

## 直線翼垂直軸型風車の出力を向上させる周辺付加物の形状検討

渡邊, 康一

Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University: Technical Staff

松本, 恵実

Department of Aeronautics and Astronautics, Kyushu University

Nwe, Thandar

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Malaya

Karasudani, Takashi

Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University: Associate Professor

他

<https://hdl.handle.net/2324/1936964>

---

出版情報 : 風力エネルギー. 41 (1), pp.1-8, 2017-07. 日本風力エネルギー学会

バージョン :

権利関係 :

## 直線翼垂直軸型風車の出力を向上させる周辺付加物の形状検討

### Improvement of Power Output of Straight-Bladed Vertical Axis Wind Turbines with Surrounding Structures

渡邊 康一<sup>\*1</sup> 松本 恵実<sup>\*2</sup> Nwe Thandar<sup>\*3</sup>

Koichi WATANABE Megumi MATSUMOTO Thandar NWE

鳥谷 隆<sup>\*4</sup> 大屋 裕二<sup>\*5</sup>

Takashi KARASUDANI Yuji OHYA

<sup>\*1</sup> Technical Staff, Kyushu Univ., Reserch Institute for Applied Mechanics, 6-1 Kasuga-koen, Kasuga-shi, Fukuoka, 816-8580, Japan

Fax:+81-92-583-7779, E-mail: koichi-watanabe@riam.kyushu-u.ac.jp

<sup>\*2</sup> Department of Aeronautics and Astronautics, Kyushu Univ.

<sup>\*3</sup> Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Malaya, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia.

<sup>\*4</sup> Associate Professor, Kyushu Univ., Reserch Institute for Applied Mechanics, 6-1 Kasuga-koen, Kasuga-shi, Fukuoka, 816-8580, Japan

<sup>\*5</sup> Professor, Kyushu Univ., Reserch Institute for Applied Mechanics, 6-1 Kasuga-koen, Kasuga-shi, Fukuoka, 816-8580, Japan

#### Abstract

The effective shape of surrounding structures was investigated to improve the power output of vertical axis wind turbines through wind tunnel experiments. A VAWT equipped with a pair of vertical flat plates in the upstream demonstrated power augmentation by a factor of 2.4 compared to the VAWT without plates. The pair of plates could accelerate the gap flow in the downstream wind, and also could reduce a drag force to a blade of a VAWT toward upstream. We proposed a recommended shape of the structures which consist of flat panels in the upstream.

キーワード：垂直軸型風車，周辺付加物，出力向上，風洞実験，出力係数

Key Words：Vertical axis wind turbine, Surrounding structures, Power augmentation, Wind tunnel experiment, Power coefficient

#### 1. はじめに

風車による出力は風速の3乗に比例する。したがって風車にあたる風速を少しでも速くできれば大きな出力増加をもたらす。大屋らはこの性質を利用し、水平軸型風車の周りに風を集めて加速するつば付きベンチュリ形状の周辺付加物(シュラウド集風加速装置)を設置することで、風車の出力を飛躍的に向上させた<sup>1,2)</sup>。風エネルギーを風車に集中させる研究は今までに多数報告されているが<sup>1-4)</sup>、大屋らは風車背後の低圧域生成が重要であることを示し、ディフューザ出口につばの設置を提案した。つば付きベンチュリ形状の周辺付加物は、垂直軸型風車に適用しても同じ原理により出力

を増加させられることが風洞実験により明らかになっている<sup>5,6)</sup>が、本論文ではさらに効率的な出力性能の向上を目指し、適用する周辺付加物の形状をさらに様々に変化させながら、出力性能実験と流れの可視化実験を行い、効果的に風車出力を増加させる周辺付加物の形状を探った。なお、垂直軸型風車に付加物を設置する試みは、本研究で用いた直線翼型の風車の他に、クロスフロー型風車に対しても行われている<sup>7,8)</sup>。

#### 2. 風洞実験法

実験に用いた風洞は九州大学応用力学研究所の大型境界層風洞である。3.6 m 幅 × 2 m 高さ × 15 m 長さの測定部を有し、最大風速は 30 m/s である。実験風速  $U_0$  は出力性能実験では  $U_0 = 9$  m/s、流れの可視化実験では  $U_0 = 1$  m/s とした。実験の際、風車及び周辺付加物によるブロッキングの影響を防ぐため、主流方向長さ 6 m にわたり天井、及び両側壁を解放し、セミオー

\*1 九州大学応用力学研究所テクニカルスタッフ  
(〒816-8580 春日市春日公園 6-1)  
E-mail: koichi-watanabe@riam.kyushu-u.ac.jp

\*2 九州大学大学院工学府航空宇宙工学専攻

\*3 マラヤ大学工学部

\*4 九州大学応用力学研究所准教授

\*5 九州大学応用力学研究所教授  
(原稿受付：2016年10月5日)

