

傾斜地設置型/営農型/水上設置型

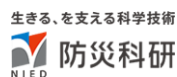
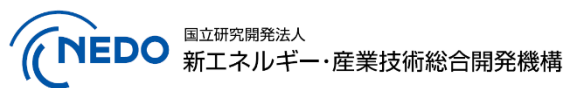
太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2025 年版

技術資料：

水上設置型太陽光発電設備の絶縁抵抗の測定

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。

2025 年 4 月 11 日



## 更新・修正履歴

- ・ 2021/11/12 公開：2021 年版
- ・ 2023/04/28 内容更新：2023 年版
- ・ 2025/04/11 内容更新：2025 年版

## 水上設置型太陽光発電設備の絶縁抵抗の測定

### 1. 概要

太陽光発電設備における対地絶縁抵抗（以下、絶縁抵抗と称する）は、感電や火災等の事故防止の観点から観測すべき最重要項目のひとつであるが、設備の発電部である直流回路側の絶縁抵抗は、設備を構成する部材（主に太陽電池モジュール）の数や量はもとより、設備を取り巻く気温や湿度等の環境条件によっても大きく変動することから、絶縁状況が良好か否かについて、測定された抵抗の値のみから判断することは難しく、絶縁抵抗測定時には天候の記録や気温、湿度の測定は必須である。本件は、変動する絶縁抵抗値の妥当性の評価に環境値を有効活用するために、太陽光発電設備の絶縁抵抗と設備を取り巻く環境条件についてそれらの相関を明らかにすること、水上に設置された太陽光発電設備に水上設置特有の事象が発現するかどうか、その実態を把握することを目的として、水上設置型太陽光発電設備の絶縁抵抗および気象要素を測定した結果を紹介する。

### 2. 測定内容

2022年2月から2025年1月まで、香川県木田郡三木町に設置された水上設置型太陽光発電設備の電気的特性と設置環境の気象要素を測定した。太陽光発電設備の仕様を表 2-1 に、電気的特性の計測項目を表 2-2 に、気象要素の計測項目を表 2-3 に示す。

表 2-1 太陽光発電設備仕様

PCS	2台（1台／アイランド）
接続箱	14台×2 アイランド
ストリング	16本／接続箱
ストリング直列数	21枚
ストリング電圧 （標準試験状態の開放電圧）	840V
モジュール枚数	9、408枚
太陽電池アレイ容量	2822.4kW（300W×9、408枚）

表 2-2 電気的特性の計測項目

アレイ絶縁抵抗（南アイランドのみ）
キャパシタンス
ストリング線間電圧
ストリング対地電圧（正極、負極）
漏れ電流

表 2-3 気象要素の計測項目

環境温度（アレイ下部）
相対湿度（アレイ下部）
アレイ表面日射強度、裏面日射強度
モジュール表面温度、裏面温度
接続箱内温度、湿度
モジュール表面の濡れ

### 3. 気象要素の影響

#### 3.1 絶縁抵抗値と気象要素との相関

測定された太陽電池アレイの絶縁抵抗値の経時変化を相対湿度との相関と共に図 3-1 に示す。測定値は 10 分平均値である。本設備におけるアレイの絶縁抵抗の日毎の最大値はいずれの時季も概ね  $800\text{k}\Omega$  以上で、相対湿度が低くかつ気温が上昇する 4 月から 5 月の昼間において  $1\text{M}\Omega$  程度であった。一方、日毎の最低値は、冬季において 1 月から 2 月頃の相対湿度が高くかつ気温が低い夜間や雨天時あるいは早朝に  $180\text{k}\Omega$  程度であったのに対し、夏季の 7 月から 9 月頃では冬季と同様の環境で  $30\text{k}\Omega$  程度となった。いずれの時季においても、相対湿度が低い条件で最大値が観測され、相対湿度が高い条件で最低値が観測された。太陽電池アレイの絶縁抵抗測定値は季節や相対湿度といった環境条件に大きく影響を受けることが確認できた。例として、2023 年 5 月 16 日、2023 年 1 月 14 日、2023 年 7 月 23 日における相対湿度、絶縁抵抗、日射強度および気温の 1 日の推移を図 3-2 に示す。

