

小型のハイブリッド型垂直軸風力タービンにおける ローター切替機構の開発と評価

AE21115 宮川芽依

指導教員 藤田吾郎

1. はじめに

近年、日本では2050年カーボンニュートラルの実現に向け、様々な取組が行われている。電力部門の脱炭素化は大前提であり、再生可能エネルギーの導入、需要の拡大が重要視されている。その中の1つである風力発電は世界規模で注目されており、世界の風車総設置台数、新規設置台数は共に年々増加傾向^[1]である。しかし、日本の再生可能エネルギー発電導入容量は世界6位、太陽光発電は3位^[2]であるが、風力発電は22位と他の国に比べて遅れを取っている。そこで近年、土地が限られている日本において、風向きを選ばず、設置コストが低い垂直軸風車に高い関心が寄せられている。

垂直軸風車であるサボニウス型とダリウス型2つを組み合わせたハイブリッド型垂直軸風力タービンは、それぞれ単体で運用するよりも広い風速域で効率的に発電することができると考えられている。先行研究^[3]においては、広い風速域に対応することができたが、発電効率の面では、ハイブリッド型よりダリウス型単体で運用する方が発電量が大きく、改善の余地があった。本稿では、風力タービンにローターを搭載し、適切にハイブリッド型とダリウス型をシフトすることにより発電量を増加させる「ローター切替機構」の導入を提案する。風速データを用いた模擬シミュレーションにより理論を構築し、3Dプリンターで作成した風力タービンを使用し、リアルタイムで切替を行う実験を通してローター切替の効果を検討する。

2. 方法

2.1 模擬シミュレーション

アイオワ州立大学のIEM(Iowa Environmental Mesonet)から1分毎の風速データ^[4]を獲得し、数式計算ソフトウェアであるMATLABを用いてローター切替機構を搭載したハイブリッド型小型風力タービンにおける1日の予想発電量を算出するシミュレーションを行う。使用するモデルは半径5[cm]のサボニウス型風車を2段上下に重ね合わせ、その周りを半径10[cm]のダリウス型風車で囲む形である。ダリウス型の回転翼は3枚であり、NREL's

S809を用いている^[5]。モデルを図1に示す。

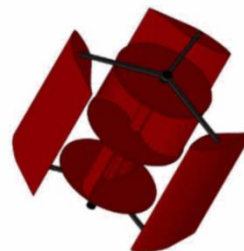


図1 ハイブリッド型風車モデル

主な段階として2段階ある。1段階目はフィルタの作成と切替タイミングの設定だ。ローター切替の条件を風速とする。ある風速で閾値を設定し、閾値によってデータをフィルタリングする。また、風には一時的な強風が吹くときと、長期的に強風が吹くときの2つのパターンがある。そのため、フィルタリングした結果に基づいてそのままローター切替をせず、風の強さのパターンを考慮したローター切替をすべきである。先行研究に基づくと、風力タービンは5回転すると安定するため、平均風速条件(2[m/s])で5回転すると仮定すると風4[m/s]での回転数は4.65[rps]であることから、切替に要する整定時間は(1)式で表すことができる。

$$\text{Time} = \frac{4.65[\text{rps}]}{2} \times 5 = 11.625[\text{s}] \quad (1)$$

したがって、ローターの切替は少なくとも12秒間一定の風速がある場合にのみ行うと定義する。

次に2段階目は、発電量の推定である。ハイブリッド型とダリウス型のローター切替をしている場合の風力タービンをスマートハイブリッド型、切替をしない場合を従来型とし、加えてダリウス型単体の3つの場合の風力タービンでシミュレーションを行う。風速ごとの電力発電量を当てはめ、1日動かしたときの総発電量を算出し、比較する。

2.2 リアルタイム計測によるローター切替

図2に実験の概要説明図を示す。風力タービンはシミュレーションで使用したモデルと同じように3Dプリンターを用いてサボニウス型、ダリウス型の風車を作成し、それらを組み合わせてハイブリッド型とした。風力タービンを動かしたときの風速または回転速度をモニタリングし、MATLAB上でローター切替理論に基づいた処理をすることで実際にローターの切替の役割を担う

レノイドの制御をリアルタイムで行う。Arduino は、シリアル通信によって計測したデータを MATLAB に送信することとソレノイドの制御のプログラムを実装している。一方、MATLAB では、Arduino から送られてきたデータをシリアルポートで監視し、切替の適切なタイミングを決定するプログラムが実装されている。

直流安定化電源を用いて電圧を印加したときの出力電圧と出力電流を計測し、発電量と先端速度比 TSR(Tip Speed Ratio)、パワー係数 C_p を算出する。

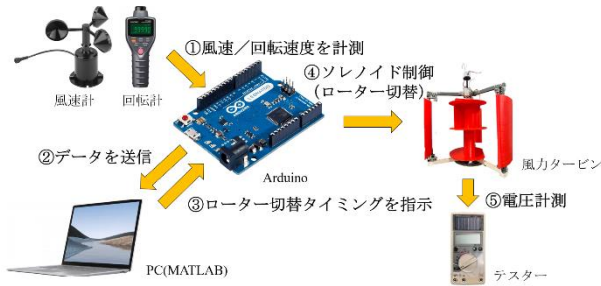


図2 実験概要図

3. 結果考察

3.1 シミュレーションによる発電量の推定

2024年9月1日のアメリカ合衆国カルフォルニア州のオークランドの風速データを基に、ローター切替のタイミングを記録したグラフを図3、条件ごとの予想発電量を風速データに組み合わせたグラフを図4に示す。

