

TSUBAME 共同利用 令和 6 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)

本研究グループは定格出力 200kW の中型レンズ風車およびその 2 基マルチロータシステムの研究開発を進めている。本利用課題では、TSUBAME4.0 を利用した数値流体シミュレーションにより、200kW レンズ風車の発電性能、風荷重、空力特性を評価する。12 多角形でつば開閉機構を搭載した新しい集風レンズに対して、つば高さを変更したシミュレーション、レンズ支持構造を考慮したシミュレーションを実施し、目標とする発電性能(パワー係数 0.7 以上)を達成するためには、つばの高さを風車直径の 10%ほどにする必要があることがわかった。2 基マルチロータの設置間隔を変えたシミュレーションを実施し、すきま間隔がレンズ直径の 10%から 30%の範囲で約 2%の発電性能増加が得られることを確認した。

英文抄録(100 words 程度)

Our research group is currently developing a medium-scale wind lens turbine with a 200 kW rated power output and its multi-rotor system. This study assesses the power coefficient, wind loads, and aerodynamic characteristics of the wind lens turbine using CFD simulations on TSUBAME4.0. Simulations varied the brim height and lens support structure. Results indicate that to achieve a target power coefficient of 0.7 or higher, the brim height should be approximately 10% of the turbine diameter. Additionally, multi-rotor simulations varying turbine spacing showed a potential 2% increase in power output within a 10% to 30% range of the lens diameter.

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

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(レンズ風車)が注目されている。本研究グループは九大発ベンチャーである(株)リアムウィンドの共同実施者として、環境省の地域競争・セクター横断型カーボンニュートラル技術開発・実証事のプロジェクトで定格出力 200kW の中型レンズ風車およびそのマルチロータシステムの研究開発を進めている。本研究課題では、200kW レンズ風車用に開発された 12 多角形つば開閉機構付き集風レンズに対して数値流体シミュレーションを行い、発電性能や風荷重を評価することを目的とする。また、200kW レンズ風車を 2 基並べたマルチロータシステムの発電性能やウェイクについても調査する。

概要

12 多角形でつば開閉機構を搭載した新しい集風レンズに対して、つば高さを変更したシミュレーション、レンズ支持構造を考慮したシミュレーションを実施した。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。環境省事業で目標とする風車の発電性能を示すパワー係数が 0.7 以上を達成するためには、つばの高さは風車直径の 10%ほどにする必要があることがわかった。2 基構成のマルチレンズ風車の設置間隔を変えたシミュレーションを行い、発電性能を調べた。レンズ間にすきまがない場合はマルチロータにすることで発電性能が低下するが、すきまを設けることで発電性能は向上し、すきま間隔がレンズ直径の 10%から 30%の範囲で約 2%の発電性能増加が得られた。

結果および考察

シングル風車の計算

つば開閉機構を搭載した 12 角形集風レンズを 200kW 中型レンズ風車へ採用可能か検討するために、縮尺 1/21 のロータ径 1 m モデルに対して数値流体力学シミュレーションを実施した。流体シミュレーションには格子ボルツマン法を、タービンのモデル化にはアクチュエーターラインモデルを用いた。計算対象の形状モデルを図 1 に示す。つば高さが Ci タイプ 6.7% 相当のモデル、および可動部のつばを Ci タイプ 10% 相当まで延長したつば拡大モデルの 2 種類である。また、タワーとレンズ支持構造物の影響を調査するため、それらの構造を除いたモデルのシミュレーションも実施した。流入風速は 11 m/s の一様流れとし、ロータの回転数は周速比が 4.0 となるように設定した。

