

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)（特設分野研究）

研究期間：2018～2020

課題番号：18KT0062

研究課題名（和文）シングルからマルチロータシステムの採用による風車システムの発電・構造性能の強化

研究課題名（英文）Enhancing the power generation and structural performance of wind turbine systems by adopting multi-rotor systems

研究代表者

渡邊 康一（Watanabe, Koichi）

九州大学・エネルギー研究教育機構・准教授

研究者番号：30811799

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：大型化を続ける風車の製造開発や社会受容性の問題解決のため、複数の風車を集めたマルチロータシステムを研究した。風車にレンズ風車を用いると、基数を増加させるほど出力性能を増加させられることを明らかにした。これは風車間のGAPフローの効果で、大型の風車を1基設置するよりも、小型のレンズ風車をクラスタ化して設置したほうが高い発電能力が得られ、空力弾性、および構造強度面からの要請にも柔軟に対応できることを意味する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで風車で高い発電性能を得るためには、単基（シングル）風車を大型化させる方法がとられてきた。本研究で得られた成果は、レンズ風車を複数集めてクラスタ化することで、流体力学的に相乗効果を生み出して発電能力を高められること、また、その効果は基数が多くなるほど高まることを明らかにしたことである。この方法を採用することで、大型1基よりも、小型のクラスタ風車のほうが高い発電能力が得られる上に、空力弾性、および構造強度面からの要請にも柔軟に対応でき、故障にもロバストなシステムとできる。

研究成果の概要（英文）：In order to solve the problems of manufacturing and social acceptability of wind turbines, which are becoming larger and larger, a multi-rotor system with a cluster of wind turbines was studied. It was found that when wind lens turbines were used as wind turbines, the output performance was increased with increasing the number of wind turbines. It was due to the effect of gap flow between the wind turbines. The result means that a cluster of small lens wind turbines can provide higher power generation capacity than a single large wind turbine, and can flexibly respond to the requirements of aeroelasticity and structural strength.

研究分野：エネルギー学

キーワード：マルチローターシステム レンズ風車 クラスタ化

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

世界の風力発電導入量は過去 20 年で 70 倍以上に急増し、風況に恵まれた先進国ではコスト面でもグリッドパリティが達成されはじめています。それに大きく貢献したのは風車の大型化による発電能力向上であり、20 年前 50m 程度だったロータ直径は現在 160m 以上、1 基当たりの出力も 700kW から 7MW 以上と 10 倍以上に増加した。今後も地球温暖化防止とエネルギーの安定供給のために、風車の更なる能力向上が求められるが、大型化には以下の困難が伴う。

- ・材料技術の進歩によって支えられてきたブレード開発も、これ以上の長大化には対応困難
 - ・1 つ 1 つの構成部品が巨大な風車は、導入、メンテナンス上の制約が大きく、普及を妨げる
 - ・騒音、落雷、バードストライク等の風車の諸問題が、風車の大型化に伴って増大する
- すなわち風車開発自体の困難と、社会受容性が低下するという問題が存在した。

2. 研究の目的

本研究では風車の大型化に伴う風車開発自体の困難と、社会受容性が低下するという問題にブレイクスルーを与えるため、シングル(単基)の大型風車をさらに大型化させようとする発想を転換し、世界最高レベルの性能をもつ中型風車を多数集めてクラスタ構造とするマルチロータシステムの実現を目指す。マルチロータシステム(Multi Rotor System: MRS)とは、複数の風車を垂直面内に並列配置し、集合で大きな発電量を得る方式である。この MRS に、世界最高レベルの発電効率と静粛性、防雷性、防バードストライク性を併せ持つ、風レンズ(レンズ風車)を採用する。この MRS とレンズ風車の融合により、上述の風車の大型化に伴う諸問題を全て解決できる可能性が高い。

3. 研究の方法

大型風洞を用いたマルチロータシステムのモデル試験、マルチロータシステムまわりの流れの数値解析を行った。個々の風車の配置、および基数が増加した場合の影響などを詳細に調査し、マルチロータシステムの有効性を検証した。

