K3-63

垂直軸型風車の出力特性に与えるレイノルズ数の効果

Effect of Reynolds Number on the Characteristics of the Turbine Power of the Vertical Axis Wind Turbine

○花田諒介 [1]，王華臣 [1]，孫江超 [1]，関谷直樹 [2]
*Ryosuke Hanada[1], Wang Huachen[1], Sun Jiangchao[1], Naoki Sekiya[2]

The characteristics of the shaft output of the small vertical axis wind turbine, it has high solidity, is different that of the large turbine. Thus, we have been investigating its character. From result obtain, we found the similarity parameter for variation of the blade number. However, effect of Reynolds number on the turbine output was not ascertained. Thus, the purpose of this study is to clarify the effect of diameter and freestream velocity on the turbine output.

１．はじめに

再生可能エネルギーの有効利用，小型分散発電の需要から風力発電の研究が盛んに行われている．垂直軸型風車は風向に寄らず回転でき，発電機を地上近くに設置できるという構造的な利点，省スペースでの設置可能と分散発電には多くの利点があるにも関わらず実用的な利用は街路灯等への小電力供給にとどまっているように思われる．さらに，抗力型に比べ，理論上は揚力型風車の方が風エネルギーの変換効率がよいとされているが，街中で多く見かけるのは抗力型，もしくは形状が揚力型で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，理論の様に出力が得られないことが原因と考えられる．我々もこれまで，直径 200mm と小さな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ていない．最大の違いは，最大出力を得られる周速比λ（周囲流体の流速とブレードの周速度の比）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 付近で最大を採ることにある．このため風エネルギーの変換効率も悪く，抗力型に比べ実用的ではないように感じる．ブレードサイズとの兼ね合いから小型風車ではソリディティσ（風車掃過面積対するブレード面積の割合）が高くなりがちであるため，これまで，ブレード枚数 n を変化させソリディティに対する軸出力特性を調べてきた．次元解析的決めたパラメータ $\sigma^2\lambda$ に対しては良い相似性が見られている[1]．しかし，研究の第一段階としてレイノルズ数を変化させるパラメータである風車直径 D，ブレードコード長 c，主流風速 U_0 は一定として扱ったためレイノルズ数の軸出力特性に与える影響は明らかにはなっていない．そこで，本研究は風車の軸出力特性を決める要素の１つであるレイノルズ数に着目し，風車直径と主流風速を変化させレイノルズ数が軸出力特性に与える影響を調べることを目的とした．

２．実験装置および実験方法

実験は日本大学理工学研究所の大型低速風洞を使用して行った．Fig.1 に風洞内部の概略図を示す．風車モデルは, ブレード枚数 n=3 枚, ブレード翼型 NACA0018, コード長 c=50mm で一定とした．レイノルズ数を変化させるパラメータの１つであるブレード取り付け位置（風車直径）D を D=150, 200, 250, 300 および 350mm の４種とした．このときソリディティはσ=0.14 から 0.32 まで変化する．もう１つのパラメータである主流風速 U_0 は U_0 ＝5, 7.5 および 8.75m/s と変化させた．以上の実験条件より風車直径に基づくレイノルズ数 Re の範囲は $Re=5.0\times10^4$ から 2.0×10^5 となる．となる．風車の回転数はサーボモータによって制御されており，軸出力 P の算出にはサーボモータのトルクを利用した．なお, 計測されるトルクから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からの差分を利用している．

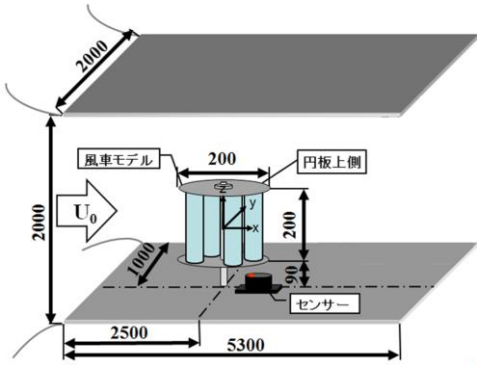

Figure.1 Schematic diagram of the experimental apparatus

３．実験結果

結果は風エネルギーの変換効率を表す Eq.1 で定義するパワー係数 C_p（流体の持つエネルギーと軸出力の比）で整理して表す．

１：日大理工・学部・機械、２：日大理工・教員・機械

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2}\rho A U_0^3} \qquad (1)$$

Fig.2 は風車直径 D に対するパワー係数 C_p の変化をまとめたものである．純粋に D の影響を見るために，主流速度 U_0 は過去の実験と同じ 5m/s とした．

