



コンバインド風車に組み込む抗力型風車の翼に関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2013-12-20 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 石川, 寿敏, 藤原, 徳一 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24729/00007601

コンバインド風車に組み込む抗力型風車の翼に関する研究

石川寿敏* 藤原徳一**

A Study on Blades of Drag Type Wind Turbines Installed in the Combined Wind Turbine

ISIKAWA Hisatosi* FUJIWARA Tokuichi**

ABSTRACT

This paper describes blades of drag type wind turbines installed in the combined wind turbine and investigates conditions of blades for rotating drag type wind turbine fast. The performance of two types of blades used in the rotating drag type wind turbine are compared. The performance test involved placing each of the two types of blade into the turbine and rotating it in order to see which type of blade provides the highest performance in power coefficient and in tip speed ratio. The test results show that blades with no slits allow higher tip speed ratio and power coefficient when in the "1/2" and "2/3"(except wind velocity is 12m/s) positions but show that the difference between blades with no slits and with slits is small when in the "1" position. The conclusion of the test is that the blades with no slits provide better performance than the blades with slits.

Key Words : blades with slits, blades without slits, setting positions of blades

1 緒言

北河内エコエナジープロジェクト研究会において、「街中に設置し低風速から発電を開始してなおかつ高出力で風きり音が小さい」をコンセプトにマイクロ風力発電機用風車（以後、プロトタイプ風車と呼ぶ）が開発された⁽¹⁾。

プロトタイプ風車は、抗力型風車の特性を利用して低風速で始動し、その後は揚力型風車の特性を利用して比較的高速で回転し、高出力を得る。

本校地域連携テクノセンター屋上に設置され実証実験が行われたが、期待された出力は得られなかった。プロトタイプ風車は揚力型風車の特性を活かし、ある程度の出力を得ることが期待されたが、実際の運転では高速回転せずに結果として低出力となった。

この原因の一つとして、プロトタイプ風車に組み込まれている抗力型風車の影響が考えられた。すなわち、本来揚力型風車の特性を利用する回転速度域で、抗力型風車が回転抵抗となり、風車の高速回転への障害となっているということである。よって、高速回転時に抗力型風車翼の回転抵抗が小さくなれば、プロトタイプ風車の出力向上が期待できる。

本研究では、プロトタイプ風車に利用されている抗力型風車の翼取付位置と翼形状に注目し、回転抵抗が小さくなる条件を明らかにすることを目的とする。

2 コンバインド風車

プロトタイプ風車は、揚力型風車と抗力型風車を組み合わせたものである。このように揚力型と抗力型を組み合わせた風車をここではコンバインド風車と呼ぶことにする。

プロトタイプ風車は、揚力型風車にストレートダリウス風車を、抗力型風車にはパイプを長手方向に切断した「樋」の形をした翼（以後、樋形翼と呼ぶ）をもつ独自の風車を用いた垂直軸風車である（Fig.1参照）。このようなコンバインド風車は、揚力型および抗力型それぞれの特長を補完した特性を持つことが期待される。

ストレートダリウス風車の主たる特徴^{(2),(3)}は、

- (1)揚力を利用した風車
- (2)風速以上の大きな周速度が得られる
- (3)これにより大きな出力が得やすい
- (4)自己起動性に劣る

が挙げられる。

一方、抗力型風車の特徴^{(2),(3)}として、

- (1)抗力を利用した風車
- (2)風速以上の周速度は得られない

2009年8月20日 受理

* 総合工学システム学科システムデザインコース

(Dept. of Industrial Systems Engineering: System Design and Production Course)

** 総合工学システム学科機械システムコース

(Dept. of Industrial Systems Engineering: Mechanical Systems Course)

