

マルチロータ化した2基レンズ風車の風車間隔の近接による出力向上及び後流干渉に関する研究

戸越, 將太
九州大学大学院総合理工学府総合理工学専攻機械・システム理工学メジャー

<https://hdl.handle.net/2324/6788229>

出版情報：九州大学, 2022, 修士, 修士
バージョン：
権利関係：



マルチロータ化した2基レンズ風車の風車間隔の近接による出力向上及び後流干渉に関する研究

九州大学総合理工学府総合理工学専攻 風工学研究室
戸越 将太

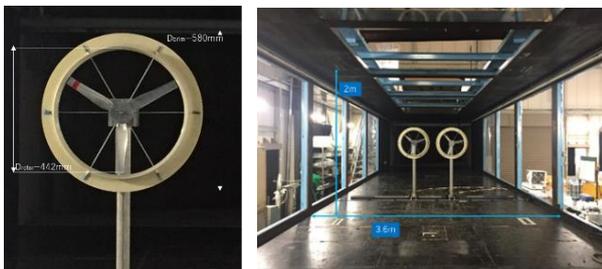
1. 緒言

近年風車の大型化に伴って、部材強度や山間部への運搬などといった技術的問題、低周波騒音や景観といった社会的問題が発生してしまい、大型化と異なるアプローチが模索されている。これらの問題を解決する風車の1つとして、同一垂直平面内に複数の風車をまとめて配置するマルチロータシステムが提唱されており、本研究室ではこのマルチロータ風車に高効率な風車として知られるつば付きディフューザ風車(レンズ風車と呼ぶ)を用いたマルチレンズ風車の開発に取り組んでいる。

本研究では2基レンズ風車の近接に伴う流れの干渉が風車性能に及ぼす影響に関して知見を得ることを目的として、風洞実験による出力測定試験と後流測定及び、数値計算による流れ場の考察を行った。

2. 風洞実験による風車出力及び後流測定

風洞実験で使用した風車モデル及び配置を図1に示す。ロータ直径 $D_{rotor}=442\text{mm}$ 、集風体モデル C1ib7.5 を使用し、風車の位置は測定部の上流側から 7.0m とした。ブロッキングの影響を小さくするために、出力測定では測定部の風上側から 4m から 10m まで、後流測定では測定部の風上側から 4m から 12m までの側壁と天井を取り除いた。



(a) 風車モデル (b) 風車配置

図1 風車モデル及び配置概観図

レンズ風車の出力測定では、最適周速比($\lambda=4$)での運転時におけるレンズ風車単基、及び2基レンズ風車の出力係数 C_p をそれぞれ測定した。風車の配置間隔は集風体外径 D_{brim} と、風車間隔 s の比を $s/D_{brim}=0.0\sim 3.2$ と変化させた。結果の解析には2基配置時の各風車と単基風車の出力係数を比較し、単基風車に対する2基風車の出力増加率を ΔC_p として評価した。

レンズ風車の後流測定では、超音波流速計を用いて風車後方の流速を計測し、静圧管と差圧計を用いて風車後方の静圧と風洞解放部の基準圧との差圧を測定した。測定は、レンズ風車のつば位置を基準として、下流側に $0.5D_{brim}$ 、及び $1.0D_{brim}\sim 5.0D_{brim}$ の範囲を $1.0D_{brim}$ ごとの位置で風洞断面水平方向に 0.05m ピッ

チで流速、及び圧力分布をそれぞれ測定した。測定パターンとしては2基の風車間隔 $s/D_{brim}=0.05, 0.8, 1.6, 3.2$ の後流を測定した。結果の解析には測定した圧力差を、風洞上流風速 U_∞ より求めた動圧で除した圧力係数 C_p と、後流測定実験で測定した風速を風洞上流風速 U_∞ で除した無次元流速 u^* を用いて評価した。

$s/D_{brim}=0.0\sim 3.2$ における2基配置風車の出力を単基風車と比較した際の出力増加率を図2に示す。図2より2基風車は、風車間隔が広い状態では単基に対して出力の増加が見られず、風車間隔を狭めていくほど単基風車に対して出力の増加が見られ、 $s/D_{brim}=0.05, 0.15$ において出力増加率が最大値 6.4% となった。風車間隔を広げた場合には単基風車と比較して出力が増加しなかったことから、ブロッキングの影響は小さいと考えられ、風車間隔を近接させたマルチロータ化による流れの干渉効果が出力増加の主要因と考えられる。

