

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 7 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360196

研究課題名(和文) 高信頼性確保のための浮体式洋上風力発電施設の設計手法高度化に関する研究

研究課題名(英文) Study on design method sophistication of a floating offshore wind turbine for ensuring high reliability

研究代表者

宇都宮 智昭 (Utsunomiya, Tomoaki)

京都大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：10211773

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,600,000円、(間接経費) 4,380,000円

研究成果の概要(和文)：実稼動状態での浮体式洋上風力発電施設の動的挙動と発生応力を正確にシミュレーションできるプログラムを開発することで、設計手法の高度化を行い、施設の高信頼性確保につなげることを研究目的とし、以下A～Cのサブテーマに従って研究を実施した。A．マルチボディダイナミクスを基礎とするシミュレーションプログラムの開発 B．実海域洋上での自然環境外力のモデル化 C．水槽実験および実海域実験に基づくシミュレーションプログラムの検証

研究成果の概要(英文)：By developing a program that can accurately simulate the generated stress and dynamic behavior of a floating offshore wind turbine in a real state, this study aims to develop sophisticated design techniques, leading to high reliability of the facility. Then, the studies were carried out in accordance with the sub-theme of A - C below. A. Development of the simulation program based on the multi-body dynamics. B. Modeling of the natural environment of the external force in the actual sea offshore. C. Validation of the simulation program based on the actual sea experiment and the wave-tank experiment.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：洋上風力発電 浮体構造物 動的応答 連成振動 マルチボディダイナミクス 浮体式洋上風力発電

1. 研究開始当初の背景

浮体式洋上風力発電は、将来性のある再生可能エネルギー源として大規模な実証実験がなされる段階に至っているが、実証実験後の次のステップを考えると、発電原価に関する制約の緩い地域(例えば、本土に系統連系しない離島では発電コストは高い)からまず実際に実用化していくことが重要と考えられる。その実用化段階で発電事業者からの要望の高いのは、致命的故障を生じさせないことを含む低い故障率とメンテナンスコストの低減の2点であり、高い信頼性を有する浮体式洋上風力発電システムの実現が重要課題となっている。

信頼性の高いシステムを実現する上で実施すべきことは多岐にわたるが、本研究では、特に風車稼動時における風車・タワー・浮体・係留施設よりなる構造システムの強度的な信頼性確保を研究対象として考える。これら構造要素の強度設計(疲労設計を含む)においては、洋上風力発電施設が実際におかれる実海域環境下における自然外力を適当なモデルに仮定した上で動的シミュレーションを実施し、各構造要素の応力や加速度を求めることが必要となる。すなわち、実現象を正確に再現できるシミュレーションプログラムの開発と、実海域環境下での自然外力の適切なモデル化、の2点が重要であり、この両面から設計手法の高度化を図る必要がある。

2. 研究の目的

以上の背景に基づき、本研究では、マルチボディダイナミクスを基礎とした Aero-Hydro-Servo-Mooring Dynamics-Elasticity 統合解析手法によるスパー型洋上風力発電施設のシミュレーションプログラム開発をおこない、これを、実海域実験を含む実験結果と比較・検証することで、プログラムの精度検証と実海域環境下における自然外力のモデル化を含む入力モデル作成にあたってのガイドラインの作成をおこなう。

3. 研究の方法

(1) マルチボディダイナミクスを基礎とするシミュレーションプログラムの開発

以下の仕様を満たす浮体式洋上風力発電施設のためのシミュレーションプログラムの開発をおこなう。

有限な剛体変位を考慮するため、マルチボディダイナミクスに基づくソルバーとする。

係留系の非線形反力特性もマルチボディダイナミクスの枠組みで一体として扱うことを目標とする。

スパー型特有の Mathieu Instability を再現できるものとする。

風車のピッチ制御アルゴリズムを DLL により組み込み可能とし、その浮体応答への影響を検討可能な仕様とする。

風車ブレード、タワー、浮体基礎の弾性変形を考慮可能とする。

(2) 実海域洋上での自然環境外力のモデル化

実海域洋上での自然環境外力に関する測定(風、波、流れ、等)結果に基づき、浮体式洋上風力発電施設の動的応答シミュレーションの入力データとして適切な自然環境外力のモデル化手法について検討する。特に、以下の項目に着目して検討を行う。

波浪スペクトルにおける長周期成分のモデル化

風速スペクトルにおける低周波数成分のモデル化

風速の鉛直プロファイルのモデル化

洋上風の乱流強度のモデル化

風速と波高の相関に関するモデル化

波・風の方向の組合せに関するモデル化

流れの鉛直プロファイルのモデル化

(3) 水槽実験および実海域実験に基づくシミュレーションプログラムの検証

既存のスパー型浮体に対する水槽実験データを整理し、本研究で開発するシミュレーションプログラムの検証に供する。また、特にスパー型浮体において問題となる Heave (上下揺) および Pitch (縦揺れ) 間の連成に基づく Mathieu Instability に関して水槽実験で再現・確認した上で、これをシミュレーションプログラムで再現することを試みる。

