

水平軸小型風車の翼端形状に関する実験的研究*

An Experimental Study of the Shapes of Blade tip for a Horizontal-axis Small Wind Turbines

西沢 良史**

鈴木 政彦***

谷口 英人***

牛山 泉****

Yoshifumi NISHIZAWA

Masahiko SUZUKI

Hideto TANIGUCHI

Izumi USHIYAMA

1. 緒言

近年、温暖化など環境問題が地球規模で顕在化しつつある中で、環境負荷の小さな再生可能エネルギーのひとつである風力が注目されている。最近では、直径2m以下程度の小形風力発電機が、街路灯、公園灯、環境モニュメントの他に、防災時の非常用電源、各種教材用などにも数多く使用されている。

このような小型機は市街地やその近郊に設置されることが多いが、設置数の増加に伴って、市街地の平均風速に起因する発電量不足や、風車回転による騒音などの問題も顕在化してきている。

それらの問題を解決するため、風車ロータの設計周速比を低く設定し、低風速域での運用を可能にし、低回転運転をされる試みがなされてきた。

しかし、従来の発電機に整合するように設計された高周速比型の風車ロータに関する実験データや文献は数多く存在し、また徳山らによってマイクロ風車の最適設計形状に関する研究はなされているが、これらはすべて翼素運動量理論に基づく先細テーパ形ブレードに関するものであり、低周速比型の風車ロータ形状に特化して体系的に整理したものは見当たらない。

そこで筆者らは、翼素運動量理論を用いて低周速比で設計した先細テーパ形の風車ロータと、その翼弦長の算出結果を正反対に配置した逆テーパ形の風車ロータを製作し、風洞実験によりロータ平面形状の違いによる風車性能の比較を行った。その結果、図1に示すように、先細テーパ形は翼弦長を大きくすることの他に、翼枚数を増大させることが、パワー係数の増大に有効であり、さらに5枚翼の時、最も高いパワー係数を得られることが判明した。また、図2に示すように、周速比 $\lambda = 2$ 程度にて設計した風車ブレードは逆テーパ形にすることで、さらに最大パワー係数が増大することも判明した。¹⁾

また、長谷川らの数値解析によって翼端板（ウィングレット）を取り付けることで、風車のパワー係数は増大することが判明している。²⁾ しかし、こ

の数値計算のモデル風車は、2枚翼、周速比 $\lambda = 8$ であり、高周速比型の風車に対しての結果であった。

そこで本報告では、低周速比にて設計したテーパ形と逆テーパ形を対象とし、そのブレードに取り付ける翼端板（ウィングレット）を製作して、その効果を調べるために風洞実験を行なった。

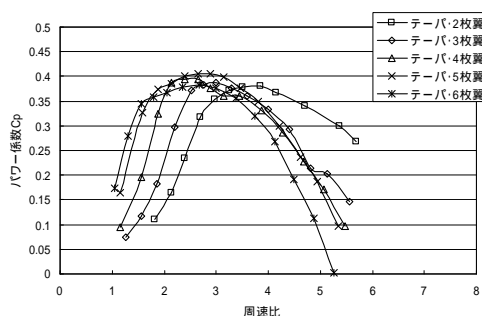


図1 202 (テーパ形) の翼枚数変化の性能比較

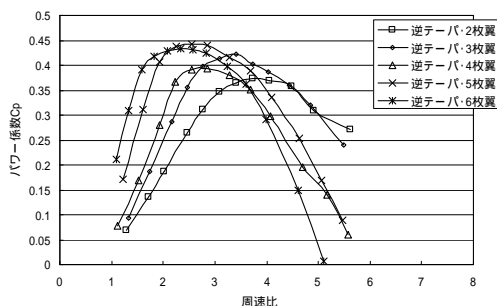


図2 204 (逆テーパ形) の翼枚数変化の性能比較

2. 供試風車の設計

供試風車のブレード設計計算式を表1に、設計値および算出結果のうち、基本設計値を表2に、取付角と先端翼弦長について表3に記す。なお、相対的な評価を目的とするため、ブレードに使用した翼型はClark Y一種類のみとした。今回のブレードはテーパ形、逆テーパ形の2種類で、板長さが30[mm]および60[mm]となる2種類の翼端版を各ブレードの翼弦長に合わせて製作した。図3に製作したブレードを、図4にウィングレットを、図5および図6

