

斜風時のクロスフロー風車の性能に関する研究
(固定端板とフェンス前面の偏向板の効果)

Study on Performance of a Cross-flow Wind Turbine in Oblique Flow
(Effect of the Fixed End Plates and the Deflectors Installed in the Fence)

中田 博精 ^{*1}	木綿 隆弘 ^{*2}	櫃田 禎大 ^{*3}
Hiroaki NAKATA ^{*1}	Takahiro KIWATA ^{*2}	Yoshihiro HITSUDA ^{*3}
坂井 遼 ^{*3}	河野 孝昭 ^{*4}	古路 裕子 ^{*5}
Haruka SAKAI ^{*3}	Takaaki KONO ^{*4}	Hiroko FURUMICHI ^{*5}

^{*1} Graduate Student of Natural Science and Technology, Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa-shi, Ishikawa, 920-1192, Japan
Fax:+81-76-234-4746, E-mail: nakata@ryuko.ms.t.kanazawa-u.ac.jp
^{*2} Professor, Kanazawa University
^{*3} Graduate Student of Natural Science and Technology, Kanazawa University
^{*4} Assistant Professor, Kanazawa University
^{*5} Chief Researcher, Nippon Parts Center Co., Ltd., 3-12-3 Minato, Kanazawa, Ishikawa, 920-0211, Japan

Abstract

The performance of a horizontal-axis cross-flow wind turbine and the flow field above a porous windbreak fence in oblique wind were investigated in a circuit-type wind tunnel with a semi-open test section by using scale models of the fence and the wind turbine. The inclined angle, θ , between the turbine and the flow direction was changed from 0° to 40° . The maximum power coefficient of a cross-flow wind turbine in the oblique wind was proportional to $\cos^2\theta$. In order to suppress the decrement of power, the fixed end plates were installed at both ends of the cross-flow wind turbine. The power coefficient of the cross-flow wind turbine with the fixed end plates is higher than that without the fixed end plates at $\theta = 40^\circ$. The fixed end plates were effective in suppressing the decrement of power in oblique flow. Moreover, in order to obtain the same effect in the turbine located above a porous fence, the effect of deflector which was installed in front of a porous fence was also investigated. The maximum power coefficient of the cross-flow wind turbine located above a porous fence with deflectors at $\theta = 40^\circ$ is higher than that without deflectors. In oblique flow, a cross-flow wind turbine located above a porous fence with deflectors is expected to produce more power than that of the porous fence without deflector.

キーワード : クロスフロー風車, フェンス, 性能, 水平設置, 斜風, 固定端板, 偏向板
Key Words : Cross-flow Wind Turbine, Fence, Performance, Horizontal Installation, Oblique Flow, Fixed End Plates, Deflector

1. 緒論

近年、環境問題などの対策として、二酸化炭素などの地球温暖化ガスを排出しないクリーンな自然エネルギーの1つである風力エネルギーを利用した発電が注目されている。また、2011年3月11日に発生した東日本大震災を端緒として発生した福島第一原子力発電所の事故を受け、災害時に既存の電力網に頼らない独立電源としての小形風力発電への期待も高まっている。

抗力型風車の1つであるクロスフロー風車¹⁾は、低

風速から起動し、風向に対する指向性がなくどの方向から風が吹いても発電できるといった長所を持つ。一方で、プロペラ型の水平軸風車と比較すると風車の出力係数が小さい。そのため、風車出力の向上を目的とした種々の研究が行われている^{2)~4)}。

著者らはこれまでに、道路用防風フェンス上部で風速が増大することに注目し、フェンス上部にクロスフロー風車を水平に設置し、風車直径の0.625倍下流側に移動させた場合に風車出力が風車単体の場合よりも約2.3倍に上昇することを明らかにした⁵⁾。しかし、クロスフロー風車をプロペラ風車のように水平に設置した場合、垂直軸風車としてのクロスフロー風車の長所の1つである風向に対する無指向性が失われ、斜めからの風(以後、「斜風」という)が流入した場合に、風車出力が低下することが予想される。そこで、風向が

*1 金沢大学大学院自然科学研究科システム創成科学専攻
大学院生 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail:nakata@ryuko.ms.t.kanazawa-u.ac.jp

*2 金沢大学理工研究域教授

*3 金沢大学大学院自然科学研究科機械科学専攻大学院生

*4 金沢大学理工研究域助教

*5 ㈱日本パーツセンター

(原稿受付: 2014年 5月 19日)

変化した場合においても風車出力の低下を抑制する機構を考案する必要がある。

風車に対して風が斜めから流入した際の出力特性に関する研究はプロペラ風車について、清水らが風洞実験⁶⁾、今村らがパネル法による非定常流解析⁷⁾を行っている。直線翼垂直軸風車について、Ferreiraらはビル屋上に風車を設置する際の吹き上がり風の影響を調べるために、風車を傾けた場合の出力特性を測定しており⁸⁾、原らも回転軸が風に対して傾いている場合の風車に与える影響に関する風洞実験⁹⁾を行っている。また、本橋らはサボニウス風車を設置する場合について同様の実験¹⁰⁾を行っている。

