

新しい風力発電システムとその導入技術の開発、将来展望：風力と太陽光の同時利用を可能とする再生エネ機器へ

大屋， 裕二
九州大学応用力学研究所

<https://hdl.handle.net/2324/2328863>

出版情報：新金属工業. 62 (406), pp.1-11, 2018-07. 新金属協会
バージョン：
権利関係：



解 説

新しい風力発電システムとその導入技術の開発、将来展望

— 風力と太陽光の同時利用を可能とする再生エネ機器へ —

九州大学応用力学研究所 特任教授

大 屋 裕 二
(Yuji Ohya)

1. はじめに

世界では、化石燃料利用の社会から再生可能エネルギー利用の社会への大きな転換が進んでいる。再生エネルギーの発電コストは確実に低下し、欧米では石炭火力、LNG火力より安くなっている。太陽光、風力の導入が急激なスピードで進み、世界風力会議（GWEC）によると、2016年では大型風車30万台が4億8700万kW（原発450基分）を発電し、世界電力需要の4%を供給している。洋上風力も1440万kWに達し、5MW-8MWの超大型風車が寄与している。市場は欧米からアジア、新興市場へ、特に中国の拡大が大きい。米国では2011年以降、陸上風車で2-4セント/kWhの発電コストまで下がっている。欧州では洋上風力でも7-8円/kWhと10円を切っている。

一方、日本ではFITの支援にも拘らず、風力導入は2017年末で340万kWにとどまっており、発電コストも依然高い。周辺を海に囲まれている日本では洋上風力への期待が大きい。全国で着底式が少しずつ導入され始めた。海岸線からすぐ深くなる日本の周辺海では浮体式が期待され、福島沖、長崎県五島沖、北九州響灘のプロジェクトで大きなはずみをつけようとしている。技術的課題、高コストの課題があるが日本の将来の風力普及を担っている。

風車産業における技術面では、3枚翼でアップウィンド式が主流となる一方、発電機、増速機、タワーなどは多様性に満ちている。ロータ直径が160mにも及ぶ超大型化に関しては翼材料の技術開発が貢献する。炭素繊維の部分採用も拡大して

いる。発電機では永久磁石型同期発電機が一般化し、これに伴ってギアレスも増加している。風車産業の主流は、陸上に加えて超大型化と洋上風力の拡大にあり、陸上と洋上の技術的棲み分けが顕著である。陸上では低風速域用技術（大きなロータ径と高いハブ高さ）、洋上では超大型機で大規模ウィンドファームが追及されている。今後もこの傾向が続く。風車はかなり成熟してきた機械産業と言えるが、陸上風車、海上風車ともに、すべての風力システムでグリッドパリティを超えるべく、まだ多くの技術革新が待たれる。

小型風車の定義はロータ受風面積が200m²以下、ロータ直径が約16m未満の風車システムである。発電性能係数を $C_p=0.4$ 程度とすると、定格風速10m/sで50kW以下の風車システムとなる。小型風車は多種多様である。水平軸風車、垂直型風車、シュラウド付き風車、マルチロータシステムなどである。分散型再生エネの社会が現実になっていく今、小型風車もその価値を取り戻しつつあり、世界中で導入が伸びている。風力は太陽光と違って風況予測という導入技術が重要である。特に小型風車ではハブ高さが20mもないので、当該地域が好風況と言えども導入サイト周辺の地形、地物に影響される。したがって、小型から大型風車まで、風力利用は風況予測と高性能風車のソフト、ハードが相まって初めて有効となる。

九州大学応用力学研究所を中心に風力エネルギーの有効利用に関する研究を行っている。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）とそのクラスタ

化、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。また、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。最後に、太陽光と風力を同時利用できる「ウィンドソーラータワー」と呼ぶ画期的な再生エネ機器を紹介する。ここ数年、研究開発の基本コンセプトは「小は大を兼ねる」および「統合利用」というキーワードである。基本的には小・中スケールの風車を用いる。小・中スケールの浮体でよい。社会受容性に配慮し、これらを適切規模へクラスタ化し、あるいは統合化して、必要なスケール、必要な発電容量へ組み合わせるという発想である。

2. レンズ風車とは

ここでは当研究所で行ってきた風力に関する研究開発について、テーマ毎にその現状、将来展望を説明する。

風車による発電量は風速の3乗に比例する。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する。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。

2.1 「つば」という渦形成板のアイデア

ロータをディフューザで覆う風車を考案した。ディフューザとは、入口から出口に向かって拡大する管である。さらに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。「つば」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大きな増速効果が得られる。図1に小型レンズ風車、図2にそのメカニズムをスケッチする。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)}。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）。出力増加はディフューザの長さ、および「つば」高さに依存する。

② 「つば」によるヨー制御（出口端の「つば」は、風向きの変動に応じて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なる）。

