

尾翼を有した自己揺動翼H型ダリウス風車の性能に関する研究*

Study on the performance of H-type Darrieus Wind Turbine
with Self-acting Variable-pitch Blades and a Tail Vane

山田 達郎^{*1}
Tatsuro YAMADA

木綿 隆弘^{*1}
Takahiro KIWATA

富岡 裕之^{*2}
Hiroyuki TOMIOKA

小松 信義^{*3}
Nobuyoshi KOMATSU

木村 繁男^{*4}
Shigeo KIMURA

喜多 哲義^{*5}
Tetsuyoshi KITA

1. 緒言

垂直軸風車の1つであるH型ダリウス風車の多くは翼のピッチ角を一定とする固定ピッチ式の風車である。一方で、Pinson¹⁾、Giromill²⁾風車のような、可変ピッチ角機構を有したH型ダリウス風車は、流入風に対する翼の迎角の変動に合わせて翼を揺動させることで、迎角を常に最適化できるため、翼性能を十分に発揮できる利点があり、固定ピッチ式の風車よりも高い出力が得られる。そこで、著者らは4節リンク(両クランク)機構により動力なしで、風車の回転力によって直線翼を自己揺動させることができるH型ダリウス風車を製作した。これまでに、本風車の性能に及ぼす翼枚数や翼形状の影響を示し、プロペラ風車と同様に風向に対して指向性を有することを明らかにした^{3),4)}。しかし、実際の風向は不規則に変動するため、動力なしで本風車を常に最適な風向に合わせる必要がある。本風車は、偏心リンクが風下側にある場合、最も風車回転数が高くなるため、本研究では偏心リンクに尾翼を装着した場合の方位制御の有効性を調べ、尾翼形状および取り付け位置が風車性能に与える影響を明らかにする。

2. 可変ピッチ角機構

3枚翼の本風車の4節リンク機構を用いた可変ピッチ角機構を上から見た概略図を図1に示す。ここで、翼の前縁側の節を点 P_1 、後縁側の節を点 P_2 、第1回転軸中心を点 O 、第2回転軸中心を点 O_e とする。各節は長さ l_m の第1リンクと長さ l_s の第2リンクで連結されており、 OO_e 、 P_1P_2 間はそれぞれ長さ l_e の偏心リンク、長さ l_c の翼部リンクとして扱うことで4節リンク機構を構成している。また、尾翼を取付ける偏心リンクと風向となす角を偏心角 θ_p 、風車の回転角 φ は偏心リンクと第1リンクが成す角

とし、本風車上から見たとき、点 O を中心として反時計まわりを正回転方向とする。各リンク長さを $l_m=373\text{mm}$ 、 $l_s=365\text{mm}$ 、 $l_c=85\text{mm}$ 、 $l_e=22\text{mm}$ を例として周速比 $\lambda(=R\omega/V)$ 、 R :ロータ半径、 ω :風車角速度、 V :風速)が3.0の場合について風車が一回転した場合の風車回転角度 φ と翼のピッチ角 α_p 及び流入風に対する翼の迎角 α_{ip} の関係を図2に示す。また図中には固定ピッチ式の翼(取付け角 $\alpha_c=0^\circ$)における迎角 α_{ip} の変化も示す。ここで、 α_p の変動の平均値を α_c (取付け角)、振幅を $\pm\alpha_w$ (振れ角)とする。 α_c と α_w はリンク長さを変えることで、任意の設定が可能であり、 α_c は偏心または第2リンクの長さを、 α_w は翼部または偏心リンクの長さを変えて調節する。図2では $\alpha_c=11.9^\circ$ となり、風車が1回転する間に翼は点 P_1 を回転中心として、正弦的に $\alpha_w=\pm 15.0^\circ$ で揺動する。固定ピッチ式の翼の場合、迎角 α_{ip} は $-19^\circ\sim 19^\circ$ まで変化する。この変動する迎角を小さくするために可変ピッチ角機構を用いれば、図2のように $7.2^\circ\sim 21.6^\circ$ と固定ピッチの場合よりも小さい変動となり、翼の迎角を最適な角度に維持することが可能になる。

