



室蘭工業大学

学術資源アーカイブ

Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive



小型風車に関する実験的研究 第2報

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-03-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 奥田, 教海, 山岸, 英明 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/1088

小型風車に関する実験的研究 第2報

奥田 教海・山岸 英明

An Experimental Study on a Small Propeller Type of Wind Turbine, 2nd Report

K. OKUDA and H. YAMAGISHI

Abstract

In succession to our first report with the same title, we describe the results of the investigations on the flows around blades of the wind turbine mentioned in the above report.

The flows are analysed on the basis of the local blade element theory of H. J. Stewart (AIAA Journal, 14, 11 (1976), p. 1524), using the power coefficient of blade elements defined by Stewart, and introducing "effective power conversion efficiency" defined by the authors for the whole blades.

From the results, it is confirmed how the trends and magnitudes of wind energy dissipation arise.

1. ま え が き

第1報¹⁾において報告した風車の特性すなわち風車発電機電力および出力係数に更に検討を加え、羽根に使用している翼形のまわりの流れを、H. J. Stewartの理論²⁾によって解析した。それにより風力エネルギーの有効利用量と損失の内容を明らかにしようとする。

2. 記 号

a : 風の変速率 (—)

a' : 風車後流の旋回角速度の変速率 (—)

B : 翼枚数 (—)

C_D : 翼の抗力係数 (—)

C_L : 翼の揚力係数 (—)

C_{eff} : 風力有効変換率 (—), $C_{eff} = P_{cat}/P_o$

C_l : 風車装置出力係数 (—), $C_l = P_{exp}/(\frac{1}{2}\pi R^2 \rho V^3/0.102) = C_{eff} \times C_{l2}^*$

C_{l1} : 風車装置出力係数 (—), (第1報の C_l), $C_{l1} = C_{p1} \times \eta_{mg}$

C_{l2}^* : 風車装置出力比 (—), $C_{l2}^* = P_{exp}/P_{cat}$

C_i : 翼素出力係数 (半径 r の位置における翼素の出力係数) (—)

C_p : 風車出力係数 (-), $C_p = (P_{exp}/\eta_{mg}) / (\frac{1}{2}\pi R^2 \rho V^3/0.102) = C_{eff} \times C_{p2}^*$

C_{p1} : 風車出力係数 (-)

C_{p2}^* : 風車出力比 (-), $C_{p2}^* = C_{i2}^*/\eta_{mg}$, $C_{p2}^* = P_{exp}/(P_{cal} \times \eta_{mg})$

c : 翼弦長 (mまたは mm)

n : 羽根車回転数 (rpm)

P_{cal} : 翼素理論より求められる有効動力 (W)

P_{exp} : 発電機電力 (-), 第1報の W

P_o : 風の保有する動力 (W), $P_o = \frac{1}{2}\pi R^2 \rho V^3/0.102$

R : 羽根車外半径 (m)

r : 羽根車半径位置 (m)

V : 風速 (m/s)

W : 翼に対する風の相対速度 (m/s) または発電機電力 (第1報) (W)

α : 翼の迎え角 (°)

ϵ : 翼の抗揚比 (-), $\epsilon = C_D/C_L$

η_{mg} : (風車機械効率) × (発電機効率) (-)

ρ : 空気の密度 (kgf · s²/m⁴)

ϕ : 速度比 (-), $\phi = \Omega R/V$

φ : 風の翼断面への近寄り角 (図4) (°)

Ω : 羽根車回転角速度 (rad/s)

ω : 風車後流の旋回角速度 (rad/s), $\omega = 2 \Omega a'$

ただし S I 単位系では $P_o = \frac{1}{2}\pi R^2 \rho V^3$

3. 翼素理論とその風車羽根車への適用

翼枚数を B , 翼角速度を Ω , 一様な風速を V , 翼に対する風の相対速度を W , 空気の密度を ρ とする。翼素理論によれば, 任意の半径位置 r における弦長 c , スパン dr の翼素によって得られる動力 dP は, 風の翼への近寄り角度を φ (図4) として

$$dP = (\Omega r) \left(\frac{1}{2} \rho W^2 \right) B c (C_L \sin \varphi - C_D \cos \varphi) dr \quad (1)$$

で表わされる。³⁾ H. J. Stewart によれば, 微小環状面積 $2 \pi r \cdot dr$ 内の乱されていない風のエネルギー束に対する翼素の出力の比は次の翼素出力係数 C_i' で表わされる。すなわち

