

翼の空力特性を用いた垂直軸型風車の自律制御

徳島大学 正員 長尾文明 徳島大学 正員 野田稔
徳島大学大学院 学生員 ○篠宮章 徳島大学 正員 宗田和之

1. はじめに

垂直軸型風車は水平軸型風車と違い、風向依存性がないためにあらゆる風向に対して利用可能である。したがって、日本のように複雑な地形や季節風のため、頻繁に風向が変化するような地域では水平軸型よりも有利であるといえる。反面、揚力を回転力とする垂直軸型風車は自己始動性が低く、抗力を用いるサボニウス型風車との併用などで初期回転を与える必要がある。また、強風時に回転数が上昇し続け、やがて破壊に至る過回転と呼ばれる現象が生じ、回転制御が不可欠であるとされている。そこで、本研究は垂直軸型風車の回転制御に翼の空力特性を用いる有効性を検証することを目的とし、翼の空力特性が風車の回転に与える影響を検討するため、翼の形状およびピッチ角を変更することで回転時、または静止時における風車の挙動にどのような変化が現れるのかを検証した。

2. 実験概要

本研究では外径 30mm、内径 24mm のステンレス製パイプを軸とした回転半径 $R = 450\text{mm}$ の 3 枚翼垂直軸型風車を用いている。なお、使用した翼は翼弦長 $c = 112.5\text{mm}$ 、翼長 $l = 900\text{mm}$ の直線翼であり図-1 に風車の概略を示す。この風車のメインアームとリンクロッドの間にはバネが取付けられており、これが過回転の防止機構となっている。回転数が上昇し過ぎた場合、遠心力によってバネが伸び、翼のピッチ角が自動的に変化する仕組みである。この機構が機能し、実際に回転を抑制できるかどうか風洞実験によって検証を行った。実験に用いたのは徳島大学工学部の室内還流式 N.P.L. 型多目的風洞実験装置（測定胴部：高さ 1.5m × 幅 1.5m × 長さ 10.7m）である。風車は測定胴内上流から 8.125m の位置に配置し、他の測定機器は図-2 のように設置する。これらの機器を用いて風車に作用するトルク T と風車回転数 n を測定している。

また、垂直軸型風車の始動性にピッチ角や風向がどのような影響を及ぼすのか検討するため、風車静止時に風が作用した場合のトルク T とピッチ角 θ および回転角 ϕ の関係を調査した。回転角とは風車翼が主流方向上流側に位置するときを $\phi = 0^\circ$ とし、風車回転方向に回転させた任意の角度である。3 枚翼風車なので $\phi = 0^\circ \sim 120^\circ$ の範囲で調整することによって受風方向を変化させる。

3. 実験結果及び考察

実験より得られたトルク T と風車回転数 n から風車効率 C_p を求め、周速比 β との関係を導き出している。翼 A（最大キャンパー比 $f/c = 0.03$ ）をピッチ角 $\theta = -4^\circ$ 、翼 C（最大キャンパー比 $f/c = 0.03$ ）を $\theta = -6^\circ$ で用いたときの結果を図-3 に示す。 $n = 50 \sim 200$ (rpm) での回転中は $\beta = 2.5 \sim 4.0$ の範囲で高い風車効率を示しているが、 $n = 215, 220$ (rpm) の状態になると、ほぼすべての周速比に対して風車効率は負の値を示す。すなわち、本研究に用いた垂直軸型風車は回転数が上がり過ぎた場合、回転の抑制作用が働いているということであり、これは遠心力によってピッチ角を変化させ、自律的に過回転を防止する機構が機能していることを証明している。したがって、翼の空力特性を用いて垂直軸型風車の回転を制御することは十分可能であるといえる。ちなみに、翼 A と翼 C の実験結果を比較してみると風車効率の最大値やそのときの周速比、ピッチ角変化に伴う風車効率の低下が見られる回転数などほとんどの結果が類似しており、あまり特徴的な差は見受けられない。ただし、それぞれの翼はピッチ角が異なっていることから、風車の回転制御においては翼の断面形状よりも、その取付け方が重要であると考えられる。

