

クロスフロー風車付きフェンスに関する風洞実験*

Wind Tunnel Experiments of Fences with Cross-Flow Wind Turbine

木綿 隆弘^{*1}

富岡 裕之^{*2}

古路 裕子^{*3}

Takahiro KIWATA

Hiroyuki TOMIOKA

Hiroko FURUMICHI

細川 吉剛^{*3}

倉谷 知宏^{*4}

Yoshihisa HOSOKAWA

Tomohiro KURATANI

1. 緒言

北陸地方などの冬季に強風にみまわれる地域の道路では、道路の側面に防風、防雪用のフェンスを設置する人が多い。このような防風、防雪フェンスを強風地点に効率よく設置するためには、対象となる風環境を熟知することは勿論であるが、フェンス周りの流れについて知ることは極めて重要なことである⁽¹⁾。これまでに著者らはフェンスの遮へい率が下流域に与える影響などを計測し、有孔板フェンスで再循環領域が形成されないことなどを明らかにした⁽²⁾。

また、新エネルギーの一つである風力を利用した発電はクリーンな発電システムとして注目を集めている。クロスフロー形風車は、風に対する指向性が無く、低風速から発電が可能なことから⁽³⁾、都市における公園や駐車場の照明用の小型独立電源として利用されている。そこで、本研究では防風防雪用フェンス上部にクロスフロー形風車を設置した風力発電装置付きフェンスの防風性能について風洞実験を行い、風速と発電量やフェンス周りの流れの状態、フェンスの遮へい率が発電量や流れ場に与える影響を明らかにし、風力発電の最適運転条件と防風防雪用フェンス設計の基礎データを取得することを目的とする。

開放式回流型風洞装置を使用した。測定部断面寸法は1200mm×1200mmで閉塞効果の影響を低減するために、測定胴の上部壁がない状態で実験を行った。

本実験に用いたクロスフロー風車の概要を図3に示す。供試風車は、羽根枚数 $N=15$ を持ち、外径 $D_1=80\text{mm}$ 、内径 $D_2=65\text{mm}$ 、スパン長さ $L=400\text{mm}$ 、羽根入口角度は 40° である。

本実験で用いたフェンス模型の概観とフェンスに用いたパネルの断面形状を図4に示す。フェンスは高さ $H=585\text{mm}$ 、幅375mmのものが2枚、高さ $H=500\text{mm}$ 、幅400mmのものが1枚の計3枚で構成されている。フェンス模型の遮へい率は、パネル部分に直径2mmの円

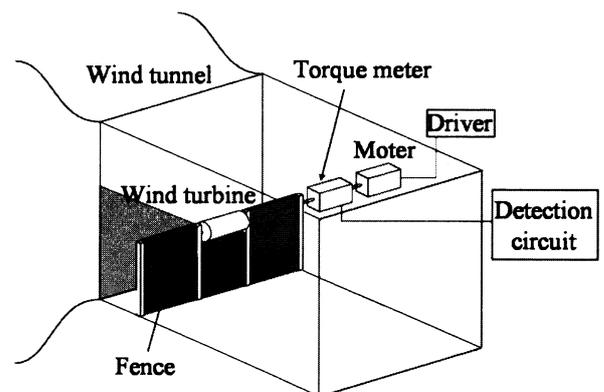


Fig.1 実験装置全体図

2. 実験装置及び方法

2.1 実験装置

図1~4に実験装置の概略図及び写真を示す。風洞実験には、(株)日本パーツセンター所有の島津製作所製の

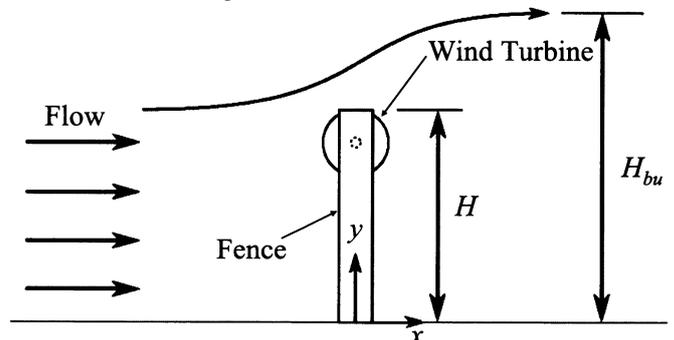


Fig.2 風車とフェンスの概略図

*平成20年11月28日第30回風力エネルギー利用シンポジウムにて講演

*1 会員 金沢大学理工学域機械工学類 准教授 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

*2 会員 金沢大学大学院自然科学研究科 院生

*3 非会員 (株)日本パーツセンター (〒920-0211 石川県金沢市湊3-12-3)

