

研究成果報告書

所属機関
立命館大学

職名
准教授

氏名
吉岡 修哉

研究テーマ

勾玉(まがたま)形風車とフレキシブル太陽電池を併用する新しい再エネ電源システム

研究報告

1. 研究の背景と目的

地産地消型の電力供給は、災害に強く送電ロスが少ないため重要な社会的基盤である。現在多く利用されている太陽光、バイオマス、小水力、地熱等を利用する再生可能エネルギー発電は、発電場所と消費地を近づけることが可能なので、地産地消型の電力供給システムとの親和性が高い。ただしこれら再生可能エネルギー発電は発電量が限られるため、現在のところ大規模発電（火力、原子力等）に基づくベースロード電源を補完する位置づけに過ぎない。本研究は、再生可能エネルギーに基づく地産地消型の電力供給手段をより拡充し、大規模発電に頼らない電力供給の社会的基盤を確立することを目指している。

以上の背景を踏まえ、本研究は垂直軸風車と太陽電池を併用する新しい地産地消型の再エネ電源システムの実用化を目的とする。風力と太陽光は地球上のどこでも利用できることから、地産地消型のエネルギー源として最も有望である。本システムの実用化により再生可能エネルギーに基づく電力供給を拡充することができる。

2. 研究成果および考察

本研究で用いる垂直軸風車は、研究代表者が開発を進めている勾玉形風車である。勾玉形風車は、家屋や事業所の屋根上に設置することを前提に開発されている。従来の揚力形垂直軸風車は発電用風車として作動可能な周速比域が大きいため、広い設置面積が必要である。広い設置面積の確保が難しい屋根上では、事実上、従来の揚力形垂直軸風車を発電用風車として運用することができない。一方で勾玉形垂直軸風車が作動する周速比は、従来の揚力形垂直軸風車が作動する周速比より小さい。そのため、勾玉形垂直軸風車は屋根上に設置して発電用風車として運用することができる。

本研究はこの勾玉形垂直軸風車のブレード表面にフレキシブル太陽電池シート(図1)を設置して運用する。勾玉形風車のブレード表面は曲率が大きいため、ある程度変形可能なフレキシブル太陽電池シートをすき間なく装着することができる。一般に太陽電池の出力は表面が冷却されることで増加する。風車は常に回転するため気流により常に冷却される状態なので、通常の固定された太陽電池よりも大きな出力を発生することが期待される。これにより勾玉形風車からは風車の発電出力に加えて、ブレードと共に回転する太陽電池による発電出力を得ることができる。

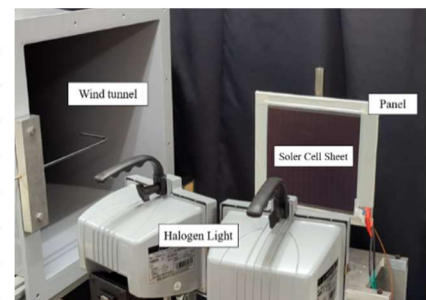
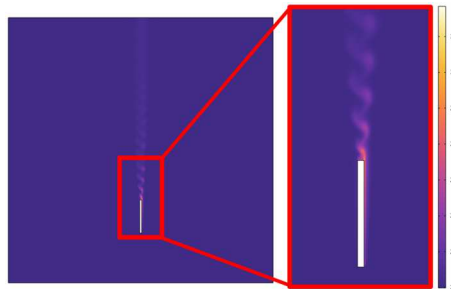
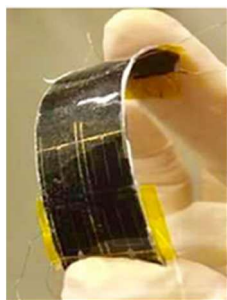


図1 フレキシブル太陽電池シート 図2 冷却の数値シミュレーション 図3 太陽電池冷却の風洞実験

図2は、発熱する太陽電池が風により冷却される状況の数値シミュレーションの結果である。この結果をもとに予備実験を実施した。図3は、風による太陽電池の冷却と発電電力の関係を調査する予備実験の様子である。写真右にはアルミニウム板に張り付けられた太陽電池シートが縦に固定されている。これに、手前のハロゲンライトから太陽光を模した光を当てている。さらに、写真左の風洞から太陽

電池に対して風が送られている。この実験により、太陽電池の温度と発電電力を測定した。

実験結果を図4に示す。横軸はハロゲンライトを照射した時間、縦軸は太陽電池の表面温度である。風洞から太陽電池に向けて吹く風の風速ごとに表面温度の時間履歴をプロットしている。風速にかかわらず、時間経過とともに温度が上昇する傾向が見られる。風がない状態（風速0m/s）では50分後に60.5度に達している。実験開始時から36.5度の温度上昇が観測された。風速を1m/s、2m/s、3m/s、5m/sと変化させると、風速の増加と共に温度上昇が緩やかになり、ほぼ一定の温度に漸近するようになる。風速が最大の5m/sのとき表面温度は37.4度で、温度上昇は13.4度まで抑えることができた。

図5に、風速と発電電力の関係を示す。青のプロットはアルミニウム板に張り付けた太陽電池、赤いプロットは発泡材に張り付けた太陽電池の発電電力を示す。いずれのプロットも、風速の増加と共に発電電力が増加していることが分かる。無風時（0m/s）と比較して、風がある場合に最大で60%以上の発電量の増加が確認できた。図4と図5から、今回用いるフレキシブル太陽電池シートは風により冷却されること、そしてその冷却により発電量が増加することが確かめられた。

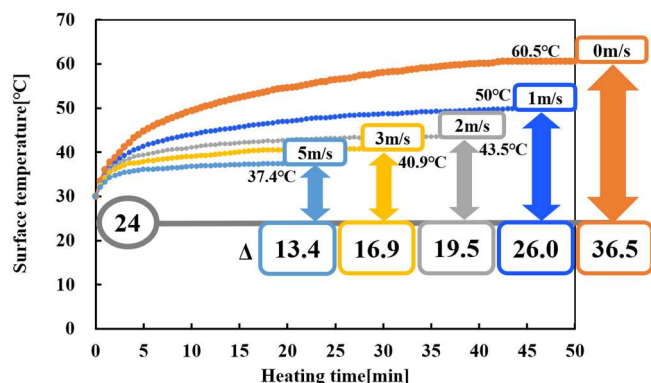


図4 太陽電池表面温度の時間履歴

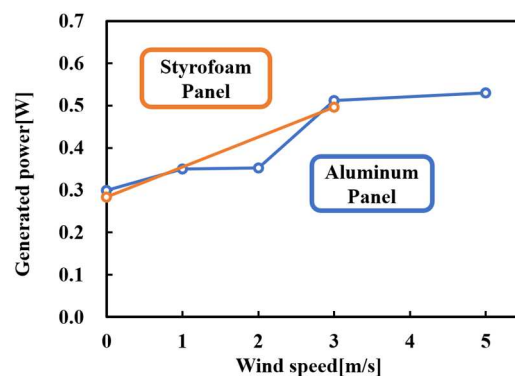


図5 風速と発電電力の関係

次に、このフレキシブル太陽電池シートを実際に勾玉形垂直軸風車のブレードに設置して風車を運用する実験を行った。実験は、立命館大学びわこ・くさつキャンパス（滋賀県草津市）内の3階建てビル屋上で実施した。図6に示す勾玉形垂直軸風車は、ローター直径2m、ブレード高さ1.5mの大きさである。写真左側のブレードの表面に、フレキシブル太陽電池シートが装着されている。このフレキシブル太陽電池シートは風車と共に回転しながら発電する（以後、太陽電池（回転）と略す）。発電量の比較のために、図7に示すとおり屋上床面に平行に固定した、同面積のフレキシブル太陽電池シートも用意した（以後、太陽電池（固定）と略す）。ここには日射計も設置した。これら2つの太陽電池シートの発電出力と、図8に示す風向風速計から出力される風速を同時に測定した。実験は午前零時から24時間継続して行った。

