

# 風レンズ風車における新たな集風体の実験的研究

谷川博哉<sup>1</sup>・岩越悠造<sup>2</sup>・菊田樹<sup>3</sup>

要旨：本研究では、風レンズ風車における集風体について、過去の研究で高い集風効果が得られると報告されているつば付き集風体とは集風原理の異なる新たな三種類の集風体（勾配円筒付き、旋回型、翼型）を提案し、その三種類の集風体と従来からあるディフューザ型集風体およびつば付き集風体の集風効果と抗力を実験により比較した。その結果、三種類とも集風効果は、つば付き集風体を超すことができなかつたが、抗力についてはいずれもつば付き集風体より低い値を得ることができた。

キーワード：風車、集風体、風力発電

## 1. 緒言

近年、問題となっている地球温暖化による気温上昇を抑えるためには二酸化炭素を排出しないゼロ・エミッションの発電システムの比率増大が必要である。また、東日本大震災に伴う原子力発電の事故以降、原子力発電の危険性が問題視されている。そういった中、風力発電システムは、有害物質を排出しないクリーンな発電方法として注目されてきた。しかし、これまでの発電システムと比較すると、現在の発電総量は極めて少なく、風力発電システムの今後の発展には、発電量の増大が求められる。

風力発電の発電量は、風速の3乗に比例するとされている。したがって、風速を増加させることで、発電量も大幅に増大することができる。このことを利用して、九州大学の大屋ら<sup>1)~6)</sup>の提案により、風レンズ風車というものが開発された。風レンズ風車とは、集風体と呼ばれる筒状の物体内部に、ブレードを設置したものが基本的な構造であり、集風体によって風を集め、より多くの風エネルギーをブレードに与えることで、発電量を増加させるというものである。集風体の形状としては、過去の研究報告<sup>1)~6)</sup>より、つば付きディフューザ型が、高い集風効果が得られることがわかっている。つば付きディフューザ型は、ディフューザ型の集風体後方につばを付けた構造となっている。増速の原理は、つばの存在によって風車後流側に渦が発生し、低圧部が発生することにより、集風体内部の空気が出口付近に引き寄せられ、高い集風効果を得る。しかし、つばの存在

によって、集風体が空気抵抗を大きく受けるため、突風や台風の際に、破損する可能性が高いという欠点もある。

そこで本研究では、集風効果があり、尚且つ空気抵抗の少ない集風体の開発を目的として、つば付き集風体とは集風原理の異なる新たな形状の集風体モデルを考案・製作し、実験を通して集風効果と抗力について比較を行った。

## 2. 実験装置および実験方法

### 2.1 集風体モデル

過去の研究報告<sup>1)~6)</sup>より、集風体は、ノズル型よりもディフューザ型の方が高い集風効果が得られることがわかっている。そこで、本研究ではFig. 1に示すディフューザ型集風体を基準に、新たな形状の集風体モデルを考案・製作した。新たな形状の集風体の比較対象として、Fig. 1に示すディフューザ型集風体及び、従来最も集風効果が良いとされるつば付きディフューザ型集風体も製作した。製作したつば付きディフューザ型集風体の断面図をFig. 2に示す。ディフューザ型集風体モデルにつばを付けた構造になっており、過去の研究報告<sup>3)~4)</sup>にある、つば付きディフューザ型集風体を縮小した寸法とした。ディフューザ部はディフューザ型集風体と同寸法である。板厚はすべて1.0 mmとした。

新たに考案した集風体モデルは、勾配円筒付き集風体、旋回型集風体、翼型集風体の3種類である。新たに考案・製作した集風体モデルの詳細について述べる。

初めに、勾配円筒付き集風体について説明する。Fig. 3にモデル断面図を示す。勾配円筒付き集風体は、ディフューザ型集風体に、勾配円筒を付けた構造となっている。ディフューザ型と勾配円筒との隙間に風が流入し、増速されて環状の隙間から流出することで、出口付近での環状噴流によりモデル内部

- 1 舞鶴工業高等専門学校 機械工学科 教授
- 2 舞鶴工業高等専門学校 専攻科 修了生  
(現 サントリープロダクツ (株))
- 3 舞鶴工業高等専門学校 機械工学科 卒業生  
(現 (株) エクセディ)