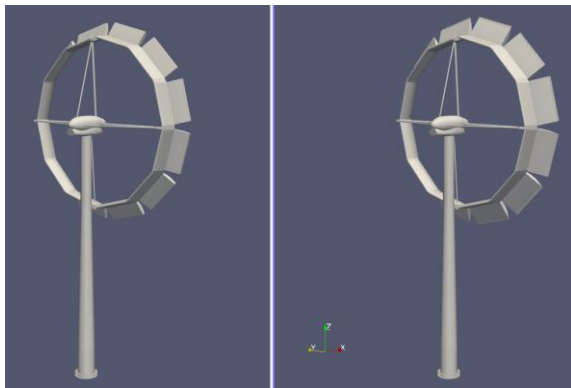
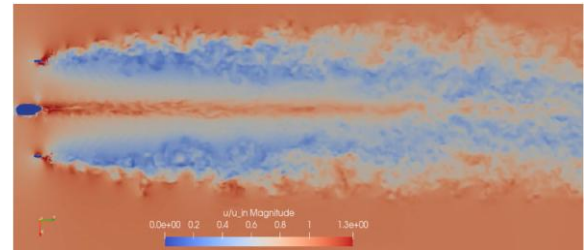


図 1 つば開閉機構付きレンズ風車モデル
(左: つば高さ Ci6.7% 相当, 右: Ci10% 相当)

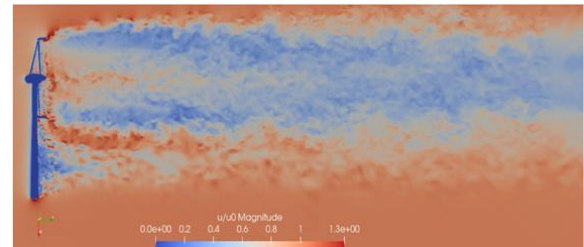
シミュレーションで得られた風車近傍の速度場を図 2 に示す。一例として、つば高さ Ci6.7% 相当のレンズで、支持構造なしのモデルとタワーとレンズ支持構造を加えた形状モデルの結果を比較している。色は速度の絶対値を流入風速 11m/s で除して無次元化した値を示す。つばの隙間に高速な流れが発生していることがわかる。タワーとレンズ支持構造物はロータ面への流入を乱している。

タワーとレンズ支持などの風車構造物がない場合、パワー係数はつば 6.7% で 0.757, つば 10% で 0.804 であり、どちらも目標としているパワー係数 0.7 以上となった。しかし、ダウンウィンドタイプであるレンズ風車では、タワーとレンズ構造物はロータ面の風を乱し性能

を低下させ、つば 6.7% では 0.692, つば 10% では 0.721 となった。Cp が 0.7 以上を達成するには、つば高さを風車直径の 10% 相当にする必要があることが CFD シミュレーションから確認された。



(a) 支持構造物なし



(b) 支持構造物あり

図 2 つば開閉機構付きレンズ風車のシミュレーション結果

マルチロータ風車の計算

つば開閉機構付きレンズ風車の 2 基構成マルチレンズ風車の CFD シミュレーションを実施し、2 基風車のすきまが発電性能に与える影響を調査した。ロータ直径は 0.442 m, つば直径は 0.594 m, 流入風速は 17 m/s, 周速比は 4.0 と設定した。2 基の風車レンズ間のすきま s はつば直径を D_{brim} として $s/D_{brim} = 0\%, 5\%, 10\%, 20\%, 30\%, 40\%, 50\%$ とした 7 ケースを設定した。

2 基構成マルチレンズ風車の発電性能を、2 基のシングルレンズ風車の発電性能 $C_{P,SA}$ からの増加率 ΔC_p で評価する。シングルレンズ風車と比較したときのマルチレンズ風車の各風車の発電性能増加率 ΔC_{pi} を

$$\Delta C_{pi} = \frac{C_{Pi}}{C_{P,SA}} - 1, \quad (i = 1, 2)$$

と定義する。CFD で得られたレンズ間のすきま間隔 s/D_{brim} に対する発電性能増加率 ΔC_p を図 3 に示す。すきまがない場合 ($s/D_{brim} = 0$) ではマルチロータにすることで発電性能が低下している。レンズ間にすきまを設

