

水上設置型PVシステムの絶縁抵抗観測

はじめに 太陽光発電設備 (PVS) 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¹⁾。本研究は、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、及び水上設置の特異性の調査を目的としている。

観測 女井間池水上太陽光発電所 (香川県木田郡三木町池戸) において、設備の絶縁抵抗およびその近傍の環境条件についての観測を2022年2月14日より行っている。設備全体の規模は太陽電池アレイ容量2822.4kW、太陽電池モジュール枚数9,408枚であるが、パワーコンディショナにより南北の2つのアイランドに2等分割されており、本測定の対象は南側のアイランドとした。絶縁抵抗観測装置 (BENDER社製 isoPV1685P-425) を設備内のある太陽電池モジュールストリングに挿入し、近傍の太陽電池モジュールの裏面 (裏面から約2cm隔離) に温度湿度プローブ (VAISALA社製HMP155) を設置した。また、温度湿度プローブを設置した太陽電池モジュールの表裏面に日射計 (英弘精機製ML-02) および熱電対をそれぞれ設置し、モジュール表裏の日射強度および表面温度の計測を行った。観測は現在も継続中であるが、本報では2022年2月14日から2023年10月19日までの測定について分析結果を示した。

結果 2023年5月16日の観測結果について、絶縁抵抗値 R_g [k Ω]、モジュール表面日射強度 G [W/m²]、モジュール裏面側の気温 T_a [°C] および相対湿度 RH [%] の経時変化をFig.1に示した (いずれも瞬時値)。絶縁抵抗値は1日のうちで58k Ω (6:47a.m.) から945k Ω (16:15p.m.) まで幅広く変動していた。夜間 (日出時刻の前および日没時刻の後) は気温が相対的に低く、相対湿度が概ね90%以上と高くなっており、この間の絶縁抵抗は概ね100k Ω 未満の相対的に低い値を示した。逆に、日中は気温が上昇し、相対湿度も低下し、この間の絶縁抵抗は概ね100k Ω よりも遙かに大きく、相対的に高い値を示した。天候が概ね良好な1日における絶縁抵抗値の変化の傾向は季節を問わず同様の傾向を示した。2022年2月14日から2023年10月19日まで絶縁抵抗値の経時変化について、相対湿度との相関をFig.2に示した (いずれも10分間平均値)。相対湿度 RH と気温 T_a を用いて、単位体積あたりの水分量を示す容積絶対湿度 VH (Volumetric Humidity) [g/m³] を近似的に算出し、絶縁抵抗値の経時変化について、気温および容積絶対湿度との相関をFig.3に示した。絶縁抵抗は1日のうちで大きく変化したが、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。

