翼の空力特性による垂直軸型風車の自律的回転制御

徳島大学大学院　学生員　○篠宮 章　徳島大学　正員　長尾 文明
徳島大学　正員　野田 稔　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も有効利用が可能であるといえる．反面，揚力を回転力とする垂直軸型風車は強風時に回転数が上がりすぎて，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．また，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性がある．そこで，本研究で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について検討するため，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ている．さらに，翼の静的三分力係数から風車の始動性についての推定を行い，実測の始動トルクと比較することで推定方法の有用性について検討した．

2. 実験概要

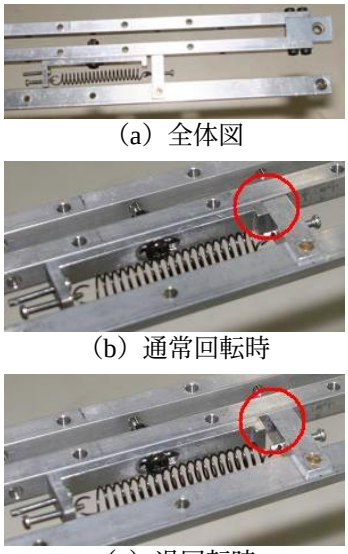
本研究では外径30mm，内径24mmのステンレス製パイプを軸とした回転半径R = 450mmの3枚翼垂直軸型風車を用いた．写真–1に概略を示す．また，写真–2に示すように，過回転の防止機構としてアーム部分にバネを取付けている．回転数が上昇し過ぎた場合，遠心力によってバネが伸び，翼のピッチ角が自動的に変化する仕組みである．この機構が機能し，実際に過回転を抑制できるかどうか，翼弦長c = 112.5mm，翼長l = 900mmの直線翼を用い，風洞実験によって検証を行った．なお，実験には図–1に示した，NACA0012を基本とした最大キャンバー比の異なる3種類の翼を使用しており，それぞれf_A/c = 0.000，f_B/c = 0.015，f_C/c = 0.030となっている．なお，今回の実験では図–2に示したように，1/4翼弦長を基準としてピッチ角を定義している．実験に用いた風洞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．風車および測定機器の設置状況は図–3のようになっており，風車に作用するトルクTと風車回転数nを測定し，これを用いて風車効率C_Pと周速比βの関係を導く．

写真–1 垂直軸型風車

また，垂直軸型風車の始動性にピッチ角や風向が及ぼす影響を検証するため静止時に風が作用した場合のトルクTとピッチ角θおよび風向ϕの関係を調査した．なお，1つの風車翼が主流方向上流側に位置するときをϕ = 0 °とし，ϕ = 0 °～120 °の範囲で調整し受風方向を変化させる．

3. 実験結果及び考察

風車効率測定試験の結果を図–4に示す．翼A～Cのいずれもn = 150，200（rpm）での回転中はβ = 2.5～4.0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，風車効率が負の値を示す．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．なお，翼A～Cは高い風車効率を示すピッチ角が異なるため，実験時に取付けピッチ角を変えることで過回転による風車効率の低下が鮮明になるようにしている．



（a）全体図
（b）通常回転時
（c）過回転時

写真–2 過回転防止機構

風車静止時に対して，トルクTを無次元化したトルク係数C_Tとϕの関係を図–5に示す．また，静的三分力係数測定試験より得られた図–6の結果をもとに，3枚の翼に作用するモーメントの合計として推定された値も併せて示す．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，静止時において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える．実測値と推定値を比較してみると，ϕ = 30 °付近など双方の値に大きな誤差が生じる風向があるが，これは上流側の翼の後流内に下流側の翼が位置する影響であると推測することができる．

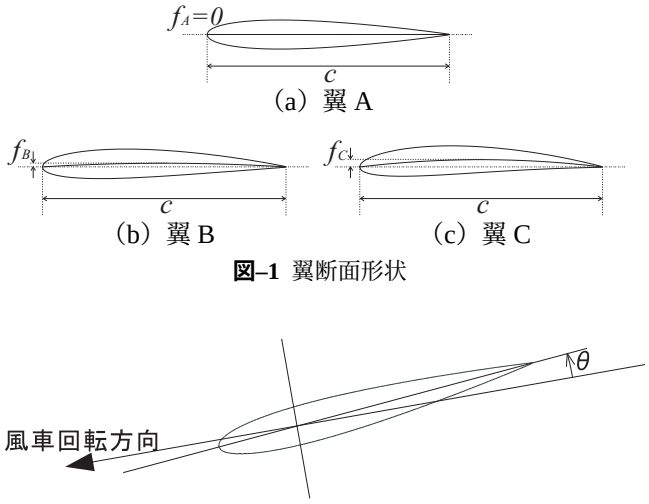
キーワード　風力発電, ジャイロミル型風車, 過回転
〒 770–8506 徳島県徳島市南常三島町 2-1　徳島大学　TEL/FAX:088–656–7323

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，風車効率を低下させることが確認できた．すなわち，風車翼の相対迎角をわずかに変化させることで，風車に働く空気力の作用方向を変えて回転を抑制する，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と証明された．

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．また，上流側の翼の後流内に下流側の翼が位置する場合，静的三分力係数を用いて始動性を検討するためには，下流側の風速分布の検討も併せて行うなどの必要があるといえる．