大型風洞を用いたモデル試験では、最大 7 基の風車を用いた試験を実現した。プロローダの影響を抑えつつ、十分な Re 数を達成するには、小型の風車を高風速化で実験する必要があったため、直径 44cm の剛性の高い金属製ブレードの風車を製作し、近寄り風速が最大 17m/s の実験を行った(図 1)。1 基から 7 基までレンズ風車を組み合わせ、主流方向に段違いに配置するスタガード配置(図 2)を含む、様々な配置で風車の出力等を測定した。



図 1 マルチレンズ風車の風洞実験

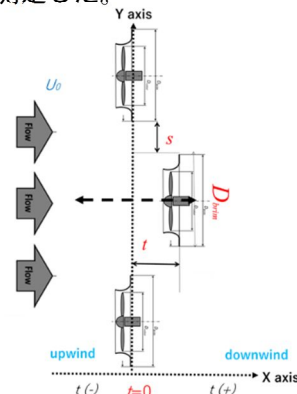


図 2 スタガード配置

数値計算は、主に有限差分法を用いた構造格子での非圧縮 3 次元計算(図 3)を行い、風車はアクチュエータラインモデルによってモデル化した(図 4)。様々な配置でのマルチレンズ風車の計算を実施し、流れ場の解析を行った。

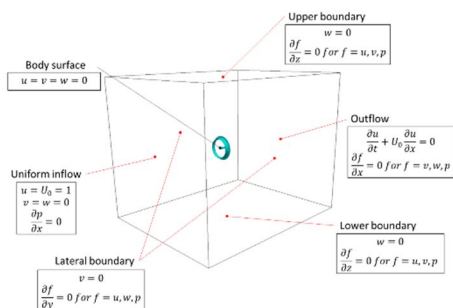


図 3 流れの数値シミュレーション

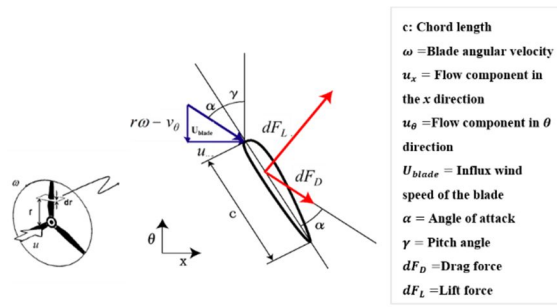


図 4 アクチュエータラインモデル

4. 研究成果

(1) 実験結果

図5から図7に、実験結果によって得られたマルチレンズ風車の出力増加率を示す。図5、6に示すように、レンズ風車同士の間隔には最適値があり、隙間がレンズ風車のつば直径 D_{brim} の20%であるときに最も高い出力が得られることが分かった。この傾向は、レンズ風車の基数が変わっても同様であった。

風車群の一部を主流方向に移動させたスタガード配置の場合に、出力増加に与える影響を調べた結果を図7に示す。全風車を同一平面に置いた場合に最も高い出力増加が得られたが、スタガード配置した場合でも、全体としての出力増加はほとんど低下しない。つまり、構造強度上の制約などから、風車を同一平面に配置できない場合には、主流方向にずらした配置にしたとしても、マルチレンズ風車の出力増加効果は得られることが分かった。

