

小型のハイブリッド型垂直軸風車の設計及びシミュレーションと実験によるパワー係数比較

AE20067 澁谷快

指導教員 藤田吾郎

1. はじめに

近年、環境問題の危惧による2050年脱炭素社会の実現に向けて二酸化炭素を排出しない再生可能エネルギーの需要が高まっている。その中でも導入量が増加傾向にあるのは太陽光発電、風力発電であるが、太陽光発電の導入量に比べれば風力発電のそれはまだまだ低水準と言わざるを得ない。風力発電に用いられる風車には水平軸風車と垂直軸風車の2種類が存在するが、風向きを選ばず、設置コストも低い垂直軸風車に注目が集まっている。風車の中でも垂直軸風車であるサボニウス型とダリウス型の風車を連結し、ハイブリッド型風車にすることで、単体でそれぞれの風車を動かすよりも広い風速域で発電することが出来るため、より効率的な発電が可能となる⁽¹⁾。よって本論文では小型スケールのハイブリッド型サボニウス-ダリウス風車を作成し、数値流体力学的手法を用いてシミュレーションを行うと同時に、実際に3Dプリンターを用いて風車を設計し、パワー係数を比較する。

2. 方法

2.1 シミュレーションによるパワー係数算出

CFD(Computational Fluid Dynamics)を用いて数値解析を行う。主な段階として3段階ある。図1に境界条件を示す。境界条件とはシミュレーションを行う上での環境の条件を指し、1段階目は境界条件の設定、モデル構築、メッシュ設計からなる。今回のシミュレーションでは図1のような風道を設計し、左側 inlet から、右側 outlet に向けて風が通るように設定している。ここで D は 16.5 [cm]である。よって、風道の短辺は 176[cm]、長辺は 440[cm]であり、inlet 側から 110[cm]離れた位置の中心にハイブリッド型風車を設置した。今回のシミュレーションで利用したモデルと 3D モデルをそれぞれ図 2 に示す。

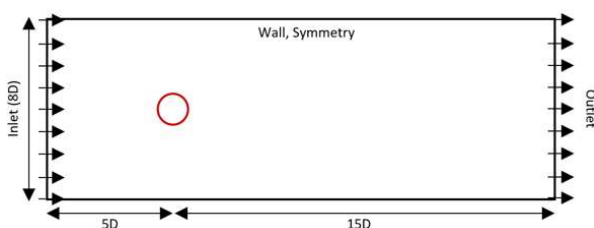
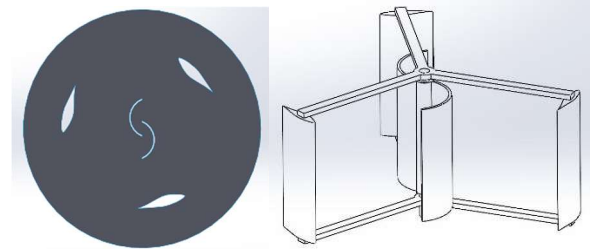


図1. 境界条件



(a)ハイブリッド型風車のデザイン(b)ハイブリッド型風車の3Dデザイン

図2. シミュレーションで用いたモデルと3Dデザイン

今回のモデルでは中央にサボニウス型風車を設置し、サボニウス型風車の中心点から半径 11[cm]の円周上にダリウス型風車を設置した。3つのダリウス型風車はそれぞれ 120°]ずつ離れており、サボニウス型風車の翼を結んだ中心線上にダリウス型風車を設置した後、195°]反時計回りに回すことで作成した。その後、ハイブリッド型風車全体を半径 16.5[cm]の円で囲い、シミュレーションを行った。メッシュを作る際に最も重要なのは、第1層の厚さである。先行研究⁽²⁾を参考に計算したところ 0.000005 [m]となった。次に形成したメッシュの品質は、平均歪度 0.10326、平均直行度 0.96055 となった。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出来る。これは先ほど示した、平均歪度と平均直行度のことであり、これらの値から判断すると、形成したメッシュの品質は良質な部類に属するということが読み取れた⁽²⁾。

