

小型の垂直軸型風車の設計及びダリウス型風車の翼数別パワー係数比較

AE22025 石川陽大

指導教員 藤田吾郎

1. はじめに

近年、2050年脱炭素社会の実現に向けて二酸化炭素の排出をしない再生可能エネルギーの注目が高まっている。今現在、バイオマス発電、太陽光発電、風力発電、地熱発電といった再生可能エネルギーは日本における発電割合はおよそ26.5%となっている。^[1] 風力発電においては設置位置や騒音対策などを伴わないという観点から小型の風車が注目を集めている。小型の風車には水平軸型風車と垂直軸型風車の2種類が存在するが、風向きを選ばず、設置コストも低く抑えることができる水平軸型風車への関心が高まってきている。

垂直軸型風車であるダリウス型風車とサボニウス型風車を組み合わせ、ハイブリッド型風車とするとそれぞれ単体で動作させた時よりもより広い風速域で発電可能となる。

よって本稿ではダリウス型風車とサボニウス型風車を組み合わせたハイブリッド型風車を設計し、数値流体力学的手法を用いてシミュレーションを行い、各風車に対してのパワー係数を比較する。また本研究ではより効率の良いハイブリッド型風車を設計するために必要な、ダリウス型の枚数及び最適な角度を調査することを目的とする。

2. 方法

2.1 シミュレーションにて使用する風車の設計

シミュレーションで使用する風車を、SolidWorks および Ansys にて設計を行う。

SolidWorks においては図1に示すような風洞および図2に示すような風車の設計を行う。^[2] 今回のシミュレーションでは左側から右側に向けて風が流れるように設計している。風洞の短辺は240 cm、長辺は6000 cm になるように設計した。

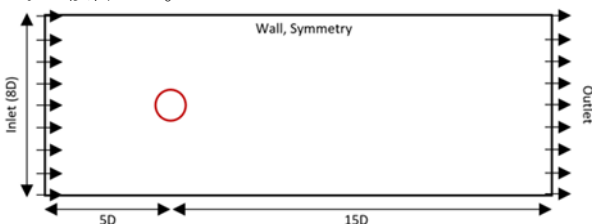


図1 風洞の境界条件と風車位置

今回のシミュレーションで使用した風車を図2に示す。



(a) 1枚翼 (b) 2枚翼 (c) 3枚翼

図2 ハイブリッド型風車

本モデルは中央部にサボニウス型風車を設置し、その中心点から15 cm離れた位置にダリウス型風車を設置することでハイブリッド型風車としている。今回使用した全風車に関しては中央部のサボニウス型風車は変更せず、ダリウス型風車の枚数および位置を変更させている。回転翼の形としてNACA0015^[3]を使用している。図1(a)に示す1枚羽根ハイブリッド型風車は翼を150°左向きに回転させている。2枚羽根ハイブリッド型風車は135°、3枚羽根ハイブリッド型風車は285°左向きに回転させた。

続いてシミュレーションに使用するメッシュの設計を行う。風車内部のメッシュはダリウス型周辺部、ダリウス型周辺部、その他に分割する。ダリウス型周辺部に関しては、層の厚さ、層数、メッシュの成長率の設定を行い、それぞれの値を 5.0×10^{-6} 、45、1.1とした。同様にしてサボニウス型周辺部、その他の部分についても各種数値の設定を行う。メッシュの品質はSkewnessとOrthogonal Qualityの2つの値の平均で評価することができる。Skewnessの値は0.25以下に、Orthogonal Qualityは0.95以上が求められる数値でどの風車に関しても以上の数値を満たすようにメッシュ設計を施した。

2.2 シミュレーションにおけるパワー係数比較

CFD(Computational Fluid Dynamics)を用いて数値解析を行う。各方位角によるタービンのモーメント係数をAnsysにて自動計算する。先端速度比TSR(Tip Speed Ratio)を0から4.0の間で0.5刻みに変化させ、各点でのモーメント係数を自動計算する。各先端速度比の値を λ とするとモーメント係数 C_M とパワー係数 C_P の間には以下の関係式が成り立つ。

$$C_P = \lambda C_M \dots \dots \dots (1)$$

この段階で増分角の決定を行う。これは時間当たりの風車の回転する角度を示しており、本研究では1°に設定

している。シミュレーション開始時に生じる過渡状態を無視するため1~5回転目を利用せず、本CFDでは風の流れが定常状態なる6回転目のみを利用した。そこから得たモーメント係数を利用し、360°分の平均を算出してそれぞれの先端速度比をかけることでパワー係数とした。