風車静止時に対して、ピッチ角 θ を変化させた際のトルク T と回転角 ϕ の関係を図-4 に示す。回転トルクは正で表されているので、グラフの上部にある点ほど回転に有利ということである。回転角を少し変化させるだけで値が大きく異なることから、静止時には垂直軸型風車も風向依存性を有し、ピッチ角を変更することで依存する風向や度合いが変化するという。

4. おわりに

本研究で用いた垂直軸型風車は遠心力によって自律的にピッチ角を変化させることで回転を抑制した。すなわち、翼の空力特性を用いた過回転の防止は十分に可能であることが証明された。

また、風向依存性がないというのはあくまで回転時に対してであり、静止時は回転に有利・不利な風向があり、ピッチ角を変化させることでこれらの風向が変化することも判明した。したがって、静止時と回転時のピッチ角を変化させることで、高い風車効率と始動性を兼ね備えることが可能であると考えられる。

なお、本論は、とくしま環境科学機構における徳島県との共同研究の成果である。

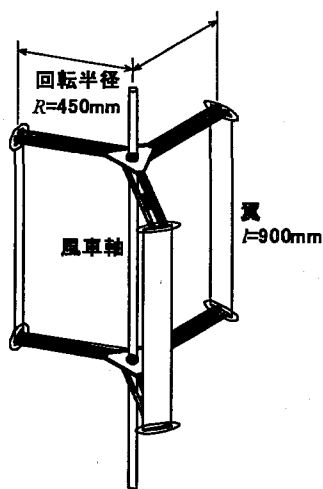


図-1 垂直軸型風車概略

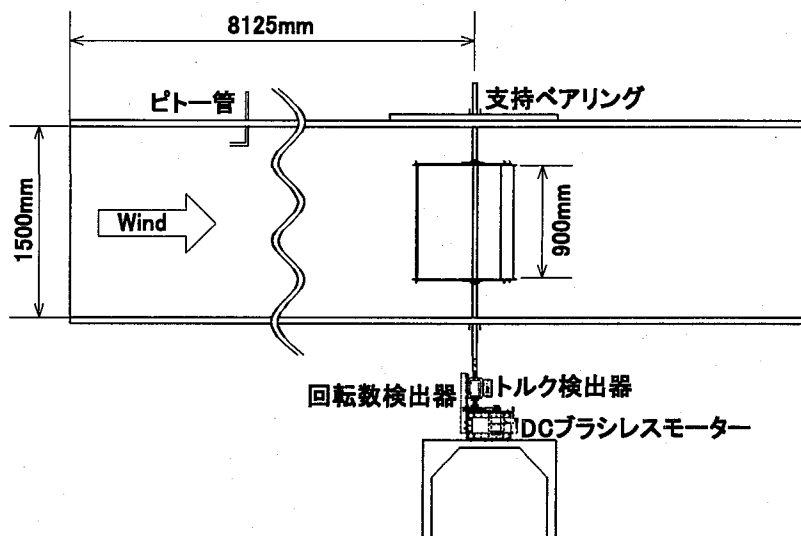
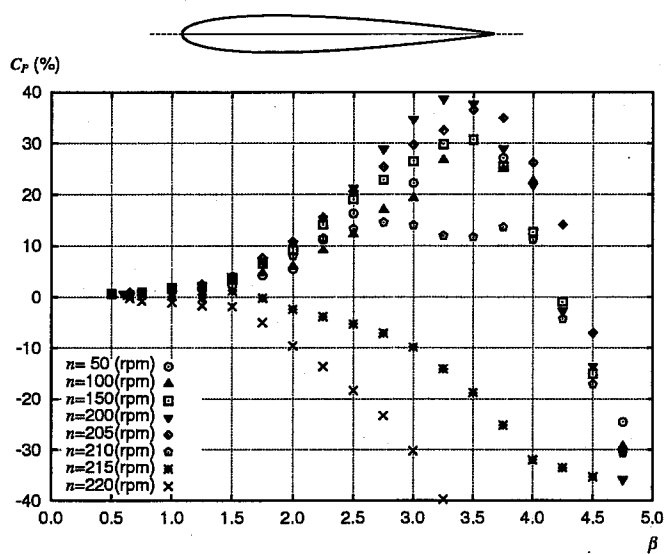
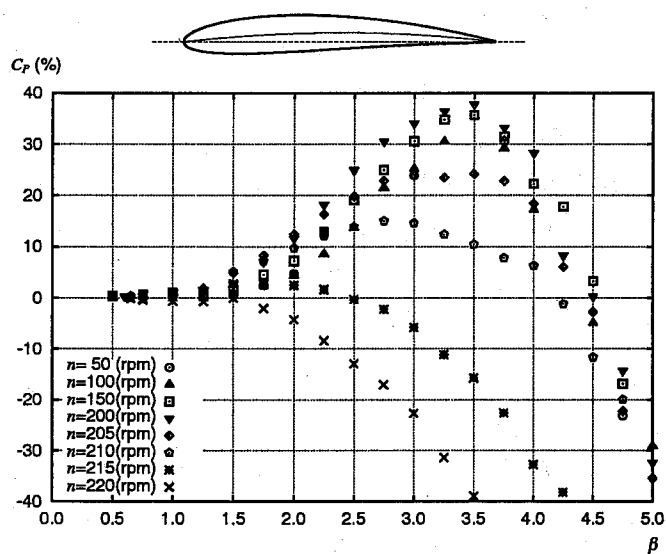


