

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 2 日現在

機関番号：24405

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K21047

研究課題名（和文）係留を必要としない新たな洋上風力発電システムの開発

研究課題名（英文）Development of a novel mooring-less offshore power generation system

研究代表者

橋本 博公（Hashimoto, Hirotada）

大阪公立大学・大学院工学研究科 ・教授

研究者番号：30397731

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：洋上風力発電の展開規模の拡大のため、本研究では係留や風車を要しない新たな洋上風力発電システムの研究開発を行った。その特徴は、1．係留を要しない双胴型の浮体、2．セイルに働く風抗力を利用した水中タービンの曳航による発電、3．風向や波浪の影響を抑えた浮体・発電システム、4．自走による指定海域への復帰である。この新たな洋上発電浮体について試設計を行い、基本仕様の提案を行った。また、縮尺模型を製作して水槽試験を実施し、風の作用により安定して帆走することを確認した。種々の水槽試験結果にもとづき発電浮体の帆走シミュレーションを構築し、排他的経済水域で運用した場合の期待発電量や帆走範囲を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

再生可能エネルギーの中でも、洋上風力発電は賦存量が総体として極めて大きいことが知られているが、海底固着または係留を前提とする洋上風力発電は大深度海域での展開が困難である。この解決には抜本的な発想の転換が必要であり、風車を用いない新たな洋上風力発電システムの提案を行った。この従来とは一線を画する発想にもとづき、排他的経済水域での運用を想定した場合の期待発電量や帆走範囲までを示したことは、新規性や発展性の点で学術的な価値を有するものといえる。本発電浮体は、どのような海域でも運用が可能であることから、日本の広大な排他的経済水域の海底に眠る海底資源の探査や開発において重要な役割を果たすものとなる。

研究成果の概要（英文）：In order to expand the deployment of offshore wind power utilization, a new offshore wind power generation system that does not require mooring and wind turbines was researched. Its features are 1. Catamaran type floating bodies requiring no mooring; 2. Power generation by towing an underwater turbine using wind drag acting on a sail; 3. Less directivity of the floating bodies and power generation to the wind direction; 4. Self-propelled function returning to the designated area. A trial design was made for this new offshore power generation system, and several ideas and specifications were proposed. Then, a scaled model was built, and a model experiment was carried out. It was confirmed that it sailed stably under the action of the wind. By conducting several experiments, a sailing simulation model of the offshore power generation system was developed and the expected amount of power generation and the sailing range when operated in the exclusive economic zone were clarified.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：無係留発電浮体 洋上エネルギー基地 風力発電 水中タービン 双胴型浮体 帆走シミュレーション
大深度海域

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化対策の要として、再生可能エネルギーに大きな期待が寄せられている。化石燃料からの脱却に加えて、他国へのエネルギー依存度の低減や大規模な自然災害発生時のリスク分散の観点からも、その利用拡大が望まれている。再生可能エネルギーの中でも、洋上風力発電は賦存量が総体として極めて大きいことが知られている。現在、洋上風力発電システムとしては、海底に直に基礎を設置する着底式、係留索などで位置を固定する浮体式が開発されているが、設置可能な水深の制限により、その展開規模には限界がある。また、浮体式の風力発電システムでは、風車の重量が大きいことによる浮体の巨大化や高重心化が避けられない。さらに、ブレードやマストが受ける風抗力に耐えるためには、頑強な係留索が必要となるなど、陸上とは異なり、洋上での利用には解決すべき課題が多い。再生可能エネルギーの主役となるべき、洋上風力発電のブレークスルーを目指すためには、抜本的な発想の転換が必要であり、風車を用いない新しい洋上風力発電システムの構想に至った。

2. 研究の目的

本研究は、再生可能エネルギーの主役を担う可能性を秘めた洋上風力発電の新たな展開を模索する研究開発である。広大な排他的経済水域での利用を念頭に、大水深域での運用が可能な係留を必要としない新たな風力発電システムを開発する。この従来とは一線を画する洋上発電システムの構想は、係留を要しない双胴型の浮体、浮体に備わるセイルに働く風抗力を利用した水中タービンの曳航による発電、風況や海象の影響を抑えた浮体・発電システム、自走による指定海域への復帰機能の特徴とする。