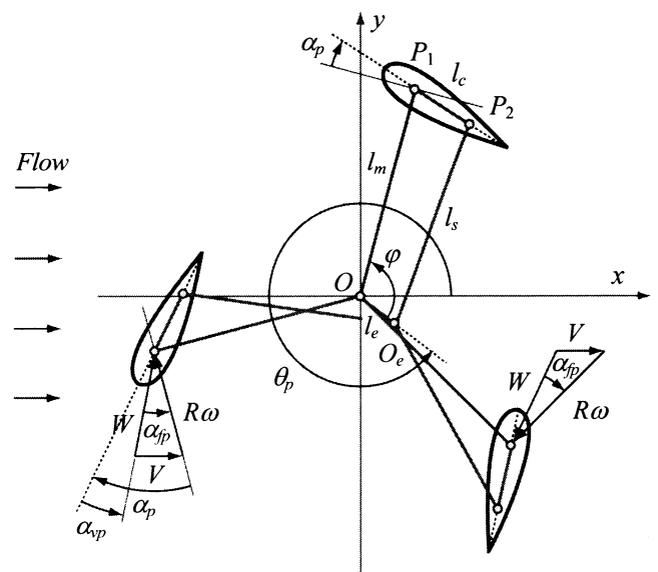


Fig.1 Variable-pitch angle mechanism

* 平成19年11月29日第29回風力エネルギー利用シンポジウムにて講演

*1 会員 *3 非会員 金沢大学大学院自然科学研究科

*2 非会員 金沢大学 工学部

*4 非会員 金沢大学環日本海域環境研究センター

〒920-1192 石川県金沢市角間町

*5 非会員 別川製作所(株) 〒924-8560 石川県白山市漆島町1136

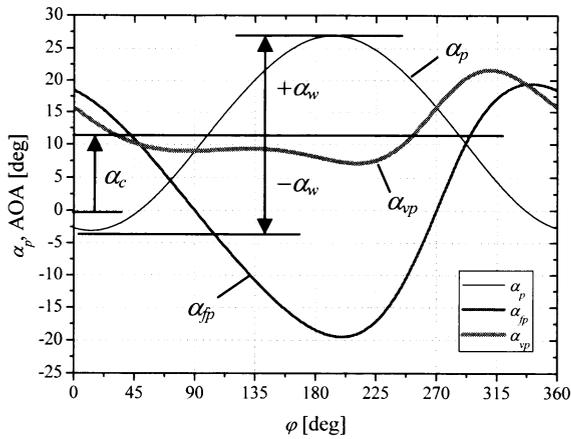


Fig.2 Variation of the angle of attack α_p, α_{vp} with blade azimuth angle ϕ for $\lambda=3.0, \alpha_c=11.9^\circ, \alpha_w=\pm 15.0^\circ, \theta_p=0^\circ$

3. 実験装置および実験方法

風洞実験は図 3 に示すような断面寸法 W1200mm×H1200mm の測定部を持つゲッチング型風洞で行った。実験で使用した風車は翼枚数 $n=3$ 枚で、ロータ半径 $R=400\text{mm}$ 、翼スパン長さ $h=800\text{mm}$ である。供試翼は、翼弦長 $c=200\text{mm}$ の NACA63₄-221 翼を用い、最も効率が良かった $\alpha_c=11.9^\circ, \alpha_w=\pm 15.0^\circ$ のピッチ角変動条件で実験を行った⁴⁾。尾翼は厚さ 2mm のアルミ平板で、偏心リンクから延びた風車中心から長さ 690mm、直径 10mm のパイプの先端に取付けた。以後、このパイプを尾翼シャフトと呼ぶ。表 1 に示すように、尾翼の大きさが 200mm×200mm の長方形尾翼大、100mm×200mm の長方形尾翼小と長さ 300mm の台形尾翼で実験を行った。また、200mm×200mm の長方形尾翼大においては、翼の取付け位置の影響を調べた。風車トルク T_w は風速 V を一定とし、モータにつながれた風車の回転数 N をインバータで制御し、トルク計を用いて測定した。そして、出力係数 C_p $[=P/0.5\rho AV^3, P: \text{風車出力}(=T_w\omega), \omega: \text{風車角速度}(=2\pi N/60), \rho: \text{空気密度}, A: \text{受風面積}(=2Rh)]$ を算出した。なお、風向に対する尾翼シャフトの傾き角度 $(=\theta_p)$ は風車の下方に設置した分度器から読み取った。また、風車回転によってベアリングから尾翼シャフトに作用する摩擦トルク T_v を図 4 に示すような装置で測定した。尾翼シャフトに付けられた(風車中心から 670mm の位置)糸は滑車を介して錘に結びつけ、無風状態で風車をモータによって回転させ、錘の重量変化を電子天秤で読み取り、 T_v を算出した。

