

排風利用発電装置開発に向けた風車実験

松島, 啓二
九州大学応用力学研究所

<https://hdl.handle.net/2324/1956600>

出版情報 : 九州大学応用力学研究所技術職員技術レポート. 19, pp.1-7, 2018-10. Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University

バージョン :

権利関係 :

排風利用発電装置開発に向けた風車実験

松島 啓二

要旨

最適な排風利用発電装置を模索するために、送風ファンを用いた室内実験を実施した。排風利用発電とは、工場における換気等によって排出される気流を利用して風車を回転させる風力発電であり、応用力学研究所風工学分野が携わる研究・開発の一環として提案されたアイデアである。実験では、送風ファンの構造、風車の位置・構造、ファンが送り出す気流の旋回性を抑制する整流板の有無・構造といった諸条件を変えながら、流速の水平分布や風車の発電性能を計測した。実験の結果、各条件が発電量に与える影響や、風車を設置することによってファンが受ける負荷が明らかになった。

キーワード

風力発電 レンズ風車 風車トルク試験 送風機

1. はじめに

応用力学研究所風工学分野における研究テーマの一つは風エネルギーの有効利用であり、おもに自然の風を対象にした風力発電装置の研究・開発が行われている。集風体（レンズ）を風車に装着することで発電効率を向上させるレンズ風車¹⁾は、その成果である。

しかし今回は自然の風ではなく、換気等において発生する排風を利用した風力発電装置、即ち排風利用発電装置の開発に取り組むこととなった。対象は主として、大型の建屋における換気口の排風である。換気用の排気機構は、屋内の空気を屋外に排出するためのものであり、一定以上の速度で空気を動かす必要がある。一方で、排出した後の空気に残留する運動エネルギーについては、一部が不要であり、リサイクルしても構わない可能性がある。また、製粉工場等の一部においては、粉類を送風機が作る気流によって運搬する機構が存在するが、運搬完了後の気流については屋外へ排出している。このような工場排風も対象となりうる。

時間変化に富んだ自然の風で風車を駆動して発電を行う場合は、風車や発電回路の制御が大きな難題となりうるが、排気口からの気流を利用する場合は、多くが常時一定の気流であるため、高度な制御機構が不要である。それゆえ、風力発電装置を安価に製造できると期待される。しかし、近年までの風車を用いた風力発電に係る先行研究では、風車の受風面に一様な風が流入する状況を対象としたものが多く、送風ファンが作る風のような局所的かつ乱れが大きいと予測される流れを扱ったものは少ない。排風利用発電装置の基本形としては、排気口の出口付近にレンズ風車発電装置を取り付ける方法が想定されているが、集風体の効果がどの程度発揮されるかは、明らかになっていない。さらに、排気口に風車を設置したことで送風機構にどの程度の負荷がかかるかも、不明である。

そこで、最適な排風利用発電装置を模索するため、送風機や風車模型を用いて排風利用発電を模擬し、集風体や整流板の効果、整流機構による影響等を調査する実験を実施した。

2. 卓上デモ機による簡易試験

第一段階として、図1に示すレンズ風車の卓上デモンストレーション機（デモ機）を用いた簡易試験を実施した。当該試験の目的は、集風体の形状・有無、排気口と風車（ロータ面）の距離、整流板の位置・有無が風車発電出力に与える影響を簡易的に調査することである。

試験に用いた装置および試験対象について述べる。卓上デモ機は、同一平面上に並べた4つの送風ファンと風力発電機構および発電出力計測表示機構を備えた、レンズ風車発電の実演機である。整流板は、厚み（主流方向長さ）を持つ矩形格子状の構造体であり、送風ファンから送出される流れの旋回性を削

減する効果を持つ。回転するファンによって発生する気流は、流れ方向に平行な軸を中心として回転しながら流れる旋回流となる。集風体の効果は、風車へ流入する風を増速させるものであり、整流された流れにおいてより強く発揮されると考えられているため、卓上デモ機には整流板が備え付けられている。風車の位置は固定されており、送風ファン、整流板および集風体は移動/着脱が可能である。図2は、試験に用いた集風体である。集風体がない状態 (Bare)、レンズ風車用の集風体として採用されており高い発電性能が期待できるC型集風体 (CiE5)、C型よりも低コストで製造可能と期待できる円筒型集風体の3パターンで発電出力を比較した。

