

## 揚力型垂直軸風車の軸出力に与える風車直径の影響

## Effect of the turbine diameter on the shaft output of the VAWT

○野上侑嗣<sup>1</sup>, 矢島雅大<sup>1</sup>, 花田諒介<sup>2</sup>, 関谷直樹<sup>3</sup>\*Yuji Nogami<sup>1</sup>, Masahiro Yajima Masahiro<sup>1</sup>, Ryosuke Hanada<sup>2</sup>, Naoki Sekiya<sup>3</sup>

It was well known the shaft out curve of the lift-type vertical axis wind turbine depend on the turbine diameter. Thus, we investigate the effect of the turbine diameter on the shaft output of the small wind turbine. To clarify the effect of turbine diameter to the blade-wake scale, we measured a flow field behind the wind turbine using a single blade turbine model. From the results obtained, we find that the time scale of the blade wake was almost the same independent of the turbine diameter. Therefore, we rearranged the shaft out curve using the rotational speed. The shaft out curves of each turbine diameter correspond for rotational speed.

## 1. はじめに

垂直軸型風車 (VAWT) 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ーの変換効率が良いとされているが、街中で見受けられる小型の風車の多くは風エネルギーの変換効率の良い、ブレード周速が風速の数倍で回転数しているものは少なく、回転していないものも存在する。この現実、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たまま風車が設計されたことが原因と考えられる。我々は、直径が 200mm と小型の揚力型風車モデルを用いて実験を試みてきたが、簡易的にモデル化された理論のような軸出力特性は得られていない。両者の最大の違いは、最大出力を得る周速比 $\lambda$  (周囲流体の流速とブレード周速の比) であり、モデル化された理論では  $\lambda=2$  ないしは 3 以上であるのに対し、小型のモデルでは  $\lambda=1$  付近まで低下することである。この周速比の低下により小型の風車では揚力型風車の出力特性のメリットを活かせない。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 $\sigma$  (風車掃過面積対するブレード面積の割合) が高くなりがちであり、低回転時においてもブレード伴流が干渉するため、性能低下の原因となることが明らかとなっている<sup>[1]</sup>。このブレード伴流の干渉の程度はブレード伴流の大きさ・移流速度、ブレードの間隔・移動速度の相互関係により決まることが予測される。これらは主流風速  $U_0$ 、回転数  $N$ 、ブレードの回転半径  $R(=D/2)$ 、ブレードコード長  $c$ 、ブレード枚数  $n$  といった風車の基本パラメータに左右される。本報告はこれらの基本パラメータの中で、ブレードの回転半径  $R$ 、すなわち風車直径  $D$  の影響を調べた結果である。

## 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。風車モデルは測定部入口から 2.5m 下流の測定部中央に設置し、測定部床面の境界層との干渉を避けるため床面から 90mm 離してある。ブレード取付角や風車直径の変更が容易で、同一機械的損失で実験が行えるよう風車モデルは直径 400mm の円板でブレードを固定する構造とした。使用したブレードは NACA0018 (コード長 50mm, スパン長 200mm) で、 $5^\circ$  だけ迎角をつけて取付けてある。主流風速は  $U_0=7.0\text{m/s}$  一定とし、風車直径を  $D=150\text{mm}$  から 250mm まで 50mm 間隔で変化させた。風車モデルの回転はサーボモータによって制御されており、軸出力はトルク計を用いて測定した。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ている。ブレード伴流の測定には他のブレードの影響を排除するために図 1 に示すブレードを 1 枚に限定したモデルを用いた。重量バランスを取るためにブレードと対称な位置にウェイトが設置してある。流れの測定には X 型熱線風速計を用い、風車の回転に同期したトリガーサンプリングで計測を行った。0.25deg 間隔で 1 3/4 回転(2520 点)、256 組のデータを採取し、位相平均処理を施した。

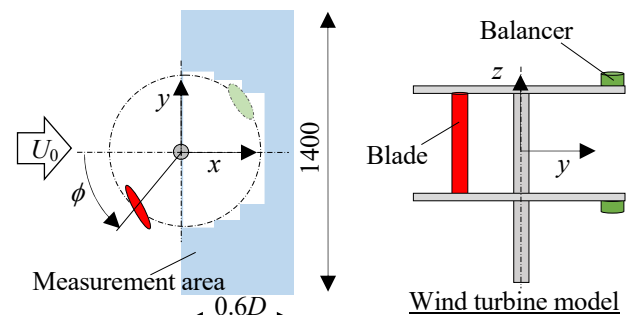


Figure 1. Single blade model and coordinate system

### 3. 実験結果および考察

図 2 はブレード枚数 3 枚の風車モデルの軸出力特性である。風車直径  $D$  が大きくなることにより、軸出力の特性カーブが高周速比側へ移動することがわかる。この特徴は多くの研究報告でも同様の特徴が示されており、軸出力に与える風車直径の効果として知られている。ブレード伴流の干渉に基づいて、この効果を検討すると、(1) 直径の増大によるブレード間隔（周の長さ）の拡大、(2) ブレード周速の増加によるレイノルズ数の増加に起因する伴流のスケール変化が要因と推測される。そこで、風車直径によるブレード伴流のスケール変化を検証するため、単一ブレードモデルによる伴流の速度分布を測定した。

