

翼ピッチ制御機構を有する垂直軸抗力型風車の性能*

Performance of Vertical-axis Drag Type Wind Turbine with Blade Pitch Control Mechanism

平野 孝典 Takanori HIRANO**

藤本 一郎 Ichiro FUJIMOTO**

Abstract

So far, we made some experimental and numerical studies on the starting performance improvement of both three-blade and four-blade gyro-mill type wind turbines. As a result, as for these lift-type gyro-mill wind turbines, a pitch control of blade is concluded to be effective on the starting performance improvement. In this study, another type vertical wind turbine, that is, drag-type wind turbine with pitch control mechanism was investigated. Three-blade vertical-axis turbine model with pitch control mechanism constructed with gear and timing belt was made and investigated as parameters of blade chord length and blade shape. Those results suggested that it is effective to use a pitch control mechanism to improve both a starting performance and increase of electric generation.

Keywords: Drag-type Wind Turbine, Rotating Performance, Experimental study, Pitch Control

1. はじめに

発電に用いられる石炭や石油などの化石燃料の使用は地球温暖化やそれに伴う異常気象などの環境問題の一因となっており、温室効果ガス削減が大きな課題となっている。またエネルギー自給率の面からも今後のエネルギーミックスは大きな課題となっている。そのため環境にやさしい再生可能エネルギーの利用が世界中で増えている⁽¹⁾。再生可能エネルギーの中で、風力エネルギーを利用する風力発電は世界中で発電量の割合が高くなっており、ウインドファーム、洋上発電、風車の大型化などが進められている⁽²⁾。風力発電では水平軸型プロペラ風車が主に使用されるが、地域分散型発電や自家用発電では、小型風力発電用風車として垂直軸型風車の使用が有効である場合もある。

本研究ではこれまでに、小型で低出力ではあるが効率が高く、風向に左右されないという特徴を持ったジャイロミル型風車について、起動性能向上に関する様々な実験及び数値解析を行ってきた⁽³⁾⁻⁽⁸⁾。その結果、翼のピッチコントロールが非常に有効であることが確認された。

本報では、垂直軸型風車のうち、揚力型であるジャイロミル型風車ではなく、抗力型風車の性能向上を目的として、可変ピッチ機構を組み込んだ風車の性能調査を行った結果について報告する。

2. 実験装置及び実験方法

ここでは実験装置及び実験方法について説明する。

2.1 低速風洞および供試風車

図1に実験で使用した低速風洞外観を示す。測定部開放・密閉併用型の回流式風洞であるが、今回は測定部開放型で実験を行った。風洞測定部は二次元性を確保するため、高さ200mmおよび幅1,600mmの矩形断面とした。

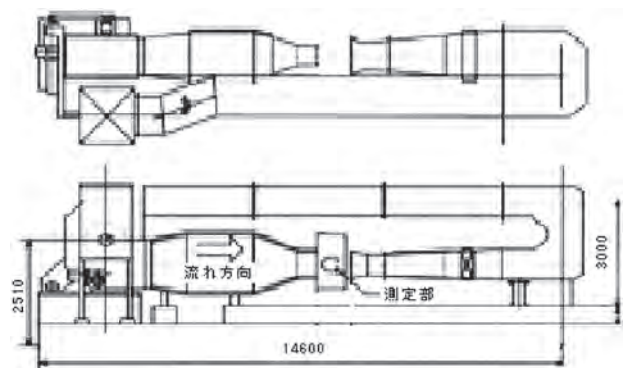


図1 低速風洞概観

図2に供試翼を示す。後で詳細は述べるが、風車が1回転すると翼は元の位置に戻った時に180°回転した状態になるので、供試翼は翼弦長30mm、翼厚5mm、翼幅190mmの平板翼を基準翼とし、前縁と後縁は円弧に整形した。図3に可変ピッチ機構を有する垂直軸型風車模型の写真を示す。図の下方円盤の下に、タイミングベルトとプーリを用いたピッチコントロール機構部が見える。