*4 非会員 金沢大学理工学域機械工学類 技術職員

形の孔数を変えることで設定できる。本研究では、パネル部を取り付けない状態を遮へい率 $\phi=0\%$ 、遮へい率60%の有孔板のパネルを用いた状態を遮へい率 $\phi=60\%$ 、左右に遮へい率60%の有孔板と中央に遮へい率100%の無孔板のパネルを用いた状態を遮へい率 $\phi=100\%$ として実験を行った。

2.2 実験方法

図1に示すように、風車はフェンス模型の中央上部に設置し、カップリングを介してトルク計(小野測器製SS002) および回転制御用 DC モータ(オリエンタルモータ製 BX5120A-A)に接続されている。実験は、風速を $V=4, 5, 6\text{m/s}$ にし、DCモータの回転数を変更させてトルク T の計測を行った。風車の出力係数 C_p は、次式で求めた。

$$C_p = 2T\omega / \rho D_1 L V^3 = 2P / \rho D_1 L V^3$$

ここで、 P は風車出力、 ρ は空気密度、 D_1 は風車外径、 L は風車スパン長さ、 ω :角速度である。また、風車をトルク計及びDCモータから切り離れた無拘束状態での運転を風速は $V=1.3\sim 1.4\text{m/s}$ で行い、各フェンス条件において、風車が到達する平均回転数 N_A を計測した。

フェンス下流域の可視化には、スモークワイヤー法を用いた。風速を $V=1.3\sim 1.4\text{m/s}$ で固定し、風車の回転方向が時計回りおよび反時計回りのそれぞれで撮影し

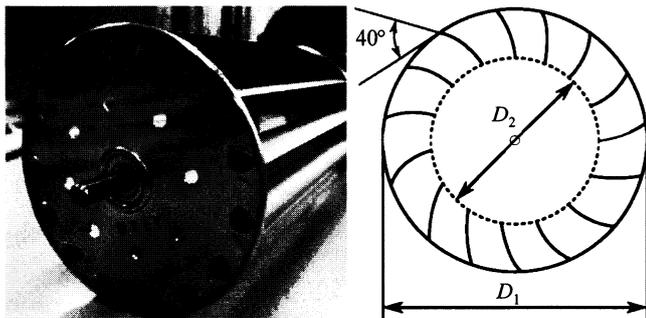


Fig.3 供試クロスフロー形風車

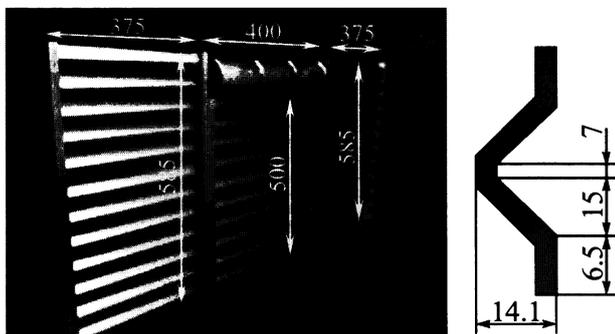


Fig.4 フェンス模型及びパネル断面形状

た。可視化画像からフェンスの下流位置 $x=1H, 2H$ における煙の吹き上げ高さ H_{bu} を求めた。

各実験条件における、フェンス後流の速度分布は熱式風速計(日本カノマックス製, System6242)を用いて多点同時測定を行った。なお、計測される速度はスカラ一量であり、方向は計測されない。各点での風速 u は、主流速度 V で無次元化した。