③ 風車騒音の大幅低減（ブレード先端渦自身がディフューザ内壁で反対渦度の誘導渦を生成し、干渉して抑制される。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 鳥が風車に衝突するバードストライクを減じる（鳥は風レンズと呼ぶ「輪っか」が見える。その中に飛び込まない）。

⑤ 優れた景観性（丸い「輪」が「和」を呼ぶ）。

上記①－②のメカニズムは空気中も水中も同様に働き、「レンズ水車」として、河川、潮流発電にも応用することができる。水中では台風のような極限流体荷重はあり得ないので、レンズ水車に長いディフューザを採用し、従来水車の4－5倍の発電出力を獲得できる。



図1 3kW レンズ風車（集風型風車）

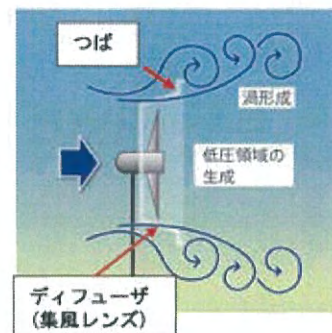


図2 風レンズのメカニズム。つば背後の渦形成で低圧部を生じ、風はその低圧部に向かって流れこみ、風を集める。

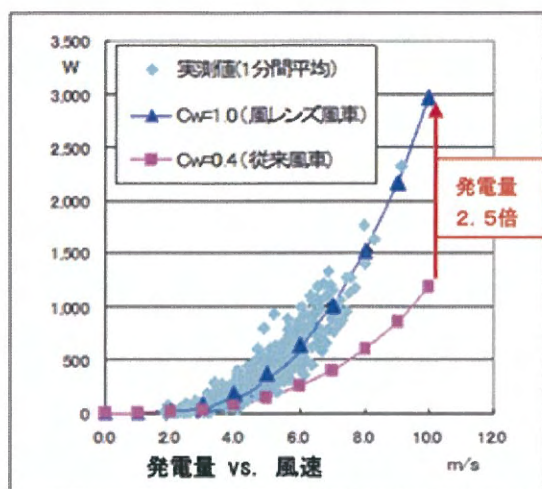


図3 3kW レンズ風車の野外試験結果(横軸は風速、縦軸は発電量)、ロータ径 2.5m、レンズ径 3.4m。図中、◆はレンズ風車の野外実測値、▲はレンズ風車の風洞実験値、■は集風レンズなしの通常風車の風洞実験値、 C_w はパワー係数

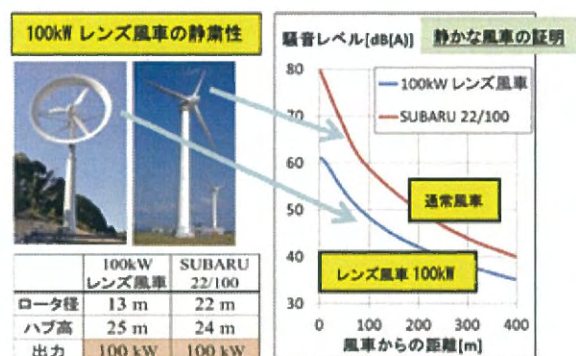


図4 100kW レンズ風車(ロータ径 13m、レンズ径 15m)、野外騒音試験結果

2.2 コンパクトレンズ風車の開発—中型風車へ

現在、小型レンズ風車(図1)においては軽量化、あるいは中型風車(100-300kW)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)の最適形状を検討している。風洞試験で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3に野外での発電性能結果の一例を示す。同時に非常に静かな風車となり、風切り音はほとんど聞こえない(図4)。

3. レンズ風車のクラスタ化—マルチレンズ風車

超大型機へ向かう風力産業主流とは異なる方向を模索し、風力発電システムの新しい姿を開拓する。高効率、静粛なレンズ風車を適用し、レンズ風車を基本ユニットとしたマルチロータシステム(Multi-Rotor System MRS、クラスタ風車)の可能性を研究する。図5に示すようにマルチロータシステムとは基本ユニットの風車を複数個、同じ垂直面内にタワーで支持した集合風車システムでMW級の大きな出力を得るものである。理論的には、MW定格の単体風車に比べ、重量比、導入比、発電コスト比で $1/\sqrt{n}$ (n はロータの個数)になり、かつ風荷重変動が平滑化され、強風による局部疲労破壊に強くなると期待される。2016年、大手風車メーカーのVestasが225kW機×4基のマルチロータ風車を試作している(図5)。

基本ユニットにレンズ風車を適用すると3基構成レンズMRSでは全体発電出力が単独時の合計値よりさらに10%増加⁴⁾、5基構成で20%増加することがわかった(図6)。レンズ風車とマルチロータのシナジー効果である。北九州市響灘に平成28年3月、世界初のマルチレンズ風車(定格10kW機)が設置され、様々な実証試験がなされつつある(図7)。多数ユニットのマルチレンズ風車のコンセプトは「風を集める木」である(図8、図9)。

