

令和元年5月20日現在

機関番号：24403

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K18123

研究課題名（和文）予見情報を利用した浮体式洋上風力発電およびウィンドファームの制御

研究課題名（英文）Preview-based control of floating offshore wind turbines and wind farm

研究代表者

原 尚之（Hara, Naoyuki）

大阪府立大学・工学（系）研究科（研究院）・准教授

研究者番号：10508386

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）：浮体式洋上風車を主な制御対象とし、特に、風速の予見情報による制御性能の改善、個別ブレードピッチ角制御系の設計、ウィンドファームの出力最大化、について研究を展開した。風速の予見情報による性能改善については、風速の予見時間と性能改善の度合いを明らかにした。また、個別ブレードピッチ角制御については、その設計方法および非線形シミュレータ・スケール模型を用い性能が向上することを確認した。ウィンドファームの出力最大化については、分散最適化の手法により、最大化を図る方法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

風車の大型化に伴い、ブレードピッチ角制御の重要性は増すと思われる。現在は、PIDベースの制御法が主流であるが、今後、LIDAR（レーザーを用いた遠隔計測装置）や個別ピッチを用いた高度な制御も用いられてくると予想される。本研究の成果は、そのような高度制御系を構成するために必要な基礎的な知見を与えるものである。

研究成果の概要（英文）：We considered a floating offshore wind turbine and investigated 1) performance improvement with wind speed preview, 2) design of an individual blade pitch controller, and 3) power maximization of wind farm. The outcomes of the study are summarized as follows: 1) we shed light on the relationship between the wind preview length and the control performance. 2) we proposed an individual blade pitch controller and tested its performance using a high-fidelity nonlinear simulator and 1/100 scale model with individual pitching capability. 3) power maximization of the wind farm was achieved by employing a distributed optimization scheme.

研究分野：制御工学

キーワード：浮体式洋上風車 ブレードピッチ角制御 予見制御

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

1. 研究開始当初の背景

風力発電は主に、陸上に設置する陸上風力発電と洋上に設置する洋上風力発電に分かれる。洋上風力発電の中でも、比較的水深の深い海域にも設置できる浮体式洋上風力発電は、浅水域の広さが限られる日本などにとって、大規模な洋上ウィンドファームを展開するのに適しているとされ期待されている。風力発電の制御には、主にトルク制御とブレードピッチ角制御がある。浮体式の洋上風力発電の場合、ブレードピッチ角制御は、風車ロータ回転系のダイナミクスだけでなく、浮体運動のダイナミクスにも影響を及ぼす。従って、これらを陽に考慮したブレードピッチ角制御器を設計する必要がある。より制御性能を向上させるため、風車に到達する風速の予見情報をブレードピッチ角制御に取り入れることが検討されてきた。いくつかのアドホックな設計手法が提案されてきたが、系に存在する不確かさがどのように予見による性能改善へ影響するのか、予見制御の実験的な検証、ウィンドファームにおける予見情報の活用などについては、明らかにされていなかった。実際に予見制御がブレードピッチ角制御に用いられていくためには、これらの点が明らかにされる必要があった。

2. 研究の目的

本研究では、浮体式洋上風車のブレードピッチ角制御について、つぎの点を目的に研究をおこなった：1)不確かさが存在するもとの風速の予見と制御性能の改善の度合いを明らかにする、2)個別ピッチ制御可能な風車スケールモデルの製作と実験、3)ウィンドファームにおける出力最大化。

3. 研究の方法

2で述べた各研究目的について、つぎのような方法により研究をおこなった：1)既存の浮体式風車の1/100スケールを用い、ロバスト制御手法によるブレードピッチ角制御系の構成と実験的検証、また、スケールモデルの数理モデルをベースに、H_∞予見制御理論を適用した風速の予見と性能改善具合の調査、2)個別ピッチ角制御系の設計とその非線形シミュレータによる評価と個別ピッチ角制御の1/100スケールモデルでの評価、3)簡易なウェイクモデルを採用した出力最大化についての検討。

4. 研究成果

主な研究成果はつぎのようにまとめられる。

1)風速の予見と性能改善の関係の解明

浮体式風車の1/100スケールモデルを用い、その数理モデルをシステム同定法の手法により構築した(雑誌論文, など)。この数理モデルに基づき、不確かさが存在しない場合、および不確かさが存在する場合について、風速の予見と性能改善の度合いを調査した。H_∞予見制御理論を適用した結果、いずれの場合も、風速の予見情報を制御に用いることにより、性能改善は見込めるが、その性能改善には限界があることが定量的に明らかになった(雑誌論文, 学会発表, など)。また、不確かさとしては、風速の予見情報の不確かさを考慮した。不確かさの大きさと予見による性能改善の関係については、不確かさが大きいほど達成可能な性能限界も劣化することがわかった。