2.3 実験におけるパワー係数比較

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ることでハイブリッドモデルとした。実験では送風機を用いて風車に風を当て、取り付けたモーターを回転させることで出力電圧および出力電流を測定した。以上二つに加え、タコメーターを用いて風車の回転速度の測定も行い、先端速度比の計算に使用した。ここで先端速度比TSRの定義式を次に示す。

$$TSR = \frac{R \times \omega}{v} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (2)$$

ここで、 v [m/s]は風車に当たる風の風速、 ω [rad/s]は風車の回転速度、 R [m]は風車の半径としている。測定で得られる発電量は銅損、鉄損、摩擦損の影響を受けているため、出力電圧と出力電流から得られる発電量を P_O 、モーターで発生する損失を $Loss_{All}$ とすると風車で得られる発電量は次式によって表せられる。

$$P_T = P_O + Loss_{All} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (3)$$

この損失 $Loss_{All}$ は先行研究を参考にした。^[2] また、パワー係数 C_P は次式で求められる。

$$C_P = \frac{2 \times P_T}{\rho A v^3} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (4)$$

ここで、 ρ は空気密度(1.225 kg/m³)、 A は風車の面積[m²]、 v は風車に当たる風速[m/s]である。以上をもとに先端速度比およびパワー係数を算出し比較する。

3. 結果考察

シミュレーションにおける各翼数によるハイブリッド型風車の比較を図3に示す。

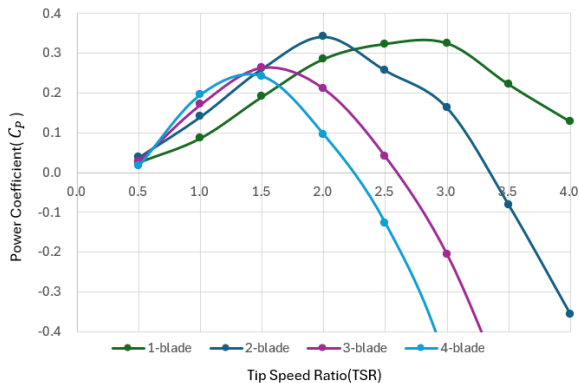


図3 パワー係数比較結果

実験における各翼数によるハイブリッド型風車のパワー係数比較を図4に示す。

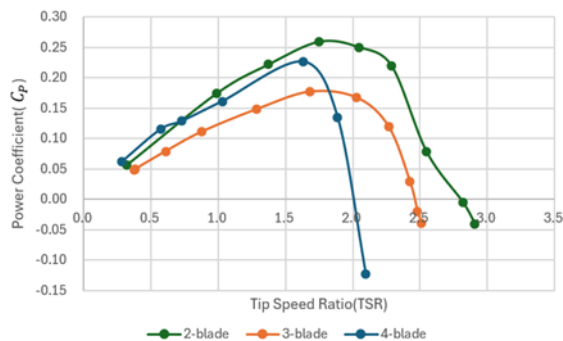


図4 実験によるパワー係数比較

本研究ではパワー係数に着目し考察を行う。グラフの横軸をTSR(Tip Speed Ratio)、縦軸を C_P (Power Coefficient)とした。

ダリウス型風車の枚数が少なくなるほどパワー係数のピーク値が高い先端速度比帯に移動していくことが分かる。これは風車におけるソリディティが関係していると考えられる。翼の枚数を多くすることでその風車におけるソリディティが大きくなり、ソリディティが大きくなるとパワー係数のピークをとる先端速度比が小さくなるという特徴がある。また、3枚羽根や4枚羽根ハイブリッド型風車はピーク値をとる先端速度比帯が小さいのに対し、1枚羽根や2枚羽根ハイブリッド型風車はピークをとる先端速度比帯が広めであることが読み取れる。

4. まとめ

本論文では CFD を用いてハイブリッド型風車の設計とシミュレーションを行い、ダリウス型風車の翼数を変更させた各風車のパワー係数を比較した。

今後の展望として、各翼数のハイブリッド型風車の最適なダリウス翼の角度の選定を本研究以上に細かくしたり、1枚羽根ハイブリッド型風車に関してはカウンターウェイトの有無による効率の変化についても検討したりしていきたい。

参考文献

- [1] 環境エネルギー政策研究所, 「国内の 2024 年度の自然エネルギー電力の割合と導入状況」最終閲覧日 2025/12/04 <https://www.isep.or.jp/archives/library/15325>
- [2] 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.
- [3] S. Ouchene, A. Smaili, H. Fellouah, "Numerical Simulation of a Pitching NACA0015 Airfoil in Deep Stall regime: Comparison of TurbulenceModels" <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=86050860> ll-Text PDF: