



## マイクロ風力発電システムの開発研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2013-12-13 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 石川, 寿敏, 藤原, 徳一, 杉浦, 公彦, 山内, 慎 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.24729/00007656">https://doi.org/10.24729/00007656</a>

# マイクロ風力発電システムの開発研究

石川寿敏<sup>\*</sup>, 藤原徳一<sup>\*</sup>, 杉浦公彦<sup>\*\*</sup>, 山内慎<sup>\*\*</sup>

Study on a micro wind power generation system

ISIKAWA Hisatosi<sup>\*</sup>, FUJIWARA Tokuichi<sup>\*</sup>, SUGIURA Kimihiko<sup>\*\*</sup>, YAMAUCHI Makoto<sup>\*\*</sup>

## ABSTRACT

In this study, aiming at use of a micro wind power generation system, a straight Darrieus wind turbine was taken up as a source of an auxiliary electric power supply. Performance characteristic by the difference of the number of airfoils and the diameter of rotation axis was investigated. It is found that wind turbine often rotates in low wind velocity because the diameter of rotation axis is large. Furthermore, it is shown that the change of tip speed ratio and power coefficient by blades number of sheets do not necessarily become equal and an even blades wind turbine is more efficient than an odd blades wind turbine.

*Key words* : Straight Darrieus wind turbine, Lift and drag, Tip speed ratio, Airfoil, Power coefficient.

### 1. 緒言

発電用風車は、近年、世界および国内においてその数が急激に増えている。風車による風力エネルギー利用は、化石燃料に代わる二酸化炭素を排出しないクリーンな代替エネルギーとして位置付けられるのが一般的であり、これを契機としたエネルギー消費量の削減についての議論はほとんど聞かれない。

しかしながら、風車は個人レベルにまで関心呼び、家庭や学校、自治体などが、出力 1kW 未満のマイクロ風車やそれを利用した発電装置を設置し、運転している。このような利用形態は、代替エネルギーの利用促進よりも、人々の省エネルギー、節電への啓発や意識向上を促している。このことは、エネルギー消費量の削減ないしは抑制の方向へ作用するものと期待できる<sup>(1)</sup>。

これまでのマイクロ風車は、中型や大型の風車と同じく、多くが水平軸型のプロペラ風車である。本研究では、

補助電力供給源として一般家庭でのマイクロ風力発電システムの利用を目指している。そのため、小型・低コスト・簡単な構造でメンテナンスが容易といった特徴を備えた風車が要求される。ここでは、風向制御の必要のない垂直軸型で、直線翼のストレートダリウス風車を取りあげ、翼枚数および軸径の違いによる性能特性を明らかにする。

### 2. ストレートダリウス風車の特徴

ストレートダリウス風車の特徴として以下の点が挙げられる<sup>(2)</sup>。

- (1) 揚力を利用した風車
- (2) 風速以上の高い周速度が得られる
- (3) 風向に関係なく回転する
- (4) システム全体の構造が簡単
- (5) 発電機などの重量物を風車の下部に設置できる
- (6) 比較的成本が安い
- (7) 起動性が悪い

小型風車の性能は発電機に大きく影響される。本研究ではトルクが小さくても発電可能な直流式の発電機の使

2004年4月14日 受理

\* 機械工学科

(Dept. of Mechanical Engineering)

\*\* システム制御工学科

(Dept. of Systems and Control Engineering)

用を前提としているため、比較的回転数の大きな風車タイプが適している。また、補助電力供給源として一般家庭での利用を目指しているため、上記(1)～(6)の特徴を持つストレートダリウス風車は適しているといえる。

このタイプの風車の欠点として、起動性の悪さが挙げられる。この点を改良するため、抗力型風車を組み込む試みがなされている。

Fig.1 に揚力型風車の動作原理を示す。風が翼に対して下方向から吹いている場合、風と風車の回転による向かい風（周速度）との相対速度により翼に揚力と抗力が生じる。この翼に働く揚力の円周方向成分によって風車が回転する。風車が一定速度で回転するときは、揚力の円周方向成分と抗力の円周方向成分は釣り合った状態である。

