

# 風力エネルギーに関する研究

## (第1報 水平軸風車)

鳥居 亮・榊原 芳夫  
根本 光正・大矢 征

### The Study on the Wind Energy (The First Report on the Horizontal Axis Windmills)

Akira TORII, Yoshio SAKAKIBARA, Mitsumasa NEMOTO  
and Susumu OHYA

#### Abstract

1. The wind power condition in the district of ATSUGI was investigated, and it seemed difficult for windmills to get sufficient wind power.

2. The propellers of the new style for the horizontal axis windmill were designed and manufactured. The wind tunnel tests were conducted for the performance of new design propeller. The results were as follows.

(1) The performance of propellers depended on the profile of a propeller section. The profile of the NACA 230 series propeller section brought better result than that of classic Clark-Y.

(2) The propeller section with some torsional angle showed better aerodynamic performance than that with no torsional angle.

(3) The windmills showed the highest efficiency when they were given the solidity about 0.1.

#### 1. ま え が き

風車は風力エネルギーを有効に利用する装置として紀元前よりあった。その形状はそれぞれの個性があり、自然の風により回転する風景は牧歌的なものがあった。永い期間にわたって揚水、製粉等の単純な作業に実用化され人間生活に溶けこんできたが、熱機関が出現すると、その安定した高性能とは全く比較にならず衰退の道をたどった。しかし最近石油資源の枯渇が叫ばれるようになると、クリーンで地球上至る所に無尽蔵に存在する風力エネルギーが再認識されて、各国で風車の研究が行われるようになり、特にエジプト<sup>1)</sup>、サウジアラビア<sup>2)</sup>の論文も見られるようになった。

風力エネルギーはプロペラにより吸収され、電気、機械エネルギーとしての目的に応じた形に変換して使用されるが、最初に風力エネルギーを受け入れるプロペラにより効率が左右される。

本研究は主としてプロペラに関するもので試作、実験により性能を調べた。また学内に設置された風車及びその地点の風力状況を調査したものを含んでいる。

#### 2. 記号及び単位

$C_L$	: 揚力係数	
$C_D$	: 抗力係数	
$dr$	: 任意の半径 $r$ における微小部分の半径方向の長さ	m
$dL$	: 微小部分の揚力	kgf
$dD$	: 微小部分の抗力	kgf
$dF$	: 微小部分の回転方向の力	kgf
$dT$	: 微小部分のトルク	kgf·m
$a$	: 気流の気流方向の変化率	
$a'$	: 気流の回転方向の変化率	
$b$	: プロペラの枚数	
$c$	: プロペラの断面弦長	m, mm
$n$	: 回転数	rpm

$P_w$ :	出力	w
$\eta_w$ :	風車の理論効率	
$\eta_G$ :	発電機効率	
$q$ :	気流動圧	kgf/m <sup>2</sup>
$R$ :	プロペラ半径	m
$r$ :	プロペラの任意断面の半径	m
$s$ :	プロペラの回転面積	m <sup>2</sup>
$T$ :	トルク	kgf·m
$V$ :	気流速度	m/s
$V_r$ :	合成速度	m/s
$w_a$ :	後流の軸方向の変化速度	m/s
$w_u$ :	後流の回転方向の変化速度	m/s
$\omega$ :	プロペラの角速度	rad/s
$\omega'$ :	プロペラにより後流に付与される角速度	rad/s
$\theta$ :	プロペラ断面の空気流入角	deg
$i$ :	プロペラ断面のねじり角	deg
$\Gamma$ :	循環	m <sup>2</sup> /s
$\rho$ :	空気密度	kgf·s <sup>2</sup> /m <sup>4</sup>
$C_p$ :	動力係数, $C_p=0.102 P_w/1/2 \rho v^3 s$	
$\omega r/V$ :	プロペラ任意断面の速度比	
$\omega R/V$ :	先端速度比	
$bc/\pi R$ :	ソリディティ	

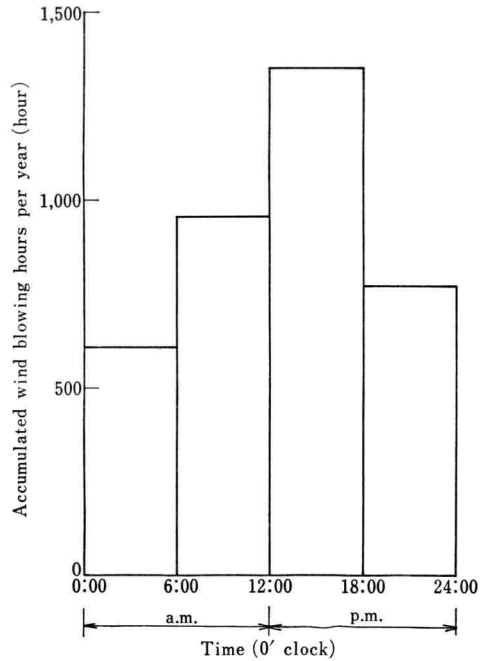


Fig. 3.1. Wind blowing condition on a day (mean value from 1979 to 1981 at IKUTOKU Technical University).