レンズ風車でのマルチロータ化は次の点で有利である。1) 最初からリング(レンズ構造体)が装着されており、個々のレンズ風車は集合接続が容易、2) レンズ風車の高効率メカニズムの根本原理(リングの渦形成で低圧化し、流れを引き込



図5 Vestas900kW機(225kW×4基)のMRS(2016.4月)

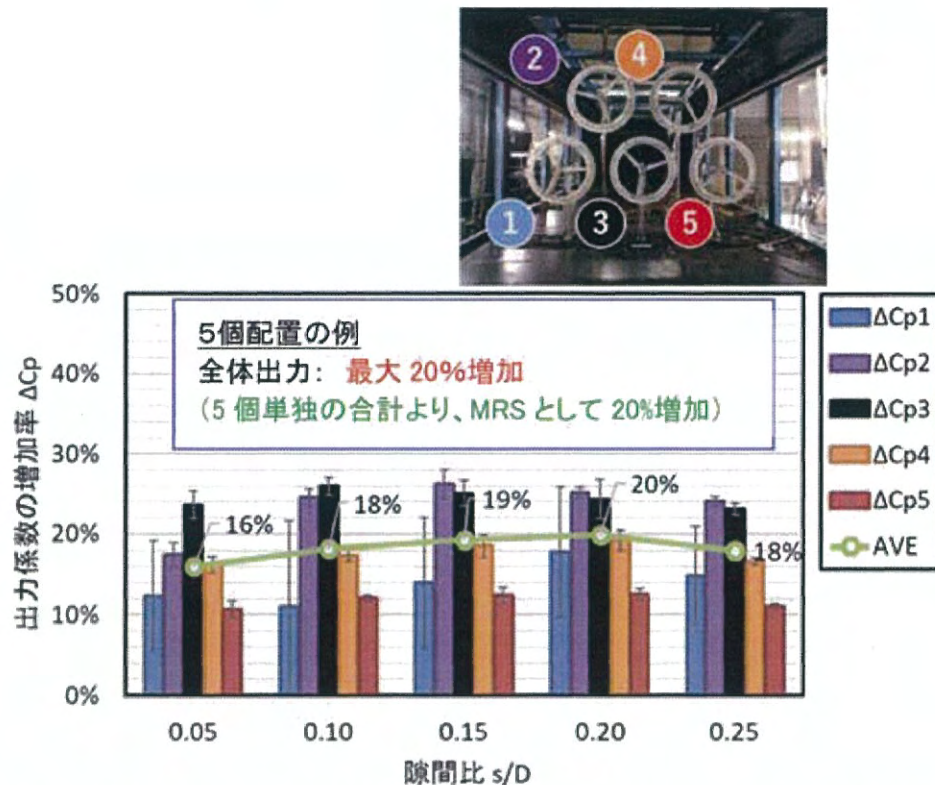


図6 5基マルチレンズ風車の風洞実験結果、すきま比 $s/D=0.2$ で全体発電出力が 20% 増加。凡例 $\Delta C_p(i)$ の i は右図の風車① - ⑤に対応。風車②, ③, ④の出力増加が顕著。

む) がマルチロータ化で向上し、全体発電出力がさらに増加する (図 6)。

数百 kW 規模の中型レンズ風車を基本ユニットにした MW 級マルチレンズ風車では、騒音面で、

通常シングル MW 風車と比べ、格段と静かなクラスタ MW 風車が期待できる (図 8、図 9)。大型機に伴う低周波騒音の問題からも解放される。以上より、中型レンズ風車のクラスタ化で MW 級の大出力化への新しい可能性を追求する。



図7 北九州市響灘、3kW x 3基の 10kW マルチレンズ風車 (H28.3 月導入)