次に第2段階として、各方位角によるタービンのモーメント係数(C_M)を Ansys を用いて自動計算する段階に移る。先端速度比 TSR(Tip Speed Ratio)を 0 から 3.5 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。そして各先端速度比(λ)における C_M の値は次式を用いてパワー係数(C_P)に変換することが出来る。

$$C_P = \lambda C_M \dots\dots\dots (2.1)$$

この段階で考慮しなければならない最も重要なことは増分角の決定であり、これは時間当たりの風車の回転する角度を表している。本研究では 1°]にしている⁽³⁾。

最後に、3段階目として、風車の周りの風速や翼にかかる圧力などを観測することである。また、タービンが発生する電力 P は次式を用いて計算することが出来る。

$$P = \frac{1}{2} C_P \rho A v^3 \dots\dots\dots (2.2)$$

ここで ρ は空気密度(1.225[kg/m³])、 A はタービンの面積[m²]、 v は風速[m/s]である。

2.2 実験によるパワー係数算出

3Dプリンターを用いてサボニウス型、ダリ薄型の風車を作成し、それらを組み合わせてハイブリッドモデルとした。実際に作成したサボニウス型風車とダリウス型風車をそれぞれ図3に示す。また、シミュレーションでは吹く風を一定とし、各先端速度比に対応した時間ステップ毎に風車を1[°]ずつ回転させる方法を取っていたが、実験では実際に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及び出力電流を測定する。しかし測定で得ることのできる発電量はモーターによる銅損、鉄損、摩擦損の影響を受けており、今回設計した風車の純粋な発電量であるとは言えない。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、風車で得られる純粋な発電量 P_T は次式(2.3)式で表すことができる。

$$P_T = P_O + Loss_{All} \quad (2.3)$$

この $Loss_{All}$ を求めるために以下の3つの実験を行った。

1. ジェネレーター側に 5 [Ω]の抵抗を接続し、モーター側からは直流安定化電源を用いて電圧と電流を印加する。モーター側の入力電圧、入力電流とジェネレーター側の出力電圧、出力電流を測定することで全損失の合計値を算出した。
2. モーター側に直流安定化電源を用いて電圧と電流を印加し、ジェネレーター側の回路を開放する。横軸に入力電圧、縦軸にジェネレーターの回転数を示したグラフを得ることにより、このグラフの傾きが表すモーターの摩擦損失を求めることができる。また、摩擦損失を回転数の平均で割ることで、摩擦係数を求めることができる。
3. モーター側に直流安定化電源を接続し、電圧と電流を印加する。その後モーターの回転を止めて拘束試験を行った後の電圧と電流を測定することで、銅損のみを求めることができる。銅損係数は、拘束中のモーターの電圧を電流で割ることで求める。



図3. 設計したサボニウス型風車とダリウス型風車

この実験より求めた $Loss_{All}$ から、(2.3)式を用いて純粋な発電量 P_T を算出し、次式(2.4)式よりパワー係数(C_p)を得る。

$$C_p = \frac{2 \times P_T}{\rho A v^3} \quad (2.4)$$

これによって求めた実験によるパワー係数とシミュレーションにより求めたパワー係数の値を比較検討する。

4. 結果考察

実験とシミュレーションによるパワー係数の比較を図4に示す。

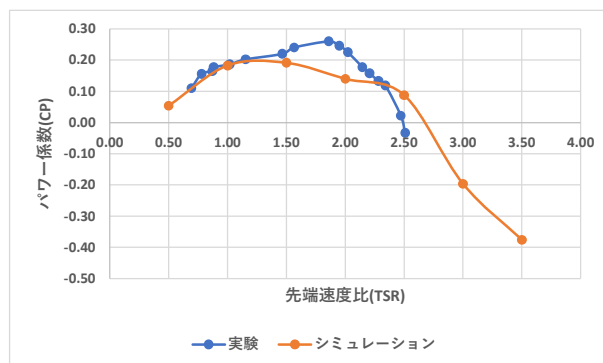


図4. 比較結果

本研究ではハイブリッドモデルのパワー係数を比較した。実験結果とシミュレーションを比較する上で、シミュレーションに比べて実験のほうがパワー係数を取る先端速度比帯が小さいことが分かる。これはハイブリッドモデルに含まれるサボニウス型が少ない風速でも回転する抗力型風車であるために、低い先端速度比帯での測定が困難であったためと考えられる。また、実験結果がシミュレーションよりパワー係数において優れている理由として、設計した風洞の横幅の差による、風の流れ方の違いによって、風車がより回転したためだと考えられる。

4. まとめ

本論文では CFD を用いてハイブリッド型風車のシミュレーションを行い、3D プリンターで作成した風車による実験結果とパワー係数を比較した。今後の展望として、ハイブリッド型からダリウス型を分離させて単体で運用できるようなラチェット機能の設計を行い、より風車の効率を上昇させていきたい。

参考文献

- [1] 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.
- [2] T. Ahmad, S. L. Plee, and J. P. Myers, "Fluent User's Guide".
- [3] D. Satrio, I. K. Utama, and M. Mukhtasor, "The influence of time step setting on the CFD simulation result of vertical axis tidal current turbine," *JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING AND SCIENCES*, vol. 12, pp. 3399-3409, Mar. 2018, doi: 10.15282/jmes.12.1.2018.9.0303.