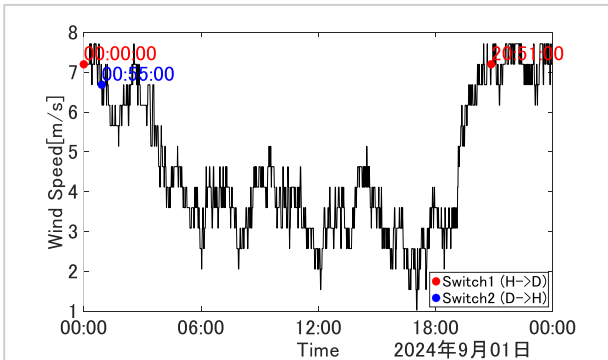


図3 ローター切替理論に基づいたデータ

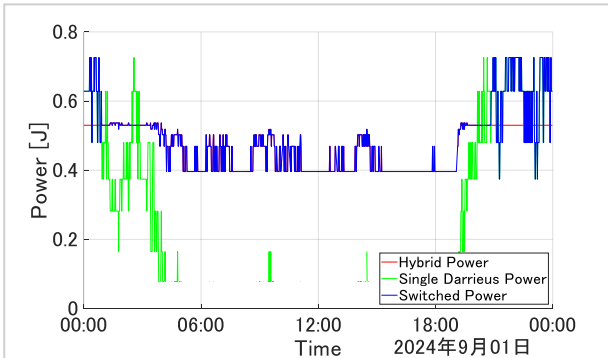


図4 条件ごとの予想発電量

図3 から、最初の切替を除くと1日に計2回ローター

切替が行われたことが分かる。総発電量は、スマートハイブリッド型が525.6[J]、従来型が502.9[J]、ダリウス型が274.1[J]と算出された。したがって、スマートハイブリッド型が最も効率的に発電可能であることをシミュレーションで明らかにした。

3.2 実験結果

縦軸にパワー係数 C_p 、横軸に先端速度比 TSR を取り、風速と回転速度それぞれの条件での結果を図5に示す。

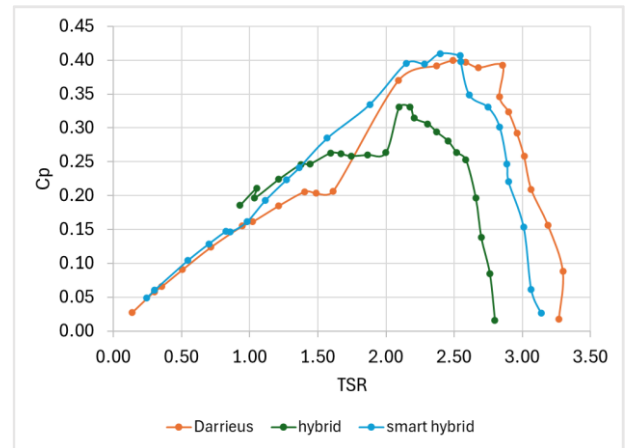


図5 実験結果

全体的にスマートハイブリッド型は従来型を上回っていることから、ローター切替による効果を実証することができたといえる。高TSR時にダリウス型の方が効率が良い理由として、スマートハイブリッド型はダリウス型にローター切替した際、サボニウス型が空回しの状態となっている為、ダリウス型の回転に影響し、ダリウス型での単体と比べて性能が落ちたと考察される。

4. まとめ

本稿では、ローター切替機構の開発によりハイブリッド型垂直軸風力タービンの発電効率を増加させた。ローター切替により、従来のハイブリッド型風力タービンに比べて高いパワー係数を得られることが分かった。

今後の展望として、屋外での実験や長期的な計測を通してハイブリッド型垂直軸風力タービンの実用化を視野に入れて実験を検討していきたい。

参考文献

[1] GWEC "Global Wind Report 2024"
 [2] IEA "Renewables 2022"
 [3] E. N. Irawan, K. Shibuya, K. -I. Yamashita and G. Fujita, "Enhancing Vertical Axis Wind Turbine Performance Investigation at Low Wind Speed Using Electrical Approach," 2024 8th International Conference on Green Energy and Applications (ICGEA), Singapore, Singapore, 2024, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICGEA60749.2024.10561142.
 [4] "IEM::ASOS one minute data", IOWA State University
 [5] E. N. Irawan, S. Sitompul, K.-I. Yamashita, and G. Fujita, "The Effect of Rotor Radius Ratio on The Performance of Hybrid Vertical Axis Wind Turbine Savonius-Darrieus NREL S809," Journal of Energy and Power Technology, vol. 5, no. 1, Art. no. 1, Jan. 2023, doi: 10.21926/jept.2301001.