図8 平野部、丘陵地帯でのマルチレンズ風車 (MW 級)、CG

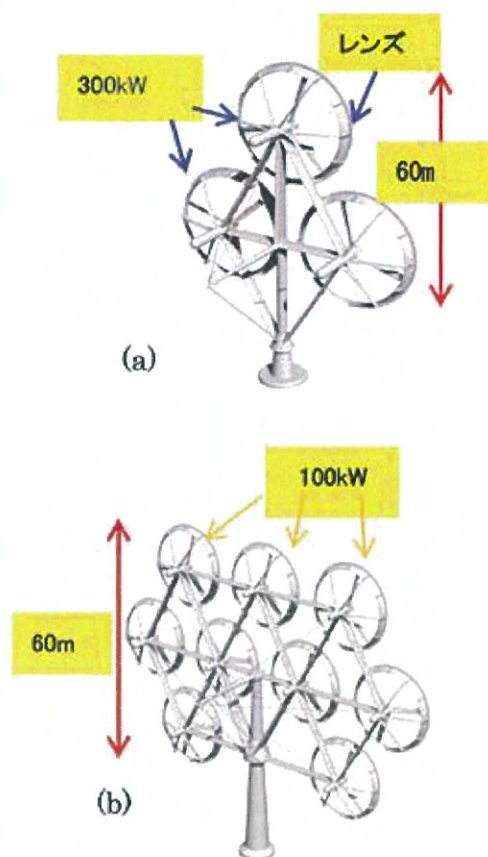


図9 (a) 3基の300kWレンズ風車によるクラスタ化(1MW機)、(b) 9基の100kWレンズ風車によるクラスタ化(1MW機)、CG

4. 漁業協調の浮体式エネルギーファーム

4.1 博多湾における浮体式風力発電施設の実証試験

2011年12月4日、博多湾に直径18m程度、排水量140トンのコンクリート製浮体を浮かべ、3kWレンズ風車2基および太陽光パネル2kWを搭載した浮体式複合エネルギーファームを実現した(図10)。風力、波浪、浮体動揺など種々のデータを取得すると同時に、この博多湾浮体サイトから東に約3km離れた海岸線に同型のレンズ風車を設置した(図11)。この海岸線サイトの風車に比べ、沖合約700m離れた海域での海上風は陸上に比べ1-2割強く、浮体上の風車では海岸線立地の同型風車と比べ、1年間の総発電量が2倍を超した(H24年11月～H25年10月計測)⁵⁾。この浮



図10 博多湾プロジェクト(ステージI) 18m直径の六角形コンクリート浮体。3kWレンズ風車2基と2kW太陽光パネル搭載で計8kWのエネルギーファーム



図11 博多湾浮体サイトとみなと100年記念公園の風車サイト、2地点間距離は約3km

体は漁礁にもなっている。今後、海でのエネルギー利用は漁業協調のコンセプトのもと、漁業組合と共同で浮体を利用した牡蛎の養殖も開始する。

4.2 第2ステージの浮体式洋上エネルギーファーム(漁業共存)

実用化規模の浮体式再生可能エネルギーファームを計画している。図12に示すように、一つの浮体規模は約70m長さのトラス構造物で連結された三角形を基本型とする。この3角形トラス構造物は半没式(セミサブ)で、波浪が通過しやすいように半分沈め、波が当たる部分はトラスの柱状構造になるように設計する。大きな多角形は3角形が基本要素となる。将来はこの3角形基本ユニットを複数連結し、大型浮体へ展開する。浮体に関

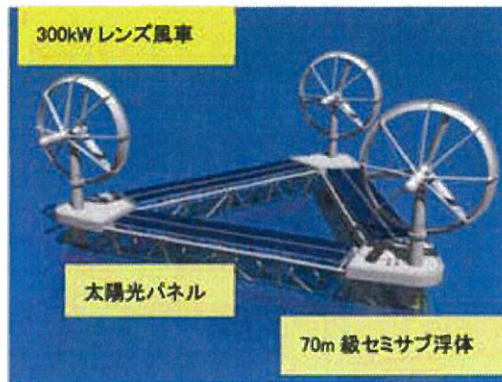


図 12 浮き島式洋上エネルギーファーム（浮体の一辺が70mのトラス構造物で連結。300kW レンズ風車3基と300kW 太陽光パネルで1.2MW エネルギーファーム）

しても「小は大を兼ねる」というコンセプトを適用する。この3角形浮体に300kWクラスのレンズ風車3基、300kWの太陽光パネルを設備し、1.2MWの浮体式エネルギーファームとする（図12）。

再生エネルギーでは与えられた面積（土地）で最大限の自然エネルギーを効率的に統合的に取得したい。希薄なエネルギー密度をできるだけ高め、自然の不安定さを減じる。洋上浮体では、周りに存在する自然エネルギー、つまり、風力、太陽光、波力、潮力等を一つのプラットフォーム（浮き島）で取得し、取得効率を大幅に高める。多目的洋上浮体として、その将来性、産業化への道筋を検証する。すなわち、数MWの浮体式エネルギーファーム