の風を引っ張るエントレイメント効果を狙った。

次に、旋回型集風体について説明する。モデルの3次元図を Fig. 4 に、側面図を Fig. 5 に示す。旋回型集風体は、ディフューザ型集風体の側面後方に曲線状の羽根を付けた構造となっている。羽根の存在によって、モデル側面後方で流れが旋回することで発生する渦の遠心力によって、出口付近の圧力が低下する。低圧部を発生させることで、内部に流れ込む風を加速させることが目的である。Fig. 5 に示

すように、曲線形状の羽根の中心角度は、 $\alpha = 60^\circ$  として旋回型モデルを製作した。

最後に、翼型集風体について、Fig. 6 にモデル断面図を示す。翼型集風体は、断面が翼型をした構造となっている。翼のメカニズムを利用することで、モデル内部に流入する風が加速されると考えた。翼型の断面形状には、NACA-4212 型の断面を用いた。ディフューザ型の角度と同様に、翼弦の角度は  $12^\circ$  となっている。

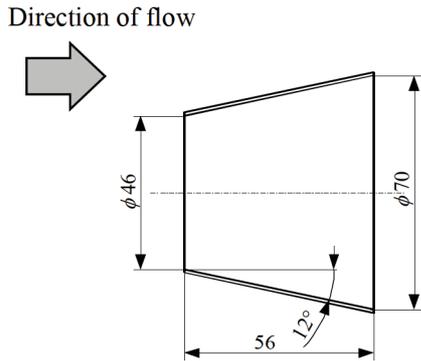


Fig. 1 Sectional view of the diffuser

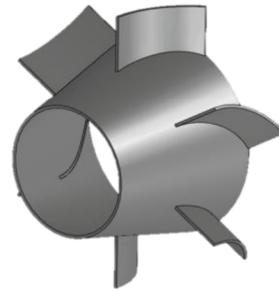


Fig. 4 3D view of the swirl type

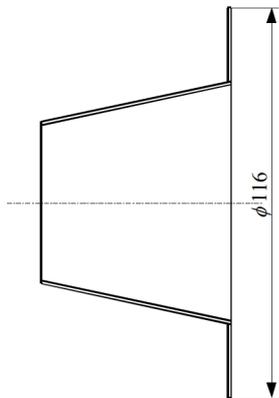


Fig. 2 Sectional view of the brimmed diffuser

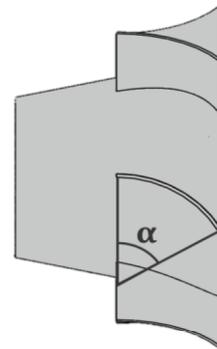


Fig. 5 Schematic of the swirl type

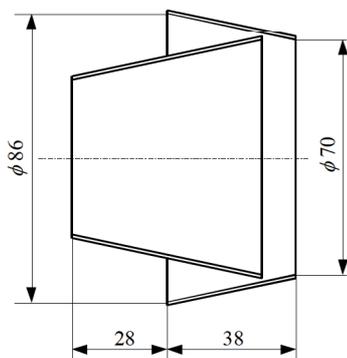


Fig. 3 Sectional view of the diffuser with slope cylinder

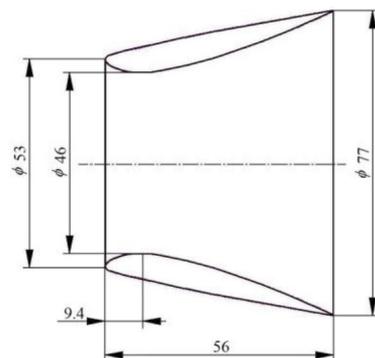


Fig. 6 Sectional view of the airfoil diffuser

## 2. 2 風洞実験

本研究では、循環式風洞を用いて実験を行った。使用した循環式風洞は、幅 300 mm×高さ 300 mm×長さ 300 mm の計測部を有し、最大風速は 16 m/s である。本実験では、ブロックエッジの影響を考慮して計測部の壁を取外し、オープンな計測部とした。集風体モデルは、計測部中央に吊り糸で支持し、集風体入口の速度分布の計測および集風体上流の一樣流の流速測定には、熱線流速計 (KANOMAX 社製、CLIMOMASTER 風速計、球状プローブ 6551-21) を用いた。