ブンの測定部とした。実験風速は、超音波流速計を、セミオープンとした測定部よりも 3m 上流側に設置して検出した。超音波流速計の幅方向の設置位置については、風洞測定部の中央に設置した風車に後流の影響を与えることなく、かつ風洞壁面の境界層の影響を避けるために、壁面から 0.5m の位置とした。超音波流速計で検出した風速は、風車出力と同時計測し、30 秒間の平均値をとった。実験に用いた風車は、ブレード、支持アームともに木製で、ブレード長さ  $l$  と、回転直径  $D_{wt}$  はともに 0.7 m である (Fig. 1 参照)。出力性能実験におけるレイノルズ数は、風車直径を代表長さとしたとき、 $4.2 \times 10^5$  である。写真に示す通り風車は 2 枚の直線翼タイプであり、翼型は対称翼である NACA0024 を用いた。風車のソリディティは  $\sigma = 0.14$  である。翼のコード長は  $c = 0.15$  m とした。  $T_w$  を風洞測定部の幅と置いたとき、 $D_{wt} / T_w = 0.19$  である。風車は、Fig. 1 のように座標系を定義したとき、ブレードの下端が床面からの高さ  $z = 0.35$  m となるように設置した。出力性能実験では、風車に非接触トルク計 (定格  $0.5 \text{ N} \cdot \text{m}$ ) を接続し、無負荷から徐々に負荷をかけた状態での風車のトルク  $Q$  ( $\text{N} \cdot \text{m}$ )、および回転速度

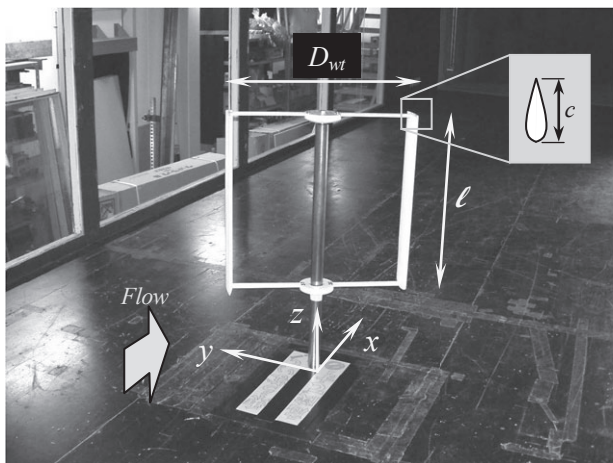


Fig. 1 Vertical-axis wind turbine used in the wind tunnel experiments.

Table 1 Torque transducer and AC servo-control system.

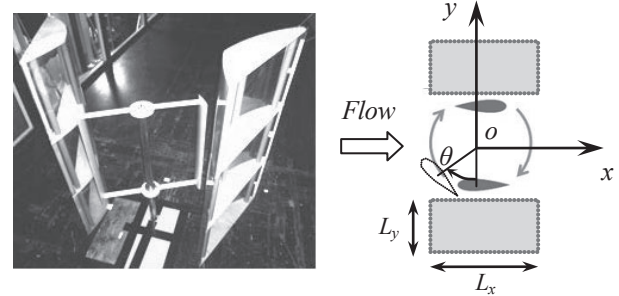
| Device                  | Manufacturer                         | Model     | Measurement Accuracy |
|-------------------------|--------------------------------------|-----------|----------------------|
| Torque Detector         | ONO SOKKI Co. Ltd. (Kanagawa, Japan) | SS-100    | $\pm 0.2\%$ F.S      |
| Torque Converter        |                                      | TS-2600   |                      |
| AC servo-control system | SANYO DENKI Co. Ltd. (Tokyo, Japan)  | PY0A 150A | -                    |

$n$  (1/s) を計測し、出力  $P$  (W) =  $Q \cdot 2\pi n$  を算出して出力性能曲線を求めた。トルク計の精度は  $\pm 0.2\%$  F.S で、測定するトルクに対しては  $\pm 1\%$  程度である。機器の仕様を Table 1 に示す。流れの可視化にはスモークワイヤー法を用いた。可視化断面は風車ブレードのスパン方向の中央部 ( $z = 0.7$  m) に位置するようにし、風車の回転速度は出力が最大となる周速比に合わせた。

### 3. 周辺付加物を用いた出力性能実験

#### 3.1 実験に用いた周辺付加物の形状

風車の周りに Fig. 2(a)に示すような、鉛直方向に同一の断面をもつ周辺付加物を設置した。今回の実験では付加物を設置する領域を、Fig. 2(b)に示す  $L_x$ ,  $L_y$  の内部とあらかじめ決めておき、限られた領域を用いて風エネルギーに対する出力を比較することで、より効果的に出力増加が得られる形状を探った。具体的には、Fig.3 に示すような曲面 (または平面) 形状の付加物を設置した。Fig.2(b)の  $L_x$ ,  $L_y$  の範囲は式(1), 式(2)のように設定した。この範囲は、高橋ら<sup>9)</sup>が設計、製作したディフューザ構造体に合わせて設定している。Fig. 3 に付加物の形状とあわせて略記号を示す。以降、付加物の形状を“(y が正の領域に設置した曲面の略記号) – (y が負の領域に設置した曲面の略記号)”と表記する。CY(b)は水平軸型風車に適用して高い出力増加を得た、つば付きサイクロイド形状とした<sup>2)</sup>。CYはつばの効果を調査するために、つばなしとしたサイクロイド形状である。CR は CY よりもディフューザの開きが大きくなるように、楕円形状の曲面とした。S は曲面形状とした場合の効果を調査するために、CR の入口部、スロート部、出口部を平面でつないだ形状である。b(U), b(C), 及び b(D)は、CY とは逆に、つばのみとした平板形状である。ベンチュリ形状の付加物については、過去の研究からスロートを風車中心に合わせて設置することが効果的であるとされている<sup>5)</sup>ため、スロート