3. 幾徳工大内の風力状況

3.1 風の特徴

自然の風は風速と風向が絶えず変動している。学内の風車設置位置における観測では、一定の風が吹いていると思われる状態でも、風速は3~4秒間隔で、あたかも息をついているように変動し、風向もこれに伴って30~40度の範囲で不規則に変動した。このように風の変動は激しく風車はこれに追従することができないので常に最良の風を受けて回転していない。

3.2 1日中の風の吹く状況

1日中の風の吹く状況は午前9時頃から吹き始め、時間と共にやや強くなり、午後12時に最高になる。風力は正午から午後6時の間が大きく、これを過ぎると弱くなり、夜間は全く静穏となり、そのまま夜明けまで風速計の記録は無風を示している。毎日毎日このような状態を繰り返している日が多い。

図3.1は1日を6時間間隔で4等分し、その間の風の吹く時間を1年間積算したもので、昭和54年から56年までの3年間の年平均である。1日についての風況と似ている。

3.3 1年間の風速状況

図3.2は1年間に吹く風の風速状況で各風速の吹いた時間を合計したもので、昭和54年から56年までの3年間の平均したものである。1~2m/sの風が最も多く、風車の発電に必要な4m/s以上の風は1年間を通じて1110時間程度であり、有効風速は平均すると3.0時間/日である。また1年間の風速を平均すると1.2m/sとなり風力エネルギーは小さい。

3.4 各月における風量

図3.3は風速と吹いた時間の積を各月ごとに合計して風量を示したもので、昭和54年から56年の3年間の平均である。暑い夏期は台風シーズンを含んでいるのに合計すると風量は意外に少ない。寒い冬期の12, 1, 2月は木枯しが身にしみるけれども風量は少ない。秋9, 10, 11月も突発的に強い風が吹くこともあるが、持続性は無く風量は少ない。ここは山岳が近くにあるが、群馬県のようなからっ風はなく、4月より春一番といわれる風がグランドの砂埃を舞い上げるようになると、年間を通じて最も強い風が吹き毎日風車は音をたてて勢よく回転する。

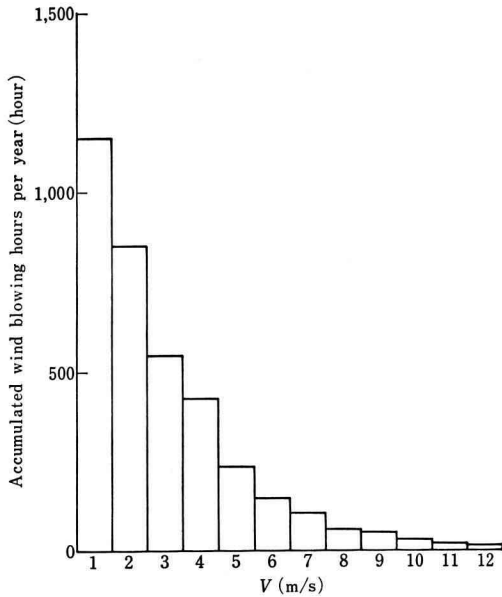


Fig. 3.2. Wind blowing time at various velocity (mean value from 1979 to 1981 at IKUTOKU Technical University)

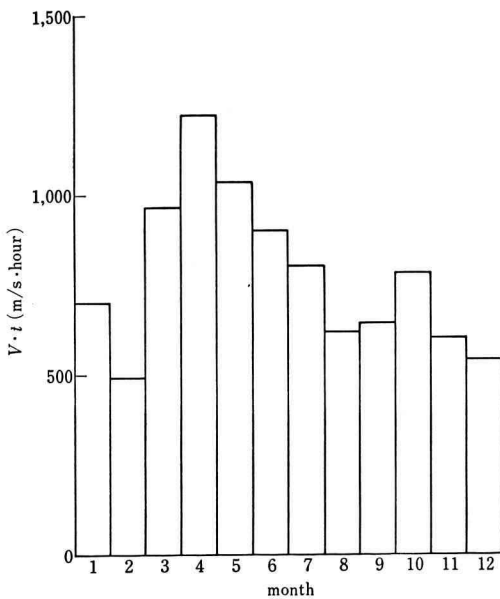


Fig. 3.3. Wind blowing quantity in each month (mean value from 1979 to 1981 at IKUTOKU Technical University).

### 3.5 1年間の風向

図3.4は1年間を通じて風の吹いた方向を調べたものである。この図を見ると当地は南北方向の風のみ吹いて、東西方向の風は全くないことが分る。記録紙を見ると、晩秋より冬期は北風が毎日吹き、春から夏期は連日南風である。この原因は地形上の観点から考えると、西側に丹沢山系が連なり、南側は空いて厚木、平塚の平地地があり、その先に相模湾があって、これらの組合せにより風のルートが一定になったものと考えられる。

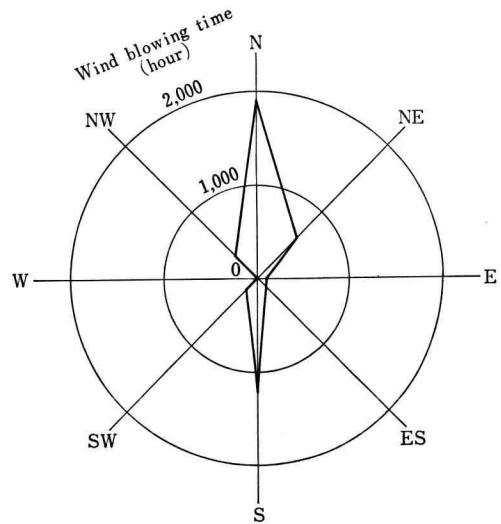


Fig. 3.4. Wind blowing direction (from January 1, 1981 to December 31, 1981 at IKUTOKU Technical University).

