



講演概要

「風レンズ技術を用いた高効率風車の開発と今後の展望」

風レンズ風車とは、風車の周囲に簡単な構造の集風体を装着して、風車翼に当たる風を強め、風車の発電性能を飛躍的に高める風力発電装置である。この集風体を装着した風レンズ風車では、通常と同サイズの風車と比較して約2-5倍の発電出力を達成している。

この高効率風レンズ風車を用いて、風力エネルギーの有効利用を図るために実施中のいくつかのプロジェクトを紹介し、また、今後の発展の可能性を示唆する。

現職：九州大学応用力学研究所 新エネルギー力学部門 部門長
風工学分野 教授

学歴

昭和51年3月 九州大学工学部航空工学科卒業
昭和51年4月 九州大学大学院工学研究科応用力学専攻修士課程入学
昭和53年3月 同上修了
昭和53年4月 九州大学大学院工学研究科応用力学専攻博士後期課程進学
昭和56年3月 同上単位修得の上退学

職歴

昭和56年4月 九州大学助手(応用力学研究所)
昭和59年4月 熊本大学助手(工学部)
昭和61年3月 熊本大学講師(工学部)
昭和61年4月 九州大学助教授(応用力学研究所)
昭和61年4月 九州大学大学院工学研究科授業担当
平成2年6月 九州大学大学院総合理工学研究科授業担当
平成9年4月 九州大学教授(応用力学研究所)
平成9年4月 九州大学大学院工学研究科指導教官
現在に至る

学位

昭和58年12月 工学博士(九州大学)
論文題目 「一様流中に並列配置された複数物体の後流干渉に関する研究」

受賞

平成11年3月 日本風工学会論文賞受賞
平成17年(2005年)12月 Hopes for the future for a sustainable world awards, The International Union of Air Pollution Prevention & Environmental Protection Associations
平成17年(2005年)4月 日本流体力学会フェロー
平成19年3月 日本風工学会技術賞受賞
平成20年5月 文部科学大臣賞科学技術賞受賞
平成21年2月 日本流体力学会技術賞受賞

学会

昭和51年4月 日本航空宇宙学会入会
昭和53年4月 日本流体力学会入会 現在に至る
昭和56年4月 土木学会入会 現在に至る
昭和56年4月 日本風工学会入会 現在に至る
昭和62年4月 日本航空宇宙学会論文編集委員会委員(～平成元年3月)

昭和63年4月 土木学会構造工学委員会風洞実験相似則検討小委員会委員
昭和63年6月 土木学会構造工学委員会耐風設計研究小委員会委員 現在に至る
平成1年8月 土木学会構造工学委員会耐風工学連絡小委員会委員 現在に至る
平成3年4月 日本気象学会入会 現在に至る
平成3年8月 土木学会構造工学委員会「風工学における数値計算の応用と評価」研究小委員会委員 現在に至る
平成4年12月 日本風工学会流体実験相似研究会委員 現在に至る
平成5年9月 日本風工学会大気環境研究会主査 現在に至る
平成6年5月 日本風工学会評議員 現在に至る
平成8年5月 土木学会応用力学委員会乱流研究小委員会委員 現在に至る
平成8年12月 日本風工学会CWE研究会(風工学における数値計算手法の研究会)委員
平成12年4月 日本流体力学会理事(～平成14年3月)
平成14年4月 日本風工学会理事(～平成16年3月)

社会

平成5年4月 福岡県新北九州空港連絡橋技術専門委員会耐風設計分科会委員(～平成7年3月)
平成10年1月 福岡県公害審査会委員(～平成16年3月)
平成10年1月 通産省工業立地及び工業用水審議会公害部会大牟田地区大気専門委員会委員(～平成11年3月)

応用力学研究所
教授 大屋 裕二

1. 高出力風レンズ風車の開発

1.1 風レンズとは

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の研究目的とした。「風レンズ」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。

1.2. 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。図1のようにノズル部(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。ノズル部、ディフューザ部の開き角度は8度程度である。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わかった。しかし、この発見はいわゆる「車輪の再発見」であった。

