垂直軸型風力発電用風車の研究

日大生産工(院)　○増田明紀　　日大生産工　石井進
日大生産工　藤田優　(株)シグナスミル　　野口常夫

1. 緒言

近年,化石燃料の大量消費によって,地球の温暖化や酸性雨,あるいは生態系の破壊など環境問題が次第に目立つようになってきた.この問題は深刻さを増すばかりである.今後,社会は適切なエネルギー消費で持続可能な発展を期待できるような社会を構築してゆかなければならない.そんな中,採掘資源の枯渇により自然エネルギーを利用した発電が注目されている.その一つとして風力発電がある.風力エネルギーは繰り返し利用が可能な「再生可能エネルギー」である．これは環境問題や採掘資源枯渇問題の解決等の観点から世界各地に普及が進んでいる.[1)]

本研究では,シグナスミルと呼ばれる逆「つ」の字状になっている翼を用いた,垂直軸型風車を利用して実験を行い,風力発電用風車の性能,有用性を検討することを目的としている.

2. 実験概要

2.1 翼の特徴

シグナスミルは分類上垂直軸型の風車で,どの方向からの風でも起動することが出来るという特徴がある.シグナスミルのブレード断面形状は腹面が切り取られ逆「つ」の字状になっており,これが一番大きな特徴といえる.切り欠き部で受風をすることでジャイロミル型風車の欠点である低風速域での起動を補っている.

2.2 実験装置

Fig.1に実験装置の概要を示す．風洞は，吹き出し口寸法2000×2000(mm),最大ノズル風速60(m/s) である．風速計は，吹き出し口底面から1000(mm)の位置に設置し，風車本体に回転数計と発電機を取り付けた.

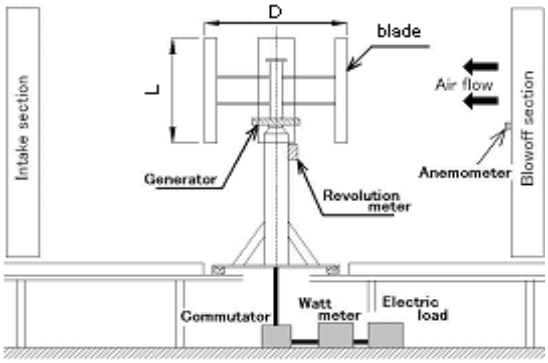

Fig.1　Experimental equipment

風車の構造は,風車回転軸と発電機が直結になっている.また,風車の上下には,円盤が取り付けられており,円盤には,アームが取り付けられているため比較的簡単にロータ直径を変えることができる.

2.3 実験方法

本実験では，まず,各条件における起動風速を確認した．確認後，自然風に近いであろうと思われる風速 4(m/s)－14(m/s)までを2(m/s)毎に計測を行った．各風速において負荷を変化させながら電圧 E(V),電流 I(A),発電量 Pe(W)計測し,発電量が最大になる負荷条件を測定した．風車の回転数の計測には,反射板4枚を円盤にとりつけ回転数N(rpm)を計測した.

本実験で用いたブレードの材質はすべてアルミニウムを使用し,翼弦は220(mm)である.

本実験では,ブレード幅Lを1000(mm),1200(mm)の２種類を用いた.また,各ブレード条件に対し,翼の枚数Zを2,3,4枚,ロータ直径Dを800(mm),1000(mm),1200(mm)に変えて実験

A research of a windmill for vertical axis model wind generated electricity
Akinori MASUDA,Susumu ISHII, Masaru FUJITA and Tsuneo NOGUCHI.

を行った.

3. 実験結果

本実験では,風車の評価基準を風車動力ではなく,発電機の特性を含んだ発電量 Pe とした.

実験結果から以下の条件下で比較する.

3.1 ロータ直径を変化させた場合

ブレード幅 L=1000,1500(mm),ブレード枚数 Z=3,4 枚の風車において,ロータ直径 D を D=800,1000,1200(mm)に変化させた場合の各種発電特性を示す.

