

令和 4 年 6 月 1 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02364

研究課題名(和文)次世代浮体式洋上風力発電施設のための設計ツール開発とその検証

研究課題名(英文)Development of a design tool for next generation floating offshore wind turbines and its validation

研究代表者

宇都宮 智昭(UTSUNOMIYA, TOMOAKI)

九州大学・工学研究院・教授

研究者番号：10211773

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文):浮体式洋上風車の設計計算においては、多数の設計荷重ケースに対する時刻歴シミュレーション解析が必要となるが、10MWを超えるような長大型風車を搭載する次世代浮体式洋上風力発電施設の設計に対応できる解析ツールが、事実上、存在しないのが現状です。この問題を解決するため、ここでは、ライセンスの制約を受けない形で、マルチボディダイナミクスに基づく浮体式洋上風力発電の荷重解析ソフトウェアの開発とその実機での計測値に基づく検証を行いました。

研究成果の学術的意義や社会的意義

浮体式洋上風力発電は、沿岸から水深が急に深くなるわが国において洋上風力発電を大規模に導入する上で、なくてはならない技術です。10MWを超えるような超大型風車を搭載する次世代浮体式洋上風力発電施設の設計においては、極めて多くの荷重ケースに対する設計計算が必要になりますが、現状でこれに対応できるツールが存在しません。そこで、本研究では、これに対応できる設計ツールを開発することを目的としています。

研究成果の概要(英文): Floating offshore wind turbine design calculations require time history simulation analysis for a large number of design load cases. However, there exist no analysis tools that can be used to design next-generation floating offshore wind turbines equipped with large capacity wind turbines exceeding 10 MW. In order to solve this problem, we developed load analysis software for floating offshore wind power generation based on multibody dynamics and verified it based on the measured values on the actual floating offshore wind turbine.

研究分野：海洋エネルギー資源工学

キーワード：洋上風力発電 浮体式洋上風車 設計ツール 流力弾性解析 空力弾性解析 スパー型浮体

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

10MW 超級の次世代浮体式洋上風力発電施設においては、2～5MW 級の従来の浮体式洋上風力発電施設と異なり、疲労限界状態がタワー・浮体の設計における支配要因になると思われるが、現状、これに有効に対応できる設計ツールが存在しない。特に、市販の解析コードでは、使用可能なライセンス数が制約となり、多くの設計荷重ケースに対する解析の実施に極めて長時間かかるのが課題となっている。また、市販の解析コードでは、主にはりモデルをベースとして構造の内力計算をおこなうが、疲労解析に必要なのは局所の応力の時刻歴であって、煩雑な 2 段階解析を行う必要があり、また、その精度も不明である。

2. 研究の目的

- 1) 詳細 FEM (Finite Element Method ; 有限要素法) モデルをベースとして、直接、局部応力の時刻歴応答が出力可能なマルチボディダイナミクスソルバーを開発する。
- 2) 上記ソルバーのスーパーコンピュータ(九州大学"ITO")への実装と、多数の DLC (Design Load Case ; 設計荷重ケース) に対する同時並行解析を実施・実証する。
- 3) 上記手法による解析結果と五島沖浮体式洋上風力発電施設の実海域実測データとの比較・検証をおこなうとともに、同施設の疲労損傷にかかる詳細調査をおこなう。

3. 研究の方法

【平成 31 年度研究計画】

- 1) 現状の剛体多体系モデルに基づく手法は、ソルバーとして汎用の MSC Adams を用いているが、まずはこれと等価な結果が得られるようなマルチボディダイナミクスソルバーのコーディングをおこなう。平成 31 年度は、比較的単純なモデルにおいて、Adams と等価な結果が得られることを検証し、今後の開発のベースとなるソルバーをソースコードとして整備できればよいものとする。
- 2) FEM 詳細モデルのマルチボディダイナミクスソルバーへの組み込み手法を検討する。平成 31 年度は、MSC Adams に実装されている Flex 機能を利用し、NASTRAN で作成した弾性 FEM モデルを剛体要素と置き換える手法の適用性をまず検討するとともに、現状の 2 段階解法による出力との整合性を確認する。
- 3) 発電時における風車制御プログラムを開発する。インハウスコードとして整備し、MSC Adams および 1) で開発するインハウスソルバー双方に対して適用可能なものとする。また、スパーク型浮体におけるネガティブダンピングの制御およびヨー制御についても検討する。

