

レンズ風車と洋上浮体式複合エネルギーファーム

大屋 裕二

風力エネルギーの有効利用に関する研究である。特色は、風エネルギーを集中させて風力発電の効率を飛躍的に高めた新しいタイプの風力発電システムの開発（レンズ風車と名付けた）と、数値風況予測の高精度シミュレータ（リアムコンパクトと名付けた）にある。数年に亘る研究の結果、従来の風車と比べ、2.5 倍の発電出力の増加を達成し、小型（1.5 kW 機）・中型（100 kW 機）のレンズ風車を開発した。風力エネルギーのより大きな獲得のため、海上展開を図った。博多湾に直径 18 m の六角形浮体を浮かべ、3kW レンズ風車 2 基と 1.5 kW ソーラーパネルを搭載した世界で初めての浮体プラットホーム式のエネルギーファームを実現した。

キーワード：風力エネルギー，風力発電，レンズ風車，数値風況予測，海上浮体，浮体式風力発電，複合エネルギーファーム

1. はじめに

地球環境問題と同時に、昨今では化石燃料の代替、原子力依存からの脱却というエネルギー確保の問題から再生可能エネルギーの開発利用に大きな期待が寄せられている。再生可能エネルギーは言葉の通り、無尽蔵に利用でき、かつクリーンである。環境省の 2011 年 3 月の報告書にもあるように、日本においても風力エネルギーのポテンシャルはずば抜けて大きい。年間平均風速が 6.5 m/s 以上の適地に絞りこみ、かつ国土利用や広大な面積が必要（新エネ機器は面積機器とも呼ばれる）など、いろいろな制約を考慮しても、約 2 億 kW の電力を生ずることができる。これは日本の電力 10 社の最大出力とほぼ匹敵する。最近、世界では新規の電源設置において風力が第 1 位になっている国が多い（例えば米国も）。

エネルギー安定供給の観点からは、風力だけ突出することはなく、太陽光、地熱、水力、バイオをそれぞれの寄与で利用できれば、再生可能エネルギーだけで日本の総需要の電力を賄うことは可能である。

風力産業界における最近の動向は、海上への進出と風車の大型化である。現在は 2-3 MW 機が主流であるが、海上風力発電では、5 MW 機、10 MW 機の開発に着手されている。しかし、大きいことはそれほどいいことであろうか？現在の 2 MW-3 MW 機から 5 MW 機以上へ大型化するには、新材料の新ブレードの開発、

タワーの強度、メンテナンスなど多数の困難な問題を克服せねばならない。以下に紹介するのは、従来の開発済みのブレード長さで、5 MW 機の出力を可能にする一つのアイデアである。

2. レンズ風車とは

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ことによって成立するように、風力発電においても地形や構造物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を研究目的とした。「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。

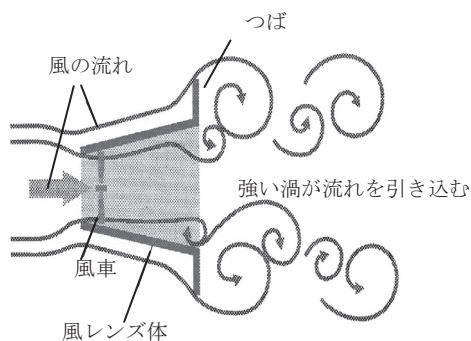
(1) ディフューザタイプ（拡大型）の集風体

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き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) 「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。図一1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)}。



図一1 風速増加のメカニズム

レンズ風車の長所をあげると、

- ① 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）。
- ② 「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）。
- ③ 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らない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）。