本研究では、まずは、クロスフロー風車単体の場合とクロスフロー風車をフェンス上部に水平に設置した場合の流入する風向(斜風の角度)が出力特性に及ぼす影響を風洞実験で調べる。次に、斜風時の風車出力低下を抑制するために風車単体の場合には、風車の両端に円形の固定端板を設置した。さらにフェンス上部に水平に設置した風車の場合には、フェンス前面に垂直な偏向板を設置して斜風時における風車出力や風速分布を計測する。そして、この固定端板及び偏向板の設置が斜風時の風車性能改善に有効かどうかについて検討する。

2. 実験装置及び方法

2.1 実験装置

実験装置概略を図1に示す。実験には、測定部断面寸法が、1250mm×1250mmの回流式風洞装置を使用し、閉塞効果による影響を低減させるために、両端に高さ1000mm×長さ2000mmの側壁のみを有する上部の天井壁がない測定洞で実験を行った。この風洞装置は風

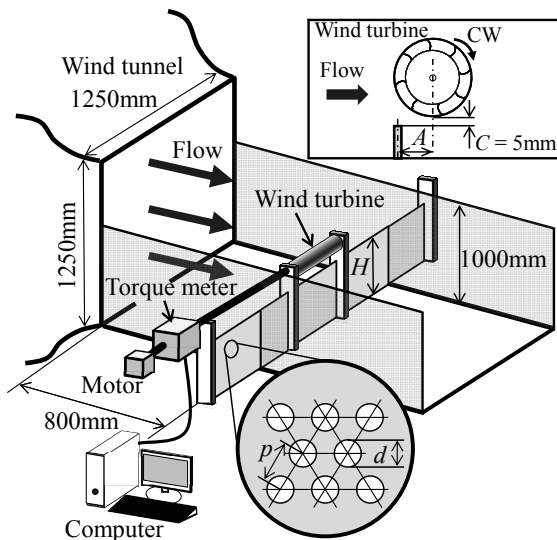


Fig.1 Experimental apparatus

速 $U = 10\text{m/s}$ において、非一様性が $\pm 1.0\%$ 以下であり、乱れ強さが 0.5% 以下であった。

本実験で使用した有孔板フェンス模型は、図1に示すように、フェンス高さ $H = 500\text{mm}$ であり、直径 $d = 2\text{mm}$ の穴がピッチ $p = 3\text{mm}$ で開いている。フェンスの遮蔽率は $\phi = (\text{フェンス面積} - \text{開孔部面積}) / \text{フェンス面積} = 60\%$ であり、フェンスを斜めに設置した場合でも風洞測定洞幅一杯に設置できるようにフェンスは十分な長さがある。供試風車の概観を図2に示す。クロスフロー風車の寸法は外径 $D_1 = 80\text{mm}$ 、内径 $D_2 = 65\text{mm}$ 、スパン $L = 400\text{mm}$ であり、羽根入口角度 $\beta = 40^\circ$ 、翼弦長 $l_c = 10.35\text{mm}$ の円弧翼を $N = 15$ 枚有しており、ソリディティ $\sigma = (N \cdot l_c) / \{\pi(D_1 + D_2) / 2\} = 0.68$ である。供試風車の両端に設置した円形の固定端板は、直径が $2D_1$ と $3D_1$ の2種類を用意し、風車を支持している両脇の支柱に取り付けた。図3には、偏向板を設置した場合のフェンス概略図を示す。偏向板はフェンスと同じ高さ H で、幅は $(1/10)H$ とした。上流側フェンス前面に $(1/3)H$ 間隔で偏向板を設置した。

実験は、図1のように供試風車1台をフェンス上部に水平に設置し、風車回転方向は風が左から右へ流れる側から見て時計回り(CW)となるようにした。なお、フェンス上端と風車下端の隙間は $C = 5\text{mm}$ とした。また、過去の研究⁵⁾によって、風車をフェンス直上に設置する場合よりもフェンス下流側に移動させて設置する方が高い風車出力となることがわかっており、本実験においてはフェンス直上[$a = (A/D_1) = 0$; A はフェンス上端からの水平移動距離]に風車を設置した場合と、最も風車出力が大きくなる $a = 0.625$ に風車を設置した場合についても実験を行った。風車はカップリングを介してトルク計、回転数検出器及び回転制御用

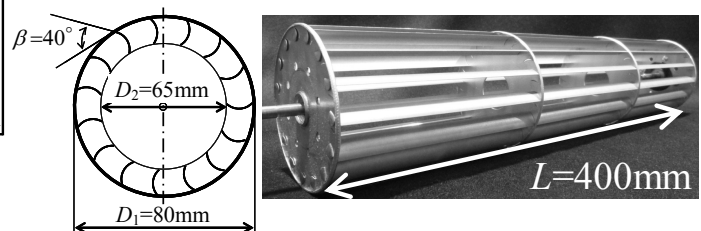


Fig.2 Cross-flow wind turbine

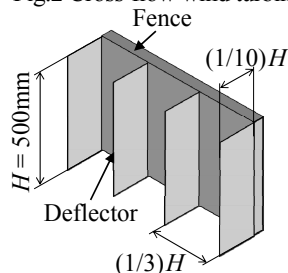


Fig.3 Fence with deflectors

DC モータに接続されている。

2.2 実験方法

風車出力係数 $C_p [= P / \{ (1/2) \rho L D_1 U^3 \}]$ は、風洞ノズル出口中心の風速を主流風速 $U = 7\text{m/s}$ として風車回転数 n を変化させ、各周速比 $\lambda (= D_1 \omega / 2U)$ における風車トルク T を測定して算出した。ここで、 $P (= T\omega)$ は風車出力、 $\omega (= 2\pi n / 60)$ は角速度、 ρ は空気密度である。なお、機械損失による影響を除去するために、あらかじめブレードを取り外した円板と軸のみの状態で回転させてトルク損失値を測定し、風車出力を補正した。