Fig.2 は,L=1000(mm),Z=3 枚の風車における風速 v と回転数 N(rpm),発電量 Pe(W)の関係を示している.同様に,Fig.3 は,L=1500(mm),Z=3 枚.Fig.4 は,L=1000(mm),Z=4 枚.Fig.5 は,L=1500(mm),Z=4 枚をそれぞれ示している.

全体として,ブレード幅,ブレード枚数を変化させた場合において,回転直径が大きくなるにつれて発電量も増加する傾向にあるということがわかる.また,一番発電量が少ない条件は,D=800(mm),v=4(m/s)の時である.発電量が大きい条件は,D=1200(mm),v=14(m/s)の時である.風速が低い場合は,低回転であり,風速が高い場合は,高回転であるため Z=3,4 枚共に,同じような現象が起こることがわかる.

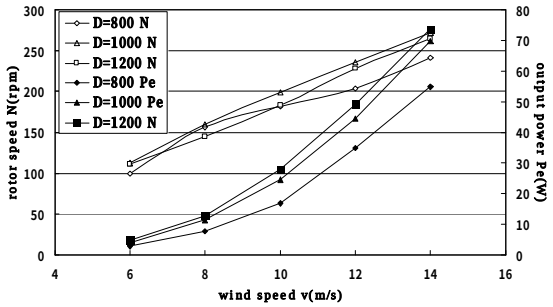

Fig.2 Relation between wind speed v and rotor speed N & output power Pe (L=1000,Z=3)

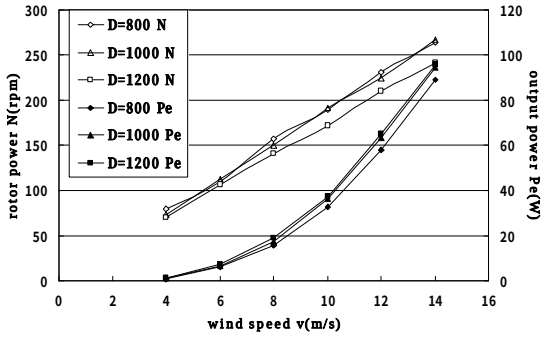

Fig.3 Relation between wind speed v and rotor speed N & output power Pe (L=1500,Z=3)

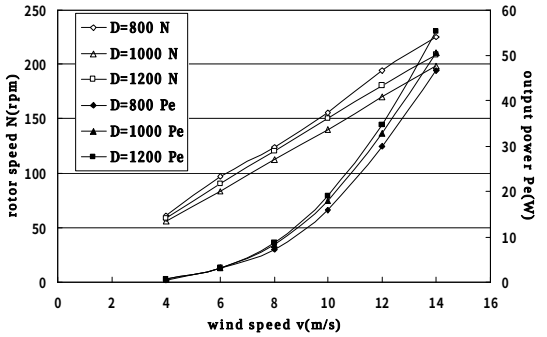

Fig.4 Relation between wind speed v and rotor speed N & output power Pe (L=1000,Z=4)

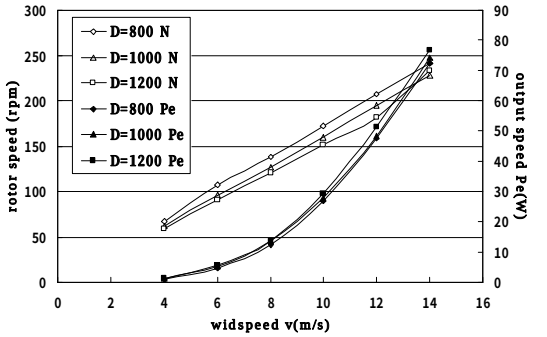

Fig.5 Relation between wind speed v and rotor speed N & output power Pe (L=1500,Z=4)

3.2 ブレード枚数を変化させた場合

ブレード幅 L=1000,1500(mm)の風車において,ロータ直径 D=1000(mm)の時の発電特性を示す.

Fig.6 は,L=1000(mm)を Fig.7 は,L=1500(mm)における回転数及び発電特性を示している.