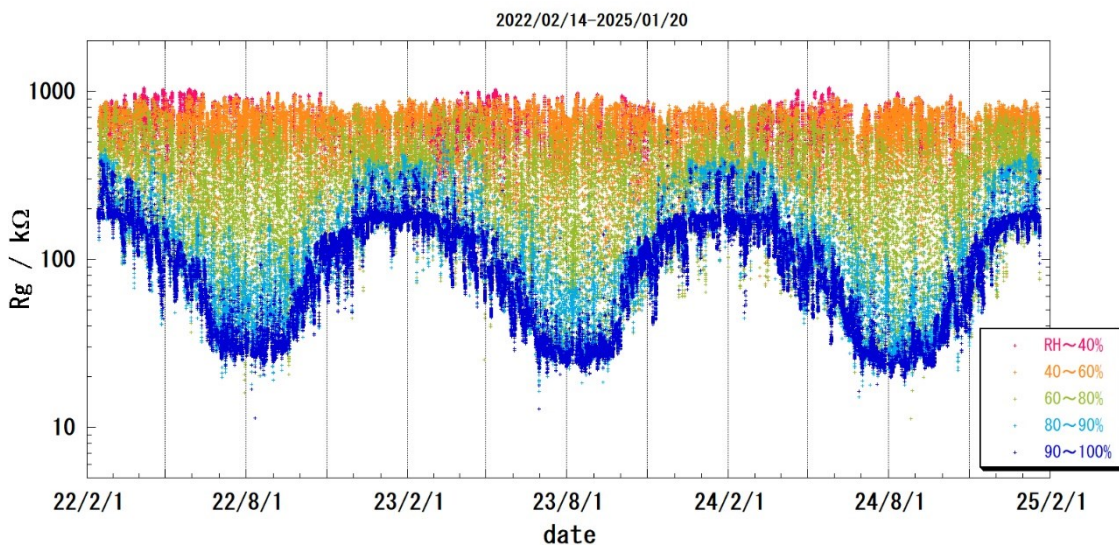
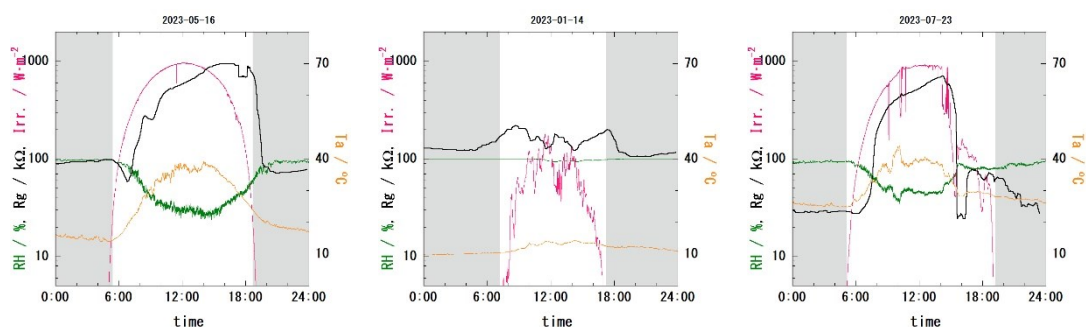


図 3-1 絶縁抵抗の経時変化（2022 年 2 月～2025 年 1 月）



(a) 2023年5月16日、(b) 2023年1月14日、(c) 2023年7月23日  
 図 3-2 相対湿度、絶縁抵抗、日射強度および気温の1日の推移の例

相対湿度は気温と空気中の水分量とによって決定されるため、水分量を評価するパラメータとして容積絶対湿度を導入し、絶縁抵抗について気温と容積絶対湿度との相関に関する分析を行った。容積絶対湿度は以下の式で求められる。

$$P_s = 6.1078 \times 10^{7.5T/(T+237.3)} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$P_v = \frac{RH}{100} P_s \dots\dots\dots (3.2)$$

$$VH = 216.7 \times \frac{P_v}{T+273.15} \dots\dots\dots (3.3)$$

ここで、 $T$ : 気温[°C]、 $RH$ : 相対湿度[%]、 $P_s$ : 飽和水蒸気圧[hPa]、 $P_v$ : 水蒸気圧[hPa]、 $VH$ : 容積絶対湿度[g/m<sup>3</sup>]である。

図 3-3 に測定期間中の絶縁抵抗と容積絶対湿度の経時変化を示し、絶縁抵抗については気温との相関も示す。絶縁抵抗は1日のうちで大きく変化したため測定値は幅広く分布したが、気温の上昇に伴って上昇し、気温の低下に伴って低下する傾向（気温と正の相関）にあった。また、日毎の絶縁抵抗の最低値は、容積絶対湿度の増加に伴って減少する顕著な傾向（容積絶対湿度と負の相関）にあり、容積絶対湿度が高くなる6月下旬から9月中旬において、気温が低下する早朝に絶縁抵抗の低下が顕著であった。

