

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420862

研究課題名(和文)水中プラットフォームを用いた浮体式洋上ウィンドファームの開発に関する基礎研究

研究課題名(英文) Fundamental study on the development of a floating offshore wind turbine farm using an underwater platform

研究代表者

村井 基彦 (MURAI, MOTOHIKO)

横浜国立大学・環境情報研究科(研究院)・准教授

研究者番号：60292893

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：浮体式洋上風力発電システムについては、海洋再生可能エネルギーの中でも採算可能性が高いと言われている。その浮体式洋上風車の動揺を抑える構造体として、水中プラットフォームという概念を提案し、その有効性について水槽実験及び数値計算を通して検証検討を行った。

その結果、水深50mに設置された水中プラットフォームに搭載された洋上風車のタワー部の応答に着目すると、波向き依らず波浪中応答が浮体単体の応答に比して、少なくとも40%以上、多い場合には75%近く低減することを確認した。

研究成果の概要(英文)：A floating offshore wind turbine(FOWT) system is generally recognized as a relatively high cost efficiency system among marine renewable energy systems. It is better to reduce the FOWT response in waves for performance of the electric generation.

In this research, we propose a "Underwater Platform" which supports and mounts multi-FOWT with small response in waves. Then we examine and discuss the performance and effect of the "Underwater Platform" through many experiments and numerical simulations

As a result, when the FOWTs mounted on the Underwater Platform installed in 50m draft, the responses of the FOWTs are reduced to 60% or sometimes 25% of the original response which is observed in the case of which the FOWT is independently in waves. The results are shown in every wave direction condition. It can be said that the effect of the Underwater Platform is confirmed and its quality is much higher than we expected.

研究分野：海洋工学

キーワード：水中プラットフォーム 浮体式洋上風車 波浪中応答 流力弾性応答 応答低減 海洋再生可能エネルギー 水槽実験

1. 研究開始当初の背景

近年の化石燃料の高騰や地球温暖化問題、更に東日本大震災での原発事故やエネルギー自給率の向上などを背景に、国内でも再生可能な自然エネルギーが大きな注目と期待を集めており、2020年までに国内一次エネルギー供給に占める再生可能エネルギーの比率を10%以上に引き上げることが目標化されている。その目標達成において、日本が世界第6位の排他的経済水域を有していること、また技術的にも欧州での大規模洋上ファームの成功事例があることから、大規模な洋上風力発電ファームの構築が即効性のあるキーテクノロジーとして大きな期待をされている。

しかし、欧州での大規模洋上ファームの構築は、遠浅の地の利を活かした着定式風車によるものである。日本周辺での水深を考慮すると、世界に類を見ない浮体式風車による大規模洋上ファームの構築への挑戦が不可欠であり、その克服が急務となっている。

浮体式風車による大規模洋上ファームの構築にあたっては、まず、浮体式風車単体としての性能と経済性の向上が不可欠である。これについては研究代表者らも含め既に多くの研究が実施されてきており(鈴木ら)、浮体式風車の波浪中動揺性能の抑制による稼働率や安全性の向上だけでなく、風車の空力特性や係留系との連成やメンテナンス性も含めた評価が可能になりつつある。一方で、現状の研究の多くは洋上風車単体での性能向上に焦点が絞られており、ウィンドファームの評価は単体浮体の単純な足し算での評価となっている。しかし、大規模ファームの構築にあたっては、海域からの時空間的なエネルギー取得率の最大化を目的としつつ、浮体施設の大規模化によるメリットを活かしたオリジナルな技術開発に基づいた効率性や経済性の追求が欠かせない。

そこで本研究では、水中プラットフォームという構造体で複数の浮体風車群を連結する手法を提案し、その成立性についての検討を行う。水中プラットフォームで浮体式風車を連結することの最大のメリットは、着定式風車のウィンドファームのように相対的な位置保持が安定的に達成され、空間的なエネルギー取得の効率性向上と複数浮体の一体化による係留事故や浸水事故に対する安全面での冗長性が期待されることである。しかし、浮体式風車本体以外の構造物を導入することで、ライフサイクルを通しての安全性や経済性が損なわれないことが重要である。