全体として,枚数Zが2,3,4枚と増えるにした

がい,発電量も減少していることがわかる.本実験において,Z=2 枚の時,4(m/s)では起動せず発電が得られなかった.10(m/s)以降では,風車の振動が増大したため測定を行うことができなかった.Z=2 枚の時は,風速 6(m/s)－10(m/s)の発電が適していると考えられる.Z=3,4 枚の場合,起動が Z=2 枚よりも早く,風速 4(m/s)から発電を得ることができた.また,高風速でも風車が安定しており 14(m/s)まで測定を行うことができた.Z=3 枚と Z=4 枚を比較した時,Z=3 枚の方が高い発電量を得ることができた.起動性,安全性,発電量を考えた場合,Z=3 枚が最も適しているとわかる.

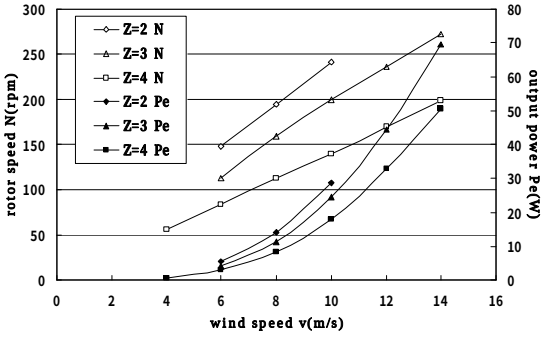

Fig.6 Relation between wind speed v and rotor speed N & output power Pe (L=1000,D=1000)

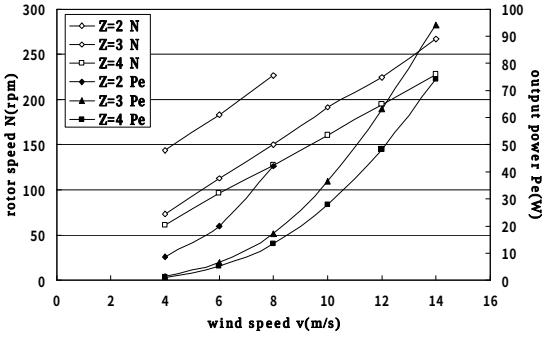

Fig.7 Relation between wind speed v and rotor speed N & output power Pe (L=1500,D=1000)

3.3 翼幅を変化させた場合

ロータ直径 D=1000(mm)において翼幅を L=1000,1500(mm),枚数ZをZ=2,3,4枚に変化させた場合の発電特性 Pe を示す.(Fig.8)

実験結果から,各枚数における発電量はどれも L=1500(mm)の方が大きくなっている.よって,翼幅が大きいほど発電に適しているということがわかる.

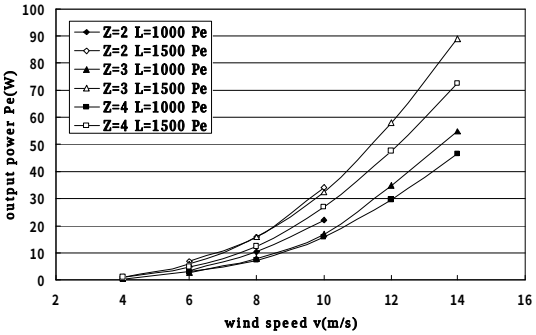

Fig.8 Relation between wind speed v and output power Pe (D=1000)

4. 考察

一般に風のパワーを単位時間内にある面積を通過する質量 m の空気の運動エネルギーと考えると

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \qquad (1)$$

で表すことができる.次に,風車によって変換される風の運動エネルギーについて考える.風向に直角な単位面積の風車回転面を考え,これに風速 v(m/s)の風が吹くものとする.風車回転面を通って単位時間に流れる空気の体積は,風車回転面の面積と風速 v の積で与えられ,これに空気の密度ρを掛けると質量が得られる.したがって,この場合の運動エネルギー Pt は

$$Pt = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(\rho v)v^2 = \frac{1}{2}\rho v^3 \qquad (2)$$

となる.(2)式では単位面積の風車回転面を考えたが,受風面積 A の理想風車を通過する風の持つエネルギーPw は次式で与えられる.

$$Pw = \frac{1}{2}\rho A v^3 \qquad (3)$$

よって風車により得られるエネルギーは,受風面積 A,風速の 3 乗に比例する事がわかる.