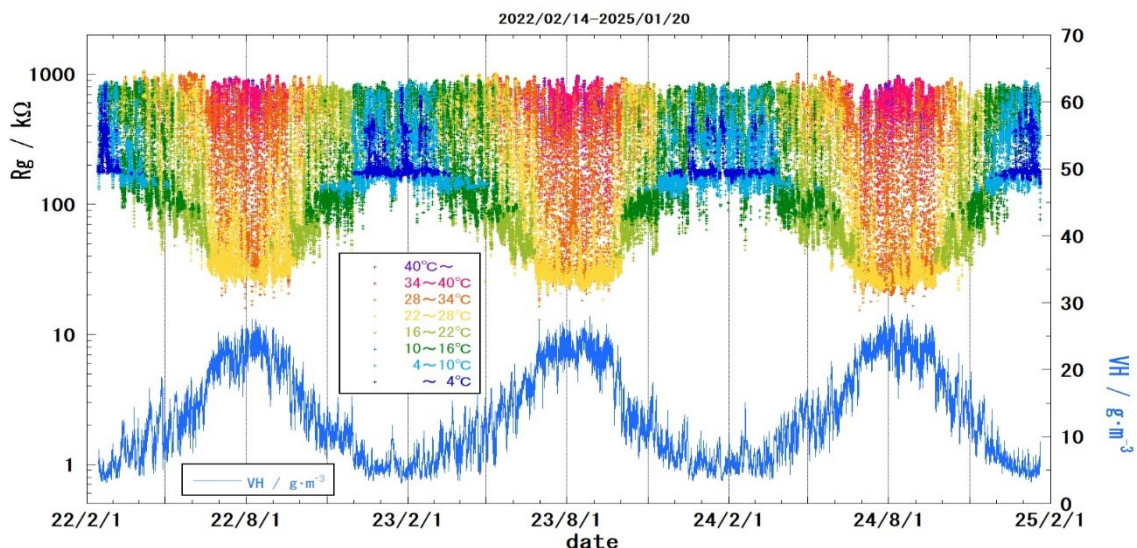
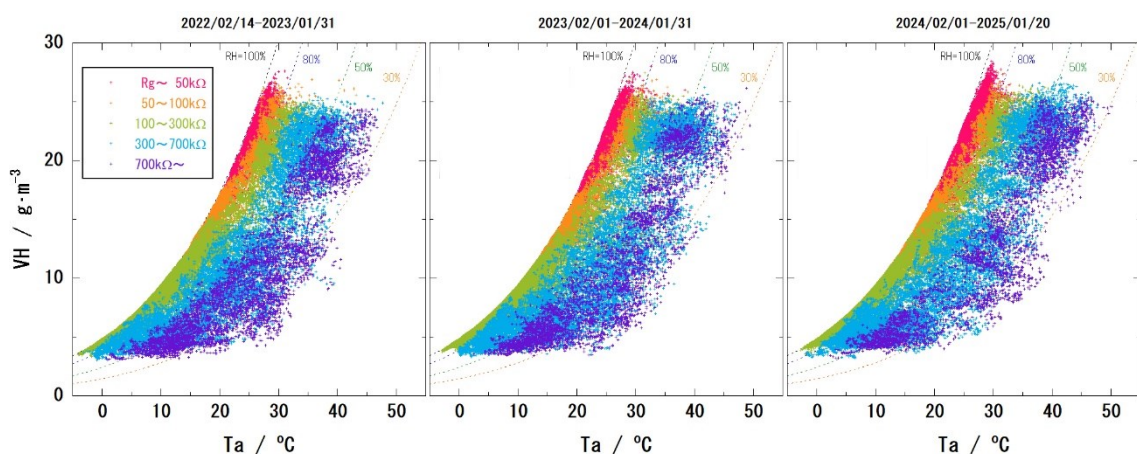


図 3-3 絶縁抵抗と容積絶対湿度の経時変化、および絶縁抵抗と気温の相関  
(2022 年 2 月～2025 年 1 月)

図 3-4 にモジュール裏面付近における容積絶対湿度と気温の相関を示すと同時に、これらの環境条件と絶縁抵抗値の相関も示す。図の横軸（温度軸）方向の変化から絶縁抵抗値が温度（気温）とは正の相関を示し、縦軸（容積絶対湿度軸）方向の変化から容積絶対湿度とは負の相関を示すことがわかる。このことから、低絶縁抵抗状態の発現する条件は、容積絶対湿度が増加すること、かつ気温が低下すること、といえる。また、今回の観測範囲を超えて容積絶対湿度が高い状態で気温が低下した場合、より低い絶縁抵抗が観測されることが予想される。設備の絶縁抵抗値は、環境条件によって抵抗値は下がり得る余地が常に存在すると思われる。観測値の適正な評価のために絶縁抵抗と環境条件の同時観測は必須である。