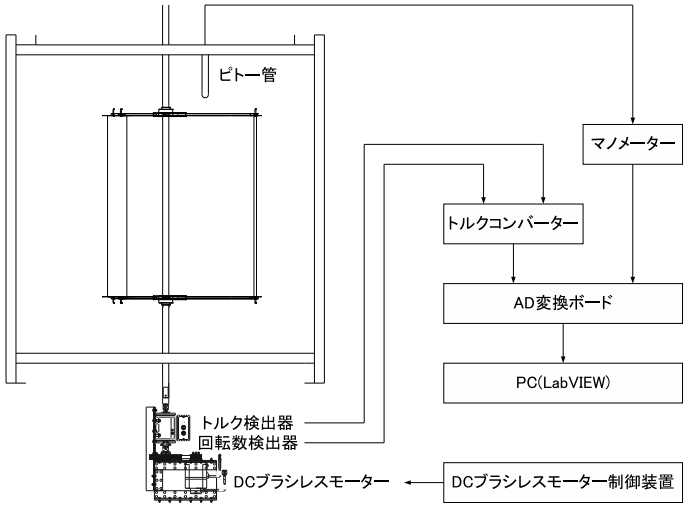
なお，本論は，とくしま環境科学機構における徳島県との共同研究の成果である．



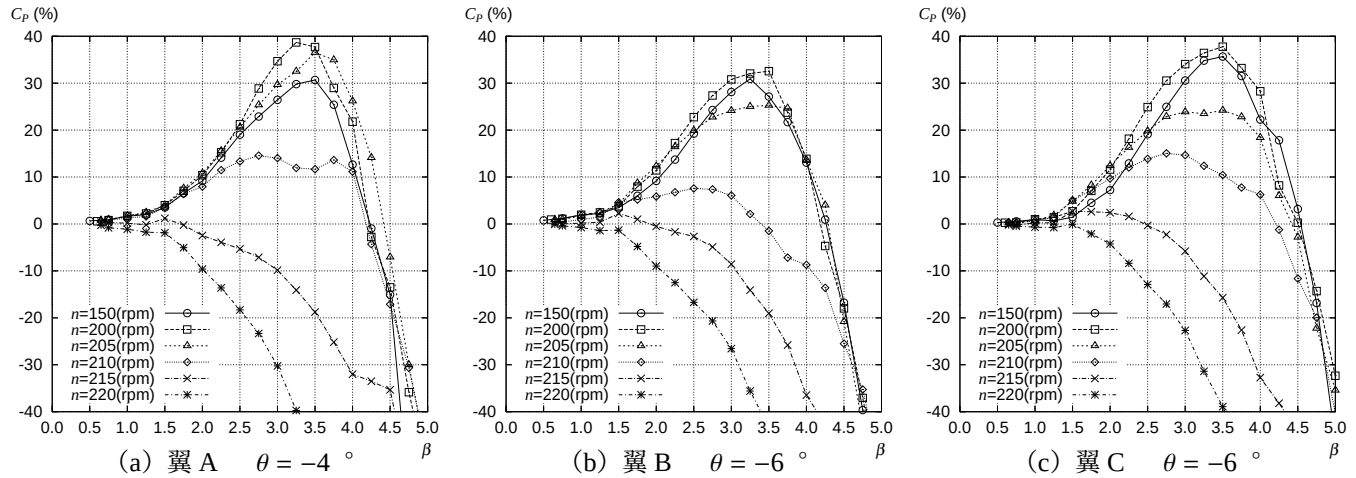
（a）翼 A　（b）翼 B　（c）翼 C

図–1 翼断面形状

図–2 ピッチ角の定義

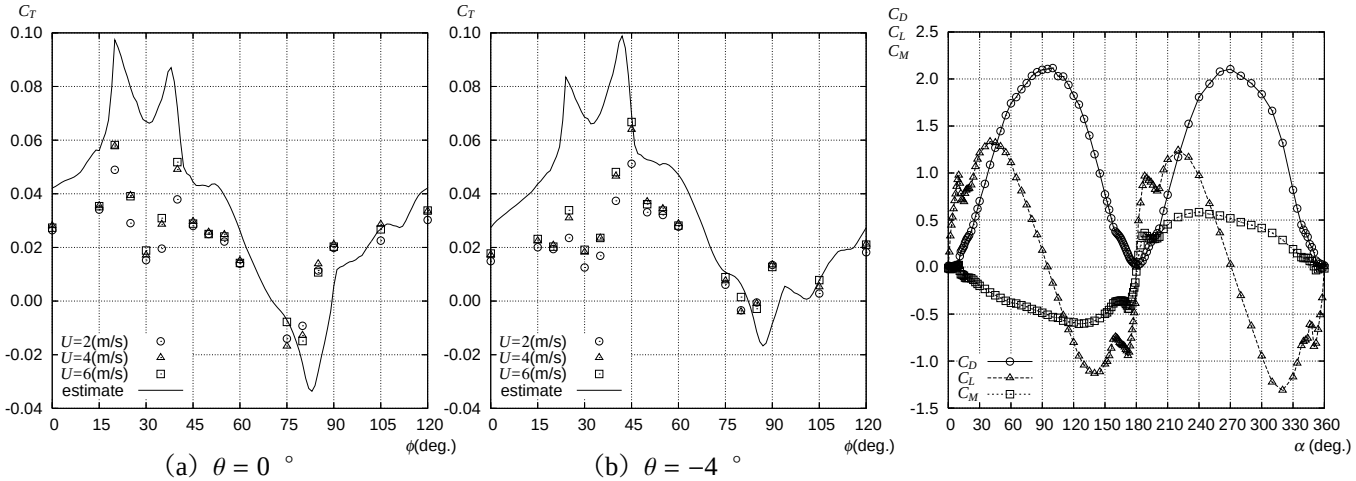


図–3 垂直軸型風車設置状況



（a）翼 A　$\theta = -4$ °　（b）翼 B　$\theta = -6$ °　（c）翼 C　$\theta = -6$ °

図–4 周速比 – 風車効率関係



（a）$\theta = 0$ °　（b）$\theta = -4$ °

図–5 風向による始動トルクの変化（翼 A）

図–6 静的三分力係数（翼 A）