(a) Photograph

(b) Plan view

Fig. 2 Configurations and locations of the surrounding structures: (a) *in situ* photograph; (b) plan view.

$$L_x: \begin{cases} -0.295 \text{ m} \leq x \leq 0.428 \text{ m} \\ (-0.42 D_{wr} \leq x \leq 0.61 D_{wr}) \end{cases} \quad (1)$$

$$L_y: \begin{cases} -0.756 \text{ m} \leq y \leq -0.400 \text{ m}, \\ 0.400 \text{ m} \leq y \leq 0.756 \text{ m} \\ (-1.08 D_{wr} \leq y \leq -0.57 D_{wr}, \\ 0.57 D_{wr} \leq y \leq 1.08 D_{wr}) \end{cases} \quad (2)$$

| Ellipsis  | Plan view<br>(Flow from left) | Inlet                          | Diffuser                              |
|---|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| CR<br>—<br>CR                                     |                               | Ellip-<br>soidal<br>shape      | Polyno-<br>mial<br>approx-<br>imation |
| CY(b)<br>—<br>CY(b)                               |                               | Cycloidal shape<br>(with brim) |                                       |
| CY<br>—<br>CY                                     |                               | Cycloidal shape<br>(no brim)   |                                       |
| S<br>—<br>S                                       |                               | Flat<br>shape                  | Flat<br>shape                         |
| b(U)<br>b(C)<br>b(D)<br>—<br>b(U)<br>b(C)<br>b(D) |                               | —                              | —                                     |
| N<br>—<br>N                                       | (Without structure)           | —                              | —                                     |

Fig. 3 Configurations and ellipses of the surrounding structures.

位置が  $x=0$  となるように設置した. 一方, 平板形状については,  $x$  方向の設置位置を, 風車の上流側, 中心, 下流側と変化させ, 最も効果的な設置位置についても調査した. 各曲面形状の詳細な形状データについては, 文献<sup>10)</sup>を参照されたい.  $y$  方向のスロート幅は, 付加物と風車を極力接近させ, 接触を回避するための僅かな隙間のみ確保するように設定した. ベンチュリ形状の付加物の場合, スロート部での風車と付加物の最小隙間は  $0.03\text{m}$  である.

### 3.2 $x$ 軸を軸とし $y$ 方向に線対称な水平断面をもつベンチュリ形状付加物による出力増加特性

Fig. 4 に  $x$  軸を軸とし  $y$  方向に線対称な水平断面をもつベンチュリ形状の付加物を設置した場合の出力曲線を示す. グラフの横軸は周速比  $\lambda$ , 縦軸は出力係数  $C_p = P / (0.5\rho \cdot U_0^3 \cdot A)$  を示しており,  $A$  は風車ローターの回転面積  $A = \ell \cdot D_{wr}$  である. いずれの付加物を設置した場合も, 風車単体と比較すると大幅な出力増加が得られた. 4 種類の付加物をそれぞれ設置した場合の出力を比較すると, 平面型 “S-S” を設置した場合の出力は低かった. スロート部で不連続に形状が変化する平面型は, 過去の研究でディフューザ内部での流れの剥離が指摘されている<sup>11)</sup>. 曲面型を適用すると, ベンチュリの出口幅が平面型 “S-S” に対して  $14.6\%$  狭い付加物 “CY-CY” を用いた場合でも, 平面型より高い出力増加が得られたことから, 曲面型が平面型よりも効率的に出力を増加させられることが分かった. また, 曲面型の場合, 主流方向の投影面積が同じであれば, つばを設置する “CY(b)-CY(b)” よりも, ベンチュリの出口幅を広くした “CR-CR” の形状のほうが, 高い出力が得られることが分かった. この傾向は過去の研究結果と一致している<sup>5)</sup>.

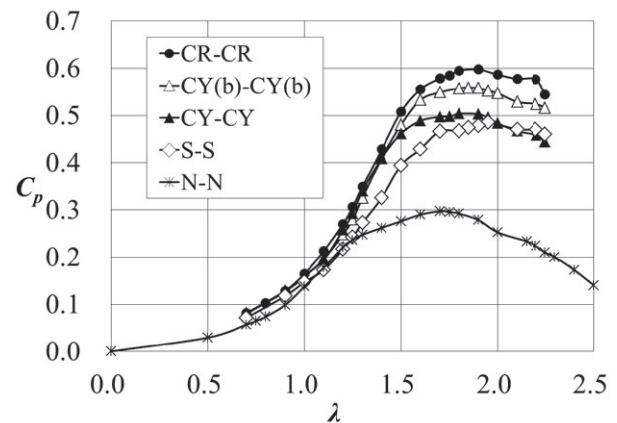


Fig. 4 Power coefficient  $C_p$  of wind turbines vs. tip speed ratio  $\lambda$  (symmetric venturi).

