

## 洋上浮体に搭載したレンズ風車が受ける浮体の風干渉効果

### Wind interference effect on the wind-lens turbine installed on a floating body of an off-shore wind farm

- 松島 啓二, 九大応力研, 福岡県春日市春日公園 6-1, matusima@riam.kyushu-u.ac.jp  
川久保 彰人, 九大応力研, 福岡県春日市春日公園 6-1 (研究当時)  
大屋 裕二, 九大応力研, 福岡県春日市春日公園 6-1, ohya@riam.kyushu-u.ac.jp  
烏谷 隆, 九大応力研, 福岡県春日市春日公園 6-1, karasu@riam.kyushu-u.ac.jp  
内田 孝紀, 九大応力研, 福岡県春日市春日公園 6-1, takanori@riam.kyushu-u.ac.jp  
Keiji Matsushima, Kyushu University., 6-1 Kasuga-koen Kasuga-city Fukuoka JAPAN  
Akito Kawakubo, Kyushu University., 6-1 Kasuga-koen Kasuga-city Fukuoka JAPAN  
Yuji Ohya, Kyushu University., 6-1 Kasuga-koen Kasuga-city Fukuoka JAPAN  
Takashi Karasudani, Kyushu University., 6-1 Kasuga-koen Kasuga-city Fukuoka JAPAN  
Takanori Uchida, Kyushu University., 6-1 Kasuga-koen Kasuga-city Fukuoka JAPAN

In the off-shore wind farm, the flow is accelerated by overcoming the floating body. In this research, their effect on generation performance of the wind-lens turbine is investigated by both experiments and calculations. Wind tunnel experiments and numerical simulation using a model of wind farm model is planned for the demonstration test ware affirming the wind-lens turbine output increase. Furthermore, we investigated the change in the wind turbine output by changing the height of wind turbine and shape of floating body. As a result, one of the guidelines for optimal form of the off-shore wind farm has been found.

#### 1. 序論

近年, エネルギー問題や環境問題を背景に風力発電の導入が世界的に進行している. しかし日本では急峻な地形や平野部の高い人口密度により, 大規模なウインドファームを陸上に建設することができない状況にある. 一方で日本の排他的経済水域(EEZ)と領海を合わせた面積は世界第 6 位であり, 今後洋上風力発電による風力エネルギーの高効率利用に期待が寄せられている.

洋上風力発電の係留方式には浮体式と着床式とがある. 日本近海の大部分は水深の深い海域であるため, 洋上風力発電施設は浮体式とならざるを得ない. 九州大学の研究チームでは, 浮き島状浮体の上に風車を設置する係留方式が考えられている(Fig. 1). 浮き島方式の利点として, 他の発電方式との複合発電や漁業との共存など, 洋上風力発電施設の多目的利用が可能となることが挙げられる.

本研究では浮き島方式の更なる長所として, 流入風が浮体を乗り越えることにより発生する増速流に着目した. 過去の研究において, 船舶などの構造物上に設置された風車における出力増加が報告されている. もし洋上浮体で同様の効果が確認されれば, ナセルを下降させることによる浮体の安定性の向上にもつながる. そこで, 浮体による風車出力の増加を確認し, 洋上風車における風車の下部構造

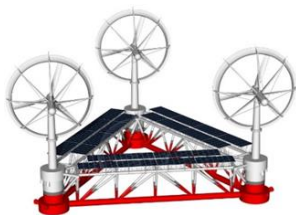


Fig. 1 Off-shore wind farm

という全く新しい観点を提案することを目的とした風洞実験および数値計算を行った.

#### 2. 風洞実験

Fig. 2 に示す風車模型および浮体模型を用いて, 風速分布計測, 風車出力計測, 可視化実験を行った. 風車ロータ径  $D=512\text{mm}$  で, 現在九大ワーキンググループで計画されている洋上風力発電施設と比較して, 約  $1/46$  の縮尺である. 集風体には 2 種類の  $C_iC_0$  サイクロイド形状を用いて, brim 高さはスロート径の  $3\%$ ,  $5\%$  とした. 流入風速は  $7\text{m/s}$  であり, コード長を代表長さとした場合のレイノルズ数は  $1.5 \times 10^4$  であり, ロータ径を代表長さとした場合は  $2.4 \times 10^5$  である. ナセル高さや浮体ヨー角, 乾舷の閉鎖状態をパラメータとして計測を行った. 浮体ヨー角の定義を Fig. 3 に示す. ナセル高さは, 計画されている浮体と相似の状態を相似条件と呼び, その他に 2 条件( $0.14D$  下降,  $0.28D$  下降)で計測を行った.