2. 研究の目的

これらの背景を踏まえ、本研究課題では水中プラットフォームに接合された浮体式風車列を対象とし、総合的な性能向上を図るために、主に以下の事について数値解析手法の開発と合理的な水槽実験手法の開発を通して検討を行う。

複数の浮体と柔軟で長大な水中構造物の応答の連成問題 水中プラットフォームと浮体式風車を結合することにより浮体の動揺性能の抑制し単機に比した稼働率の向上を図る。且つ経済的に優れた水中プラットフォームの設計要件の検討：

一般に、セミサブ型やSPAR型浮体など水線面積に比して大きな水中体積を有する浮体は、波浪中の動揺が少ない。水線面積の小さい浮体式風車部と相対的に長大で水中体積を有する水中プラットフォームを接合することで、風車の稼働率に直結する動揺性能の向上が期待される。一方、水中における長大な柔軟構造物と浮体との連成挙動に関しては、未解明な部分が非常に多い。研究では水中プラットフォームと浮体風車運動を一体的に連成解析するコードを構築し、水槽実験での検証を行う。これらを踏まえて、風車の空間的に適切な配置密度を達成し、浮体の動揺性能を抑制するのに必要な強度を有しつつ、経済的な水中プラットフォームの設計要件を検討する。

柔軟で長大な水中構造物と非線形応答を有する複数係留索との応答の連成問題 水中プラットフォームを介して係留設備の共有化により単機に比した安全面での冗長性の確保と経済性の向上に関する検討：

浮体式風車にとって係留の経済性は極めて重要な要目である。単体を単に増やす概念で浮体式洋上ファームを構築すると、浮体単機から放射的に海底に伸びる多数の係留ラインが混在し、ファームの拡張性や万一の浮体単機に係留破断や浸水あるいは撤去の必要性が生じた場合の対応が難しくなる。水中プラットフォームを介した係留は安全面での冗長性の確保が期待されるだけでなく、将来の新型浮体風車の新設・交換に際し海底での作業を伴わないことから経済的で柔軟な対応も期待できる。これらの利点を引き出すため、既存の係留技術動向を踏まえ、合理的な係留方式に基づく水中プラットフォームの係留応答解析コードの構築を行う。特に係留応答には非線形な応答が含まれることが予想されることから、合理的な計算時間で必要な精度を持った解析コードの構築が望まれる。数値解析と合理的な水槽実験を通してこれらの検証を行い、経済的にも物理的にも合理的な水中プラットフォームとその係留方式や係留索数について検討する。

複数浮体 + 長大柔軟な水中構造物 + 複数係留索の応答の連成問題 想定海域と浮体形式に応じた水中プラットフォーム要目の最適設計手法に関する検討：

・ を通して得た新たな知見と構築した解析コードの連成を行い、ファームを一体化した数値解析コードを構築し、水中プラットフォームが有効な海象条件や浮体形式について検討を行うと共に、浮体式洋上ファームに適した水中プラットフォームの提案を行う。

3. 研究の方法

本研究は、横浜国立大学（以下、横国大）と（独）海上技術安全研究所（以下、海技研）の共同体制で取り組む。研究では、洋上ウィンドファームを構成する要素として風車浮体・水中プラットフォーム・係留索に着目し、研究代表者らがこれまでに個々に開発してきた解析手法を更に効率的且つ合理的に拡張・達成することで、全体システムの波浪中動揺について合理的な数値負荷でシミュレーション可能な解析モデルを構築と、複雑な連成問題に関する水槽実験手法の検討と確立を行う。また、研究体制としては、横国大と海技研の共同体制で取り組む。主に横国大側では、水中プラットフォームのコンセプトの成立に必要な、浮体・水中プラットフォーム・係留索の連成数値シミュレーション手法の開発を担当し、海技研側は検証実験や大型の実験の企画・検討を行う。また、モデル化の検討や最終的な安全性等の評価、実験の実施などについては両機関の連携のもとにする。