本発電システムは、風車に替わって水中タービンで発電することから係留が不要であり、設置可能な水深の制限を受けない。排他的経済水域で洋上エネルギー基地として利用する場合は、暴風や高波に対する浮体の生存性確保が課題となるが、本提案では、風や波に応じて浮体が移動するため、構造上の負荷が非常に小さく、従来方式に散見される浮体の損傷や係留索の破断などの問題を回避できる。

この新たな浮体式洋上風力発電構想について、浮体及び発電システムの試設計と模型実験による評価を行う。さらには、無係留浮体の帆走シミュレーションを行うことで、発電期待量や運用上の課題を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 洋上発電浮体の試設計

試設計を行ううえでの基本コンセプトは以下の通りである。そのイメージを図1に示す。

浮体形状は復原性に優れた双胴型とする。風抗力を得るためのセイルとマスト、バッテリーの重量に耐える排水量を確保する。

セイルに働く風抗力によって浮体は帆走し、送電ケーブルを介して浮体に連結されたタービン発電機を曳航することで発電する。浮体は前後対称形状であり、水中タービンと共に進行方向を問わない。

水中タービンにシーアンカーの役割を担わせることで、浮体の振れ回りを最小限に抑える。浮体は波浪貫通型とし、荒天海域での凌波性を確保する。

発電電力は双胴浮体内部のバッテリーに蓄える。必要に応じて、タービンを推進器として利用する。

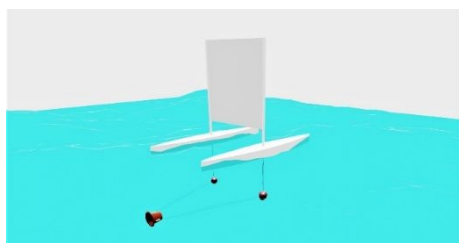


図1 無係留洋上発電浮体のイメージ

(2) 模型試験

試設計を行った発電浮体の概念実証や帆走性能について確認するため、1/8スケールの模型を製作し、大阪公立大学の曳航水槽および回流水槽にて以下の試験を実施する。

- ・ 定常風作用下での帆走試験
- ・ 中間シンカーを含めた曳航試験
- ・ セイルに働く流体力計測

・ タービンの姿勢安定性試験

(3) シミュレーションによる評価

試設計した帆走型浮体の発電性能評価と運用に関する課題抽出のため、船舶のウェザールーティング用に開発されたモデルを本発電浮体に応用し、波、風、海流/潮流の存在を考慮した帆走シミュレーションを実施する。シミュレーションのスタート地点は、多くの海底鉱物資源が眠るとされる南鳥島周辺の海域とする。波、風、海流/潮流データは2019年1月1日から1年間のデータを利用した。波、風のデータはNCEP (National Centers for Environmental Prediction) より、海流/潮流のデータはOSCAR(Observing Systems Capability Analysis and Review tool) より取得した。

4. 研究成果

(1) 洋上発電浮体の試設計

タービン直径を0.6mと仮定して試設計を行った。その結果(主要目)を表1に示す。浮体全体の長さは12.0m、幅は7.5mとなり、セイルは6.0m×6.0mの正方形、マストの高さは6.5mとなった。

表1 試設計(主要目)

| | |
|-----------|--------|
| 水中タービンの直径 | 0.6 m |
| 単胴浮体の長さ | 12.0 m |
| 単胴浮体の幅 | 1.5 m |
| 双胴浮体の最大幅 | 7.5 m |
| 喫水 | 0.67 m |
| セイルの幅 | 6.0 m |
| セイルの高さ | 6.0 m |
| マストの高さ | 6.5 m |