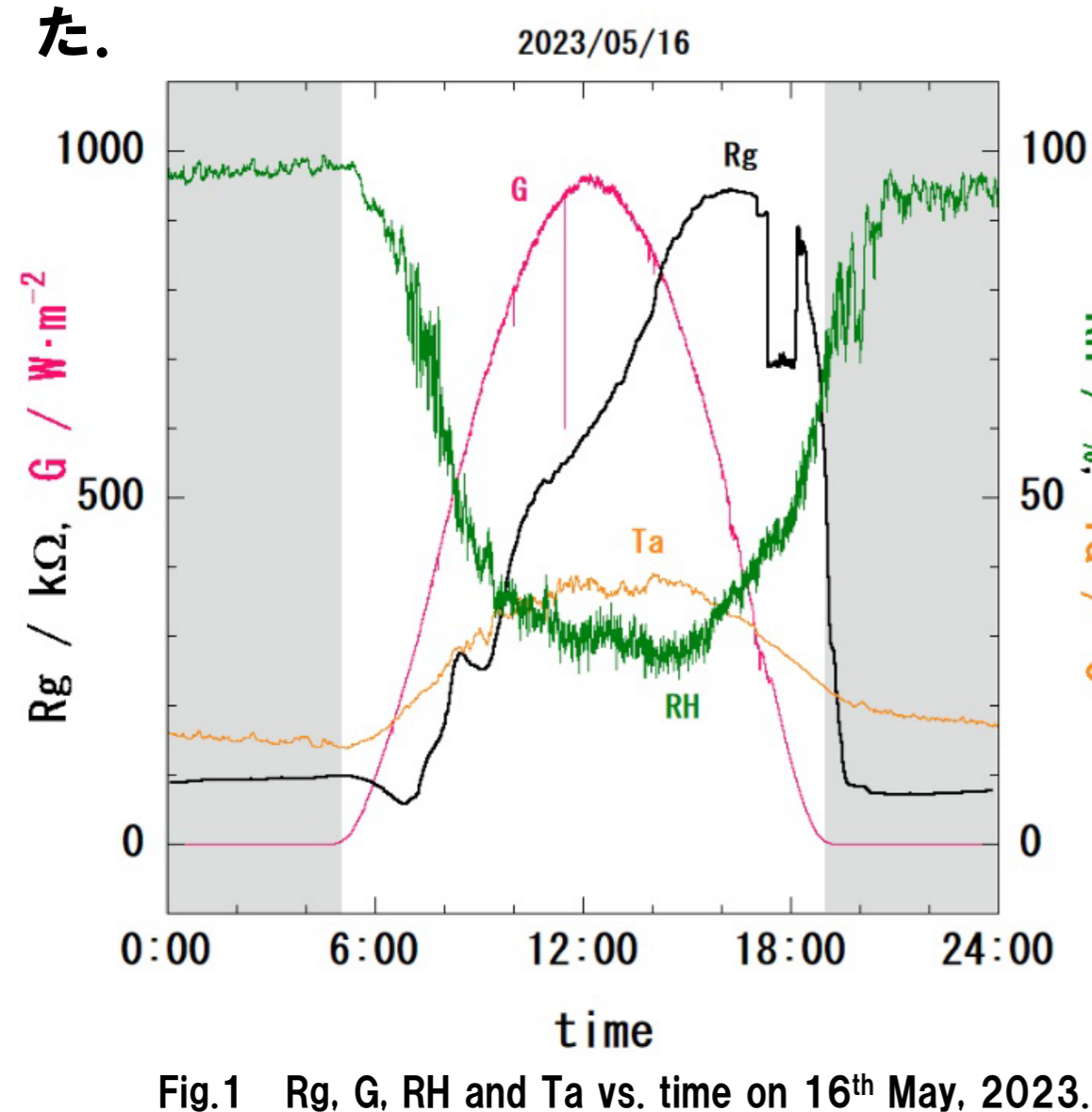


Fig.1 Rg, G, RH and Ta vs. time on 16th May, 2023.