### 4. 幾徳工大の風車

本学の風車はスイスのエレクトロ社製で昭和53年1月に設置された。外形を図4.1に示す。プロペラの直径3m、発電機は交流1.2KW、電力は整流器により直流に変換し12V・240Ahの蓄電池に充電する。5方式の安全装置があり、過電流、過電圧状態になると、リレーが働き方向板が変角し風車は風に対して横向きになる。また別に風圧板があり、強風のとき板が動いてリレーが作動する。過回転では遠心力により重錘が延びプロペラピッチ角が変角する。さらに手動により風車は確実に風に対して横向きにできる。昭和54年10月22日の台風の折、風速35m/sの風でプロペラが破壊された以外は現在まで順調である。蓄電された電力は夜間の赤灯照明、湯沸し等で消費し、充電を繰り返している。図4.2は自然風

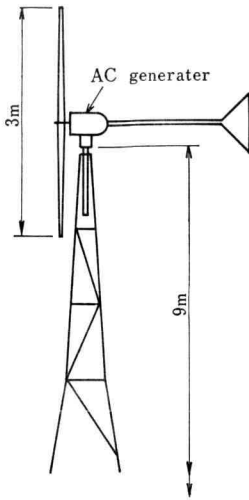


Fig. 4.1. Windmill in IKUTOKU Technical University.

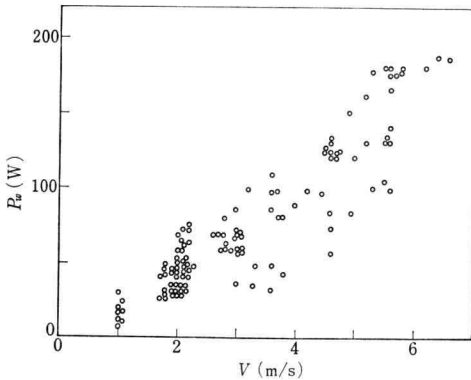


Fig. 4.2. The electric power generated by IKUTOKU windmill at the various wind velocity (from December 10, 1979 to December 25, 1979).

による出力の計測値で、負荷には可変抵抗器を使用した。自然風の特徴として風速、風向が激しく変わるので、測定点は幅広く分布している。風速 4 m/s で出力は約 80 W となる。6 m/s 以上の計測は十分に行われなかったが 14 m/s で約 1 KW の出力になるものと予測される。この出力は発電機の内部損失を含んでいるので、プロペラにおける出力はこれよりも大きい。

### 5. プロペラの理論

プロペラは飛行機が出現する以前に船舶の推進用として使用されており研究も行われ、古くは 1889 年に R. E. Froude の運動量理論が発表された。その後、飛行機の発達と共に 1910 年頃 Drzewiecki による翼素理論、Joukowski の渦理論が発表された。

風車のプロペラは飛行機のプロペラを裏返しにしたものと考えられ、飛行機の場合は空気にエネルギーを与え、風車の場合は空気よりエネルギーを与えられる。風車のプロペラの理論はこの点を考慮して飛行機のプロペラの理論を適用している。本研究では理論によってプロペラを試作した。次に理論の概略を示す。

#### 5.1 運動量の理論<sup>3)</sup>

図 5.1 において AB を風車とする。

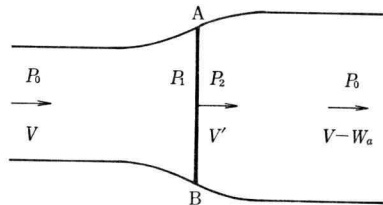


Fig. 5.1. Flow model around propeller.

ベルヌイの定理より

$$P_0 + \frac{\rho}{2} V^2 = P_1 + \frac{\rho}{2} V'^2$$

$$P_0 + \frac{\rho}{2} (V - w_a)^2 = P_2 + \frac{\rho}{2} V'^2$$

2 式の差

$$P_1 - P_2 = \rho w_a (V - w_a/2)$$

この圧力差と風車回転面の面積  $s$  との積  $s \rho w_a (V - w_a/2)$  は風車のうける力即ち抵抗を与える。運動量の法則により、風車のうける抵抗は単位時間に風車をつきぬける空気の質量  $s \rho V'$  と  $w_a$  の積に等しい。

$$s \rho w_a (V - w_a/2) = s \rho V' w_a$$

$$\therefore V - V' = w_a/2$$

風車の吸収したエネルギーは単位体積の空気について

$$\rho/2 V^2 - \rho/2 (V - w_a)^2 = \rho w_a (V - w_a/2)$$

風車の吸収した動力を  $P_w$  とすると

$$P_w = \rho w_a (V - w_a/2) \cdot s v' \\ = s \rho w_a (V - w_a/2)^2$$

$P_w$  と風の持つ全動力との比が理論効率  $\eta_w$  である。

$$\eta_w = \frac{s \rho w_a (V - w_a/2)^2}{\frac{\rho}{2} V^3 s}$$

$d\eta_w/dw_a=0$  より  $\eta_{w\max}=0.593$  となる。実際の風車の効率はこちらよりもはるかに小さい。

5.2 Glauert の理論<sup>4)</sup>

速度  $V$  の風はプロペラ回転面を通過するとき減速され、また角速度が付与される。 $a, a'$  を気流の気流方向及び回転方向の変化率とすれば、減速された速度  $V'$  は  $V' = V(1-a)$  となる。プロペラの角速度が  $\omega$  のとき  $\omega a'$  だけの角速度が付与されるとすれば、角速度は  $\omega + \omega a'$  となり、回転方向の速度は  $\omega r(1+a')$  となり、プロペラの断面における気流の方向は図 5.2 に示すようになり、空気流入角  $\theta$  は次のようになる。

