

## 円弧翼を用いたダリウス形タービンの負荷特性 -等しいソリディティにおける翼枚数の影響-

### Load Characteristic of Darrieus Type Turbine with Arc Camber Blade -Effect of the number of Blades with equal solidity-

○名塚翔一<sup>1</sup>, 辻健太郎<sup>2</sup>, 直井和久<sup>2</sup>, 吉田和範<sup>3</sup>, 槻館悦浩<sup>3</sup>, 塩野光弘<sup>2</sup>

\*Shoichi Nazuka<sup>1</sup>, Kentaro Tsuji<sup>2</sup>, Kazuhisa Naoi<sup>2</sup>, Kazunori Yoshida<sup>3</sup>, Etsuhiro Tsukidate<sup>3</sup>, Mitsuhiko Shiono<sup>2</sup>

Abstract: Darrieus turbine based on NACA 633-018 has been used as a turbine for tidal current power generation. We examined the effect of using this turbine as a wind turbine for wind power generation in the case of using a wind tunnel experiment. In this paper, we show effect of the difference of the number of blades in equal solidity using arc camber blade on the load characteristics of the turbine.

#### 1. はじめに

潮流発電用の水車として実績のある NACA633-018 翼形を基とした円弧翼を用いたダリウス形タービン<sup>[1]</sup>を発電用風車として使用した場合のタービン効率を検討するために風洞実験を行なっている。これまでに、風洞実験により負荷特性試験を行い、キャンパー線長を一定とした円弧翼をもつ 3~6 枚翼のタービンの負荷特性を検討した。その結果 5, 6 枚翼と比べ 3, 4 枚翼のタービン効率は高く、最大タービン効率がほぼ等しいことを明らかにした<sup>[2]</sup>。キャンパー線長を一定とした場合、翼枚数を増加させるとソリディティが増加する。

しかし、ソリディティを一定とした場合、翼枚数を増加させるとタービンの負荷特性は文献<sup>[2]</sup>とは異なると思われる。そこで本稿では、等しいソリディティをもつ円弧翼を用いたダリウス形タービンにおいて翼枚数の違いがタービンの負荷特性に及ぼす影響を明らかにするために 3~5 枚翼について風洞実験を行なったので報告する。

#### 2. 供試タービン

タービンの一例として実験に使用した 3 枚翼タービンの概形を図 1 に示す。タービンの直径  $D$  は 600mm、高さ  $H$  は 450mm であり、タービンの回転軸に対して平行に直線状の翼を回転円周上に 3~5 枚を等間隔に配置した。

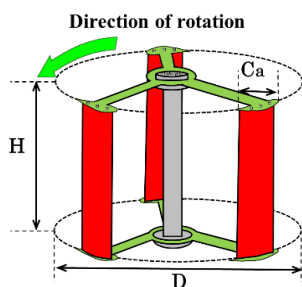


Figure1. Darrieus turbine

タービンの翼形状は NACA633-018 翼形を基に、キャンパー線長をタービンの回転軌跡と一致するように設計した。本稿ではこの翼形状を円弧翼と定義する。

タービンのソリディティ  $\sigma$  を式(1)に示す。

$$\sigma = \frac{nC_a}{\pi D} \quad (1)$$

ただし、 $C_a$ :キャンパー線長[m],  $n$ :翼枚数である。

本稿では、文献<sup>[2]</sup>で使用した 4 枚翼タービンのソリディティと等しい  $\sigma=0.224$  となる 3 枚翼と 5 枚翼のタービンを製作した。ソリディティを一定とするため、翼枚数に対するキャンパー線長  $C_a$  を表 1 に示すように設計した。

Table1. Specification for camber line( $\sigma=0.224$ )

Number of Blade	Camber line $C_a$ [mm]
3	141
4	105
5	84

#### 3. 測定方法

タービンは水平式閉鎖回流形風洞(幅:2000mm、高さ:2000mm、奥行き:5300mm)に設置する。負荷特性の測定に使用した装置を図 2 に示す。負荷特性は風速を 6, 9m/s に設定した後、発電機の回転速度制御器で回転速度を 20~700 $\text{min}^{-1}$  の 20 $\text{min}^{-1}$  毎に設定し、タービンの回転速度とトルクを回転速度検出器とトルク検出器により測定する。