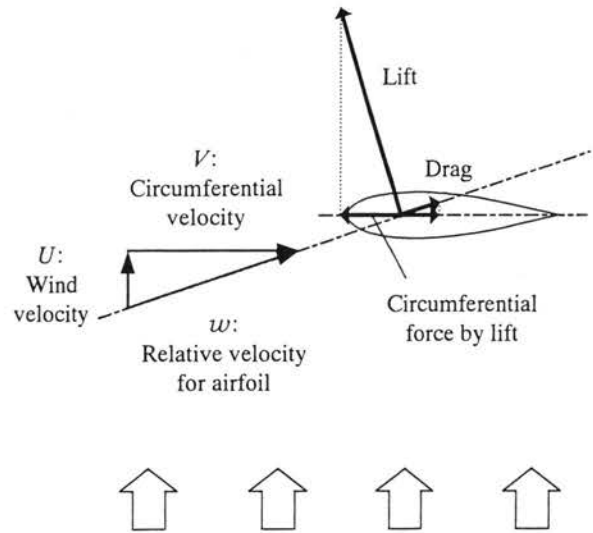


Fig.1 Lift and drag on airfoil

### 3. ストレートダリウス風車の製作

本研究で製作したストレートダリウス風車を Fig.2 に示す。翼は金属製の腕によって軸に連結され、また、軸は回転によるぶれを防ぎ強度を確保するため山型鋼を用いた支持枠に固定される。翼形断面は NACA0020、翼形寸法は、翼弦長 40mm、翼厚 5mm、翼幅 190mm である。翼材にはバルサを使用し、製作にはテンプレートと紙やすりを用いた。Fig.3 に金属製テンプレートを、Fig.4 に製作した翼を示す。Fig.5 は 2～5 枚翼用の金属製の腕である。

本研究では、起動性を改良するためサボニウス型風車を風車中心部に組み込んだ場合の影響も検討する。直径 13mm の回転軸まわりに、外径 48mm および 89mm の塩化ビニール製パイプを同心状に取り付け、これら 3 種類の中心軸径に対する風車性能を検討する。Fig.6 に軸径 89mm の中心軸を取り付けた状態の風車概観を示す。

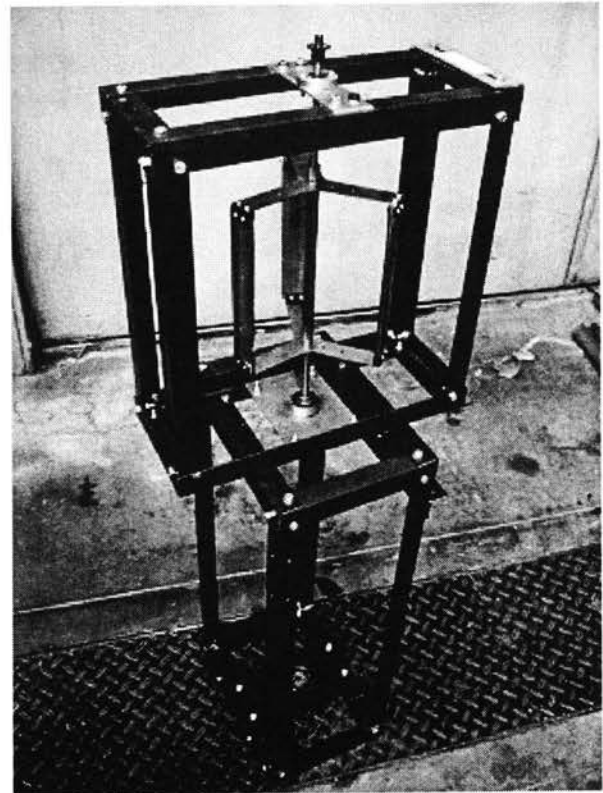


Fig.2 General view of wind turbine  
(Diameter of rotation axis :13mm)

### 4. ストレートダリウス風車の性能試験

#### 4.1 実験装置および計算式

性能試験用の装置図を Fig.7 示す。風車本体を風洞の噴出部に設置し、風速を 12m/s～18m/s まで 2m/s ごとに変化させて測定を行う。設定風速の下で風車に負荷を