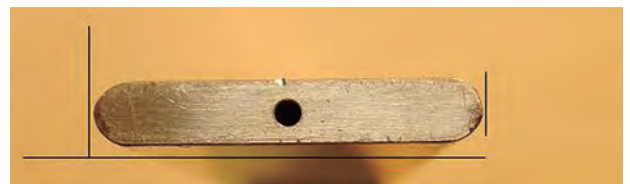


図2 供試翼

* 原稿受付 平成30年12月15日

** 拓殖大学工学部

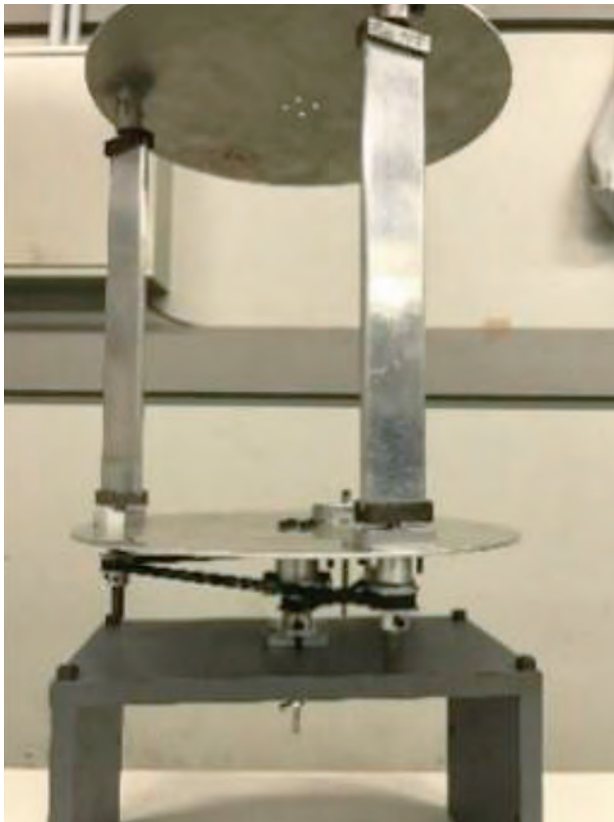


図3 風車概観

2.2 ピッチコントロール機構

図4に、本研究で用いたタイミングベルトとプーリを用いたピッチコントロール機構を示す。図4において、風車翼の回転直径Dは220mmである。軸S1, S2, S3にはそれぞれ同じ歯数のプーリが軸に固定して取り付けられている。タイミングベルトAはS1, S2, S3のプーリ外周を結んでおり、風車が回転すると、各翼は連動して同回転数で軸周りに回転する。S1には上述のプーリとは別に2倍の歯数のプーリが固定して取り付けられている。このプーリは主軸S'のプーリとタイミ