図3に、C型、円筒型、および集風体無し (Bare) において、排気口-ロータ面間距離 x を変えながら発電出力を計測した結果を示す。C型が最も高い発電出力を示し、排気口-ロータ面間距離については、C型集風体内径 (Dth) の1.5倍付近が最も高い発電出力を示した。

次に、C型集風体を装着し、排気口-ロータ面間距離を $1.5D_{th}$ として、整流板の有無または位置 (排気口直後・風車手前) を変えて、発電出力を計測した結果を図4に示す。排気口直後の整流板によって集風体の効果が增大していることが分かる。整流板が風車手前にある場合に発電出力が大きく下がるのは、流れが整流板内に入り込まないためと考えられる。

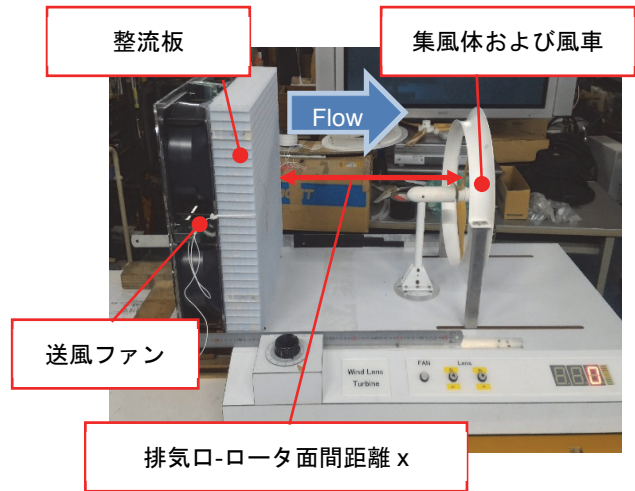


図1 レンズ風車の卓上デモンストレーション機

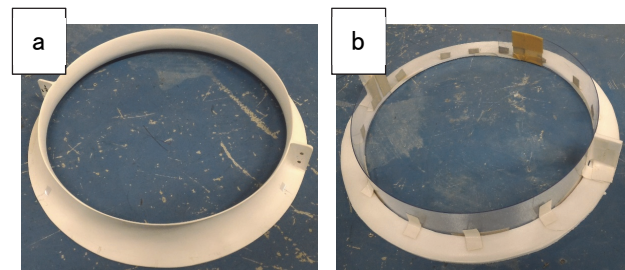


図2 集風体 (a : C型、b : 円筒型)