本実験では、斜風を模擬するために、図4に示すように風車とフェンスの設置角度 θ を変更できるようになっており、 θ を $0^\circ \sim 40^\circ$ まで 10° 間隔で変化させた。本実験の座標軸は主流方向を x 、鉛直方向を y 、主流に直角な水平方向を z とした。なお、鉛直方向 y は風車の中心軸の高さ(床面から 545mm)を原点とした。設置角度 $\theta (>0^\circ)$ における座標軸については、風車軸に対して直角方向を ξ 、軸方向を ζ と定義する。座標軸に対応する風速成分の定義は、 x 方向成分を u 、 y 方向成分を v 、 z 方向成分を w 、 ξ 方向成分を u_ξ 、 ζ 方向成分を w_ζ とする。

風速分布は自動トラバース装置に取り付けられた X 形プローブを用いて測定した。熱線流速計により得られた電圧値は AD 変換器を介し、サンプリング周波数 10kHz、サンプリング数 4 万点のデータとして取得し、4 秒間の時間平均値を求めた。

$H = 500\text{mm}$ のフェンスを対象に行った、風車設置位置断面の風速分布測定は、風車中心を原点として、 $\xi = 0$ の ζ - y 断面を測定した。測定範囲と測定間隔は、 ζ 方向に $-0.3 \leq \zeta/H \leq 0.3$ の範囲を 30mm 間隔、 y 方向に $-0.45 \leq y/D_1 \leq 0.45$ の範囲を 10mm 間隔とした。なお、この風速分布測定は風車を設置していない状態で行った。

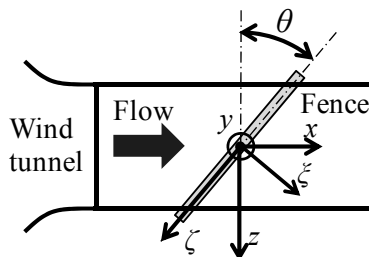


Fig.4 Coordinates system

3. 実験結果及び考察

3.1 斜風時のクロスフロー風車の出力特性

クロスフロー風車単体において設置角度 $\theta = 0^\circ \sim 40^\circ$

に変化させた場合の出力係数 C_p を図5に示す。風車に直角に風が流入する $\theta = 0^\circ$ のとき最大出力係数 C_{pmax} は最も大きくなり、 $C_{pmax} \approx 0.12$ であった。 θ が大きくなるにつれ、最大出力係数は低下し、 $\theta = 40^\circ$ において、最大出力係数は $C_{pmax} \approx 0.07$ まで低下した。

図6に風車をフェンス上部の各位置 ($a = 0, 0.625$) に設置した場合の設置角度 $\theta = 0^\circ \sim 40^\circ$ における出力係数 C_p を示す。まず、風車設置位置 $a = 0$ の場合、 $\theta = 0^\circ$ において、最大出力係数は $C_{pmax} \approx 0.22$ となり、風車単体の場合の約 1.8 倍の値となった。風車単体の場合と同様に設置角度 θ が大きくなるにつれて出力係数は低下し、 $\theta = 20^\circ$ で $C_{pmax} \approx 0.20$ 、 $\theta = 40^\circ$ で $C_{pmax} \approx 0.13$ となった。次に、風車設置位置 $a = 0.625$ の場合は、 $\theta = 0^\circ$ における最大出力係数は $a = 0$ に設置した風車出力よりもさらに大きく $C_{pmax} = 0.27$ となり、風車単体の約 2.3 倍の値になる。設置角度が大きくなると $\theta = 20^\circ$ で $C_{pmax} \approx 0.25$ を示し、 $\theta = 40^\circ$ では $C_{pmax} = 0.16$ に低下した。最も出力係数が小さかった、 $\theta = 40^\circ$ 傾いた場合でも $C_{pmax} = 0.16$ であり、図6に示す $\theta = 0^\circ$ の風車単体の $C_{pmax} \approx 0.12$ よりも大きな値となっていることは興味深い。

