サボニウス風車に関する研究*
(第5報, 回転数制御システム)小川 武範*¹, 吉田 治夫*¹, 横田 豊*²Study on a Savonius-Type Wind Turbine
(5th Report, Rotational Speed Control System)

Takenori OGAWA, Haruo YOSHIDA, and Yutaka YOKOTA

Systems to control the rotational speed of a Savonius-type wind turbine and to allow the Savonius rotor to stop the rotation in a strong wind are presented. It is known that the performances of a Savonius rotor changes greatly by varying the location of a deflecting plate which is placed in front of the rotor. The output of the rotor increases when the deflecting plate is located at an optimum place, while the rotor torque becomes nearly zero when the plate is located just in front of the rotor. Hence, in this work, the rotational speed of the Savonius rotor is controlled by turning the deflecting plate around the rotor. As the device to let the deflecting plate turn around the rotor, tail wings are used at first, and then, electronic devices, that is, an A/D converter, personal computer and a stepping motor are applied to control the rotational speed of the rotor more precisely than the control by the tail wings.

Key Words: Fluid Machine, Energy Engineering, Wind Energy, Savonius-Type Wind Turbine, Deflecting Plate, Rotational Speed Control System

1. 結 言

サボニウス風車に関する研究はバケットの断面形状⁽¹⁾⁽²⁾, バケット枚数ならびにオーバラップ比^{(3)~(5)}等の風車形状パラメータの影響の調査に関する研究に始まり, さらにロータ周囲に静止案内羽根⁽⁶⁾⁽⁷⁾, 案内ケーシング⁽⁸⁾, 偏流板⁽⁹⁾等の付属装置を付けることにより性能向上を目指した研究が行われた。またロータの相互干渉効果を利用して性能を改善する研究⁽¹⁰⁾もなされている。しかしながら風車を実機として利用する場合には, 風車の規模にもよるが回転数制御装置ならびに強風時に対する保安装置が必要不可欠である。プロペラ風車においては, プロペラのピッチを変えたり, 強風時にはプロペラの回転面が円すいになるようにプロペラを倒したり, また支柱全体を倒したりすることが行われているが, 垂直軸風車のサボニウス風車では, 上述のどの方法も適用することはほとんど不可能と考えられる。

現在サボニウス風車に対する回転数制御装置として

は回転軸の制動用としてのディスクブレーキだけであり, サボニウス風車に適する保安装置または回転数制御装置の開発はほとんど行われていない。風車の回転数制御とくに保安のための制御には回転軸に取付けたブレーキだけに頼るのでは不確実であり, かつ危険であるため, 風車のロータそのものに作用する流体力学的回転力を制御する必要がある。したがって本研究では回転数の制御のために偏流板を用い, ロータに作用する流体力学的回転力を変化させることにより, 回転数制御を行う機構の開発を行った。まず最初に偏流板の最適寸法および位置を求めた。次に風速が設計風速以下であれば, 風向の変化に応じて偏流板が常に最適位置に移動するような機械的機構を考案した。具体的には偏流板に直結した尾翼を用い, 尾翼の寸法, 位置の最適値を求めた。また風速が設計風速以上になった場合にはロータの回転数が減少する方向へ偏流板が移動するような機構を考え, 強風時に対する保安装置としての機能をもたせることも試みた。上述の機械的な方法の他に回転数, 風向, 風速等を入力値として A/D コンバータにより変換したのちパーソナルコンピュータで処理し, その後偏流板を処理結果に応じてステッピングモータで移動させるという, より精度のよい制御機構も製作して実験を行った。

* 昭和62年3月16日 東海支部第36期総会講演会において講演, 原稿受付 昭和61年8月29日。

*¹ 正員, 兵庫教育大学 (〒673-14 兵庫県加東郡社町下久米 942-1)。

*² 兵庫教育大学大学院。

2. 実験装置

図1に実験装置の概略を示した。サボニウスロータはアクリル樹脂製で、直径 $R=140$ mm、高さ $H=295$ mm である。出力特性の測定時には既報⁽⁷⁾⁽⁹⁾と同様に図1のような配置で、ひずみゲージ式のトルク変換器を用いたが、回転数制御機構の実験においては風向、風速の変化に応じて、ロータ回転数が自由に变化する必要があるため、スリップリングがなく摩擦トルクの少ない非接触式のトルク変換器を用いた。またその場合の負荷としては数個の玉軸受を用いた。

3. 実験結果

3・1 偏流板の最適パラメータの決定 風車の出力係数 C_p および速度比 μ を次のように定義した。

図1 実験装置概略図

$$C_p = 2T\omega / \rho U^3 RH, \mu = R\omega / 2U \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 T はトルク、 ω は回転角速度、 ρ は空気密度である。なおバケットの断面形状は半円で、オーバーラップ比 S/D (図2) は0.2である。

偏流板の断面形状は第3報⁽⁹⁾の結果に基づき直線とした。なお第3報⁽⁹⁾においては偏流板を風向に対して平行および直角に移動させてその影響を調べた。しかし実際に用いる場合はロータ回転軸中心のまわりに偏流板を回転させる構造のほうが容易であるため、本報では断面形状が平板である偏流板をその幅 A 、回転軸中心からの距離 B ならびに角度 θ (図2) を変化させ、 A 、 B および θ の最適値を求めた。