図-2 垂直軸型風車設置状況

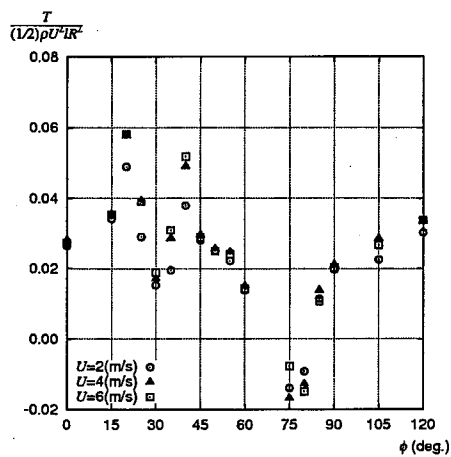


(a) 翼 A $\theta = -4^\circ$

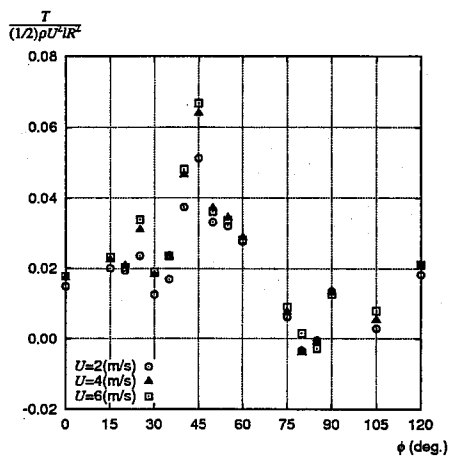


(b) 翼 C $\theta = -6^\circ$

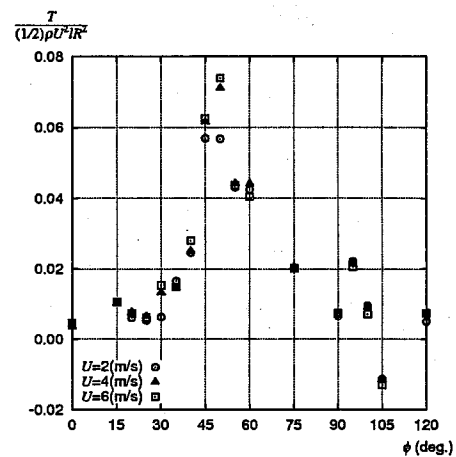
図-3 周速比 - 風車効率関係



(a) 翼 A $\theta = 0^\circ$



(b) 翼 A $\theta = -4^\circ$



(c) 翼 A $\theta = -8^\circ$

図-4 風向による始動トルクの変化