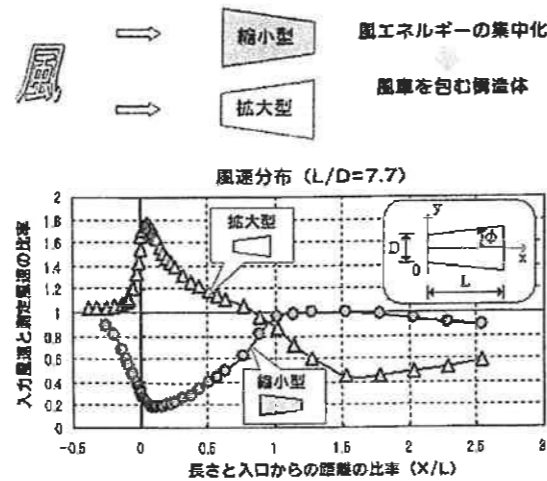


図1. 集風構造体としてディフューザの選択

1.3. 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、風は低圧部をめぐって流れ込んでくる。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2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⁾。

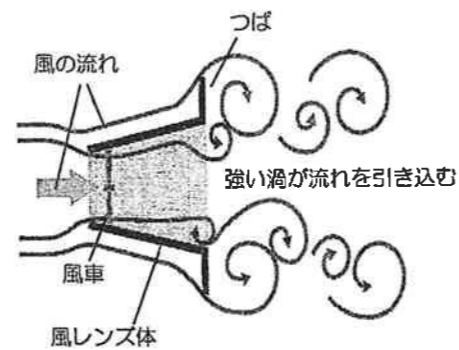


図2. 風速増加のメカニズム

風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(ブレード先端からの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ほとんど気にならない²⁾)。

- 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) パードストライクを回避できる(ネット装着、発電性能はほとんど劣化しない)。
- 6) 集風体の頂部に避雷針(雷害を回避)。
- 7) 周囲の環境になじむ景観性(丸い「わか」)。

1.4. プロトタイプ機のフィールド実験

ロータ直径0.7m(定格500W)(図3)のプロトタイプ機を製作し、九大応力研の空き地に実験タワーを建設し、風速、発電出力のデータを取得した。図3(後の図5も)の凡例にある C_w という無次元係数は、風車の出力性能を示すパラメータで(発電量/風車ロータ面を通過する風の運動エネルギーフラックス)の比を意味する。通常風車は $C_w=0.3-0.4$ 程度である。図3に示すように自然風中においても風車単体に比べ約5倍の発電出力が得られている。風レンズ風車が回っている様子は下記のホームページアドレスで見ることができる。

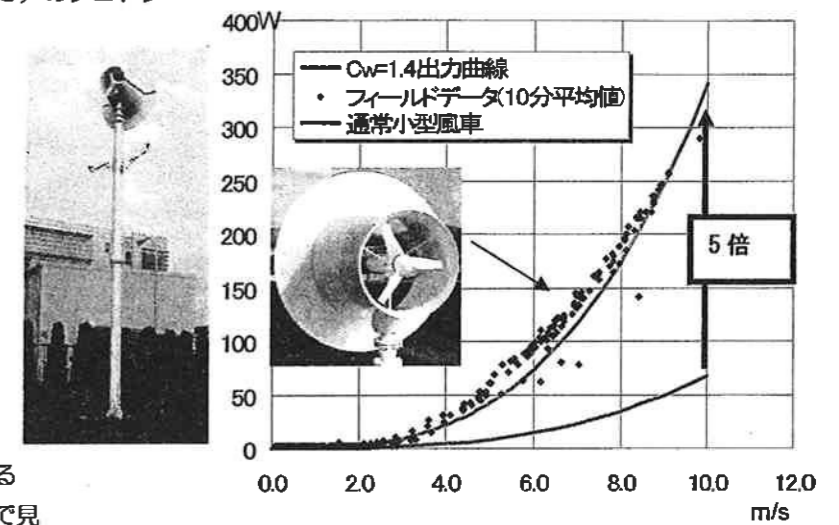


図3. 500W 風レンズ風車の野外実験結果

<http://www.riam.kyushu-u.ac.jp/windeng/japanese-j.html>

2. コンパクト風レンズ風車の開発-中型・大型風車への適用を目指して

現在、100kW級の中型風車(ロータ直径13m程度)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4にロータ直径2.5mのコンパクト風レンズ風車の試作機を示す。これは定格風速12m/sで6kWの発電性能を示している。図5に野外での発電性能結果の一例を示す。図5の $C_w=1.0$ はロータの回転面積を基準にしている。風レンズ構造体の外径をとって面積基準にする



