

研究成果報告書

所属機関	職名	氏名
呉工業高等専門学校 機械工学分野	教授	野村 高広

研究テーマ

縦渦により円柱翼を駆動する水平軸風車の研究開発

研究報告

1. 研究の背景と目的

風力発電機の中で最も普及している水平軸型風車において、航空機の翼と同様に高速で高い揚力を発生させ、効率良く迎え角を風速により調整する必要があるなど複雑な機構を要する。また、強風や台風の際には、薄肉部を有する翼の破損が発生しやすい問題がある。このように風力発電が他の再生可能エネルギーに比べて優位性をもたせるには、これまでに無い新しい風車の駆動原理の発想が望まれている。また、日本のような設置面積の少ない土地でも利用できるよう小型化も望まれている。

今回対象としている水平軸型風車は翼形状が円柱であり、形状的にも薄肉部が無いため強度が高く強風や台風に強く、設置面積の少ない日本などでの小型化もし易い。また、通常風車のようにピッチ制御が不要であるという利点備える。また、円柱翼後方に設置しているリング状円板と円柱翼の隙間間隔により風車の回転数を制御することができるという利点もある。しかしながら、風車のパワー係数が現時点では約0.03と現在実用化されている最低のパワー係数約0.14に比べ約1/5と非常に小さい。この欠点が解消される知見や技術が得られれば、風車を含む機械工学の学問領域だけでなく、産業界での波及効果は大きいと考える。

2. 研究成果および考察

2-1. はじめに

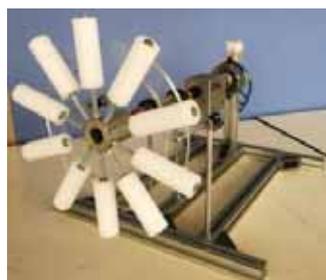
これまでの縦渦駆動風車の研究では、円柱翼の長さや円柱翼とその後方に配置されたリング状平板との隙間の比を示す隙間比について最適値が調査されてきたが、新たなパラメータを追加した研究はあまり行われていない状況である。本報告においては、リング状平板の形状による風車特性への影響を検証するため、その幅が 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40mm の異なる形状を用いて風洞実験を行い、風車性能曲線を比較した結果について紹介する。

2-2. 実験方法

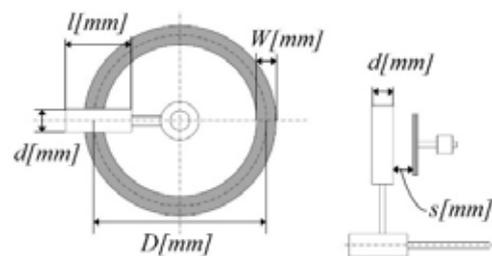
2-2-1. 風車の動作原理

製作した実験用風車を **図 1** に示す。風と翼が直行するように配置している水平軸型風車である。風車の駆動源には円柱型の翼を用いる。翼は回転軸の取付穴にシャフトで固定する。取付穴は 36 度毎にあり、最大 10 枚の翼を取り付けられる。また翼の後方にリング状平板を設置している。

前方から風を受けた円柱翼の後方にはカルマン渦が発生し、リング状平板によって縦渦に変換される。発生する縦渦の圧力は、翼とリング状平板の隙間 s と翼の直径 d の比で表される隙間比 s/d によって変わる。本実験では既存の研究から最もパワー効率の高い隙間比 $s/d=0.35$ を実験条件とする。



(a) Appearance of experimental equipment



(b) Various parameters

Fig.1 Outline of experiment equipment

2 - 2 - 2 . 測定装置

風洞装置の実験エリア内に縦渦風車実験装置を設置し実験を行った。回転数、トルクおよび動力は、トルクメータ(UTM II -0.2Nm, UNIPULSE Co., Ltd.)により計測し、トルクモニタ(TM201, UNIPULSE Co., Ltd.)を通して PC に出力される。また、回転軸に電磁ブレーキ(HB0.5, OGURA CLUTCH Co.,Ltd.)を接続し、電磁ブレーキに加える電圧を電源装置(AD-8722D, A&D Co.,Ltd.)によって制御することで風車の回転に負荷を掛け回転、トルクおよび動力を計測した。これらの計測システムの構成概要を **図 2** に示す。