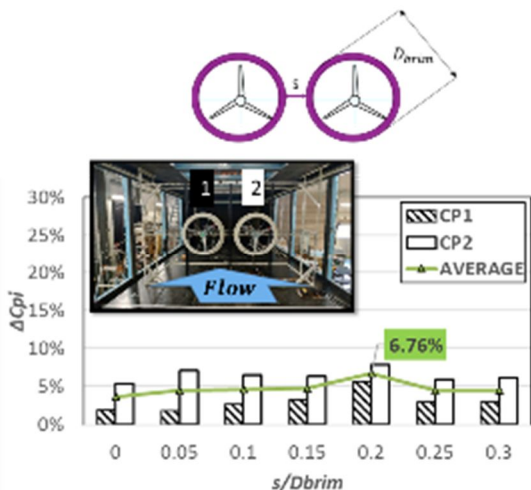


図5 2基の実験結果

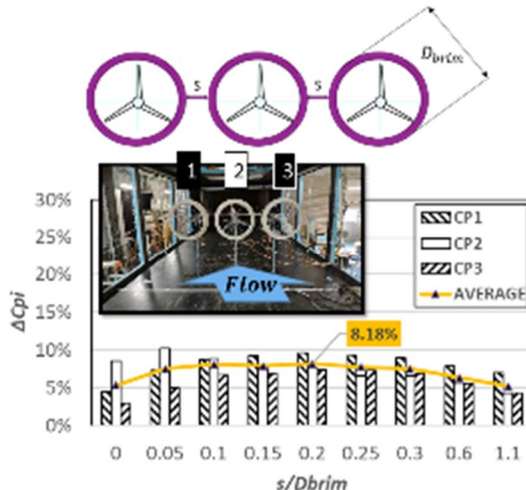


図6 3基の実験結果

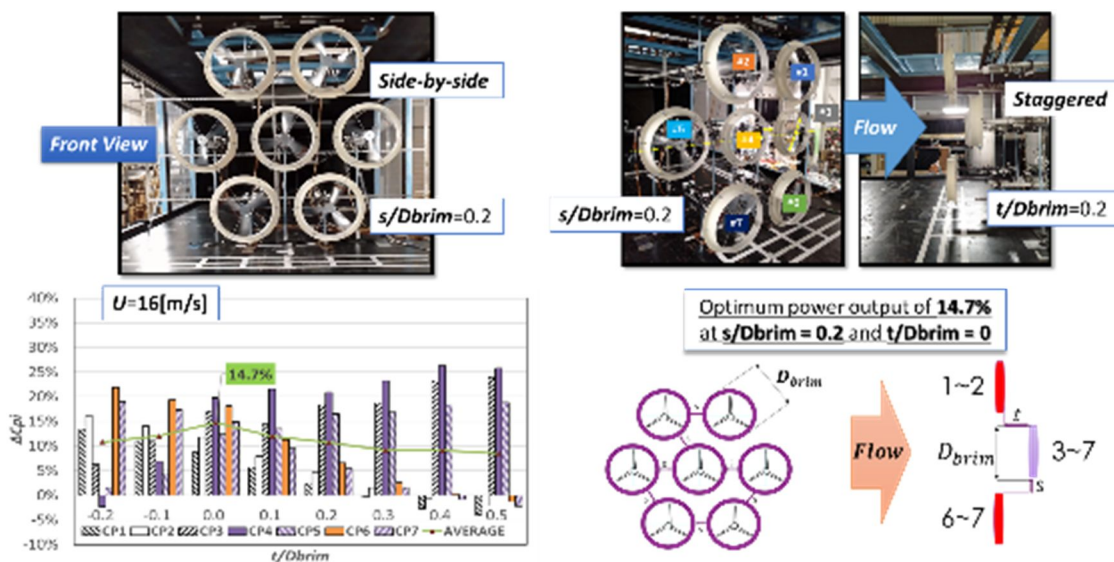


図7 7基の実験結果

図8に、レンズ風車の基数を変化させた場合に、出力増加に与える影響を示す。基数を増加させるほど、出力の増加率は大きくなることが分かった。すなわち、単基の大型風車の代わりに、小型のレンズ風車を多数集めていくことで、より大きな発電量を生み出していくことができる。マルチローターを採用することで出力を増加させられるシステムは世界でも他に例がなく、今後、野外実験などでさらに多数の風車をういた検証を通じて、更なる性能向上が期待される。

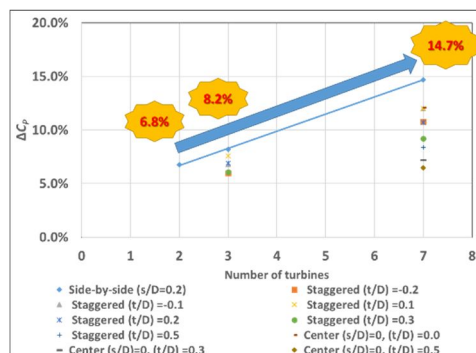


図8 基数と出力増加の関係

(2) 数値解析結果

図9に風車間隔が異なる場合の、レンズ風車周りの流れ場を示す。間隔が狭い場合(左図)は、隙間流れが弱く、偏向してしまうため、高い出力増加につながらないことが分かった。適切な間隔の場合(右図)、隙間流れが大きく加速し、それぞれのレンズ風車の後方の圧力を大きく低下させる。これが高い出力増加につながっていることが分かった。