4. 実験結果および考察

風速 $V=5\text{m/s}$ の無負荷運転において、 5° 間隔で尾翼シャフトを固定し、偏心角度 θ_p を変化させた場合の風車回転数 N を周速比 $\lambda(=2\pi NR/60V)$ にして円グラフにしたものを図 5 に示す。グラフ中心からの距離が長いほど風車の

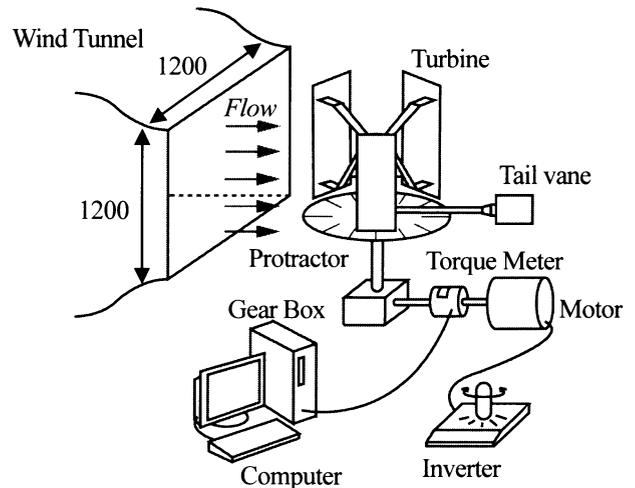


Fig.3 Experimental apparatus for the wind tunnel test

Table 1 Tail vanes specifications

Upper	Lower
Center	Small
Trapezoid	

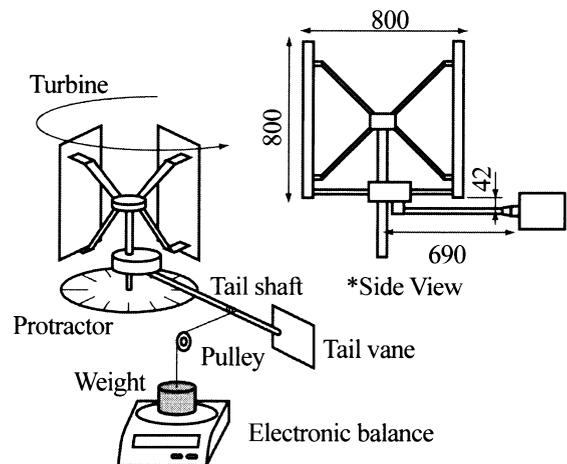


Fig.4 Experimental apparatus for the measurement of rolling friction of a bearing

回転数が高いことを示しており、周速比 λ は $\theta_p=0^\circ$ 付近で最も大きくなる。一方で、 $\theta_p=90^\circ$ 、 270° 付近では、本風車の回転が停止し、本風車が指向性を有することを示している。従って、尾翼を用いて $\theta_p=0^\circ$ 付近に偏心リンクが固定されれば、効率が良い運転ができる。

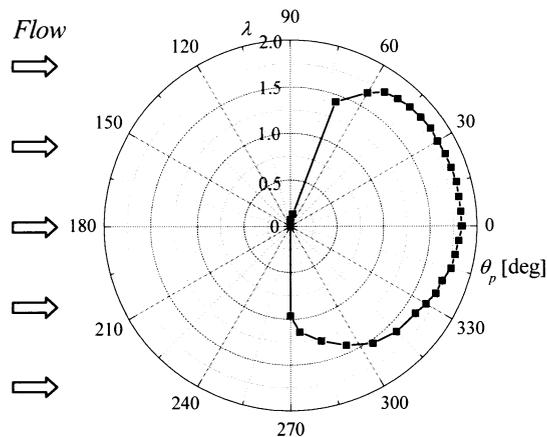


Fig.5 Effect of inflow angle θ_p on the tip speed ratio λ for $V=5\text{m/s}$, under zero-load condition

尾翼シャフトに尾翼を装着した場合と尾翼シャフトを偏心角 $\theta_p=0^\circ$ の位置に固定した場合の風速 V と周速比 λ および θ_p の関係を図6に示す。尾翼を装着した場合、風速 $V=1.8\text{m/s}$ で風車は起動し、尾翼シャフトを固定した場合よりも起動風速がわずかに減少した。これは、尾翼を装着した場合、偏心リンクが第1回転軸に対してフリーな状態になるので、起動時には偏心リンクと風車が連れ回ることによって、ベアリングの摩擦力が風車回転の妨げにならないためである。しかし、風車が一端回転すると尾翼に作用する抗力があまり大きくないため偏心角度が大きくなるので、 $V=7\text{m/s}$ 以下の低風速域における風車回転数は尾翼シャフトを固定した方が高くなる。