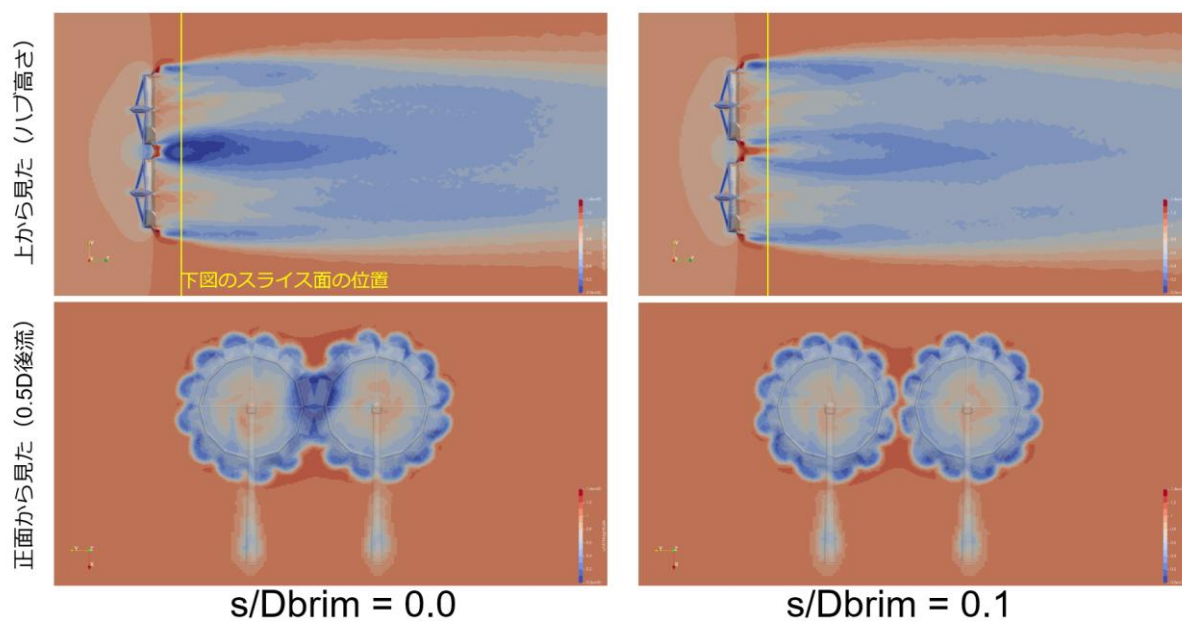


図 4 2 基構成マルチレンズ風車の CFD シミュレーション結果

けることで発電性能は向上し、すきま比が 10%から 30%の範囲で約 2%の発電性能増加が得られた。すきまが大きくなるほどマルチロータ用の支持構造が大きくなりコスト増加につながるため、高い発電性能増加率を得られつつ、レンズ間のすきまは可能な限り小さくするのが望ましい。CFD の結果から、マルチロータの適切なレンズ間のすきま間隔はレンズ直径の 10%であると考えられる。

すきま間隔が 0%と 10%の平均風速を風車の上から見た流れ場と正面からみた流れ場の 2 通りで図 4 に示す。すきまがない場合、2 基の風車の中で低速領域が形成されている。一方、すきまがあるとすきまから高速な流れが発生してレンズ後方の渦を増強し、その結果、マルチロータの発電性能が向上したと考えられる。

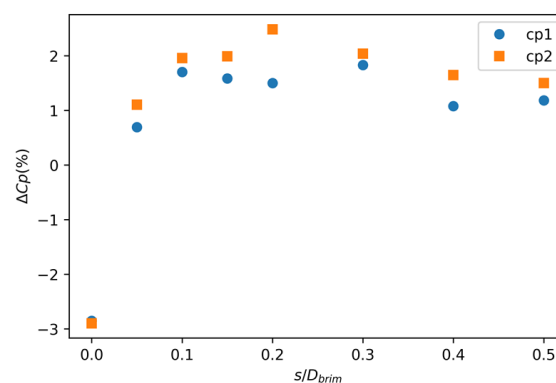


図 3 2 基構成マルチレンズ風車の発電性能増加率とレンズすきま間隔の関係

まとめ、今後の課題

本研究課題は、200kW 中型レンズ風車用に開発された新しい集風レンズの空力特性を格子ボルツマン法による流体シミュレーションで評価した。レンズ支持構造による流入風の乱れはパワー係数を 10%弱低下させることがわかり、パワー係数 0.7 以上を達成するためには、風車直径に対して 10%のつば高さが必要であることを CFD で示した。新しい集風レンズを用いた場合、2 基構成マルチロータシステムにすることで発電性能が 2%ほど向上することが明らかになった。