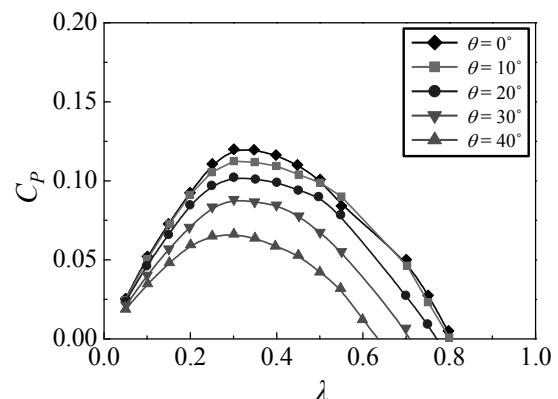


Fig.5 Power coefficient of the free-standing cross-flow wind turbine

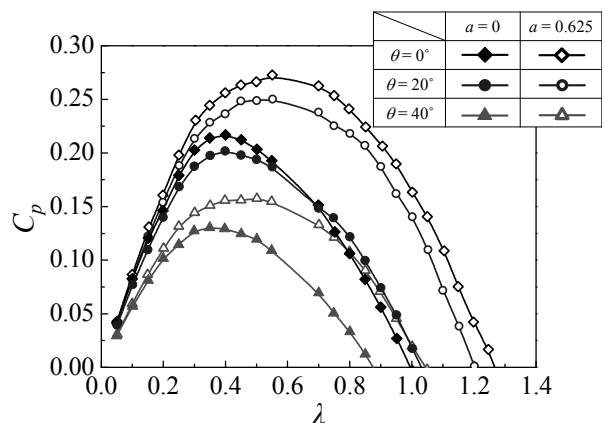


Fig.6 Power coefficient of the turbine placed above the fence

設置角度 θ に対する最大出力係数 C_{Pmax} の変化を $\theta=0^\circ$ のときの最大出力係数 $C_{Pmax(\theta=0^\circ)}$ との割合を最大出力係数比とし、図7に示す。図中には本橋らのサボニウス風車の場合の $\theta=0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ の結果¹⁰⁾と、 $\cos^2\theta, \cos^3\theta$ の曲線を示す。風の持つエネルギーは風速の3乗に比例することより、最大出力係数は $\cos^3\theta$ の曲線とは一致すると予想されるが、本研究のクロスフロー風車の出力は、 $\cos^2\theta$ の曲線変化に近い値となった。また、本橋らのサボニウス風車のアスペクト比の違いによる斜風時の風車出力への影響結果¹¹⁾から、クロスフロー風車においてもアスペクト比が小さい場合には、風車出力がより低下するものと考えられる。風車をフェンス上部に設置した場合も、 $\theta=20^\circ$ までは若干の違いがみられるが、定性的には風車単体の場合と同様の傾向を示し、 $\cos^2\theta$ の曲線と一致した。今村らのプロペラ風車の数値解析では、出力係数が $\cos^2\theta$ に比例して減少すると報告している⁷⁾が、原因は述べられていない。斜風時の風車への風の流入角度と風車出力との関係は今後さらに検討が必要である。

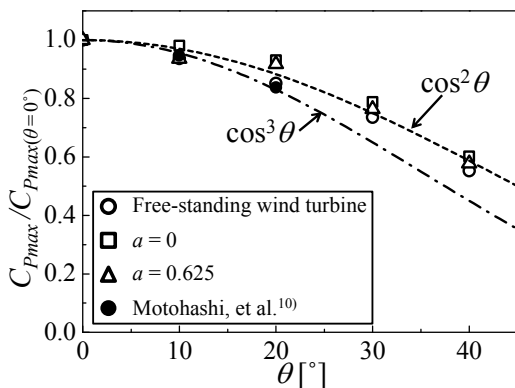


Fig.7 Maximum power coefficient ratios of the cross-flow wind turbine

3.2 固定端板を用いた斜風対策

図8に設置角度 $\theta=0^\circ, 40^\circ$ において、直径 $2D_1$ と直径 $3D_1$ の固定端板を設置した場合の出力係数 C_p を示す。図中には、固定端板が設置されていない風車のみの場合の結果も示す。 $\theta=0^\circ$ の場合、固定端板が設置された風車の最大出力係数は $C_{Pmax} \approx 0.12$ となり、固定端板が設置されていない場合とほぼ一致している。一方で $\theta=40^\circ$ の場合は、固定端板が設置された風車の最大出力係数は $C_{Pmax} \approx 0.073$ となり、固定端板が設置されていない場合に比べてわずかに出力が向上した。図9に最大出力係数比を示す。設置角度 θ の増加とともに風車出力は低下する。固定端板を設置した場合で $\theta=40^\circ$ のときは、 $C_{Pmax} / C_{Pmax(\theta=0^\circ)} \approx 0.62$ となり、固定端板がない場合の $C_{Pmax} / C_{Pmax(\theta=0^\circ)} \approx 0.55$ と比べると、固定

端板を設置することで出力低下を約7%抑制することができた。直径 $3D_1$ の固定端板が設置された風車の出力の方が設置角度 θ に対する低下が若干小さいようである。

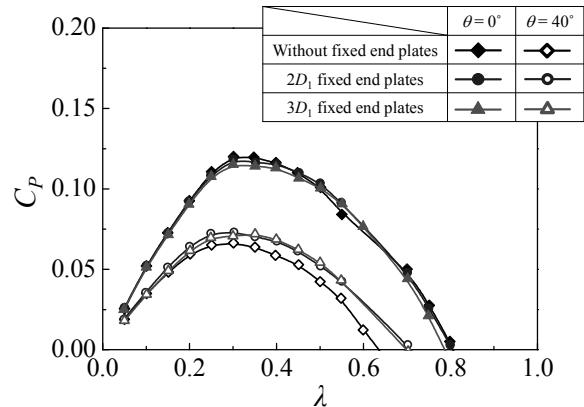


Fig.8 Power coefficient of the cross-flow wind turbine with fixed end plates

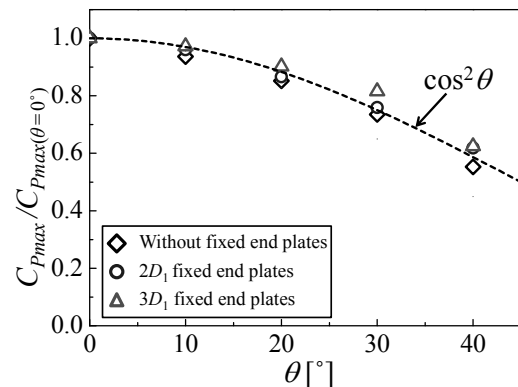


Fig.9 Maximum power coefficient ratios of the cross-flow wind turbine with fixed end plates