*平成20年11月28日第30回風力エネルギー利用シンポジウムにて講演、原稿受付平成19年10月8日

会員 足利工業大学総合研究センター (〒326-8558 栃木県足利市大前町268-1) *会員 株式会社エナジー・システム研究所 (〒329-4304 栃木県下都賀郡岩舟町静和23) ****会員 足利工業大学大学院

表1 翼素運動量複合理論によるブレード設計式

局所周速比	$\lambda_{rd} = \lambda_d \frac{r}{R}$	B : 枚数 C : 翼弦長[m]
流入角	$\phi = \frac{2}{3} \tan^{-1} \frac{1}{\lambda_{rd}}$	C_L : 揚力係数 R : 風車半径[m]
取付角	$\beta = \phi - \alpha$	r : 半径方向距離[m] λ_d : 設計周速比 λ_{rd} : 局所周速比
翼弦長	$C = \frac{8\pi r}{BC_L} (1 - \cos \phi)$	ϕ : 流入角 α : 迎角 β : 取付角

表2 基本設計パラメータ

ロータ半径[mm]	300
翼型	Clark Y
設計揚力係数	1.1
設計迎角[°]	8
線形化位置1[%]	75
線形化位置2[%]	95

表3 各ブレードの設計パラメータ

ブレード型式	202(テーパ形)、204(逆テーパ形)				
翼枚数	2	3	4	5	6
設計周速比	3.4	2.72	2.29	2	1.78
ブレード根元から80%箇所を取付角[°]	5.6	8.6	11.2	13.4	15.5
テーパ形先端翼弦長[mm]	64.4				
逆テーパ形先端翼弦長[mm]	113.3				



図3 202、204 ブレード

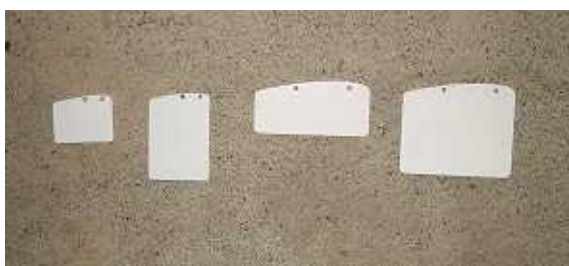


図4 ウィングレット



図5 ウィングレット取付方向(流入側)



図6 ウィングレット取付方向(後流側)

にウィングレットの取り付け方を示す。

3. 実験装置および方法

本実験に用いた風洞は吹き出し型で、風速2～20[m/s]まで変化させることができる。吹き出し口の断面は1.05[m]×1.05[m]である。

実験装置の概要を図7に示す。

風車への負荷は200[V]3相6極の誘導電動機を用いて、同期周波数をインバータで制御し、任意に設定した周波数の時のトルク及び回転数をトルク

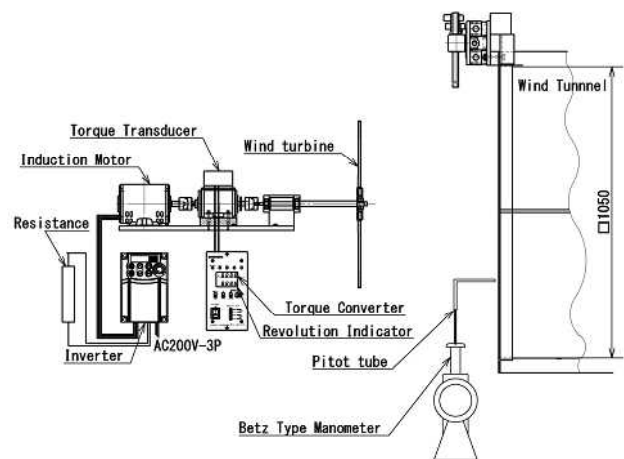


図7 実験装置概要図

変換器、回転計で測定している。

本実験では翼枚数を2枚から6枚としたロータに対して、ウィングレットを流入方向および後流方向に向けて取り付け、風速を4、6、8、10および12〔m/s〕に設定し、任意の回転数おけるトルクを測定した。これらのデータを用いてパワー係数、トルク係数 および周速比の値を算出した。

4. 実験結果および考察

4-1. ウィングレット付きテーパ形ブレードの性能比較

2から6枚翼のロータに2種類のウィングレットを流入方向および後流方向に取り付けた場合の風速10m/sの時のパワー係数を、図8から図12に示す。

2枚翼において、ウィングレットなしのロータは、周速比 =3.91の時、最大パワー係数 $C_{pmax}=0.381$ であったのに対し、30〔mm〕ウィングレットを後流方向に取り付けたロータは、周速比 =3.56の時、最大パワー係数 $C_{pmax}=0.399$ となり、1.8%のパワー係数の増大が見られた。