回転速度をタービンの寸法によらず無次元化して表すため式(2)に示す周速比  $\lambda$  を用いる。

$$\lambda = \frac{2\pi N R}{60 V} \quad (2)$$

ただし、 $N$ :回転速度 $[\text{min}^{-1}]$ ,  $R$ :風車回転半径( $=D/2$ ) $[\text{m}]$ ,  $V$ :風速 $[\text{m/s}]$ である。

また、出力をタービンの寸法によらず評価するため式(3)に示すパワー係数  $C_p$  を用いる。

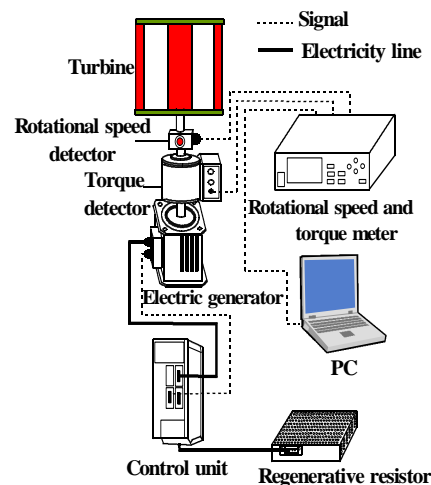


Figure2. Measurement system

$$C_p = \frac{2\pi N}{60} \frac{T}{0.5\rho AV^3} \quad (3)$$

ただし、T:トルク[N・m],ρ:流体密度[kg/m<sup>3</sup>],A:風車掃過面積(=H×D)[m<sup>2</sup>]である。

#### 4. 実験結果

##### 4. 1. N-T 特性

図 3 に N-T 特性を示す。風速 6m/s の時、トルクの最大値は 3 枚翼の場合 240min<sup>-1</sup>において 0.18N・m、4 枚翼の場合 220min<sup>-1</sup>において 0.098N・m、5 枚翼の場合 220min<sup>-1</sup>において 0.055N・m となった。風速 9m/s の時、3 枚翼の場合 380min<sup>-1</sup>において 0.55N・m、4 枚翼の場合 340min<sup>-1</sup>において 0.41N・m、5 枚翼の場合 320min<sup>-1</sup>において 0.26N・m となった。したがって、翼枚数を少なくした方がトルクの最大値が高い。また、各設定風速において、トルクが最大となる回転速度は風速 6m/s の場合 220~240min<sup>-1</sup>であり、風速 9m/s の場合 320~380min<sup>-1</sup>となった。このため各設定風速において、トルクが最大となる回転速度は翼枚数によらず概ね同程度の回転速度の範囲である。

各設定風速においてキャンバー線長一定では、翼枚数が多いほど低回転速度でトルクが最大となる傾向<sup>[2]</sup>に対し、ソリディティを一定にした場合概ね同程度の回転速度の範囲でトルクが最大となった。