(a) 2022 年度 (左)      (b) 2023 年度 (中)      (c) 2024 年度 (右)

図 3-4 容積絶対湿度と気温、および絶縁抵抗と環境条件の相関  
(2022 年 2 月～2025 年 1 月)



### 3.2 絶縁抵抗が低下するタイミング

昼夜および晴雨の別による絶縁抵抗値を観測時刻と共に図 3-5 に示した。昼夜については日出・日没の時刻で区別し、晴雨については日本気象協会の雨雲レーダー図（日本気象協会、ALiNK インターネット、<https://tenki.jp/>）において女井間池付近の雨雲の有無（1 時間値）により区別した。

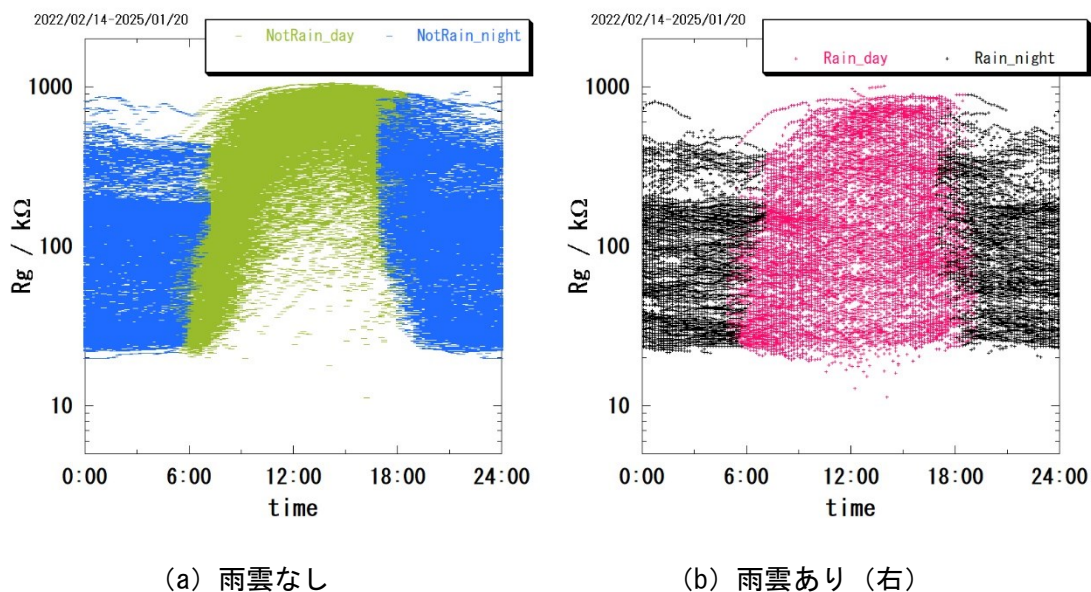
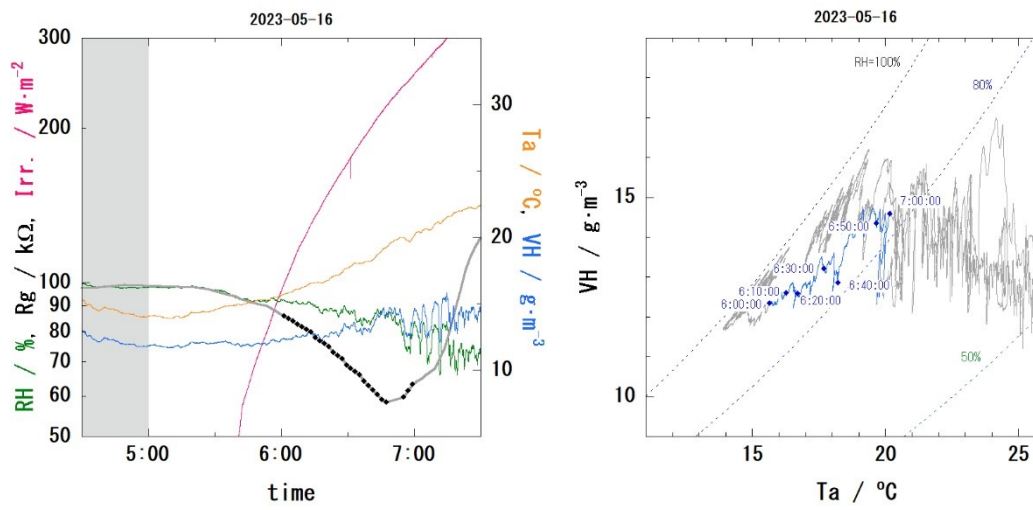