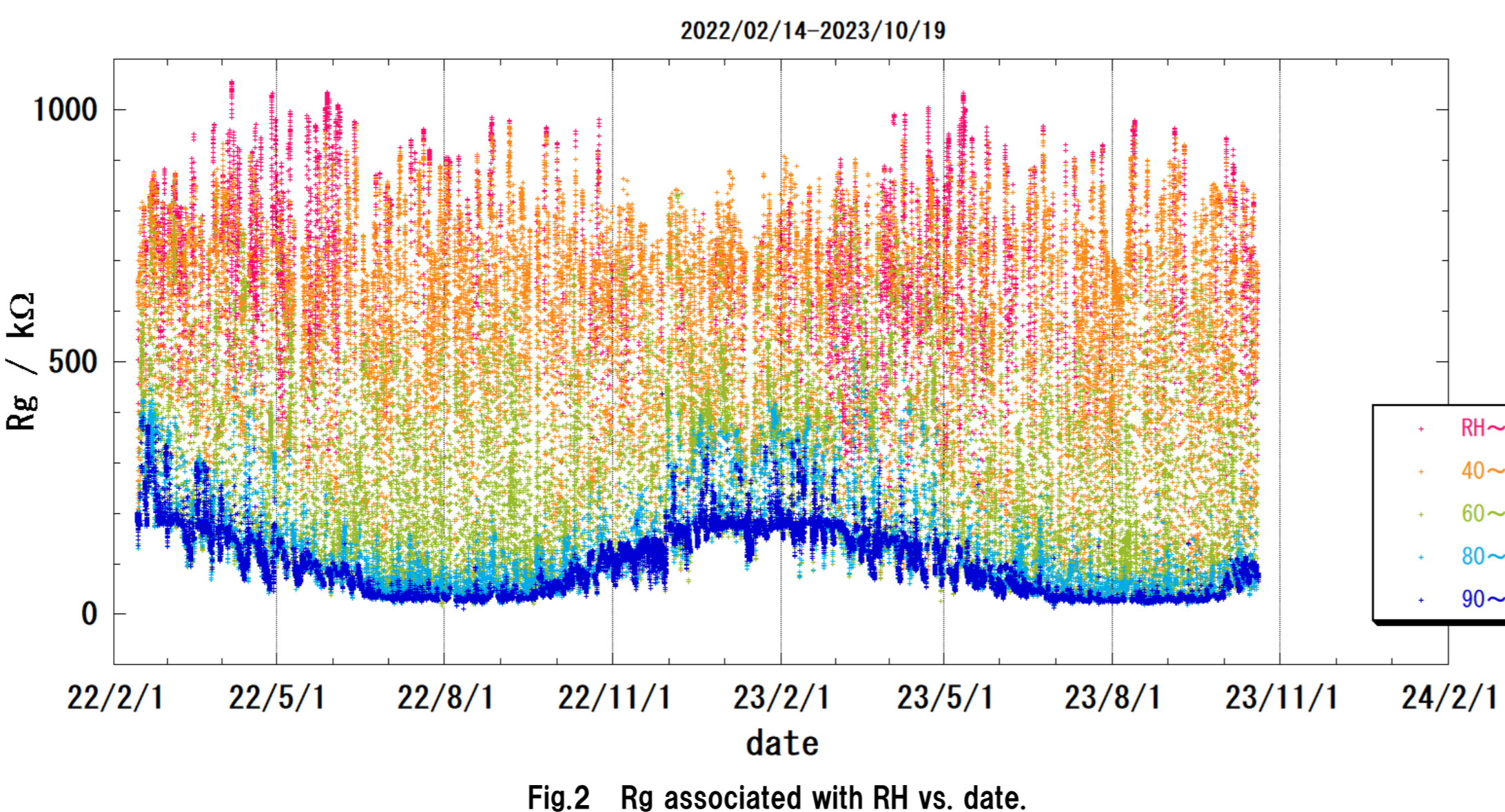


Fig.2 Rg associated with RH vs. date.