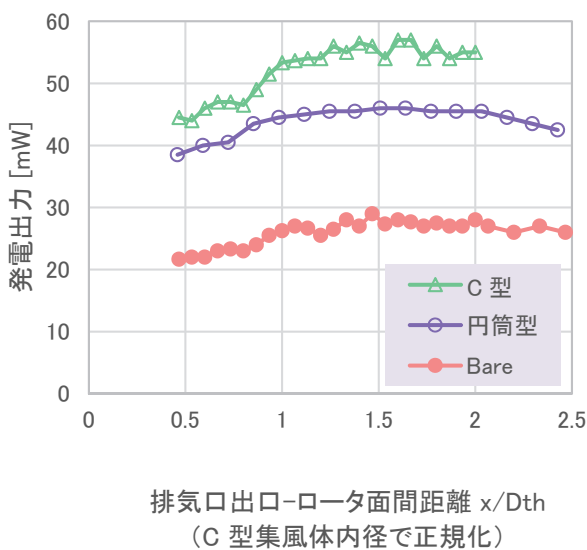


図3 排気口-ロータ面間距離に対する Bare・C型・円筒形の発電出力

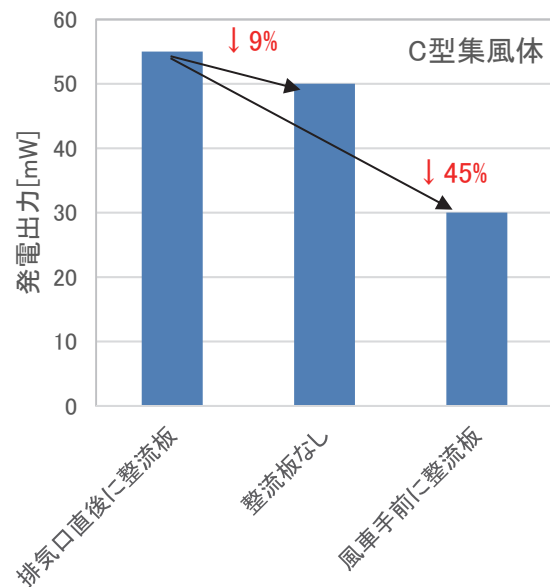


図4 整流板の位置・有無に対する発電出力

3. どでかファンによるトルク試験

卓上デモ機を用いた簡易試験から、C型集風体および整流板が効果的であること、排気口と風車の最適な距離があることが予測できる。第二段階として、「どでかファン」(図5、スイデン社製 SJF-600A-3)、ハニカム構造の整流板(図6)、および当該ファンとほぼ同じサイズの風車模型を用いたトルク試験(図7)を実施した。本試験の目的は、実際の換気用ファンに近いサイズのどでかファンを用いることで、本物の排気口出口に風車を設置した状況を模擬し、その上で整流板や風車位置といった諸要素が発電性能に与える影響を調査することである。

風車のトルク試験とは、風車のロータにトルク計(UNIPLUSE社製 UTM II)を設置して、ロータの回転数とロータにかかるトルク値から、風力がロータに対して行っている仕事(=風車の発電出力)を計測・算出する試験である。トルク試験は、発電機構の効率を考慮する必要がなく、風車そのものの発電性能を評価することができる。

本試験では、集風体、整流板(ハニカム)、排気口サイズ、排気口-ロータ面間距離、ロータ回転方向などが発電性能に及ぼす効果を調べ、加えて各状態における風速の水平分布を計測した。なお、排気口サイズを変えるため、どでかファンの出口には、狭口板と称するドーナツ状の平板を装着している。また、集風体としては、C型集風体の一種(Cii型)を使用した。図8はテスト社製 testo 425 風速計を用いた風速分布計測の様子である。図9に、どでかファンと整流板(ハニカム)の模式図および座標系を示す。