### 3.3 $x$ 軸を軸とし $y$ 方向に線対称な水平断面をもつ平板形状付加物による出力増加特性

Fig. 5 に  $x$  軸を軸とし  $y$  方向に線対称な水平断面をもつ平板形状の付加物を設置した場合の出力曲線を示す。付加物の形状は同一でも、風車に対して主流方向の設置位置を変化させると、出力増加性能に大きな差異が生じることが分かった。付加物を風車の下流側に設置した “b(D)-b(D)” の場合 ( $x = 0.428$ ) では、風車単体よりも出力が低下する結果となったのに対し、付加物を風車の上流側 ( $x = -0.295$ ) に設置した “b(U)-b(U)” の場合と、風車中心 ( $x = 0$ ) に合わせて付加物を設置した “b(C)-b(C)” の場合は出力が増加した。特に上流側に設置した “b(U)-b(U)” の場合では、風車単体と比較して 2.4 倍の出力増加を達成した。これは 3.1 項で示した曲面型ベンチュリ形状よりも高い値である。すなわち、単純形状であるが、平板形状の付加物は高い出力増加効果があり、設置位置は風車の上流が効果的であることが分かった。

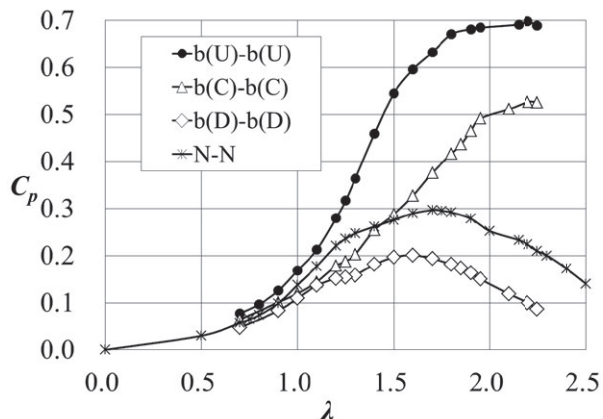


Fig. 5 Power coefficient  $C_p$  of wind turbines vs. tip speed ratio  $\lambda$  (symmetric flat panels).

### 3.4 $x$ 軸を軸とし $y$ 方向に非対称な水平断面をもつ付加物による出力増加特性

前項までに  $x$  軸を軸とし  $y$  方向に線対称な水平断面をもつ付加物による出力増加結果を示したが、垂直軸型風車は  $z$  軸を中心にブレードが回転するため、風車の形状自体  $y$  方向に非対称であり、回転している風車周りの流れ場も、実際に非対称な観測結果が報告されている<sup>11,12)</sup>。そのため、 $y$  方向に非対称な形状の付加物がより高い出力増加性能を発揮する可能性がある。そこで、上流から見て左右の付加物の形状がそれぞれ出力増加へ与える影響を調べるため、左右非対称形状の付加物を風車周りに設置し、出力増加効果を調べた。

まず、Fig. 6 に  $y$  が正の領域に設置する付加物の形状

を CR に固定し、 $y$  が負の領域に設置する付加物の形状を変化させた場合の出力曲線を示す。結果は、単純に対称形状の実験で高い出力が得られた曲面形状と組み合わせるほど、高い出力増加が得られる傾向であり、対称形状で最大出力の “CR-CR” を超える出力増加は得られなかった。

次に、対称形状の付加物の片方を取り外し、片側ずつの出力増加効果を調べた。Fig. 7 から Fig. 9 に片側のみ付加物を設置した場合の出力曲線を、両側設置した場合の出力曲線とともに示す。ベンチュリ形状 CR の場合 (Fig. 7)、付加物は  $y$  の正負のどちら側に設置しても (“CR-N” と “N-CR”) 同程度の出力増加効果が得られ、出力曲線に大きな差はなかった。付加物を片側のみにしたときの出力増加量はそれぞれ、両側設置した場合の半分程度であり、片側の増加量を足し合わせるとほぼ両側の増加量と等しくなった。平板を風車中心に合わせて設置した b(C) の場合 (Fig. 8) も同様であったが、 $\lambda \leq 1.8$  の領域では片側のみで両側と同等の出力増加が得られることが特徴的である。一方で平板

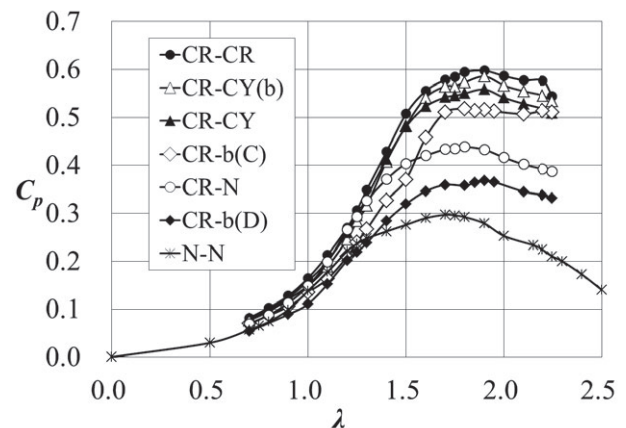


Fig. 6 Power coefficient  $C_p$  of wind turbines vs. tip speed ratio  $\lambda$  (CR-type used with other shapes).

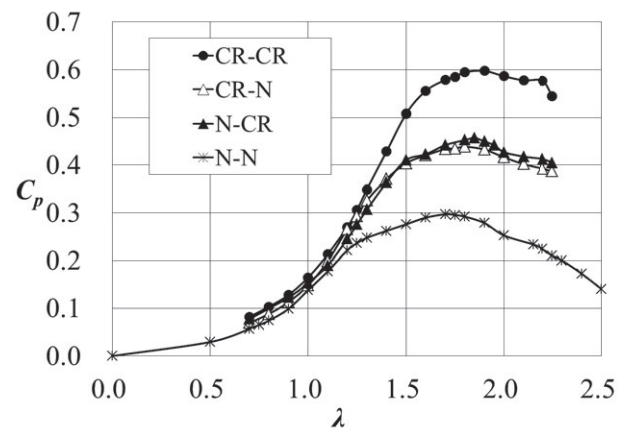


Fig. 7 Power coefficient  $C_p$  of wind turbines vs. tip speed ratio  $\lambda$  (CR-type structures).