風速 $V=8\text{m/s}$ での尾翼形状を変化させた場合の出力特性を図7に、偏心角 θ_p の関係を図8に示す。尾翼の面積が大きい順(長方形尾翼小→長方形尾翼大→台形尾翼)に効率が大きく、台形尾翼で周速比 $\lambda=1.06$ において最大効率 $C_p=19.5\%$ が得られ、尾翼を固定した場合とほぼ同じ出力が得られた。また、偏心角度も面積が大きい方が小さい値となる。

図9に風車回転数 N と偏心ベアリングの摩擦力により尾翼シャフトに生じる T_v は関係を示す。 N の増加に比例して、 T_v も増加する。したがって、風速が一定の場合、低周速比では T_v の値が尾翼に生じる空気抵抗による回転モーメントよりも小さいため、偏心角度が小さくなる。一方、回転数が増加した高周速比では T_v が増加するので、 θ_p は増加する。

次に尾翼取付け位置を変化させた場合の出力特性を図

10に、偏心角 θ_p の関係を図11に示す。最高効率点付近で尾翼上部支持において、 C_p が若干小さくなっている。これは分度器の円盤からの境界層による風速の減少などが考えられる。しかし、取付け位置による明確な差異は見られなかった。また、図11中に風速を 5m/s に低くした場合と尾翼なしの場合の特性も示している。風速 5m/s の場合は、尾翼に作用する抗力が小さいために θ_p の値が増加し、特に高周速比側で効率が低下する。そして、尾翼なしの場合でも本風車が回転することは大変興味深いことであるが、効率は10%程度と低い。

このように本風車の性能を発揮させるためには、偏心リンクのベアリングの摩擦によるモーメントを打ち消すための十分な尾翼シャフトの長さや尾翼の面積が必要である。今後は自然風況下における風向と尾翼の応答性や出力特性を調べるために、フィールド実験を行う予定である。

5. 結言

4節リンク機構を用いた可変ピッチ式のH型ダリウス風車において、風向を合わせるために尾翼を偏心リンクに装着し、その取付け位置および形状が風車性能に与える影響を調べ、以下の結果を得た。

- (1) 尾翼を装着することで風車の起動風速が減少した。しかし、風速 $V=7\text{m/s}$ 以下の低風速域での風車回転数は、偏心リンクを固定した場合よりも低下した。
- (2) 長方形尾翼において、取付け位置が風車性能にあまり影響しないことを明らかにした。
- (3) 尾翼の面積が大きいほど効率は高くなり、台形尾翼の場合に偏心リンクを固定した場合とほぼ同じ出力が得られた。

参考文献

- 1) Noll, R.B and Zvara, J., Proc. Small Wind Turbine Systems 1981, pp.17-28(1981).
- 2) Anderson, J., Proc. Small Wind Turbine Systems 1981, pp.93-105(1981).
- 3) 木綿ら他 5名, 可変迎角リンク機構をもつ直線翼垂直軸風車の性能, 日本機械学会流体工学部門講演概要集, No.05-32, 268(2005).
- 4) 高田ら他 4名, 可変迎角機構をもつ直線翼垂直軸風車の性能に関する研究(翼枚数, 翼形状の影響), 日本機械学会流体工学部門講演概要集, No.06-21, 54(2006).

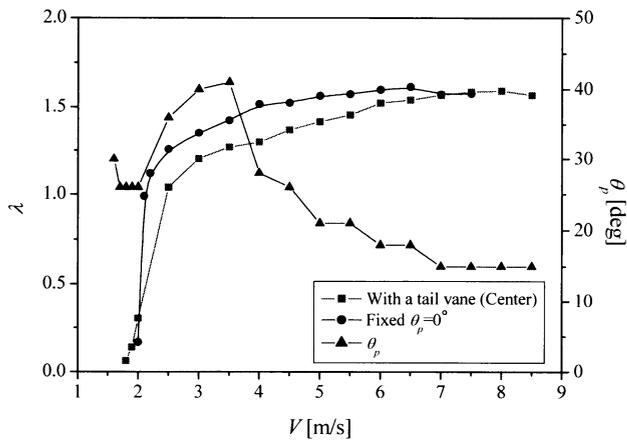


Fig.6 Tip speed Ratio λ and inflow angle θ_p vs. wind speed V under zero-load condition

