

令和元年6月12日現在

機関番号：17102
研究種目：若手研究(B)
研究期間：2017～2018
課題番号：17K14616
研究課題名(和文) 浮体式洋上型風力・波力複合発電装置の制御

研究課題名(英文) Control of Hybrid Wind-Wave Energy System

研究代表者

朱 洪忠 (ZHU, HONGZHONG)

九州大学・グリーンテクノロジー研究教育センター・助教

研究者番号：00752932

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、浮体式洋上風車に波力発電装置を取り付け、ハイブリッドエネルギーシステムの構築を検討し、以下の成果を得た。まず、波力発電装置を取り付けられる低コスト浮体を設計し、数学モデルを開発した。それに、簡易に設置される振動水柱型波力発電装置を設計し、波力発電のモデルを開発した。次に、3Dプリンターを活用し、1/100模型を試作し、水槽実験で数学モデルの妥当性を検討した。さらに、浮体動揺の低減のため、波力発電の制御則を開発し、シミュレーションで検証した。スモールスケール模型で質量の制限で、波力発電のパワーテイクオフ部分が実装できなくなり、制御器の効果が実験で検討できなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、制御工学と流体力学を融合し、従来両立困難である浮体式風車と波力発電と一体化の可能性に関して検討した。波力発電装置により浮体動揺低減に期待されるとこと示した。この技術の成立性がシミュレーション及び模型実験で確認でき、洋上再生エネルギーの新しい発展が期待される。

研究成果の概要(英文)：In this study, a hybrid wind-wave energy system was proposed. Firstly, a low cost semisubmersible in which wave energy converter can be installed was designed, and the stability of the floating wind turbine and the motion characteristics were analyzed. Secondly, an oscillating-water-column type wave energy converter which can be easily mounted on the semisubmersible was developed and the mathematical model was studied. Then, a 1/100 small scale model was designed and water tank tests were carried out to evaluate the performance of the numerical model. Finally, a model-based controller for wave energy converter was developed to reduce the motion of floating platform. Simulation results verified the good performance of the controller. Owing to the scaling problem that the mass of power-take-off of wave energy converter cannot be designed, and the performance of the controller was not verified by experiments.

研究分野：制御工学

キーワード：ハイブリッド風力波力システム 浮体式洋上風車 波力発電 動揺低減

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 風力エネルギーは、再生可能エネルギーの中でも発電コストが低いことから世界的に導入が進んでいる。資源量と設備利用率の観点、広い空間利用が可能であるという観点から、洋上風力エネルギーは増々注目されている。日本風力発電導入ロードマップ(中長期導入目標 V4.3)により、2050 年まで風力発電導入量は 2014 年時点の約 10 倍を目指しており、中でも洋上風力発電はその半分を担う事を期待されている。洋上風力発電の中でも浮体式発電は半分以上を担う事を求められる。

(2) 浮体式洋上風力発電は急速に拡大している一方、いくつかの課題も抱えている。風車疲労寿命短縮の原因である浮体動揺は大きな課題となっている。鈴木らによれば動揺振幅が 1 度の場合、設計上必要な断面係数の割増量が 30%、2 度となると 70% となることがわかっている。陸上風車の設計を大幅に変更することなく浮体式洋上風車に適用するためには浮体動揺振幅を 1 度程度に抑える必要があると報告された。

(3) セミサブ型浮体は波浪荷重が小さく、建設コストが比較的安く抑えられる構造形式であり、海象条件の厳しい日本沖合での設置にも適していると考えられている。波浪動揺量の低減のため、浮体構造の最適設計や風車ロータのアドバンス制御などの研究がなされてきた。浮体没水部の断面を小さくすることで復元剛性を低くし、固有周期を長周期化させた。しかしながら、これは同時に必要な積載力、復元力の確保と相対する問題であり、洋上風速の変動によって引き起こされる動揺への対応は困難である。他、風車ブレードのピッチ制御により浮体動揺のダンピングを増加させ、動揺低減にも効果があるとされている。ハードウェアの変更をせずに動揺抑制が可能であることは魅力的であるが、風車のロータ制御だけでは十分ではないと同研究グループの研究に示されている。そこでさらに斬新な考えによる動揺抑制が必要とされている。

(4) 波浪は浮体動揺の要因である一方、エネルギー源でもあり、波力発電と洋上風力を組み合わせれば、発電コストを下げられる可能性がある。なおその上に、波力発電によって波エネルギーを吸収することで、浮体動揺の軽減にも有効であると思われる。当研究者のこれまでの研究では、波力発電装置と浮体間のパワーテイクオフはバネとダンパーとして設定し、浮体動揺低減にシステムの最適設計及び協調制御について 2 次元上で行ったが、3 次元上での議論は触れていなかった。

2. 研究の目的

(1) 本研究は浮体動揺の抑制と単価発電コストの削減の両面から考え、制御工学と流体力学を融合して複合的な検討を行う。従来両立困難である浮体式風力発電と波力発電を一体化の基礎研究を行う。将来的には、洋上ウインドファームにおいて複数の風車各々の浮体が備える波力発電装置により波浪のエネルギーを吸収し、発電の効率とシステムの稼働率の向上が期待される。