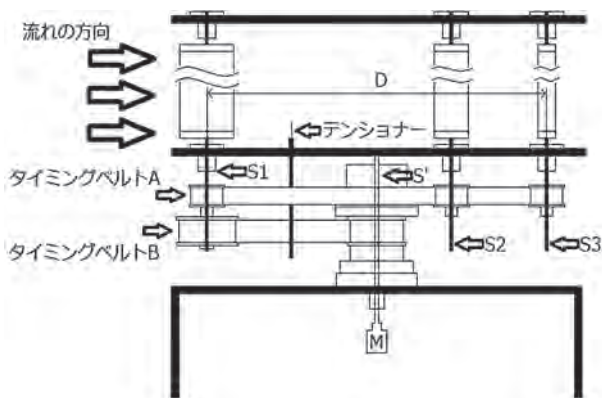


図4 ピッチコントロール機構

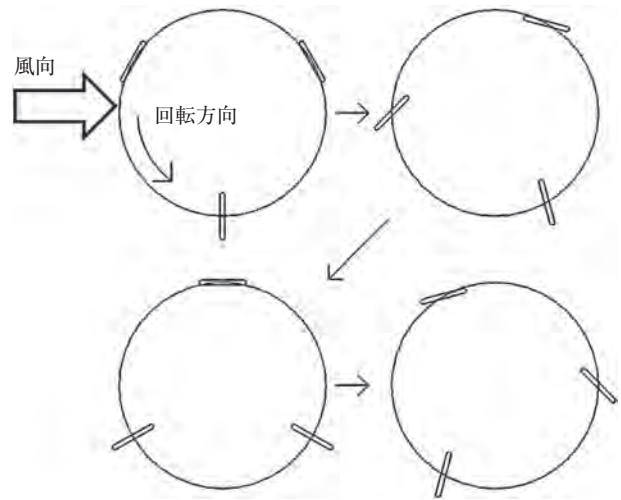


図5 翼の動き

ングベルトBで連結されており、主軸がモータで回転すると、S1のプーリを介して風車が回転する。S1に取り付けられた2つのプーリは歯数比が2:1であるので、風車が360°回転すると各翼は180°回転（半回転）することになる。つまり元の位置に戻った時、翼は前後逆の状態になる。上から見て反時計回りに回転する風車では、回転角度30°毎に翼の動きを示すと図5のようになる。

2.3 供試翼

表1に実験で使用した翼の仕様を示す。今回は翼弦長30mmの翼Aを基準翼とし、翼弦長の影響を調べるために、翼弦長50mmの翼Bおよび翼弦長80mmの翼Cを使用した。さらに、翼型の影響を調べるために、翼Aと同じ翼弦長30mmのNACA2415型翼（翼D）も使用した。翼Dについては、非対称形状であることを考慮して、翼の取付方向を変えた2通りについて調べた。

表1 供試翼の仕様

	翼形	翼弦長	翼幅	材質
翼A	平板翼	30mm	190mm	アルミ
翼B	平板翼	50mm	190mm	アルミ
翼C	平板翼	80mm	190mm	アルミ
翼D	NACA2415	30mm	200mm	真鍮

2.4 実験方法

図6に、風向に対する回転方向と供試風車の方位角 θ 、翼取付角 β の定義を示す。翼取付角 β は風車回転面の接線方向と翼弦のなす角を、方位角 θ は主流と直行する方向を基準（ $\theta = 0^\circ$ ）として、反時計まわりを正とする回転角を表す。

実験条件を表2に示す。発電機を主軸S'に接続して、発電

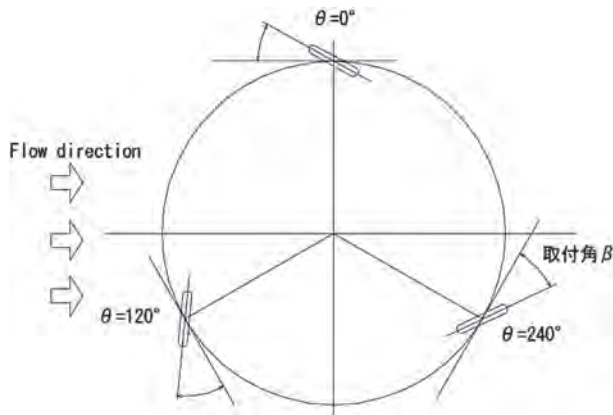


図6 記号の定義

機の出力に0.5, 1, 5, 10 Ωの抵抗を繋いで抵抗にかかる電圧波形をデータロガーで計測し、出力電圧、周期を求めた。

発電量の算出は式(1)、出力係数の算出は式(2)を用いた。ここで、電圧は \bar{E} [V]、抵抗値は R [Ω]、発電量は W [W]、出力係数は C_p 、風速は U [m/s]、風車の受風面積は A [m²]、空気の密度は ρ [kg/m³]とした。電圧 \bar{E} は計測した交流電圧のRMS値を用い、受風面積 A は風車の前面投影面積とした。また空気の密度は1atm、20℃での値である1.204kg/m³として算出した。計測は風速3.6m/s～5.8m/sの間を0.2m/sずつ変化させて行った。

$$W = \frac{\bar{E}^2}{R} \dots (1)$$

$$C_p = \frac{W}{\frac{1}{2}\rho AU^3} \dots (2)$$

表2 実験条件

項目	仕様
風速 U	3.6m/s～5.8m/s (0.2m/sずつ上げる)
供試翼	平板翼 (30mm, 50mm, 80mm)
	供試翼 (NACA2415, 30mm)
抵抗	0.5 Ω, 1 Ω, 5 Ω, 10 Ω