4. 研究成果

以下に年度毎の研究成果についてまとめる。H25年度は複数の浮体式風車を水中でつなぐ水中プラットフォームの概念を提案し(図1)、十分な復原力を有する重心範囲などの工学的な可能性について検討を行った。

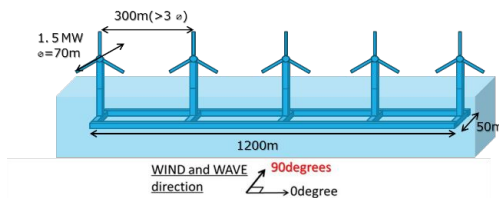


図1: 水中プラットフォームの概念

その結果、「大規模化によりメリットを活かす」「既存の設備を活かす」といった設計要件を盛り込んだ浮体形状の提案を行うことが出来た。その設計要件を満たした浮体モデルに関して、2次元浮体の浮体式洋上風車単体+水中プラットフォームの一部切り出しの水槽実験モデルを作成し、2次元水槽において2次元剛体運動について検討を行った。

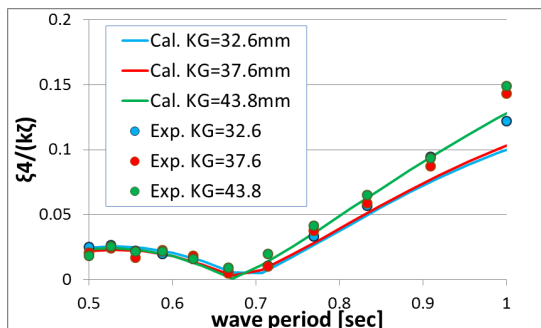


図2: 2次元水槽での実験結果と計算例

その結果は数値計算による推定結果と定性的、定量的な一致を確認することができ、その波浪中応答については目標通り波高影響を受けにくいことも確認した(図2)。

H26年度はH25年度の剛体としての浮体応答の特性を踏まえ、3つの洋上風車の連結を模した実験模型(図3)を製作し、水槽実験を通して浮体の長手方向に関する2次元の実験を行った。その結果、無視できない弾性応答が水中プラットフォームに発生することが確認されたが、一方でそれに伴う風車部の応答については、応答の低減が確認された。また、風荷重に関する検討も加えた結果、本システムとすると、2MW級の浮体式洋上風車であれば、復原性も含めて工学的に成立することが確認できた。

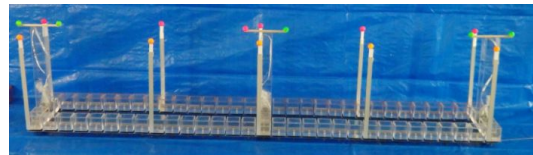


図3: 水中プラットフォームの実験模型

H27年度はH26年度までの研究における成果と知見を踏まえ、3つのタワー部を有し男性応答も許容する3次元実験モデルを作成し、平面水槽を用いた実験を行った。

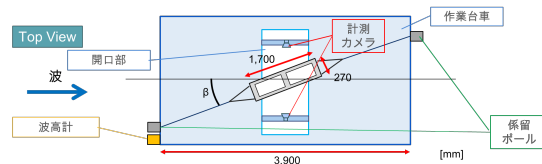
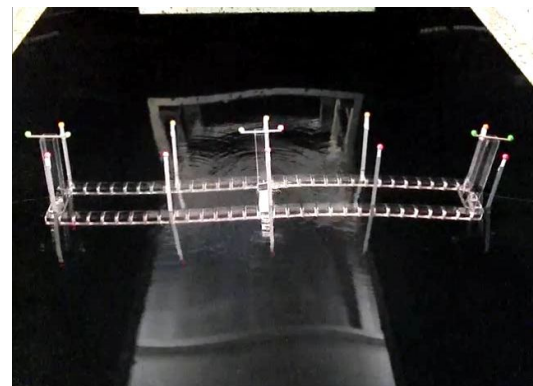
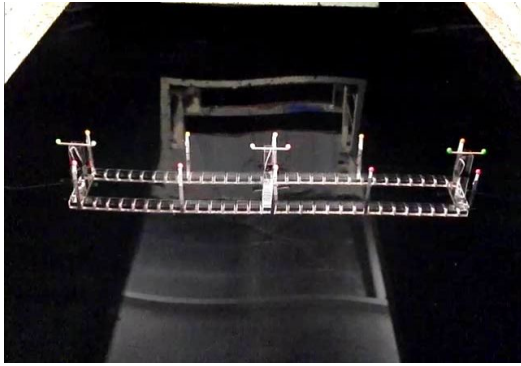


