

小型のハイブリッド型垂直軸風車における CFD解析を用いた最適設計の一検討

電気電子情報工学専攻
電力システム工学研究

AE20067 しぶや かい
指導教員 藤田 吾郎

1. はじめに

近年、様々な環境問題の危惧による 2050 年脱炭素社会の実現に向けて再生可能エネルギーの需要が高まっている。再生可能エネルギーの 1 つである「風」を用いた風力発電は、発電の時間帯を問わず、発電コストも低いというメリットから、特に注目が集まっている。本稿では水平軸型風車と垂直軸風車の 2 種類の風車のうち、風向きを選ばずに発電が出来る垂直軸風車に着目した。垂直軸風車の中でも特に有名な型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とすることで、単体でそれぞれの風車を動かすよりも更に効率的な発電が可能となる^[1]。よって本稿では小型のハイブリッド型サボニウス-ダリウス型風車を SolidWorks を用いて設計し、Ansys による流体解析を行った。サボニウス型とダリウス型のパラメータを変化させることによる、モーメント係数およびパワー係数を比較し、今回設計したハイブリッド型風車の最適設計について検討することが目的である。

2. 検討手順

2.1 Ansys を用いたハイブリッド型風車設計

Ansys を用いてシミュレーションを行う前段として、ハイブリッド型風車の設計をする必要がある。主な段階としては 2 段階あり、モデル構築、メッシュ設計からなる。境界条件を図 1 に示す。ここで D は風車の直径である。また、今回のシミュレーションで設計したハイブリッド型風車のモデルと、概念図としての 3D モデルをそれぞれ図 2 に示す。今回のモデルではハイブリッド型風車中央部にサボニウス型風車を設置し、サボニウス型

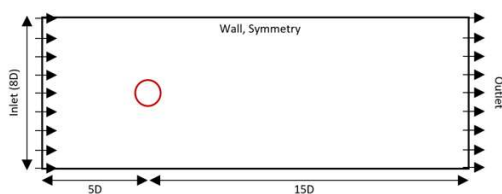
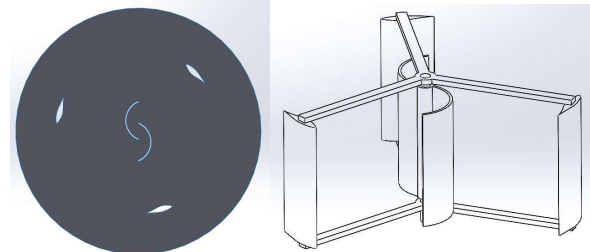


図 1 境界条件

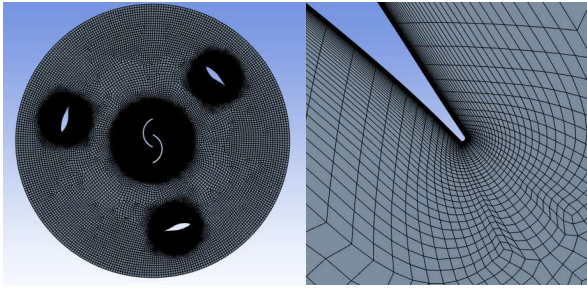


(a) ハイブリッド型風車のデザイン (b) 3D デザイン
図 2 シミュレーションで利用したハイブリッド型風車の
デザインと 3D モデル

風車の中心点から半径 10~25 cm の円周上にダリウス型風車を設置した。サボニウス型風車の半径は 5 cm とし、半円を加工した 2 枚の回転翼を、隙間を開けて設置することにより効率を高めている。ダリウス型の回転翼の形には上下対象の翼型で、主に抗力を用いて回転する NACA0012 や、上下非対称の翼型で、揚力を効率的に発生させることにより、回転性能を高めた NACA4412 などが存在する。本稿ではダリウス型の特徴である揚力の発生に重きを置くため、NREL's S809 を使用し、翼弦長は 5 cm とした。この状態でダリウス型風車の半径を 10 cm、15 cm、20 cm、25 cm の 4 段階に調整し、サボニウス型風車の半径 R_s とダリウス型風車の半径 R_D の比率である半径比 $\beta \left(\frac{R_s}{R_D} \right)$ を変化させることによるパワー係数とモーメント係数を求め、比較した。ダリウス型風車は NREL'S809 型の回転翼を 3 枚取り付け付けたモデルであり、各回転翼は 120° ずつ離れている。サボニウス型風車の中心点の線上にダリウス型風車を設置し、 195° 時計回りに回転させた回転翼を 3 枚に複製することで製作した。