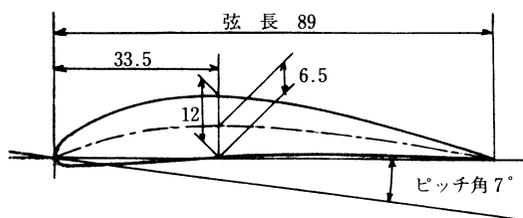


図1 Wincharger 翼形

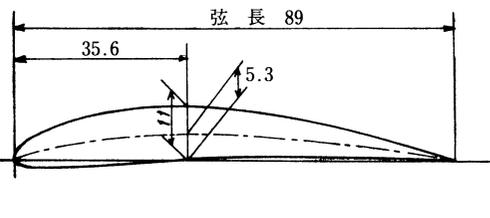


図2 NACA6412 翼形

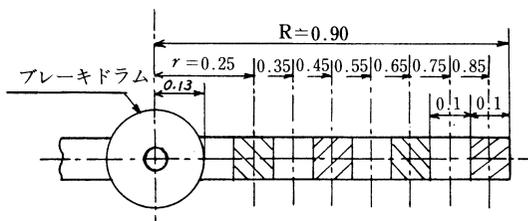


図3 C_i 計算のための半径と翼面積

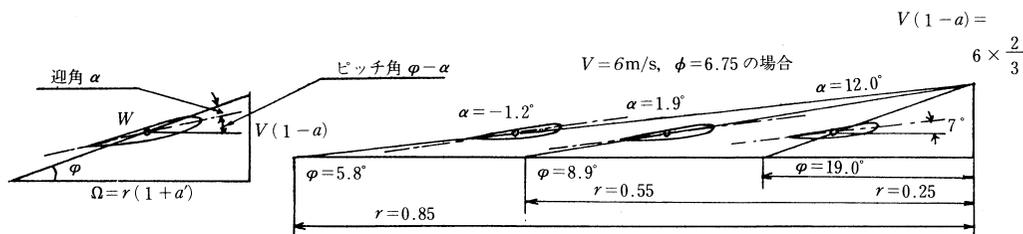


図4 翼のまわりの速度三角形

$$C_i = \frac{\frac{1}{2\pi r} \cdot dP}{\frac{1}{2}\rho V^3} = 4a(1-a) \left(\frac{\Omega r}{V} \right) (\tan \phi - \varepsilon) \quad (2)$$

本報告では、第1報の実験に用いた Wincharger 1222 H型の羽根車に対して、自然風の実験状態において、この C_i をそれぞれ求め、

$$P_{cat} = \int_{0.85}^{0.25} \left(\frac{1}{2}\rho V^3 \right) \cdot C_i \cdot 2\pi r \cdot dr \doteq \pi \rho V^3 (\Delta r) \sum_{r=0.85}^{0.25} (C_i \cdot r) \quad (3)$$

によって羽根車に期待される有効動力 P_{cat} を求め、第1報の実験結果の内容を解析する。実験に使用した風車の翼形は、スケッチによれば、図1に示すような断面をなす。これに最も近い翼形を捜したところ図2に示すNACA 6412と推定された。式(3)を用いて積分を行なうときの r は図3に示すように $r=0.85, 0.75, \dots, 0.25$ とし、 $\Delta r=0.1$ とした。 $r=0.2$ 以内はブレーキ・ドラムがあるので積分から除外した。実験状態における翼のまわりの速度三角形の