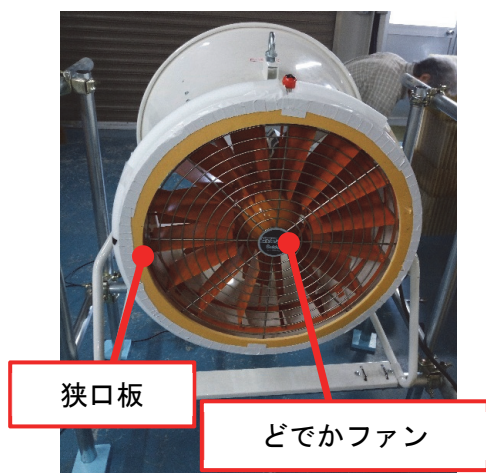


図5 どでかファン

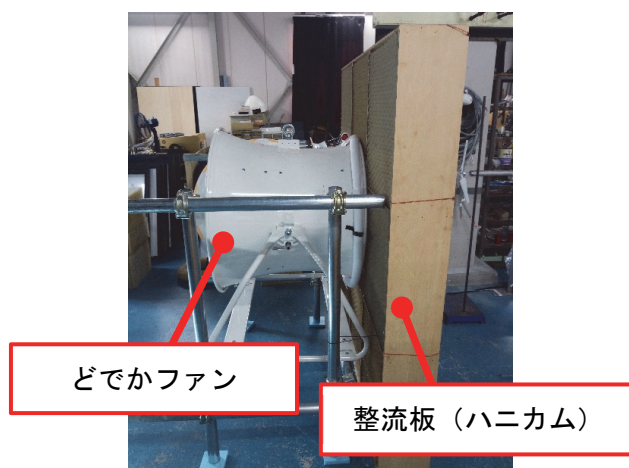


図6 どでかファンおよび整流板

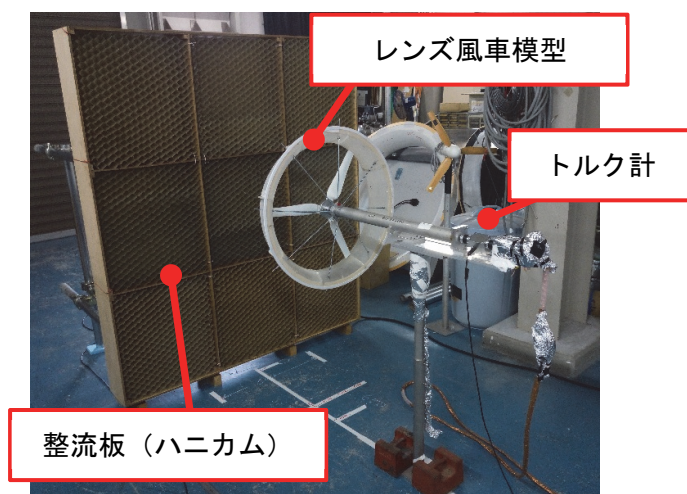


図7 風車のトルク試験

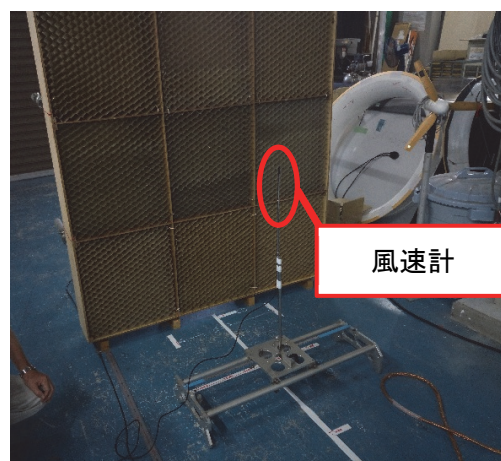


図8 風速分布計測

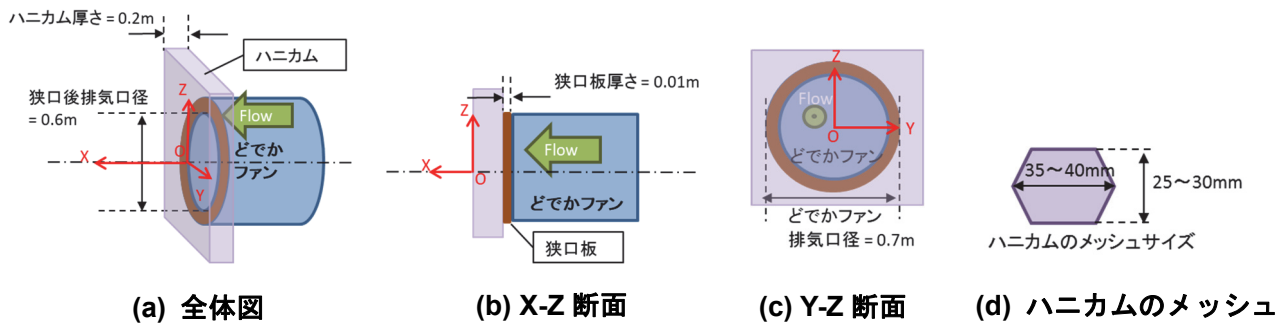


図9 どでかファンと整流板（ハニカム）の模式図および座標系

どでかファンによるトルク試験のおもな結果について述べる。図10は、整流板（ハニカム）を設置した状態で、集風体有無や風車位置 x を変えた結果である。Bare に対して、集風体 (CiiB5) を装着すると、発電出力は 1.5~1.7 倍向上している。また、 x が $1D_{brim} \rightarrow 0.5D_{brim}$ (D_{brim} = 集風体外径) と近づいた場合、発電出力には 1.1~1.3 倍程度の増加が見られた。風車位置を $x=0.5D_{brim}$ に固定し、整流板（ハニカム）の有無や集風体の有無を変えた試験結果を図11に示すが、整流板がない方が 1.5~1.7 倍ほどよい結果となっている。一方で、整流板がない場合における集風体の効果は 1.4 倍であり、整流板がある場合の効果よりも限定的である。図12は、どでかファンによる風速の分布を調べたものであり、 $x=0.5D_{brim}$, $1.0D_{brim}$ の位置において、整流板の有無を変えて計測している。整流板を除去することによって風速が大きく向上している。ゆえに、整流することによって集風体の効果は向上しているが、風速そのものが下がったために、結果的に発電出力が下がったものと推測できる。