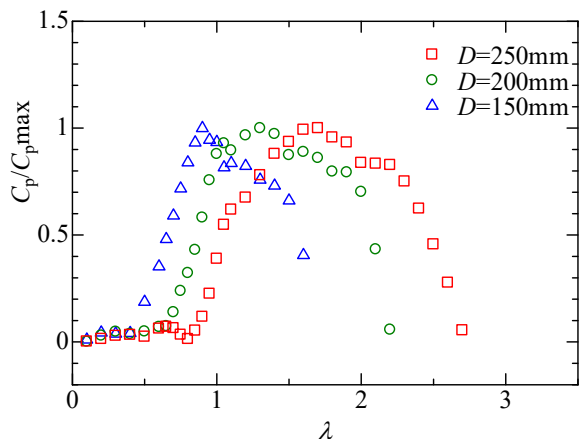


Figure 2. Variation of shaft output for each turbine diameter

風車の後縁近傍  $x/D=0.6$  において測定した主流方向の位相平均乱れ強さ  $u_p'/U_0$  の等値線図 (図 3) から伴流のスケールを比較していく。上段は  $C_p$  が増加中の  $50\%C_{p,max}$  付近の周速比における結果を、下段は  $C_p$  が減少中の  $50\%C_{p,max}$  付近の周速比における結果を示している。重ねて示した 2 本の線はブレードの軌跡を仮定したもので、赤線は当該ブレード、青線はブレード枚数を 3 枚とした際の後に続くブレードの軌跡である。 $C_p$  が増加中、減少中によらず、軸出力が  $50\%C_{p,max}$  の周速比では直径によらずブレード伴流の大きさ（時間スケールで評価）がほぼ等しいことがわかる。したがって、伴流の干渉は、ブレードが通過する時間間隔、風車の回転角速度に依存することが予測される。そこで、図 2 に示した軸出力特性を風車の角速度（回転数）で整理し直した (図 4)。角速度で整理すると直径の異なる風車の軸出力特性が全て一致した。直径の変化に対するブレード伴流の干渉は予測とは異なり、風車の角速度に依存することが明らかとなった。

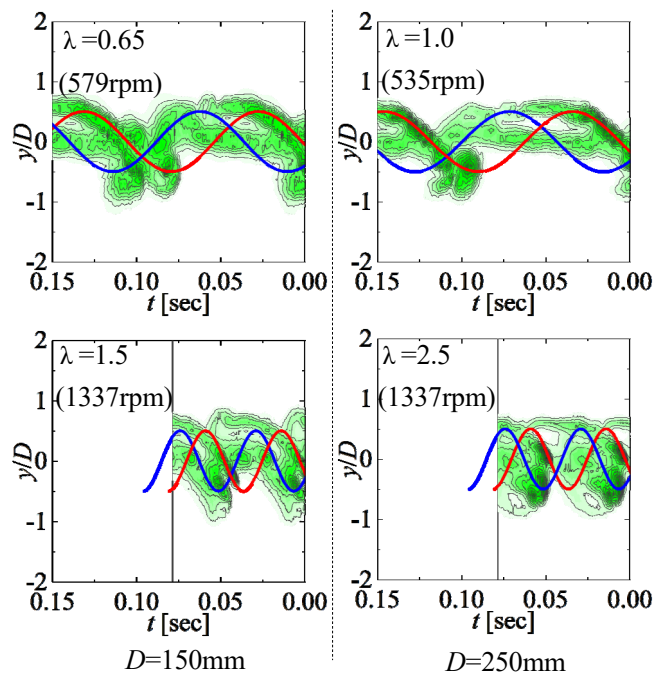


Figure 3. Contour maps of  $u_p'/U_0$  in blade wake at  $x/D=0.6$

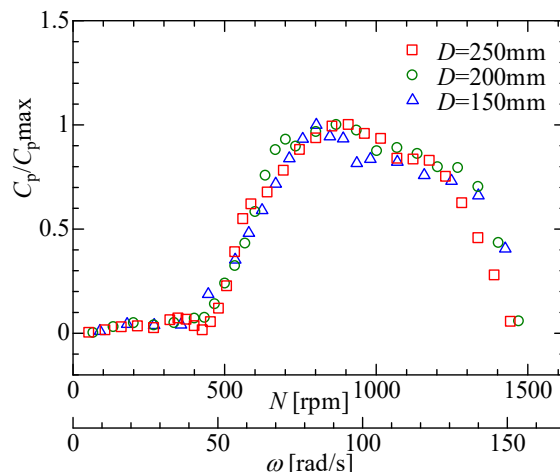


Figure 4. Shaft output arranged by rotational speed

### 4. まとめ

- 1) 軸出力特性カーブの同じ特徴を示す位置では、風車直径によらずブレード伴流の時間スケールは等しい。
- 2) 伴流の干渉の程度は、ブレードが通過する時間間隔、すなわち風車の回転角速度に依存する。
- 3) ブレードコード長、ブレード枚数、主流速度が等しければ、軸出力特性は風車直径の影響を受けず、回転角速度に依存する。

### 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