## 2. 3 抗力測定装置

抗力を測定する装置の概略図を Fig. 7 に示す。モデルが抗力を受けると、フレームが平行移動し、その時の微小変位をレーザ変位計によって測定する。あらかじめ、較正実験を行い、変位と抗力の関係を求めておく。風洞装置によってモデルに風を当て、その時の変位を測定し、変位と抗力の関係からモデルの受けている抗力を求め、抗力係数を求める。

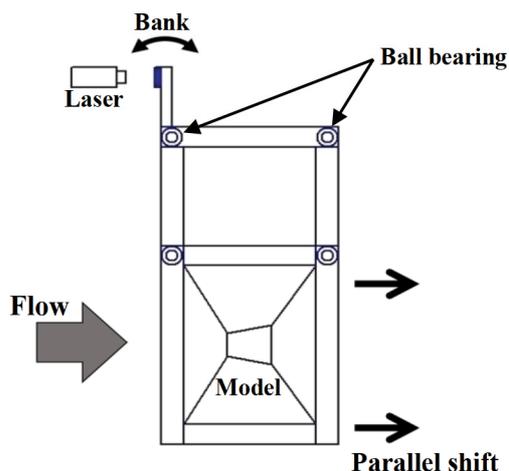


Fig. 7 Schematic of the device for measuring drag

## 3. 実験結果および考察

### 3. 1 集風体入口速度分布

集風体モデルの入口中心から半径方向へ  $r$  [m] の各点における流速を測定し、入口速度分布を求めた。つば付き集風体における、入口速度分布を Fig. 8 に、旋回型集風体における、入口速度分布を Fig. 9 に示す。他のモデルのいずれの速度分布も同様の傾向を示したため、他のモデルの入口速度分布の図は省略する。Fig. 8, Fig. 9 におけるグラフの横軸は、集風体入口半径  $R$  [m] に対する入口中心からの半径方向距離  $r$  [m] を示し、縦軸は中心から  $r$  [m] の点における流速  $U$  [m/s] を示している。図中に示されたパラメータ  $Re$  はレイノルズ数であり、以下の式

で定義される。

$$Re = \frac{U_{\infty} D}{\nu} \quad (1)$$

ここで、 $U_{\infty}$  は一樣流中の点における流速 [m/s]、 $\nu$  は空気動粘度 [m<sup>2</sup>/s]、 $D$  はモデルの入口直径 [m] である。

Fig. 8, Fig. 9 および他の集風体の計測結果より、全ての集風体モデルにおいて、 $r/R \leq 0.65$  付近までは、流速に大きな変動は見られず、壁面付近で流速の増加を確認することができた。これから、全ての集風体モデルにおいて、集風体モデル入口付近で周囲から風が吸い込まれることがわかる。