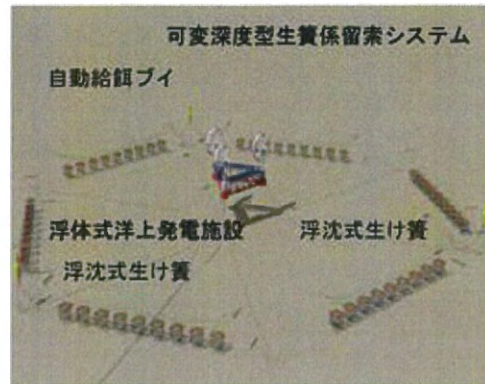


図 13 浮体式洋上エネルギーファームを中心にした次世代養殖システム（浮沈式生け簀、および自動給餌システムを備える）、CG

ムとして確立すると同時に、日本の漁業の一助となるように浮体式エネルギーファームを利用した養殖施設を考案する（図13）。比較的沖合に設置した浮体周辺部に数10個規模の浮沈式生け簀（養殖は一般に海中、海底に近い方がよい）を設備し、海洋牧場として漁業との共存を図る。自然エネルギー取得、洋上プラットフォームの建設、そして漁業との確かな協調である。

第3ステージでは、数MW-数十MWのエネルギーファームとしての確立である（図14）。多目的洋上プラットフォームとしての設置、海上と海中（レンズ水車）の自然エネルギー取得を行う。海上の移動式浮体として、気象・海象データを参考にしながら自然エネルギーの採取へ向かい、洋上

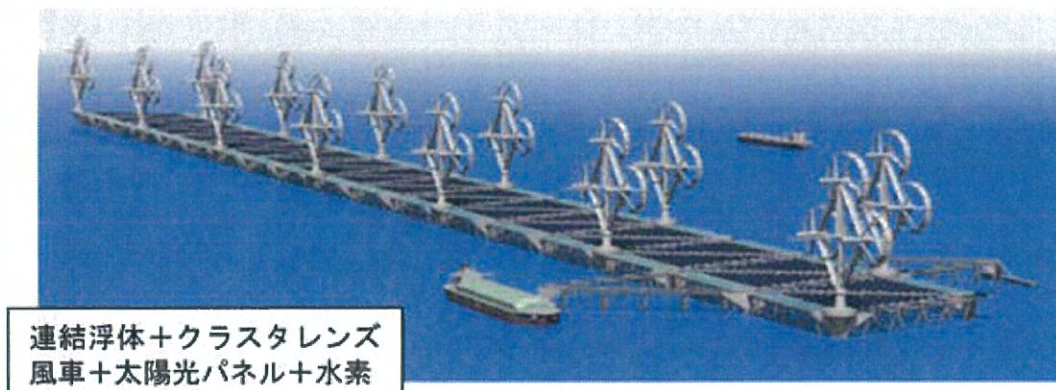


図 14 浮体式洋上エネルギーファーム（浮体の一辺が70mの半没式トラス構造物で連結、300kW レンズ風車3基、300kW 太陽光パネルで1.2MW エネルギーファーム）。この3角形ユニットを接続して大規模ファームへ展開可能。（数MW-数十MW規模、オンサイトで水素生成など）、CG

で水素生成などを行う。

5. ウィンドソーラータワー (風力と太陽光の同時利用の再生エネルギー機器)

5.1 ウィンドソーラータワー (WST) の原理

従来のソーラータワーと称する自然エネルギー利用装置は、地上に集熱部となる上面を閉じた大規模空間を設置し、その中央に円筒状のタワーを設ける。この大規模空間内において太陽光で暖められた空気は、中央に設置したタワー内に収束し、熱上昇気流となる。その上昇気流中に風力タービンを設置し発電しようとするものである (図 15)。単純でメンテナンスが楽であるが非常に低効率である。また高いタワーが必要である。

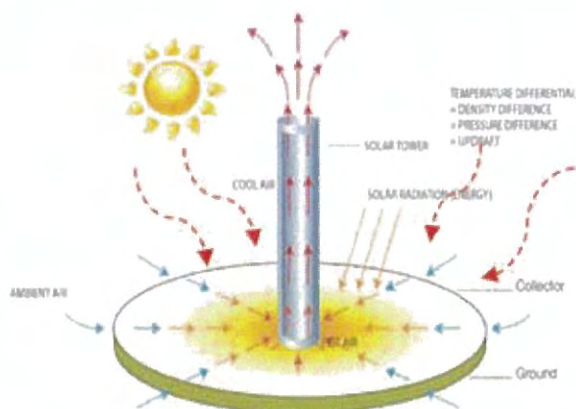


図 15 ソーラータワー (ソーラーchimニー) の原理

このソーラータワーに対する新しい試みは、次の2点にある。1) 風レンズの原理を垂直構造体として適用する。すなわち、ディフューザ型タワーを採用し、熱上昇風の増速を図る。2) 上空風の吸い上げ効果を利用する。1) のディフューザ型タワーは図 16 の野外タワーでわかるように片開き4度で上方出口に向かって拡大している。2) の上空風の吸い上げに関して基本メカニズムを風洞実験で確かめた。その結果、タワー出口に風レンズ原理と同様に低圧域生成のため渦生成板をつけると、直円筒タワーの10倍の発電量増加を得た (図 17)。昼間は太陽光と風力の利用、夜間は風力発電ができるという発想でウィンドソーラータワー (WST) と称する。太陽光と風力を同時利