【令和 2 年度研究計画】

- 1) 現状の剛体多体系モデルに基づく手法は、ソルバーとして汎用の MSC Adams を用いているが、まずはこれと等価な結果が得られるようなマルチボディダイナミクスソルバーのコーディングをおこなう。平成 31 年度、ソースコードが公開されている MBDyn を用いて、単純な動力学モデルに対して Adams と MBDyn の解析結果が一致すること、および、単純化した浮体式風車モデルに対して空力弾性解析が可能であることを確認し、MBDyn をソルバーとする方針を確立した。令和 2 年度は、MBDyn に組み込み可能な形で、流体力解析モジュール、係留力解析モジュール、空力解析モジュール、プリポストモジュールなどの開発・整備を進め、従来の Adams による剛体多体系モデルと等価な結果が得られるようにする。
- 2) FEM 詳細モデルのマルチボディダイナミクスソルバーへの組み込み手法を検討する。平成 31 年度、MSC Adams に実装されている Flex 機能により弾性 FEM モデルを剛体要素と置き換える手法について、これが実際に可能であることを確認した。令和 2 年度は、さらにその適用性の確認を進めるとともに、MBDyn への弾性 FEM モデルの組み込み手法についても検討する。また、五島沖浮体式洋上風力発電施設での実応力測定に関する準備および予備計測をおこない、令和 3 年度、詳細な比較・検証をおこなうためのデータ取得を開始する。
- 3) 発電時における風車制御プログラムを開発する。インハウスコードとして整備し、MSC Adams および MBDyn 双方に対して適用可能なものとする。また、スパーク型浮体におけるネガティブダンピングの制御およびヨー制御についても検討する。平成 31 年度、Orcaflex および Adams に組み込み可能な形で、定格風速付近を除き、ネガティブダンピングの制御について検討できた。令和 2 年度は、定格風速付近を含めて安定した浮体応答・発電出力の得られる実用性のある風車制御プログラムの開発をおこなうとともに、MSC Adams および MBDyn 双方に対して適用可能とする。

【令和 3 年度研究計画】

- 1) 令和 2 年度において、ソースコードが公開されている MBDyn に対して、MBDyn 本体を変更することなくユーザ拡張機能を新たに追加する手法を確立し、流体力解析モジュールと係留力解析モジュールの実装をおこない、浮体式洋上風車の運動解析をおこなうことができた。令和 3 年度は、変動風に対応した空力解析モジュールと風車制御モジュールの実装をおこなうとともに、

剛体 パネモデルによる断面力の時刻歴出力までを実現する。さらに、流体力解析モジュールと係留力解析モジュールの高度化もあわせておこなうことで、現状の剛体 パネモデルによる MSC Adams の結果とほぼ完全に等価な結果を得ることを目標とする。さらに、結果の可視化についても検討する。

2) 令和 2 年度において、Adams に実装されている Flex 機能により弾性 FEM モデルを剛体要素と置き換える手法について検討したが、本年度は、本手法をさらに高度化し、Adams 上で五島沖浮体式洋上風力発電施設の弾性 FEM モデルに基づく応力時刻歴の直接出力を実現する。また、実機での実応力測定を本格的に実施し、シミュレーション結果との比較・検討をおこない、シミュレーションモデルの改善につなげる。

3) MBDyn によるソルバーをスーパーコンピューター（九州大学"IT0"）に実装し、多数の DLC に対する同時並行解析を実証する。FEM モデルによる応力時刻歴の直接出力を MBDyn に実装するのは令和 4 年度以降となる見込みのため、まずは荷重解析レベルでの同時並行解析の実現を優先する。

4. 研究成果

【平成 31 年度研究成果】

1) ソースコードが公開されている MBDyn を用いて、単純な動力学モデルに対して Adams と MBDyn の解析結果が一致すること、および、単純化した浮体式風車モデルに対して空力弾性解析が可能であることを確認し、MBDyn をソルバーとする方針を確立した。

2) FEM 詳細モデルのマルチボディダイナミクスソルバーへの組み込み手法を検討する。平成 31 年度は、MSC Adams に実装されている Flex 機能により弾性 FEM モデルを剛体要素と置き換える手法について、これが実際に可能であることを確認した。

3) 発電時における風車制御プログラムを開発する。インハウスコードとして整備し、MSC Adams および MBDyn 双方に対して適用可能なものとする。また、スパー型浮体におけるネガティブダンピングの制御およびヨー制御についても検討する。平成 31 年度は、OrcaFlex および Adams に組み込み可能な形で、定格風速付近を除き、ネガティブダンピングの制御について検討できた。

【令和 2 年度研究成果】

1) ソースコードが公開されている MBDyn に対して、MBDyn 本体を変更することなくユーザ拡張機能を新たに追加する手法を確立し、流体力解析モジュールと係留力解析モジュールの実装をおこない、浮体式洋上風車の運動解析をおこなった。本成果は、別途、JASNAOE 春季講演会にて公表した。

2) Adams に実装されている Flex 機能により弾性 FEM モデルを従来の剛体要素と置き換える手法について検討し、従来の剛体 - パネモデルを用いた手法と、弾性梁モデルを用いた手法およびシェル要素を用いた手法の比較・検討を行った。また、五島沖浮体式洋上風力発電施設のタワー基部での実ひずみ測定をおこない、シミュレーション結果との比較・検討をおこなった。このうち、弾性梁モデルを用いた手法およびシェル要素を用いた手法の比較・検討について、別途、JASNAOE 春季講演会にて公表した。