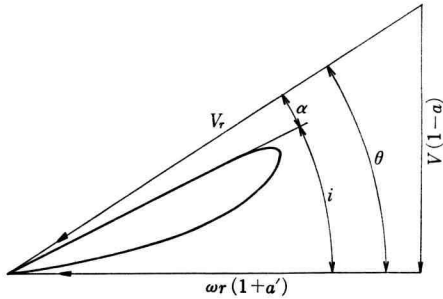


Fig. 5.2. Flow diagram of blade element.

$$\tan \theta = \frac{v(1-a)}{\omega r(1+a')}$$

$\theta$  は  $a, a', \omega r/v$  に関する次式<sup>4) p328</sup>により求められる。

$$a' = \frac{1-3a}{4a-1}$$

$$a' \cdot (\omega r/V)^2 = (1-a)(4a-1)$$

迎角  $\alpha$  を断面翼型の空力特性により決めると、製作に必要な断面ねじり角は  $i = \theta - \alpha$  となる。

5.3 単純翼素理論

Drzewiecki の理論で図 5.3 のプロペラの翼断面について考えるとき、半径  $r$  における  $dr$  の微小部分を翼素とすると、これに対する速度は風速  $V$  と回転線速度  $\omega r$  との合成速度  $V_r$  となり、これに直角に揚力  $dL$ 、 $V_r$  方向に抗力が  $dD$  作用し、それぞれの回転方向の分力  $dL \sin \theta$  と  $dD \cos \theta$  の差が回転力となる。 $dF = dL \sin \theta - dD \cos \theta$  によりプロペラは回転する。また空気流入角  $\theta$

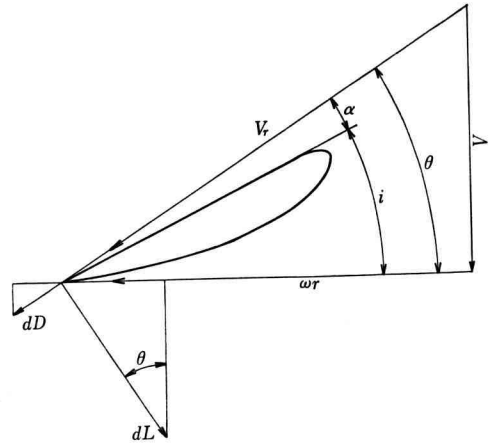


Fig. 5.3. Flow diagram of blade element.

は次のようになる。

$$\tan \theta = \frac{V}{\omega r}$$

迎角  $\alpha$  を使用する翼型の空力特性により決めると、製作に必要な断面ねじり角は  $i = \theta - \alpha$  で決まる。

5.4 翼素理論<sup>5)</sup>

図 5.4 にて回転中のプロペラ翼素について考えると、気流速度は軸方向  $(V - w_a/2)$  と回転方向  $(\omega r + w_u/2)$  の合成速度  $V_r$  となるので、空気流入角  $\theta$  は次のようになる。

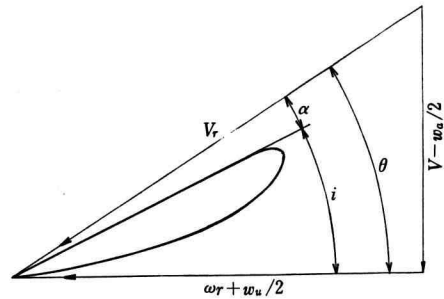


Fig. 5.4. Flow diagram of blade element.

$$\tan \theta = \frac{V - w_a/2}{\omega r + w_u/2}$$

ここでプロペラの渦理論により翼まわりの循環を  $\Gamma$  とすると、 $w_a, w_u$  は次のようになる。

$$w_a = \frac{b \omega \Gamma}{2 \pi V}$$

$$w_u = \frac{b\Gamma}{2\pi r}$$

これらにより空気流入角  $\theta$  が分り、断面ねじり角が決められる。

6. プロペラの実験的研究

風力エネルギーはプロペラにより軸回りの回転力に変換される。この回転力は電気、熱、化学、機械エネルギーの形として使用するが、最初にエネルギーを吸収するプロペラによって効率が大きく左右される。

本報告はプロペラについて昭和54年(第1次)、55年(第2次)、56年(第3次)と続けてきた実験的研究について述べたものである。57年(第4次)も現在続行中である。

表6.1に示すように、いずれのプロペラも直径3m以下の小型風車用であって、設計、製作につき大型風洞による実験で性能を調べた。

6.1 第1次(A2E, A2S, A2T)の研究

学内には「5. 幾徳工大の風車」にて述べた世界的に有名なスイスのエレクトロ社製の風車があり、これに取付けられているプロペラ A2E (エレクトロの原型は台風により破壊したので複製したもので、図6.1に示す)を比較の対象として新しく A2S, A2T を製作した。

6.1.1 A2S, A2T の形状

表6.1、図6.2に示すように、平面形状は A2E と性能を比較するため、これと同一とした。図6.1にある A2E の断面形状はエレクトロ社独得のもので、コスト軽減のため平板を手作りで削ったものと思われるので、新プロペラの断面形状は飛行機の翼、プロペラに使用さ

れている ClarkY にした。ClarkY はやクラシックであるが、空力性能の良さを感じさせる優美な形状で、下面が直線で工作容易なため採用した。断面厚さは弦長の15%である。

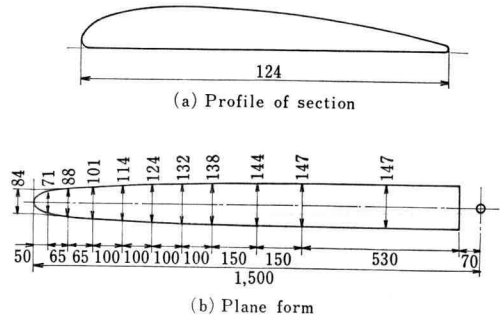


Fig. 6.1. Drawing of the blade A2E (Electro Co. propeller) (dimension unit mm).