- (3)したがって大きな出力は得にくい
 - (4)自己起動性がよい
- が挙げられる。



Fig.1 Prototype wind turbine

したがって、コンバインド風車であるプロトタイプ風車は、自己起動性がよく、大きな出力が得やすい特性を持つと考えられる。

3 性能試験

供試風車は、プロトタイプ風車をスケールダウンした模型風車である。プロトタイプ風車との相違点は、プロトタイプ風車は風車回転軸方向にコンバインド風車が二組直列に並んだ2段構造 (Fig.1) であるのに対し、模型風車は1段であることである。供試風車は、次に述べる性能試験において、コンバインド風車としてだけでなく、揚力型風車を取り除いた抗力型風車として、また抗力型風車を取り除いた揚力型風車としても利用する。

性能試験は、次の三種類を行う。

- (1) 槲形翼の回転抵抗が小さくなる条件を探るための、抗力型風車単体 (Fig.2 参照) による性能試験
- (2) 揚力型風車と組み合わせた際の特性を確認するための、コンバインド風車 (Fig.3 参照) による性能試験
- (3) コンバインド風車としての特性が得られているかを確認するための、揚力型風車単体 (Fig.4 参照) による性能試験

供試風車の外形寸法は直径200mm、高さ206mmである。揚力型風車翼は、翼形断面がNACA0020、翼寸法は、翼弦長40mm、翼厚5mm、翼幅190mmで、回転半径90mmの位置に3枚取り付ける。抗力型風車翼である槲形翼については後述する。



Fig.2 Model wind turbine (drag type)

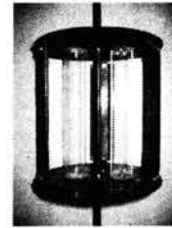


Fig.3 Model wind turbine (combined)



Fig.4 Model wind turbine (lift type)

3.1 試験装置および試験方法

性能試験装置の概略図をFig.5に示す。風車本体を風洞噴出部に設置し、風速一定 (12m/sまたは14m/s, 16m/s) のもと、モータにより風車に負荷を与える。モータ回転速度はインバータにより制御する。これにより風車に与える負荷を変化させ、トルクメータでトルクを検出する。回転速度計とトルク

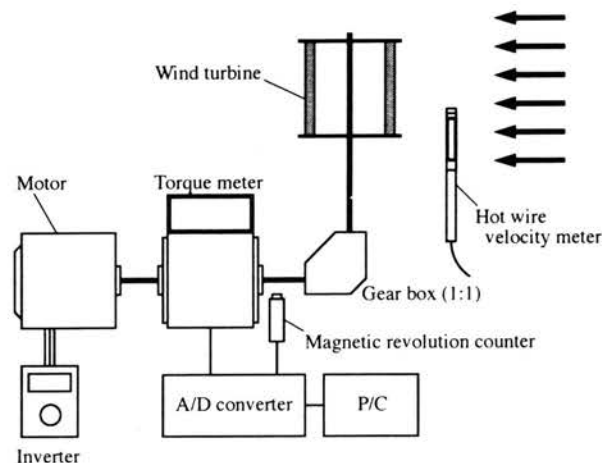


Fig.5 Definition sketch of measurement system

クメータの出力信号をパーソナルコンピュータ（以後、PC）に取り込み、風車出力を求め、計算式を以下に示す。

(1)風車出力 P [W]

$$P = T\omega = T \frac{2\pi N}{60}$$

T : トルク Nm

ω : 風車の角速度 rad/s

N : 風車の回転速度 rpm

(2)周速度 V [m/s]および周速比 λ

$$V = r\omega$$

$$\lambda = \frac{V}{U}$$

r : 風車回転半径 m

U : 風速 m/s

(3)風の持つパワー K [W]