2) 個別ピッチ角制御系の設計とその非線形シミュレータによる評価と個別ピッチ角制御の1/100スケールモデルでの評価

個別ピッチ角制御系の設計方法とその性能評価をNRELの空力弾性シミュレータFASTを用いておこなった。そして、ウィンドシアなどブレードに加わる不均一な荷重が個別ピッチ操作により低減できることを明らかにした(雑誌論文, など)。個別ピッチ角制御可能なスケールモデルを製作し、実験環境の整備をおこなった。このスケールモデルを用い、個別ピッチ角制御の実験的検証の予備検討をおこない、実際にウィンドシアを模擬した風速条件下で、不均一なブレードへ加わる荷重が抑制できることを確かめた(雑誌論文, 学会発表)。

3) ウィンドファームにおける出力最大化

ウィンドファームにおいては、風車の後流の影響により、各風車がそれぞれ最大出力をしてもウィンドファーム全体としては発電出力が最大化されないことがある。また、風速変化が生じた場合、風上の風車は風下の風車に比べ、時間的に早く変化を受ける。従って、この情報を風下の風車に事前に通知することにより、予見的な制御が可能になると期待される。本研究では、予見を取り入れた制御系設計の基礎検討として、簡易なウェイク(後流)モデルを考え、分散最適化の手法によりウィンドファームの出力最大化を図る方法について検討をおこなった(学会発表, SICE Annual Conference 2019(投稿中))。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計10件)

末元大樹, 原尚之, 小西啓治, 浮体式洋上風車のブレードにかかる荷重を考慮したブレード

ドピッチ角制御器の設計および性能評価-個別ピッチ角制御と共通ピッチ角制御の性能比較 - , 電気学会論文誌 C , 査読有 , 139 巻 , 2019 , pp.442-453, DOI: 10.1541/ieejieiss.139.442

H. Suemoto, N. Hara, Y. Nihei, and K. Konishi, Experimental testing on blade load mitigation of wind turbines with individual blade pitch control under wind shear, Proc. of 2019 IEEE International Conference on Advanced Robotics and Mechatronics , 査読有 , 2019 (発表決定)

T. Ichikawa, N. Hara and K. Konishi, Gain tuning of two-loop PID controller with FRIT for fluctuation suppression on floating offshore wind turbines, Proc. of 2018 18th International Conference on Control, Automation and Systems, 査読有 , 2018 , pp. 1066-1067

T. Tsuya, N. Hara, K. Konishi, Blade pitch controller design using output feedback H-infinity preview control for floating wind turbine scale model, Proc. of SICE Annual Conference 2018, 査読有 , 2018 , pp. 1144-1147

柿田幸佑喜, 原尚之, 小西啓治, 外乱抑制 FRIT 法を用いた PI 制御ゲインチューニングの浮体式洋上風車への応用, 電気学会論文誌 C , 査読有 , 137 巻 , 2017 , pp. 1228-1237, DOI: 10.1541/ieejieiss.137.1228

N. Hara, S. Tsujimoto, Y. Nihei, K. Iijima, and K. Konishi, Experimental validation of model-based blade pitch controller design for floating wind turbines: system identification approach, Wind Energy, 査読有 , 20 巻 , 2017 , pp. 1187-1206, DOI: 10.1002/we.2089

H. Suemoto, N. Hara, and K. Konishi, Model-based design of individual blade pitch and generator torque controllers for floating offshore wind turbines, Proc. of 2017 Asian Control Conference, 査読有 , 2017 , pp. 2790-2795, DOI: 10.1109/ASCC.2017.8287619

N. Hara, Y. Nihei, K. Iijima, and K. Konishi, Blade pitch control for floating wind turbines: Design and experiments using a scale model, Proc. of 1st IEEE Conference on Control Technology and Applications, 査読有 , 2017 , pp. 481-486, DOI: 10.1109/CCTA.2017.8062508

Y. Noma, N. Hara, and K. Konishi, A preliminary result on system identification of a floating offshore wind turbine, Proc. of 16th International Conference on Control, Automation, and Systems, 査読有 , 2016 , pp. 35-38