3枚翼において、ウィングレットなしのロータは、周速比 =3.00の時、最大パワー係数 $C_{pmax}=0.387$ であったのに対し、30〔mm〕ウィングレットを後流方向に取り付けたロータは、周速比 =2.96の時、最大パワー係数 $C_{pmax}=0.412$ となり2.5%のパワー係数の増大が、60〔mm〕ウィングレットを後流方向に取り付けたロータは、周速比 =2.93の時、最大パワー係数 $C_{pmax}=0.400$ となり1.3%の増大となった。

4枚翼において、ウィングレットなしのロータは、周速比 =2.65の時、最大パワー係数 $C_{pmax}=0.393$ であったのに対し、30〔mm〕ウィングレットを後流方向に取り付けたロータは、周速比 =2.34の時、最大パワー係数 $C_{pmax}=0.425$ となり3.2%のパワー係数の増大が、60〔mm〕ウィングレットを後流方向に取り付けたロータは、周速比 =2.46の時、最大パワー係数 $C_{pmax}=0.419$ となり2.4%の増大となった。

5枚翼において、ウィングレットなしのロータは、周速比 =2.64の時、最大パワー係数 $C_{pmax}=0.405$ であったのに対し、30〔mm〕ウィングレットを後流方向に取り付けたロータは、周速比 =2.21の時、最大パワー係数 $C_{pmax}=0.423$ となり1.8%のパワー係数の増大が、60〔mm〕ウィングレットを後流方向に取り付けたロータは、周速比 =2.13の時、最大パワー係数 $C_{pmax}=0.422$ となり1.7%の増大となった。

6枚翼において、ウィングレットなしのロータは、

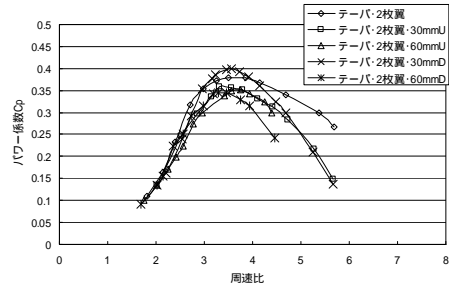


図8 テーパ形2枚翼

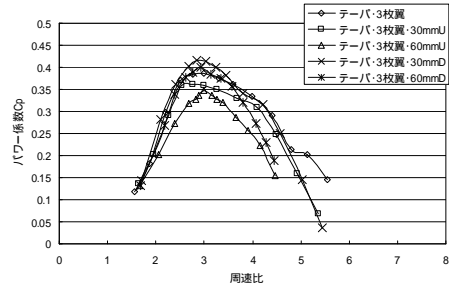


図9 テーパ形3枚翼

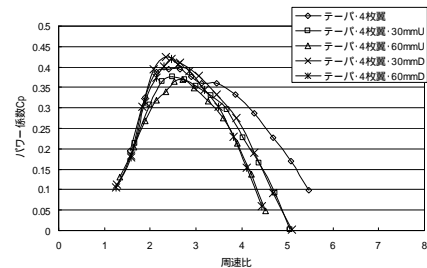


図10 テーパ形4枚翼

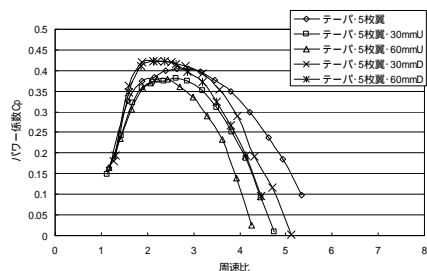


図11 テーパ形5枚翼

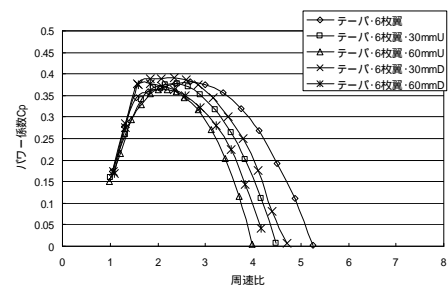


図12 テーパ形6枚翼

周速比 =2.68 の時、最大パワー係数 $C_{pmax}=0.383$ であったのに対し、30[mm]ウイングレットを後流方向に取り付けたロータは、周速比 =2.34 の時、最大パワー係数 $C_{pmax}=0.391$ となり 0.8%のパワー係数の増大が見られた。