図10に設置角度 $\theta=0^\circ, 40^\circ$ における、固定端板が設置されていない場合と直径 $3D_1$ の固定端板が設置された場合の風車中心高さ ($y/D_1 = 0$) における速度ベクトルを示す。図中には破線で風車を示し、固定端板が設置されている場合は固定端板の位置も示す。 $\theta=0^\circ$ において、固定端板の有無により、風車下流域で風速分布に若干の違いはみられるが、全体として大きな違いはみられない。一方で $\theta=40^\circ$ においては、固定端板を設置した場合、 $\xi/D_1 = -1.0, \zeta/L = 0.45$ の位置で、風速がほぼ 0m/s となっている。これは、上流側 $\zeta/L = 0.5$ にある固定端板の背後に死水域が形成されているためと考えられる。また、固定端板からの剥離による増速された流れが、 $\xi/D_1 = -1.0, \zeta/L = 0.25$ の位置で見られ、固定端板が設置されていない場合と比べ、速度が大きくなっている。このように固定端板を設置することで、風車に流入する風車は ζ 方向に増速と減速する領域を

有しており、一様ではないが、全体的に風車に流入する風力エネルギーが大きくなることにより、結果として、出力は固定端板を設置した方が風車単体の場合よりも若干増加する。また、図 11 に風車前方 $\zeta/D_1 = -1.0$ における 3 次元風速ベクトルを示す。固定端板が設置されていない場合は、 $\theta = 40^\circ$ においても、 $\theta = 0^\circ$ のときと同様に、スパン方向で流れに大きな違いはなく、各高さにおいてほぼ同じ流れが風車に流入している。 $\theta = 40^\circ$ で固定端板を設置した場合、 $\zeta/L = 0.45$ の $-0.5 \leq y/D_1 \leq 1.2$ において上流側の固定端板の背後では速度がほぼ 0 になっている。しかし、 $\zeta/L = 0.25$ においては固定端板から剥離した流れにより、風速が速くなっていることがわかる。

3.3 フェンス偏向板を用いた斜風対策

クロスフロー風車をフェンス上部に設置した場合に、フェンス前面に偏向板を設置することで、風車の両端に固定端板を設置した場合と同様に斜風による風車出力の低下抑制が可能かどうかの検討を行った。

図 12, 13 に設置角度 $\theta = 40^\circ$ における風車を設置した場合を想定した $a = 0, 0.625$ の風速分布図を示す。フェンスに沿った ζ 方向の速度成分 w_ζ は風車出力にほぼ影響を与えないため、 ζ - y 断面の $\sqrt{u_\zeta^2 + v^2}$ の風速分

布を用いて評価した。図 12(a), 13(a) の偏向板を設置していないフェンス上部の風速分布は ζ 方向にほぼ同様な分布である。一方で、図 12(b), 13(b) の偏向板を設置したフェンス上部の風速分布は、図中に示すように偏向板の設置間隔に対応して ζ 方向 $(1/3)H$ の間隔で増速している領域が見られる。また、図 12 の風車設置位置 $a = 0$ の風速分布は風車の下方 ($y/D_1 < 0$) で風速が大きくなっているのに対して、図 13 の風車設置位置 $a = 0.625$ の風速分布は風車の中心付近から上方 ($y/D_1 > 0$) で大きな値、下方 ($y/D_1 < 0$) では低い値となっている。

以上より、フェンスに偏向板を設置した場合についても、風車に固定端板を設置した場合と同様にフェンス周りの風速が増加している部分があり、風車出力の低下を抑制できることが期待される。

3.4 偏向板を設置したフェンス上部に設置したクロスフロー風車の出力特性

偏向板を設置したフェンス上部の風車出力特性に及ぼす設置角度 θ の影響を調べ、偏向板の効果を検討する。

図 14 にフェンス直上 ($a = 0$) に風車を設置した場合の斜風時の風車出力係数 C_p を示す。 $\theta = 0^\circ$ においては、偏向板の有無に関係なく出力係数が全く同じであった。