3. 実験結果及び考察

ここでは最適取付角及び本実験の結果について述べる。

3.1 最適翼取付角

表2の実験条件でのパラメトリックスタディの前に、最適な翼取付角について検証実験を行った。この実験では、抵抗10 Ωを使用して発電機の出力電圧、周期をデータロガーで計測した。図6に示した方位角が $\theta = 180^\circ$ の位置で、翼取付角 $\beta = 90^\circ, 60^\circ, -60^\circ$ での各風速に対する発電量を算出、比較

した。一例として、平板翼(翼弦長50 mm)の結果を図7に示す。この図から、翼取付角 90° で発電量最大、起動風速最小であることから、最適翼取付角は $\beta = 90^\circ$ であることが確認できた。その他の翼についても同様の結果であった。

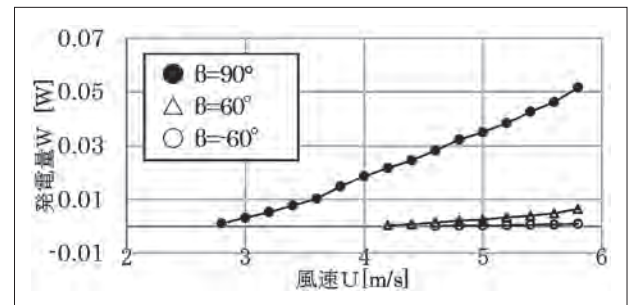


図7 翼取付角と発電量(平板翼:翼弦長50mm)

3.2 翼パラメータの影響

翼パラメータの影響として、表2に示すように、翼弦長の相違、翼型の相違が発電量に及ぼす影響を調べた。抵抗 $R = 0.5, 1, 5, 10 \Omega$ を用いて負荷を変化させ、出力電圧と周期を計測し、発電量と出力係数を算出した。全ての抵抗値において、発電量と出力係数の変化はほぼ同様の傾向を示した。一例として抵抗10 Ωでの結果を図8と図9に示す。

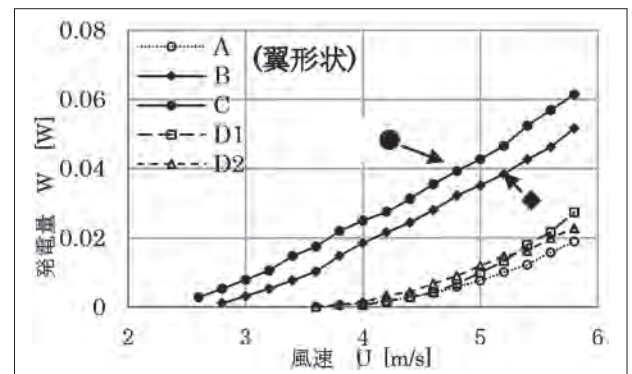


図8 翼形状と発電量の比較

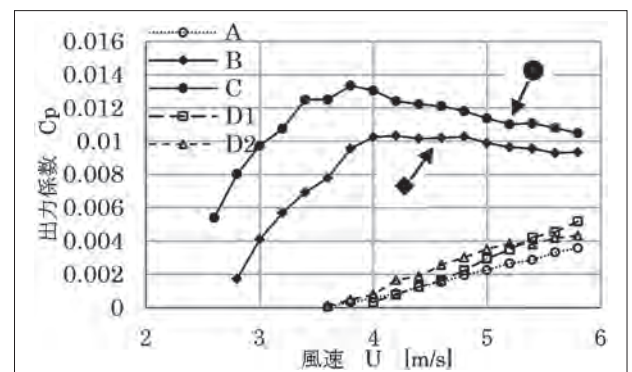


図9 翼形状と出力係数の比較

これらの図を見ると、翼弦長の異なる3種類の平板翼では、翼A (○), 翼B (◆), 翼C (●) と翼弦長が大きくなる程、発電量、出力係数共に低風速側から大きい値を示しており、翼弦長が大きい程効率的に優位であると言える。翼型の違いについては、平板翼A (○) よりNACA翼D (図中のD1 (□)) は通常取付方、D2 (△) は逆向き取付方を表す)の方が、特に風速が高くなると発電性能が良いことが分かる。このことから、反りがある翼を用い、翼弦長を大きくする方が性能はより向上すると言える。