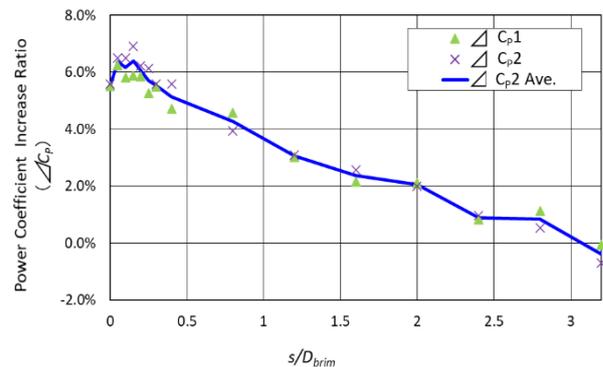


図2 出力増加率 ΔC_p

風車間隔を変えた場合の風車後方 $0.5D_{brim}$ における圧力の水平方向分布の比較を図3に示す。 $s/D_{brim}=0.05, 1.6$ における風車後流圧力場を図4に、風車後方主流方向流速分布を図5に示す。図3より、風車間隔の変化により風車後方での圧力に変化が見られ、風車間隔が狭まるほど風車後方圧力が単基の場合と比較して低下していることが分かる。また図4より、風車間隔が近接した際、圧力低下域が一体化した様子が見てとれる。また風車間隔が広い場合と比較して、圧力の低下範囲が下流側へ広がり、風車直後の圧力値が大きく低下している。この風車後方圧力の低下によって風車に流入する風が加速されたことが、風車間隔を近接させた際に出力が増加した要因と考えられる。また図5より、風車間隔が広い場合では各風車後方にそれぞれ減速領域が独立して存在しているのに対し、レンズ有では後流の減速領域が一体化していく様子が見られる。この後流構造の違いが、風車後方圧力の低下範囲の変化に繋がったと考えられる。

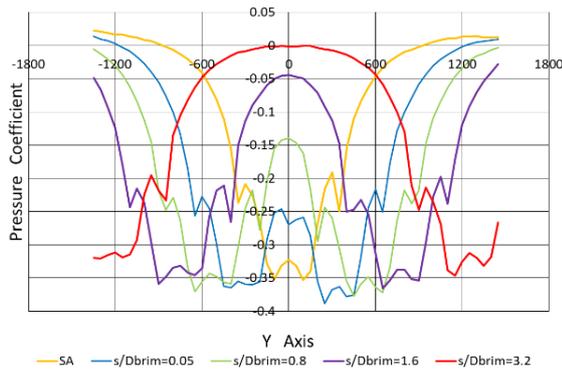
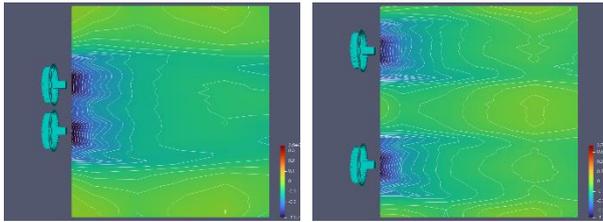
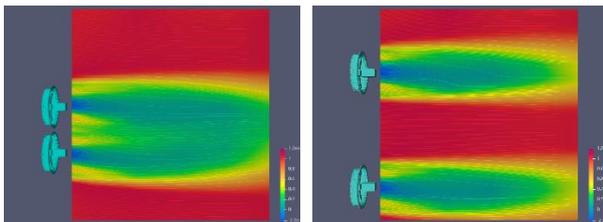


図3 風車間隔の違いによる圧力係数の変化



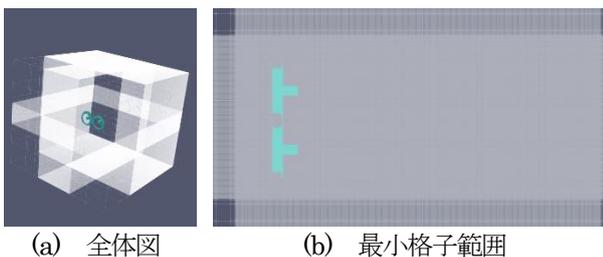
(a) $s/D_{brim}=0.05$ (b) $s/D_{brim}=1.6$
図4 風車後流流れ場