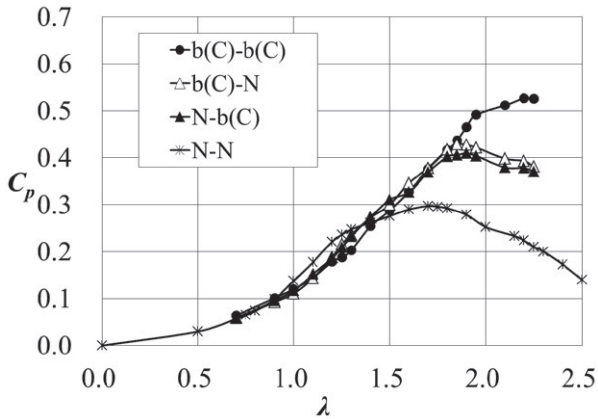


Fig. 8 Power coefficient  $C_p$  of wind turbines vs. tip speed ratio  $\lambda$  (b(C)-type flat panels).

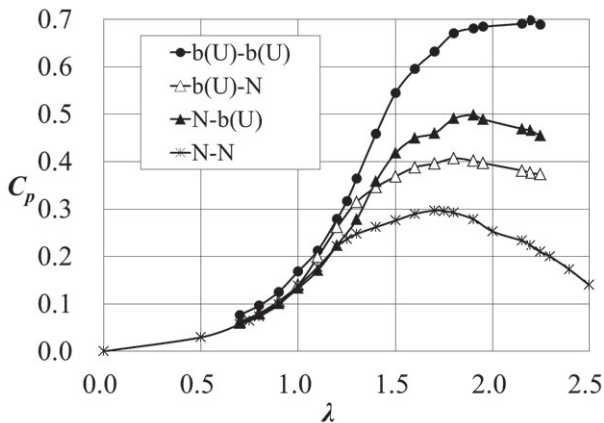


Fig. 9 Power coefficient  $C_p$  of wind turbines vs. tip speed ratio  $\lambda$  (b(U)-type flat panels).

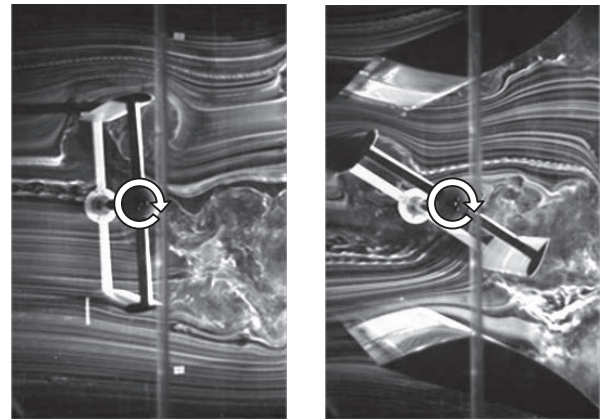
を風車の上流に設置した b(U) の形状の場合 (Fig. 9) は、付加物を  $y$  の正負どちらの領域に設置したかによって (“b(U)-N” と “N-b(U)”), 出力曲線に大きな差が現れ、付加物を  $y$  が負の領域に設置した場合の方が大きな出力増加が得られた。加えて、両側に付加物を設置した場合の出力増加量は、片側の場合の増加量の足し合わせよりも大きな値であることが分かった。

#### 4. 考察

可視化実験により得られた流れ場の様子を観察しながら、3章で得られた結果について考察する。Fig. 10 から Fig. 14 の可視化結果は、様々なアジマス角の写真を確認し、着目した空間が瞬間的な特異な流れ場ではなく、かつ可視化結果が確認しやすい写真を選定した。

##### 4.1 周辺付加物による集風加速効果

Fig. 10 に風車単体の場合と、大きく出力を増加させた形状の周辺付加物 “CR-CR” を設置した場合の、流れ場の可視化結果を示す。主流の向きは図の左から右である。風車単体の場合は、特にブレードが戻り側の  $y$



(a) N-N

(b) CR-CR

Fig. 10 Flow visualization: (a) N-N; (b) CR-CR.

が負の側で顕著に、風が風車を避けて流れる様子が見て取れた。一方で、付加物を設置した場合は逆に風車に接近する風が集められ、付加物の中に増速して引きこまれていく様子が見られた。この周辺付加物による集風加速効果により出力増加がもたらされたと推定する。Fig. 11 には、平板形状の周辺付加物 “b(U)-b(U)” を設置した場合の、流れ場の可視化結果を示す。付加物の後方に、大きな渦が形成されていることが確認できた。つば付きベンチュリ形状の周辺付加物は、つばの後方側に低圧領域を生成することで流れを引き込み、集風加速することが確認されている<sup>13)</sup>が、平板形状の

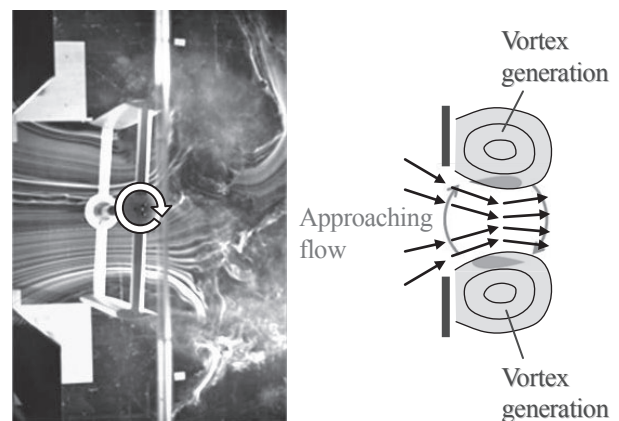


Fig. 11 Flow visualization: b(U)-b(U) type.

