



小型風車に関する実験的研究(第1報)

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-07-25 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 奥田, 教海, 織笠, 桂太郎, 松田, 敏彦, 山岸, 英明 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/3685

小型風車に関する実験的研究 第1報

奥田教海・織笠桂太郎・松田敏彦・山岸英明

Experimental study for a Small Propeller Type of Windmill. 1st Report

K. Okuda, K. Orikasa, T. Matsuda and H. Yamagishi

Abstract

The interest of clean energy resources increases lately. The authors are carrying out the generating experiment of electricity by a windmill with two small blade propellers as part of the items in "Research Project for Clean Energy Resources", by Muroran Institute of Technology.

Main results of the first report of this study are as follows:

a) The windmill generator, rating 200 W, was tested preliminarily on a laboratory bench for the basic performance of the machine—electric current, voltage and power vs. r.p.m. in the case of battery load.

b) The generating power of the windmill by the forces of natural wind on the roof of the Institute in autumn and winter, 1977, was expressed in the following formula:

$$P=0.59 V^{2.5} \text{ (W)}$$

where P(W) is electric power of the generator, and V (m/s) is wind velocity. Constant 0.59 contained mean value of the power coefficient, the wind mill radius 0.9m, and density of air.

c) Maximum power coefficient of the windmill by the forces of natural wind was 0.17, which was low as about 43% of the announced results of two-blade-windmill in wind tunnel tests.

d) Responsedence of power generation of the windmill to the unsteady natural wind was examined and found to be rather good in the periods of both prevalent wind and energy wind blowing.

1. ま え が き

近年エネルギー問題に関心が寄せられている。室蘭工業大学におけるエネルギー関係のプロジェクト研究「クリーン・エネルギーの製造と貯蔵に関する研究」の一環として筆者らは表題の研究を採り上げ、昭和51年度よりこれを続けている。手始めとして後述の既製小型風車を自然風の中で実験し、非定常な風を相手とする風力発電がいかなる問題点を含んでいるかを調べ、風力発電の基本的事項を把握することを研究の目的とする。エネルギー枯渇が憂慮されるとき、エネルギーの種類の多様化によってそれに対処するものとするれば、その一端として風力エネルギーを位置づけたいものである。

この報告では、室蘭地方の自然風による小型プロペラ型風車の実験例について述べる。

2. 室蘭地方の風力の概況

室蘭地方気象台の観測資料によれば、室蘭地方の風力の概況は次のように概括することができる。

年平均風速は、1971-1974年は約5 m/s、1975-1976年は約4 m/sと低くなっている。最大風速(10分間平均の最大値)は、1972-1976年約8-19 m/s、瞬間最大風速は同年間約14-32 m/s、年別風向は同年間、どの年も西北西が卓越している。一例として1974年の月平均風速および風向頻度を図1、図2に示す。これらによって見れば、室蘭地方は風力エネルギーの多い地方の一つであることがわかる。

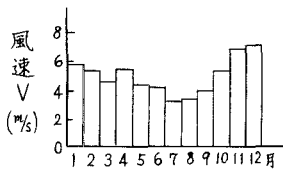


図1 月平均風速(1974年)

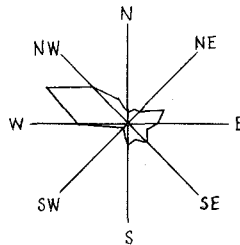


図2 風向頻度(1974年)

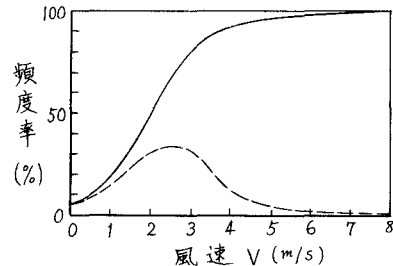


図3 風況曲線('77. 9月-'78. 1月)

図3にはこの実験の風車の設置場所である室蘭工業大学機械系研究棟(3階)屋上における風況曲線を示す。観測期間は同図に記入してあるように1977年9月-1978年1月である。破線は風速頻度を百分率で示し、実線はその累積曲線である。室蘭工業大学は水元町の山間部にあり、室蘭地方気象台観測の結果よりも風力エネルギーは低い。

3. 実験装置と実験方法

下記の風車および風向・風速計を機械系研究棟屋上に設置し、記録計変換器および発電機の負荷等は近接の屋内小実験室に置いた。場所選定の都合上、風向・風速計と風車は約30 m離れた場所にせざるをえなかった。

実験装置

小型風車：Wincharger 風力発電装置 1222 H型、WINCO Division of DYNA TECHNOLOGY INC., IOWA, U.S.A., 2枚プロペラ型羽根車 直径1.8 m、羽根断面はゲッチングン翼型に類似、風車羽根車の作動は風速3-10 m/sの範囲、空気ブレーキ・ガバナおよび風車軸変向装置付。空気ブレーキ・ガバナは風速10 m/s以上で羽根車回転数900 rpmに制御。