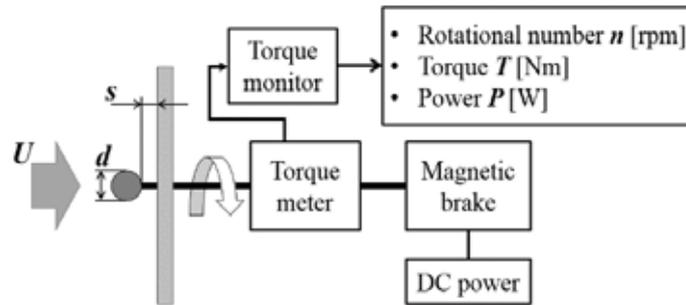


Fig.2 Outline of measurement system configuration

2 - 2 - 3 . 実験条件と性能指標

実験条件を **表 1** に示す。リング状平板の幅は $W=10, 15, 20, 25, 30, 35, 40\text{mm}$ とし、リング状平板の幅形状に注目した風車特性への影響を調査した。

Table.1 Experimental conditions

Wind speed U [m/s]	10
Blade diameter d [mm]	20
Blade length l [mm]	60
Gap ratio s/d [-]	0.35
Ring diameter D [mm]	155
Ring thickness t [mm]	5
Number of wings N [-]	10
Ring width W [mm]	10, 15, 20, 25, 30, 35, 40

計測される回転数 n 、トルク T 、動力 P から、風車の性能指標となる周速比 λ 、パワー係数 C_p を算出した。これらは式(1)、式(2)で定義される。ここで、 U [m/s]は風速、 $\omega(=2\pi n)/60$ [rad/s]は角速度、 R ($=D+l)/2$ [m]は円柱翼先端半径、 ρ [kg/m³]は流体密度、 A [m²]は円柱翼回転時のリング状の投影面積とする。

$$\lambda = \frac{\omega R}{U} \dots \dots \dots (1)$$

$$C_p = \frac{P}{0.5\rho U^3 A} \dots \dots \dots (2)$$

2 - 3 . 結果および考察

図 3 にリング状平板の幅 W をパラメータとして周速比 λ に対するパワー係数 C_p を示す。 $W=10\text{mm}$ では風車は回転に至らなかったため、 $C_p=0$ となった。その他の $W=15, 20, 25, 30, 35, 40\text{mm}$ では放物型の一般的な風車性能曲線を示していることがわかる。それぞれの C_p の最大値を縦軸に、幅 W を横軸にしたグラフを **図 4** に示す。 $W=15\text{mm}$ で $C_{p\max}$ は一端上昇するものの $W=20\text{mm}$ で $C_{p\max}$ が下がり、 $W=25\text{mm}$ が $C_{p\max}$ のピークとなり、 $30, 35, 40\text{mm}$ と C_p は低下した。計測された $C_{p\max}$ の範囲は $0.834\% \sim 1.113\%$ となっており、 W によって $C_{p\max}$ に差が発生していることがわかる。また、本実験条件においては、最適な幅は $W=25\text{mm}$ 付近であることが確認された。

この他にも形状パラメータ（円柱翼の本数、円柱翼の長さ、円柱翼の端面処理、リング状プレートの厚み、リング状プレートの端面処理）を変化させ実験を行った。それぞれの形状パラメータには最適値が存在し、これらの最適値をバランスよく組み合わせることで、 $C_{p\max}$ を効果的に向上させることができると予測している。なお、最適値のバランスの良い組み合わせは現在も検討しているところであり、今後も研究課題として取り組むこととしたい。

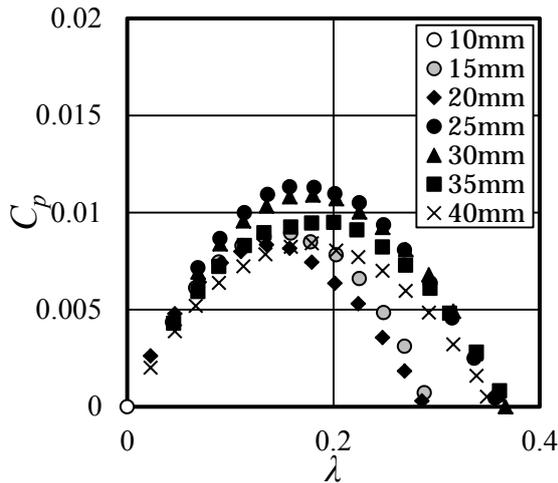


Fig.3 λ - C_p curve for $W=10\sim 40$ [mm]