以上の結果より、テーパ形においては、ウイングレットを後流方向に取り付けることで、いずれもパワー係数が増大することが判明した。

4.2. ウイングレット付き逆テーパ形ブレードの性能比較

2から6枚翼のロータに2種類のウイングレットを前流方向および後流方向に取り付けた場合の風速10m/sの時のパワー係数を、図13から図17に示す。

6枚翼において、ウイングレットなしのロータは、周速比 =2.58の時、最大パワー係数 $C_{pmax}=0.431$ であったのに対し、30[mm]ウイングレットを後流方向に取り付けたロータは、周速比 =1.87の時、最大パワー係数 $C_{pmax}=0.439$ となり 0.8%のパワー係数の増大が見られた。

しかし、他の翼枚数においては、ウイングレットを取り付けることによって、パワー係数は低下してしまった。これは、ウイングレットの翼弦長方向の長さが大きく、ロータ回転の外周円よりはみ出している部分の抗力が、ロータ回転に対して負荷となっているためと考えられる。

5. 結 言

本研究において設計周速比、翼枚数、および平面形状を変化させた性能比較により、以下のことが判明した。

- (1) テーパ形ブレードにおいて、ウイングレットを後流方向に取り付けることで、パワー係数が増大することが判明した。
- (2) 逆テーパ形ブレードにおいては、6枚翼を場合を除き、ウイングレットを取り付けることによりパワー係数は低下してしまうことが判明した。

参考文献

- 1) 西沢良史、鈴木政彦、谷口英人、牛山泉、水平軸小型風車のロータ形状に関する実験的研究、第29回風力エネルギーシンポジウム講演論文集、日本風力エネルギー協会、(2007)、pp.364-367
- 2) 長谷川豊、菊山功嗣、今村博、ウイングレットをもつ水平軸風車の数値解析、日本機械学会論文集(B編)、62巻、600号、(1996)、pp.3088-3094

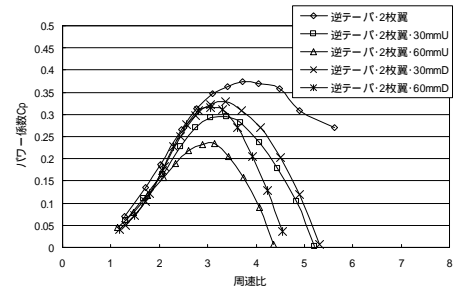


図13 逆テーパ形2枚翼

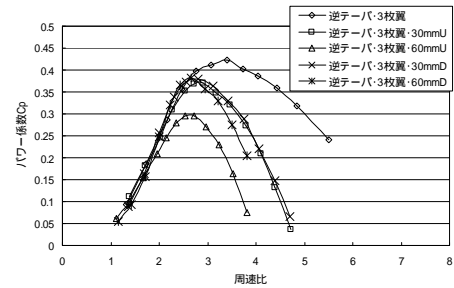


図14 逆テーパ形3枚翼

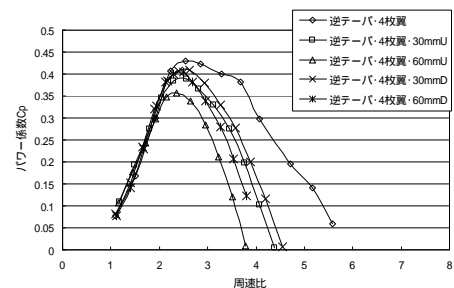


図15 逆テーパ形4枚翼

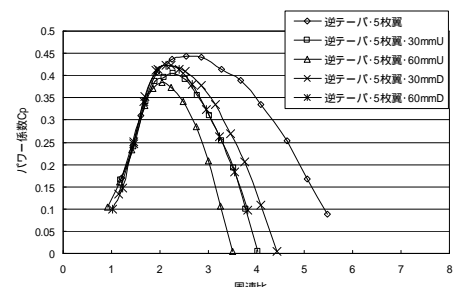


図16 逆テーパ形5枚翼

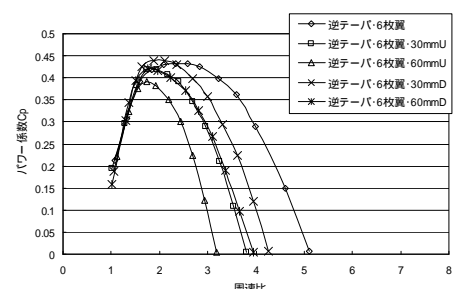


図17 逆テーパ形6枚翼