図4. 5 kW 風レンズ風車

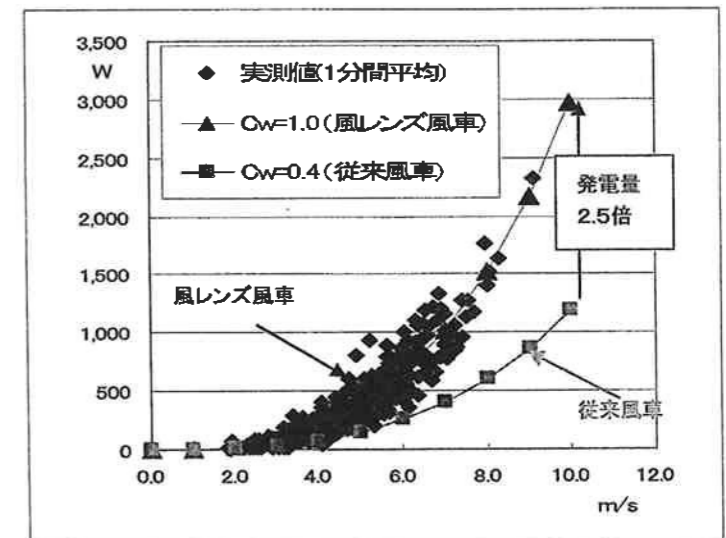


図5. 5 kW 風レンズ風車の野外試験

と $C_w=0.64$ 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風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。あとさらにブレードを16%以上長くしなくては同等な出力が得られないということの意味する⁹⁾。

3. 実施例および今後の展開

3.1. 中国の砂漠域への設置

風レンズ風車の技術開発とその応用に関連した国際共同研究も進行している。これは NEDO の提案公募型開発支援研究協力事業で、事業名は「中国における灌漑用の分散型安定電源として活用するための風レンズ風車技術の開発」である。共同研究コンソーシアムの構成メンバーとしては、日本側：九州大学、中国側：清華大学、甘肅自然エネルギー研究所(国連工業発展組織)である。事業内容は、中国の西北部地域に潜在する膨大な風力エネルギーを有効利用して中国の広大な砂漠域の緑化事業の第一歩を踏み出す。分散型電源のネットワークとして構成し、バッテリー等を用いた電力貯蔵技術と組み合わせてマイクログリッドとしての電力の安定供給を図り、地下水汲み上げ灌漑システムのミニプラントを構築する。このプラントによって砂漠域の植林・緑化に着手し、その有効性を検証するというものである(図6)⁴⁾。

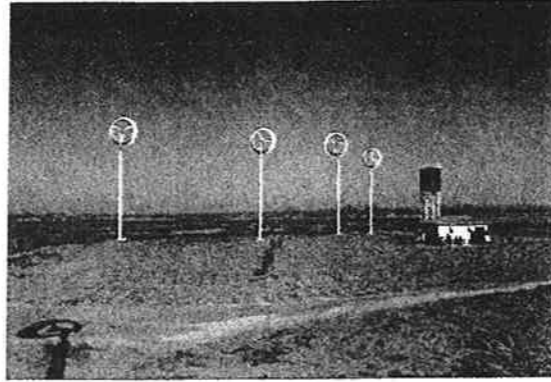


図6. 中国甘肅省の砂漠に灌漑目的で建設した5kW 風レンズ風車ウィンドファーム

3.2. 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 風レンズ風車を百道浜海浜公園に3台(図7)、みなと100年公園に1台設置した。海に面した福岡市は(図8)、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。図8の実地形をGIS(地理情報システム)を利用したリアム・コンパクトで風況解析した結果が図9である⁵⁾。図9で見られる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る。このような小型風車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。

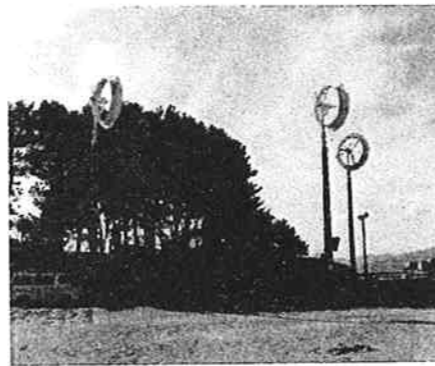


図7. 福岡市百道浜海浜公園に設置した5kW 風レンズ風車



図8. 大きな河口(室見川)がある海岸線(福岡市、百道浜海浜公園)

