

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月15日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2009～2011

課題番号：21246130

研究課題名（和文） 超高効率風レンズ風車と新炭素繊維材料の革新的技術を融合した
洋上風力発電の開発研究研究課題名（英文） Combination of Wind-lens Turbine and New CFRP Technologies for
Offshore Floating Wind Farm

研究代表者

大屋 裕二 (OHYA YUJI)

九州大学・応用力学研究所・教授

研究者番号：00150524

研究成果の概要（和文）：

風レンズという集風技術を有する高効率な中型風レンズ風車の基礎研究を行った。レンズ構造体の適切な選択のための風洞実験、数値解析を行い、中型風レンズ風車の基礎設計を検討した。中型風レンズ風車システムについては、小型風レンズ風車の相似形で拡大し、固定ピッチ、パッシブヨー制御は小型と同様な仕様にした。風洞実験、数値解析ではその有効性が実証できた。この研究開発と建設は、幸いに他の大型予算により実現可能となった。九大伊都キャンパスに100kW 風レンズ風車(定格風速 12m/s)を建設し、稼働し始めた。しかし、当初予定していた洋上浮体用の浮体式支持構造までの検討はできなかった。同時に有効に風力エネルギーを得るために適切な風況予測技術を数値計算システムとして開発を進めた。風レンズ風車の導入展開として海上浮体風力発電システムを実現した。本基盤研究では、浮体モデルを製作し、研究所所有の大型水槽で、耐波浪の実験を、風レンズ風車模型2基を搭載して実施した。これで浮体プラットフォーム式風力発電の有効性、安全性、性能評価を検討できた。これも幸いに、他予算で大きな研究経費があったので、本研究で基礎研究していた技術をそのまま活かして、実際の小型海上浮体としてのエネルギーファームに実現できた。博多湾内の海上に世界で初めて本格的な浮体を建設し、その上部に3kW 風レンズ風車2基と太陽光パネル1.5kW からなるエネルギーファームを建設し、動揺、波浪、気象、発電量、浮体変化など種々データを取得中である。ただし、当初予定していた次世代炭素繊維ロッドの製作が間に合わなかったため、製造したコンクリート浮体のトラスの筋材は、従来の鉄筋とした。

研究成果の概要（英文）：

Based on the Wind-lens technology, we have developed very unique and highly efficient small (1-5kW) and mid-size (100kW) windlens turbines. We have designed a mid-size windlens turbine of 100-200kW. They are fundamentally based on the small wind-lens turbine, namely, it is designed as an enlargement of small ones with similarity. We have continued the field experiment of the mid-size windlens turbine at Ito Campus, Kyushu University. The 100kW windlens turbine showed the expected power output performance and showed much less noisy turbine compared to the same size conventional turbines. Now we are continuing to establish the safe operation at severe wind of around 10 – 20m/s. This 100kW windlens turbine was equipped with a mono-pole concrete tower different from a concrete tower with special SCF rods as it is expected. We have improved our numerical prediction method for wind patterns named RIAM-COMPACT, integrating the GIS and GPV. Based on this numerical wind pattern analysis, we selected an installation site in the offshore in Hakata bay. Integrated off-shore electric power generation farm means an off-shore energy farm

on floating bodies with combined power generation systems such as wind, solar, tidal, wave, tension power applied to the anchoring wire, etc. The first step has started towards hybrid off-shore electric power generation farm with system development for off-shore wind power generation using 3kW windlens turbines that have been developed by Windlens Research Team of Kyushu University. The plan in 2011 includes launching the floating body of ~18m diagonal in the east part of Hakata bay with two 3kW Windlens turbines. For preparation, in March 2011, a large wave tank in Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, was used for the theoretically-scaled model experiments for investigating motions of the float responding against high waves and strong winds. During the test experiments in the wave tank, a harsh conditions was generated corresponding to a wave height of 6m and a wind speed of 30m in the natural condition, and the stable behaviour of the floating body against the condition was confirmed. The SCF rods (new CFRP technology) have not been adopted yet to the concrete truss structures, because the production of SCF rods has not been in time at present.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	8,300,000	2,490,000	10,790,000
2010年度	9,400,000	2,820,000	12,220,000
2011年度	9,100,000	2,730,000	11,830,000
年度			
年度			
総計	26,800,000	8,040,000	34,840,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学、船舶海洋工学