本考察において,空気密度ρを実験室の平均気温 25 度である 1.18(kg/m³)とし,風車受風面積 A を風車投影面積と考え,ロータ直径 D とブレード幅 L の積とした.よって(3)式は,

$$Pw = \tfrac{1}{2} \times 1.18 \times DLv^3 = 0.59DLv^3 \qquad (4)$$

となる.

4.1 ロータ直径を変化させた場合

風車の性能を表すために,風車のブレード先端速度と流入風速の比として定義される周速比が用いられる.周速比を式で表示すると次のようになる.

$$\lambda = \frac{\Omega R}{v} = \frac{2\pi Rn}{v} \qquad (5)$$

Ω:ロータの回転角速度(rad/s),R:ロータ半径(m),n:風車回転数(rps)である.

揚力型風車は,周速比が大きくなるほど大きなトルクが得られ高いエネルギー変換率を持っている. Z=3,4 枚の風車において,ロータ直径 D を D=800,1000,1200(mm)に変化させた場合の周速比を(5)式から算出した.すると,ロータ直径が増加するほど周速比も増加した.また,(4)式においてロータ直径が増加するほどエネルギーも増加している.以上のことから,ロータ直径が大きくなるほど発電量も増加する.

4.2 ブレード枚数を変化させた場合

風車の性能を表す重要な特性係数としてソリディティ比があり,「風車の回転面積と全翼面積の比」として定義される.すなわち,

$$\text{ソリディティ比} = \frac{\text{ブレード面積}}{\text{風車受風面積}} \qquad (6)$$

である.また,垂直軸型の風車の場合には次式によりソリディティ比σを定義している.

$$\sigma = \frac{ZC}{2\pi R} \qquad (7)$$

ただし,Z:ブレード枚数,C:翼弦長,R:ロータ回転半径である.

一般に,ソリディティ比が大きい風車はトルクが大きく,小さい風車は高回転形である.さらに発電には高回転,低トルクすなわち,ソリディティ比が小さいタイプが適している.よって,枚数 Z が 2,3,4 枚と増えるに従い,ソリディティ比も増加する傾向にある.よって,Z=2>3>4 枚が成り立つ.Z=2 枚が高回転,低トルクなため高い発電量が得られる.

さらに,Z=2,3,4 枚における風車効率ηを算出した.風車効率ηは,出力を風車により得られるエネルギーで割った値である.

$$\eta = \frac{Pe}{Pw} = \frac{Pe}{0.59DLv^3} \qquad (8)$$

結果,風車効率ηは, v=6(m/s)－10(m/s)にでは,Z=2 枚が一番高く,それ以降においては,Z=3 枚の方が Z=4 枚よりも高い風車効率を得ていた.よって,風車効率が高いほど高い発電量を得ることができるということがわかる.以上のことから, v=6(m/s)－10(m/s)では,Z=2 枚が一番高い発電量を,それ以降においては,Z=3 枚が高い発電量を得ることができる.

4.3 翼幅を変化させた場合

(8)式において発電効率は,ほぼ同じであった.(4)式から翼幅が大きくなるほど得られるエネルギーが大きくなるため翼幅が大きいほど高い発電量を得ることができる.

5. 結論

(1) ロータ直径が大きいほど発電が増加する.
(2) 低風速では,枚数が少ないほど発電が増加する.
(3) 高風速では,Z=3 枚が適している.
(4) 翼幅が大きいほど発電が増加する.

参考文献

(1) 牛山泉,関和市,「垂直軸風車」,パワー社,(2008),pp.1-14,83-104
(2) 牛山泉,「風力エネルギーの基礎」,オーム社,(2005),pp.90-99