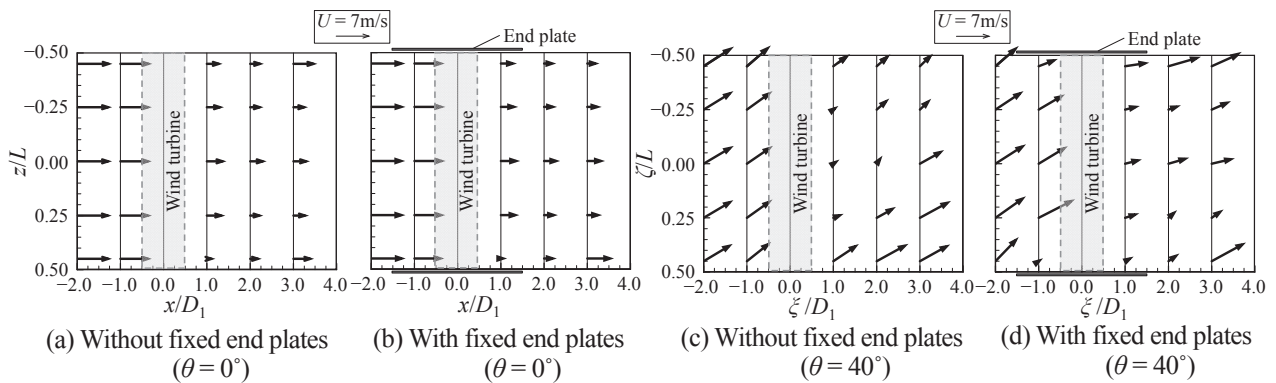


Fig.10 Distribution of velocity vectors

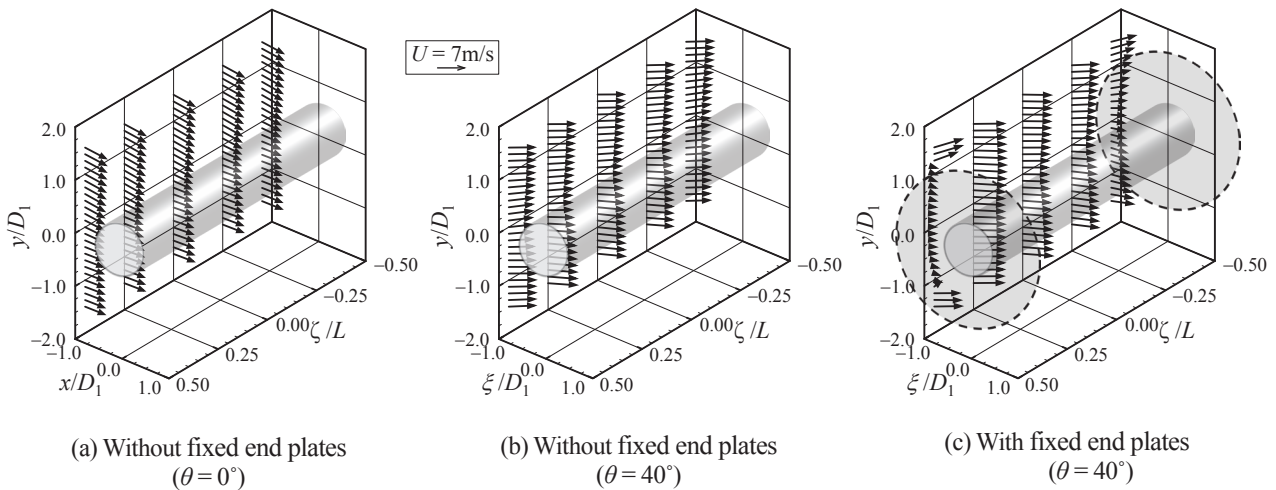


Fig.11 Distribution of three-dimensional velocity vectors

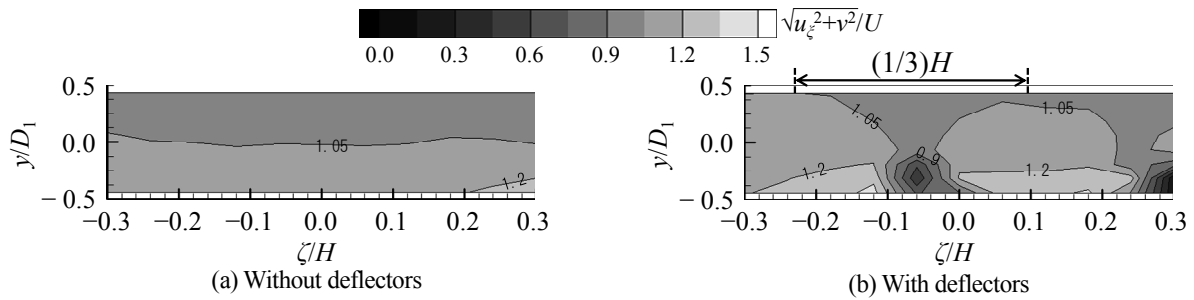


Fig.12 Contour plots of the mean velocity at $a = 0$ ($\theta = 40^\circ$)

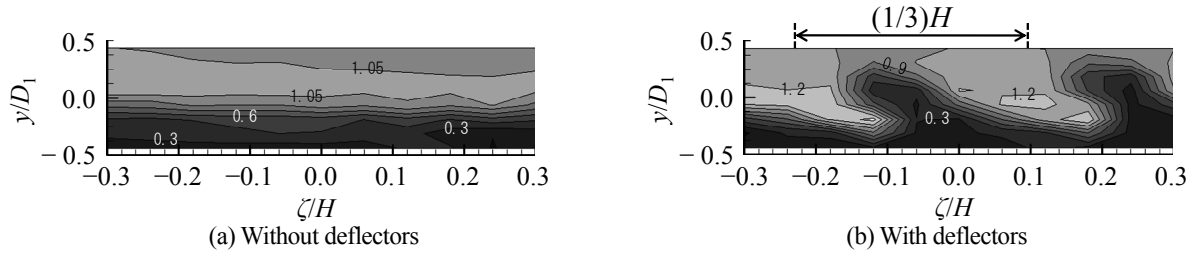


Fig.13 Contour plots of the mean velocity at $a = 0.625$ ($\theta = 40^\circ$)