キーワード：海洋資源・エネルギー

1. 研究開始当初の背景

(1) 海洋はエネルギー・資源の宝庫である。最近、我が国に海洋法が制定され、本格的な海洋開発の幕明けが始まろうとしている。本研究は、格段に経済的な大型洋上風力発電システムの構築を目指すための基礎研究である。この風力エネルギーの安定的自給を可能にするシステム実現の鍵は、九州大学で開発された2つの革新的技術の融合にある。その1つは超高効率風レンズ風車、他の1つは従来のCFRPよりさらに高強度、高接合力を有する第2世代炭素繊維強化プラスチック(SCF)の発明である。本研究はその第1ステップとしてロータ直径10mの100kW級風レンズ風車を、洋上建設を前提とした新提案の浮体式支持で陸上に建設するための開発研究である。

(2) 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、風車翼にあたる

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。本研究代表者は、つば付きディフューザという集風構造体を開発した。このつばの存在により、つばの背後に強い渦形成がなされ、出口付近の圧力が周囲圧力よりも大きく低下する。この低圧領域がディフューザ内部により強い流れを引き込み、速い流れが風車翼にあたる。このため、この集風体(風レンズ体とも呼ぶ)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3-5倍の発電出力を達成している。

(3) 現在、CFRP(炭素繊維素材)が飛行機、自動車、宇宙機等に広く利用されようとしている。それはアルミや鉄などの金属素材と同等以上の強度・剛性を有しながら、その重量が数分の1と軽量化できるためである。本研究グループの分担者(太田俊昭、九州大学名誉教授)が開発した第2世代とも呼ばれCFRP

(SCF と呼ぶ、右図) は画期的な素材として開発された (特願 2005-374719)。それは従来の CFRP に比べ、きわめて高い圧縮強度、座屈耐力と接合力を有する。さらに超大型化する風車ブレードや上記の集風構造体にも適用できる。また、コンクリート母材用に開発された SCF ロッドは鉄筋の機能を凌ぐ配筋素材となり得る。ここではこの新しい第 2 世代 CFRP 素材を用いた技術を SCF 技術と呼ぶ。

(4) 大型風力発電基地の建設に関して、陸上の適地は特に日本においてはごく限られたサイトになりつつある。洋上風力発電は、古くから多くの海洋技術者を魅了し、固定式着底型のものや係留式浮体型、あるいは帆走式の浮体型のものなど様々な構想が提案されてきた。そのうち、これまでに実現した洋上風力発電方式は、唯一、海底ケーブルで送電する着底型である (欧米で実施)。最近我が国では、主に鋼製浮体を用いた様々な大型プロジェクトが造船分野などで活発に提案されている。しかし、在来の鋼製浮体や帆走方式は、(i) 錆びて寿命が短く (インフラ条件を満たさない)、(ii) 初期建設コスト/kW《最低 30 万円/kW》が損益分岐点《25 万円/kW》を超え、事業採算性が悪い、(iii) 漁業権問題の解決が容易でない、の大きな障壁 (3 重苦) があって、『洋上大規模風力発電』の実用化は遠い先のこととされている。

2. 研究の目的

(1) 風レンズ小型風車の開発成果と SCF 技術を基に、風レンズ風車のより大型化を目指し、将来の 10MW 機の 1/10 モデルサイズとして 100kW 級 (ロータ直径 10m) の中型風レンズ風車を研究開発する。

(2) 洋上浮体を想定し、浮力方式という全く新しい支持システムを採用する。更なる大型化への研究と大型洋上浮体式発電基地の実現に向けた研究を行う。

(3) 具体的な研究課題として、現在の風レンズ風車の成果は比較的長い集風構造体 (風レンズ体) を用いて得られたものであった。この欠点は構造重量の増大、風荷重の増大にある。数百 kW 機、MW 機のより大型の風車への適用を目指し、従来風車の 2 倍以上の高出力化を保ちながら、できるだけコンパクト

な集風構造体 (風レンズ体) を研究開発のための基礎研究を行う。

(4) 風レンズ風車をより大型化する場合、強風時 (超大型台風の風速 70m/s を想定) の耐風強度が特に重要な問題となる。したがってはるかに高強度の剛性、耐座屈力を有する SCF 素材を用いた新しいブレード、集風体、支持用タワーの開発研究を行う。洋上浮体上に設置することを想定して、その支持構造を従来の 1 本タワー風車と異なり、支持タワーも含め風車全体を水に浮かべた浮力支持方式を開発研究する。

(5) 将来の実海域での風レンズ風車洋上発電基地の建設のため、大型浮体モデルの耐波浪解析や水槽実験を行い、その実現性を確認する。

3. 研究の方法

(1) 本研究を遂行するにあたり、次のようなステップで到達目標 (100kW 風レンズ風車の実現と浮体支持方式の開発を達成し、続いて国家プロジェクトとして採用されるような大型 SCF コンクリート浮体・洋上風力発電基地の実現可能性を示す。