与えるためにモータを用いる。モータ回転速度はインバータにより制御する。これにより風車に種々の負荷を与え、風車の回転速度ごとにトルクメータの出力電圧を測

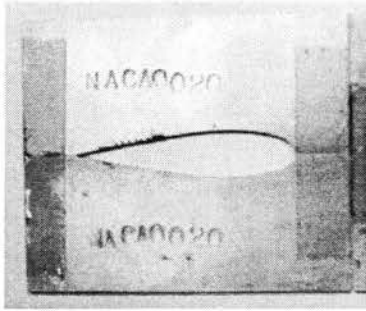


Fig.3 Template of airfoil

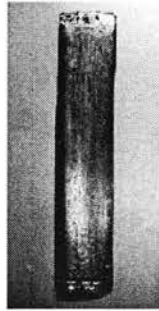


Fig.4 Airfoil

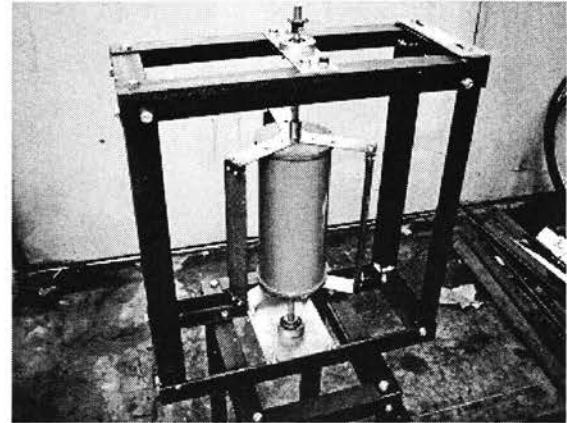


Fig.6 Wind turbine (Diameter of rotation axis :89mm)

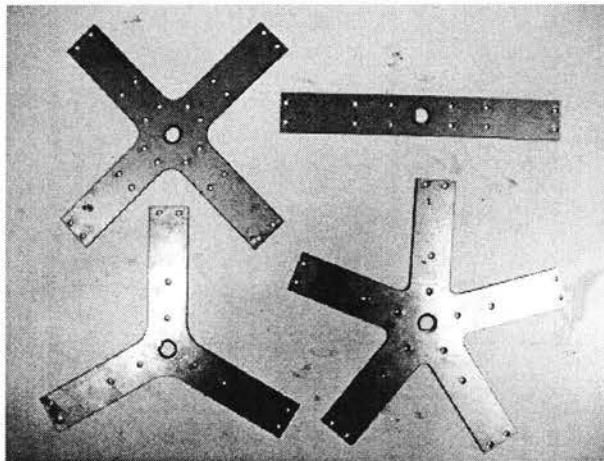


Fig.5 Connecting arms

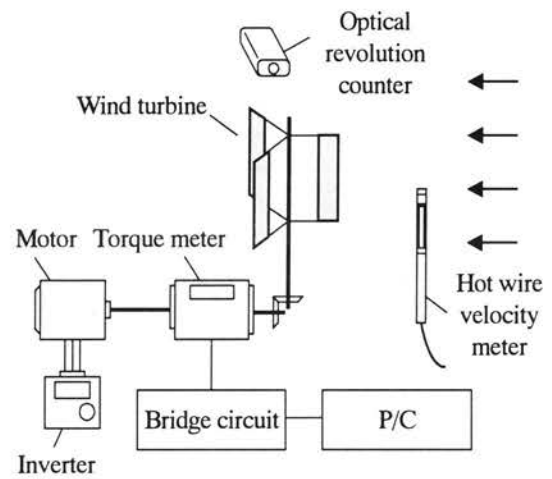


Fig.7 Definition sketch of measurement system

定し、風車出力を求める。以下に計算式を示す。

(1)トルク：T[N・m]

トルクメータのトルクと出力電圧(E[V])の関係を調べるため、てことばねばかりを用いて検定を行い、次式で示す校正式を得た。

$$T = \frac{E - 0.01}{0.4579} \quad (1)$$

(2)風車出力(P[W])