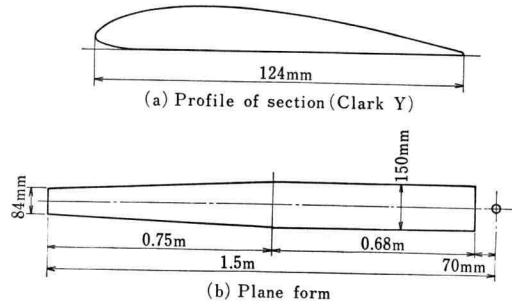


Fig. 6.2. Drawing of the blade A2S and A2T.

Table 6.1 Classification of the propellers

Order of the studys	Type	The number of propeller	Diameter (m)	Maximum chord length (mm)	Profile of section	Torsional angle (deg)
First (S. 54)	A 2 E*	2	3.0	150	Electro Co.	without
	A 2 S*	2	3.0	150	Clark Y	without
	A 2 T*	2	3.0	150	Clark Y	with
Second (S. 55)	B 2	2	2.2	200	NACA 230	with
	B 3	3	2.2	200	NACA 230	with
Third (S. 56)	C 2	2	2.2	200	NACA 230	with
	C 3	3	2.2	200	NACA 230	with
	C 4	4	2.2	200	NACA 230	with

\* E: Electro Co. S: straight T: torsion

6.1.2 A2S, A2T の目標値とねじり角

A2E は半径方向の各断面を直線状に並べてあるので、翼弦線は平面になり断面のねじり角はない。A2S も同様に各断面を直線状に並べてねじり角はない。A2T は各断面にねじり角をつけるため、計算により図5.2, 5.3, 5.4にある空気流入角  $\theta$  を決めた。計算目標値はエレクトロ社の資料を参考にして、風速 8m/s, 回転数  $n=300$  rpm, 出力  $P_w=670$  w, 動力係数  $C_p=0.3$  とした。図6.3は単純翼素理論, Glauert の理論および翼素理論によって計算した半径方向の各断面における空気流入角を示してある。各計算値は同じ傾向で近い値を示しているので、試作プロペラ A2T のねじり角分布は三者の中間にある翼素理論によるものを採用し製作した。

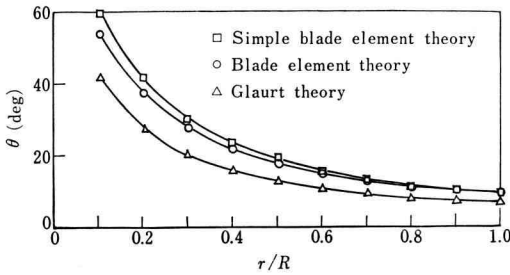


Fig. 6.3. Angle of airflow at arbitrary radius.

6.1.3 実験及び結果

実験は大型風洞を使用して図6.4に示す装置で行った。

出力の計測は直流発電機に可変抵抗器による負荷を加え電流, 電圧, 回転数を測定した。また別に発電機のベンチテストを行い, 発電機効率  $\eta_G$  を調べ, プロペラ実験で得た電流 (A), 電圧 (V) に対し, 次のように補正して純粋のプロペラ出力  $P_w$  にした。  $P_w = A \cdot V / \eta_G$

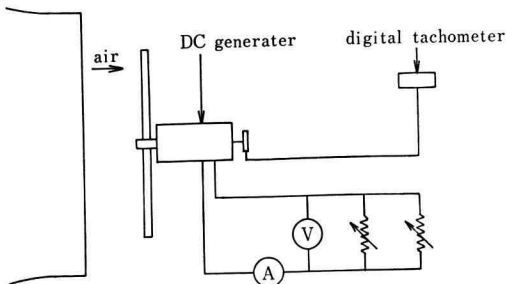


Fig. 6.4. Schematic drawing of the test equipment.

図6.5の出力は目標風速  $V=8$ m/s のとき, A2E は 160W, A2S は 220W, A2T は 290W で目標出力 670W には及ばない。

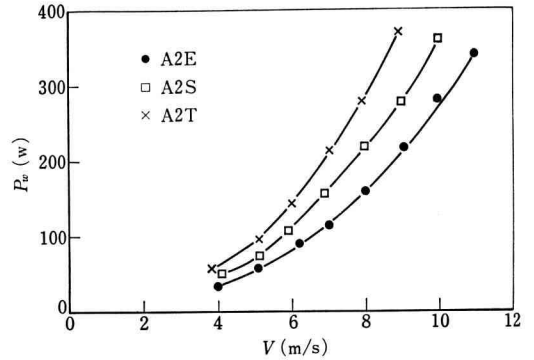


Fig. 6.5. Propeller power versus wind velocity.