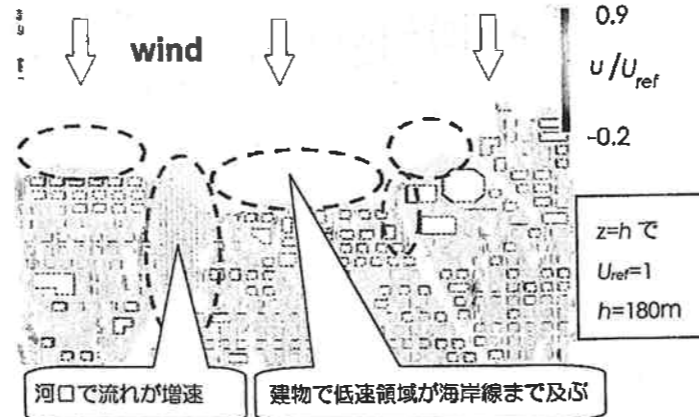


図9. 図8の実地形に対してリアム・コンパクトで風況解析した結果。地上高さ15mの風況

3.3. その他のプロジェクト - 風レンズ風車の大型化

同時に、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風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。また、風レンズ風車による電気自動車運用プロジェクト、また、次世代エネルギー実証施設として100kW 風レンズ風車を開発中である(図10)。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1.3節の長さ(風レンズ集風体のわか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期待される。

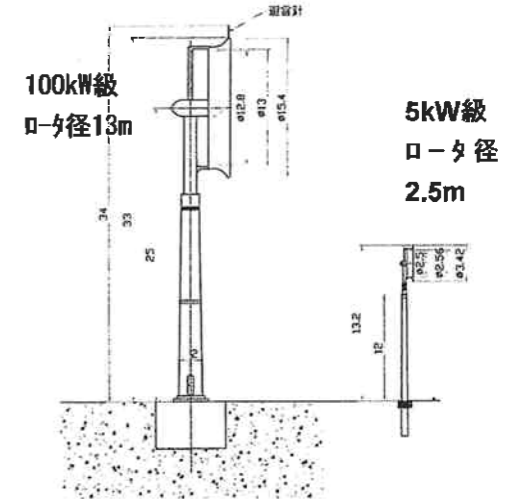
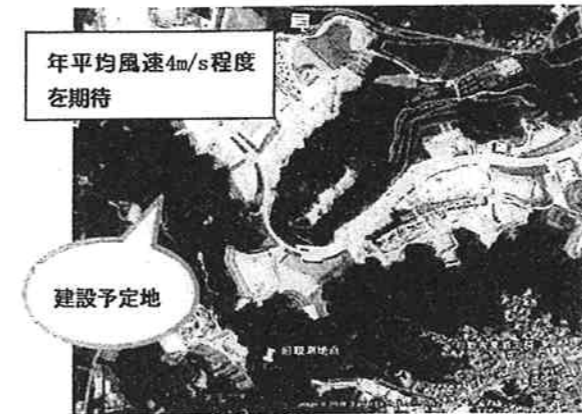


図10. 次世代エネルギー実証施設、九州大学伊都キャンパス、2010年竣工予定

3.4. 海外への展開

英国では、2011年よりグラスゴーにおいて、5kW 風レンズ風車の認証試験を実施する。同時にロンドン大学UCLと共同研究で、航空ドップラーレーダーの風レンズ風車への干渉試験を実施する。地方空港付近ではレーダースクといつて、風車のブレード回転が小型航空機の離発着と誤認される問題が頻発している。これを解決できる唯一の風車として風レンズ風車が期待されている。また、複数のエコパークPJ(日英修好150周年記念事業、2011年着手予定)が計画されている。カナダでは、Moncton大学の風力研究所との共同試験も2011年度始まる計画である。これで北米向けの認証試験が行われる。米国：ウイコンシン大学の小型風車ウィンドファームPJへの参加が計画されている。中国：上海の揚子江河口、そん明島エコアイランドPJ(九州大学東アジア環境研究機構)、海南島プロジェクトなどが挙げられる。

