

TSUBAME 共同利用 令和 4 年度 学術利用 成果報告書

利用課題名 集風レンズ付き風車とそのマルチロータシステムの流体シミュレーション
英文: CFD Simulations of Diffuser Augmented Wind Turbines and Multirotor Systems

胡 長洪
Changhong Hu

九州大学 応用力学研究所
Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University
URL <https://www.riam.kyushu-u.ac.jp/>

邦文抄録(300 字程度)

高い発電性能を持つ集風レンズ付き風車が注目されており、定格出力 200kW の中型レンズ風車の技術開発を進めている。本利用課題では、数値流体シミュレーションにより集風レンズ付き風車の発電性能と風抵抗を評価し、中型機用の集風レンズ形状の空力設計を行った。実機スケールのシミュレーション手法を開発し、模型スケールと実機スケールの風車の発電性能を評価した。また、集風レンズ付き風車を同一構造上に 2 基配置するマルチロータシステムに対し流体シミュレーションを行い、風車配置が発電性能に与える影響を調べた。

英文抄録(100 words 程度)

A wind lens turbine (WLT) has been attracting attention for its high-power output efficiency, and we are developing a medium-sized WLT with a rated output of 200 kW. In this project, we evaluated the power and drag coefficients of WLTs by CFD and aerodynamically designed the diffuser shape for the 200kW WLT. A full-scale simulation method was developed to evaluate the scale effect on the power coefficient of the WLT. CFD was performed on a multi-rotor system with two WLTs to investigate the relationship between turbine spacing and power gain.

Keywords: Diffuser augmented wind turbine, Aero dynamics, Multi rotor system, Lattice Boltzmann method, GPU

背景と目的

高い発電性能を持つ風車として集風レンズ付き風車が注目されており、九州大学応用力学研究所では定格出力 200kW の中型レンズ風車の開発を進めている。レンズ風車の発電性能と風抵抗は、集風レンズの形状に大きく影響される。レンズ風車の大型化、複数のロータを同一構造上に配置するマルチロータシステム化では、集風レンズに掛かる大きな風荷重が課題となる。

本研究課題では、

- ① 数値流体解析により高い発電性能を維持したまま低抵抗となる集風レンズ形状を提案すること
- ② 風洞試験が実施できない実機スケールに対する流体シミュレーション手法を確立し、レイノルズ数の影響を明らかにすること
- ③ 2 基レンズ風車から構成するマルチロータシステムの風車離間間隔が発電性能に影響を調べ、適切な風車配置を CFD により検討すること

を目的とする。

概要

本研究課題の 3 つの研究目的に対し、以下の内容を実施した。レンズ風車の流体計算には GPU と大規模計算に適した格子ボルツマン法を利用した。

- ① ベイズ最適化のソフトウェア PHYSBO を用いた多目的最適化により、高発電性能で低抵抗となる集風レンズ形状の探索を行った。CFD により発電性能と風抵抗を評価した。
- ② 実機スケールレンズ風車のブレードに対する空力特性を QBlade により算出した。そのデータを利用しフルスケールの CFD を行い、実験機スケールと結果を比較した。
- ③ 2 基のレンズ風車の隙間間隔を変えたシミュレーションを行い、単基の場合からの発電量の増加率と離間距離の簡易を調べた。

結果および考察

① 集風レンズ形状の最適化

発電性能 C_p^* (レンズ直径基準) の最大化と抗力係数 C_d の最小化を目的とし、集風レンズ形状のベイズ最適化を行った。入力変数は、入口位置、出口位置、曲率、つば高さの 4 つとした。最適化で提案された 64 個のレンズ形状 (赤:BO) を用いた場合の C_p と C_d のプロットを図 1 に示し、従来型レンズ形状 (青:Conventional) と初期データセットに用いた乱数を用いて生成した形状 (緑:Random) の結果と比較する。プロットエリアの右下に行くほど高性能で低抵抗となり、最適化で提案された形状は従来型よりも良い結果を示した。