図 3-5 昼夜および晴雨の別による絶縁抵抗値と観測時刻（2022 年 2 月～2025 年 1 月）

雨雲がない場合の昼夜（図 3-5 (a)）では、夜間の方が気温の低下に起因して抵抗値が小さい頻度が高く、早朝にかけて更に気温が低下することによる抵抗値の低下が多く観測された。一方、日中は基本的に気温の上昇により抵抗値が大きい頻度が高かったが、好天の早朝（日出後）において夜間よりも抵抗値が低下することが頻繁に観測された。この現象は春と秋に頻繁に観測されており（例えば、図 3-2 (a)）、日射や日射によるモジュール温度の上昇により太陽電池モジュールに付着した露が蒸発する過程で、モジュール表面において水蒸気が局所的に増大した状態が生じた効果と考えられる。図 3-2 (a) において早朝に抵抗値が低下した時刻（図 3-6 (a)）における容積絶対湿度と気温の変化を図 3-6 (b) に示した。また、同様の効果は、日中に降雨が発生した場合あるいは日中の降雨後に日射が回復した場合にも生じていたと考えられ、一部では夜間に到達する値よりも低い値が観測されることもあった（図 3-5 (b)）。なお、モジュール表面で容積絶対湿度が増大した状態は過渡的であり、継続時間は数 10 分程度であった。図 3-5 (b) に示したとおり、日中に雨雲がある場合には夜間と同程度の抵抗値となった。夜間では概ね雨雲がある場合に抵抗値がやや低い傾向にあったが、日中ほど顕著な差は見られなかった。夜間はモジュールが結露する場合が多いことや降雨時での気温やモジュール温度の変化が小さいためと考えられる。



(a) 絶縁抵抗および環境条件の経時変化 (左図)

(b) 容積絶対湿度と気温の組み合わせに関する時間的推移 (右図)

図 3-6 早朝における絶縁抵抗低下の例 (2023 年 5 月 16 日)

今回の絶縁抵抗の観測では、日出後から約 3 時間後までの間に各日の最低値を得られることが多かった。日出後から約 3 時間後までの間に観測される絶縁抵抗値の分布を図 3-7 に示す。この時間帯に数回の観測を実施して最低値を収集することは、モニタリング方法として有益と考えられる。また、夜間は降雨の有無によらず各日の最低値に近い値を得られる機会が多く存在する。ただし、夜間にも環境は少なからず変化することから、複数回の測定を実施して、その中の最低値を収集することでモニタリング方法として機能する可能性がある。例えば 21 時、0 時、3 時に観測を実施した場合の例を図 3-7 に示した。上記 3 点の測定値から最低値を抽出することで比較的安定して低抵抗値をモニタリングすることが可能と考えられる。