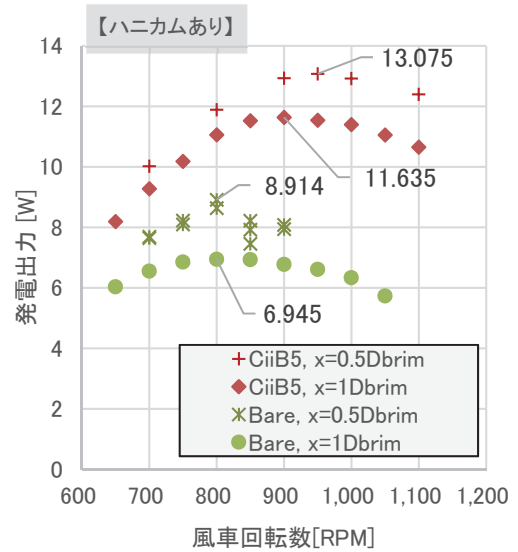


図10 どでかファンによるトルク試験結果1 (x位置・集風体有無の比較)

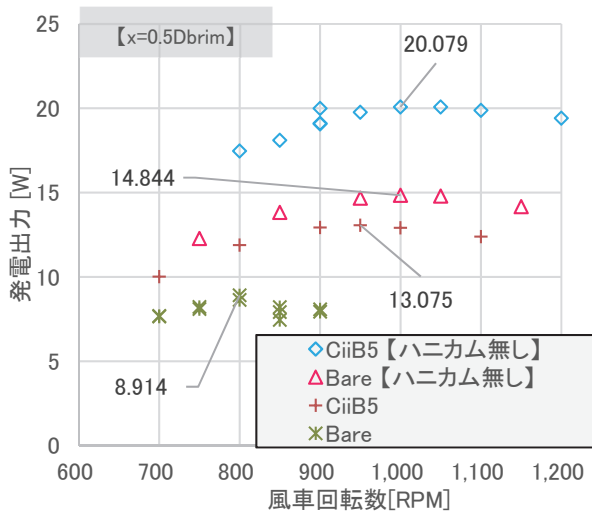


図11 どでかファンによるトルク試験結果2 (ハニカム有無・集風体有無の比較)

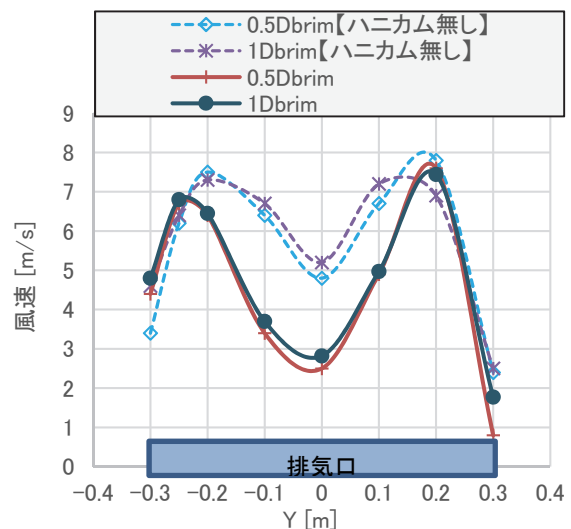


図12 どでかファンによる風速の分布 (x位置・ハニカム有無の比較)

図 13 は、ロータ回転方向による比較、即ち、ロータ回転方向をどでかファンの回転方向と同じにした場合（順回転）と逆にした場合（逆回転）の比較である。順回転の場合、逆回転に比べて、1.5 倍の性能向上が見られた。なお風車は、ブレードの形状によってロータの回転方向が決定される。回転を逆にするためには、形状を反転したブレードを使用する必要があるため、順回転用のロータと逆回転用のロータは別個体である。ロータの個体差に係るデータは割愛するが、順回転に用いたロータの方が性能で劣っているため、送風ファンと風車の回転方向を揃えた方が発電性能に益するという結論はいっそう肯定されるものと考えられる。このことは、送風ファンからの流れが持つ旋回性が風車の発電性能に影響を与えている可能性を示唆している。なお、図 13 では、図 12 までに比べて、どでかファンの出力自体を高めて試験しているため、発電出力は全体的に増大している。この時、どでかファンが送出する平均風速はおよそ 8.5m/s であり、これは研究室スタッフが調査した実在する排気ファンの排気流速（最大で 12m/s 程度）を再現した結果である。