3. 研究の方法

(1) 風力・波力複合発電システムの設計

図 1 に示すように、風力・波力複合発電システムを設計する。風車はよく知られる国立再生可能エネルギー研究所 (NREL) に設計される 5MW の風車を使う。浮体はセミサブ式の浮体を使う。コストを抑えるため、オフセットコラムは円形ではなく、四角形にする。振動水柱型波力発電装置はこれらのコラムの外側に取り付ける。波力発電チェンバー室のトップに PTO (power-take-off) 装置用のノズルとチェンバー内の圧力を制御する弁がある。

(2) システムのモデルの構築とモデル有効性の検証

マルチボディツールボックス SimMechanics を生かして、システムの構造モデルを作る。それに、WAMIT で浮体側の流体力係数を計算する。その後、線形理論を用いて波力のメカニズムを模擬する。

モデルの有効性を検証のため、1/100 模型を製作した。図 2 に示す。水槽実験の結果とモデルのシミュレーション結果との比較で、モデルの有効性を検証する。

(3) チェンバー内の圧力制御則の設計

チェンバーの圧力を弁で制御することで、浮体の運動を抑えることは本研究の主な目的であ

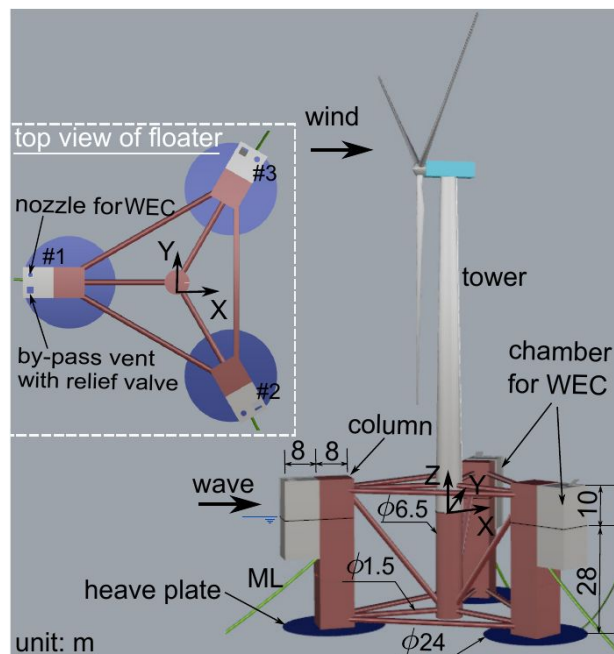


図 1: 風力・波力ハイブリッド発電システムの概略

る。まずは、制御器設計のため、システムの低次近似モデルを導出する。この近似モデルをベースにして制御器を開発する。その後、シミュレーションで制御器の有効性を検証する。

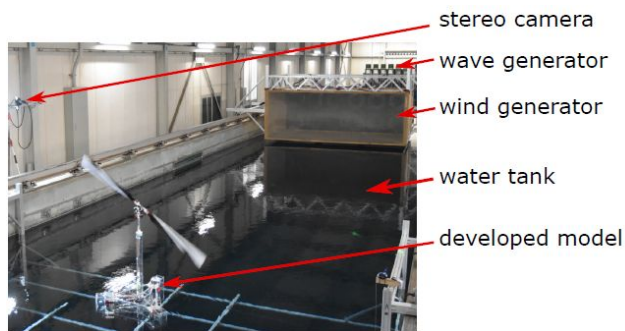


図2：実験模型と水槽実験風景

4. 研究成果

(1) 設計した風力・波力複合発電システムの安定性と波浪中の応答はシミュレーションで確認した。各自由度の固有周波数は波浪周波数帯域の外にあり、暴風時の安全性がシミュレーションで確認できる。ただし、機械要素の柔軟性(flexibility)と機械要素の強度については本研究の対象外になり、実用化する前に、詳細な検討が必要となる。

(2) 風力・波力複合システムのモデルを開発した。シミュレーションの結果と実験の結果を図3に示す。係留の設置と非線形粘性と空気出入りの摩擦の影響などでシミュレーション結果と実験結果と完全に一致するのは困難であるが、初期検討としては開発したモデルは系の運動解析と制御器設計には適切であると判断される。