4. 洋上風力発電を目指して

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底式の洋上風力発電は困難である。一方、移動可能で、係留可能な大型浮体の技術は他国に先がけ研究が進んでいる。あとは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。SCF研究会(スーパーカーボンファイバー研究会、代表：太田俊彦、九州大学名誉教授)では、従来のCFRP(炭素繊維材料)より、曲げ、圧縮力、接合力が強い画期的な第2世代CFRPを開発している。これを用いれば、図11のようなセミサブの大型浮体をコンクリート製で製作可能である。コンクリートの芯材としてSCF(第2世代CFRP)が鉄筋の替わりに使用される。非鉄系構造物で錆びない。また、風レンズ風車の大型化もロータ直径100m級が構造力学的に可能と評価されている。発電量は10MW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⁶⁾。風レンズ風車が図11のよう

に大型化される場合、風レンズ集風体は台風時など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（ロータ直径の5%程度）にして風荷重を小さくし、かつ、風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、図11のような多点支持が予想される。海洋国家の日本がエネルギー自給の道、および1990年比で25%のCO₂削減を探るには、洋上風力、洋上太陽光発電の道しかないと思われる。

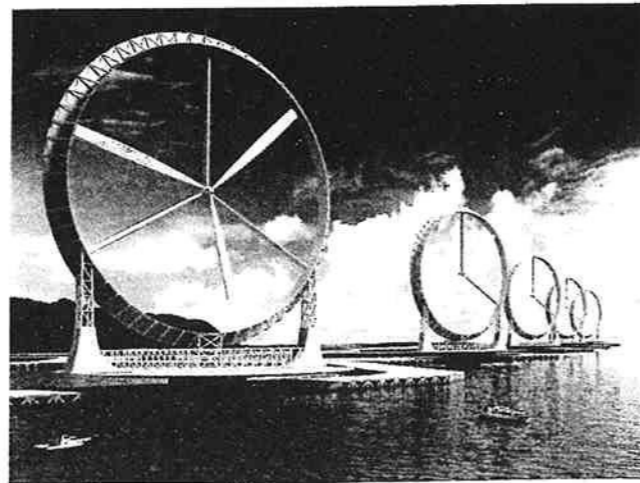


図 11. 将来の洋上風力発電 CG(コンクリート製大型上の大型風レンズ風車 10MW 級)、ロータ直径 120m 程度

5. おわりに

上記で紹介した風レンズ風車の研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の「資料・データベース」において、「高出力風レンズ風車の開発」 FOCUS NEDO, Vol. 5, No. 19, pp. 17-18 (May, 2005) に紹介されている。幸

いに 2007 年に日本風工学会技術賞、2008 年文部科学大臣賞科学技術賞、2009 年日本流体力学会技術賞、最近では文科省科学技術政策研究所によって第 1, 2 期科学技術基本計画 2001-2008 における公的機関研究成果のベスト 39 に選出された。新聞記事、TV 報道、雑誌 (Time 誌 2006. 11. 20 号) も数多い。

風力エネルギー利用の研究に関して、このような大学内を横断した風レンズグループのプロジェクト研究、また国際共同研究へと発展していくとは当初は全く考えていなかった。最初は少人数の議論から始まり、メーリングリストでの自由な意見交換、研究会での活発な議論が新しいアイデアを生み、いろいろな専門分野の人が加わって、また実用化のために産学連携の意義を知り、共同研究がいかにか有効に機能していくか貴重な経験をしつつある。これも風力発電という研究が総合工学の端的な一例であるためと思われる。

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。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ルギー利用に訴えていると思う。

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) 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.
- 3) Y. Ohya, T. Karasudani: A Shrouded Wind Turbine Generating High Output Power with Wind-lens Technology, Energies 2010, 3, 634-649.
- 4) Zhang, X., Xi, W. H., Ohya, Y., Karasudani, T., Li, S.: Development of a Highly Efficient Wind Turbine Farm with Wind-Lens Technology for an Irrigation System in a Desert Area in China, Proc. of Global Wind Energy Conference, Beijing, China, 2008.
- 5) 内田孝紀、大屋裕二、諏訪部哲也、李貴行: 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.
- 6) 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 (NGOAEGS 代表理事)、2009 年 5 月。