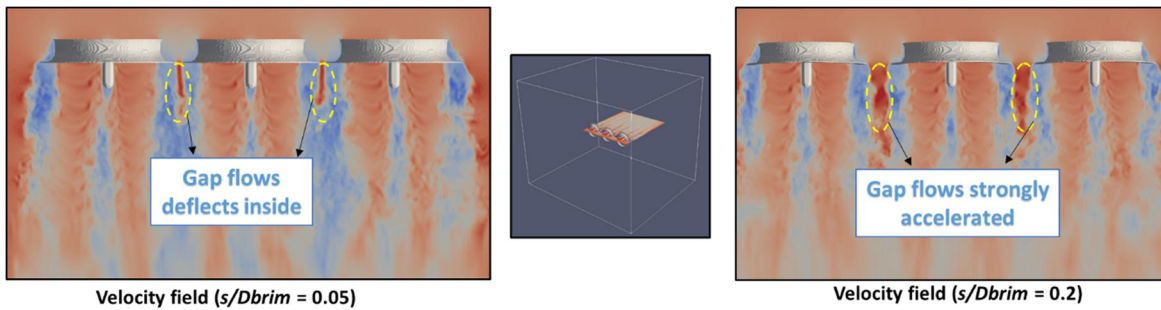
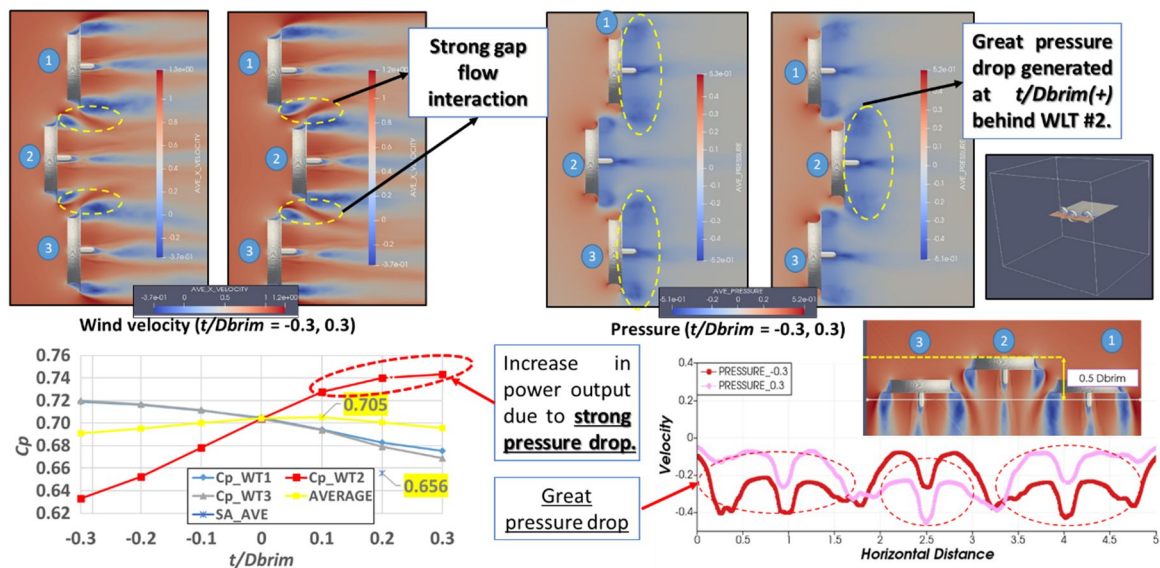


図9 3基の数値解析結果

図10にはスタガード配置した場合の、レンズ風車周りの流れ場を示す。マルチレンズ風車においてスタガード配置した場合は、常に下流側の風車の出力が高くなる傾向にある。これは上流側の風車を避けた加速流れが、下流側の風車に干渉し、高い出力を生み出すことが原因であることが分かった。



すなわち、マルチレンズ風車は以下の特性を持ち、単基の大型風車と同じ大きさで、より高い出力を達成できるとともに、静粛性、防雷性、防バードストライク性を併せ持つロバストな人工物システムであることが実験と数値解析の結果より示された。