$$P = T\omega = T \frac{2\pi N}{60} \quad (2)$$

ここで、 $\omega$ ：風車の角速度 rad/s,

$N$ ：風車の回転速度 rpm

(3)周速度  $V[m/s]$ および周速比 $\lambda$

$$V = 0.095\omega \quad (3)$$

$$\lambda = V/U \quad (4)$$

ここで、 $U$ ：風速 m/s

(4)風を持つエネルギー  $K[W]$

$$K = \frac{1}{2} \rho A U^3 = \frac{1}{2} \rho (2\pi r \ell) U^3 \quad (5)$$

ここで、 $A$ ：風車の受風面積  $m^2$

$\rho$ ：空気密度  $kg/m^3$

$r$ ：風車回転半径  $m$

$\ell$ ：翼の長さ  $m$

(5)風車のエネルギー効率

$$\eta = \frac{P}{K} \quad (6)$$

## 4.2 実験結果と考察

(1)回転速度と出力

Fig.8~11は、実験風速  $U$  をパラメータにとって、中心

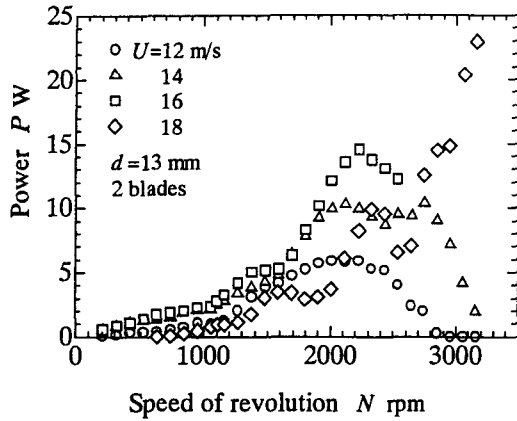


Fig.8 Relation of  $N$  to  $P$  ( $d=13\text{mm}$ , 2 blades)

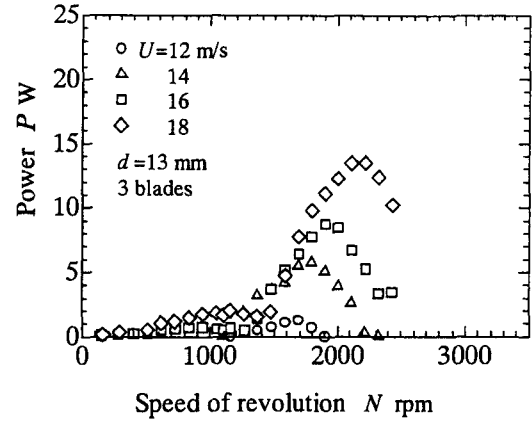


Fig.9 Relation of  $N$  to  $P$  ( $d=13\text{mm}$ , 3 blades)

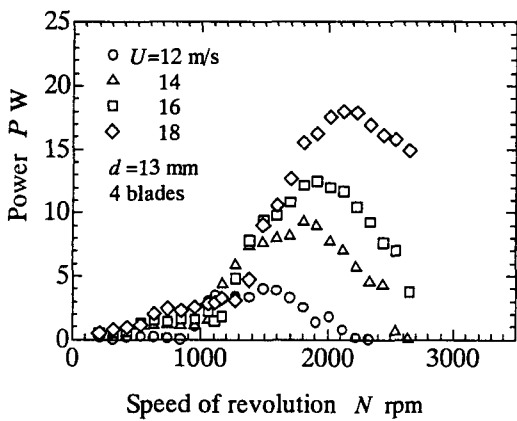


Fig.10 Relation of  $N$  to  $P$  ( $d=13\text{mm}$ , 4 blades)

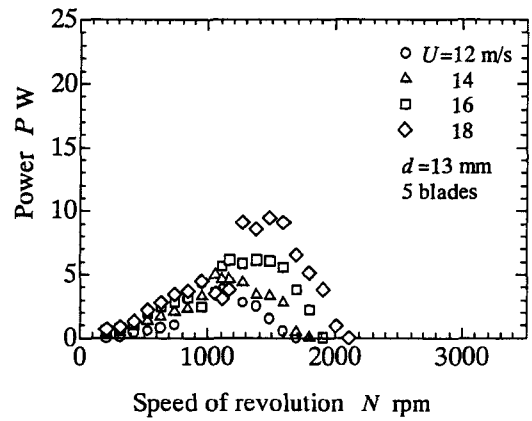


Fig.11 Relation of  $N$  to  $P$  ( $d=13\text{mm}$ , 5 blades)