用できる世界で初めての自然エネルギー機器を提案する。図 16 に示す数種のアイディアを盛り込んだ野外実験において、スペインのソーラータワーの効率50倍、発電量260倍のデータが得られつつある。上空風吸い上げの効果はまだ定量化していないが、この効果を加えるとさらに増加する。



図 16 太陽光と風力を同時利用：ウィンドソーラータワー (WST) の試作。10mタワー高さ、15m四方の集熱部

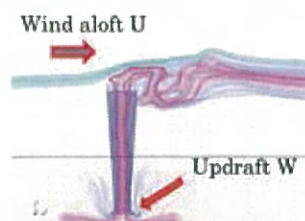


図 17 WSTの吸い上げ効果のCFD (左図) と風洞実験結果 (右図)、上方拡大タワーと出口の渦生成板で大幅な発電量増加を示す。

5.2 ウインドソーラータワー(WST)の野外実験

図16に野外実験の様子を示す。平成27年の春に九州大学筑紫キャンパスの空き地に高さ10m、集熱部15m四方のウインドソーラータワー(WST)を建設した。タワー根元の風車ロータは直径1.38mである。太陽光による創風特性、上空風による集風特性に関するデータを取得し解析している。

太陽光による発電例を図18に示す。この日の昼間は太陽熱があり、集熱部(上図、赤の気温)と上空(青の気温)の温度差(緑)により熱上昇風(オレンジ)が発生し、これがロータを回転させて発電している(下図、赤)。日中の8時-18時の間、安定に発電している。

上空風による発電例を図19に示す。この日は昼間の熱上昇風による発電に加え、夜は上空風が強く(上下図、紫の風速変動、出口付近につけている三杯風速計からの出力)、その吸い上げ効果によって上昇風が発生し(オレンジ)、発電している様子がわかる(下図、赤は発電出力)。上空風による発電は不安定で通常の風力発電と同様な大きな出力変動を示している(下図)。

上記の1年間分の観測結果は図20のようにまとめられる。熱上昇風速 W (m/s) は温度差 $\Delta\theta$ の平方根に比例して増加し、伴う発電量 $P(W)$ は $3/2$ 乗則で増加する。また、熱上昇風速はタワー高さに関しても平方根に比例して増加する^{6,7)}。

以上、WSTの2つのメカニズムを実証してきたが、温度差を設ける方法は他にもある。近くに地熱源があれば、その排熱を積極的に利用する。現在、地熱発電では大量の熱が地下に戻される。その熱水や空気熱を集熱部のビニールハウスへ送り込む。太陽光の集熱と同じで熱上昇風が発生しタービンが回る。他の熱排気風でもよい。

図21に示すように広い集熱部は温暖な空間として温室栽培に利用できる。農業と協調した再生エネ取得が可能である。図22に予想される将来のウインドソーラータワーの形状をスケッチする。タワー高さ100m以上で実用化の目途が立ち、タワーをどのように製作するかが最重要課題となる。