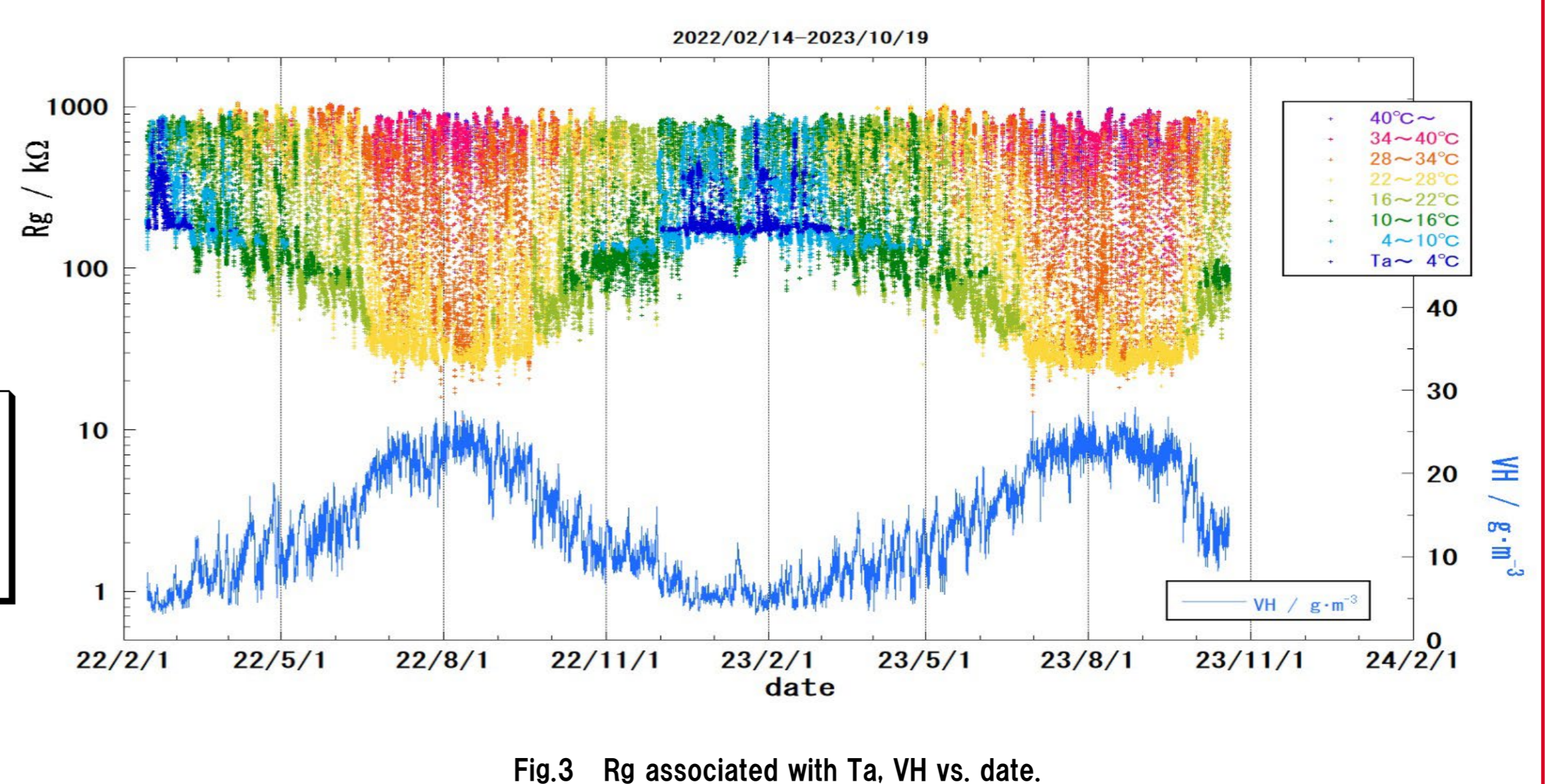


Fig.3 Rg associated with Ta, VH vs. date.

考察 絶縁抵抗値と容積絶対湿度、気温、および相対湿度の相関をFig.4に示した。容積絶対湿度、すなわち空気中の単位体積あたりの水分量が多いほど絶縁抵抗は低下し、さらに気温が下がるほど絶縁抵抗値が低下する傾向が見られる。この解釈より、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。換言すると、設備の絶縁抵抗値に真値や最低値などは存在せず、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。また、気候の温暖化等により容積絶対湿度が高くなる環境が徐々に増えるなどすると、絶縁抵抗低下における環境による効果と設備の経年劣化による効果との区別は甚だ困難と考えられる。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。

昼夜および晴雨の別による絶縁抵抗値の傾向をFig.5aおよびFig.5b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²⁾において女井間池付近の雨雲の有無により区別した。雨雲がない場合の昼夜 (Fig.5a) 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 Fig.1)、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容積絶対湿度が局所的に増大した状態が生じた効果と考えられる。Fig.1において早朝に抵抗値が低下した時刻 (Fig.6a) における容積絶対湿度と気温の変化をFig.6bに示した。同様の効果は、好天の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おり、Fig.5bの日中に見られるように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。また、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。夜間について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、日中ほど雨雲の有無による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における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。