$$K = \frac{1}{2}\rho AU^3 = \frac{1}{2}\rho(2\pi r\ell)U^3$$

A : 風車の受風面積 m^2

ρ : 空気密度 kg/m^3

ℓ : 翼の長さ m

(4)風車のパワー係数 C_p

$$C_p = \frac{P}{K}$$

3.2 試験条件

槲形翼の翼取付位置および翼形状を複数用意し、それぞれを組合せ、条件を変えて性能比較を行う。

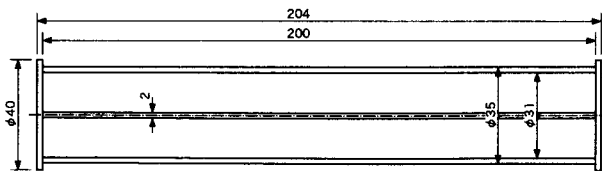


Fig. 6 Blade of drag type wind turbine with slit

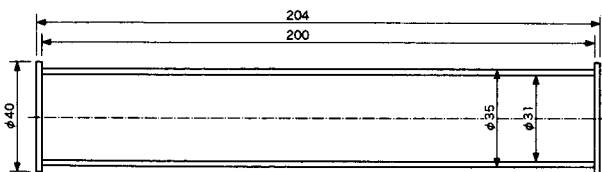


Fig. 7 Blade of drag type wind turbine without slit

翼取付位置 (Setting Position of Blade略して S.P.B.で表す)は回転半径75mmを基準に比率で表す。この位置を「S.P.B.=1」とし、「2/3」, 「1/2」の3種類を用意し、2枚取り付ける。

翼形状は、長手方向に隙間(スリット)を設けた槲形翼(Fig.6参照)と設けない槲形翼(Fig.7参照)の2種類を用意する。それぞれ「スリット付(with-slit)」, 「スリットなし(without-slit)」と呼ぶことにする。

4 結果および考察

4.1 抗力型風車単体の性能

はじめに、無負荷試験結果について示す。風車に負荷を与えず、風速を一定間隔で変化させ、その風速での風車回転速度を測定した結果をFig.8~10に示す。なお、縦軸は回転速度を無次元化した周速比で表している。

翼取付位置S.P.B.=1/2(Fig.8)では、スリットの有無による周速比の差が大きい(例えば、風速10m/sで0.05)が、S.P.B.=2/3(Fig.9)では、風速10m/sで0.03と小さくなる。S.P.B.=1 (Fig.10)では、同じく風速10m/sで周速比の関係が逆転することが分かる。

このことより、3種類の翼取付位置の中では、回転軸から最も遠いS.P.B.=1で翼形状の相違がほとんどなく(強いて言えば、風速10m/s以上でスリット付槲形翼が若干よく回転している)、逆に最も近いS.P.B.=1/2で相違が顕著となり、スリットなし槲形翼がよく回転すると言える。

次に、風車に負荷を与えた試験結果をFig.11およびFig.12に示す。これらの図は、あらかじめ周速比と風車パワー係数の関係(性能曲線)を求め、これより最大パワー係数とそれを示した周速比を翼取付位置との関係で表している。

風速12m/s(Fig.11)、14m/s(Fig.12)のいずれの場合も、スリットなし槲形翼の周速比は翼取付位置に関わらず約0.06および0.07前後でほぼ一定となっている。一方のスリット付槲形翼の周速比は風速14m/s時に取付位置がS.P.B.=1/2から1へと大きくなる。すなわち回転軸から遠ざかると、0.056から0.070へ増加している。12m/sでは、周速比はS.P.B.=1/2から2/3へは0.049から0.065へ増加しているが、S.P.B.=2/3から1へは0.065から0.049へと減少している。

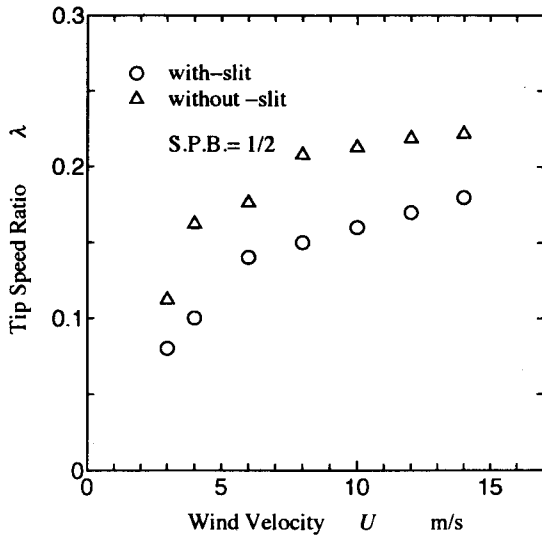


Fig.8 Relation between U and TSR(S.P.B.=1/2)