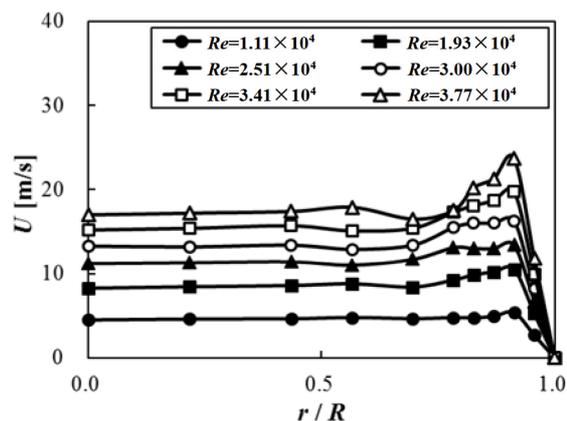


Fig. 8 Velocity distribution of the brimmed diffuser

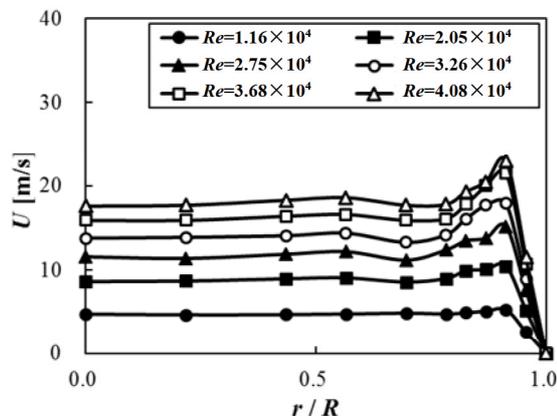


Fig. 9 Velocity distribution of the swirl type

### 3. 2 集風効果

集風体モデル入口における速度分布より集風体モデル入口における平均流速を求め、一様流中の流速との比較を行うことで、モデルの集風効果を調べた。その結果を Fig. 10 に示す。Fig. 10 におけるグラフの横軸は、レイノルズ数を示している。縦軸は、一様流中の点における流速  $U_\infty$  [m/s] に対する、集風体モデル入口の平均流速  $U_a$  [m/s] を示しており、集風体モデルの集風効果を表す。Fig. 10 より、つば付きディフューザ型が、最も高い集風効果が得られた。勾配円筒付き、および旋回型集風体は、両モデル共に同程度の集風効果であった。つば付きディフューザ型には及ばないが、それに近い値を示し、基準とするディフューザ型と比べると、高い集風効果が得られた。翼型集風体については、 $Re < 3.0 \times 10^4$  では集風効果が、あまり得られていない。 $Re \geq 3.0 \times 10^4$  になると、集風効果も増加し、 $Re \geq 3.5 \times 10^4$  では勾配円筒付き、および旋回型集風体と同程度の集風効果が得られた。翼型集風体は、流速が低い場合、翼上面の圧力がそれ程低下しないため、ディフューザ型に近い値を示し、流速がある程度大きくなれば、翼型の効果が発揮され、集風効果が高くなったのではないかと考えられる。

勾配円筒付き集風体、旋回型集風体、翼型集風体のいずれもつば付き集風体の集風効果を越すことはできなかったが、今回は、それぞれ集風体モデルについて1つの形状パラメータのみでの実験を行った結果であり、形状パラメータを変えることによって更なる集風効果の向上が期待できる。

### 3. 3 抗力係数

各集風体モデル抗力係数を Fig. 11 に示す。Fig. 11 におけるグラフの横軸は、レイノルズ数  $Re$  を示

し、縦軸は抗力係数  $C_D$  を示している。抗力係数は以下の式で定義される。

$$C_D = \frac{2F_D}{\rho U_\infty^2 A} \quad (2)$$

ここで、 $F_D$  は抗力 [N]、 $\rho$  は空気の密度 [kg/m<sup>3</sup>]、 $A$  はディフューザ型の側面積 [m<sup>2</sup>] である。

Fig. 11 より、モデルの抗力係数は、つば付きディフューザ型が最も大きく、ディフューザ型が最も小さい。ディフューザ型につばを付けることで、モデルの抗力係数は約6倍増加している。翼型集風体の抗力係数は、つば付きディフューザ型と比較すると、約80%削減されている。モデル形状が滑らかであるため、受ける抗力が小さくなり、ディフューザ型と同じような値となった。勾配円筒付き、および旋回型集風体は、 $Re \geq 2.5 \times 10^4$  で抗力係数の値が一定となった。その後は、両モデル共に同じような値となり、つば付きディフューザ型と比較すると、抗力が約60%削減されている。つば付きディフューザ型と勾配円筒付き、および旋回型集風体において、低圧部を発生させることで、集風効果を得るという点は同じである。しかし、低圧部を発生させる原理に違いがある。勾配円筒付き集風体は、圧力エネルギーを速度エネルギーに変換することによって、圧力を低下させる。そして、旋回型集風体は、旋回流の遠心力によって圧力を低下させる。一方、つば付きディフューザ型集風体は、流体のエネルギー損失により、圧力を低下させるため、抗力係数は必然的に大きくなる。従って、つば付きディフューザ型集風体と比べて、他の集風体モデルの抗力係数の値が小さくなった。