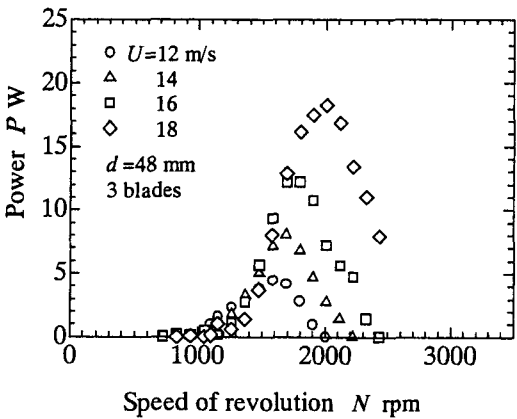


Fig.12 Relation of  $N$  to  $P$  ( $d=48\text{mm}$ , 3 blades)

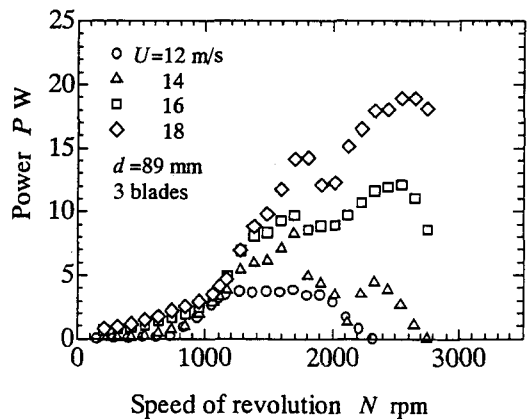


Fig.13 Relation of  $N$  to  $P$  ( $d=89\text{mm}$ , 3 blades)

軸径  $d=13\text{mm}$  の場合の風車出力  $P$  と風車の回転速度  $N$  の関係を、翼枚数毎に示している。

いずれの翼枚数においても、風速  $U$  が大きくなるに従い、最大出力も大きくなっている。翼枚数による  $U=18\text{m/s}$  の時の最大出力は、2枚翼が  $22.9\text{W}$ 、3枚翼が  $13.4\text{W}$ 、

4枚翼が  $17.9\text{W}$ 、5枚翼が  $9.4\text{W}$  となっている。

Fig.12,13 は、3枚翼における中心軸径  $d$  の違いによる性能を、縦軸に風車出力  $P$ 、横軸に風車の回転速度  $N$  をとって示している。

Fig.9,12,13 より、いずれの中心軸径においても、風速が

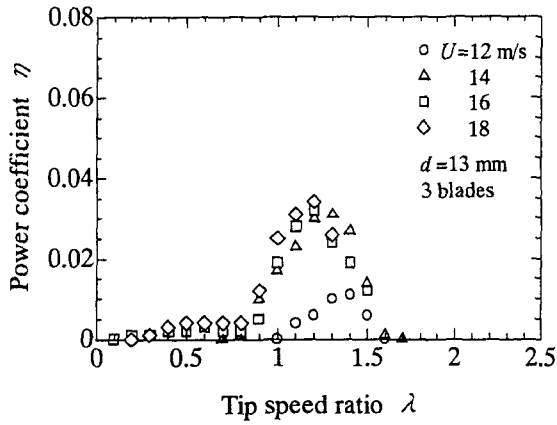


Fig. 14 Relation between  $\lambda$  and  $\eta$  ( $d=13\text{mm}$ , 3 blades)

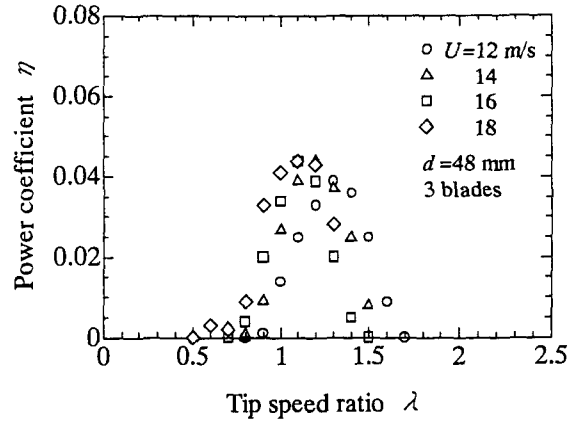


Fig. 15 Relation between  $\lambda$  and  $\eta$  ( $d=48\text{mm}$ , 3 blades)

