

水平軸小型風車のロータ形状に関する実験的研究*

An Experimental Study of the Shapes of Rotor 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、環境負荷の小さい再生可能エネルギーのひとつである風力が注目されており、直径70m 定格出力2MW を超える大型風力発電機が既に実用化されている。

一方、独立電源としての小規模風力発電も古くから用いられている。特に最近では、直径2m 以下程度の小形風力発電機が、街路灯、公園灯、環境モニタメントの他に、防災時の非常用電源、各種教材用などに数多く使用されている。

このような小型機は市街地などに設置されることが多いが、設置数の増加に伴って風車回転による騒音や、市街地特有の風速・風向の急激な変動による風車故障などの問題も顕在化してきている。

その問題のひとつである騒音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、できる限り低回転運転させることによって、騒音を低減しようとする試みがなされてきた。しかし、発電機が要求する回転数やトルクと整合しないことが多く、このような設計方法を断念するケースがほとんどであった。このような背景をふまえて、小型風車専用の低回転型の発電機や制御回路の開発がこの数年の間に大幅に進み、低周速比にて設計した風車ロータとの整合性が得られつつある。

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、牛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より算出したテーパ形のブレードに関してのものであり、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。

そこで本研究では、翼素運動量理論を用いて低周速比で設計した先細の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。

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、取付角と先端翼弦長について表2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 一種のみとした。今回製作したブレードはテーパ形、逆テーパ形共に5種類であり、そのうち3種類は、2から6枚まで翼枚数を変更して実験を行った。製作したブレードを図1から図5に示す。

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

なお、ブレード型式は筆者らが任意につけた番号であり、下一桁の数字の2は先細のテーパ形を、4は逆テーパ形を表している。また、202、204、302、304、402、404の百桁目の数字は、ブレード枚数が5枚の時の設計周速比を表しており、数字が大きくなるほど、翼弦長が短くなっている。なお、502、504、602、604のブレードは同一周速比(=3.4)の時の枚数の変化による比較を行うために3枚翼および5枚翼の実験ができるよう製作したブレードである。

*平成19年11月29日第29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10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 樹格ローバルエンジニア-栃木研究所(〒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2 供試風車の設計値

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				
各ブレードの設計パラメータ					
ブレード型式	202(テーパー形)、204(逆テーパー形)				
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
テーパー形先端翼弦長[mm]	64.4				
逆テーパー形先端翼弦長[mm]	113.3				
ブレード型式	502(テーパー形)、504(逆テーパー形)				
翼枚数		3			
設計周速比		3.4			
ブレード根元から80%箇所を取付角[°]		5.6			
テーパー形先端翼弦長[mm]	40.9				
逆テーパー形先端翼弦長[mm]	84.0				
ブレード型式	302(テーパー形)、304(逆テーパー形)				
翼枚数	2	3	4	5	6
設計周速比	5	4	3.4	3	2.72
ブレード根元から80%箇所を取付角[°]	1.4	3.7	5.6	7.2	8.6
テーパー形先端翼弦長[mm]	22.5				
逆テーパー形先端翼弦長[mm]	38.0				
ブレード型式	602(テーパー形)、604(逆テーパー形)				
翼枚数				5	
設計周速比				3.4	
ブレード根元から80%箇所を取付角[°]				5.6	
テーパー形先端翼弦長[mm]	24.6				
逆テーパー形先端翼弦長[mm]	50.4				
ブレード型式	402(テーパー形)、404(逆テーパー形)				
翼枚数	2	3	4	5	6
設計周速比	6.4	5.2	4.5	4	3.4
ブレード根元から80%箇所を取付角[°]	-0.6	1.1	2.4	3.7	4.9
テーパー形先端翼弦長[mm]	18.0				
逆テーパー形先端翼弦長[mm]	38.0				