3. 実験結果及び考察

3.1 風車性能測定実験

トルク計およびDCモータを風車軸に接続しない無拘束運転における回転数 N_A と遮へい率 ϕ および風車回転方向の関係を表1示す。 $\phi=0\%$ のフェンスでは、回転方向の違いによる回転数の大きな差はみられなかった。 $\phi=60\%$ のフェンスでは、 $\phi=0\%$ のフェンスの場合よりも若干回転数が高くなったが、 $\phi=0\%$ のフェンスの場合と同様に、回転方向による大きな差はみられなかった。しかし、 $\phi=100\%$ のフェンスでは、反時計回りの方が著しく回転数が低くなっている。これは、風車とフェンス上部の間には隙間があまり無いために、 $\phi=100\%$ のフェンスでは、他の遮へい率よりも多くの流れが上部へと逃げていくことになり、通常クロスフロー形風車の羽根への流入の向きと異なるため、風車の回転数の増加が妨げられているからである。

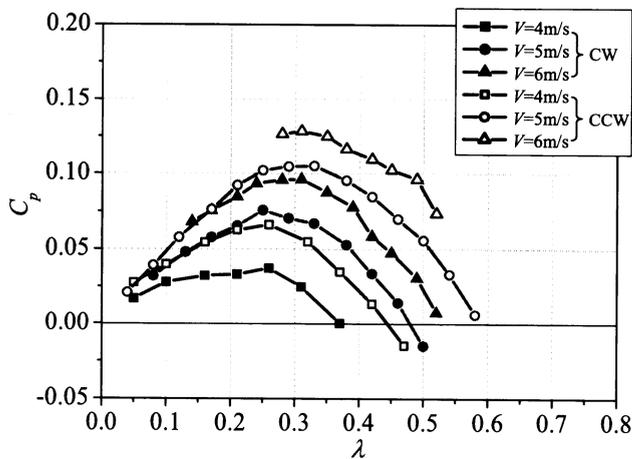
図5に遮へい率 $\phi=60\%$ 及び $\phi=100\%$ の場合の周速比 $\lambda(=D_1\omega/2V)$ と出力係数 C_p の関係を示す。風速 6m/s において、 $\phi=60\%$ の反時計回りの条件や、 $\phi=100\%$ の時計回りの条件では、トルク値が計測限界を超えたためにプロットを行っていない部分がある。 $\phi=60\%$ のフェンスでは、どの風速の条件においても反時計回りの方が時計回りよりも風車出力係数が大きくなっている。最

Table1 無拘束運転時の風車回転数

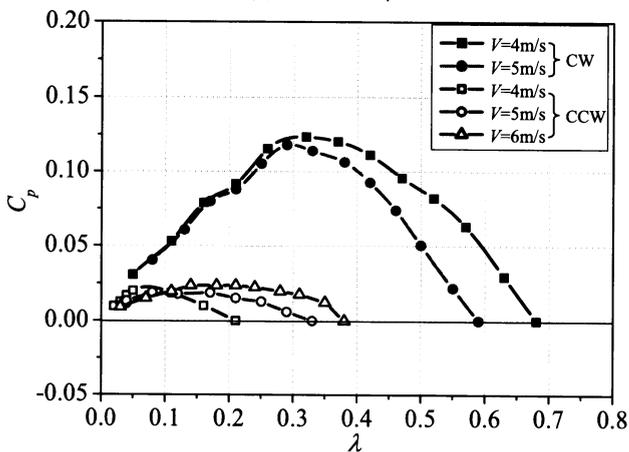
Rotational Direction	ϕ [%]	N_A [min^{-1}]	V [m/s]
	0	120	1.4
	60	160	1.3
	100	52	1.4
	0	134	1.4
	60	146	1.3
	100	190	1.4

大出力係数は、風速 $V=6\text{m/s}$ における $\lambda=0.3$ 付近の $C_p=0.128$ である。さらに、 $\phi=60\%$ のフェンスでは、 $V=5\text{m/s}$ の反時計回りででの出力効率が、 $V=6\text{m/s}$ の時計回りでの結果よりも若干高い結果となっていることから、有孔板フェンスは、風車の性能を向上させている可能性がある。 $\phi=100\%$ のフェンスでは、 $\phi=60\%$ のフェンスの場合よりもはっきりと風車回転方向での差がみられ、時計回りの方が反時計回りの場合よりも出力係数が大きく、最大で5倍程度あるこの出力係数の大きな差は、無拘束運転時に回転数が著しく低下する結果と同様に、通常クロスフロー形風車の流入方向と異なることが原因であると考えられる。

図6にフェンス下流の $x=1H, 2H$ の位置における速度分布を示す。 $y/H=1$ の高さが風車設置高さである。遮へい率 $\phi=0\%$ の場合では、風車後流において速度が減速するが、それ以外の高さでは大きな変化はみられなかった。 $\phi=60\%$ の場合、 $x=1H$ の位置におけるフェンス部で主流速度の40%程度に減速しており、 $x=2H$ の



(a) 遮へい率 $\phi=60\%$



(b) 遮へい率 $\phi=100\%$

Fig.5 出力係数

位置ではさらに減速されていることが分かる。また、フェンスよりも高い領域においても、時計回りの場合に減風効果がみられる。 $\phi=100\%$ の場合では、 $x=1H$ の位置ではフェンス背後において $\phi=60\%$ よりも減速させることが可能であるが $x=2H$ の位置では減風効果が小さくなっていることが分かる。また、今回の計測では風向は計測されないために、 $\phi=100\%$ の場合はフェンス後流に逆流領域が発生している可能性がある⁽¹⁾。このことから、さらに下流の領域において計測する必要があるが、フェンスに風車を付加した場合でも減風効果があることを確認した。

3.2 可視化実験

図7に遮へい率 $\phi=60\%$ において風車を時計回りに回転させた場合と反時計回りに回転させた場合の可視化画像を示す。図中の水平線は、下から $200(1/3H), 400, 600(1H), 700, 800, 900(1.5H), 1000, 1100\text{mm}$ を表している。風車後流に渦の発生が見られるが、逆流領域は形成されず、パネル部が示す減風効果を阻害していないことが分かる。また、風車の回転が時計回りの場合の方が風車を通過して吹き上がる煙の高さが高くなっている。このことから、地吹雪のある地域において、視認確保性能を求める場合には、風車が主風向に対して時計回りする方向で設置を行うことで、風の吹き上がり高さを高くすることが可能であり、視認確保の向上が期待できると考えられる。また、同様の実験を $\phi=0\%$ 、 100% においても行った。それらをまとめたものを表2に示す。 $\phi=100\%$ のフェンスの場合、風車の上部を通過する流れ及び風車に流入する流れが多いため、風車の回転方向によらず他の遮へい率よりも吹き上がり高さが高くなっており、図6(a)の速度分布からも判断できる。

Table2 吹き上がり高さ

Rotational Direction	ϕ [%]	H_{bu} [m]	
		$x=1H$	$x=2H$
	0	$1.1H$	$1.2H$
	60	$1.3H$	$1.5H$
	100	$1.5H$	$1.7H$
	0	$1.2H$	$1.3H$
	60	$1.5H$	$1.7H$
	100	$1.6H$	$1.8H$