表 1 は、どでかファンを特定回転数で運転した際の消費電力計測結果である。同表における太字表記は、取り分け大きなファン消費電力値を示す。風車の代わりに円盤を設置した場合にのみ消費電力は増大しており、風車を設置するだけなら送風ファンへの負荷にはならないと考えられる。

どでかファンによるトルク試験の結果より、集風体の効果は期待できること、整流板は風速全体を減衰しないものであれば、その効果が期待できること、ロータ回転方向は送風ファン回転方向に揃える方がよいことが判明した。

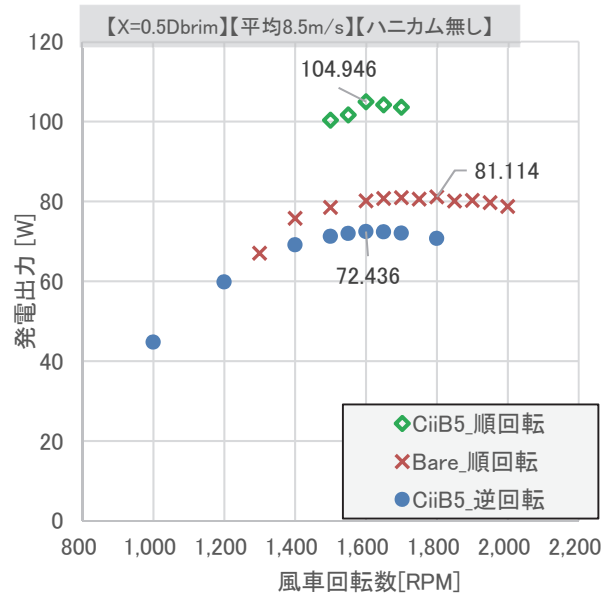


図 13 どでかファンによるトルク試験結果 3 (ロータ回転方向の比較)

表 1 どでかファンの消費電力計測結果

ハニカム	円盤(直径 620mm)	風車	集風体	ファン消費電力[kW]
有	-	-	-	0.166
	直付け(ハニカム出口)	-	-	0.18
	x=0.5Dbrim(集風体入口)	-	-	0.177
	-	x=0.5Dbrim(停止)	CiiB10	0.166
	-	x=0.5Dbrim(最適運転)	CiiB10	0.166
	-	x=0.5Dbrim(最適運転)	Bare	0.166
無	-	-	-	0.166
	直付け(ファン出口)	-	-	0.19 以上
	x=0.5Dbrim(ロータ面付近)	-	-	0.17~0.18
	-	x=0.5Dbrim(停止)	CiiB5	0.165
	-	x=1Dbrim(最適運転)	Bare	0.167
	-	x=0.5Dbrim(最適運転)	Bare	0.167
	-	x=1Dbrim(最適運転)	CiiB5	0.166
	-	x=0.5Dbrim(最適運転)	CiiB5	0.166

4. 換気用ファンによるトルク試験

どでかファンによるトルク試験結果を受け、第三段階は、より一層実際の排気口に近い環境を構築し、最適な整流板の調査を実施することとなった。換気用ファンとして使用されている産業用送風ファン（三菱電機社製 EG-60FTB、本稿では換気用ファンと呼称）を準備し、同様のトルク試験を実施した（図 14）。

整流板としては、これまで使用してきたハニカムの他に、1 辺 10cm 主流方向長さ 10cm の矩形格子ならびに 1 辺 5cm 主流方向長さ 5cm の矩形格子を作製して用いた（図 15）。また換気用ファンが送出する平均風速が 8.5m/s 近くになるように、ファン回転数を設定した。

図 16 は、換気用ファンによるトルク試験結果である。風車位置 $x=0.5D_{brim}$ と固定し、整流板の有無と種類（5cm 矩形・10cm 矩形・ハニカム）と集風体の有無を変えて、発電出力を計測した。同図から、集風体装着効果に関して、矩形整流板はハニカム整流板と同程度の影響を与えていると思われる。しかし、整流板を装着しない場合が最もよく発電するという結果であった。前述の通り、整流板は、集風体の効果を増進する程度に整流し、かつ風速を過剰に低減しないものが望ましいと考えられる。一方で、図 17 は各ファンと整流板の組み合わせにおける風速分布であるが、特に 10cm 矩形格子の整流板においては、風速を減衰させる様相は見受けられない。この結果は、風速分布の計測点が足りないために風速の減衰を捕捉できていない可能性や、整流板が発電性能に与える悪影響は風速の減衰だけではない可能性を示唆している。後者については、流れの旋回性がロータに与える影響をより詳細に調査する必要がある。図 18