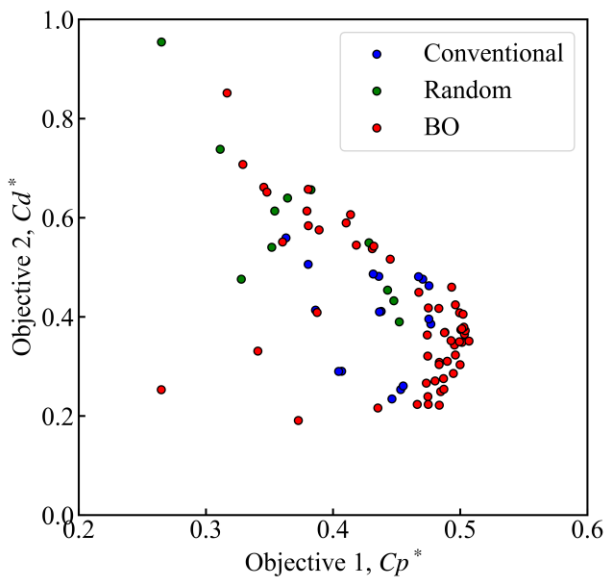


図 1 ベイズ最適化で得られた解 (評価値: パワー係数 C_p^* と抗力係数 C_d) のプロット

② 実機スケールのシミュレーション

格子ボルツマン法による CFD を用い、従来型のレンズ風車 C_i タイプと C_{ii} タイプに対して、模型スケール (ローター直径 1m) と実機スケール (ローター直径 21m) で発電性能 C_p の評価した。その結果を表 1 に示し、実機スケールでは模型スケールよりも発電性能が高くなることが分かった。

表 1 模型スケールと実機スケールのパワー係数 C_p

	C_i タイプ つば 3%	C_i タイプ つば 5%	C_{ii} タイプ つば 3%	C_{ii} タイプ つば 5%
模型	0.683	0.709	0.739	0.794
実機	0.731	0.764	0.786	0.826

③ 2 基マルチロータシステムのシミュレーション

従来型のレンズ風車 C_i タイプを横に 2 基並べた場合の発電性能 C_p を CFD により調べた。風車間の隙間は、集風レンズ直径の 0%, 10%, 20%, 50%, 100%, 200%, 300% の 7 ケースとした。単基風車と比較した場合の各風車の C_p の増加率を図 2 に示す。2 基の風車を近づけて (離間距離が直径の 50% ほど) 配置した場合、各風車の性能は単基よりも 1% ほど向上することが分かった。2 基風車が離れるほどマルチロータの相乗効果は小さくなった。

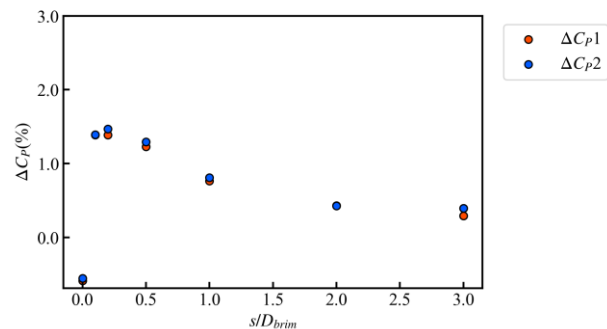


図 2 2 基マルチロータの発電量の増加率

まとめ、今後の課題

本研究課題では、レンズ風車に対して①集風レンズ形状の最適化、②実機スケールのシミュレーション、③ 2 基マルチロータシステムのシミュレーションを実施した。

ベイズ最適化と CFD を組み合わせた空力設計により、従来型のレンズ風車よりも高性能で低抵抗となる集風レンズ形状を提案した。実機スケールでは模型スケールよりも発電性能が高くなる傾向が確認された。レンズ風車のマルチロータシステムでは、2 基を近づけて配置することで発電性能が向上することが分かった。

今後、実機スケールレンズ風車と 2 基マルチロータシステムに対する空力弾性解析手法の開発を行う。