また $\theta = 10^\circ, 20^\circ$ においても、偏向板の有無によって最大出力係数に大差はなかった。したがって、フェンス直上に風車を設置した場合にフェンスに偏向板を設置しても風車出力の低下抑制の対策にはならなかった。図 15 にフェンス下流側 $a = 0.625$ に風車を設置した場合の斜風時の出力係数 C_p を示す。 $\theta = 0^\circ$ においては、フェンス直上 ($a = 0$) に風車を設置した場合と同様に、偏向板の有無に関係なく出力係数が全く同じであった。 $\theta = 20^\circ$ においては偏向板の有無に関わらず、ほぼ同じの出力係数になった。一方で、 $\theta = 40^\circ$ においては偏向板を設置した場合の方が出力係数は高く $C_{pmax} = 0.17$ となり、偏向板が無い場合の最大出力係数 $C_{pmax} = 0.16$ の約 1.1 倍になった。図 16 に最大出力係数比を示す。フェンスに偏向板を設置しない場合と風車設置位置 $a = 0$ で偏向板を設置した場合の最大出力係数は $\cos^2\theta$ の曲線とおおよそ一致する。風車設置位置 $a = 0.625$ でフェンスに偏向板を設置した場合、設置角度が小さい $\theta = 10^\circ, 20^\circ$ においては他の条件とほぼ同じ値となるが、 $\theta = 30^\circ, 40^\circ$ においては最大出力係数が若干大きくなっている。この差はフェンスに偏向板を取り付けることで、図 13(b) で見られたような増速領域が形成されることに起因していると考えられる。しかし、風車設置位置 $a = 0$ の場合では偏向板の有無による出力係数の違いは見られなかった。

図 12, 13 に示されている設置角度 $\theta = 40^\circ$ での風車設置位置における風速分布を基に計算した風が持っているエネルギーを表 1 に示す。風車の設置位置が $a = 0$ の場合の風力エネルギーが $a = 0.625$ の場合よりも大きくなっているのは、上述のように、風車設置位置 $a = 0.625$ の場合は風車下方で風速が遅くなっているため

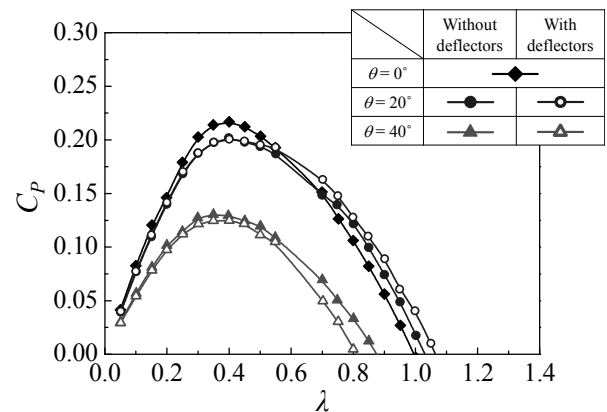


Fig.14 Power coefficient of the cross-flow wind turbine placed above the fence at $a = 0$

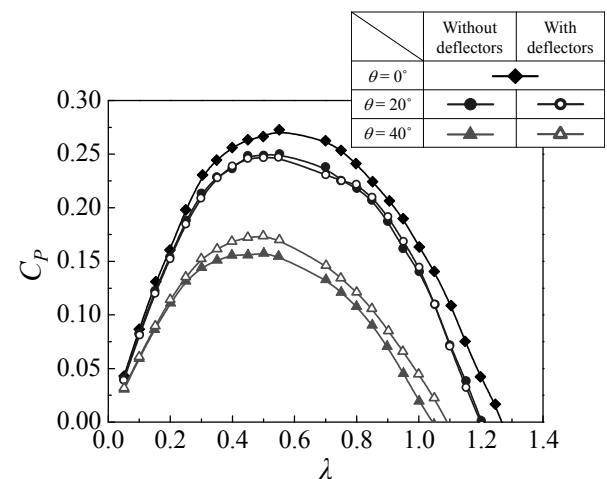


Fig.15 Power coefficient of the cross-flow wind turbine placed above the fence at $a = 0.625$

である。ここで、偏向板の有無による風力エネルギー比に着目すると、 $a = 0$ の場合は 1.09, $a = 0.625$ の場合は 1.13 となっており、どちらの場合も偏向板が有ることで風力エネルギーは大きくなる。しかし、エネルギーが大きくなっているにもかかわらず $a = 0$ の場合、

$\theta = 40^\circ$ における出力係数は偏向板を設置しても変化しなかった。一方で、 $a = 0.625$ の場合には偏向板を設置することにより出力係数が向上した。この違いは、クロスフロー風車の駆動原理が原因で引き起こされる。クロスフロー風車の円弧翼には、風を受けて駆動力を発生する側と、風を受けて回転の抵抗となる側が存在する。本実験の場合、風車の上方が駆動力を発生し、下方が回転抵抗となるように設置されており、 $a = 0$ の場合には、偏向板を設置することで全体の風力エネルギーは増加するが、風車下方の風速が速くなっているために風車出力が向上しなかったと考えられる。一方で $a = 0.625$ の場合には、風車上方で風速が速くなるために風車出力が向上したと考えられる。