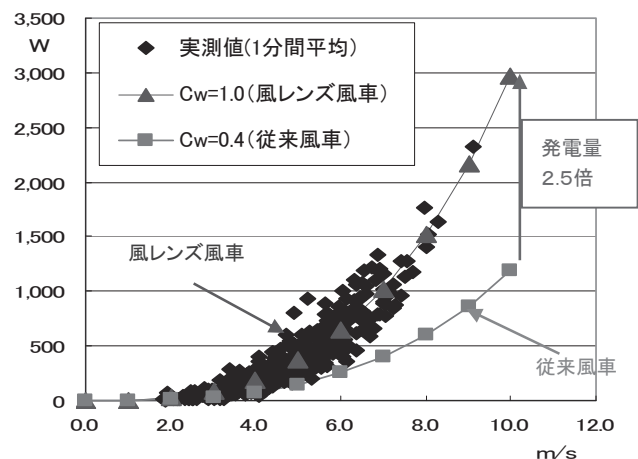
- ⑤ バードストライクを回避できる（ネット装着、発電性能は劣化しない）。
- ⑥ 集風体の頂部に避雷針（雷害を回避）。
- ⑦ 優れた景観性（丸い輪が「和」を呼ぶ）。

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にしてもその最適形状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。図一2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。図一3に野外での発電性能結果の一例を示す。図一3の $C_w = 1.0$ はロータの回転面積を基準にしている。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 $C_w = 0.4$



図一2 3kW レンズ風車



図一3 3kW レンズ風車の野外試験

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。

4. プロジェクト実施例および今後の展開

(1) 福岡市との共同研究—海に面した都市における風力エネルギーの利用

福岡市環境局との共同試験で、2009年11月に、5kW レンズ風車（定格風速12m/s）を百道浜海浜公園に3台（図一4）、みなと100年公園に1台設置した。海に面した福岡市は（図一5）、その海岸沿いでは、小型風車のハブ高さの12mにおいても、年平均風速が4m/s程度を期待できる場所がある。実地形のGIS（地理情報システム）を利用した数値風況シミュレータのリアムコンパクト⁴⁾で風況解析した。室見川河口付近では、風が収束し、風車立地には良い風況になっていることがわかった。このような小型風車を建設可能な場所を数カ所ほど選定し、小型分散電源として風力エネルギーの利用を図る計画である。



図一4 福岡市百道浜海浜公園に設置した5kW レンズ風車



図一5 大きな河口（室見川）がある海岸線（福岡市，百道浜海浜公園）

(2) 九州大学次世代エネルギープロジェクト

九州大学伊都キャンパスにおいて水素生成のためのクリーンエネルギー源としてレンズ風車の有効利用プロジェクトが進んでいる。将来は水素社会が到来すると期待されるが、水素は2次のキャリアである。この水素を風力や太陽光などのクリーンなエネルギーで生成し、エネルギーの生成から消費までの全体システムをCO₂、温暖化ガスをなるべく排出しないエネルギー循環システム構築の試験が始まっている。図一6に示すように次世代エネルギー実証施設として100kW レンズ風車を開発中である。これはロータ直径が約13mで、通常の100kW風車の3分の2の大きさである。したがって騒音源としての規模も小さく（面積比例なので半分以下になる）、さらに2.(2)節の長所③（レンズ集風体のわかきによるブレード先端渦の抑制）とあいまって、同出力の従来風車に比べ格段と低騒音になることが実証されつつある。



図一6 100kW レンズ風車（定格風速12m/s，九大伊都キャンパス）

5. 洋上浮体式複合エネルギーファームを目指して

すぐに深くなる近海を有する日本では、ヨーロッパのような着床式の洋上風力発電は困難である。そこで浮体式風力発電が計画されている。現在、日本で進行中の浮体式風力発電には3種類ある。ケース1は、ブイに風車がとりつけてあるスパー式で、浮きのように直立して浮かぶ。長崎県五島市桃島の沖合1kmに出力100kWから始めて将来は2MW級の風車をスパー式で浮かべる予定である。ケース2は、福島県の沖合30-40kmに2MW級6基ほどで構成されるウインドファームの計画である。これは周辺に配置した複数の浮体で一基の大型風車を浮かせる方式になると予想される。