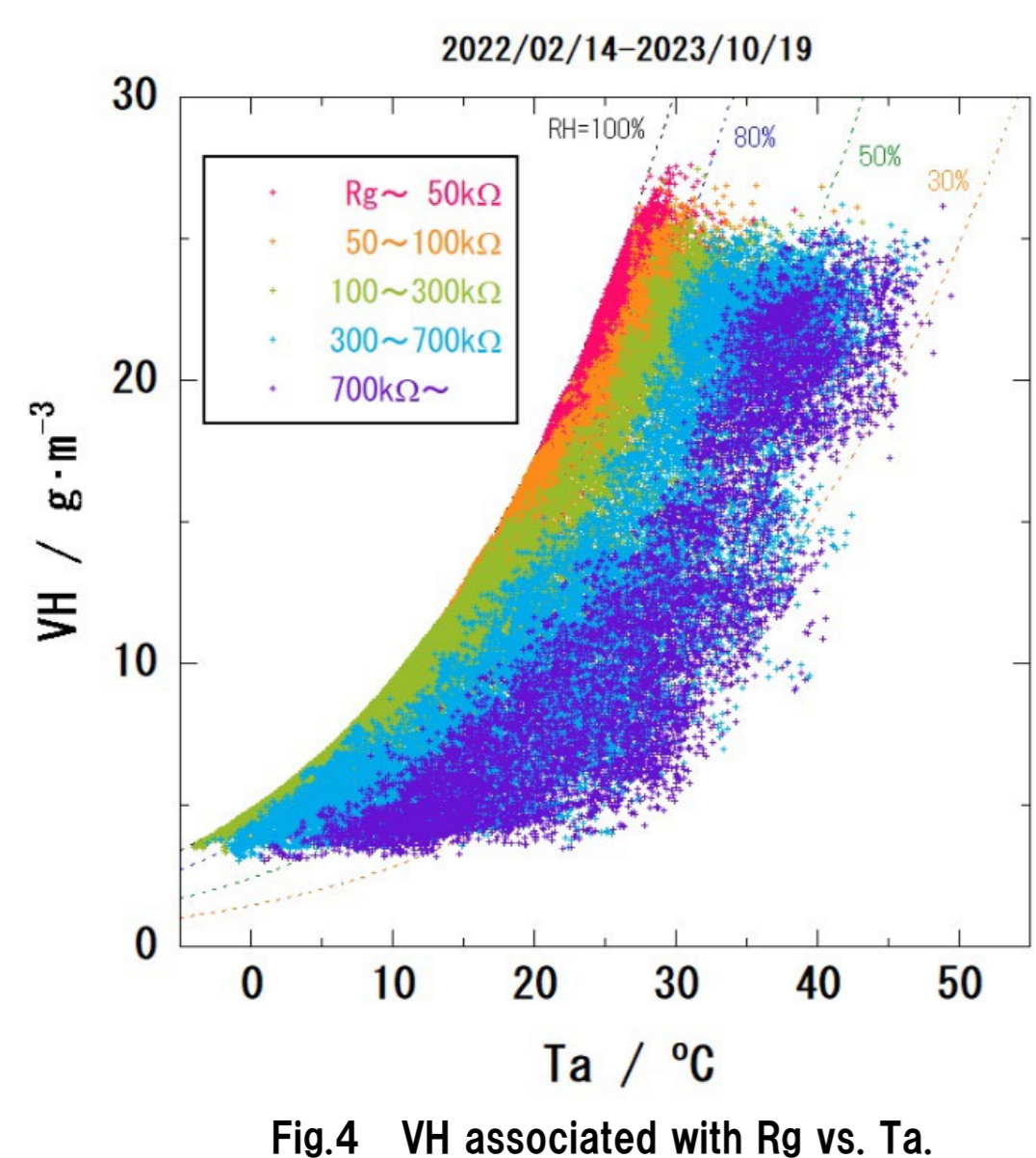


Fig.4 VH associated with Rg vs. Ta.