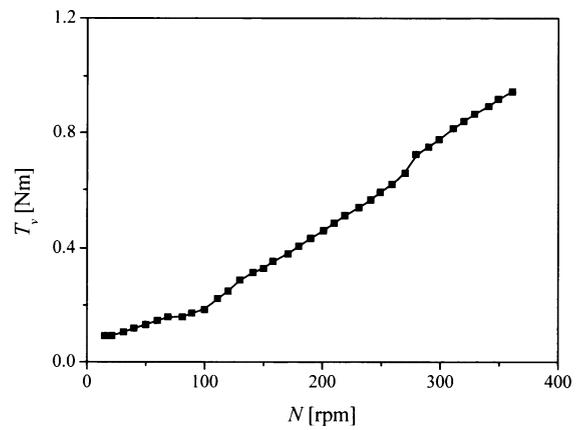


Fig.9 Rotational speed N vs. torque of a bearing T_v

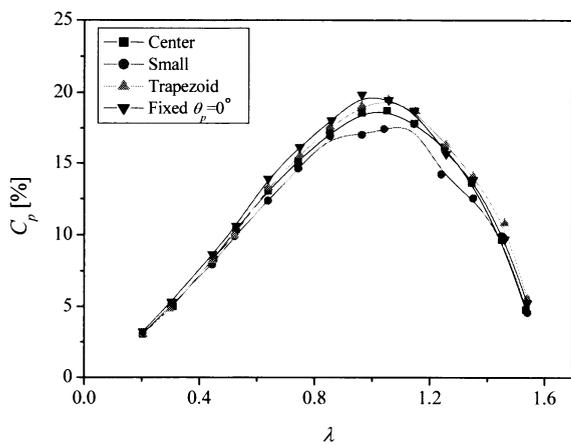


Fig.7 Power coefficient C_p on the tip speed ratio λ for $V=8\text{m/s}$

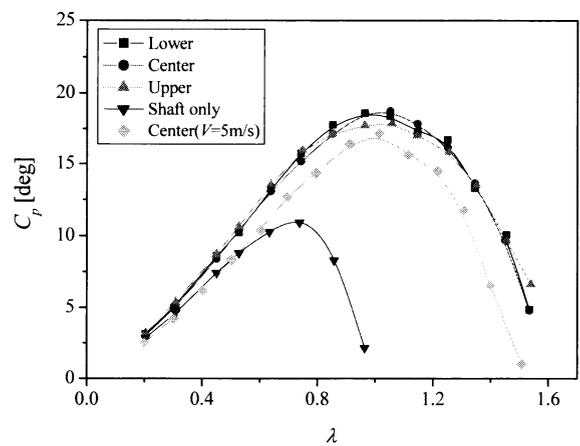


Fig.10 Power coefficient C_p on the tip speed ratio λ

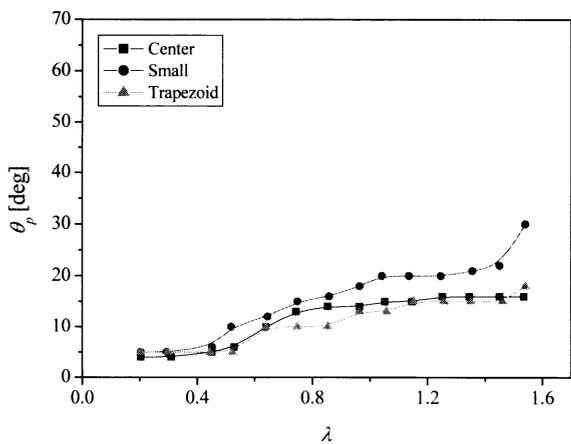


Fig.8 Inflow angle θ_p vs. tip speed ratio λ

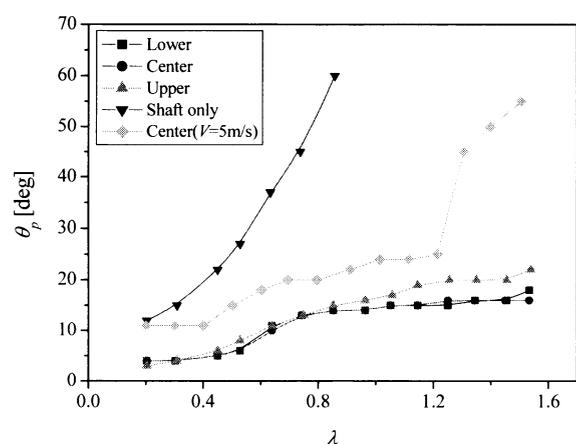


Fig.11 Inflow angle θ_p vs. tip speed ratio λ