

No.23 後流中に配置した並列垂直軸型風車に関する研究

山岸 真幸, 佐藤 大資, 野崎 健太郎, 宮下 准 (長岡高専)

Experimental Study on the Parallel Vertical-Axis Type Windmill in a Wake

M. Yamagishi*, D. Sato*, K. Nozaki*, and J. Miyashita*

* Dept. of Mech. Eng., Nagaoka National College of Technology

ABSTRACT

To improve the performance of the drag-type vertical-axis windmills, the system using a wake behind a bluff body is proposed. In this study, the model which is constructed with two Savonius rotors placed in parallel behind a circular cylinder is made. In this windmill system, drag which acts on the reversing bucket of Savonius rotor decreases owing to being in the low speed velocity region in a wake. Furthermore, as the flow accelerates beside the circular cylinder, drag which acts on the advancing bucket increases. To compare the revolution of the rotor in the windmill system with that of the single rotor, the wind tunnel experiments were conducted. It is found that the revolution in the system is higher than that of the single rotor. In order to determine the Savonius rotors configuration, the experiments at the system were conducted for various configurations of rotors. The results showed that there is the optimal configuration of the rotors. The experiments were conducted with three types of the power augmentation system; guide-vane, casing cover and splitter plate. The revolutions of rotors with the power augmentation system are decreased in all conditions.

Key Words : Windmill, Vertical-axis, Savonius rotor, Wake

1. はじめに

抗力利用の垂直軸型風車は、水平軸型風車に比べ回転数が低く、発電効率が悪い。一方で静粛性、起動性、高トルク性に秀でている。垂直軸型風車の一つであるサボニウス型風車は、回転軸両側に配置されたバケット部に作用する抗力の差によって、回転力を発生する仕組みである。これらのバケットのうち、低抗力側は風上に向かって移動するため、バケットが受ける流れの流速を遅くする、ないしは遮ることで、バケットに生じる抗力をさらに減じることができ、回転力を増加させることができる。流れを遮り、高抗力側のバケットに流れを誘導するため、風車の周囲にガイドベーンを設置する手法がある。

物体背後には後流が形成され、主流と後流の間には速度差が生じる。本研究では、図1に示すように、サボニウス型風車の低抗力側のバケットを後流中に配置することで、回転性能の向上を図る手法を考案した。なお速度差が生じる領域は物体の側面2箇所が生じるため、逆回転する2つの風車を配置することができる。さらに物体を横切る流れは側面で加速するため、高抗力側のバケットには主流より速い速度の流れが当たることになり、風車を主流に単独で設置した場合に比べ高速で回転することが期待される。垂直軸型風車は、全方向受風可能とい

う利点があるが、本研究で考案した風車システムは、2基の風車が物体後流中に位置するよう受風する必要がある。しかし本風車システムは風向きに対して追従性があり、常に最適な受風方向をとる。このため、従来風向が一定の条件においてのみ利用されてきた付加的な出力増強装置¹⁾を積極的に取り入れることが可能である。また後流を形成する物体（以後「柱状部」と呼ぶ）は、街灯、信号機、標識、看板などに用いられる支柱がそのまま流

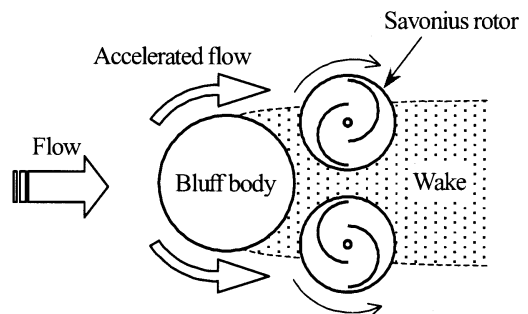


図1. 並列垂直軸型風車の概要

用できるため、前述の垂直軸型風車の利点もあわせ、市街での利用が期待される。

本報ではまず、従来の単独でのサボニウス型風車と考案した風車システムについて、風車の回転数を比較した。次に柱状部と風車との位置関係と、回転数の変化について調査した。またこの風車システムの利点を生かし、ガイドペーンなどの付加物を設置したことによる回転性能向上の効果も調査した。

2. 実験装置および実験方法

実験は、測定洞断面積 400 mm×400 mm の吸い込み式風洞を用いて行った。実験用風車システムを図 2 に示す。本実験では、支柱部として直径 90 mm の円柱を選択した。サボニウス型風車は、直径 50 mm の半円筒形バケット 2 枚と両端に取り付けた直径 80 mm の円形端板から成る。バケットのオーバーラップ比は 0.5 である。風車軸は両端の軸心ずれを避けるため、風車内部を貫通させている。風車回転軸の上端にはフォトセンサが取り付けられており、デジタルマルチメータを用いて回転数を計測した。なお回転数は 10 回計測し、平均値を求めた。流速は 5 m/s で行った。

