観測された分極成分（Zw2）の変動から太陽電池モジュールの湿潤状態を湿潤時（Wet）・乾燥時（Dry）を規定した場合、湿潤時の抵抗成分 R2 は 10^4～$10^6\Omega$ 程度の低い抵抗値にピークを形成した（中央値：$3.2\times10^5\Omega$）。これは、乾燥時 R2（中央値：$1.3\times10^7\Omega$）とは独立する分布であった。また、湿潤時 R2 が $10^4\Omega$ 以下の抵抗値を示す場合も観測され、乾燥時 R2 と比較すると（場合により）3 桁以上の減少が確認された。なお、湿潤時および乾燥時の抵抗成分 R2 の太陽電池モジュールの裏面温度依存性を検討すると、乾燥時 R2 においては明確な依存性は確認できなかったが、湿潤時 *R2* は太陽電池モジュールの裏面温度上昇とともに減少する傾向が明らかになった（図 5-4b）。アレニウス式を適用した解析では、この湿潤時 R2 は約 0.6 eV という高い活性化エネルギーを示しており、従来報告されているガラスバルク部およびガラス表面部を経路とするリーク電流の活性化エネルギーと類似していた [3,4]。



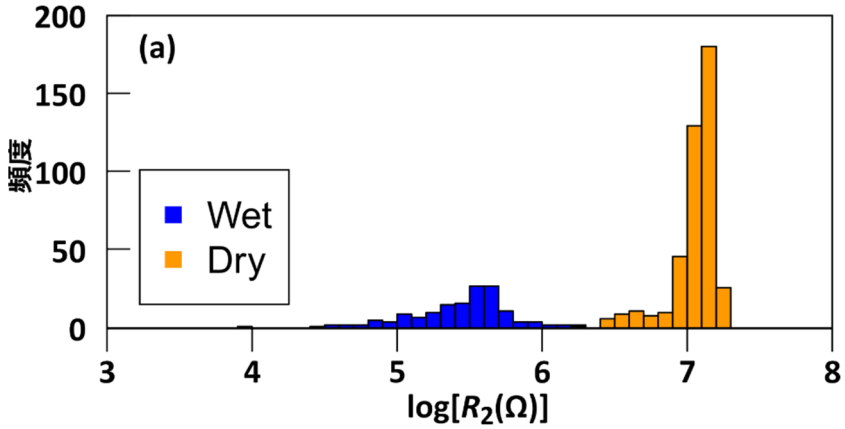
(a)乾燥時:上図 (b)湿潤時:下図

（気温(Tamb)・太陽電池モジュール裏面温度(Tmod)・相対湿度(RH)・湿潤センサ出力(Wet Sensor)および感雨時間(CRT)をあわせて示す）

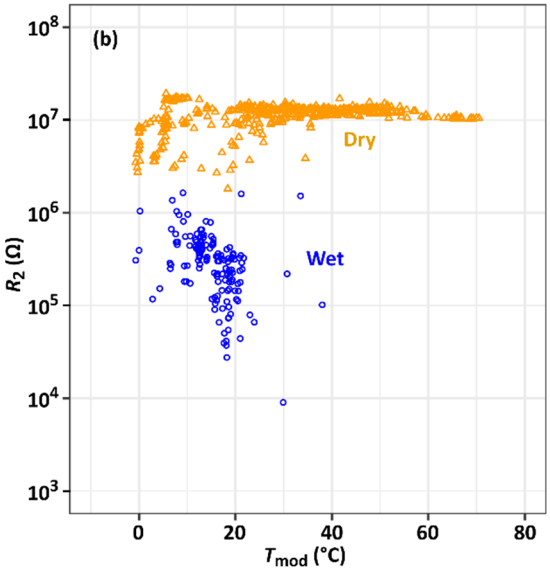
図 5-3 モジュール絶縁抵抗成分(R2)の変動

(4) 実験結果のまとめ

上述した解析結果から、絶縁健全性判断における実務的留意点は以下の 3 点と考えられる。（1）太陽電池モジュールの表面湿潤（場合により太陽電池モジュール内部湿潤をともなう）が生じている場合は、太陽光発電設備全体の絶縁抵抗を担う主体である太陽電池モジュールの絶縁抵抗が、乾燥時に対して 3 桁以上低下する場合がある。このため、乾燥時の絶縁抵抗測定値だけを絶縁性の判断基準とすることなく、3 桁程度差し引いた湿潤時の絶縁抵抗を想定して絶縁健全性を判断するべきである。（2）湿潤時といえども、絶縁抵抗測定を低温条件下で実施した場合には、高温条件下に対して比較的高い絶縁抵抗値を示す場合があることを念頭におく必要がある。湿潤時においても比較的高いモジュール温度条件下での絶縁抵抗測定を実施することで、低い絶縁抵抗状態を反映した測定が推奨される。（3）いわゆる Soiling により、太陽電池モジュール表面に水分吸着率が高い汚染物が広く付着している場合には、周辺水分の浸潤・蓄積によりモジュール表面（ガラス）が湿潤状態となっている可能性がある [5]。的確に絶縁健全性を判断するためには、このような汚染物を取り除いた状態での絶縁抵抗測定を検討する必要がある。



(a) 湿潤時 (Wet) および乾燥時 (Dry) における
太陽電池モジュールの絶縁抵抗成分 (R2) の出現頻度



(b) 太陽電池モジュール裏面温度依存性

図 5-4　実験データの分析結果

6. まとめ

以上の基礎実験から、太陽光発電設備において感電リスクが高まる要因として以下が挙げられる。

【一般事項】

- 接触部位がストリングの端部 (対地電圧がより高い) であるほど感電リスクが高まる。
- ストリング (アレイ) の太陽電池モジュール直列枚数が多いほど感電リスクが高まる。
- 雨天や積雪などで、太陽電池モジュール表面が濡れている場合は感電リスクが高まる。