(a) $s/D_{brim}=0.05$ (b) $s/D_{brim}=1.6$
図5 風車後方主流方向流速分布

3. 数値計算による流れ場の考察

上記の風洞実験の結果を受け、風車同士を近接させた際の風車まわりの流れの干渉による流れを考察するため、数値計算に基づいた流れ場の可視化を行った。計算に用いた格子は図6に示す直交格子であり、 $13D_{rotor} \times 12D_{rotor} \times 10D_{rotor}$ ($x \times y \times z$)の3次元空間を有する。風車後流に着目するため、風車近傍及び、風車後方領域($8.9D_{rotor} \times 4.0D_{rotor} \times 2.0D_{rotor}$)で最小格子幅を $0.01 D_{rotor}$ で等間隔に設定した。可視化した瞬間速度場の風車中心高さでの水平断面を図7に、風車間中央での垂直断面を図8に示す。また可視化した時間平均速度場の流線を表したものを図9に示す。図7より、風車間でのつばで生成された減速域が混合し、風洞実験と同様に風車後流の一体化が見られた。図7、図8より、風車直後の隙間流れに増速部分が見られた。また、図9より、風車間流れの増速により強い渦が生成され、後方圧力の低下に繋がったと考えられる。



(a) 全体図 (b) 最小格子範囲
図6 グリッド及び風車モデル

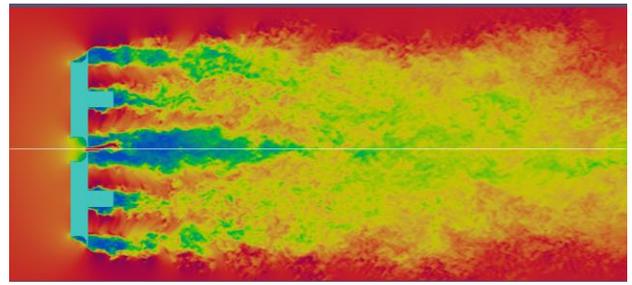


図7 瞬間速度場の風車中心高さでの水平断面

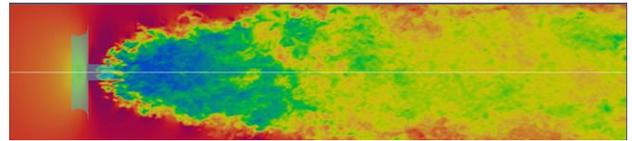


図8 瞬間速度場の風車間中央での垂直断面

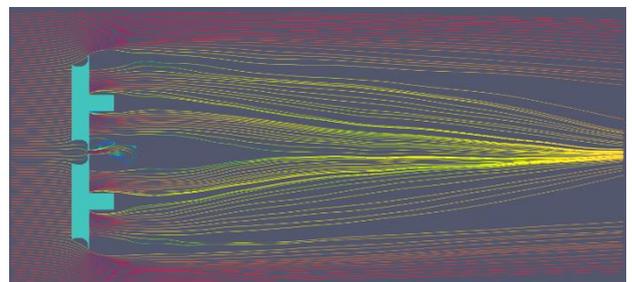


図9 平均速度場の風車中心高さでの水平断面流線図

4. 結言

本研究では2基レンズ風車における風車の近接が風車性能に及ぼす影響について風洞実験及び数値計算を行った結果、次の知見を得た。

- 2基風車配置における風車間隔 s/D_{brim} の影響について、出力測定試験より風車間隔が狭くなると出力の増加が見られ $s/D_{brim}=0.05$ 、及び 0.15 において出力増加率が最大 6.4% となった。
- 風車間隔 $s/D_{brim}=3.2$ では単基風車と比較して出力の増加が見られなかったことから、ブロッキングの影響は小さいと考えられ、マルチロータ化による流れの干渉効果が出力増加の原因と考えられる。
- 風車後流測定により、風車間隔を狭めていくと、風車後方圧力が単基の場合と比較して低下していく様子が見られ、近接させた際には圧力低下範囲が一体化し、風車直後の圧力がより大きく低下している様子が見られた。また、後方流速測定では後方に行くにつれ後流が一体化し干渉している様子が見られた。
- 数値計算による可視化により、風車後方の減速域が混合し、風洞実験同様に風車後方の減速域が一体化する様子が見られた。また、風車隙間流れの増速により強い渦が生成され、後方圧力の低下、ひいては風車に流入する流れの増速に繋がり、風車出力が増加したと考えられる。

研究発表実績

- 日本流体力学会年会 2022, 口頭発表 1件
- 日本風力エネルギー学会 第44回風力エネルギー利用シンポジウム, 口頭発表 1件