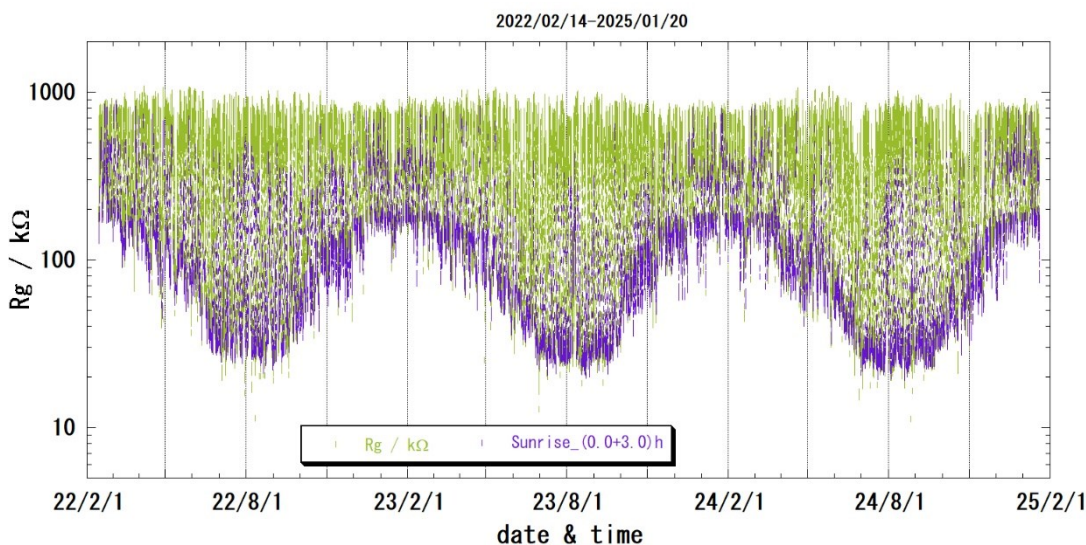


図 3-7 日出後から約 3 時間後までの間に観測される絶縁抵抗値



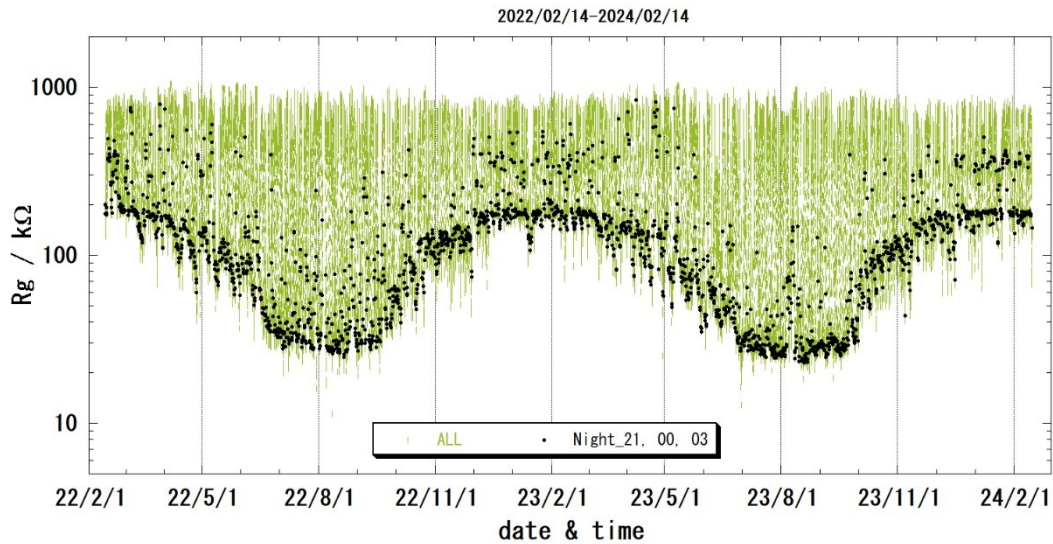


図 3-8 夜間における定時測定（21 時、0 時、3 時）で観測される絶縁抵抗値

### 3.3 水上環境と陸上環境における絶縁抵抗の比較

太陽光発電設備の設置環境の違いが絶縁抵抗に及ぼす影響を考察するために、水上設置環境と陸上設置環境について容積絶対湿度と気温の組み合わせについて出現頻度を調査した。水上環境のデータは現地での観測結果を使用した。近隣の陸上設置太陽光発電設備における環境観測の結果が得られなかったため、最寄りの AMeDAS 観測点（高松）の観測データを地上設置太陽光発電設備の環境とみなして比較した。図 3-9 に水上設置型太陽光発電設備と AMeDAS 観測点（高松）の位置関係を示す。両者は約 8km 離れている。



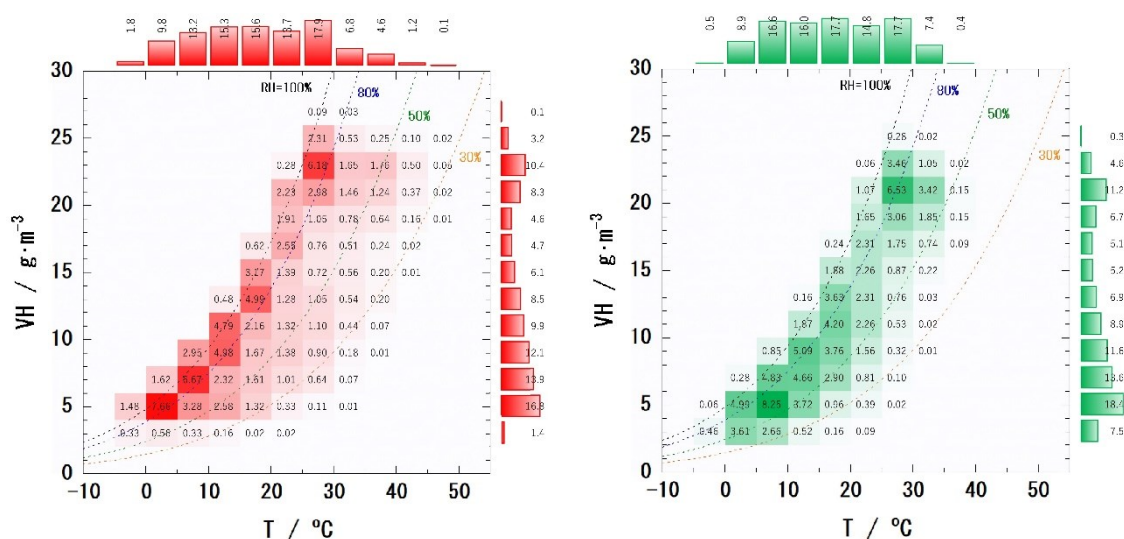
図 3-9 水上設置型太陽光発電設備と最寄りの AMeDAS 観測点の位置関係

図 3-10 に現地計測（水上環境）と AMeDAS 計測（陸上環境）の容積絶対湿度と気温の組み合わせの出現頻度の分布を百分率で示す。また、図中に相対湿度 100%、80%、50%、30%