2.1 従来型との比較

考案した風車システムの、回転数向上の効果を確認するため、サボニウス型風車単独での実験も行った。またシステムで回転数の向上が見られた場合、その効果が後流に設置したことによるものかを明らかにするため、柱状部を取り除いた状態（風車を 2 基並置した状態）でも実験を行った。なお本実験においては、再現性を確認するため、いずれの条件も 5 回実験を行っている。

2.2 風車位置の検討

本風車システムは後流を利用するため、柱状部と 2 基の風車には最適な位置関係が存在するものと考えられる。そこで風車を種々の位置に設置し、回転数の変化を調査

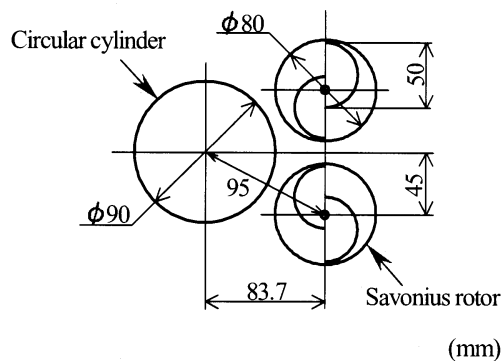


図 2. 風洞実験用風車システム

した。風車位置は、図 3 に示すように支柱部中心を座標原点とし、半径方向に 5 箇所、周方向に 5 箇所の計 25 箇所に設定した。なお 2 基の風車は、左右対称の位置に設置している。

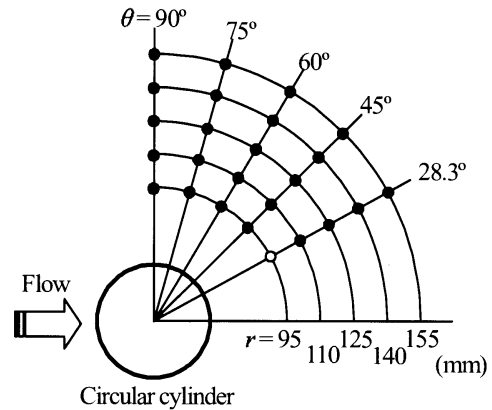
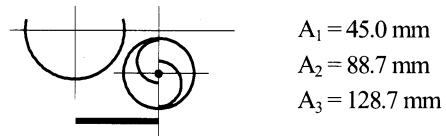
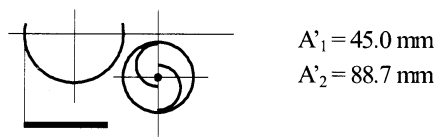


図 3. 風車軸の位置 (●: 回転軸位置、○: 基準位置)

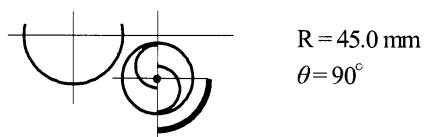
(a) ガイドペーン(A タイプ)



(b) ガイドペーン(A' タイプ)



(c) ケーシング(B タイプ)



(d) スプリッタープレート(C タイプ)

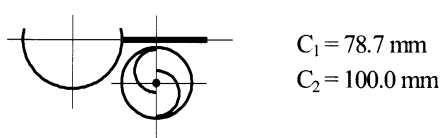


図 4. 各種付加物

2.3 付加物の効果

考案した風車システムは、風向に対する追従性があるため、従来垂直軸型風車には不向きとされてきたガイドベーンやケーシングといった付加物を設置することが可能である。また2基の風車間の流れにより、風車の回転数が一定とならないことが予測される。この流れの干渉を避けるために、風車間にスプリッタープレートを設置することで、より安定した回転と高回転数化が期待される。本研究では、図4のような3タイプの付加物を設置したときの回転数の変化を調査した。なおA、A'、B、Cタイプを組み合わせて設置した場合についても実験を行った。

3. 結果および考察

3.1 従来型との比較

サボニウス型風車単独、2基並列、およびシステムで計測した結果を図5に示す。回転数は風車を単独で運転した時の値 f_{ave} で正規化している。図より、2基並列で運転した場合は単独で運転した場合と変化が見られないが、システムで運転した場合は回転数が1.2倍となっている。したがって考案した風車システムは、風車の回転向上の効果があることが分かる。また各回の実験結果を比較すると、単独および2基並列で運転した場合は、回転数がほぼ一定で、良い再現性を得ている。システムでの運転では回転数にばらつきが見られるが、ある平均値の周囲に集中している。このばらつきは、時間的に変化する後流中に風車があるためと考えられる。