(2) 大型化する集風式風レンズ風車のために非常にコンパクトな集風構造体の最適形状を研究開発する。ただし、最低でも通常風車の 2 倍の高出力が得られる発電性能を保持する。

(3) 中型・大型風レンズ風車として最大風速 70m/s に耐えられる風車ブレード、集風構造体、複数足タワーの強度設計、耐風設計を行い、SCF 技術を応用した SCF 素材、SCF ロッド入りパネル構造、リブ構造を適用し、それぞれの要素設計とその接合について研究開発する。

(4) この中型・大型風車の支持方式に関し、全く新しい浮力支持方式を研究開発する。開発済みの 5 kW 機を浮力支持方式のプロトタイプとして製作し、次に 100kW 機へ移行する。すなわち SCF 技術を用いた浮力支持式の中型規模風レンズ風車を完成させる。

(5) 平行して SCF コンクリート浮体の構造

設計、波浪解析などを理論、数値解析、水槽実験を通じて行い、その耐波浪安定性、および風車を建てた場合の動揺解析を行う。

(6) 洋上風での発電性能、構造体としての信頼度、洋上発電基地の経済性を評価し、従来提案され、先行している、どの洋上風力発電プランよりも性能、信頼、経済面のすべての面で格段に優れたプロジェクトになり得ることを示す。

4. 研究成果

(1) 中型レンズ風車として、定格風速 12m/s で 100kW 出力のレンズ風車を考案、設計した。それはロータ直径 12.8m、レンズ直径 15.4m の規模とした。

(2) 風洞実験および CFD にて最適なレンズ構造体を選択し、その性能表を行った結果、通常風車 (同じロータ規模) の 2 倍の発電主力が予想された。

(3) 幸いに、他の大型予算により、九大伊都キャンパスに次世代エネルギー施設として建設のチャンスができたので、本研究で検討したすべての仕様を反映して、建設し、その発電性能は期待通り、2 倍の出力を示すつある。同時にレンズ風車特有のとても静かな風車となった。

(4) 当研究所の大型水槽を用いて、浮体モデルの耐波浪実験を行った。同時に強風を想定して水面上に送風機を並べ、浮体上の風レンズ風車への風荷重を与えた。その結果、レンズ風車 2 基搭載の六角形浮体は、ピッチング、ヨーイング、ローリングに対しては十分な安定性能を示した。スウェイ (流れ方向の移動) はある程度の移動を示したが、係留方式によって十分に制御できることが分かった。

(5) 大型風洞では、レンズ風車の浮体搭載用の耐風特性を実験した。その結果、レンズ風車を多脚で支持すると十分な強度特性 (風速 60m/s までは十分剛性がある) を示した。複数のレンズ風車の後流干渉を数値解析で検証した。風車が風向に対して並列配置であれば、複数の風車の発電性能は低下しないが、風の方角に対してタンデム (直列) 配置になれば、下流風車の発電性能は大幅に低下した。

したがって、浮体の設置状況、また浮体上での風車の配置を、そのサイトの風況特性を十分に吟味した上で決める必要があることがわかった。

(6) 最後に、他の大きな予算で、この浮体式風力発電のプロトタイプを博多湾に設置して野外実証実験を開始することができた。その浮体の大きさは 18m 外形で 140 トンの排水量である。その上に 3kW レンズ風車を 2 基搭載して洋上の発電性能を調査中である。

(7) この浮体は当初計画したとおり、コンクリート製であるが、その断面中央の配筋は残念ながら SCF ロッド (超炭素繊維材料) の製作が間に合わず、普通の防錆鉄筋を採用せざるを得なかった。SCF ロッドは現在 10m 長さを製作できるロボットがようやく完成した。今後はより大型化し、実用的な浮体式風力発電として実現するための基礎設計を行う。そのために現在、博多湾浮体で取得中の様々なデータ (耐波浪データ、動揺特性、海上自然風、発電性能など) を検討し、次のステージへ活かせるように解析を進める。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 13 件)

- ① 内田孝紀、丸山 敬、大屋裕二、流体力学 CFD モデルを用いた連続的な風向変化の再現性について、日本風力エネルギー学会論文集、査読有、35 巻 99 号、2011、pp.7-13
- ② Takanori UCHIDA, Takashi MARUYAMA, Tetsuya TAKEMI, Yuichiro OKU, Yuji OHYA, Graham LI, Proposal of Designed Wind Speed Evaluation Technique in WTG Installation Point by Using the Meteorological Model and CFD Model, 九州大学応用力学研究所所報, 査読無, 141 巻、2011、pp.1-12
- ③ Takanori UCHIDA, Takashi MARUYAMA, Yuji OHYA, New Evaluation Technique for WTG Design Wind Speed Using a CFD-Model-Based Unsteady Flow Simulation with Wind Direction Changes, Modelling and Simulation in Engineering, 査読有, Vol. 2011, Article