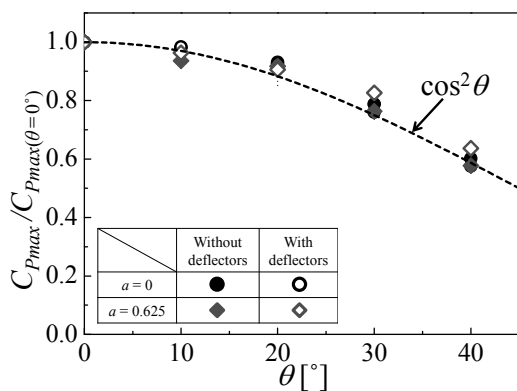


Fig.16 Maximum power coefficient ratios of the cross-flow wind turbine placed above the fence

Table 1 Estimated wind energy ($\theta = 40^\circ$)

	Deflector	Energy [W]	Energy ratio
$a = 0$	Without	6.56	1.09
	With	7.17	
$a = 0.625$	Without	3.92	1.13
	With	4.42	

4. 結論

水平に設置したクロスフロー風車に流入する風向を変化させ、風車単体及びフェンス上部に風車を設置した場合の出力特性とフェンス周りの風速分布を風洞実験により調べ、以下の結論を得た。

- (1) 風車単体の場合とフェンス上部に風車を設置した場合($a = 0$ と $a = 0.625$)の最大出力係数 C_{pmax} は設置角度 θ が大きくなるにつれて低下し、その低下割合は $\cos^2\theta$ の曲線とほぼ一致した。
- (2) 風車の両端に直径 $2D_1$ と $3D_1$ の円形の固定端板を設置することで、出力係数は固定端板が設置されていない場合に比べてわずかに向上した。

- (3) フェンス直上($a = 0$)に風車を設置し、フェンス前面に垂直の偏向板を設置した場合、偏向板が無い場合に比べて全体の風力エネルギーは増加するが、風車回転の抵抗となる風車下方の翼が受ける風が速くなり、風車出力の変化は小さかった。

- (4) フェンス下流側($a = 0.625$)に風車を設置し、フェンス前面に偏向板を設置した場合、風車の駆動力を発生する風車上方の翼が受ける風が速くなることで、偏向板が無い場合と比べて設置角度 $\theta = 40^\circ$ における風車出力が約 1.1 倍に向上し、風車出力の低下が抑制される。

参考文献

- 1) 谷野忠和, 仲野晋一郎, クロスフロー風車の翼枚数および取付角が出力特性に及ぼす影響, 日本機械学会論文集 (B 編), Vol.73, No.725, 2007, pp.225-230.
- 2) 重光亨ほか 2 名, 対称形ケーシングによるクロスフロー風車の高性能化に関する研究, 日本機械学会論文集 (B 編), Vol.74, No.743, 2008, pp.1505-1511.
- 3) 清水幸丸ほか 2 名, クロスフロー風車の高性能化に関する研究 (ガイドベーン付リングディフューザによる出力増強方法について), 日本機械学会論文集 (B 編), Vol.64, No.625, 1998, pp.2958-2963.
- 4) 谷野忠和, 仲野晋一郎, 構造物端壁剥離流れの有孔利用および入口流れ改善によるクロスフロー型風車の出力特性の向上 (端壁剥離流れの有効性と端壁部誘導板による入口流れの改善), 日本機械学会論文集 (B 編) Vol.73, No.726, 2007, pp.588-593.
- 5) 中田博精ほか 4 名, フェンス上部に設置したクロスフロー風車の水平位置による性能及び下流域の流れへの影響, 第22回風工学シンポジウム論文集, 2012, pp.419-424.
- 6) 清水幸丸, 中村俊祐, 水平軸風車周囲の流れ状態と風車性能に関する研究 (翼に適切なねじれ角を与えた場合とねじれなしの場合の比較), 日本機械学会論文集 (B 編) Vol.51, No.471, 1985, pp.3530-3538.
- 7) 今村博ほか 4 名, パネル法による水平軸風車ロータ周りの非定常流解析 (斜め流入風の影響と三次元流れ場における迎え角の考察), 日本機械学会論文集 (B 編) Vol.71, No.701, 2005, pp.154-161.
- 8) Francesco Balduzzi, et al., Feasibility analysis of a Darrieus vertical-axis wind turbine installation in the rooftop of a building, Applied Energy, Vol. 97, 2012, pp.921-929.
- 9) 原豊ほか 4 名, 回転軸が風に対して傾斜した直性翼垂直軸風車の性能実験, 日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集, 2013, No. 102.
- 10) 本橋元ほか 3 名, 傾斜面上のサボニウス型風車の出力に関する一考察, 第33回風力エネルギー利用シンポジウム講演論文集, 2011, pp.285-287.
- 11) 本橋元ほか 2 名, 吹上げ・吹下ろし風を受けるサボニウス型風車の出力特性, 第32回風力エネルギー利用シンポジウム講演論文集, 2010, pp.279-282.