4. 研究成果

(1) マルチボディダイナミクスを基礎とするシミュレーションプログラムの開発

NREL/FAST をプリプロセッサとし、MSC.Adams をソルバーとして用いることで、有限な剛体変位、係留系の非線形反力特性、スパー型特有の Mathieu Instability の再現、風車ブレード・タワー・浮体基礎の弾性変形の全てを考慮可能とし、また風車のピッチ制御アルゴリズムを Bladed-DLL 形式で組み込み可能なシミュレーションプログラムの作成を終了した。

(2) 実海域洋上での自然環境外力のモデル化

別途実施された環境省浮体式洋上風力発電実証事業により、ほぼ1年間にわたる風、波の連続データが取得され、また、流れについては、夏季・冬季においてそれぞれデータ取得された。これらのデータに基づき、風速の鉛直プロファイル、洋上風の乱流強度、風速と波高の相関、流れの鉛直プロファイルについては、IEC61400-3 に準拠する形でその定

量的なモデル化を行った。暴風時（特に、平成24年9月の台風16号通過時）および発電時それぞれに対して実海域実験におけるシミュレーションとの比較から、IEC61400-3に準拠する形での自然環境条件のモデル化の妥当性が確認された。

(3) 水槽実験および実海域実験に基づくシミュレーションプログラムの検証

別途実施されたスパー型浮体に対する水槽実験データを整理し、シミュレーションプログラムの検証に供した。概ね、シミュレーションプログラムは実験結果を良好に再現できたものの、流れによるVIM（Vortex Induced Motion）が発生する際には、流れ方向の力（抗力）および流れと直交する方向への動揺（Sway および Roll）が過小評価傾向にあることが明らかとなった。

また、暴風時（平成24年9月の台風16号通過時）および発電時それぞれに対する実海域実験におけるシミュレーションとの比較をおこない、本研究で開発したシミュレーションプログラムが実海域実験における浮体挙動を安全側に評価できることを示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計14件)

Tomoaki Utsunomiya, Shigeo Yoshida, Soichiro Kiyoki, Iku Sato, Shigesuke Ishida, Dynamic response of a spar-type floating wind turbine at power generation, Proceedings of the ASME 2014 33rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, 査読有, 2014, OMAE2014-24693
DOI: 10.1115/OMAE2014-24693

Tomoaki Utsunomiya, Shigeo Yoshida, Hiroshi Ookubo, Iku Sato, Shigesuke Ishida, Dynamic analysis of a floating offshore wind turbine under extreme environmental conditions, Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, ASME, 査読有, Vol.136, 2014, 020904-1 - 11
DOI: 10.1115/1.4025872

宇都宮智昭, 佐藤郁, 白石崇, 乾悦郎, 石田茂資, 浮体式洋上風力発電の実用化に向けて 五島市椏島における実証事業, 土木学会海洋開発論文集 B3(海洋開発), 査読有, Vol.70, 2014, 6pages

西村優希, 宇都宮智昭, 大型起重機船を用いた風車洋上接合時の動揺解析, 土木学会論文集 A2(応用力学), 査読有, Vol.69, No.2, 2013, I_809-I_820
DOI: 10.2208/jscejam.69.I_809

Tomoaki Utsunomiya, Hidekazu Matsukuma,

Shitaro Minoura, Kiyohiko Ko, Hideki Hamamura, Osamu Kobayashi, Iku Sato, Yoshihisa Nomoto, Kentaro Yasui, At sea experiment of a hybrid spar for floating offshore wind turbine using 1/10-scale model, Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, ASME, 査読有, Vol.135, 2013, 034503-1 - 8
DOI: 10.1115/1.4024148

Tomoaki Utsunomiya, Iku Sato, Shigeo Yoshida, Hiroshi Ookubo, Shigesuke Ishida, Dynamic response analysis of a floating offshore wind turbine during severe typhoon event, Proceedings of the ASME 2013 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, 査読有, 2013, OMAE2013-10618
DOI: 10.1115/OMAE2013-10618

Shigesuke Ishida, Kentaroh Kokubun, Tadashi Nimura, Tomoaki Utsunomiya, Iku Sato, Shigeo Yoshida, At-sea experiment of a hybrid spar type offshore wind turbine, Proceedings of the ASME 2013 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, 査読有, 2013, OMAE2013-10655
DOI: 10.1115/OMAE2013-10655

