

風レンズ技術を用いた風力・水力利用と洋上浮体式自然エネルギーファーム Windlens Technology and Floating Offshore Renewable Energy Farm

大屋 裕二
Yuji OHYA

九州大学 応用力学研究所
Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University

1. はじめに

風車による発電量は風速の3乗に比例する。水力発電がダムによって水のエネルギーを集中させるように、風力発電においても地形や構造体の流体力学的性質をうまく利用して風を増速させ、風エネルギーを局所的に集中することができれば、発電量は飛躍的に増加し、発電適地は拡大し、発電可能日数も増えることが予想される。このように積極的に風のエネルギーを集めることは、従来ほとんど研究の対象とされてこなかった。本研究では、風のエネルギーを効果的に集めるにはどのようにすればよいか、集められた風から有効にエネルギーを取り出すには、どのような風車にすればよいかということの研究目的とした。「レンズ風車」とは、風を集めるという意味をこめて新しい研究の目的を象徴するように与えた名前である。

2. レンズ風車とは

2.1 ディフューザタイプ（拡大型）の集風体

実用化を考えると、単純な構造体で集風効果を生み出したいと考えた。ノズル部（縮小型）、ディフューザ部（拡大型）を基本形として流れの中に置き、中心軸上の速度変化を調べた。その結果、ディフューザ部の入口近くで大きく増速されることがわかった。一般に風を集めようとするとノズル形状の出口付近が最も速い流れが作られるような常識にとらわれるが、結果はディフューザの入口付近で最も増速できることが分かった。しかし、この発見はいわゆる「車輪の再発見」であった。

2.2 「つば」という渦形成板のアイデア

ディフューザ部の長さを長くすると入口付近の風速はさらに速くなるが、短いディフューザで速い流れを作りたいと考えた。そこでディフューザ出口周囲に「つば」と称して、渦形成板を取り付けてみた。普通、物体周囲流を考える場合、主流に対して妨害物となるようなものはつけないのが常識であるが、「つば」の設置はまさに逆転の発想であった。「つば」という渦形成板は、その強い渦形成のため背後に低圧部を生成し、風は低圧部をめがけて流れ込んでくる。そのためにディフューザ入口付近ではさらに大きな増速効果が得られる。図1にその概念をスケッチしている。このようにして集風加速体としての「つば付きディフューザ」（風レンズ）が生まれた^{1,2)}。

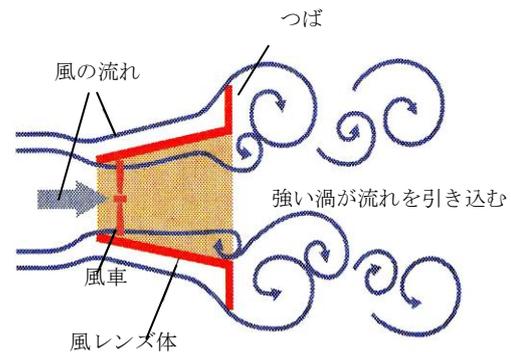


図1. 風速増加のメカニズム

レンズ風車の長所をあげると、

- 2～5倍の高出力を達成（風エネルギーの集中「風レンズ効果」を利用）。
- 「つば」によるヨー制御（出口端の「つば」は、風見鳥のように、風向きの変動に応じて風レンズ風車を回転させ、常に風車が風向きに正対する配置に制御する）。
- 風車騒音の大幅低減（ブレード先端渦がディフューザ内部境界層と干渉し抑制されるという流体力学的メカニズムで、空力音が大幅に低減して騒音は気になることはない^{3,4)}）。
- 安全性の向上（高速で回転する風車が構造体で覆われている）。
- バードストライクを回避できる（ネット装着、発電性能は劣化しない）。
- 集風体の頂部に避雷針（雷害を回避）。
- 優れた景観性（丸い輪が「和」を呼ぶ）。



図2. 3 kW レンズ風車
ロータ径 2.5m、レンズ径 3.4m

3. コンパクトレンズ風車の開発—中型・大型風車への適用を目指して

現在、中型風車への適用を目指して、よりコンパクトなつば付きディフューザ（極端な場合、ほとんどリング状の「風レンズ」になる）の最適形状を検討中である。風洞試験において非常に短いディフューザと適切なつば高さを選定すれば2-3倍の出力増加が得られている。図2にロータ直径2.5mのコンパクトレンズ風車の試作機を示す。これは定格風速10m/sで3kWの発電性能を示している。図3に野外での発電性能結果の一例を示す。図3の $C_w=1.0$ はロータの回転面積を基準にしている。 C_w とは近づいてくる風の運動エネルギーのうち、風車がどの程度を自分の回転エネルギーに取り込めるかを示す割合である。レンズ構造体の外径をとって面積基準にすると $C_w^*=0.54$ になる。普通の高性能な大型風車でも $C_w=0.4$ くらいなので30%大きい値となる。これが意味することは、普通の風車をそのまま大きくし、風レンズの外径まで大きくしてもレンズ風車の出力に追いつくことはできないということである。