図2 502、504 ブレード



図3 302、304 ブレード



図4 602、604 ブレード



図1 202、204 ブレード



図5 402、404 ブレード

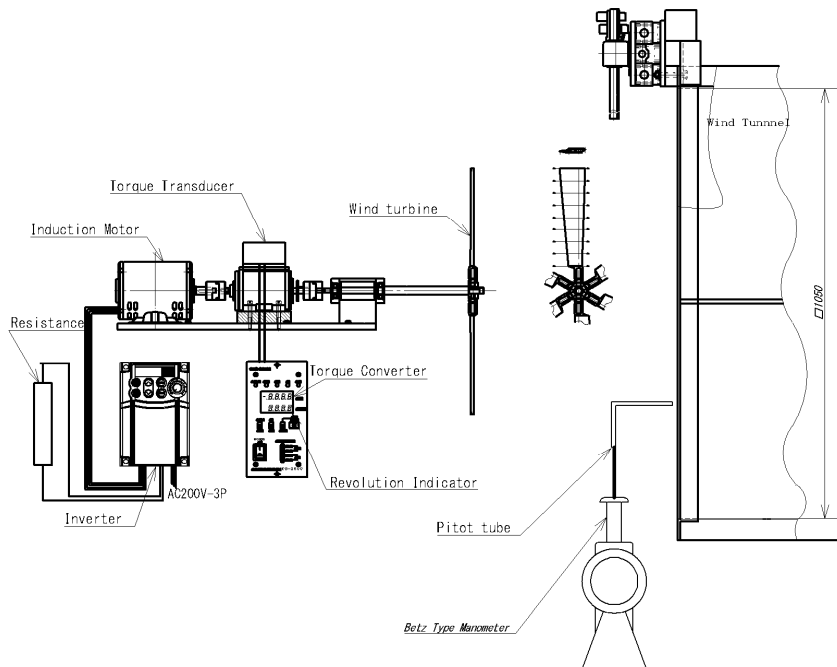


図6 出力特性試験装置

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。

風車への負荷は 200 [V] 3 相 4 極および 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、任意で設定した周波数の時のトルク及び回転数をトルク変換器、回転計で測定している。

本実験ではブレード型式が 202、204、302、304、402、404 において翼枚数を 2 ~ 6 枚としたロータに対して、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。また、ブレード型式が 502、504 については翼枚数 3 枚のものを、ブレード型式が 602、604 については、翼枚数 5 枚のものについて実験を行った。

4. 実験結果および考察

4-1. 同一周速比における性能比較

設計周速比を $\lambda = 3.4$ と同一にした時の、翼枚数の変化による性能比較のため、風速 10m/s におけるテーパ形のトルク係数を図 7 に、パワー係数を図 8 に、逆テーパ形のパワー係数を図 9 に示す。

テーパ形の風車トルク係数の結果より、最もトルク係数が高かったものは 2 枚翼であり、枚数の増加に伴って、最大トルク係数は低下したが、最大トルク係数に対応する周速比は枚数の増加と共に増大することが明らかになった。また、パワー係数は 2 から 5 枚翼において、最大パワー係数が 0.38 以上に達