を示す点線を記載した。水上での計測はモジュール裏面のごく近傍で実施されているため、日中においてやや気温の高い状態の頻度が高くなっていたが、気温の分布については、水上と陸上とで顕著な違いは見られなかった。一方、容積絶対湿度については、水上と陸上とで同じ温度範囲で比較すると、水上の容積絶対湿度がやや高く、全体の平均で  $1.3\text{g}/\text{m}^3$  程度高かった。したがって、同程度の絶縁特性を有する太陽光発電設備であったとしても、陸上での計測よりも水上での計測の方が低抵抗で測定される頻度がやや高くなると推測される。

図 3-11 に夜間（18:00～6:00）の容積絶対湿度と気温の組み合わせの出現頻度の分布を百分率で示す。図 3-6 との比較から、水上および陸上環境のいずれにおいても、相対湿度が高くなる（すなわち、容積絶対湿度が高く、気温が低い）環境が夜間に多く出現していた。したがって、夜間の測定では、日中の測定よりも低絶縁抵抗値を観測する頻度が高くなると考えられる。

図 3-12 に日中（6:00～18:00）の容積絶対湿度と気温の組み合わせの出現頻度の分布を百分率で示す。気温の上昇に伴って、相対湿度が低い（すなわち、容積絶対湿度が低く、気温が高い）環境が多く出現することで高絶縁抵抗が観測される機会が多くなるが、降雨や結露といった水分に対して日射が作用することで発生する水蒸気的作用により、容積絶対湿度が高い状態で気温が低下する環境が実現する場合もあり、その際は夜間よりも低い絶縁抵抗値が観測された。