付加物の場合も、後方に大きな渦の形成が確認できたことから、同様の原理で集風加速していることが推定できる。

#### 4.2 ベンチュリタイプ付加物と平板タイプ付加物の周りの流れ場の違い

ベンチュリタイプと平板タイプの付加物がそれぞれ作る流れの特徴をさらに考察するため、片側のみに付加物を設置して、流れ場を可視化した。Fig. 12 にベンチュリ形状である CR, Fig. 13 に平板形状である b(C) の結果を示す。風車中心を通過するまでは、どちらの形状の場合も流れは  $x$  軸に近寄る向きに引き寄せられる。ところが、風車中心を通過したあと、ベンチュリ形状は付加物側に流れを引き戻すのに対し、平板形状は引き戻さない。そのため、ベンチュリタイプの場合は Fig. 10(b) に示すように、風は風車中心を通過した後、付加物の形状に沿って流れる拡大流れとなる。一方、平板タイプでは Fig. 11 に示すように、付加物の後方にそれぞれ大きな渦を生成する流れとなる。この渦は平板型付加物のすぐ後方に生成されるため、b(U) のように付加物を風車の上流側に設置した場合には、風車ブレードが通過する位置に生成されることが分かった。この渦が出力に与える影響について、次節にて考察する。

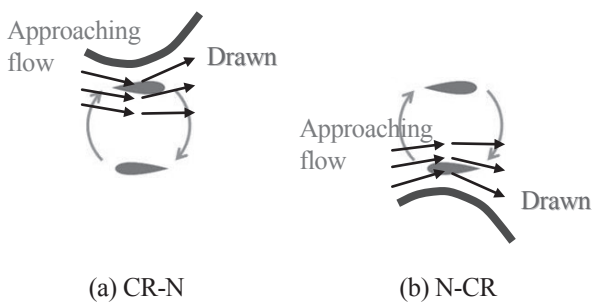
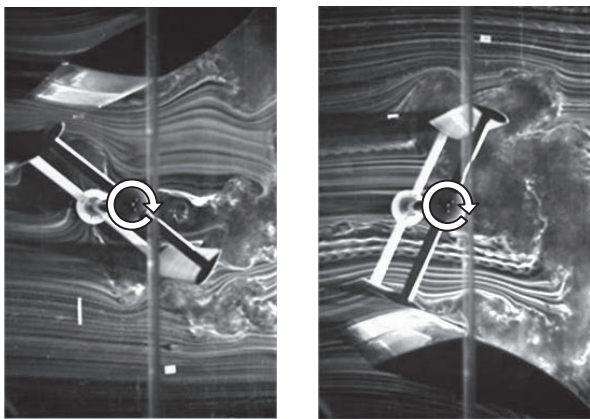


Fig. 12 Flow visualization (asymmetric CR-type).

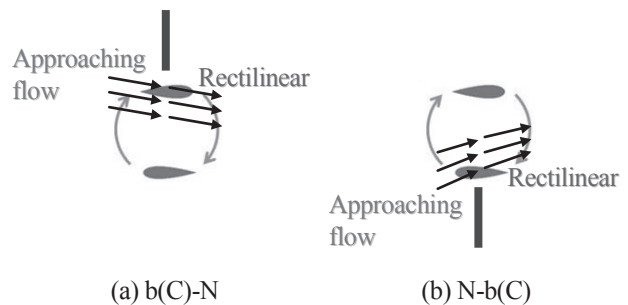
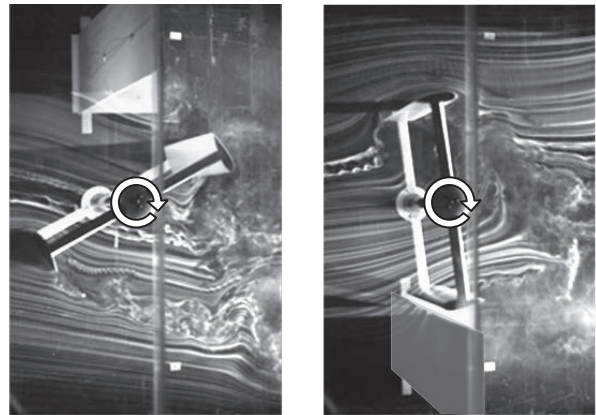


Fig. 13 Flow visualization (asymmetric b(C)-type).