【ストリングの並列について】

・ PCS とストリングとの接続においてストリングが電気的な並列接続を構成する場合には、ストリングの保護素子の有無や種類によらず、並列接続数に比例して感電リスクが高まる

したがって、太陽光発電設備の直流部分での感電リスクを回避するには、充電部および漏電した金属フレームなどの露出導電性部分に触れないことは当然であるが、保守管理などの場面で太陽電池アレイに接近する必要がある場合は、太陽電池アレイの直並列状況のみならず PCS の回路方式についてもあらかじめ把握し、太陽光発電設備全体がどのような状態にあるかを十分理解しておく必要がある。そのうえで事前に「PCS－アレイ」間の接続と各ストリングの並列接続を切り離す操作を実施することが望ましい。

なお、感電リスクの観点からみた直流部分の安全設計に関する議論のためには、まず対地絶縁抵抗および対地静電容量を含めた「ストリング－大地」間の等価回路を詳らかにしなければならない。

また、水上設置型太陽光発電設備では、地上設置型太陽光発電設備との対比において、太陽電池モジュールが高い湿度に曝され、かつ波浪などによる直接的な水分付着の機会が増大するなど、太陽電池モジュール表面および内部が外来水分により湿潤化する可能性が高いと想定される。湿潤状態では絶縁抵抗が低下しやすいため、保安や測定において実施時期などを留意する必要がある。

ここでは、直流回路の接地がフローティングという条件に限った感電リスクについて取りまとめたが、直流回路側が片極接地のケース、PCS の回路トポロジー、地絡検知のための高抵抗接地、トランスの有無、連系用トランス、その接地方式によっても感電電流の流れる量が変わってくる。図 6-1 に PCS 交流側接地の方式例を示すため、それぞれのケースにおける感電リスクを検討することが必要である。

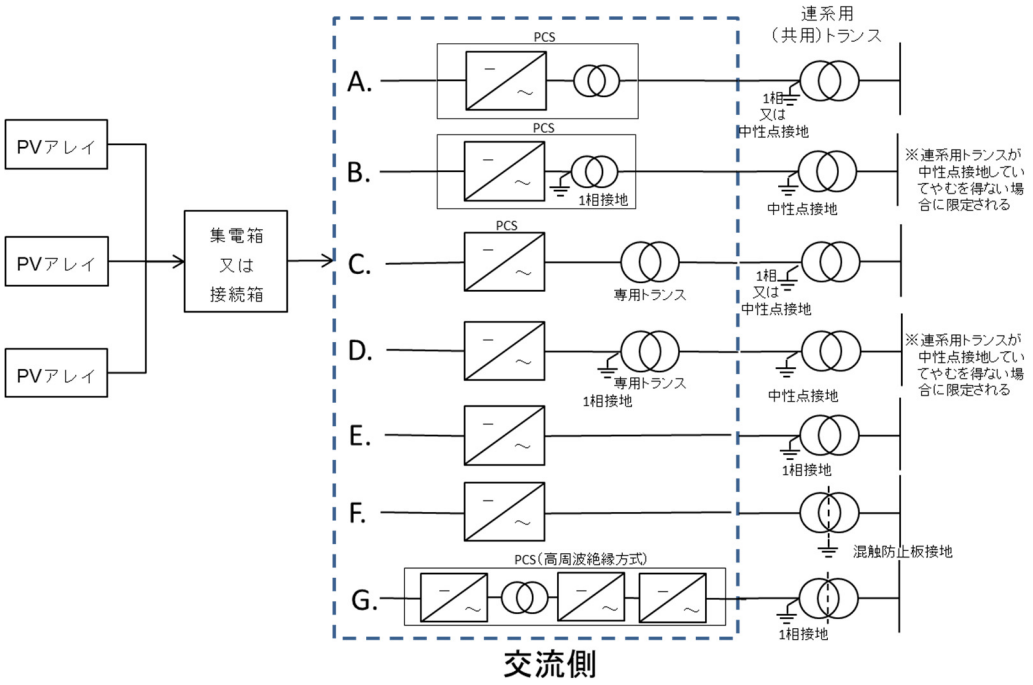


図 6-1　高圧三相への連系システムにおける PCS/交流側接地方式の例

参考文献

1) 加藤伸一, “「雨が降ると漏電する」太陽光パネル、豪雨時の測定で異常値,” メガソーラービジネス, 2019. [Online]. Available: https://project.nikkeibp.co.jp/ms/atcl/19/feature/00002/00006/.

2) Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval – Part 2: Test procedures. IEC 61215-2, 2021.

3) J. A. del Cueto and T. J. McMahon, “Analysis of leakage currents in photovoltaic modules under high-voltage bias in the field,” Prog. Photovoltaics Res. Appl., vol. 10, no. 1, pp. 15–28, Jan. 2002.

4) M. A. Islam, M. Hasanuzzaman, and N. A. Rahim, “Effect of different factors on the leakage current behavior of silicon photovoltaic modules at high voltage stress,” IEEE J. Photovoltaics, vol. 8, no. 5, pp. 1259–1265, Sep. 2018.

5) P. Wang, M. Kong, W. Du, L. Wang, and L. Ni, “The effect of pollutants on leakage current and power degradation of photovoltaic modules,” Renew. Energy, vol. 146, pp. 2668–2675, Feb. 2020.

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」事業の結果として得られたものです。