風車の発電機：風車軸に直結、直流分巻型200 W。(以上図4参照)

自記式風向・風速計：小笠原計器 PR 350型、風速測定範囲0-30 m/s、0-60 m/sの2

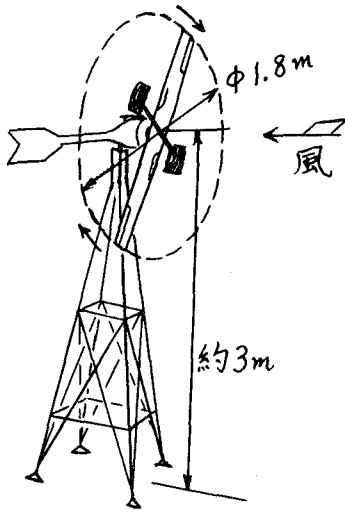


図4 小型風車

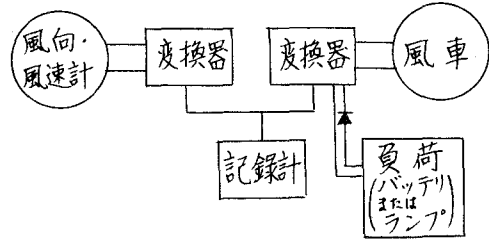


図5 計器接続図

段切替。風向は16方位。

風向・風速計および風車用記録計：横河電機 ER 6 型。

同上用変換器：風向，風速，電圧，電流および電力の10分間平均を30秒毎に出力する。

発電機の負荷：200 AH バッテリまたはランプ。

バッテリー・インバータ・チャージャ：八州電装 EB 300 型。

以上の実験装置および計測器は図5のように接続して実験を行った。

以上の装置を用いる屋外実験とは別に，実験室内で，電動機および負荷を接続して風車発電機の特性格験を予備的にを行い，回転数——電流，電圧，電力の関係を求めた。

4. 記 号

C_t : 風車出力係数 (—)	C_t^* : 理想風車の出力に対する風車出力係数(—)
D : 風車直径 (m)	I : 風車発電機電流 (A)
n : 風車軸回転数 (rpm)	P_o : 風の保有する動力(kgf · m/s または W)
P : 風車出力, 風車発生電力(kgf · m/s または W)	P_{max} : 理想風車の最大出力(kgf · m/s または W)
R : 風車半径 (m)	t : 測定時間 (min)
V : 風速 (m/s)	V_g : 風車発電機電圧 (V)
W : 風車発電機電力 (W)	ρ : 空気の密度 (kgf · s ² /m ⁴)
$\phi = \Omega R / V$ 速度比 (—)	Ω : 風車軸回転角速度 (rad/s)

5. 風車に関する基本式

風の保有する動力¹⁾

$$P_o = \frac{1}{2} \pi R^2 \rho V^3 \tag{1}$$

理想風車の最大出力¹⁾

$$P_{max} = \frac{16}{27} P_o = \frac{8}{27} \pi R^2 \rho V^3 \tag{2}$$

出力係数^{2),3)}

$$C_l = P/P_o = \frac{P}{\frac{1}{2} \pi R^2 \rho V^3} \tag{3}$$

$$C_l^* = P/P_{max} = \frac{P}{\frac{8}{27} \pi R^2 \rho V^3} \tag{4}$$

以上の式を次節で用いる。

6. 実験結果とその考察

(1) 実験実内での発電機特性試験

バッテリーを負荷として試験を行った結果を図6に示す。回転数 400 rpm 以上では電圧 V_g がほぼ一定であり、電流 I は回転数の増加とともに増加し、結局電力は上に凸の曲線で示される。

(2) 自然風による風車の実験

後述の図10に示してあるように、風の変動、それに伴う発生電力の変動は甚だしい。ランプ負荷の場合は省略し、バッテリー負荷の場合について述べる。10分間の平均値、30秒毎の記録20-30個を便宜上相加平均し、電力 W と風速 V の関係を求めたものを図7に示す。なお同図には実験室内特性試験のとき得られた電力をパラメータとして回転数 n も記入してある。

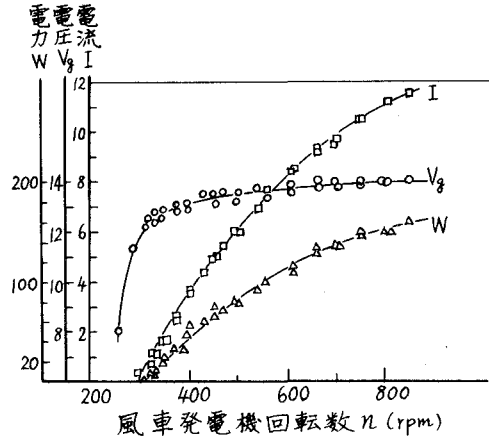


図6 発電機特性試験 (バッテリー負荷)