浮体のみを風洞に設置して浮体上風車ロータ位置の平均速度分布を計測すると, Fig. 4 のようになった. 平均速度  $u$  は, 流入風速  $U$  で規格化されている. また  $z$  方向座標  $z$  は, 風車ロータ径  $D$  で規格化されている. 浮体上にはく離せん断層が持ち上がり, 浮体上部の流れが加速されていることが分かる. また, はく離域内部では平均風速が大きく低下し, 乱流強度が著しく増加した. ナセル  $0.14D$  下降条件では, 相似条件と比較して浮体による増速効果をより多く取り入れることができるため,  $0.14D$  下降条件の出力は相似条件と比較して増加すると考えられる. またナセル  $0.28D$  下降条件では, 集風体下

端がはく離域に近接しているため、はく離流の影響を受け、出力が低下することが予想できる。

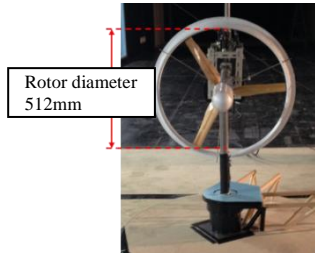


Fig. 2 Experimental model

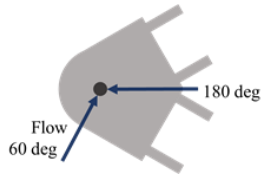
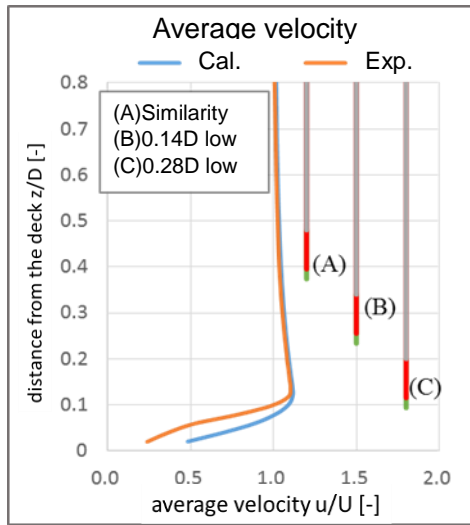


Fig. 3 The floating body yaw angle



— Rotor diameter — Outer diameter (Brim 3%)  
— Outer diameter (Brim 5%)

Fig. 4 Mainstream direction average velocity distribution (60 [deg] freeboard fully open)

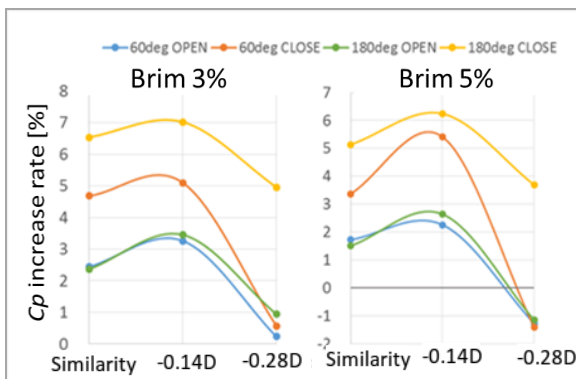


Fig. 5 Output increase rate (Exp.)

Fig. 5 に風車出力係数増加率(レンズ風車単体からの増加率)のナセル高さによる変化を示す。殆どの条件で、浮体上の風車の出力はレンズ風車単体と比較して増加した。乾舷を閉鎖することで、全開条件と比較して出力が向上した。これは浮体のブラフ性が増し、多くの流体が浮体上に持ち上がったためである。

ナセル 0.14D 下降条件では、相似条件と比較して出力が増加し、0.28D 下降条件では出力が大きく低下した。これらは Fig. 4 から推察できる傾向と一致する。また、Fig. 6 に示すスモークワイヤー方による可視化実験により、流入風の浮体上への持ち上がりが見られた。さらに 0.28D 下降条件において、はく離流が集風体近傍に達していることが確認された。