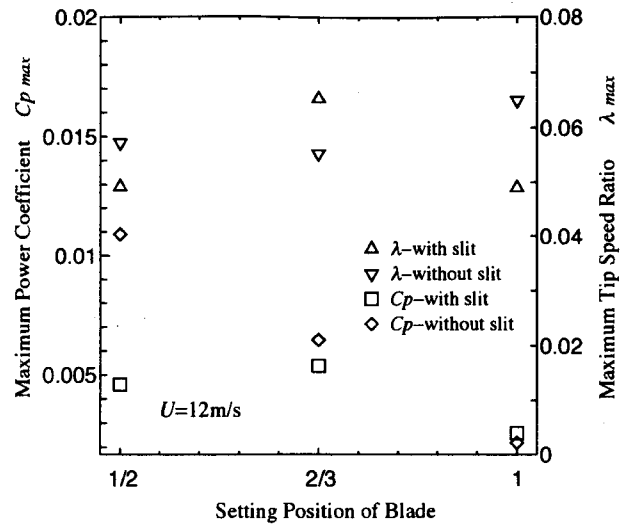


Fig.11 Relation between S.P.B. and C_p , TSR ($U=12\text{m/s}$)

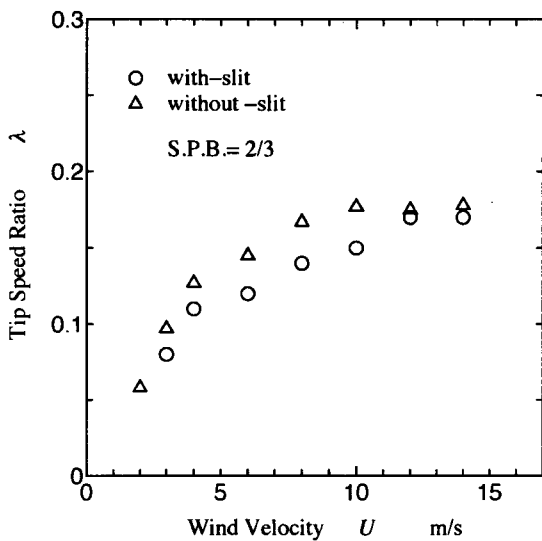


Fig.9 Relation between U and TSR(S.P.B.=2/3)

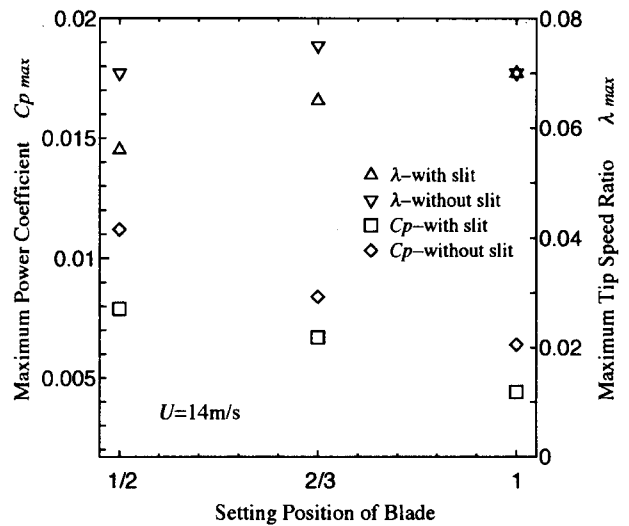


Fig.12 Relation between S.P.B. and C_p , TSR ($U=14\text{m/s}$)