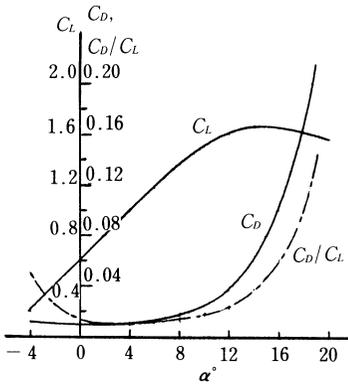


図5 NACA6409の性能

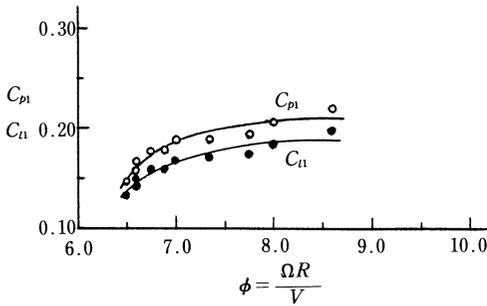


図7 出力総数 C_{p1} , C_{t1} と速度比 ϕ

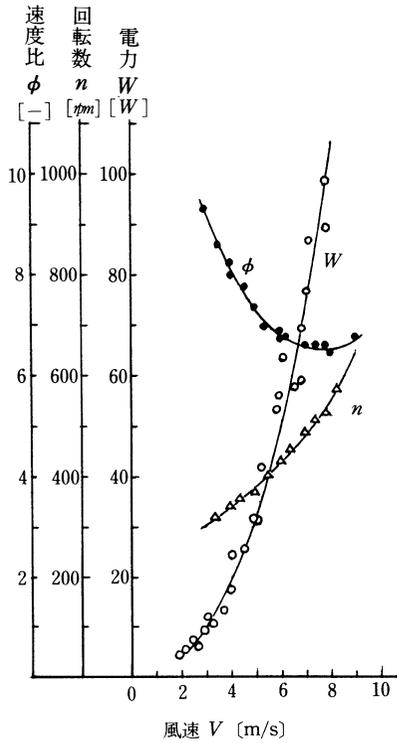


図6 電力、回転数、速度比と風速

一例、 $V = 6 \text{ m/s}$ の場合を図4に示す。左側の図は説明図、右側は $r = 0.85, 0.55, 0.25 \text{ m}$ の場合の速度三角形の底辺を重ねて示した図である。ピッチ角 $\phi - \alpha = 7^\circ$ (＝一定) である。式(2)の $\varepsilon = C_D/C_L$ を計算するためには、入手できた資料中のNACA 6409の性能曲線図(図5)を借用した。図6、図7は第1報で報告した実験結果に、それぞれ速度比 ϕ および風車出力係数 C_{p1} を追加記入した図である。図6において ϕ は V が增大するとき減少する傾向にある。図7において C_{t1} は第1報の C_t と同一であり、他の記号と区別するために C_{t1} とした。風車出力係数 C_{p1} は $0.15 - 0.21$ 程度である。

式(3)による計算結果を摘記したものは表1である。この計算中 $a = 1/3$, $a' = 0.031$, $\eta_{mg} = 0.9$ とおいた。この表によって見れば、翼素理論より求められる有効動力の比、すなわち風力有効変換率 C_{eff} は $0.40 - 0.50$ 程度の値が得られており、プロペラ型羽根車においては、設計が適合しておれば、かなり有効に風力を利用できることが期待される。このとき翼素出力係数 C_i は、半径位置の相違に拘らず、ほぼ $0.46 - 0.55$ 程度の高い値を示していることは注目される。なお、この表には表わしていないが、ある半径位置より外側の羽根部分で変換可能な風力エネルギーの割合は、式(3)をある半径位置より外側に対して部分的に積分すれば求められ、 $r = 0.9 - 0.7$, す

表1 $C'_i, C_{i2}^*, C_{p2}^*, C_{eff}$ の値

V [m/s]	r [m]	φ°	α°	C'_i	$P_{cat(w)}$	C_{i2}^*	C_{p2}^*	C_{eff}
9.0	0.85	5.9	-1.1	0.478	576.7	0.249	0.276	0.499
	0.55	9.1	2.1	0.548				
	0.25	19.4	12.4	0.551				
6.0	0.85	5.8	-1.2	0.461	165.1	0.315	0.350	0.482
	0.55	8.9	1.9	0.527				
	0.25	19.0	12.0	0.536				
3.0	0.85	4.0	-3.0	0.305	17.3	0.531	0.590	0.404
	0.55	6.2	-0.8	0.480				
	0.25	13.4	6.4	0.546				