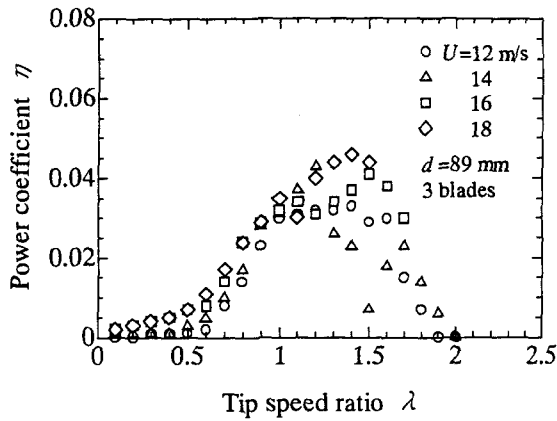


Fig. 16 Relation between  $\lambda$  and  $\eta$  ( $d=89\text{mm}$ , 3 blades)

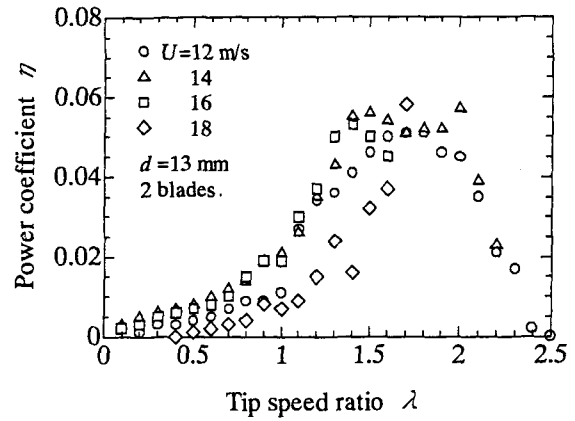


Fig. 17 Relation of  $\eta$  to  $\lambda$  ( $d=13\text{mm}$ , 2 blades)

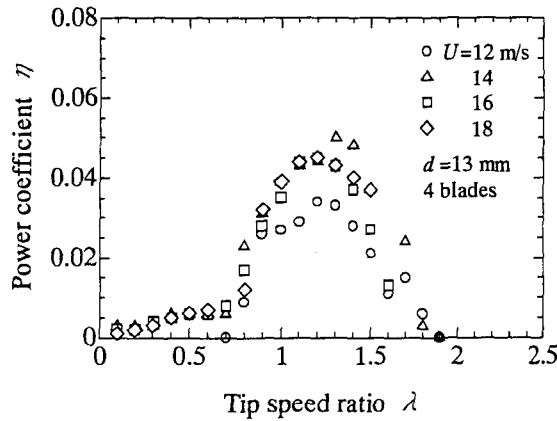


Fig. 18 Relation of  $\eta$  to  $\lambda$  ( $d=13\text{mm}$ , 4 blades)

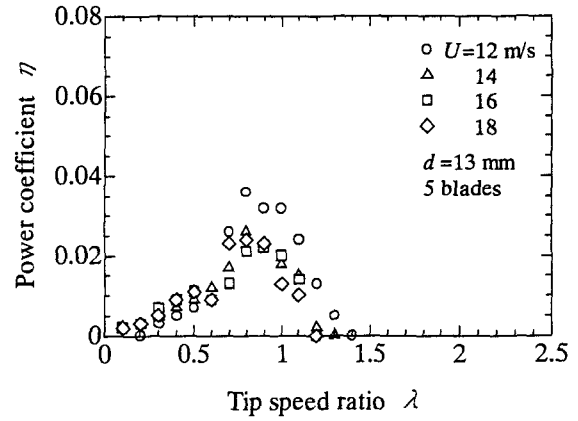


Fig. 19 Relation of  $\eta$  to  $\lambda$  ( $d=13\text{mm}$ , 5 blades)

大きくなるに従い最大出力も大きくなっていることがわかる。また、中心軸径による  $U=18\text{m/s}$  時の最大出力は、 $d=13\text{mm}$  が  $13.4\text{W}$ 、 $d=48\text{mm}$  が  $17.5\text{W}$ 、 $d=89\text{mm}$  が  $18.9\text{W}$  である。

(2) 周速比と効率

a. 中心軸径の影響

Fig.14~16 は、実験風速  $U$  をパラメータに取って、3枚翼の風車エネルギー効率  $\eta$  と風車周速比  $\lambda$  の関係を、中心軸径毎に示している。