は、風車を排気口（送風ファン）に近接させた場合における発電出力の結果である。同図より、発電出力の向上を求めるなら、整流板はない方がよく、風車位置は排気口に近い方がよいといえそうである。

換気用ファンの消費電力については、風車や整流板によって 4~9%（20~40W）の増加が見られた。これを差し引くと、排風利用発電装置の効果は、最大で 60W ほどのエネルギー回収となる。

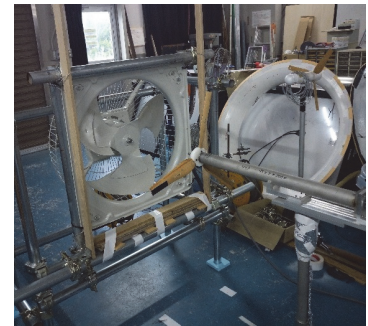


図 14 換気用ファンによるトルク試験

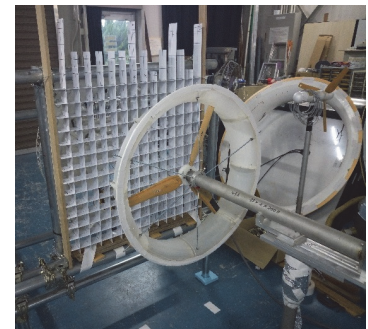


図 15 整流板（5cm 矩形格子）を用いたトルク試験

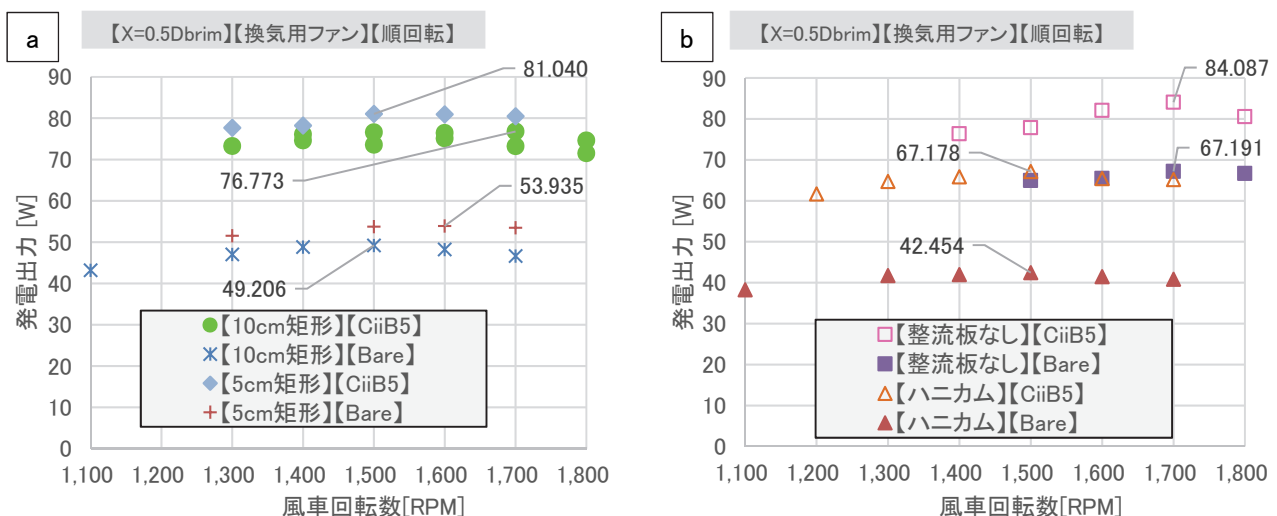


図 16 換気用ファンによるトルク試験結果 1

(a) 整流板の矩形サイズ・集風体有無の比較, (b) ハニカム整流板有無・集風体有無の比較

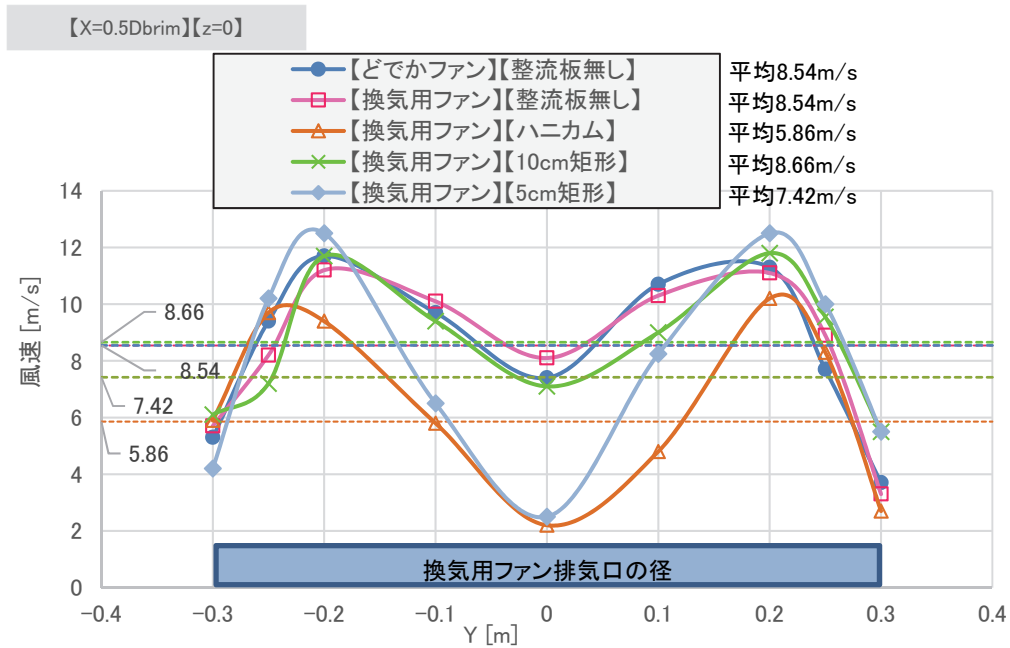


図 17 各ファンと整流板の組み合わせにおける風速分布

5. おわりに