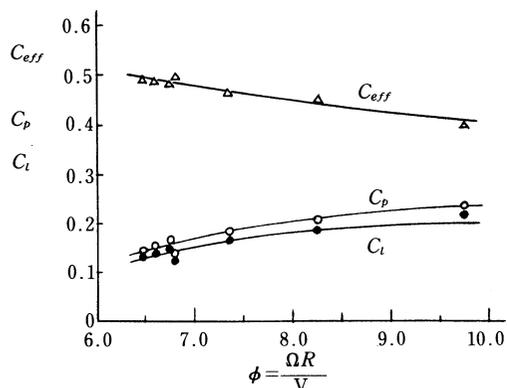


図8 変換率 C_{eff} , 出力係数 C_p, C_i と速度比 ϕ

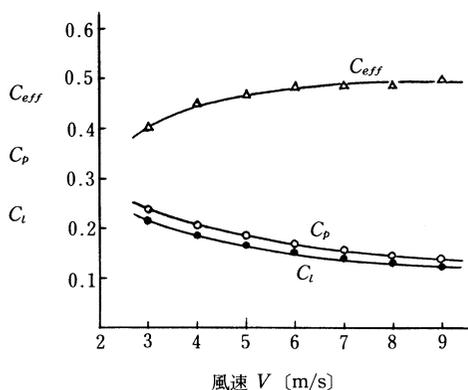


図9 変換率 C_{eff} , 出力係数 C_p, C_i と風速 V

なわち $0.78R$ より外側では全風力エネルギーの39%を変換, $r=0.9-0.5$, すなわち $0.56R$ より外側では全風力エネルギーの71%を変換するという結果が得られた。ただし $r=0.9-0.2$, すなわち $0.22R$ より外側で変換可能な風力エネルギーを100%とおいた。

$$C_p = C_{eff} \times C_{p2}^*, \quad C_i = C_{eff} \times C_{i2}^*$$

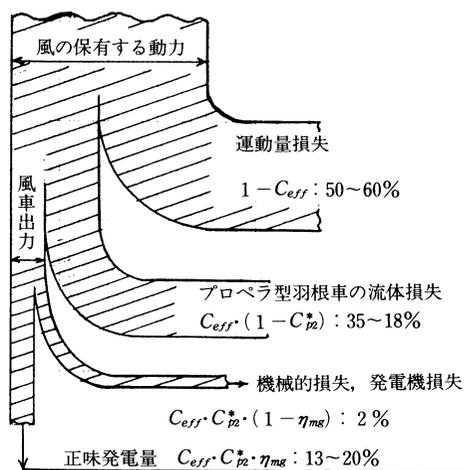


図10 風力エネルギーの損失と発電量

によって計算した C_p , C_i と C_{eff} を ϕ に対して表わしたものは図 8 である。 C_{eff} は ϕ の全範囲にわたり高い値が期待されるが、 ϕ の低いところ (V の高いところ) で C_{p2}^* , C_{i2}^* が低く、従って C_p , C_i の高い値が期待できない結果となっている。図 9 は風速 V に対して C_{eff} , C_p , C_i を表わしたものである。

以上の結果を基に、この型の風車に対して風力エネルギーの損失と発電量の割合の概略を図示すると図 10 のようになる。これより風力エネルギーの帰趨が知られる。

4. 従来の風車の基礎理論との比較

従来言われている風車の基礎理論では風車前後の風の運動量の変化から、理想的な風車の最大出力係数として 0.593 を得ている。³⁾ こゝに述べた解析もこれを第 1 近似として是認しているが、現実の風車が、どこまで理想風車に近づくことができるかを見るために、翼素のまわりの流れに考慮を加え、翼素出力係数を導入して解析した点が異なる。すなわち翼の抗力、風車後流の旋回を考慮に入れていることである。普通それらは、単独では影響の少ないものと言われている。

5. む す び

以上を要約すれば、

- (1) H. J. Stewart の翼素出力係数を用いて実験状態でのプロペラ型風車の出力係数および風力エネルギーの損失について検討を加えた。
- (2) 実験に用いたプロペラ型風車において、エネルギー変換可能と期待されるエネルギー変換率、すなわち“風力有効変換率 C_{eff} ” は 0.40–0.50 程度とかなり高い値が得られた。
- (3) ϕ が低く、 V の大きいところで C_{p2}^* , C_{i2}^* の値が低く、 C_p , C_i の高い値が期待できない。
- (4) 図 10 に示すように風力エネルギーの帰趨が明らかになった。

(昭和 59 年 5 月 19 日 受理)

文 献

- 1) 奥田・ほか, 室蘭工業大学研究報告, 9, (3) p. 707 (1978)
- 2) Stewart, H. J., AIAA Journal, 14, (11) p. 1524 (1976)
- 3) Fales, E. N., Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers, p. 9–8 (1967)