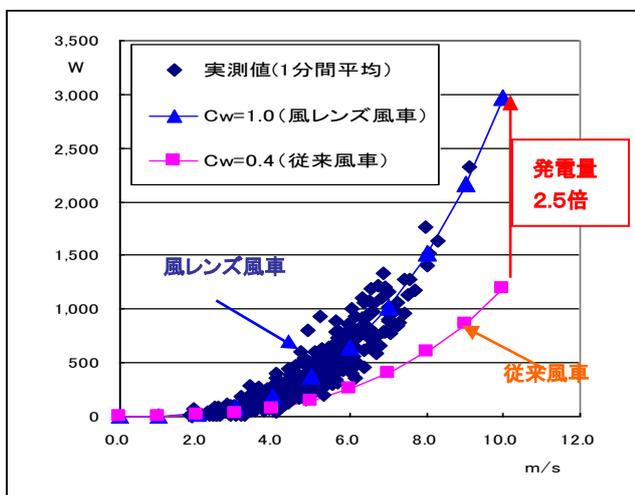


図3. 3 kW レンズ風車の野外試験

4. 風レンズプロジェクト

コンパクトな風レンズを用いて、ここ数年、いくつかのプロジェクトを遂行してきた。

1) 2007-2008年は中国の甘粛省武威という砂漠域で灌漑用発電プラントに6台の5kW レンズ風車を設置した（経産省 NEDO）。

2) 2009-2010年は福岡市との共同試験で、海岸線の好風況を利用し、5kW レンズ風車を百道浜海浜公園3台、みなと100年記念公園に1台設置した。百道浜公園では、風車の電力を利用して携帯電話に充電できる施設がある。

3) 2010-2011年は九州大学の次世代エネルギープロジェクト（文科省）において、レンズ風車の大型化に取り組み、100kWクラスの中型レンズ風車を2基建設し、現在、試験運転中である。

4) 2010-2012年継続中では、環境省地球温暖化対策技術開発・実証研究事業として、風車本体、ブレード、ナセル、集風体ディフューザ（風レンズ）、支柱、発電機、制御器、すべてのパーツを見直し、低コストで最高性能を引き出す新バージョンのレンズ風車を開発中

である。

5) この事業の一環としてレンズ風車の海上展開を図った。日本では、移動可能で係留可能な大型浮体に風力機器を設置することが適している。この将来プラン（洋上浮体式複合エネルギーファーム）では、大型浮体の上で、風力、太陽光の自然エネルギー、浮体の海面下では、潮流、波力などの海洋エネルギーを取得できる高密度複合エネルギー洋上ファームを構想している。その第一歩として、平成23年12月に博多湾に直径18m程度の浮体を浮かべ、浮体式小型複合エネルギーファームを実現した。図4にその概要を示す。第2ステージの構想は、図4の浮体の6倍大きい120m径の三角径浮体を玄海灘へ浮かべる。350kW レンズ風車と太陽光で2MWの浮体式再生可能エネルギーファームを実現する。

6) 2012年8月から、NHKとの共同研究で無停電ロボットカメラシステムを研究開発し、検証実験中である。当研究所は1kW レンズ風車を開発提供している。設置場所は宮城県亘理町。津波で唯一生き残ったビルの屋上に設置し、当該地区の太平洋、仙台地区の復興を24時間体制で映している⁵⁾。

7) 河川や潮流など、水中ではレンズ水車になり得る。同じ流体なので全く同様な高出力性能を示す。水は年中流れるので設備利用率が非常に大きな値となる。



図4. 博多湾海上浮体と3kW 風レンズ風車2基とソーラーパネル2 kW（浮体直径18m）

参考文献

- 1) 大屋裕二, 「新型風車あれこれ—風レンズ風車—」, ターボ機械, 33-7, pp. 59-62, 2005.
- 2) Ohya, Y., Karasudani, T.: A Shrouded Wind Turbine Generating High Output Power with Wind-lens Technology, Energies 3, pp. 634-649, 2010.
- 3) Abe, K., Kihara, H., Sakurai, A., Nishida, M., Ohya, Y., et al.: An experimental study of tip-vortex structures behind a small wind turbine with a flanged diffuser, Wind and Structures, pp. 413-417, 2006.
- 4) 福岡市「緑の分権改革」推進事業委託業務報告書、平成23年2月、財団法人九州環境管理協会, pp. 71-90.
- 5) 2012年8月29日【NHK報道発表】自然エネルギーロボットカメラ