レンズ風車を利用した排風利用発電装置の最適な条件を模索して、送風ファンを用いた風車試験を実施した。発電出力の最大化を考えた際に整流板が不要で、かつ排気口と風車の距離を空ける必要がないという可能性が示されたことは、低コストでの発電装置製造を検討する上で、望ましい結果であったといえる。一方、送風ファンによっては、出口正面に可動する風車を設置した場合に、ファン消費電力の増加が確認されたことは懸念材料である。

今後の課題としては、モーターを用いた発電試験の実施や、送風ファンの消費電力増加抑制に係る方策検討、種類や性質が異なる排気口に広く対応するための要件調査、当該要件を満たす仕様検討が挙げられる。

参考文献

[1] 松島啓二：レンズ風車の研究・開発にかかる風洞実験ならびに閉塞効果の補正について、九州大学応用力学研究所技術職員技術レポート, 15, 33-39, 2014.

謝辞

実験の実施・考察および本稿の作成に際し、九州大学応用力学研究所の大屋裕二特任教授、烏谷隆元准教授、渡辺公彦氏から多くのご教示・ご指導を賜りました。ここに感謝の意を表します。

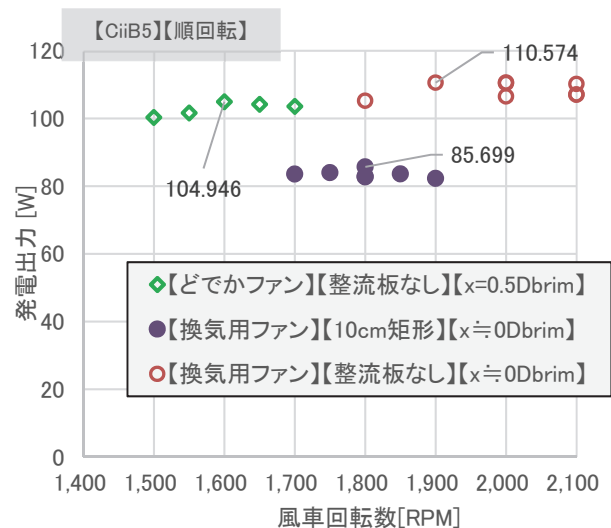


図 18 換気用ファンによるトルク試験結果 2 (風車を排気口に近接させた場合)