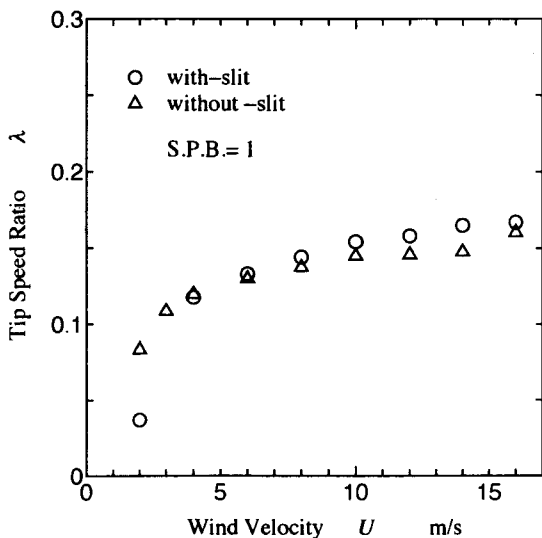


Fig.10 Relation between U and TSR(S.P.B.=1)

このことは、スリットなし槲形翼は回転に関して翼取付位置によらないことを意味し、スリット付槲形翼は、翼取付位置がS.P.B.=1/2よりも回転軸から遠ざかるS.P.B.=2/3や1(風速12m/sは除く)でよく回転すると言える。

風車のパワー係数に目を転じると、スリットなし槲形翼は風速12m/s, 14m/sのいずれの場合も、翼取付位置がS.P.B.=1/2から1へと回転軸から遠ざかる位置となるに従い、減少している(例えば、風速14m/sで0.011から0.006)。一方のスリット付槲形翼でも風速12m/sのS.P.B.=1/2から2/3への変化を除いて、同様に減少している(例えば、風速14m/sで0.008から0.004)。

また、いずれの風速においても同一の翼取付位置におけるスリットなしおよびスリット付槲形翼のパ

ワー係数の差は、S.P.B.=1/2にて最大（風速12m/sでその差0.006）となっており、S.P.B.=2/3,1となるにつれ、その差は小さく（風速12m/sでその差0.000）なっている（風速14m/s時は除く）。

したがって、いずれの翼形状も3種類の翼取付位置では回転軸により近いS.P.B.=1/2で大きな出力を得る（スリット付楯形翼の風速12m/s時を除く）と言える。

スリット付楯形翼はスリットから風が抜け、スリットなし楯形翼より左右2枚の翼に生じる圧力差が小さくなり、周速比が上がらずパワー係数も小さくなったと考えられる。しかしながら、翼取付位置が回転軸より遠くなるS.P.B.=2/3や1では、風車回転半径が大きくなるためいずれの翼形状についても回転抵抗が増大するが、スリット付楯形翼はスリットから風が抜ける分、回転抵抗の増加率が小さくなり、結果的に周速比が上昇し、スリットなし楯形翼とのパワー係数の差異が縮まったものと推測される。

4.2 コンパインド風車の性能

揚力型風車と組み合わせたコンパインド風車として運転したときの試験結果をFig.13およびFig.14に示す。

翼取付位置S.P.B.=1/2 (Fig.13) では、スリットの有無による性能差はほとんどない。強いて言えば、若干スリットなし楯形翼のパワー係数が上回っている。S.P.B.=2/3 (Fig.14) では、スリットなし楯形翼のパワー係数がスリット付楯形翼のそれを上回っている。

また、スリットなし楯形翼で比較するとS.P.B.=1/2における最大パワー係数が0.180と、S.P.B.=2/3における0.147よりも大きく、その値を示す周速比もそれぞれ0.8、0.7と僅かながら大きくなっている。