- 風車の基数が増加するほど高い出力増加性能を発揮する
- 風車間隔はレンズ風車の出口つば直径の20%程度が最適である
- 主流方向に風車をずらしたスタガード配置としても全体の出力増加性能は維持される
- 下流側に配置した風車の出力は、相対的に上流側の風車より高くなる

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 4件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Halawa Amr M., Uchida Takanori, Watanabe Koichi, Ohya Yuji	4. 巻 1618
2. 論文標題 Validation Study of Multi-Rotor Systems Using Two Shrouded Wind Turbines	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 032017 ~ 032017
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1742-6596/1618/3/032017	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Watanabe, Ohya, Uchida	4. 巻 12
2. 論文標題 Power Output Enhancement of a Ducted Wind Turbine by Stabilizing Vortices around the Duct	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Energies	6. 最初と最後の頁 3171 ~ 3171
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/en12163171	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Yuji Ohya, Koichi Watanabe	4. 巻 141
2. 論文標題 A New Approach Toward Power Output Enhancement Using Multirotor Systems With Shrouded Wind Turbines	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Energy Resources Technology	6. 最初と最後の頁 51203
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1115/1.4042235	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Watanabe Koichi, Ohya Yuji	4. 巻 141
2. 論文標題 Multirotor Systems Using Three Shrouded Wind Turbines for Power Output Increase	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Energy Resources Technology	6. 最初と最後の頁 051211 ~ 051211
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1115/1.4042971	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 村上大河、内田孝紀、渡邊康一、大屋裕二	4. 巻 40
2. 論文標題 スタagger配置による複数の集風体付き風車の性能向上に関する研究	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 第40回風力エネルギー利用シンポジウム講演集	6. 最初と最後の頁 361 ~ 364
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Y. Ohya, K. Watanabe	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 A New Wind Turbine System Using Multiple Rotors with Brimmed Diffusers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of Grand Renewable Energy 2018 International Conference and Exhibition	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Koichi Watanabe, Taiga Murakami, Yuji Ohya, Takanori Uchida	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Staggered multi-rotor systems with brimmed-diffuser augmented turbines	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 15th International Conference on Wind Engineering	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 David CARRILLO-CANIZALEZ、渡邊康一、内田孝紀、大屋裕二
2. 発表標題 複数のつば付きディフューザー風車を用いたマルチローターシステムの出力性能向上に関する研究
3. 学会等名 日本流体力学会年会 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 David CARRILLO-CANIZALEZ, Koichi Watanabe, Takanori Uchida, Yuji Ohya
2. 発表標題 Various Arrangements for Diffuser Augmented Wind Turbines Used in a Multi Rotor System
3. 学会等名 日本機械学会 第98期 流体工学部門 講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 David CARRILLO-CANIZALEZ, Koichi Watanabe, Takanori Uchida, Yuji Ohya
2. 発表標題 Power Output Enhancement of Wind Lens Turbines Used in Various Arrangements of Multi-Rotor System
3. 学会等名 第42回風力エネルギー利用シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Koichi Watanabe, Yuji Ohya
2. 発表標題 Power output enhancement of a ducted wind turbine with various shapes of brim
3. 学会等名 Wind Energy Science Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuji Ohya, Koichi Watanabe
2. 発表標題 Multi-rotor systems in staggered arrangements using diffuser augmented wind turbines
3. 学会等名 Wind Energy Science Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大屋裕二、烏谷隆、内田孝紀、渡邊康一
2. 発表標題 つば付きディフューザ風車を用いたマルチロータシステム の野外実験 - その2 乱れ特性の影響
3. 学会等名 第41回風力エネルギー利用シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村上大河、内田孝紀、渡邊康一、大屋裕二
2. 発表標題 スタガード配置による複数の集風体付き風車の性能向上に関する研究
3. 学会等名 第40回風力エネルギー利用シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Ohya, K. Watanabe
2. 発表標題 A New Wind Turbine System Using Multiple Rotors with Brimmed Diffusers
3. 学会等名 Grand Renewable Energy 2018 International Conference and Exhibition (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koichi Watanabe, Taiga Murakami, Yuji Ohya, Takanori Uchida
2. 発表標題 Staggered multi-rotor systems with brimmed-diffuser augmented turbines
3. 学会等名 The 15th International Conference on Wind Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------