安倍久美子, 宇都宮智昭, スパー型浮体におけるパラメータ励振に関する研究, 土木学会論文集 A2(応用力学), 査読有, Vol.68, No.2, 2012, I_813-I_822
DOI: 10.2208/jscejam.68.I_813

間瀬肇, 安田誠宏, 池本藍, Tracey H.A. Tom, 森信人, 洋上気象・海象予測情報のインタラクティブ表示システムの開発, 土木学会論文集 B3(海洋開発), 査読有, Vol.68, No.2, 2012, I_1204-I_1208
DOI: 10.2208/jscejoe.68.I_1204

間瀬肇, 安田誠宏, Tracey H.A. Tom, 森信人, 中條壮大, 浮体式洋上風力発電サイトにおける波と風の観測と予測, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 査読有, Vol.68, No.2, 2012, I_1451-I_1455
DOI: 10.2208/kaigan.68.I_1451

T. Utsunomiya, S. Yoshida, H. Ookubo, I. Sato, S. Ishida, Dynamic Analysis of a Floating Offshore Wind Turbine under Extreme Environmental Conditions, Proceedings of the ASME 2012 31st International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, 査読有, 2012, OMAE2012-83985
DOI: 10.1115/OMAE2012-83985

K. Kokubun, S. Ishida, T. Nimura, T. Chujo, S. Yoshida, T. Utsunomiya, Model Experiment of a SPAR Type Offshore Wind Turbine in Storm Condition, Proceedings of the ASME 2012 31st International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, 査読有, 2012, OMAE2012-83993
DOI: 10.1115/OMAE2012-83993

間瀬肇, 森信人, 中條壮大, 安田誠宏, Sheng Dong, 池本藍, 気象・海象の再解析値と予測値を利用した洋上風力発電施設の設計外力算定, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 査読有, Vol.67, No.2, 2011, I_1226-I_1230
DOI: 10.2208/kaigan.67.I_1226

森信人, 紺野晶裕, 中條壮大, 間瀬肇, Xバンドレーダによる波浪観測と空間波形の解析, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 査読有, Vol.67, No.2, 2011, I_1226-I_1230
DOI: 10.2208/kaigan.67.I_1381

〔学会発表〕(計6件)

佐藤駿洋, 宇都宮智昭, 水圧・軸力および曲げを受ける円筒シェルの強度に関する設計基準比較とその検証, 日本船舶海洋工学会春季講演会, 2014, 仙台市

五井良直, 宇都宮智昭, スパー型浮体のパラメータ励振系としての動的安定性に関する研究, 第17回応用力学シンポジウム, 土木学会, 2014, 琉球大学

Tomoaki Utsunomiya, Iku Sato, Takashi Shiraishi, Etsuro Inui, Shigesuke Ishida, Floating offshore wind turbine demonstration project at Goto Islands, Japan, OCEANS '14 MTS/IEEE (招待講演), 2014, Taipei

宇都宮智昭, 浮体式洋上風力発電の最新動向 桜島の例, 日本船舶海洋工学会関西支部シンポジウム(招待講演), 2013, 大阪市

宇都宮智昭, 佐藤郁, 吉田茂雄, 飛永育男, 大久保寛, 環境省浮体式洋上風力発電実証事業 - その1 小規模試験機の構造設計について -, 第34回風力エネルギー利用シンポジウム, 2012, 東京都

國分健太郎, 石田茂資, 二村正, 中條俊樹, 吉田茂雄, 宇都宮智昭, 環境省浮体式洋上風力発電実証事業 - その4 小規模試験機に関する水槽実験及び計測方法 -, 第34回風力エネルギー利用シンポジウム, 2012, 東京都

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕
特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宇都宮 智昭 (UTSUNOMIYA, Tomoaki)
京都大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 10211773

(2) 研究分担者

間瀬 肇 (MASE, Hajime)
京都大学・防災研究所・教授
研究者番号: 30127138

池上 国広 (IKEGAMI, Kunishiro)
長崎総合科学大学・工学部・教授
研究者番号: 70320405

石田 茂資 (ISHIDA, Shigesuke)
独立行政法人海上技術安全研究所・洋上再生エネルギー開発系海洋エネルギー研究グループ・グループ長
研究者番号: 30360712

(3) 連携研究者

森 信人 (MORI, Nobuhito)
京都大学・防災研究所・准教授
研究者番号: 90371476

安田 誠宏 (YASUDA, Tomohiro)
京都大学・防災研究所・助教
研究者番号: 60378916

井上 俊司 (INOUE, Shunji)
独立行政法人海上技術安全研究所・洋上再生エネルギー開発系・系長
研究者番号: 50575157

中條 俊樹 (CHUJO, Toshiki)
独立行政法人海上技術安全研究所・洋上再生エネルギー開発系海洋エネルギー研究グループ・研究員
研究者番号: 70506477