#### 4.3 付加物によって生成される低速域の効果

Fig. 8 に示したように、平板を上流側に片側ずつ設置した場合には、出力性能に顕著な差がみられた。この理由を、可視化実験から得られた流れ場より考察する。Fig. 14 は平板型の付加物を風車の上流に片側ずつ設置した場合の可視化結果である。Fig. 14(a) のように平板型の付加物を、風車の上流かつ  $y$  の正の領域に設置した場合は、流れが付加物のない側に偏向し、戻り側ブレードがその流れの中を逆らって動いていることが分かる。一方、付加物を  $y$  の負の領域に設置した場合は、戻り側ブレードは付加物の後方に生成された渦、すなわち低速域の中を進んでいることが見て取れる。過去の複数の研究<sup>14,15)</sup>によると、直線翼垂直軸型風車のブレードは、流れに逆らって動く際にアジマス角  $\theta = 0 \sim 30^\circ$  において負のトルクを発生する。したがって、風車の上流側に平板型付加物を設置した場合は、負のトルクを発生する領域の主流方向流速が減速することで、ブレードに作用する負のトルクが緩和され、出力減が緩和されたと推定する。Fig. 11 を見ると、これは平板を両側に設置した場合も同様に起こっていることが推定でき、この低速域の生成によるブレード抵抗の軽減が、平板型付加物を上流側に設置した際に、高い出力増加を得たもう 1 つの理由であると考えられる。

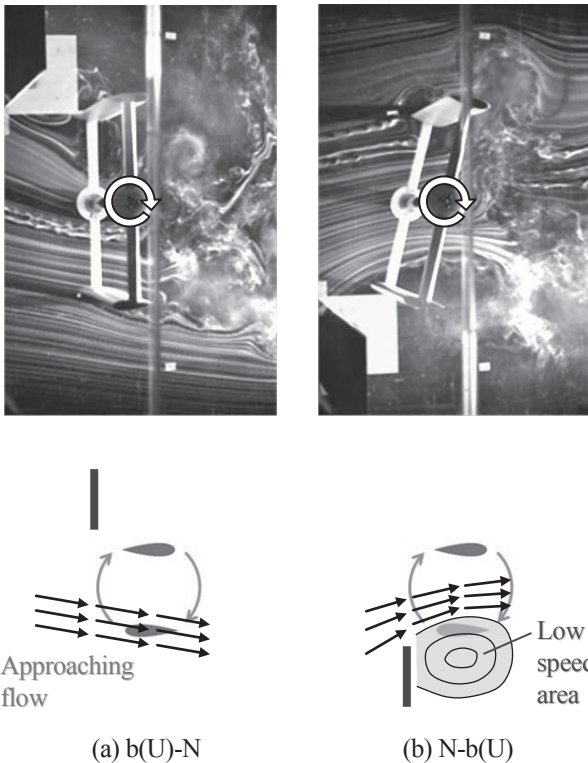


Fig. 14 Flow visualization (asymmetric b(U)-type).

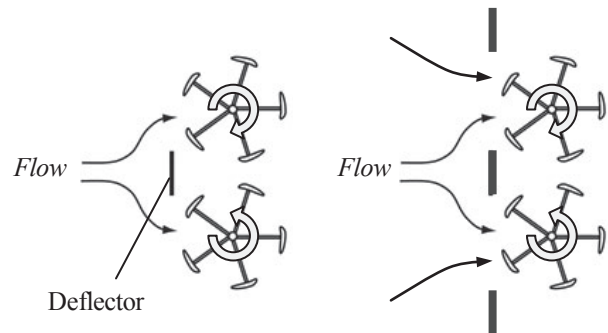
#### 4.4 平板型付加物を用いた集風装置の提案

垂直軸型風車のブレードが抵抗力を受ける側のの上流に平板を設置することによる効果は、Daegyoun ら<sup>16)</sup>によっても示されている。彼らは、Fig. 15(a)に示すように逆向きに回転する2つの垂直軸型風車を並べ、ブレードが抵抗力をうける側のの上流にそらせ板(deflector)を設置することで、5枚翼風車の出力が3倍程度に増加することを示した。しかしながら、今回の実験で、風車の両側に付加物を設置した方がより高い出力増加効果を得られることが分かったため、我々は Fig. 15(b)に示すように両側に付加物を設置することを提案する。風車の翼枚数が変化しても、集風加速装置による出力増加が同様に得られることは、過去の研究から分かっている<sup>5)</sup>。したがって、風車の両側に平板を設置することで、集風加速効果が片側の場合よりも高まり、かつ上流に設置した平板によるブレード抵抗力の低減効果と合わせて、さらに高い出力増加が得られると考えられる。

今回の実験で最も高い出力が計測された、b(U)-b(U)の付加物を用いた場合の $C_p$ を、周辺付加物の幅 $2.16D_{wt}$ を用いた面積 $A^*(=l \cdot 2.16D_{wt})$ で再評価し(このときの $C_p$ を $C_p^*$ とする)、風車単体(N-N)の直径を周辺付加物の幅と同じ大きさまで拡大した場合とどちらが効果的かを比較すると、b(U)-b(U)の付加物を用いた場合の

$C_p^*$ の最大値は $C_p^*_{max}=0.32$ となる。一方、風車単体の場合は $C_{p_{max}}=0.30$ であり、付加物によって8.8%の性能向上が得られる。すなわち、風車単体を相似拡大するよりも付加物を設置した方が性能は向上し、Fig. 15(b)のように複数の風車で付加物を共用すれば $C_p^*$ はさらに向上すると考えられるため、周辺付加物の適用は性能向上のために有益であるといえる。

この平板型付加物を有する風車は風に対して指向性を持つが、潮流発電、及び河川や建物周りの流れを利用した発電のように、ある程度流れの向きが特定できる箇所へ適用したり、無指向性が要求される箇所では、尾翼の追加によってヨー制御したりすることで効果が期待できる。



(a) Deflector which is proposed by Daegyoun.<sup>16)</sup> (b) Recommended shape.