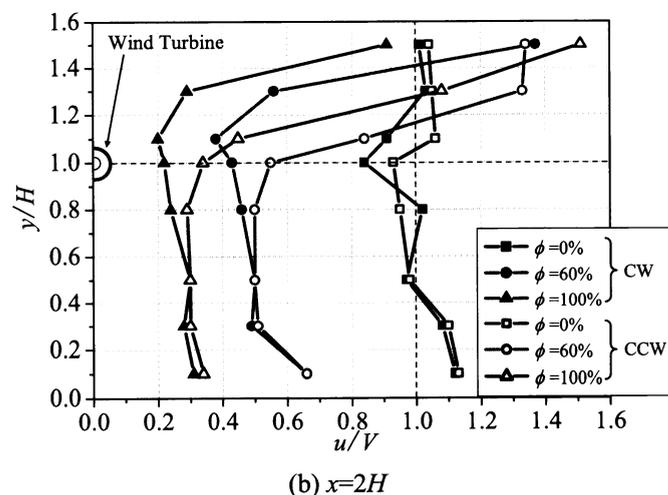
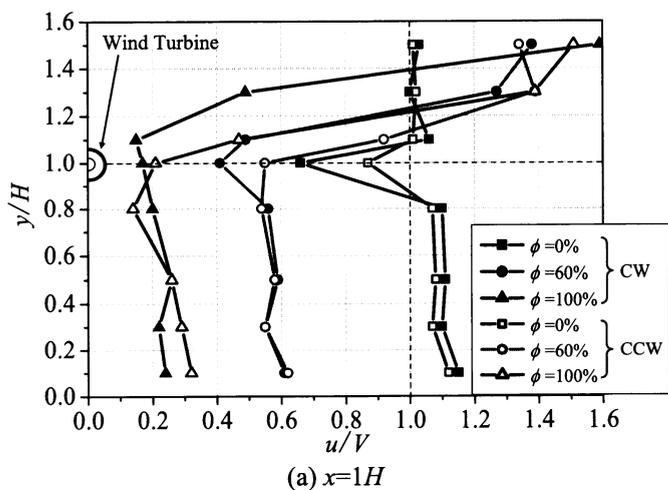
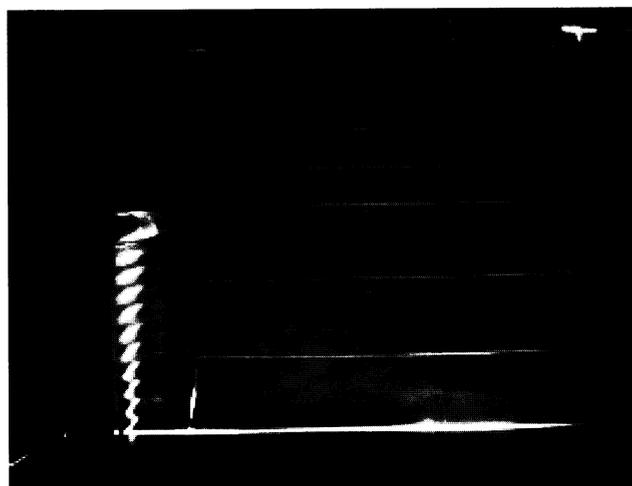


Fig.6 鉛直方向速度分布

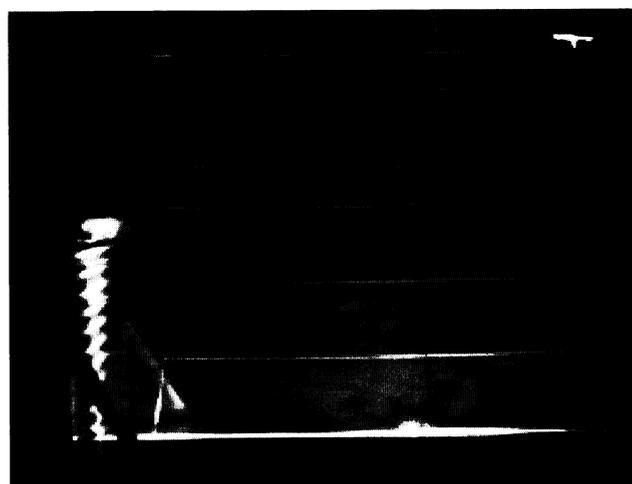
4. 結言

防風防雪用フェンスの上部にクロスフロー風車を取り付けた場合の風車性能とフェンス下流域の流れを風洞実験により調べ、以下のような結果を得た。

- (1) 風車を単独で運転するよりも、フェンス付き風車の方が出力が上昇する。
- (2) 風車出力は風車の回転方向及びフェンス遮へい率に大きく依存し、遮へい率 100% の反時計回り方向の回転では、著しく低下する。
- (3) 風車が時計回りに回転し、遮へい率が大きい程、フェンス上部を通過する流れの吹き上がり高さが大きくなる。
- (4) 発電と防風効果の両方を考慮すると、遮へい率 60% のフェンスに反時計回りする風車を設置した場合が良い。



(a) $\phi=60\%$, 反時計回り



(b) $\phi=60\%$, 時計回り

Fig.7 スモークワイヤー法による流れの可視化

参考文献

- (1) 加藤, 他 3 名, 多機能防雪柵の空力特性に関する研究, 日本機械学会北海道支部 第 44 回講演会概要集, pp.46-47, 2005
- (2) 木綿, 他 5 名, 有孔板フェンス周りの流れの風洞実験と数値解析, 第 17 回風工学シンポジウム論文集, pp.351-356, 2002
- (3) 本橋, 他 3 名, 2 枚のガイドベーンによる垂直軸風車の特性改善, 第 23 回風力エネルギー利用シンポジウム論文集, pp.120-123, 2001