3.2 風車位置における回転数の変化

柱状部と風車の位置関係を変化させて運転した結果を

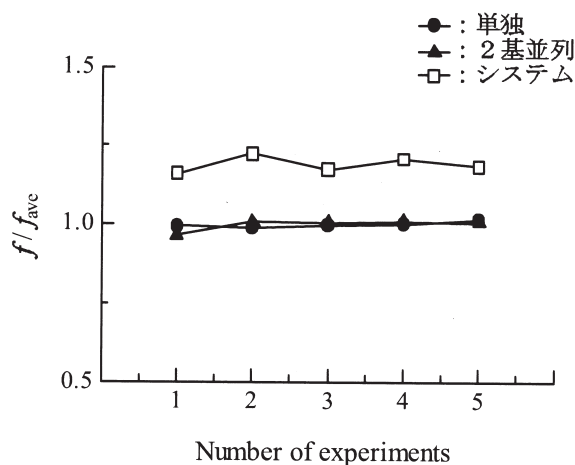


図5. 各風車構成における回転数の比較

図6に示す。回転数は基準位置 ($r=95\text{ mm}, \theta=28.3^\circ$) の値 f_0 で正規化している。図より、基準位置が最も回転数が低いことが分かる。また柱状部から風車が離れるほど回転数が高くなっているが、これは風車が風洞側壁に接近するため、側壁と風車間での縮流の影響によるものと考えられる。また風車が柱状部側面 ($\theta=90^\circ$) のとき回転数が高いが、2基の風車と柱状部が同一直線状となり、流路を遮るため流れが加速しているためと考えられる。このため本実験結果からは、風車の最適位置を明確にすることは困難である。ただし縮流の影響を受けられていると思われる領域を除くと、図中点線で囲んだ領域に極値が見られるため、この領域内に最適位置が存在する可能性がある。

3.3 付加物の効果

各種付加物を設置したときの、風車の回転数を表1に示す。表1より、付加物を設置した全ての条件において回転数が低下した。特にBタイプを設置した場合、回転数が極端に低下している。A、A'タイプを設置した条件では、風洞内のブロックageによる流速の低下が原因と考えられる。Bタイプに関しては、風車内の流れを阻害してしまっているものと考えられる。単独のサボニウス型風車について、円弧型のケーシングは逆効果であるという報告もある²⁾。また風車間の流れの干渉を遮る目的で設置したCタイプに関しても、風車の回転数の安定化は見られなかった。各タイプを組み合わせて設置した場合も、Bタイプと組み合わせた場合、回転数を著しく低下している。

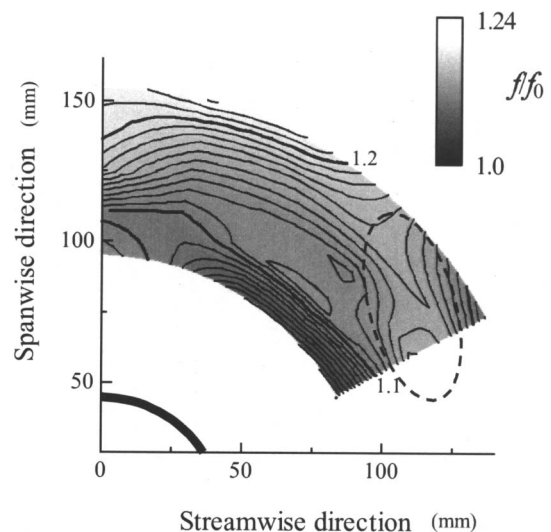


図6. 風車位置における回転数の変化

表 1. 付加物による回転数の変化

標準
1.000

A,B,C タイプ

A ₁	A ₂	A ₃	A ₁ '	A ₂ '
0.873	0.744	0.817	0.981	0.860

B	C ₁	C ₂
0.622	0.965	0.977

AB タイプ

A ₁ B	A ₂ B	A ₃ B
0.666	0.451	0.410

BC タイプ

BC ₁	BC ₂
0.683	0.680

ABC タイプ

A ₁ BC ₁	A ₂ BC ₁	A ₃ BC ₁
0.634	0.411	0.425

A ₁ BC ₂	A ₂ BC ₂	A ₃ BC ₂
0.592	0.468	0.433

4. 結論

後流を利用した垂直軸型風車の性能向上法を考案し、その基礎特性を回転数から調査した。その結果以下のことが分かった。

- ① 物体後流を利用することで、風車回転数の向上が見られた。
- ② 柱状部に対する風車位置には最適位置が存在することが推測される。しかし本研究ではその特定には至らなかった。
- ③ 今回設置した付加物は、いずれも逆効果であった。

今回は風車の回転数から性能を比較したが、発電を考慮すると、トルクの計測が不可欠である。また風車システムの支柱部の形状や、風車サイズとの関連を今後明らかにしていく予定である。

参考文献

- 1) 柿田, 牛山: 足利工業大学研究集録, 第 19 号(1993), pp.5-10.
- 2) 佐藤, 菊地, 牛山: 足利工業大学研究集録, 第 26 号(1998), pp.39-42.