図より、 $\eta$  は風速によるばらつきはあるものの、

$d=89\text{mm}$  と  $48\text{mm}$  ではほぼ同じ値を示し,  $d=13\text{mm}$  では  $d=89,48\text{mm}$  の場合より小さくなっていることがわかる. 効率  $\eta$  は周速比  $\lambda$  の増加につれて上昇し, その後下降する.  $\eta$  は  $\lambda$  に対して最大値をとる,  $\eta$  の上昇率が大きくなり始める  $\lambda$  の値は,  $d=13,48\text{mm}$  では  $0.7$  である.  $d=89\text{mm}$  では  $0.5$  で,  $d=13,48\text{mm}$  に比べて小さくなっていることがわかる. これは, 中心軸径が大きくなると, 翼と中心軸間が狭まり, 翼を通過する風速が増すためと考えられる. 風速が増加した分, 風車回転速度が上昇し, それに伴い出力が上昇し効率が増加したと考えられる. 中心軸径  $d=13,48\text{mm}$  よりも  $89\text{mm}$  の方が, その特性が顕著に現われ, 小さな周速比 ( $\lambda=0.5$ ) で, 効率の上昇率が大きくなっている. 実験の範囲内では, 中心軸径が大きいほど低風速でも風車はよく回転するといえる.  $d=89\text{mm}$  の最大効率  $\eta=0.042$  である. これは  $d=13\text{mm}$  の場合より大きく,  $d=48\text{mm}$  とほぼ同じ値である.

#### b. 翼枚数の影響

Fig.17~19 は, 実験風速  $U$  をパラメータに取って, 中心軸径  $d=13\text{mm}$  の場合の風車エネルギー効率  $\eta$  と風車の周速比  $\lambda$  の関係を, 翼枚数毎に示している.

Fig.14, および Fig.17~19 より, 風車効率  $\eta$  は, 翼枚数が 2 枚翼, 4 枚翼, 3 枚翼, 5 枚翼の順に小さくなっていることがわかる. 風車出力は, 風車の発生するトルクと回転速度の積になる. 一般に, 風車は翼枚数が多い, すなわちソリディティが大きいと回転速度は小さくなり, 翼枚数が少ない (ソリディティが小さい) と回転速度は大きくなる. 一方, 翼枚数が多いとトルクは大きくなり, 翼枚数が少ないとトルクは小さくなる. 単純に考えれば, 風車の出力は, 受風面積が等しければ翼枚数によらず一定となるように思われるが, 実際には翼枚数の相違による回転速度の変化率と, トルクの変化率が必ずしも等しくならない. そのために出力は一定にならない. 実験結

果では, 翼枚数が少ないほど, 出力が大きくなる傾向が見られるが, 2, 3, 4, 5 枚翼の順にはならず, 3 枚翼と 4 枚翼では逆転が生じている. 実験範囲内では, 偶数枚の翼を持つ風車が, 奇数枚の翼を持つ風車よりも, 効率がよいと捉えることができる.

#### 5. 結言

補助電力供給源としてマイクロ風力発電システムの利用を目指してストレートダリウス風車をとりあげ, 翼枚数および中心軸径の違いによる性能特性について調べた. 本研究により得られた主な結論を以下に示す.

- (1) 中心軸径  $d$  が大きいほど低風速でも風車はよく回転する. 実験範囲内では,  $d=89\text{mm}$  (風車回転直径の  $0.47$  倍) で最大効率  $\eta=0.042$  を得た.
- (2) 翼枚数による回転速度変化率とトルク変化率が必ずしも等しくならないため, 出力は一定にならない. 実験結果では, 3 枚翼と 4 枚翼では逆転が生じている.
- (3) 本実験範囲内では, 偶数枚翼風車が奇数枚翼風車よりも効率がよい.

終わりに, 本実験で用いた動力計は「大阪府立高専奨励研究費」により購入した. 実験装置の製作および実験の実施にあたり, 岡部幸弘氏 (北海道大学大学院生), 上月康晃氏 (京都工芸繊維大学生), 和田建氏 (株三陽鉄工所勤務) にご協力いただいた. ここに付記して謝意を表す.

#### 参考文献

- (1) 池内了, わが家の太陽光発電-消費自覚の効果まで-, 朝日新聞 (1998.12.3).
- (2) 清水幸丸編著, 加藤征三ら共著, 自然エネルギー利用学 (改訂版), パワー社 (1999).