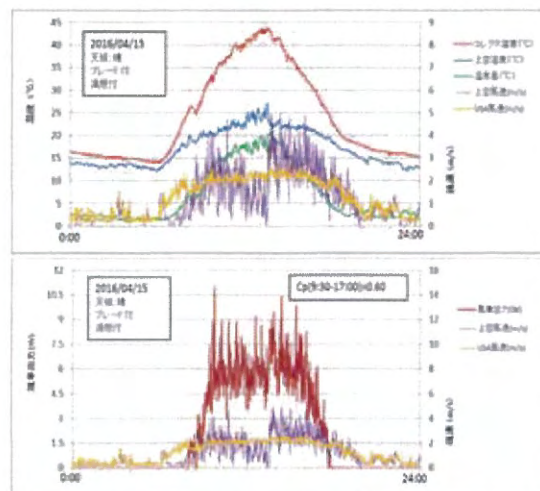


図18 野外実験、太陽光による熱上昇風の発電

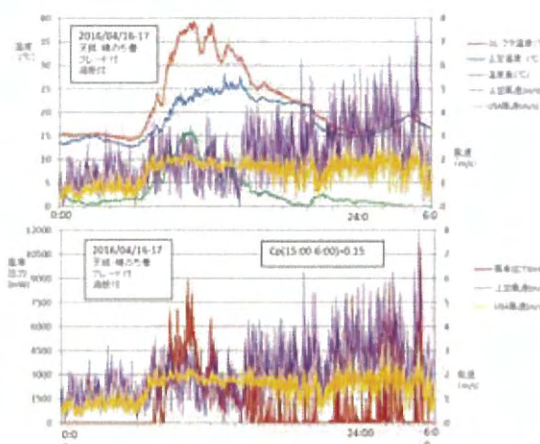


図19 野外実験、上空風吸上げによる上昇風の発電

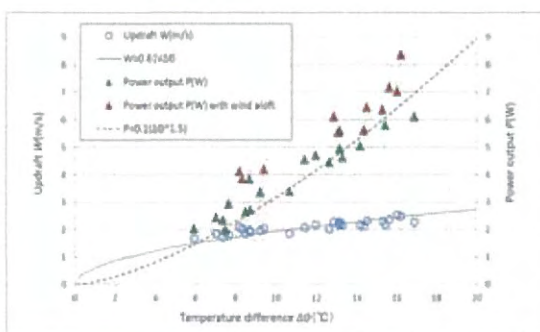


図20 野外実験結果のまとめ、熱上昇風速 W 、発電 P と温度差 $\Delta\theta$ の関係



図 21 集熱部の広い空間を温室栽培へ

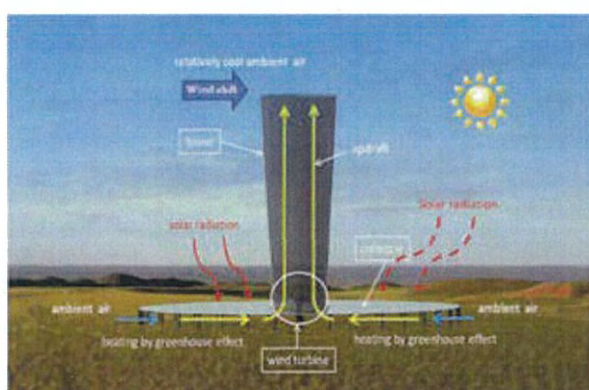


図 22 将来のウィンドソーラータワー (CG)

6 LES 乱流モデルによる局所風況予測モデルの開発 (リアム・コンパクト)

風力の有効利用には精度の高い風況予測が必須である。太陽光と違い、風が吹き通る道がある。これを日々刻々と予測するのは大変な困難がある。気象庁の広域スケール (アジア域、日本全体) の数値予測データ GPV (Grid Point Value、最近の

LFM では 2km 水平分解能) が役に立つ。これは WRF-ARW メソスケール気象モデル等を利用し、ひまわり等の気象観測データを取り入れ、広域大気の状態を計算予測している。これと接続するような計算システムでより狭域の低層大気を数値予測手法がいくつか提案されている。当研究所では、リアム・コンパクトと称する数 km から数百 km の狭領域に的を絞った数値風況予測モデルを開発してきた⁸⁾。現在では、国内の標準コードの一つとして、風車メーカーや大型風力事業者を中心として広く活用されている。

最近では、小型風車の適地選定にも適用が進んでいる。小型風車の場合、大型風車に比べてハブ高さが低いため、地表面高さ 100m 内の接地空間で、地形や地物、植生の影響をより強く受ける。我々の研究室では、ドローン等による航空測量 (空間解像度数 m 以下) を行い、得られた高解像度の標高データや木々の高さ、空間分布等をリアム・コンパクトの境界条件へ反映させ、より信頼性の高い数値風況予測を実現している (図 23)。また別の解析事例として地形と建物群が複合した例を図 24 に示す。小型風車の立地候補地の周辺には、建物群が存在する場合も多い。こうした状況の場合、実際の地形起伏と 3 次元物体としての建屋の影響を同時にコンピュータ内に短時間 (数時間～1 日程度) で、かつ高精度に再現し、これらを数値風況予測の境界条件として反映させる必要がある。我々の研究室では数値風況予測 (CFD) と地理情報システム (GIS) の連携技術の開発も行っており、これらの問題への対応に成功している。

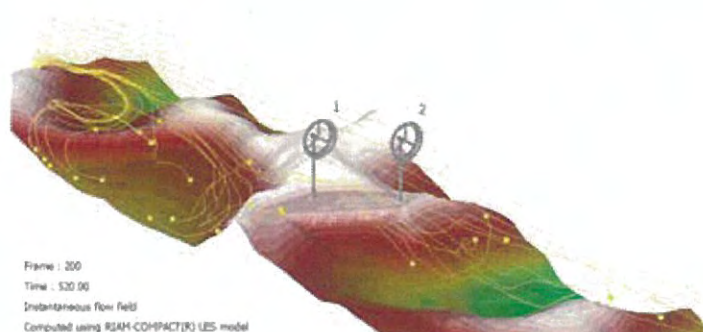


図 23 航空測量から得られた詳細地形データと地表面粗度を反映した数値風況予測の実例 (九大伊都キャンパス, 100kW レンズ風車)