Fig. 15 Recommended shape of surrounding structures.

#### 5. 結論

垂直軸型風車に周辺付加物を設置して、出力性能実験と流れ場の可視化実験を行い、高い出力増加が得られる付加物の形状を探った。その結果、以下のことが明らかになった。

- ベンチュリ形状の付加物を設置した場合、出力を増加させるには、ベンチュリの断面形状を平面より曲面にするほうが効果的である。また、その際主流方向の投影面積が同じであれば、つばを設置するよりも、ベンチュリの出口幅を広げた方が、ディフューザ部の集風効果が増すことにより高い出力が得られる。
- 平板形状の付加物を設置した場合は、風車の上流側に設置したときに高い出力増加効果があり、ベンチュリ形状を超える風車単体の2.4倍の出力増加が得られる。
- 平板形状の付加物は平板より後方側に加速域を生成するため、上流側に設置する必要がある。



- 左右非対称な付加物を設置する場合は、より高い集風加速効果をもつ断面形状の付加物を選んで、風車の両側に設置すると高い出力増加が得られるが、戻り側ブレードの側については、上流側に平板を設置すると効果的である。これは平板の後方に低速域がつくられることにより、ブレードに発生する負のトルクが緩和されるからであると考えられる。
- 以上の結果から、風車の上流の両側に平板を設置する付加物を提案した。風車の上流の両側に平板を設置した風車は、付加物と同じ大きさまで相似拡大した風車単体と比較して 8.8%高い性能を発揮するため、周辺付加物の適用は性能向上のために有益である。

#### 参考文献

- 1) Ohya, Y., Karasudani, T., Sakurai, A., Abe, K., Inoue, M., Development of a shrouded wind turbine with a flanged diffuser., *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* Vol.96, No.5, 2008, pp.524-539.
- 2) Ohya, Y., Karasudani, T., A shrouded wind turbine generating high output power with wind-lens technology., *Energies*, Vol.3, No.4, 2010, pp.634-649.
- 3) Gilbert, B.L., Foreman, K.M., Experiments with a diffuser-augmented model wind turbine., *J. Energy Resour. Technol.*, Vol.105, No.1, 1983, pp.46-53.
- 4) Jamieson, P., Beating Betz : Energy Extraction Limits in a Constrained Flow Field., *J. Sol. Energy Eng.*, Vol.131, No.3, 2009, 031008.
- 5) Watanabe, K., Takahashi, S., Ohya, Y., Application of a Diffuser Structure to Vertical-Axis Wind Turbines., *Energies*, Vol.9, No.6, 2016, 406.
- 6) 高橋周平, 濱田純一, 大屋裕二, 烏谷隆, 渡辺公彦, 垂直軸型風車に適した翼型の検討と集風体の適用による出力性能の向上, 第 19 回風工学シンポジウム論文集, 2006, pp.169-174.
- 7) 本橋元, 後藤誠, 丹省一, 小島博, 2 枚のガイドベーンによる垂直軸風車の特性改善, 風力エネルギー利用シンポジウム講演集, 2001, pp.120-123.
- 8) 高木翔太, 河野孝昭, 木綿隆弘, 小松信義, 森田裕貴, 集風装置を有したクロスフロー風車の性能に関する研究, 風力エネルギー利用シンポジウム講演集, 2016, pp.321-324.
- 9) Takahashi, S., Ohya, Y., Karasudani, T., Watanabe, K., Numerical and experimental studies of Airfoils suitable for Vertical axis wind turbines and an application of wind-energy collecting structure for higher performance., In *Proceedings of the Fourth International Symposium on Computational Wind Engineering (CWE 2006)*, 2006, pp.327-330.
- 10) 松本恵美, 直線翼垂直軸型風車に適した集風体の形状及び配置の検討, 九州大学大学院工学府航空宇宙工学専攻修士論文, 2013
- 11) 渡邊康一, 大屋裕二, 烏谷隆, 垂直軸型風車の駆動原理の解明と集風装置の適用による高出力化, 第 21 回風工学シンポジウム論文集, 2010, pp.239-244.
- 12) Battisti, L., Zanne, L., Dell'Anna, S., Dossena, V., Persico, G., Paradiso, B., Aerodynamic Measurements on a Vertical Axis Wind Turbine in a Large Scale Wind Tunnel, *J. Energy Resour. Technol.*, Vol.133, No.3, 2011, 031201
- 13) Ohya, Y., Uchida, T., Karasudani, T., Hasegawa, M., Kume, H., Numerical Studies of Flow around a Wind Turbine Equipped with a Flanged-Diffuser Shroud Using an Actuator-Disk Model., *Wind Eng.*, Vol.36, No.4, 2012, pp.455-472.
- 14) 堀内健司, 相良啓太, 関和希, 数値解法を用いた直線翼垂直軸型風車の流れ解析, 太陽/風力エネルギー講演論文集, 2004, pp.313-316.
- 15) 藤井武夫, 宅野秀和, 水野明哲, 直線翼垂直軸型風車の実用化設計に向けた数値流体解析, 風力エネルギー利用シンポジウム講演集, 2014, pp.417-419.
- 16) Daegyoun, K., Morteza, G., Efficiency improvement of straight-bladed vertical-axis wind turbines with an upstream deflector., *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, Vol.115, 2013, pp.48-52