図6.6では目標回転数 300 rpm に対して, A2E は 300 rpm, A2S は 340 rpm, A2T は 400 rpm となり満足される。

図6.7は動力係数  $C_p=0.24$  で目標値  $C_p=0.3$  よりやや小さい。

これらの結果よりプロペラの性能については次の点があげられる。

(1) プロペラの断面形状は ClarkY のように正規の翼型が良い。

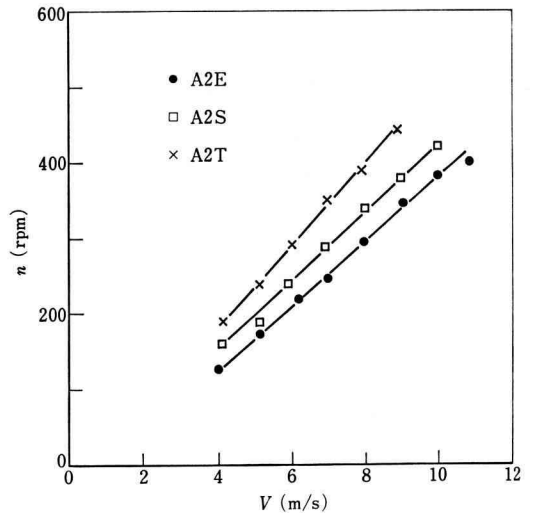


Fig. 6.6. Propeller revolution versus wind velocity.

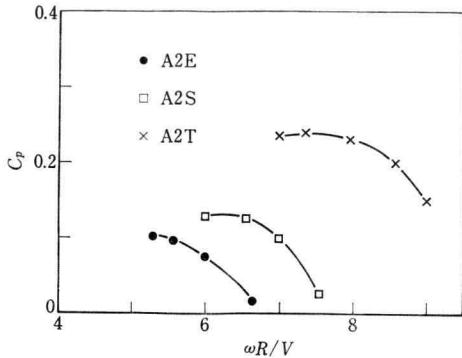


Fig. 6.7. Relation between power coefficient and tip speed ratio.

(2) プロペラの半径方向の断面はねじり角をつける効果がある。

(3) 上記の (1), (2) 項以外に性能向上には, ソリディティ  $bc/\pi R$  の考慮が必要である。

### 6.2 第2次 (B2, B3) の研究

学内の風力状況によると, 低風速の風が吹く時間が多いため, 第2次の研究では低風速, 高回転型のプロペラB型を計画した。B型は全く同一のものを3枚製作し, 2枚プロペラをB2, 3枚プロペラをB3とした。第1次の研究結果を参考にして目標値は風速  $V=4\text{m/s}$ , 回転数  $n=370\text{rpm}$ , 出力  $P_w=80\text{W}$  とした。

#### 6.2.1 B2, B3 の形状

図6.8に示すように, 断面形は第1次の研究に使用した翼型 Clark Y に勝るといわれる NACA 230 系翼型を使用した。この翼型は航空機に実用され優越性が実証されている。翼厚は根元で弦長の15%, 先端部では弦長の

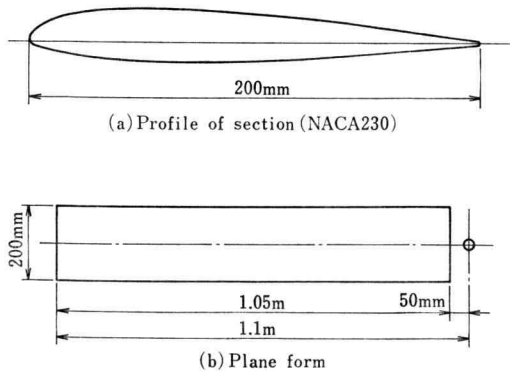


Fig. 6.8. Drawing of B and C type blade.

の10%とした。平面形状は高回転を目標としたので, 強度に余裕を持たせ製作を容易にするため, 直径を第1次の研究より小さくして2.2mとした。また弦長  $c$  については第1次の研究におけるプロペラのソリディティ  $bc/\pi R$  は小さいように思われるので, これよりも大きくするため弦長は  $c=200\text{mm}$  とした。しかしプロペラの平面積は第1次の研究プロペラと比較すると88%で小さくなっている。

#### 6.2.2 B2, B3 のねじり角

第1次の研究でプロペラ断面にねじり角をつけること効率が上昇することが分かったので, ねじり角をつけることにした。第1次の研究での図6.3において, 空気流入角  $\theta$  は単純翼素理論と翼素理論を見ると, プロペラの有効部分 (半径の50%より先端部分) における差は小さいので, 単純翼素理論で計算した。図6.9にこれを示す。各断面の迎角は全て  $6^\circ$  としてねじり角を決めた。

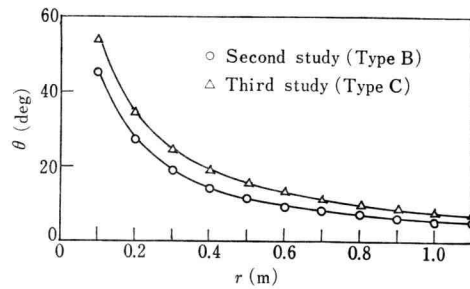


Fig. 6.9. Angle of airflow at arbitrary radius.

#### 6.2.3 実験及び結果

実験は第1次の研究と同じ方法 (図6.4) で行い, 出力は次のように補正して純粋のプロペラ出力  $P_w$  にした。  $P_w = A \cdot V / \eta_G$

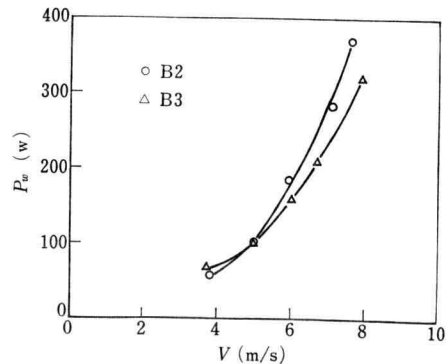


Fig. 6.10. Propeller power versus wind velocity.