### 3. 数値計算

矩形近似法による LES プログラムを用いて、風洞実験に対応する数値計算を行った。計算条件を Table 1 に示す。主流方向平均速度と乱流強度分布、風車出力を評価項目とした。

主流方向平均速度および風車出力係数増加率の風洞実験との比較結果を、それぞれ Fig. 4, Fig. 7 に示す。数値計算においても、浮体上の流れの加速および浮体上風車の出力向上が確認された。数値計算による出力の定性的傾向は、風洞実験と大きく一致したが、ナセル 0.28D 下降条件では異なる傾向を示した。数値計算では、0.28D 下降条件での大きな出力低下は見られなかった。Fig. 4 より、数値計算では、風洞実験の値と比較して浮体上面近傍( $z/D \leq 0.1$ )での平均速度が高くなり、かつ平均速度の極大が浮体に近い位置に存在する。数値計算では、はく離せん断層が風洞実験ほど上方に持ち上がっていないことが分かる。また数値計算の乱流強度は、風洞実験の値と比較して低くなった。特に浮体上面近傍( $z/D \leq 0.1$ )での差異が大きい。数値計算では浮体上の乱れを過小評価していると言える。

乱れの過小評価の要因として、浮体上面近傍の格子

Table 1 Calculation condition

乱流モデル	LES
SGS モデル	混合時間スケール SGS モデル
メッシュ数	約 390 万メッシュ (181×151×141)
レイノルズ数	$2.4 \times 10^5$
周速比	4.0
無次元時間刻み	0.001
翼のモデル化	AL モデル, AD モデル

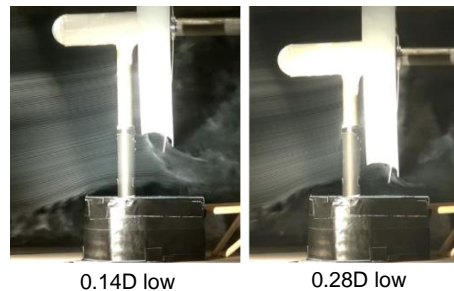


Fig. 6 Visualization

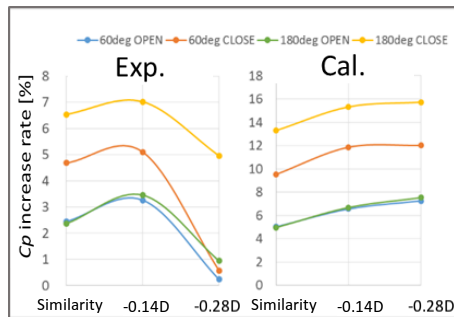


Fig. 7 Output increase rate (Exp. & Cal)

解像度が粗いことが考えられる。本研究では、計算資源上の制約から、多くのメッシュを配置することができなかった。流れ場をより正確に解析するためには、浮体上面近傍や集風体付近により多くのメッシュを配置する必要がある。しかし定性的な傾向を捉える目的では、本研究で得られた知見は有用であると言える。

#### 4. 結論

本研究では、風洞実験と数値計算により風車と浮体の干渉効果を調査し、浮き島浮体の利点となり得るかを検討した。結果として以下の知見を得た。

- 風洞実験および数値計算において、浮体上の風車は出力が増加することが確認された。
- 浮体乾舷部を閉鎖すると、浮体のブラフ性が増し、出力がさらに増加する。
- 浮体上に風車を設置する際は、適切なナセル高さを選定する必要がある。
- 風車と浮体の干渉による出力増加は、浮き島方式特有の利点となる。
- ナセル高さを低く保つことにより、浮体の安定性向上にもつながると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 川久保彰人他: 浮体式洋上風力発電施設における風車と浮体の干渉に関する研究. 航空宇宙工学専攻. 九州大学大学院. 2015. 修士論文
- 2) 大屋裕二他: 風レンズ技術を利用した風力・水力の有効利用 —浮き島式洋上エネルギーファーム— 九州大学応用力学研究所 新エネルギー力学部門 風工学分野. 2014
- 3) Yuji Ohya: Bluff body flow and vortex—its application to wind turbines. 2014
- 4) Y. Ohya, T. Karasudani: A Shrouded Wind Turbine Generating High Output Power with Wind-lens Technology, *Energies*, Volume3, Issue4. 2010
- 5) 松島啓二他: レンズ風車搭載船におけるエネルギー収支に関する研究, 風工学シンポジウム論文集, 第23回, 115-120, 2014