コンパインド風車においては、揚力型風車と抗力型風車では前者の効果が大きいと考えられる。そのため、取付位置S.P.B.=1/2では楯形翼の回転抵抗が小さいが故にスリットの有無の差異がほとんど現れなかったが、S.P.B.=2/3では幾分回転抵抗が大きくなるため、揚力型風車の効果に影響が現れ、スリットの有無の差異が明確になったと考えられる。

4.3 コンパインド風車と揚力型風車の性能比較

コンパインド風車と揚力型風車の試験結果の比較をFig.15およびFig.16に示す。

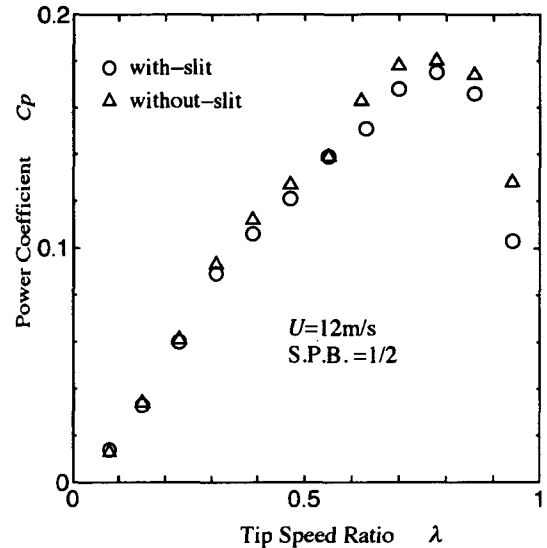


Fig.13 Performance curve of combined w.t. (S.P.B.=1/2)

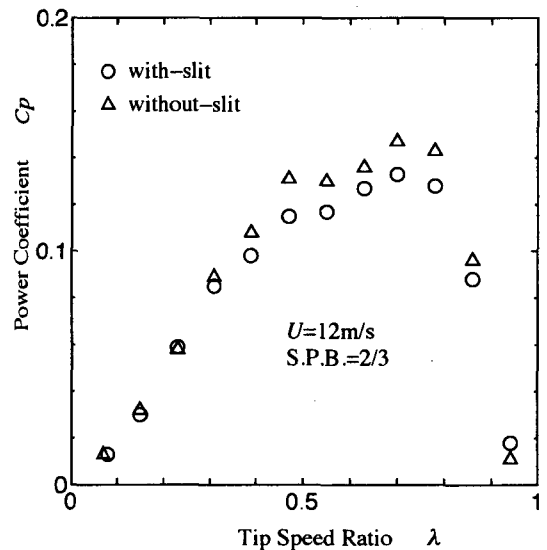
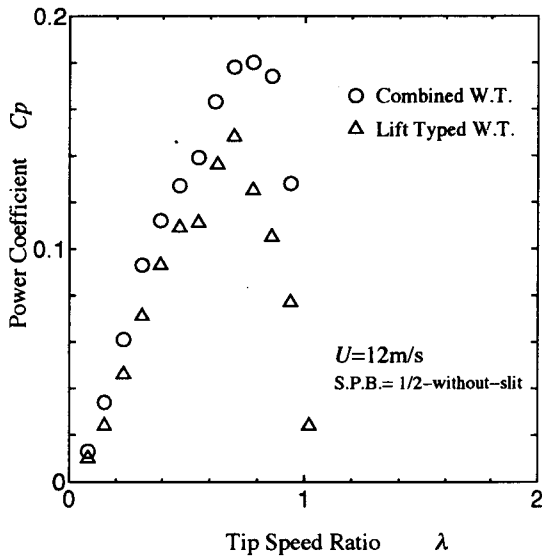
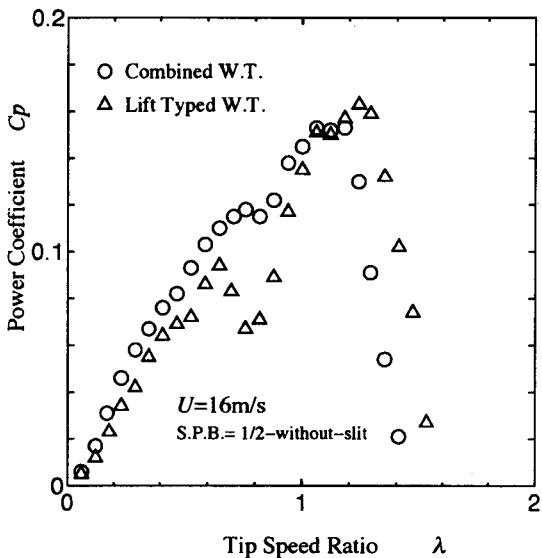