図 6.10 に示すように出力は目標風速 4 m/s のとき B2, B3 とも 70W で目標 80W に近い。第 1 次の研究と比較すると、風速 8 m/s では B2 は 430W, B3 は 330W となり、第 1 次 A2T の 290W より増加している。

図 6.11 の回転数は風速 4 m/s のとき、B2 は 220 rpm, B3 は 200 rpm となり目標値の 370 rpm には及ばなかった。

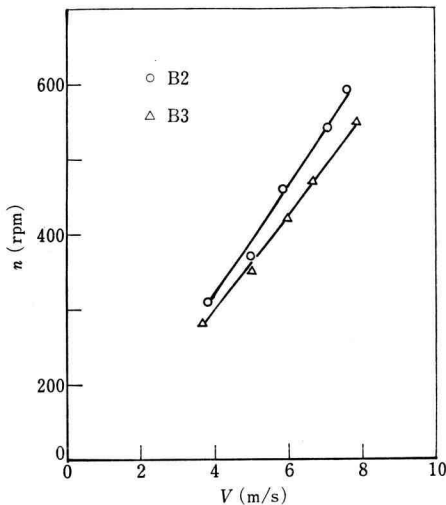


Fig. 6.11. Propeller revolution versus wind velocity.

第 1 次の研究と比較すると、風速  $V=8\text{m/s}$  では B2 は 510 rpm, B3 は 450 rpm で第 1 次 A2T の 400 rpm より増加している。

図 6.12 の動力係数は B2 の  $C_p\text{max}=0.40$ , B3 の  $C_p\text{max}=0.36$  で、第 1 次 A2T の  $C_p\text{max}=0.24$  に比べて良くなっている。

以上の結果より次のことがあげられる。

- (1) プロペラの断面形状はクラシック型の Clark Y よりも NACA 230 系が良い。
- (2) 目標値の風速  $V=4\text{m/s}$  における回転数  $n=370\text{rpm}$  の設定は過大であった。
- (3) 出力は 70W で低く実用性に乏しい。
- (4) 2 枚プロペラの B2 よりも 3 枚プロペラの B3 の出力が小さいのはソリデイティの相違が原因と考えられる。

### 6.3 第 3 次 (C2, C3, C4) の研究

前節第 2 次の研究では目標風速 4 m/s のときの出力は

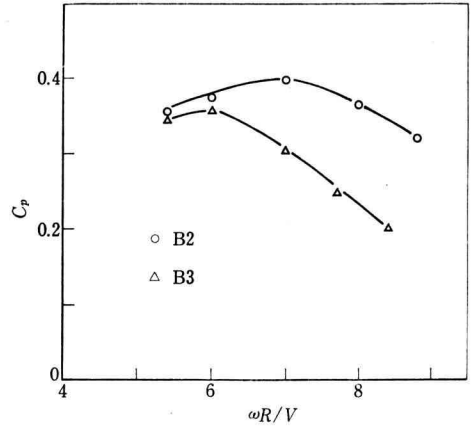


Fig. 6.12. Relation between power coefficient and tip speed ratio.

70W で小さく、実用上の観点より風速 4 m/s は低くすぎると思われるので、本研究では第 2 次の研究を参考として、形状はこれと全く同一にし、目標値を風速  $V=7\text{m/s}$ , 回転数  $n=480\text{rpm}$ , 出力  $P_w=300\text{W}$  とした。

この型は全く同じ形状のものを 4 枚製作し組立て枚数に従って C2, C3, C4 とした。

#### 6.3.1 C2, C3, C4 のねじり角

第 2 次の研究と同じく空気流入角を単純翼素理論により計算し図 6.9 に並べた。この分布状態は B 型よりも根元部で  $9^\circ$ , 先競部で  $2^\circ$  大きいのが、良く似た傾向である。各断面の迎角を  $\alpha=8^\circ$  としてねじり角を決めた。

#### 6.3.2 実験及び結果

実験は大型風洞を使用して図 6.13 に示す装置で行った。出力の計測は渦流式動力計を使用し、外部よりプロ

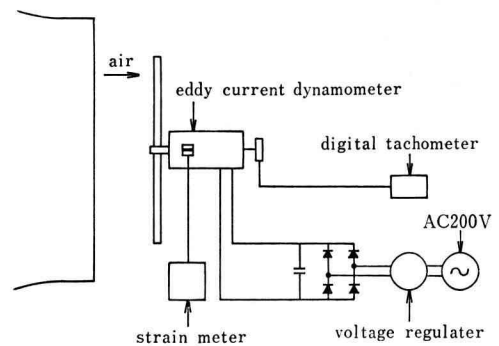


Fig. 6.13. Schematic drawing of the test equipment.

ペラ軸に電氣的制動力を加え、プロペラ出力を外筒反力として、トルクを歪計にて計測した。

図 6.14 に示すように出力は目標風速  $V=7\text{ m/s}$  のとき C2 は 265W, C3 は 230W, C4 は 205W となり、目標の 300W より小さい。またプロペラの枚数を増すと出力は減少している。

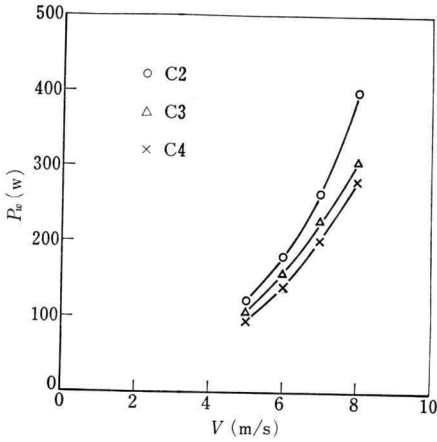


Fig. 6.14. Propeller power versus wind velocity.