2.2 メッシュ設計

CFD(Computational Fluid Dynamics)を用いて Ansys で計算するため必要なもう 1 つの手順がメッシュ設計である。メッシュとは解析対象を有限に分割した際の 1 つの要素を指し、このメッシュの位置や大きさを調整する



(a) ハイブリッド型風車のメッシュ(b) ダリウス型先端のメッシュ
 図3 メッシュ設計を施したハイブリッド型風車

ことで、解析ソフトウェアである Ansys が設計したハイブリッド型風車を計算可能な形で理解することが出来るようになる。メッシュ設計を施したハイブリッド型風車を図3に示す。メッシュ設計における重要な項目はメッシュの品質である^[2]。メッシュの品質は、平均歪度 0.121134、平均直行度 0.95309 となった。これらの値から設計したメッシュの品質は良質な部類に属し、シミュレーションの結果において高い確度を得ることが出来る。各方位角による風車のモーメント係数(C_M)を Ansys を用いて自動計算したのち、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。

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

先端速度比(TSR)を 0.5~3.5 まで 0.5 刻みで変更し、各 TSR 計 7 点でのモーメント係数を求めたのち、(1)式を用いてパワー係数に変換し、算出した。風は図1の左側(Inlet)から右側(Outlet)に一定かつ一様に分布しており、風速は 5 m/s とした。

3. 解析結果

シミュレーションによって算出された、ハイブリッド型風車の半径比 β を変化させた際のモーメント係数、パワー係数をそれぞれ図4、図5にそれぞれ示す。

サボニウス型風車の半径は 5 cm で固定しているため、ダリウス型風車の半径が 10 cm であれば半径比 β は 0.5 である。図5の結果より、ダリウス型の半径を大きくすることで、パワー係数がピークを示す先端速度比も増大していることが分かる。これは、サボニウス型風車とダリウス型風車の距離を離して設置していることで、それぞれに及ぼす影響が少なくなり、ハイブリッド型というよりもダリウス型の揚力型風車としてのとしての側面が強くなったためだと考えられる。そのため、サボニウ

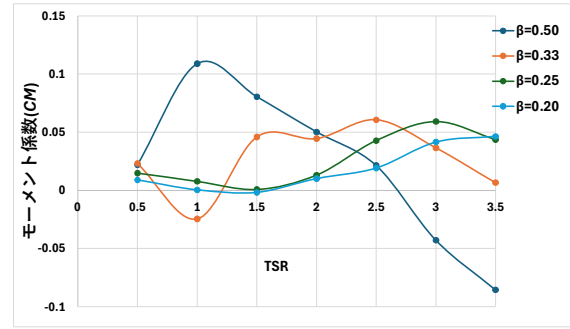


図4 モーメント係数比較

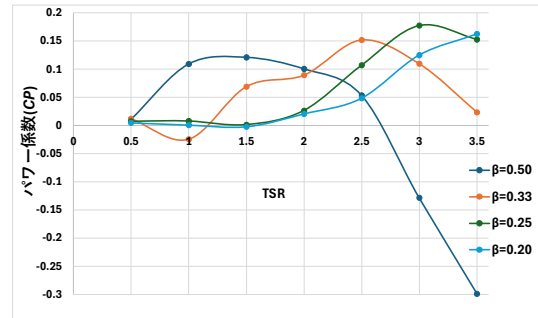


図5 パワー係数比較

ス型とダリウス型の両方の特徴を生かすハイブリッド型風車としてはダリウス型の半径が 15 cm である、半径比 $\beta = 0.33$ が望ましいということを示した。

4. まとめと今後の展望

本稿では Ansys の CFD を用いて小型のハイブリッド型風車のシミュレーションを行い、両方のメリットを共存させることの出来る半径比は 0.33 であることを明らかにした。今後の展望として、サボニウス型、ダリウス型の翼弦長や回転翼の厚みを変化させた際のモーメント係数及びパワー係数の調査、ダリウス型風車回転翼の取り付け角変化における性能の評価を行い、更なる効率の向上を目指して検討を重ねていきたい。

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., Jan. 2023, doi: 10.21926/jept.2301001.
- [2] T. Ahmad, S. L. Plee, and J. P. Myers, "Fluent User's Guide".

研究業績

- (1) 澁谷快, Elysa Nancy Irawan, 藤田吾郎, 山下健一郎 「小型のハイブリッド型垂直軸風車の半径比変化におけるパワー係数比較」令和7年電気学会・電力・エネルギー部門大会