ケース3としては、ここで紹介するように本格的な

大規模浮体をプラットフォームとして浮かべ、これに風車、太陽光、波力、潮流などを複合したエネルギーファームとして使う。また、大面積の浮体を利用して、海洋牧場、植物工場、電気船の充電基地、資源探査基地などの多目的利用を考える。したがって、先のケース1、2の浮体式風力発電構想とは一線を画する。この移動可能で係留可能な大型浮体の技術はメガフロートとしてほぼ確立している。あとは50-100年のインフラとなるような構造材料が必要である。現在、その芽は出現している。セミサブのトラス構造としての大型浮体を特殊コンクリート製、あるいは防錆性が優れた鉄製海洋構造物で製作可能である。コンクリート、鉄、それぞれ長所、短所があるが、それらの長所を組み合わせたハイブリッド浮体構造物のコンセプトが有望である。しかし、当面は海上における耐波浪、衝突強度特性のデータ蓄積から鉄製構造物で製作される可能性が高い。現在、これらのコンセプトをデザイン中である。

また、レンズ風車の大型化に関して、ロータ直径90 m級がCFRPなどの炭素繊維材料を用いれば、レンズ体が構造力学的に可能と評価されている。発電量は5 MWクラスである。これを洋上に数十台規模で配置すれば、小さな原発一基分相当になる。レンズ風車が大型化される場合、レンズ集風体は台風時に大きな風荷重を受ける。

したがって比較的小さなつば高さにして風荷重を小さくし、かつ、レンズ風車の支え方も従来のモノポール方式とは全く異なり、多点支持を採用する予定である(図-7, 8)。

洋上風力発電、洋上エネルギーファームの普及は二つの方向で進むと考えられる。一つは、小型・中型の分散型電源としての確立である。この発電定格は数MWクラスになる。以下のステージIIで説明してい

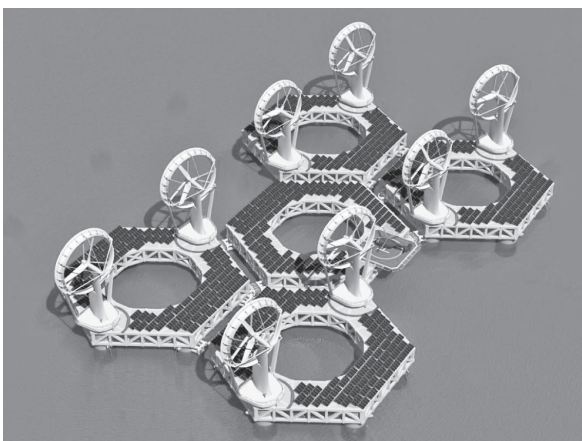


図-7 洋上浮体式複合エネルギーファーム(浮体80 m直径の連結、風力200 kWレンズ風車と太陽光で数MW級の実用型エネルギーファーム)

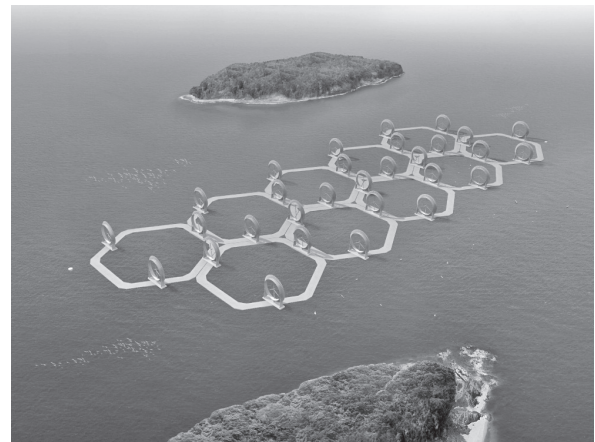


図-8 洋上浮体式大規模風力発電ファーム構想図⁵⁾
(九大 SCF 研究会提供)

る規模である。これは沿岸の沖合数 km 以内で、すでに離島に向けての海底ケーブルが敷設されているところが望ましい。沖合で発電した電力をエネルギー変換することなく、系統連系で陸地へ送り、沿岸部地域の数百世帯の電源を賄う。つまり、ローカルなスマートグリッドシステムのためのエネルギーファームである。

二つ目は、かなり遠洋に出て、大規模浮体で大規模なエネルギー創出を行う。これをなるべく高効率な方式でエネルギー変換して船で陸地へ運ぶ。大都市、大産業地域への大電力の輸送である。遠海での浮体基地は、海上都市、資源探査基地、遠洋漁業の中継基地などとして利用されるだろう。