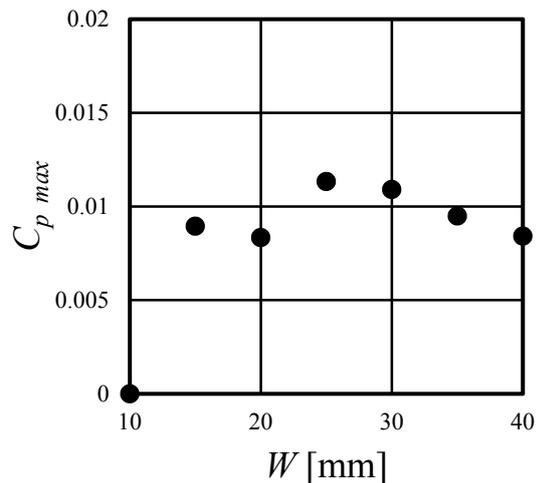


Fig.4 W - $C_{p\max}$ curve

3. 将来展望

本風車は左回転・右回転のどちらにも同じ確率で回転する。この事実は風車のこれまでの駆動原理とは全く異なることを示唆しており、その原理解明は、マイクロ機械、水力発電、ターボ機器、攪拌装置、熱流体制御など様々な分野への波及効果が期待できる。また、縦渦工学や縦渦力学の様な新たな学術領域が創生される可能性がある。このことから、リング状円板などの形状的な工夫で無限の組合せが存在するため学術的価値も高く、様々なエネルギー変換分野の産業界への活用が期待される。

4. 研究発表

- ①木村颯(申請者指導学生), 杉村翔大, 三京拓弥, **野村高広**, 山田祐士, 尾川茂, 縦渦駆動円柱翼水平軸風車の基礎研究(リング状平板の形状による影響), 日本設計工学会2019年度春季研究発表講演会講演論文集, pp. 11-12, 令和元年5月25日, 関東学院大学 **【学生優秀発表賞および優秀発表指導教員賞を受賞】**
- ②Yuya Kimura(申請者指導学生), Takumi Sankyō, Hayate Kimura, Syodai Sugimura, **Takahiro Nomura**, Shigeru Ogawa, Yuji Yamada, Tsutomu Takahashi, Basic property of the wind turbine with the circular cylinder blades driven by longitudinal vortex, Transactions on GIGAKU, Vol. 6, No. 1, pp. 06007/1-6, 2019
- ③木村颯(申請者指導学生), 杉村翔大, 三京拓弥, **野村高広**, 山田祐士, 尾川茂, 縦渦により駆動する円柱翼水平軸風車の基礎特性(リング状平板の形状による影響), 平成30年度日本設計工学会四国支部研究発表講演会, pp. 35-36, 平成31年3月11日, 阿南高専
- ④杉村翔大(申請者指導学生), 木村颯, 三京拓弥, **野村高広**, 山田祐士, 尾川茂, 縦渦駆動円柱翼水平軸風車の基礎特性(リング状平板の形状について), 日本設計工学会東海支部平成30年度研究発表講演会, pp. 24-27, 平成31年3月2日, 名城大学
- ⑤Shigeru Ogawa(共同研究者), **Takahiro Nomura**, Naoki Hata: Study on Horizontal Type Turbine Driven by Longitudinal Vortex System, The 14th International Conference on Motion and Vibration Control, No. A-05, pp. 249-250, 2018.
- ⑥Shigeru Ogawa(共同研究者), **Takahiro Nomura**, Naoki Hata, Yusuke Kimura, Yoshihiko Sorokin: A New Horizontal Wind Turbine with a Circular Cylinder Driven by Longitudinal Vortex System, Conference on Modelling Fluid Flow (CMFF' 18) The 17th International Conference on Fluid Flow Technologies, Paper No. CMFF18-096, PP. 1-7, 2018.
- ⑦Yuya KIMURA(申請者指導学生), Takumi SANKYO, Hayate KIMURA, Syodai SUGIMURA, **Takahiro NOMURA**, Shigeru OGAWA, Yuji YAMADA, Tsutomu TAKAHASHI(共同研究者), Basic Characteristics of the Wind Turbine with the Circular Cylinder Blades driven by Longitudinal Vortex, 3rd STI-GIGAKU 2018, Paper No: STI-7-8, pp. 66, 2017. **【BEST POSTER AWARDを受賞】**
- ⑧三京拓弥(申請者指導学生), 杉村翔大, 木村颯, **野村高広**, 尾川茂, 山田祐士, 縦渦により円柱翼を駆動する水平軸風車の基礎特性, 日本設計工学会2018年度秋季大会研究発表講演会, pp. 101-104, 平成30年10月1日, 鳥取大学
- ⑨木村祐也(申請者指導学生), **野村高広**, 尾川茂, 高田一貴, 吉川祐樹, 山田祐士, 縦渦を利用した円柱翼水平軸風車の基礎研究, 日本設計工学会2018年度春季研究発表講演会講演論文集, pp. 215-218, 平成30年5月27日, 東京大学 **【学生優秀発表賞および優秀発表指導教員賞を受賞】**