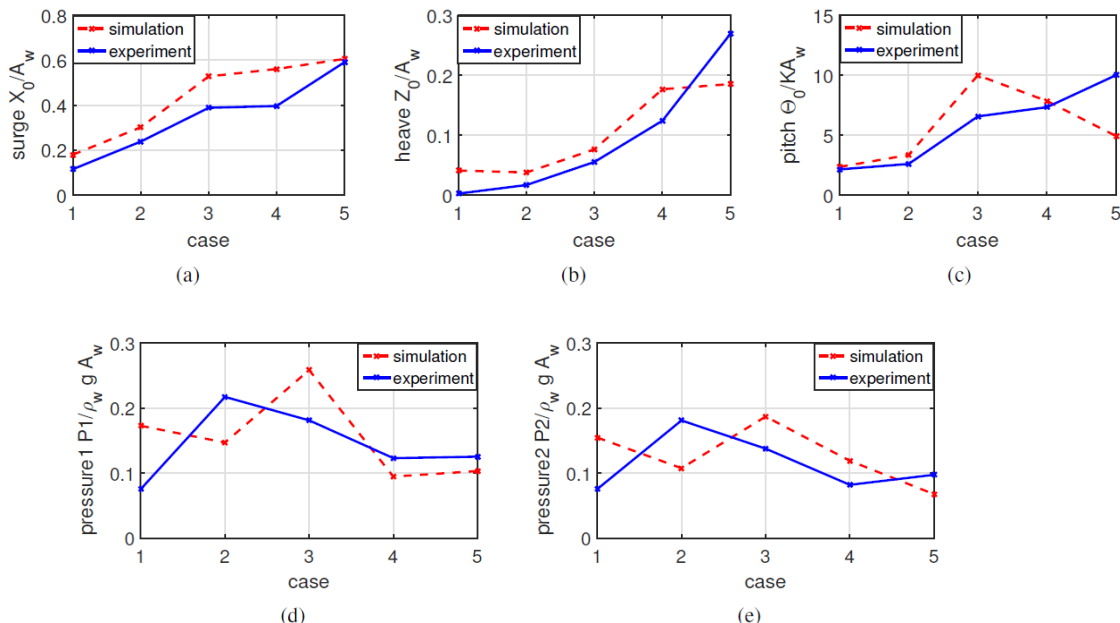


図3：シミュレーション結果と実験結果との比較

(3) 波力発電と浮体運動低減とのバランスを考慮した制御器を開発した。波浪が弱い時などでチェンバー室の空圧が小さい場合、浮体の運動も微小と考えられ、波力発電の効率を優先にし、弁が締まり、制御しないとする。

それに、暴風で波浪がかなり強くなった場合、チェンバー室の空圧が安全基準を超えた場合、弁が全開で圧力を低減させ、波力発電装置を守る。この時も、風車が暴風で止まり、複合装置全体は止まる状態である。他の場合、弁の制御でチェンバー室の空圧を制御し、浮体の運動を低減させる。制御の効果が図5に示す。従って、制御の有効性を示されている。

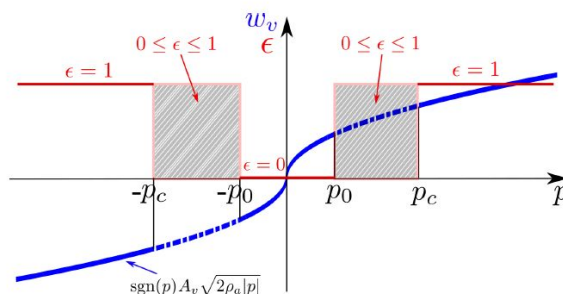


図4：チェンバー室圧力制御の概略

本研究は、制御工学と流体力学を融合し、従来両立困難である浮体式風力発電と波力発電と一体化の可能性に関して検討した。理論上は波力発電装置により浮体の動揺が低減できることを示した。この技術の成立性が確認でき、洋上再生エネルギーの新しい発展が期待される。

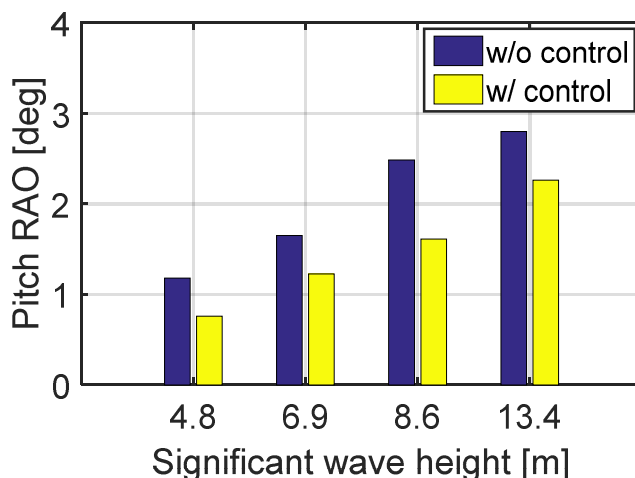


図 5：浮体ピッチ運動 RAO

5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

H. Zhu, M. Sueyoshi, C. Hu, and S. Yoshida, “A Study on Integration of Wave Energy Converter and Semi-submersible Floating Wind Turbine: A Water Tank Test,” The 4th Asian Wave and Tidal Energy Conference, Taipei, Sep., 2018.

H. Zhu, C. Hu, and M. Sueyoshi, “Design and Modeling of a Hybrid Wind-Wave Energy Concept,” 日本船舶海洋工学会講演会論文集第 28 号, pp. 69—74, 2019.

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況 (計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6．研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。