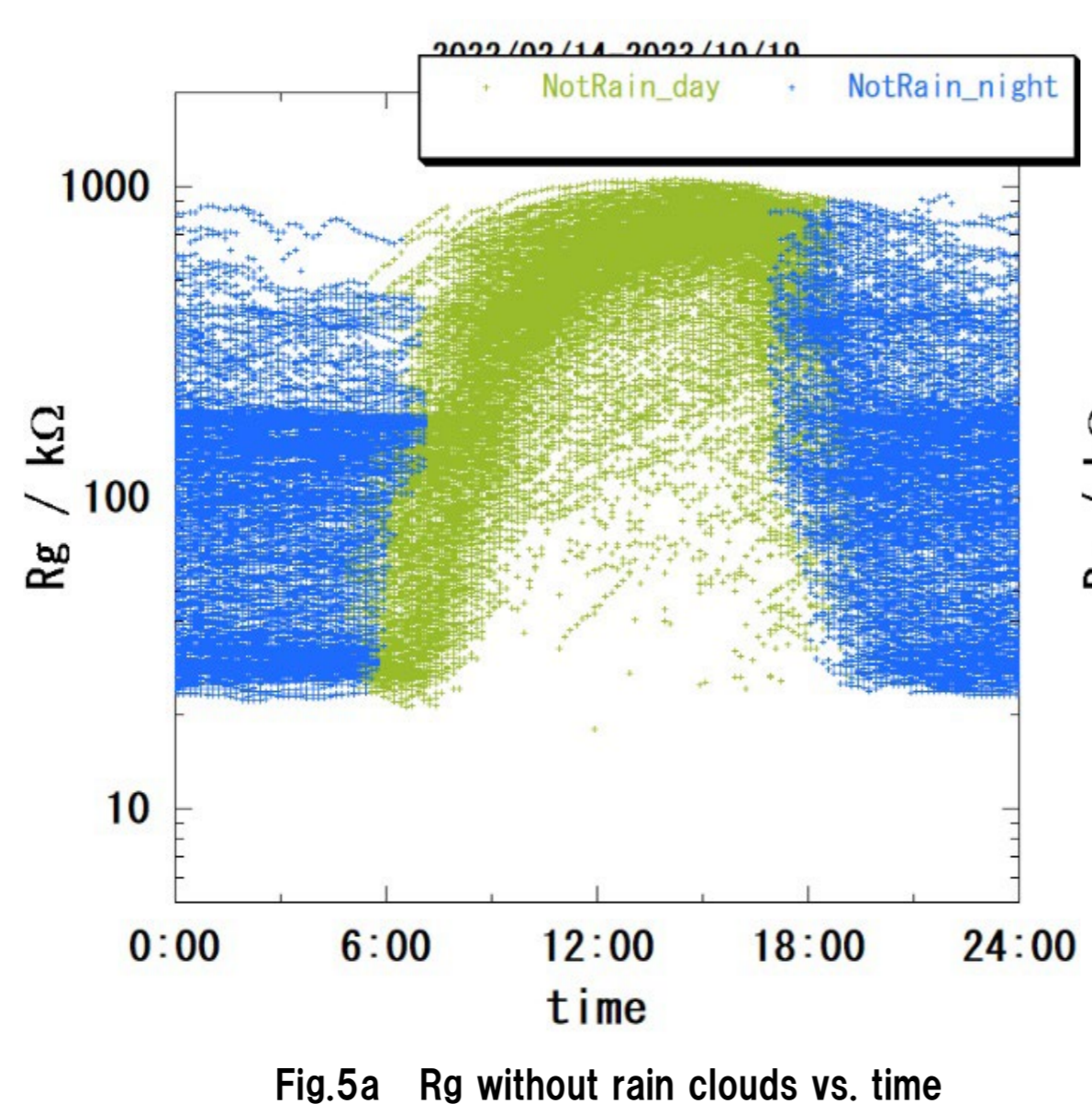


Fig.5a Rg without rain clouds vs. time

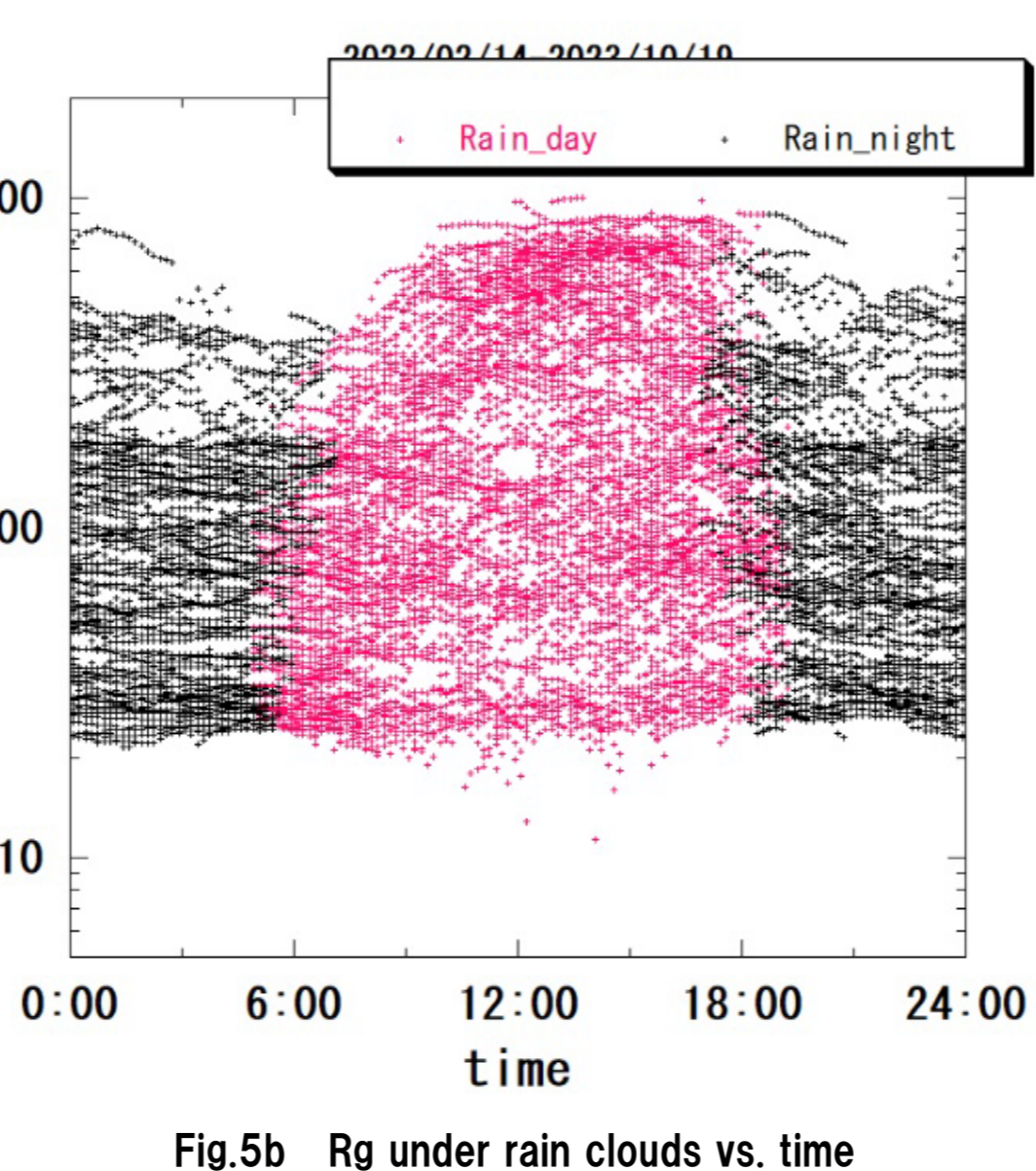