風車の出力は

$$P = C_l P_o = f\left(\frac{\pi D n}{60 V}\right) \cdot \left(\frac{1}{2} \pi R^2 \rho V^3\right) = f(\phi) \left(\frac{1}{2} \pi R^2 \rho V^3\right) \tag{5}$$

ただし、

$$f\left(\frac{\pi D n}{60 V}\right) \text{ は } \phi = \frac{\pi D n}{60 V} = \frac{\Omega R}{V} \text{ の関数}$$

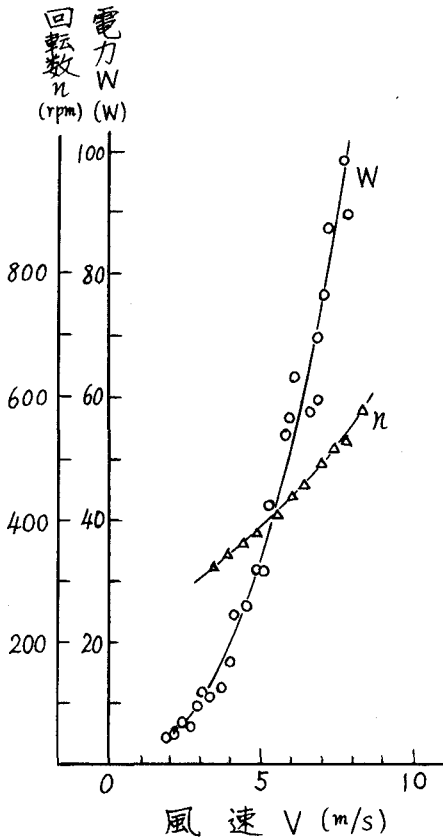


図7 電力、回転数と風速

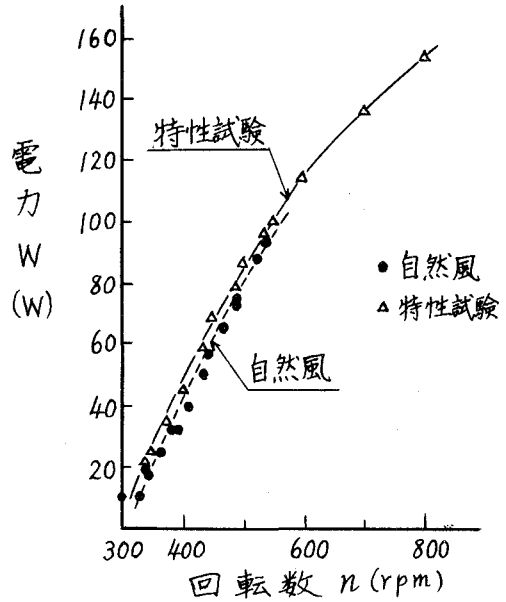


図8 電力と回転数

であるから、 P は ϕ と V^3 に依存するものである。図7に示した実験範囲内で $f(\phi)$ 、 R 、 ρ および単位換算率を定数の中に入れて概略の実験式を求めると、

$$P = 0.59 V^{2.5} (W) \quad (6)$$

となる。ただし P (W)、 V (m/s) である。

図8には図7の値を用いて書き直した $W-n$ 関係(自然風●印)と発電機特性試験の結果の $W-n$ 関係を併せ示した。両者はかなり近接した値であるが、前者は後者を少し下廻る。これは自然風の変動を相加平均によって求めたことによるものと考えられる。これらの差異に関しては今後検討する予定である。

次に先程、概略の実験式の定数に含めた C_l すなわち $f(\phi)$ をとり出して調べる。すなわち、出力係数

$$C_l = P/P_o = \frac{P}{\frac{1}{2} \pi R^2 \rho V^3} \quad (3)$$

において、 $R = 0.9$ (m)、 $\rho = 0.1272$ ($\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$) (10°C, 760 mmHg の値)、 $1 \text{ kW} = 102$ ($\text{kgf} \cdot \text{m}/\text{s}$) とすれば

$$C_l = 630.243 \times \frac{P}{V^3} \quad (7)$$

となる。ただし P は kW の数値を入れる。

$$\text{一方において} \quad \phi = \frac{\Omega R}{V} = \frac{\pi D n}{60 V} = \frac{\pi \times 1.8}{60} \cdot \frac{n}{V} = 0.09425 \frac{n}{V} \quad (8)$$