- ID 941870, 2011, 6pages, DOI 10.1155/2011/941870
- ④ Takanori UCHIDA, Yuji OHYA, Latest Developments in Numerical Wind Synopsis Prediction Using the RIAM-COMPACT® CFD Model-Design Wind Speed Evaluation and Wind Risk (Terrain-Induced Turbulence) Diagnostics in Japan, *Energies*, 査読無、Vol. 4, 2011, pp. 458-474, DOI 10.3390/en4030458
- ⑤ 烏谷 隆、安武博史、渡邊公彦、大屋裕二、実演説明に用いる風レンズ風車模型の制作、第33回風力エネルギー利用シンポジウム論文集、査読無、2011、pp.244-246
- ⑥ 秦 祐也、上野祥彦、大屋裕二、烏谷 隆、内田孝紀、鏝つきディフューザ風車まわりの流れ場の渦構造に関する数値的研究、第21回風工学シンポジウム論文集、査読有、Vol. 21、2010、pp.227-232
- ⑦ 渡邊康一、大屋裕二、烏谷 隆、垂直軸型風車の駆動原理の解明と集風装置の適用による高出力化、第21回風工学シンポジウム論文集、査読有、Vol. 21、2010、pp.239-246
- ⑧ Yuji OHYA, Takashi KARASUDANI, A Shrouded Wind Turbine Generating High Output Power with Wind-lens Technology, *Energies*, 査読有、Vol. 3, 2009, 2010, pp.634-649
- ⑨ 大屋裕二、風レンズ風車の開発と今後の展望、応用力学論文集、査読無、第12巻、2009、pp. 3-12
- ⑩ 大屋裕二、風レンズ風車—超高効率風力発電システムの開発、日本流体力学会誌「ながれ」、査読無、第28巻、2009、pp. 205-208
- ⑪ 大屋裕二、風レンズ風車という新しい風力発電システム、電気協会報、査読無、第1019巻、2009、pp. 30-33
- ⑫ 大屋裕二、超高効率風レンズ風車による発電、クリーンエネルギー、査読無、vol. 18、2009、pp. 44-51
- ⑬ 大屋裕二、風レンズ風車から見た世界の風力・水力利用、日本風力エネルギー協会誌、査読無、第33巻、2009、pp.39-44
- [学会発表] (計 22 件)
- ① 内田孝紀、大屋裕二、複雑地形上の風車ウエイクに関する LES、第33回風力エネルギー利用シンポジウム、平成 23 年 11 月 30 日、科学技術館 (東京)
- ② 烏谷 隆、安武博史、渡邊公彦、大屋裕二、実演説明に用いる風レンズ風車模型の制作、第33回風力エネルギー利用シンポジウム、平成 23 年 11 月 30 日、科学技術館 (東京)
- ③ 中村浩基、大屋裕二、渡邊公彦、集風体付き小型風車に関する新構造体の基礎研究、日本航空宇宙学会西部支部、平成 23 年 11 月 17 日、長崎ブリックホール (長崎)
- ④ 高橋 幸平、大屋裕二、烏谷 隆、経塚雄策、末吉 誠、風レンズ風車の浮体式洋上風力発電への適用、日本航空宇宙学会西部支部、平成 23 年 11 月 17 日、長崎ブリックホール (長崎)
- ⑤ 谷川陽一郎、大屋裕二、渡邊公彦、Shroud 付き小型水中水車のミニ発電への適用に関する研究、日本航空宇宙学会西部支部、平成 23 年 11 月 17 日、長崎ブリックホール (長崎)
- ⑥ Kohei TAKAHASHI, Yuji OHYA, Takashi KARASUDANI, Yusaku KYOUZUKA, Makoto SUEYOSHI, Application of Wind Lenz Turbine to Floating Platform for wind power Generation, EAEP2011, 平成 23 年 11 月 14 日, Fukuoka Garden Palace (Fukuoka)
- ⑦ Hiroki NAKAMURA, Yuji OHYA, Basic Investigations of a New Type Wind Lens Turbine, EAEP2011, 平成 23 年 11 月 14 日, Fukuoka Garden Palace (Fukuoka)
- ⑧ Takanori UCHIDA, Yuji OHYA, Huge Numerical Simulation of Airflow Around Fukuoka City by Using the RIAM-COMPACT CFD Model, EAEP2011, 平成 23 年 11 月 14 日, Fukuoka Garden Palace (Fukuoka)
- ⑨ Hugh GRIFFITHS, Yuji OHYA, Alessio BALLERI, Kenneth TONG, Allan Al-ARMAGHANY, Takashi MATSUURA, Takashi KARASUDANI, Measurement and Analysis of the Radar Signature of a New Type of Wind Turbine, 2011 IEEE CIE International Conference, 平成 23 年 10 月 24 日
- ⑩ Yuji OHYA, Takashi KARASUDANI, Chris Takashi MATSUURA, Hugh GRIFFITHS, Small to Mid-Size Shrouded Wind Turbine with Wind-Lens Technology, CanWEA2011 (WesNet) (招待講演), 平成 23 年 10 月 3 日, Vancouver (Canada)
- ⑪ 内田孝紀、大屋裕二、風車ウエイクの大規模 LES、日本流体力学会年会、平成 23 年 9 月 7 日、首都大学 (東京)
- ⑫ 烏谷 隆、渡邊公彦、大屋裕二、風車出