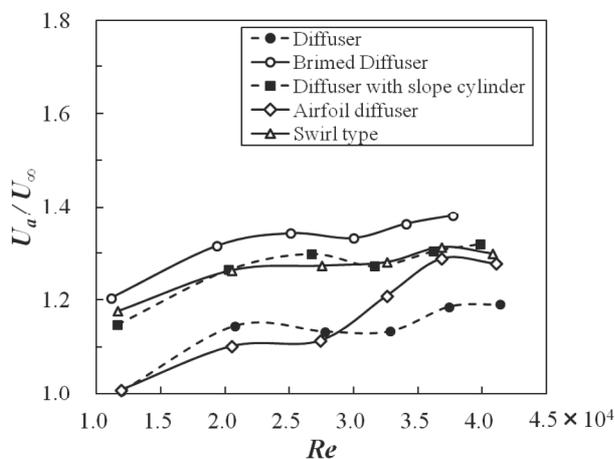


Fig. 10 Wind collector efficiency of the each model

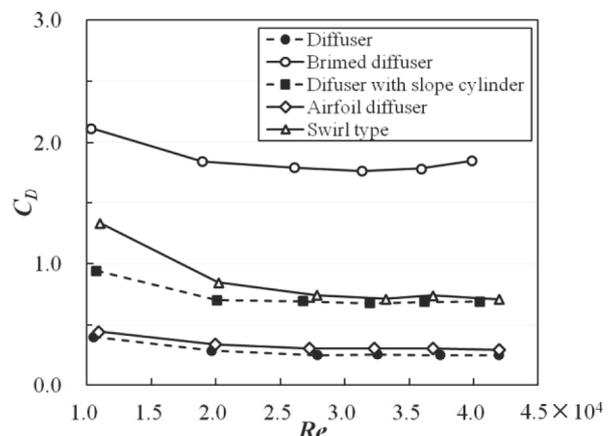


Fig. 11 Drag coefficient of the each model

#### 4. 結言

風レンズ風車における新たな形状の集風体を考案し、風洞実験を通して集風体モデルの集風効果と抗力係数を調べ、既存の集風体モデルとの比較を行うことで、下記の結果を得た。

- (1) 勾配円筒付き、および旋回型集風体の集風効果は、つば付き集風体には及ばないもののディフューザ型に比べて高い集風効果を得た。
- (2) 勾配円筒付き、および旋回型集風体は、つば付き集風体に比べると、抗力係数は約 60%削減されている。
- (3) 翼型集風体は、高レイノルズ数の領域では、ディフューザ型に比べて高い集風効果があり、抗力係数はディフューザ型と同程度である。

**謝辞：**本研究は、舞鶴高専機械工学科平成27年度研究奨励金の支援を受けた。ここに記して謝意を表する。

#### 参考文献：

- 1) 大屋裕二, 鳥谷隆, 桜井晃: つば付きディフューザ風車による風力発電の高出力化, 日本航空宇宙学会論文

集, Vol.50, No.587, pp.477-482, 2002.

- 2) 大屋裕二, 鳥谷隆, 桜井晃, 井上雅弘: つば付きディフューザ風車による風力発電の高出力化—第2報—, 日本航空宇宙学会論文集, Vol.52, No.604, pp.210-213, 2004.
- 3) 利光和彦, 西川弦太郎, 大屋裕二: PIVによるつば付きディフューザ風車周りの流れ場計測, 日本機械学会論文集(B編), 72巻717号, pp.1236-1240, 2006.
- 4) 利光和彦, 青木渉, 高尾学, 大屋裕二: つば付きディフューザ風車後流のPIV計測, 可視化情報学会論文, Vol.27, No.10, pp.84-89, 2007.
- 5) 大屋裕二: 風レンズ風車の開発と今後の展望, 応用力学論文集, Vol.12, pp.3-11, 2009.
- 6) 宮崎孝治: 風レンズマイクロ風車の開発, 日本機械学会誌, Vol.107, No.1028, 2004.
- 7) 阪口真: 風レンズ風車の数値シミュレーション, 舞鶴工業高等専門学校卒業研究論文, 2014.

(2015. 11. 30 受付)

## EXPERIMENTAL STUDY OF NOVEL WIND-COLLECTORS FOR WIND TURBINE

Hirochika TANIGAWA, Yuzo IWAKOSHI, Tatsuki KIKUTA

**ABSTRACT :** Wind-collectors were developed to realize the power augmentation of wind turbine power generation. However, drag on a wind turbine increases with a wind-collector. So the authors have devised novel wind-collectors capable of both lower drag and higher efficiency of collecting wind. The novel models that we have devised are the following three types: Diffuser with slope cylinder type, Swirl type and Airfoil diffuser type. We investigated the efficiency and drag on the novel wind collectors by wind tunnels. As a result, the novel models can't exceed the traditional type of Brimmed diffuser in the efficiency of collecting wind. However, the difference in efficiency between the novel models and the Brimmed diffuser type is small, and drag on the novel models can be reduced to less than half of the Brimmed diffuser type.

**Key Words :** Wind Turbine, Wind Collector, Wind Energy.