図4: 水槽実験(海技研・平面水槽にて実施)のレイアウト

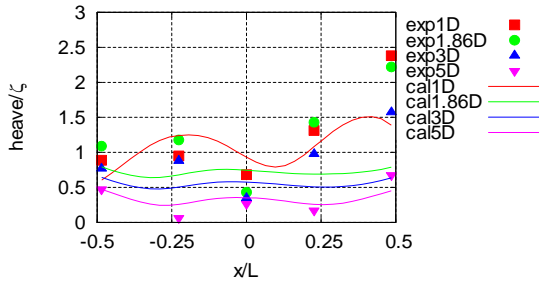
図5~6に波浪中(縦波)の応答実験例と実験解析例および数値解析結果を示す。また、図7~8については、斜め波中の水槽実験結果である。



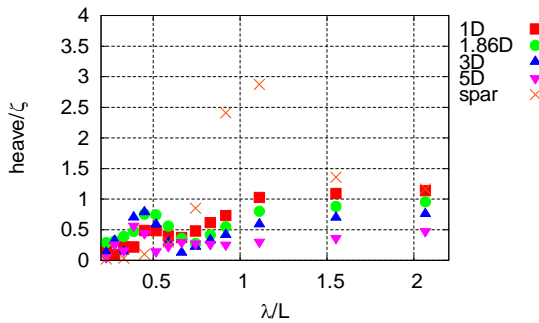
(A) 浅喫水状態での波浪中弾性応答例



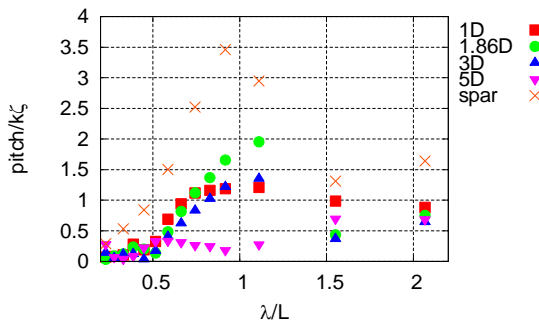
(B) 想定設置状態での波浪中弾性応答例



(C) 波浪中弾性応答の比較と数値解析
図5：縦波中の波浪中応答の水槽実験および数値解析例



(A) Heave 応答の低減効果



(B) Pitch 応答の低減効果

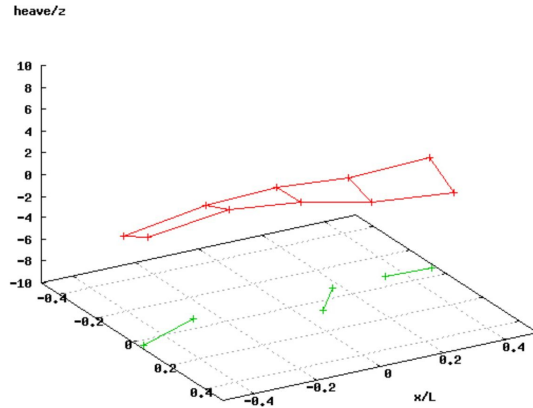
図6：波浪中応答の低減効果

図5および6を見ると、単独浮体としての応答(図中のSPAR(x))に比べて、水中プラットフォームに接続したときの応答(Heave・pitchの双方共)が、設置水深を深くする毎に減少し、設定設置水深(5D)においては、大幅に低減していることが伺える。