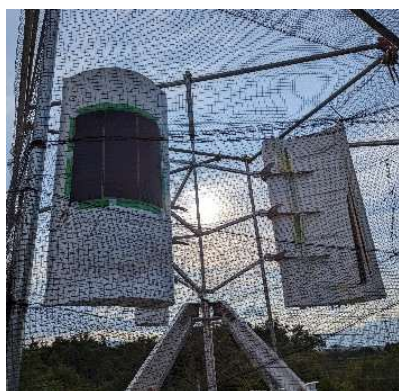


図6 太陽電池を設置した勾玉型風車



図7 固定設置の太陽電池（比較用）



図8 風向風速計

実験結果を図9に示す。ピンク色で示す日射強度は、赤点線で示す日の出から増加し、南中時に最大値を取ったのちに減少に転じ、赤点線で示す日の入りにかけて減少している。日射強度が急激に減少し直後に増加する時間帯が複数あるが、これは雲の通過を示す。黒色で示す気温は、日射強度の増加減少に後れを取りつつも、日中に増加して夜間に減少している。次に太陽電池の表面温度と発電量を比較する。緑色で示す太陽電池（固定）の温度は、ピンク色の日射強度と同じ時間帯に増加減少している。一方で黄色で示す太陽電池（回転）の温度は、黒色の気温の増加減少と同様に変化している。太陽電池（固定）と太陽電池（回転）の温度を比較すると、日中は常に太陽電池（回転）の温度が太

陽電池（固定）より低いことがわかる。以上より、ブレード上の太陽電池（回転）は風車の回転により常に冷却されていることが示された。

次に発電量を比較する。オレンジ色で示す太陽電池（固定）の発電量は日射強度と同様に日の出から増加をはじめて南中時に最大となり日の入りにかけて減少している。青で示す太陽電池（回転）の発電量は、日の出からいったん増加するが後に減少し、南中時に極小となり、その後に増加に転じた後減少するという2か所の極大を持つ傾向となった。これは、太陽電池（回転）は垂直に設置されているため太陽とのなす角が朝夕で2回、直角に近くなるためと考えられる。今回の実験では、太陽電池（回転）の発電量は太陽電池（固定）の発電量よりも小さい値となった。これは、実験時の太陽の南中高度が高く、太陽電池（固定）の方が常に太陽に正対に近い状況だったためと考えられる。今後、この実験を通年にわたり繰り返して実施し、勾玉形風車のブレードに設置したフレキシブル太陽電池シートの発電量を確認する。

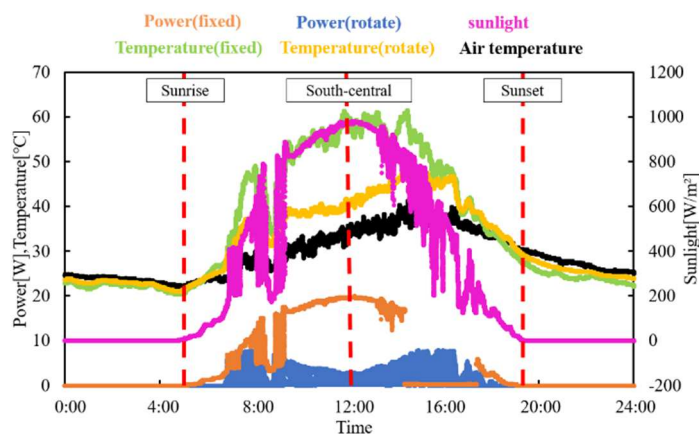


図9 実験結果

3. 将来展望

本研究により、フレキシブル太陽電池シートをブレード表面に装着した勾玉形垂直軸風車の性能試験が可能になった。今後は、通年をとおして風車出力と太陽電池出力の計測を行う。ただし現状では風車軸に発電機を装着できていない。そのため、風車の出力は計測した軸トルクと回転数から算出される風車出力でしか評価できていない。今後は風車軸に発電機を取り付けて発電出力も測定し、地産地消型の小型再生可能エネルギー電源システムとしての性能検証を実施する。

4. 研究発表

1. 大須賀 俊亮、吉岡 修哉、勾玉形垂直軸風車と太陽電池シートを併用した発電システムの検討、日本機械学会関西支部第99期定時総会講演会 P227 (2024)
2. 西條 晴幸、正 吉岡 修哉、勾玉形風車ブレード表面に装着するフレキシブル太陽電池の発電性能評価、日本機械学会関西支部第99期定時総会講演会 P228 (2024)
3. 平井 克明、吉岡 修哉、数値解析による勾玉形垂直軸風車ブレード表面の冷却性能評価、日本機械学会関西支部第99期定時総会講演会 P127 (2024)
4. 福岡 潔、吉岡 修哉、強化学習を用いた垂直軸型風車専用勾玉形ブレードの断面形状改良、日本機械学会関西支部第99期定時総会講演会 P128 (2024)