以下に A 、 B 、 θ の値を種々変えて行った実験結果の一部を示した。図3は偏流板の幅 A を $0.5R$ に固定し、偏流板のロータ中心からの距離 B を変えて測定した結果である。 B の値は $0.7R$ 程度がよく、偏流板がロータに近すぎる場合は出力は低下する。図4には幅 A の影響を示した。 $A=0.5R$ と $0.6R$ の結果にはほとんど差はないが、装置としては小さいほうがよく、 $A=0.5R$ を選んだ。次に図5に A 、 B をそれぞれ $0.5R$ 、 $0.7R$ として θ を変化させた場合の出力特性を

図2 記号の説明図

図3 B の C_p に及ぼす影響

図4 A の C_p に及ぼす影響

示した。図5に示すように $\theta=0^\circ$ の場合はロータに作用する流体力は小さく、出力はほとんど零に近い。したがって強風時には偏流板をこの位置にもってこることにより回転力を弱めることができ、制御も容易となる。 $\theta=30^\circ$ の場合に出力は最大となり、この場合は偏流板のない場合よりも出力は約27%大きくなる。ゆえに設計風速以下であれば、風向が変化しても常に風向に対して $\theta=30^\circ$ の位置になるように偏流板を制御することにより、偏流板のない場合よりも多くの風力エネルギーを取り出すことが可能である。 θ を 0° から 360° まで変化させて出力特性を測定したが、 θ が 45° から 300° の範囲では C_p の値に大きな差はなく、 -60° と 45° の間に出力が最大および最小となる値が存在した。

3.2 尾翼による偏流板の位置制御 図6に実験に用いた尾翼を示した。図6(a)は尾翼1枚の場合で、偏流板に作用する流体力と尾翼に作用する流体力を平衡させることにより、 $\theta=30^\circ$ の位置に偏流板を保つことを試みたが、実際には尾翼は $\theta=30^\circ$ の前後 $\pm 10^\circ$ の範囲を周期的に揺動し、静止させることが不可能であった。図6(b)は尾翼の取付け角を 160° に変え、 $\theta=0^\circ$ の位置に偏流板がくるようにしたが、図6(a)の場合と同様に揺動が大きく静止させることができなかった。これはロータ後方の非常に乱れの大きい後流域に尾翼が入るためと考えられる。したがって次に図6(c)に示すように両側に腕を伸ばし、それぞれの腕の先端に尾翼を取付けた2枚尾翼について検討した。図6(c)は腕の長さが $0.8R$ の場合であるが、この場合は1枚尾翼の場合と比較して揺動はかなり小さくなるが、なお若干残り、尾翼の取付け角を変えて $\theta=0^\circ$ の

図5 θ の C_p に及ぼす影響

図6 各種尾翼の形状

位置に偏流板を移動させるのも容易ではなかった。ゆえに腕をさらに長くし、ロータ周囲の変動流れの影響の少ない所に尾翼を置いた図6(d), (e)に示す機構を検討した。図6(d)に示したような取付け角の場合、偏流板は $\theta=30^\circ$ の位置に静止し、図6(e)のように左側の尾翼の取付け角を 90° に変えると偏流板は $\theta=0^\circ$ の位置に静止した。したがって図6に示したように適当なバネ定数のスプリングを左側の尾翼に取付けた。こうすることにより風速が増せば尾翼に作用する風圧によりスプリングが伸び、尾翼取付け角が図6(d)の 130° から図6(e)に示すように 90° に変化し、その結果左側の尾翼に作用する風圧が右側の尾翼に作用する風圧より小さくなり、偏流板はロータ正面に移動し、ロータ回転数は減少した。

図7は風向を変化させるための案内羽根装置と風向計および尾翼付きサボニウスロータの配置図である。風向は直流モータを用いて案内羽根①の方向を変えることにより変化させた。このような装置の場合は図7の中央の破線で囲まれる三角形の範囲内にロータが入る必要があり、風向変化を大きくすればこの三角形の部分は小さくなり、その中に尾翼付きロータを置くことが困難となるので風向を変化させる範囲には限度があり、本研究では $\pm 25^\circ$ の範囲内で変化させることに

図7 風洞出口における配置図

図8 偏流板固定で風向を変えた場合

した。風向計②は風見鶏の回転軸に摩擦トルクの小さいポテンシオメータ(精密ポット)を取付け、風向を電圧変化として記録した。風速の調節は風洞のシロッコファンの吸い込みダンパの開閉により行い、風速は風向計上方に取付けた熱線風速計により測定した。

図8に偏流板を $\theta=30^\circ$ に固定し、風向を変化させた場合のロータ回転数 n の変化の模様を示した。 θ (図7)が 5° くらいになると回転数は低下し始め、偏流板の正面近くに風が当たるようになると回転数は零に近づく。すなわち偏流板が風向変化に追従して移動しない場合は、図8に示したように風向の変化に伴いロータ回転数は大きく変化する。なお図中の風速 U の曲線における凹部は案内羽根のwake部分を表わしている。