3) 発電時における風車制御プログラムの開発を行った。特に、アップウィンド型風車への適用時に問題となるヨー方向の制御手法について検討し、独立ピッチ制御により発電時ヨー応答を抑制可能であることを示した。本成果は、別途、JASNAOE 春季講演会にて公表した。

【令和 3 年度研究成果】

1) 令和 3 年度は、変動風に対応した空力解析モジュールと風車制御モジュールの実装を目的としたが、このうち、変動風に対応した空力解析モジュールの実装について、NREL Aerodyn Ver. 13 の MBDyn への実装を実現した。また、実装の過程で、従来、MBDyn に実装されていた Aerodyn ver. 12 のモジュールならびに Aerodynamic element の不備を発見した。風車制御モジュールについては、MBDyn への実装は未完成であるが、NREL DISCON ならびに DTU We モジュールについて、ADAMS との組み合わせで 5MW および 2MW 風車におけるネガティブダンピング抑制を含めた風車制御手法をほぼ確立した。

2) 五島沖の浮体式洋上風車「はえんかぜ」のタワー基部において、ひずみの実測をおこない、従来の剛体・パネモデルによる応力シミュレーション値で実測値が概ね再現できることを確認した。Adams 上での応力時刻歴の直接出力は未実現であるが、実測値を得ているため、今後、継続的に取り組みたい。

3) MBDyn のスーパーコンピューターへの実装および多数 DLC に対する同時並行解析も未検証であるが、空力解析モジュールの MBDyn への組み込みを完了したため、今後、継続的に取り組みたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 0件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 荒木 詩乃、宇都宮 智昭	4. 巻 34
2. 論文標題 変動風を考慮したMBDynによる浮体式洋上風車の設計ツール開発	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会講演会論文集	6. 最初と最後の頁 543-547
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 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 大窪 寿志、松田 知大、宇都宮 智昭	4. 巻 32
2. 論文標題 MBDynによる浮体式洋上風車の設計ツール開発 - 流体力解析・係留解析モジュール -	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会講演会論文集	6. 最初と最後の頁 1-5
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 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 中島 直也、宇都宮 智昭、武内 崇晃	4. 巻 32
2. 論文標題 柔軟多体系モデルによる浮体式洋上風力発電施設の応力解析	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会講演会論文集	6. 最初と最後の頁 1-4
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 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 西澤 春輝、宇都宮 智昭	4. 巻 32
2. 論文標題 独立ピッチ制御による浮体式洋上風車のYaw応答抑制に関する研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会講演会論文集	6. 最初と最後の頁 1-7
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 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 寺田啓祐、宇都宮智昭	4. 巻 30
2. 論文標題 浮体式洋上風力発電施設のためのマルチボディダイナミクスソルバーの開発	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会講演会論文集	6. 最初と最後の頁 1-5
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 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 荒木詩乃、宇都宮智昭	4. 巻 30
2. 論文標題 FEMとマルチボディダイナミクスの結合による浮体式洋上風力発電施設の応力解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会講演会論文集	6. 最初と最後の頁 1-5
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 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 山根和樹、宇都宮智昭	4. 巻 30
2. 論文標題 浮体式洋上風車におけるネガティブダンピング抑制のための制御手法に関する研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会講演会論文集	6. 最初と最後の頁 1-5
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 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 荒木 詩乃、宇都宮 智昭
2. 発表標題 変動風を考慮したMBDynによる浮体式洋上風車の設計ツール開発
3. 学会等名 令和4年日本船舶海洋工学会春季講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大窪 寿志、松田 知大、宇都宮 智昭
2. 発表標題 MBDynによる浮体式洋上風車の設計ツール開発 - 流体力解析・係留解析モジュール -
3. 学会等名 令和3年日本船舶海洋工学会春季講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中島 直也、宇都宮 智昭、武内 崇晃
2. 発表標題 柔軟多体系モデルによる浮体式洋上風力発電施設の応力解析
3. 学会等名 令和3年日本船舶海洋工学会春季講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西澤 春輝、宇都宮 智昭
2. 発表標題 独立ピッチ制御による浮体式洋上風車のYaw応答抑制に関する研究
3. 学会等名 令和3年日本船舶海洋工学会春季講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 寺田啓祐、宇都宮智昭
2. 発表標題 浮体式洋上風力発電施設のためのマルチボディダイナミクスソルバーの開発
3. 学会等名 令和2年日本船舶海洋工学会春季講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 荒木詩乃、宇都宮智昭
2. 発表標題 FEMとマルチボディダイナミクスの結合による浮体式洋上風力発電施設の応力解析
3. 学会等名 令和2年日本船舶海洋工学会春季講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山根和樹、宇都宮智昭
2. 発表標題 浮体式洋上風車におけるネガティブダンピング抑制のための制御手法に関する研究
3. 学会等名 令和2年日本船舶海洋工学会春季講演会
4. 発表年 2020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

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