Fig.14 Performance curve of combined w.t. (S.P.B.=2/3)

風速12m/s (Fig.15) においては、コンパインド風車の性能が揚力型風車すなわちストレートダリウス風車を上回っている。風速16m/s (Fig.16) においては、周速比1.2までは、風速12m/s時と同様、コンパインド風車の性能がストレートダリウス風車のそれを上回っているが、周速比1.2を超えると逆転していることが分かる。

すなわち、コンパインド風車が比較的低い周速比（回転速度）で、より大きなパワー係数（出力）を得ていることを示しており、抗力型風車を組み合わせた効果が発揮されていると言える。

Fig.15 Performance curve ($U=12\text{m/s}$)Fig.16 Performance curve ($U=16\text{m/s}$)

5 結言

コンバインド風車に組み込む抗力型風車の翼について、その取付位置と形状に着目して、回転抵抗の小さくなる条件を調べた。本研究により得られた結論を以下に示す。

翼形状に関しては、抗力型風車単体の性能試験結果において、取付位置に関わらずスリットなし槲形翼がよい性能を示す。但し、用意した3種類の取付位置では、回転軸から離れる位置ほど、スリット付

槲形翼との性能差は小さくなる（風速14m/s時は除く）。

また、コンバインド風車の性能試験結果において、取付位置1/2では翼形状の相違による性能差はほとんどみられない。2/3において、スリットなし槲形翼の性能が上回る。

したがって、コンバインド風車に組み込む抗力型風車の翼（槲形翼）は、スリットを設けず、回転軸に近い位置（試験範囲内では取付位置1/2）に取り付けると、回転抵抗がより小さくなる。

しかしながら、回転軸から遠い位置（試験範囲内では取付位置1）に取り付ける場合には、槲形翼に設けたスリットの効果が現れ、性能低下はスリットのない槲形翼に比して小さい。

揚力型風車単体との性能比較から、抗力型風車を組み込んだ効果が確認できた。

最後に、試験装置の製作および性能試験実施においては、当時本校学生であった佐藤旭氏(大阪市立大学大学院生)、谷口頌太郎氏(大阪大学大学院生)、川畑和喜氏((株)天辻鋼球製作所勤務)、西島源二氏((独)国立印刷局勤務)、岩切達夫氏(新神戸電機(株)勤務)、長尾浩二氏(金沢大学学生)に多大なる御協力を頂いた。ここに付記し謝意を表する。

参考文献

- (1) 藤原, 杉浦, 葭谷, 白田, 岡南, 伊藤, 『C-KEEPに伴うμ風力発電ハイブリッドシステムの開発』, 大阪府立工業高等専門学校研究紀要第40巻(2006)
- (2) 牛山泉, 風車工学入門, 森北出版(2004)
- (3) 牛山, 三野, 小型風車ハンドブック, パワー社(1994)

付録

付録として性能試験時の測定環境を示す。

- Fig.8-10 : データなし
 Fig.11,12 : 気温18.7°C, 気圧1024.8hPa他
 Fig.13 : 気温12.5°C, 気圧1028.0hPa他
 Fig.14 : 気温13.5°C, 気圧1022.0hPa
 Fig.15 : 気温13.3°C, 気圧1019.5hPa他
 Fig.16 : 気温13.3°C, 気圧1019.5hPa