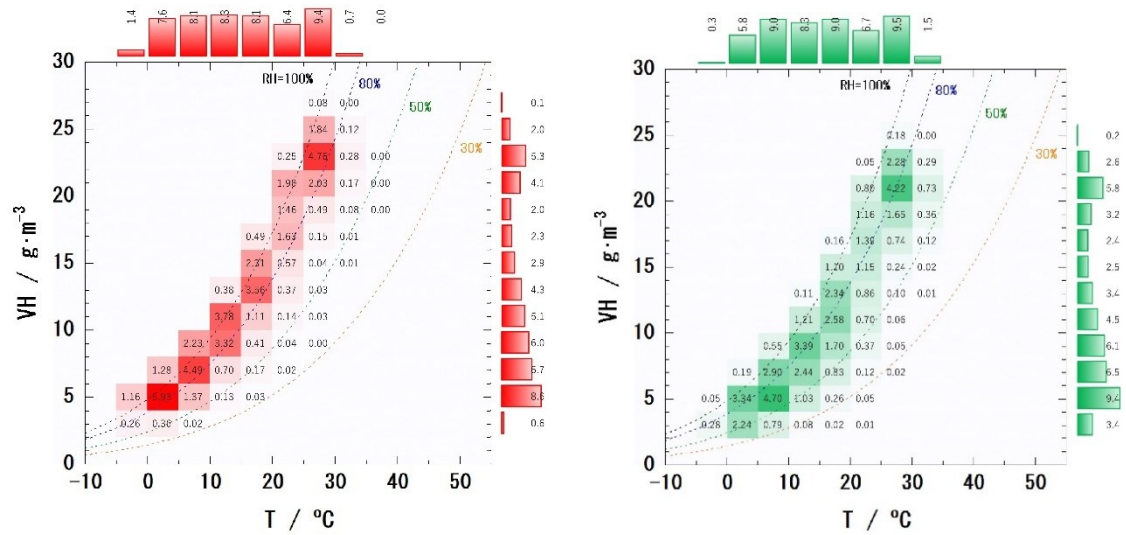
(a) 水上設置型太陽光発電設備

(b) AMeDAS 高松

図 3-10 水上設置型太陽光発電設備及び AMeDAS の容積絶対湿度と気温の組み合わせの出現頻度分布

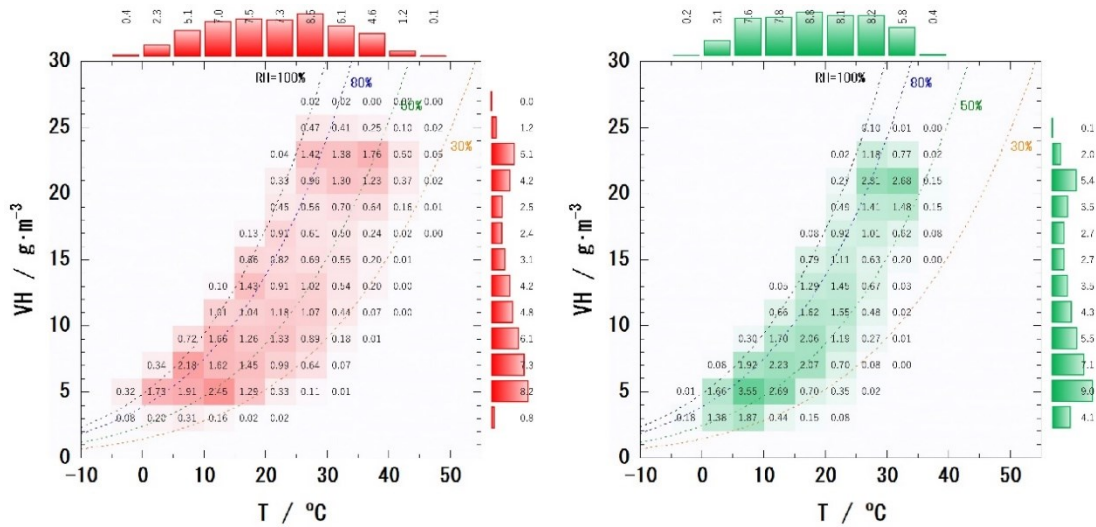
計測期間：2022年2月14日～2025年1月20日

(10分値；水上154,216点、高松156,212点)



(a) 水上設置型太陽光発電設備 (b) AMeDAS 高松

図 3-11 水上設置型太陽光発電設備及び AMeDAS の容積絶対湿度と気温の組み合わせの出現頻度分布：夜間（18：00-6：00）、計測期間：2022 年 2 月 14 日～2025 年 1 月 20 日（10 分値；水上 77, 123 点、高松 78, 120 点）



(a) 水上設置型太陽光発電設備 (b) AMeDAS 高松

図 3-12 水上設置型太陽光発電設備及び AMeDAS の容積絶対湿度と気温の組み合わせの出現頻度分布：日中（6：00-18：00）、計測期間：2022 年 2 月 14 日～2025 年 1 月 20 日（10 分値；水上 77, 093 点、高松 78, 092 点）

#### 4. まとめ

水上設置型太陽光発電設備の絶縁抵抗と設備を取り巻く環境条件についてそれらの相関を明らかにすること、及び水上設置の特異性を調査するために、香川県木田郡三木町に設置された水上設置型太陽光発電設備において、2022年2月から2025年1月までの31か月間、絶縁抵抗と設置環境の気象要素を観測した。

太陽光発電設備の絶縁抵抗値は、空気中の水分量を示す容積絶対湿度と負の相関を示し、気温と正の相関を示した。従って、低絶縁抵抗となる条件は、容積絶対湿度が高く、かつ気温が低い環境の出現であることが明らかとなった。そのような環境条件は、雨天時(昼/夜)に出現しやすいが、時季的には容積絶対湿度が増加する夏季(7月から9月)、時刻的には気温が低下する夕方から早朝に出現する頻度が高い傾向が確認された。その他、結露が発生した朝の日射による気温上昇時、降雨中・後の日照回復時や、日照中昼からの急な降雨など、設備周辺に水蒸気が発生したと考えられる環境で絶縁抵抗値の低下が観測された。

太陽光発電設備の絶縁抵抗の監視手法として、比較的低い値が安定して観測される夜間に間隔を空けて3点(21時、0時、3時など)の観測を実施する、さらに3点中の最低値を抽出するなどすれば、日々の絶縁抵抗の最低値に近い値を把握できると考えられる。また、季節としては気温が高い夏ごろにおいて日中における最低の絶縁抵抗値が他の季節と比べて低くなる。

水上設置型太陽光発電設備と最寄りのAMeDAS観測点の相対湿度と気温の出現頻度の比較から、水上環境では陸上環境に比べ容積絶対湿度(空気中の水分量)が高くなる頻度が多いことを確認した。このことから、陸上環境に比べ水上環境のほうが低い絶縁抵抗値の観測される頻度が相対的に高くなると考えられる。

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。