Fig.5b Rg under rain clouds vs. time

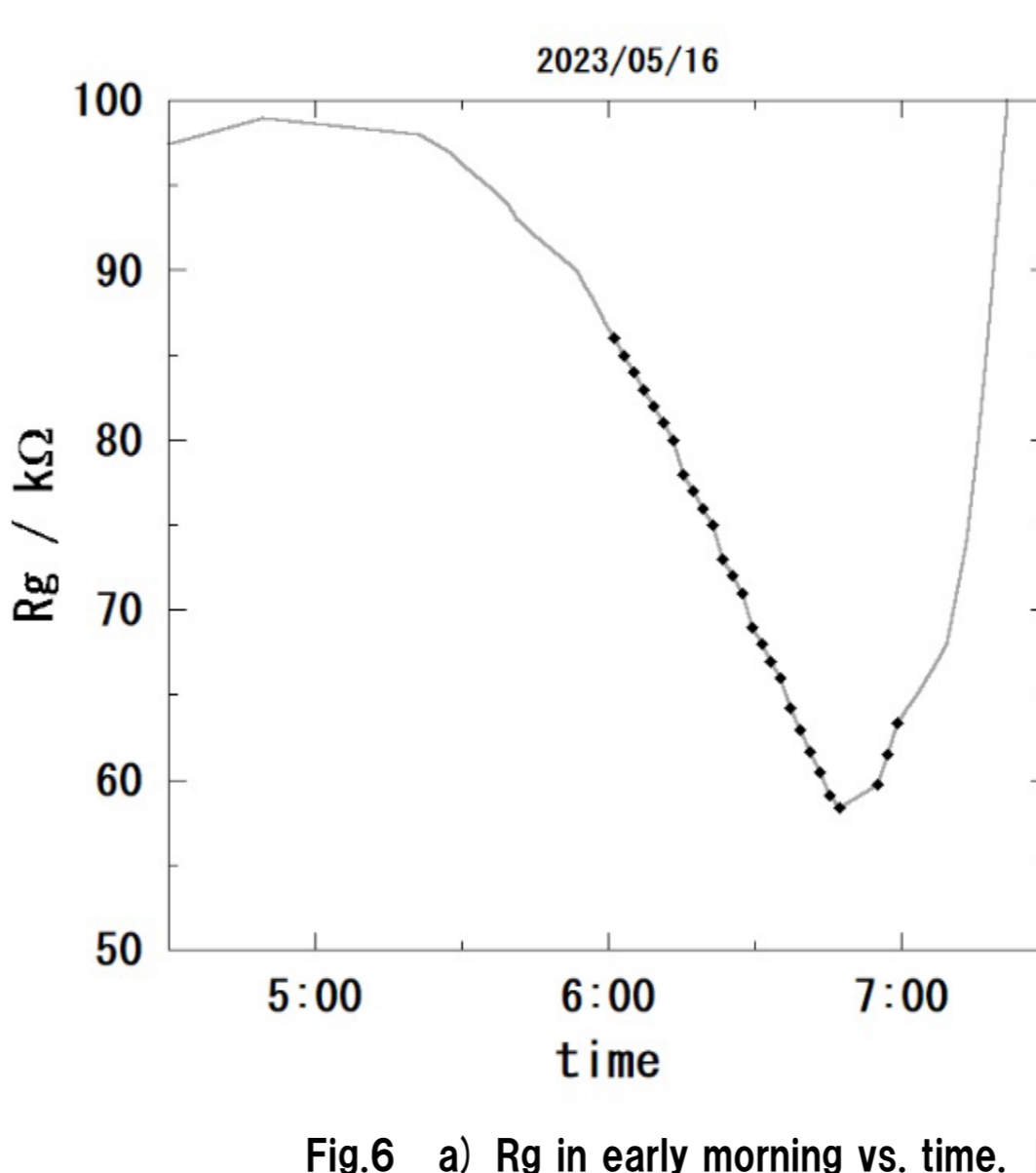
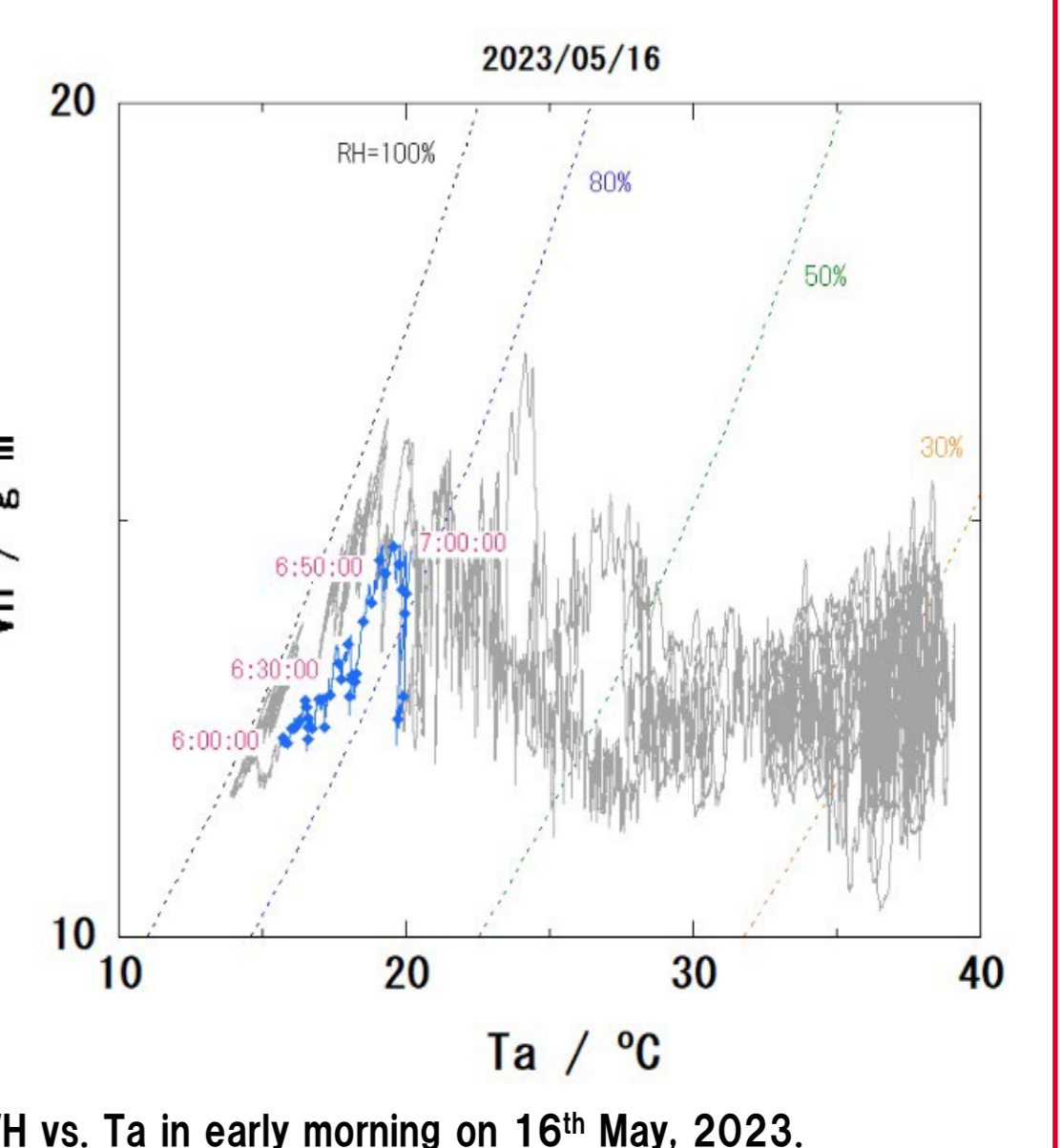