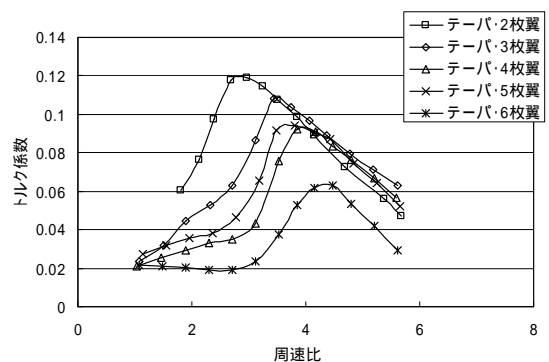


図7 同一周速比 ($\lambda = 3.4$) のテーパ形のトルク係数

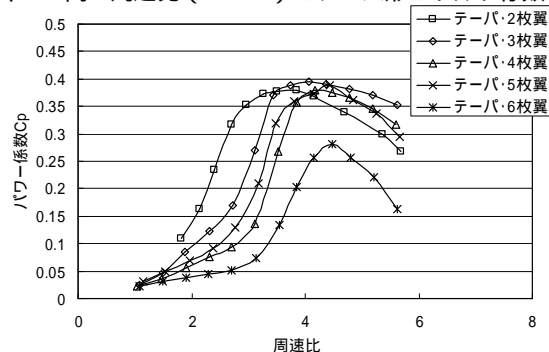


図8 同一周速比 ($\lambda = 3.4$) のテーパ形のパワー係数

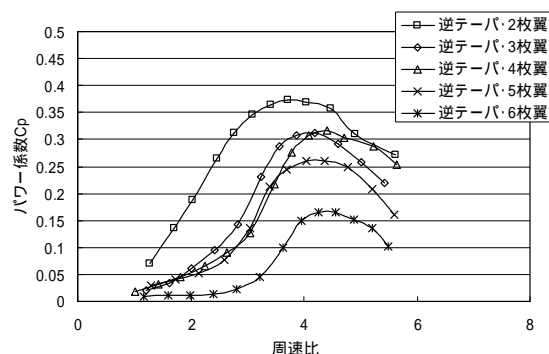


図9 同一周速比 ($\lambda = 3.4$) の逆テーパ形のパワー係数

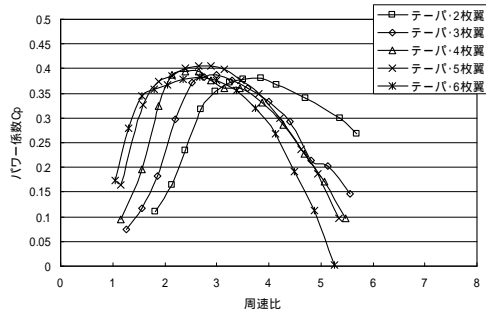


図 10 202 (テーパ形) の翼枚数変化の性能比較

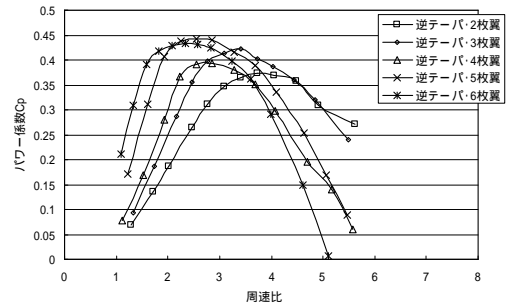


図 13 204 (逆テーパ形) の翼枚数変化の性能比較

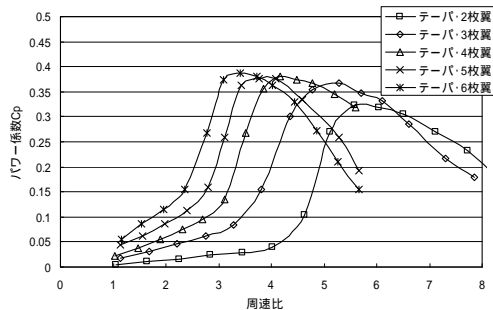


図 11 302 (テーパ形) の翼枚数変化の性能比較

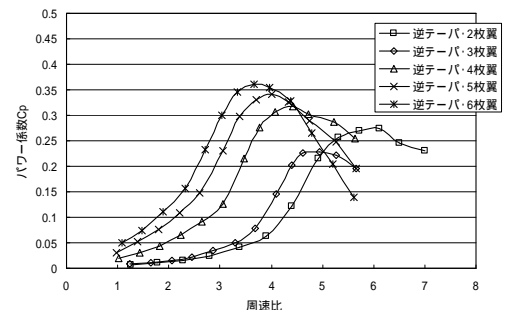


図 14 304 (逆テーパ形) の翼枚数変化の性能比較

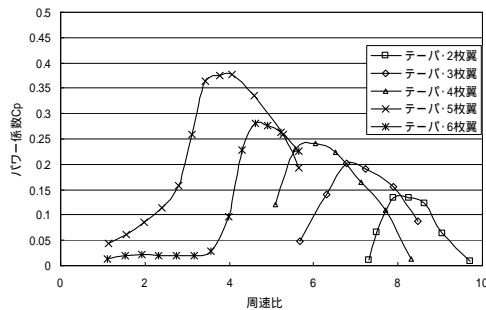


図 12 402 (テーパ形) の翼枚数変化の性能比較

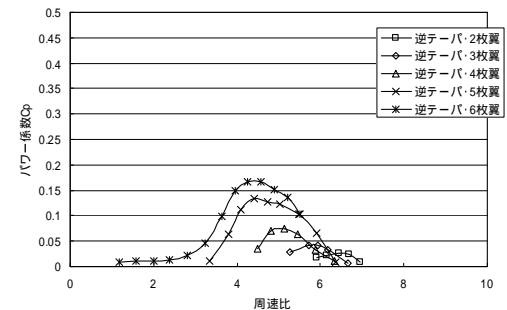


図 15 404 (逆テーパ形) の翼枚数変化の性能比較

し、6枚翼のみパワー係数が0.3以下であった。この中で最も高いパワー係数が得られたのは3枚翼で、周速比 =4.06 の時、 $C_{pmax}=0.39$ であった。

逆テーパ形では、2枚翼が周速比 =3.72 の時、 $C_{pmax}=0.38$ でもっとも高く、他の枚数においては枚数の増大に伴って、パワー係数の低下が見られた。

4.2. 各ブレードの枚数の変化による性能比較

図 10 から 12 に、テーパ形のブレード3種を使用し翼枚数を2から6枚に変化させた結果を、図 13 から 15 に逆テーパ形の翼枚数変化の結果を示す。

テーパ形および逆テーパ形の双方とも、翼弦長が最も大きいブレードのロータのパワー係数が高く、特に5枚翼で最大パワー係数が得られる傾向が見られた。さらに、逆テーパ形(204)はテーパ形(202)に比べて枚数の増加に伴うパワー係数の向上が顕著にみられ、5枚翼でテーパ形は最大パワー係数 $C_{pmax}=0.404$ であるのに対し、逆テーパ形は最大

パワー係数 $C_{pmax}=0.443$ となった。

この結果より、周速比 =2 程度の低周速比にて設計したブレードは、翼枚数を増やすことと共に、逆テーパ形にすることで、さらに最大パワー係数が向上することが判明した。

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)同一周速比にて設計したテーパ形のロータは、翼弦長が大きいほど、トルク係数が高くなった。
- (2)パワー係数の向上のため、翼弦長を大きくすることの他に、翼枚数を増大することも有効であった。
- (3)周速比 =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向上した。