## 単一ブレード風車モデルの流れ場の特性 風車軸出力に与える主流風速の影響 The Characteristics of Flow Field on The Single Blade Wind Turbine Effect of Wind Velocity on the Turbine Power

○加藤冬美<sup>1</sup>, 唐沢慧<sup>1</sup>, 花田諒介<sup>2</sup>, 関谷直樹<sup>3</sup> \*Fuyumi Kato<sup>1</sup>, Kei Karasawa<sup>1</sup>, Ryosuke Hanada<sup>2</sup>, Naoki Sekiya<sup>3</sup>

To clarify the effect of Reynolds number on small wind turbine, we measured the shaft output of it in several wind velocities. From results obtained, we found that maximum output power and operating range of turbine increased with free stream velocity. Thus, to research the relation between output power and wake flow of the blade in detail, we investigated flow field using single blade model. From the velocity fluctuation induced by wake of the blade, we estimated scale and convection velocity of the wake. We found that the faster free stream velocity, the smaller the wake of blade became, and the convection velocity was same about the free stream velocity or tip speed of blade.

## 1. はじめに

垂直軸型風車は風に対する指向性が無く,発電機を 地上近くに設置できるという構造的な利点から小規模 分散発電への利用に適している.中でも揚力型風車は 風エネルギの変換効率が良いとされているが,街中で 見受けられる風車の多くは抗力型,揚力型であっても 実際には抗力で駆動しているものが圧倒的に多い.こ れは,実際に得られる揚力型風車の軸出力と簡易的に モデル化された理論から予測される出力が乖離してい るため,抗力型が多く利用されていると考えられる. 直径が 200mm と小さな揚力型風車モデルでの実験を 試みてきたが,大型風車のような軸出力特性は得られ ない.両者の最大の違いは,最大出力を得る周速比λ

(周囲流体の流速とブレード周速の比)が大型風車で はλ=3以上であるのに対し、小型のモデルではλ=1付 近まで低下することである.この周速比の低下は、揚 力型風車のメリットが生かせず、軸出力も抗力型に劣 る可能性さえある.小型風車はブレードサイズとの兼 ね合いからソリディティ σ (風車掃過面積対するブレ ード面積の割合)が高くなり、低回転時においてもブ レード伴流が干渉し、性能低下の原因となることが明 らかとなっている[1]. ブレード伴流のスケールと移流 速度はレイノルズ数に依存することが予測されること から軸出力に与えるレイノルズ数の影響を明らかにす ることを計画した. Fig.1 は主流速度をパラメータにパ ワー係数 Cpを比較したものである.主流速度の増加に 伴い C。の最大値およびその周速比が増加することが わかる. この結果はブレード伴流のスケールおよび移 流速度がレイノルズ数により変化することを示唆して

いるものと考えられる.そこで本研究は単一ブレード モデルを用い,ブレード伴流のスケール,移流速度の 主流速度による変化を明らかにすることを目的とした.



Figure 1. Variation of power coefficient for wind velocity

## 2. 実験装置および方法

実験は日本大学理工学研究所所有の大型低速風洞を 使用して行った.風車モデルは翼端板の効果を期待し 直径 400mm の円板でブレード端を固定する形式を採 用した.ブレードは NACA0018 翼型(コード長 50mm, スパン長 200mm)を用い,回転円周より 5°だけ迎角 をつけ取り付けた.ブレードと対称な位置にはバラン スウェイトを設置してある.本研究は主流速度による レイノルズ数効果を調べるため,ブレードの回転直径 は D=200mm 一定とし,主流速度を U<sub>0</sub> =4, 5, 7 および 9m/s と変化させた.実験は U<sub>0</sub> =4m/s において Cp が最 大値をとる  $\lambda$  =1.7 にて行った.この時,レイノルズ数 Re(= UD/v) は Re=5.3×10<sup>4</sup> から 1.2×10<sup>5</sup>, コードレイ

1:日大理工・学部・機械 2:日大理工・院(前)・機械 3:日大理工・教員・機械

ノルズ数 Rec(=  $(U_0 D\omega/2)c/v$ ) は Rec=  $2.3 \times 10^3 U_0$  か ら 9.0×10<sup>3</sup> U<sub>0</sub>の範囲となる. 風車モデルはサーボモー タによって制御されており、サーボモータのトルクよ り軸出力を算出した.なお,機械的損失を除くために, ブレードの無い状態で測定したトルクを差し引いた. 伴流の速度分布測定は、X型熱線風速計を用い、風車 回転に同期したトリガーサンプリングで行った. デー タは 0.125deg 間隔で 1 3/4 回転(5040 点), 256 組のデ ータを採取した. 座標系は原点を風車回転軸中央に採 り,流れ方向を x 軸,横幅方向を y 軸,回転軸方向を z 軸とした. 伴流干渉を調べることを目的とするため 風車に極力近い Fig.2 に示す領域で計測を行った.



Figure 2. Wind turbine model and coordinate system

## 3. 実験結果

Fig.3 は U<sub>0</sub> =4.0m/s, λ =1.7 測定位置 x/D=0.6, y/D=-0.6 において計測された主流方向の瞬時速度波形 U/U<sub>0</sub>を256本重ねて示したものである.13/4回転中 に2組観察される速度変動領域はブレードから放出さ れた伴流による速度変動である.



瞬時速度波形から伴流の前縁および後縁を判断するこ とは困難であるため、速度変動波形の実効値である乱 れ強さu'/Uoから放出されたブレード伴流のスケール および移流速度を明らかにしていく. Fig.4 に流れ方向 の複数の位置で測定されたu<sub>2</sub>/U<sub>0</sub>の波形を 0.3 ずらし て並べて示す. ブレード伴流の領域を示す大きな値 u'<sub>b</sub>/Uoも持つ領域は、下流に進むに従い遅れて生じ、 長くなっていることがわかる. これは, 放出されたブ レード伴流が引き伸ばされながら流されていることを 示している. ブレード伴流を u' / U<sub>0</sub>>0.04 の領域と定 義し伴流前縁,後縁位置を推定し,u'<sub>p</sub>/U<sub>0</sub>がピークを とる時刻と共に整理したものを Fig.5 に示す.







Figure 5. Transit time of the wake region

伴流前縁、後縁およびピークはそれぞれ一定の移流速 度を持つことがわかる. 前縁およびピーク位置の移流 速度U。は風速によらず,追風側は周速比と同程度の U<sub>c</sub> / U<sub>0</sub> = 1.6, 迎風側ではU<sub>c</sub> / U<sub>0</sub> = 0.9 と主流速度と同程 度である.後縁は主流速度が速いほどわずかに移流速 度が速くなることがわかる.この結果は、主流速度が 速いほど伴流のスケールがわずかに小さくなること示 している.

- 4. まとめ
- ブレード伴流の移流速度は、追風側ではブレード 1) 周速と同等,迎風側では主流速度の0.9倍となる.
- 主流速度の増加に伴い伴流スケールは小さくなる. 2)
- 主流速度によるレイノルズ数の違いはブレード伴 3) 流のスケールに影響を与え、レイノルズ数が高い ほど伴流スケールが小さくなり,干渉を抑制する.

5. 参考文献

[1] 渡辺真巳, 関谷直樹, 松本彰:「垂直軸風車のブレ ード数が風車後流に与える影響」,日本機械学会九州支 部第68期総会·講演会講演文集,2015