図 6.15 に示すように回転数は  $V=7\text{ m/s}$  のとき C2 は 470 rpm, C3 は 440 rpm, C4 は 410 rpm となり、C2 は目標の 480 rpm に近い値を示し、プロペラ枚数の増加

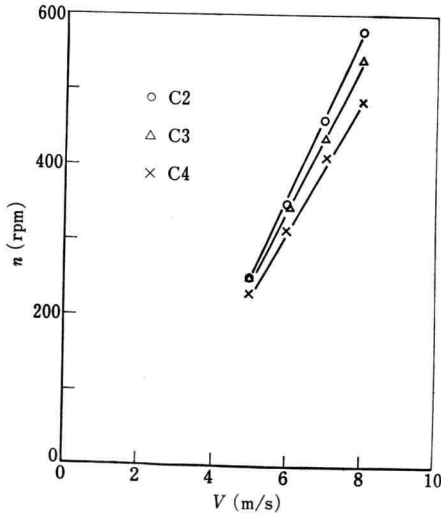


Fig. 6.15. Propeller revolution versus wind velocity.

にしたがい回転数は減少している。

図 6.16 に示すように動力係数は C2 は  $C_{pmax}=0.40$ , C3 は  $C_{pmax}=0.39$ , C4 は  $C_{pmax}=0.24$  となり、第 2 次の研究とはほぼ同じ値を示している。

以上の結果より次のことがあげられる。

プロペラの枚数を増すと性能が低下するのは、ソリデイティの影響と思われる。

図 6.17 はこれまでの研究の結果をまとめたもので、ソリデイティは  $bc/\pi R=0.1$  附近が良いと思われる。

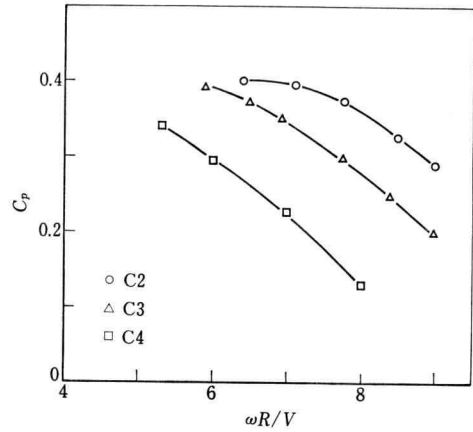


Fig. 6.16. Relation between power coefficient and tip speed ratio.

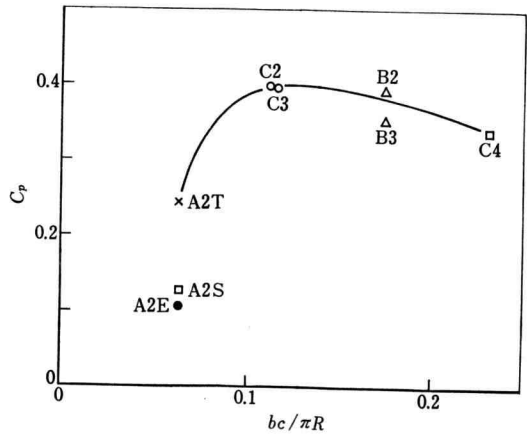


Fig. 6.17. Variation of power coefficient at the various solidity.

## 7. あとがき

風力エネルギーに関する研究として、昭和54年より3年間にわたり当地の風力状況を調査したが、風車を十分に活用する風力を得ることは困難である。

プロペラを試作して大型風洞で実験を行った結果、プロペラの効率上昇には次のことがあげられる。

(1) 断面形状は NACA 230 系のように特性の良いものを選定すべきである。

(2) 断面にねじり角をつけると効果がある。

(3) ソリディティは  $bc/\pi R=0.1$  附近が良かった。

実験に使用したプロペラは未経験の学生が手作りで製作したもので、若干の不整は免れないが、動力係数は  $C_p \text{max}=0.40$  となり予想通りの好結果であった。

本研究は昭和54年度、荒井長次、荒井秀和、高山一男、昭和55年度、小俣和義、菅野一郎、松木章夫、昭和56年度、岡崎富士男、沖崎 潔、鎌田正昭、竹中和夫の協力を得たことを付言する。

昭和57年度の第4次の研究では、北アルプス穂高連峰にある穂高岳山荘 (海拔 2996 m) において風力エネルギーの実用実験を9月初旬に行った。新しく設計、製作

したプロペラ (いずれも断面形は NACA 230 系でねじり角あり) を搬入し、山岳の斜面に沿って上昇する自然風を受けて発生した出力はオリジナルのエレクトロ社 (スイス) のもの (日本で複製) に比べて 20~100% 増加を示した。現在これらについて計算、解析を行っており、次回に報告する予定である。

## 文 献

- 1) Adel E.M. Nasser: Utilization of wind/solar energy in generating in Saudi Arabia. College of engineering Riyadh University. Riyadh-Saudi Arabia, 1980.
- 2) S.M. Morcos, M.G. Khalafallah: The effect of shielding on the aerodynamic performance of savonius wind turbines. Mechanical Engineering Department Cairo University. Cairo-Egypt, 1980.
- 3) 藤本武助: 流体の力学と流体機械, 養賢堂, 昭和40年
- 4) H. Glauert: Wind mill and Fans. Aerodynamic Theory by William Frederic Durand. Vol IV, 1976.
- 5) 藤本武助: 流体力学, 養賢堂, 昭和38年