より ϕ を求め、 $C_l - \phi$ 、 $C_l^* - \phi$ 関係を求めたものを図 9 に示す。ここで C_l 、 C_l^* 中には発電機効率が含まれていることに注意すべきである。

一般に 2 枚プロペラ型高速風車の出力係数は 0.37–0.43 程度といわれているが、¹¹⁻⁶⁾ その値は風洞実験の定常な風の場合と考えられる。この実験の場合 C_l は最大 0.17 程度の値を示し、前者の約 43% 程度に低い。また C_l^* は 0.29 程度である。非定常な自然風の場合は、 C_l はこのように低下するものと考えられる。

風の変動、風の息とそれに対する風車発電の応答性に関しても今後検討しなければならないが、風速の時間的変動経過とそれに対応する風車発電の応答性に関する一例を図 10 に示す。図に記入した時刻、40 分間のデータである。大まかに見れば、ほぼ時間的ずれがなく、電力は風速の変動に追随しているようであるが、詳細に見ると必ずしも追随していないところがある。その原因としては、変動値の計測方法の問題もあるが、その外に風車と風向・風速計の設置場所が前述のように離れていることにも一因があると考えられる。図 10 の例は実験中の強風時の例であり、試算した風速と電力の相関係数は、0.641、他の弱風時の例では同係数は 0.697 が得られている。

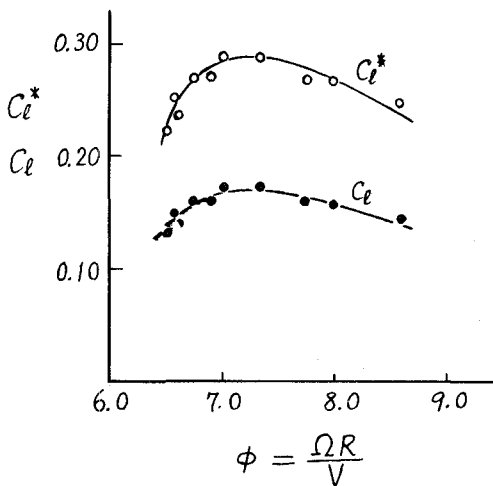


図 9 出力係数 C_l 、 C_l^* と速度比 ϕ

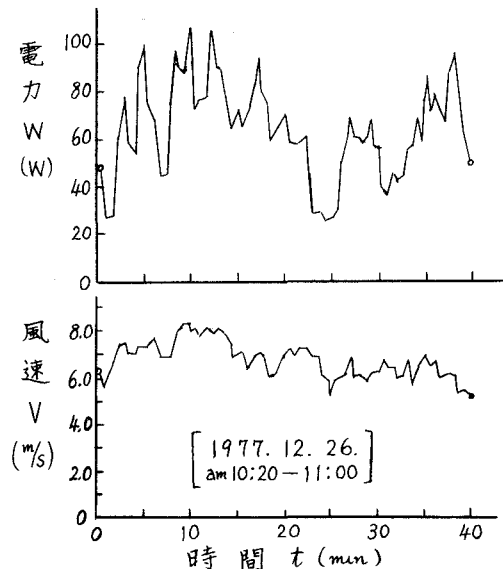


図 10 電力、風速の時間的経過

7. む す び

小型2枚プロペラ型風車の発電実験を実験室内および自然風の中で、バッテリー負荷にて行い、若干の資料を得た。すなわち

- (1) バッテリー負荷の場合の直流分巻発電機の特性を調べた。
- (2) 自然風の中でのバッテリー負荷の場合の発電機の特性を求め、電力は

$$P=0.59 V^{2.5} (W) \quad (6)$$

で表わされるという結果を得た。

- (3) 出力係数 C_l を求め、従来言われている値と比較した。
- (4) 風速と発生電力の応答性を示す一例をあげた。

おわりに、この研究に関して種々援助された機械工学科 杉山弘 助教授および実験を行った学生 機械工学科 森谷志郎君、第二部機械工学科 中尾宣之君、電気工学科 堀泰晴君、電気工学専攻 阿部圭司君に深く感謝の意を表する。

(昭和53年5月20日受理)

文 献

- 1) Fales, E.N., Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers (1967), pp.9-8~9-9.
- 2) 三階春夫, ターボ機械, **3**, 5 (1975), pp. 38-46.
- 3) 日本機械学会, 機械工学便覧, 第4版 (1960), pp. 10-6~10-9.
- 4) 河田三治, 空気機械工学便覧, コロナ社 (1960), pp. 638-640
- 5) Glauert, H., Windmills and Fans, "Aerodynamic Theory" by W.F.Durand, IV, Chapter XI, pp.324-332.
- 6) 日本風力エネルギー協会, 風力エネルギー, **1**, 1 (1977), pp.1-38