- 力に関する風向変化の影響について、日本流体力学会年会、平成 23 年 9 月 7 日、首都大学（東京）
- ⑬ 谷川陽一郎、波野洋孝、大屋裕二、内田孝紀、乱流境界層中の風車後流特性、日本流体力学会年会、平成 23 年 9 月 7 日、首都大学（東京）
- ⑭ Yuji OHYA, Takashi KARASUDANI, Chris Takashi MATSUURA, A Highly Efficient Wind Turbine with Windlens Shroud, 13th International Conference on Wind Engineering (ICWE13), 平成 23 年 7 月 11 日, Amsterdam (Netherlands)
- ⑮ 内田孝紀、波野洋孝、杉谷賢一郎、大屋裕二、乱流境界層中の風車後流の挙動について、日本流体力学会年会、平成 23 年 5 月 25 日、大阪市立大学（大阪）
- ⑯ Yuji OHYA, Takashi KARASUDANI, Tomoyuki NAGAI, Development of Shrouded Wind Turbines with Wind-Lens Technology, EWEA2011, 平成 23 年 4 月 6 日, Brussels (Belgium)
- ⑰ 上野祥彦、大屋 裕二、烏谷 隆、内田 孝紀 鏝つきディフューザ風車まわりの流れ場に関する数値的研究、第 24 回数値流体力学シンポジウム、平成 22 年 12 月 20 日
- ⑱ 大屋裕二、烏谷 隆、渡邊公彦、上野祥彦 風レンズ風車周りの流れ場の数値シミュレーションと風洞実験、第 32 回風力エネルギー利用シンポジウム、平成 22 年 11 月 25 日、東京
- ⑲ 胡 長洪、末吉誠、経塚雄策、大屋裕二 大波高波浪中洋上風力発電用浮体に関する数値シミュレーション、船舶海洋工学講演会、平成 22 年 5 月 19 日
- ⑳ Yuji OHYA, Takanori UCHIDA, Takashi KARASUDANI, Laboratory study of the atmospheric boundary layer with stable and unstable conditions, PHYSMOD2009, 24-26 August 2009, Belgium
- ㉑ Yuji OHYA, Development of a Highly Efficient Wind Turbine with Wind-Lens Technology, UK-Japanese Collaboration in Next Generation Energy and Environmental Technologies, 5 June 2009, UK
- ㉒ Yuji OHYA, Development of a Highly Efficient Wind Turbine with Wind-Lens Technology, Japan-UK Next Generation Energy Symposium (Japan-UK 150th Anniversary Next Generation Energy Project), 27 March 2009, UK

〔図書〕（計 2 件）

- ① 大屋裕二 他、丸善出版株式会社、風の事典、2011、267 p
- ② 大屋裕二 他、朝倉書店、乱流工学ハンドブック、2009、628 p

〔産業財産権〕

○ 出願状況（計 1 件）

名称：非定常流れを利用した流体機械、風車、及び流体機械の内部流れ増速方法

発明者：大屋裕二

権利者：大屋裕二

種類：特許

番号：第 PCT/JP2010/00189

出願年月日：平成 22 年 3 月 24 日

国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ

<http://www.riam.kyushu-u.ac.jp/windeng/index.php>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大屋 裕二 (OHYA YUJI)

九州大学・応用力学研究所・教授

研究者番号：00150524

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：