R. Watanabe, N. Hara, and K. Konishi, A preliminary study on gain-scheduled model predictive control of floating offshore wind turbines, Proc. of 16th International Conference on Control, Automation, and Systems, 査読有 , 2016 , pp. 679-683

[学会発表](計18件)

原尚之, 小西啓治, 分散最適化を用いたウィンドファームの出力最大化の基礎検討, 2019年電気学会電子・情報・システム部門大会, 2019

市川崇, 原尚之, 小西啓治, 浮体式洋上風車の動揺抑制を考慮した2ループPI制御器のFRIT法によるゲインチューニング, 平成31年電気学会全国大会, 2019

末元大樹, 原尚之, 二瓶泰範, 小西啓治, ウィンドシア条件下における風車スケール模型を用いた個別ピッチ角制御の初期検討, 平成31年電気学会全国大会, 2019

津屋朋花, 原尚之, 小西啓治, 予見する風速の不確かさを考慮した浮体式洋上風車スケール模型のブレードピッチ角制御, 第61回自動制御連合講演会, 2018

野間友貴, 原尚之, 小西啓治, 波外乱項をもつ浮体式洋上風車の線形モデルを利用したブレードピッチ角制御器の設計: 波外乱項の有用性評価, 平成30年電気学会全国大会, 2018

末元大樹, 原尚之, 小西啓治, 状態推定法を用いた浮体式洋上風車の個別ピッチ角制御器

設計, 第 39 回風力エネルギー利用シンポジウム, 2017

津屋朋花, 原尚之, 小西啓治, 浮体式洋上風車スケール模型に対する出力フィードバック H 予見制御法を用いたブレードピッチ角制御器設計, 第 60 回自動制御連合講演会, 2017

渡邊亮, 原尚之, 小西啓治, 浮体式洋上風車に対する確率モデル予測制御を用いたブレードピッチ角制御の一検討, 第 60 回自動制御連合講演会, 2017

津屋朋花, 原尚之, 小西啓治, 浮体式洋上風車スケール模型に対する H 予見制御法を用いたブレードピッチ角制御器設計, 平成 29 年電気学会 電子・情報・システム部門大会, 2017

市川崇, 原尚之, 小西啓治, 浮体式洋上風車の動揺抑制を考慮した PD 制御, 平成 29 年電気学会 電子・情報・システム部門大会, 2017

末元大樹, 原尚之, 小西啓治, 個別ブレードピッチ角制御器と発電機トルク制御器を併用した浮体式洋上風車の制御, 第 61 回システム制御情報学会研究発表講演会, 2017

K. Kakita, N. Hara, Y. Nihei, and K. Konishi, A case study on PI gain tuning by FRIT method for a floating offshore wind turbine scale model, 2016 International Automatic Control Conference, 2016

原尚之, 二瓶泰範, 飯島一博, 小西啓治, 浮体式風車スケール模型におけるブレードピッチ角制御の実験的検証, 第 38 回風力エネルギー利用シンポジウム, 2016

柿田幸佑喜, 原尚之, 二瓶泰範, 小西啓治, FRIT 法を用いた PI 制御ゲインチューニングの浮体式洋上風車スケール模型に対する応用と実験的検証, 平成 28 年船舶海洋工学会 秋季講演会, 2016

末元大樹, 原尚之, 小西啓治, MBC 変換を用いた浮体式洋上風車の個別ピッチ角制御器設計, 第 59 回自動制御連合講演会, 2016

田谷野剛, 原尚之, 小西啓治, H 積分制御を用いた浮体式洋上風力発電機のピッチ角制御, 平成 28 年電気学会 電子・情報・システム部門大会, 2016

渡邊亮, 原尚之, 小西啓治, ゲインスケジュールドモデル予測制御を用いた浮体式洋上風車に対するピッチ角制御の一検討, 平成 28 年電気学会 電子・情報・システム部門大会, 2016

野間友貴, 原尚之, 小西啓治, 浮体式洋上風車のモデル同定に関する一検討, 平成 28 年電気学会 電子・情報・システム部門大会, 2016

〔その他〕

ホームページ等

https://researchmap.jp/naoyuki_hara/

6. 研究組織

(1) 研究協力者

研究協力者氏名: 飯島一博

ローマ字氏名: (IIJIMA, Kazuhiro)

研究協力者氏名: 二瓶泰範

ローマ字氏名: (NIHEI, Yasunori)

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。