次に斜め波中について図7~8に示す。

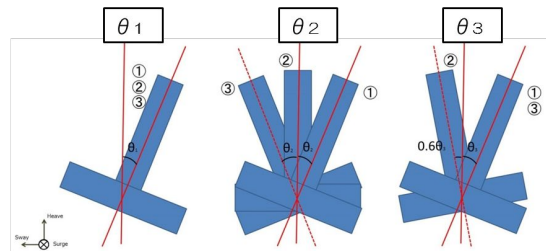


(A)斜め波中の実験

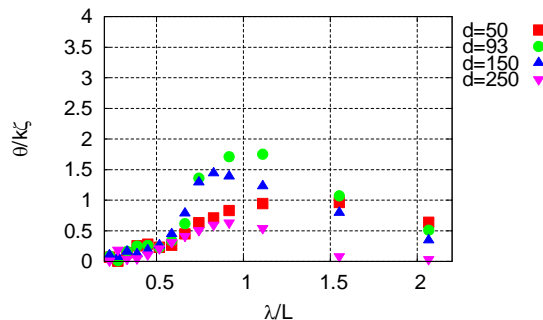


(B)ねじれ応答の例(実験値の解析)

図7：斜め波中の弾性応答例



(A)ねじれモードの定義



(B) θ_2 のねじれモードの低減効果

図8：ねじれモードの解析と想定設定水深(d=250)における応答低減効果の例

その結果、水中プラットフォームを想定設置水深50mに設置することにより、波向きによらず浮体単体の時と比べると40%以上、多い場合は75%近く、すなわち1/4程度まで応

答が低減されることが確認できた(図8)。また、一方で長大な構造物であるが故に、顕著なねじり応答についても確認された。しかし、そのねじり応答が浮体式洋上風車の応答にもたらしている影響は相対的には小さく、浮体式洋上風車単体での波浪中応答に比べると、大幅に応答が抑制されていることが確認できた。また、これらの結果については実験だけでなく本研究において開発している数値計算コードによる数値解析の面からも確認された。

これらの研究を通して、本研究で提案した水中プラットフォームについては、タワー部に接続した浮体式洋上風車の波浪中応答を洋上風車単独で波浪中にある場合と比べて、大幅に抑制させる効果を確認でき、水中プラットフォームの工学としての有効性を示すことが出来た。

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 2件)

1. Ken Haneda, Motohiko Murai and Jun Yamanoi, "Experimental study on a 3-dimensional hydro-elastic deformation of " underwater platform" with Multi-towers in waves", Proc. OMAE2016, accepted, 査読有り(2016.6, 釜山)
2. M. Murai, K. Haneda, J. Yamanoi, Y. Abe, " Experimental Study On a Motion Of " Underwater Platform" Including Hydro-Elastic Deformation in Wave ", Proc. ASME2015, Int. Conf. OMAE2015, OMAE2015-41722, 査読有り, (2015.6, ハワイ)

[学会発表](計 4件)

1. 村井基彦、羽田絢、山野井淳, "水中プラットフォームの波浪中応答に関する研究 第2報" 日本船舶海洋工学会講演会論文集 22号, pp.603-608, (2016.5, 博多)
2. Motohiko Murai, Ken Haneda, Shinsaku Munakata, Jun Yamanoi, " A FUNDAMENTAL STUDY ON RESPONSES OF " UNDERWATER PLATFORM " IN WAVES ", Proc. of 2nd AWTEC 2014, pp. 285-291, (2014.8, 東京)
3. 村井基彦, 羽田絢, 宗像晋作, 山野井淳, "水中プラットフォームの波浪中応答に関する研究", 日本船舶海洋工学会講演論文集, Vol. 18, pp. 113-116, (2014.5, 大阪)
4. 村井基彦, 羽田絢, 宗像晋作, 山野井淳, "小復原力水中プラットフォームの水

槽実験に関する研究", 第24回海洋工学シンポジウム講演論文集, OES24-75, (2014.3, 東京)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村井 基彦 (MURAI Motohiko)

横浜国立大学・大学院環境情報研究院・准教授

研究者番号: 60292893

(2) 研究分担者

羽田 絢 (HANEDA Ken)

国立研究開発法人・海上技術安全研究所・海洋利用水中技術系・研究員

研究者番号: 00636813