本格的な洋上浮体式複合エネルギーファーム実現のため、ステージIを計画し、実行した。現在、ステージIIを検討中である。

i) ステージI:平成23年3月、九州大学応用工学研究所の大型水槽で、そのモデル試験の第1歩を踏み出した。モデル実験での様々な試行錯誤を重ね、平成23年12月4日、博多湾に直径18 m程度の浮体を浮かべ、3 kW レンズ風車2基および太陽光パネル1.5 kW を搭載した浮体式小型複合エネルギーファームを実現した(図-9)。現在、風力、波浪、浮体動揺など種々のデータを取得中である。

ii) ステージII:ステージIでの浮体式エネルギーファームで取得中の様々なデータの解析をしながら、次の実用化規模の浮体式エネルギーファームを計画している。図-7に示すように、浮体規模は約80 m、複数連結型にする。この上に200 kWクラスのレンズ風車、計1 MW級の太陽光パネルを設備し、3 MW級の浮体式複合エネルギーファームとする。この電力を数 km 離れた陸地へ海底ケーブルで送る。

海洋国家の日本がエネルギー自給の道、および



図一 博多湾プロジェクト(ステージI) 2011
18 m 直径浮体, 3 kW レンズ風車 2 基, 1.5 kW 太陽光パネル, 計 7.5 kW エネルギーファーム

1990 年比で 25% の CO₂ 削減を探るため, 洋上風力, 洋上太陽光発電, 波力, 潮流発電の洋上浮体式複合発電ファームの道を開拓したい。

6. おわりに

新しく開発したレンズ風車というもの, この将来への可能性について論じてきたが, 何よりも, 尖ったブレードが回る風景が, 周囲の風レンズの「輪」によって, より景観になじむ「和」が演出されると筆者は思う。

日本では太陽光発電への支援が圧倒的に大きい。し

かし, 世界に目を転じると, 風力産業は自動車産業に次いですでに第 2 位の産業へと発展している。機械産業なので, そのすそ野はひろい。中小メーカーなどへの波及効果が大きく, 大きな雇用拡大のチャンスもある。イソップ物語の「北風と太陽」は最後の一文が削除されて全く違った意味に解釈されている。本来, 太陽と北風は同列で, 適材適所と現代の新エネ利用に訴えていると思う。

現在, 地球環境問題, エネルギー問題に加えて, 経済危機, 社会の不安定, 貧富の格差など, 山積する世界の問題の中で地球は疲弊しきっている。それを引き起こしている人間もひどい有様だ。

しかし, アメリカのエイモリー・ロビンス, トーマス・フリードマンなどが提言しているように, 一つの光明が見出せる。それは環境産業, 特に新エネルギー産業への産業パラダイムシフトであろう。第 1 次が石炭と蒸気動力による大英帝国の反映, 第 2 次が石油の発見によるアメリカ発の機械文明, いずれも地球資源を収奪する産業構造である。石炭・石油という化石燃料依存と決別する低炭素社会に向けて, 現在の産業の転換は第 3 次産業革命と言われるかもしれない。自然と共生可能な産業社会になるのであろうか。イギリスのラブロックによるガイア仮説というものがある。地球はバクテリアから哺乳類, この大気圏, 水圏を含み, 一個の超生命体である。人類と自然が共生していくためには, 人間を中心としたエコロジーから地球を中心としたエコロジーへ視点の転換が必要である。

JCMA

《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) 内田孝紀, 大屋裕二, 諏訪部哲也, 李貫行: 非定常・非線形風況シミュレータ RIAM-COMPACT によるウインドファーム風況診断の提案, 日本風力エネルギー協会誌, Vol.30, No.2, 通巻 78, pp.101-108, 2006.
- 5) 太田俊昭 (九州大学名誉教授), 洋上風力・太陽光発電の道, 発行者: 加藤尚彦 (NGOAECS 代表理事), 2009 年 5 月.

【筆者紹介】

大屋 裕二 (おおや ゆうじ)
九州大学
応用力学研究所
教授