(2) 模型試験

コンセプト実証のために実施した帆走試験の様子を図2に、試設計時に作成した風速と帆走速度の推定式と実測との比較を表2に示す。数種類の風速を発生させて帆走実験を実施したが、いずれの条件でも浮体は風下に向かって安定して帆走した。帆走速度は推定値に比べてわずかに小さくなっているが、実験で定常速度を算出した区間が初期位置から5mほど風下に離れており、送風機からの距離に応じて風速が減少したことが原因と考えられる。



図2 定常風下での帆走試験

表2 帆走速度の推定値と計測値の比較

| | | | |
|----------------|-------|-------|-------|
| 風速 (m/s) | 1.40 | 2.72 | 4.03 |
| 帆走速度の推定値 (m/s) | 0.495 | 0.995 | 1.494 |
| 帆走速度の計測値 (m/s) | 0.471 | 0.940 | 1.318 |

(3) シミュレーションによる評価

本発電浮体に及ぼす環境の影響度合いを確認するため、(a)風のみ考慮、(b)海流/潮流のみ考慮、(c)風と海流/潮流を考慮の3パターンについて、同一地点、同一日時での帆走シミュレーションを行った。その結果、風のみを考慮した方が、海流/潮流のみを考慮した場合に比べて発電量も稼働率も大幅に高くなり、本発電浮体は風の作用が重要な要素であることが改めて確認できた。その一方で、発電量の推定においては、海流/潮流の存在を無視できないことも分かった。

波、風、海流/潮流を全て考慮したうえで、2019年1月1日から60日間の帆走シミュレーションを行った。その航跡図を図3に、帆走距離、総発電量、稼働率を表3に示す。なお、本シミュレーションではタービンを推進器とする自走機能は考慮していない。シミュレーション結果によれば、1日当たり平均22.0(kW)の発電が期待できるようである。これはAUV一機当たりのバッテリー容量を5(kWh)と想定すると、1日の運用でAUV約4機分の電力を賄うことができることとなる。

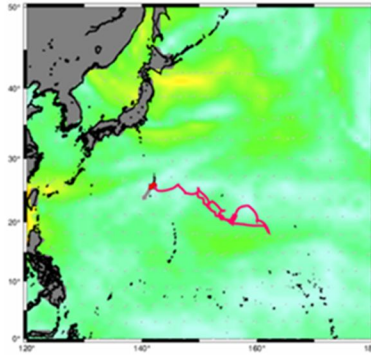


図3 帆走シミュレーションの結果（航跡）

表3 帆走シミュレーションの結果（帆走距離，総発電量，稼働率）

| | |
|------|-----------|
| 帆走距離 | 3108.4 km |
| 総発電量 | 1319.5 kW |
| 稼働率 | 51.8 % |

本発電浮体の特徴のひとつとして、帆走により発電を行いつつ、一定の海域内に留まるように、発電に期待ができない低風速の条件ではバッテリーからタービンに給電して推進し、低速で開始地点に向けて航行する自走機能がある。そこで、浮体の船首方位を出発地点に向けて一定の推力で自走する単純なモデルを加えてシミュレーションを行った。自走の条件は風速が3.0m/s以下とし、無外乱の条件で1.0ノットで航行できるように推力を付加した。風や海流/潮流の条件によってはセイルに働く抗力が推力を上回り、期待したような一定の海域に復帰する結果は得られなかった。自走機能の改善については今後の課題である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 中辻美音, 土橋優貴, 橋本博公 | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 無係留洋上発電浮体の試設計 | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 第29回海洋工学シンポジウム講演論文集 | 6. 最初と最後の頁 0ES29-049 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

| |
|---------------------------|
| 1. 発表者名 中辻美音 |
| 2. 発表標題 無係留洋上発電浮体の試設計 |
| 3. 学会等名 第29回海洋工学シンポジウム |
| 4. 発表年 2022年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|--|---|----|
| 研究分担者 | 松田 秋彦 (Matsuda Akihiko) (10344334) | 国立研究開発法人水産研究・教育機構・水研機構(神栖)・主幹研究員 (82708) | |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| | |
|---------|---------|
| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|