図9は尾翼(d)を取付け偏流板を風向に追尾させた場合の結果で、回転数は図8のように低下せず、 $\theta=30^\circ$ を保つように追従していることがわかる。

図10は風向および偏流板の位置をそれぞれ $\theta=0^\circ$, $\theta=30^\circ$ の一定に保ったまま風速を増した場合のロータ回転数 n の変化を示したもので、風速の増加に伴い n も大きくなる。この場合にスプリング付きの尾翼(d)を付けて制御した結果を図11に示した。図11に示したように風速が増加するとスプリングが伸び、尾翼取付け角が変化し、偏流板は $\theta=0^\circ$ の方向に移動し、回転数は減少する。取付けるスプリングのバネ定

図9 尾翼(d)を付けて風向変化に追従させた場合

図10 風向が一定で風速が変化した場合

数を適当に選ぶことにより、回転数をほぼ一定に保つことも可能であるし、また停止に導くことも可能である。本研究で用いた2枚尾翼〔図6(d)〕は風向変化に敏感に反応し、風向が 180° 突然に変化した場合でも追従することを確認した。

図12に尾翼を付けた場合の出力特性を示した。尾翼のない場合に比べて若干出力は低下するがほとんど差がないことが明らかとなった。

3.3 ステッピングモータによる偏流板の位置制御

図13に示すようにステッピングモータを用いて偏流板の位置を制御することを試みた。ロータ回転数 n 、風速 U 、風向 θ および偏流板の位置 θ をA/D変換器を経てパーソナルコンピュータに入力し、処理結果に従ってステッピングモータを駆動し、位置を制御した。風向変化に追従して偏流板が移動し、 $\theta=30^\circ$ に保つようにプログラムして測定した結果を図14に示す。なおこの図においては風速 U が規定風速以上の場合の結果である。回転数 n の変動は少なく平均的には尾翼による制御よりも精度がよい。図15は風向を一定にし、風速 U を変化させた場合であるが、入力値をサン

プリングし、処理し、ステッピングモータを駆動するための時間遅れが原因で回転数 n は変動する。

上述の時間遅れはシステム固有のものであり、ステッピングモータによる制御の場合には、この時間遅れが問題となる。すなわち風向や風速の変化が図14や図15に示した場合よりも早い場合には変動はさらに大きくなる。風向や風速の変化がさらに早くなり、その変化の周期が遅れ時間近くになると応答すること自体が困難となった。

図13 ステッピングモータによる制御のブロック線図

図11 尾翼(d)を付けて風速変化に対応させた場合

図14 ステッピングモータによる制御
(風向変化の場合)

図12 尾翼を付けた場合の出力特性

図15 ステッピングモータによる制御
(風速変化の場合)

4. 結 言

本報ではまず初めに偏流板の影響を調査し、偏流板の位置を $\theta=30^\circ$ に選ぶことにより、出力は偏流板のない場合よりも約 27% 増加することを示し、次に偏流板の位置をロータの正面付近に移動させることにより回転数が減少することを示した。さらにこの偏流板の位置を変化させることにより、ロータの回転数を制御する 2 種類の方法を示した。尾翼による制御ではロータの影響の少ない位置に 2 枚の尾翼を付けることにより、風向変化に追従して偏流板を移動させ回転数をほぼ一定に保つことができ、風速が増大した場合には尾翼の取付け角が自動的に変化し、回転数を減少させ、尾翼と偏流板がサボニウス風車の保安装置として有効であることを明らかにした。またステッピングモータで偏流板の位置を制御する方法では、風向および風速の時間的な変化が遅い場合には尾翼による制御よりも正確な制御が可能であるが、反面変化が速い場合には

アナログ値である入力値を変換し、処理し、その後にステッピングモータで偏流板を移動させ、移動後の値を再びサンプリングしフィードバックをかけるという操作を繰返すため、尾翼による制御よりも応答が遅くなる可能性があることが明らかとなった。なお本研究は昭和 60 年度文部省科学研究補助金(エネルギー特別研究)の援助のもとに行われたものである。

文 献

- (1) Bach, G., *Forsch.-Ing. Wesen*, 2 Bd/Heft 6 (1931), 218.
- (2) Khan, M. H., *Wind Eng.*, 2-2 (1978), 75.
- (3) Sivasegaram, S., *Wind Eng.*, 1-3 (1977), 207.
- (4) Sivasegaram, S., *Wind Eng.*, 2-1 (1978), 49.
- (5) Sheldahl, R. E., Blackwell, B. F. and Feltz, L. V., *J. Energy*, 2-3 (1978), 160.
- (6) 伊吹・小原, ターボ機械, 12-10 (昭 59), 581.
- (7) 小川・田原・鈴木, 機論, 51-471, B (昭 60), 3516.
- (8) Sabzevari, A., 文献(3)の 198 ページ.
- (9) 小川・吉田, 文献(7)の 3523 ページ.
- (10) 小川・吉田・杉浦, 機論, 52-481, B (昭 61), 3259.