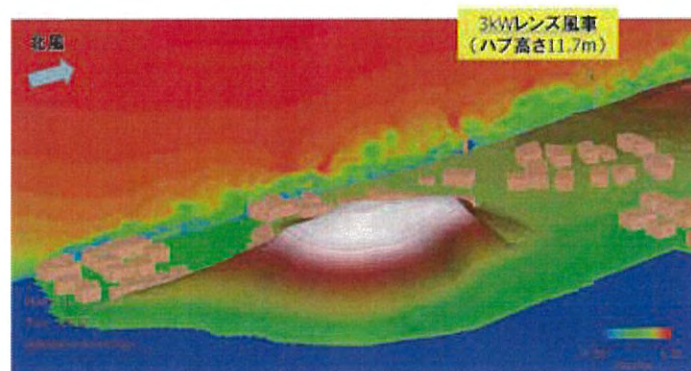


図 24 地形と建物群が複合した数値風況予測の実例（鳥取県）

7. 農林水産業への寄与

近未来に訪れるスマートコミュニティは地方の農村、漁村等から実現していくものと考えている。農林水産業の地方では豊かな自然エネルギーに囲まれている。これらをクリーンなエネルギーとして利用し、化石燃料を一切使わない、エコな農業、エコな水産業が私たちのコンセプトであり、そのための研究開発に努力している。再生エネルギー産業と従来の農林水産の第1次産業が融合した新しい姿の第1次産業を提案することが可能である。

新開発したレンズ風車、レンズ水車というもの、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」が演出されると思う。日本の農業の風景、水産業の風景に環境にやさしく、調和をもたらす「和」の構造を演出したい。

8. おわりに

以上、風力産業の主流とその展望、当研究所における主に風力に関するプロジェクト、将来プランなどを紹介してきたが、共通するコンセプトは「小は大を兼ねる、すなわち集合化（クラスタ化）」、「統合利用」、および「農林水産業との協調」である。再生可能エネルギーはエネルギー密度が希薄である。ある面積エリアを与えられたら、そこにある種々の自然エネルギーを効率的、統合的に使

いたい。そうすれば分散型エネルギー社会に近づく。あとはいかに有効に変換し、送り、蓄え、消費するか（省エネ）である。スマートな再生可能エネルギー社会の実現を期待する。

参 考 文 献

- 1) 新型風車あれこれー風レンズ風車ー、大屋裕二、ターボ機械, 33(7), 59-62, 2005.
- 2) A Shrouded Wind Turbine Generating High Output Power with Wind-lens Technology, Yuji Ohya, Takashi Karasudani. *Energies* 3, 2010, 634-649.
- 3) Behavior of the blade tip vortices of a wind turbine equipped with a brimmed-diffuser shroud, S. Takahashi, Y. Hata, Y. Ohya, T. Karasudani, T. Uchida, *Energies* 5 (12), 5229-5242, 2012.
- 4) Power augmentation of shrouded wind turbines in a multi-rotor system, Y. Ohya, J. Miyazaki, U. Göltzenbott, K. Watanabe, *ASME, Journal of Energy Resources Technology*, 139 (5), 2017.
- 5) Wind lens technology and its application to wind and water turbine and beyond, Y. Ohya, T. Karasudani, T. Nagai, K. Watanabe, *Renewable Energy and Environmental Sustainability* 2, 2, 2017.
- 6) Improvement in Solar Chimney Power Generation by Using a Diffuser Tower, S. Okada, T. Uchida, T. Karasudani, Y. Ohya, *Journal of Solar Energy Engineering* 137 (3), 031009, 2015.

- 7) Laboratory Experiment and Numerical Analysis of a New Type of Solar Tower Efficiently Generating a Thermal Updraft, Y. Ohya, M. Wataka, K. Watanabe, T. Uchida, *Energies* 9 (12), 1077, 2016.
- 8) LES 技術を用いたウインドファーム風況診断－熊本県阿蘇車帰風力発電所を例として－, 内田孝紀, 大屋裕二, 土木学会論文集 A2 (応用力学), 67(2), I_757-764, 2011.

プロフィール

著者名 大屋 裕二

昭和 51 年九州大学・工・航空工学卒。昭和 56 年同大学院博士課程修了。同年九州大学応用力学研究所助手。以来、物体周りの流れ、大気境界層、風力エネルギーの研究に従事。九州大学応用力学研究所教授、所長を経て、現在、九州大学応用力学研究所特任教授。工学博士。

平成 11 年日本風工学会論文賞、平成 20 年文部科学大臣賞科学技術賞受賞、平成 25 年米国 WEST SUMMIT 2013 (Sustainable Silicon Valley) 発明コンテスト 4 位、平成 25 年産学官連携功労表彰環境大臣賞受賞など。

その他の特記事項 日本風工学会（理事）、日本流体力学会（理事）、日本風力エネルギー学会（理事）、日本航空宇宙学会（西部支部長）などを歴任、現在、米国航空宇宙学会（AIAA）Terrestrial Energy Systems 委員。