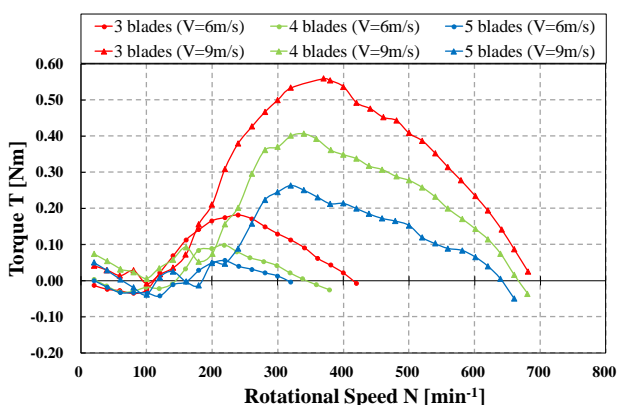


Figure3. Characteristics of N-T

##### 4. 2. λ-C<sub>p</sub> 特性

図 4 に λ-C<sub>p</sub> 特性を示す。風速 6m/s の時、パワー係数の最大値は 3 枚翼の場合周速比 1.37 において 0.13、4 枚翼の場合周速比 1.15 において 0.064、5 枚翼の場合周速比 1.14 において 0.035 となった。風速 9m/s の時、3 枚翼の場合周速比 1.40 において 0.19、4 枚翼の場合周速比 1.47 において 0.12、5 枚翼の場合周速比 1.39 において 0.074 となった。したがって、翼枚数を少なくした方がパワー係数の最大値が高い。また、各設定風速において、パワー係数が最大となる周速比は風速 6m/s の場合 1.14~1.37 であり、風速 9m/s の場合 1.39~1.47 となった。このため各設定風速において、パワー係数が最大となる周速比は翼枚数によらず概ね同程度の周速比の範囲である。

N-T 特性と同様に各設定風速においてキャンバー線長一定では、翼枚数が多いほど低周速比でパワー係数が最大となる傾向<sup>[2]</sup>に対し、ソリディティを一定にした場合、概ね同程度の周速比の範囲でパワー係数が最大となった。

つぎに、発電可能な周速比の範囲を検討するためパワー係数が 0.05 以上になる周速比の範囲に着目する。風速 9m/s においてパワー係数が 0.05 以上になる周速比の範囲は、3 枚翼の場合 0.75~2.23 において 1.48 の範囲であり、4 枚翼の場合 0.91~2.18 において 1.27 の範囲であり、5 枚翼の場合 0.98~1.82 において 0.84 の範囲である。したがって、翼枚数を少なくした方が発電可能な周速比の範囲は広い。発電用風車として使用する場合、広い周速比の範囲で発電可能な翼枚数の少ない方が優位であると考えられる。

以上より、パワー係数の最大値は高く、発電可能な周速比の範囲の広い 3 枚翼が優位であると考えられる。

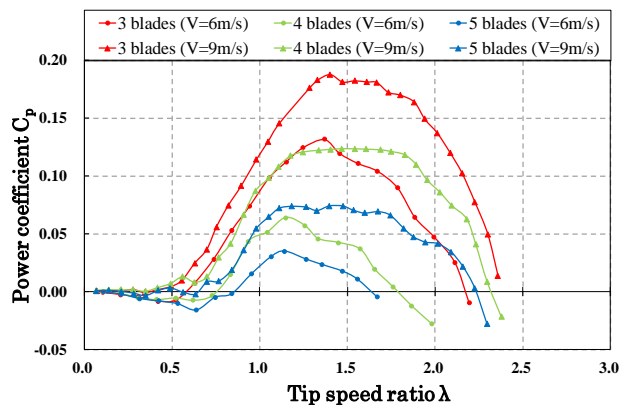


Figure4. Characteristics of λ-C<sub>p</sub>

#### 5. まとめ

本稿では等しいソリディティをもつ円弧翼を用いたダリウス形タービンにおいて翼枚数の違いがタービンの負荷特性に及ぼす影響を明らかにするために 3~5 枚翼について風洞実験を行なった。その結果、等しいソリディティの場合、トルクおよびパワー係数の最大値と発電可能な周速比の範囲から、3 枚翼が優位であることを明らかにした。また、キャンバー線長一定の場合と比較して、ソリディティ一定ではトルクおよびパワー係数の最大値を示す回転速度および周速比の範囲が異なることを明らかにした。

風洞実験に際し、御協力して頂いた本学風洞実験室の先生方に謝意を表す。

#### 参考文献

- [1] 木方, 塩野:「来島海峡におけるダリウス形水車による潮流発電」, 電気学会論文誌, Vol.112, No.6, pp.530-538 (1992)
- [2] K Naoi, et al.: "A Wind Power Generation System using the Vertical Axis Wind Turbine with Arc Camber Blades", ISOPE, pp.369-374(2006)