Fig.6 a) Rg in early morning vs. time. b) VH vs. Ta in early morning on 16th May, 2023.



まとめ 香川県のため池に設置された女井間池水上太陽光発電所において、絶縁抵抗および環境条件の観測を実施し、約1年8ヶ月分のデータ分析から、絶縁抵抗が気温と正の相関、容積絶対湿度と負の相関を示すことを明らかにした。絶縁抵抗値の季節変化では、容積絶対湿度が増加する夏季 (6月下旬から9月中旬) に最も低下した。また、絶縁抵抗値の日変化では、気温が低く相対湿度が高い夜間に低下し、日出後であっても気温が夜間よりも低下する早朝に低下する傾向にあった。更に、日中の降雨時や降雨後の日射の回復時にも極端に低下することを確認した。

参考文献

1. 日本電機工業会・太陽光発電協会 技術資料, 太陽光発電システム保守点検ガイドライン, 102, 123, 2019年12月.
2. 日本気象協会, ALINKインターネット, <https://tenki.jp/>

謝辞

この成果は、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) の結果として得られました。また、実験場所を供与いただいた三井住友建設株式会社ならびに観測装置の取り付け及びメンテナンスにご協力いただいた三菱電機システムサービス株式会社の両社に深謝いたします。また、観測データの整理を担当いただいたFREA・横山陽ならびに高尾俊司の両氏に感謝いたします。