図9の出力係数を見ると、翼Bと翼Cのように翼弦長が大きくなると、 C_p に最大値が見られることから、最適風速又は最高効率率が存在すると思われる。なお、本報では記載していないが、平板翼を用いた供試風車において、ピッチコントロールをしない場合は、翼取付角によっては、風車は全く回転しない、或いは回転しても発電性能は非常に低く、風力発電には適していないことを述べておく。

4. 結論

翼のピッチコントロール機構を組み込んだ3枚翼の垂直型抗力型風車の発電性能を調べた。翼弦長の違いと翼型の違いが発電性能に及ぼす影響について検討した。以下に結論を示す。

- (1) 供試風車において可変ピッチ機構の有無が起動性と発電量に及ぼす効果を比較したところ、可変ピッチ機構がある方が起動性、発電量ともに向上することが分かった。
- (2) 平板翼の実験により、流れ方向と90°回転した位置での翼取付角を90°に設定した場合に発電性能が最大となる。
- (3) 翼弦長が増加し、受風面積が増加することで、起動性と発電量は向上する。
- (4) 質量の違いを除いて比較すると、翼弦長が同じ場合、平板翼とNACA翼では、NACA翼の方が機動性は劣るが、風速が増すと発電性能が高くなる。つまり、反りのある翼を使用の方が風車性能が向上すると推察される。
- (5) 以上のことから、過去の研究で明らかにした垂直軸揚力型風車であるジャイロミル型風車の翼ピッチコントロールつまり風向に対し各翼の取付角をコントロールする方法が性能向上に有効であると同様に、垂直軸抗力型風車においても各翼を風向に対する回転角に対してピッチコントロールする方法は性能向上に有効であることが明らかになった。

参考文献

- (1) (財)日本エネルギー経済研究所, アジア/世界エネルギーアウトック2007, 第399回定例研究報告会(2007)
- (2) BTM Consults World Market Update 2009
- (3) 江口正一, 石井進, 平本政明, 野口常夫, 平野孝典, 田中英穂, 藤本一郎, 風車用切欠き翼の空力特性に関する

- 研究, ガスタービン学会第33回定期講演会講演論文集(2005), pp.107-111
- (4) 井上亮二, 藤本一郎, 平野孝典, 平本政明, 石井進, 垂直軸型風車の空力特性に関する研究(周速の影響), 第36回ガスタービン定期講演会講演論文集(2008), pp.79-83
 - (5) Khairil Akmal bin Nan, 平野孝典, 藤本一郎, 平本政明, Reinhard Niehuis, ジャイロミル型風車の非定常空力特性に関する実験的研究, 第39回日本ガスタービン学会定期講演会講演論文集(2011), pp.181-185
 - (6) 平野孝典, 石井進, 平本政明, 田中英穂, 藤本一郎, 渦法による風車翼周りの流れの数値シミュレーション, ガスタービン学会第34回定期講演会講演論文集(2006), pp.85-89
 - (7) 本郷悠, 平野孝典, 藤本一郎, ジャイロミル型風車のピッチコントロールによる起動性能向上に関する研究, 第40回日本ガスタービン学会定期講演会(釧路)講演論文集(2012), pp.135-139
 - (8) Mohamad Akbar bin Razuki, 平野孝典, 藤本一郎, 渦法を用いた3枚翼ジャイロミル型風車の起動性能解析, 第41回日本ガスタービン学会定期講演会(釧路)講演論文集(2013), pp.193-197