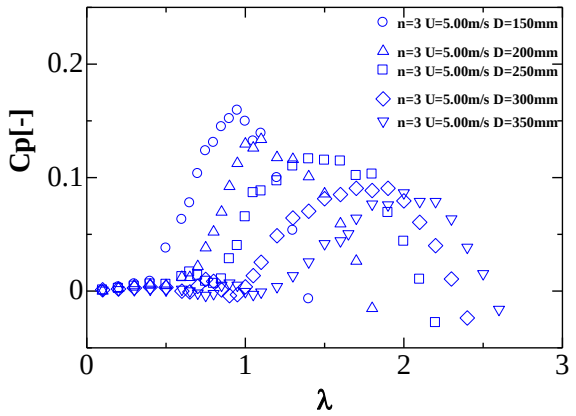

Figure.2 Variation of the power curves for turbine diameter

風車直径が大きくなるにつれパワー係数のカーブは高周速比側に移動し，その最大値は小さくなる結果を示している．直径の増加により，ソリディティが低下するためパワー係数の特性が高周速比側に移動することは期待されるとおりであるが，最大値の低下は直径の小さい高ソリディティ風車ほどエネルギー変換効率が良いように見えてしまう．しかし，これはパワー係数の算出に利用したトルクがブレードの無い状態の測定結果との差分から算出したことが原因である．直径が大きくなるほどブレードによる慣性モーメントが増加するため損失が大きくなりこのような結果を示した．ここには示していないが，最大値の変化は直径の 2 乗に比例しており，慣性モーメントの増大が原因であることを確かめている．この結果は $U_0 = 5\mathrm{m/s}$ の元ではパワー係数の最大値は変化しないことを意味する．

次に主流風速 U_0 に対するパワー係数 C_p の変化をまとめたものを Fig.3 に示す．風車直径 D は過去の実験と同じ 200mm とした．周速比が小さい $\lambda<1$ の領域では主流風速によらずパワー係数のカーブは良い一致を示している．主流風速による違いは出力が下がり始める周速比に現れ，主流速度が速いほどより高周速比まで安定して出力を維持しており，主流速度が速いほど運転領域が広がることを示している．最後に，過去の研究[1]で良い相似性を示した $\sigma^2\lambda$ で整理したものを Fig.4 に示す．縦軸はパワー係数 C_p をそれぞれの条件における最大値 $C_{p\max}$ で無次元化してある．低周速比側では直径の影響は残るが，主流速度が異なっても良い一致を示している．一方，高周速比側では不揃いで，本研究のデータだけでは関係性が見出せない．今後，さらに多くの条件から レイノルズ数依存性を調べる必要がある．

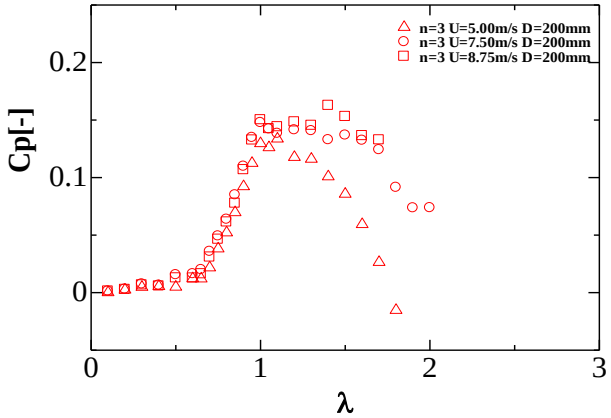

Figure.3 Variation of the power curves for freestream velocity

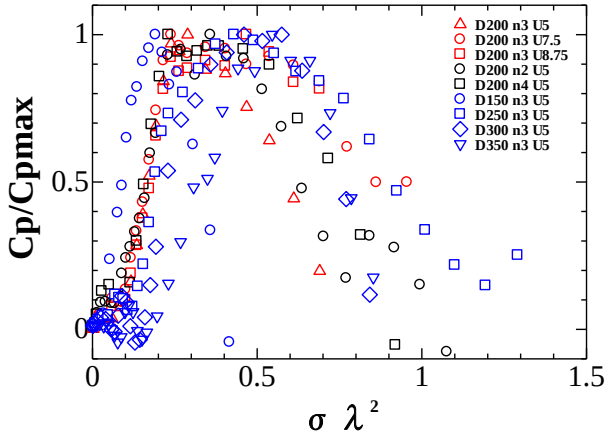

Figure.4 Variation of the power curves for all condition

4．まとめ

1) 風車直径の増加は風車出力の最大値を高周速比側へ移す効果がある．

2) 主流風速の増加は，風車出力が減少し始める周束比を高周速比側に移す効果があり，運転領域が拡大される．

3) 風車直径，主流風速によってレイノルズ数を変化させたがレイノルズ数に対する関連性は見出せない．今後さらに多くの条件から調べる必要がある

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