

補助事業番号 2023M-277

補助事業名 2023年度 風力発電における推定風速によるピッチ角制御とウインドファームへの革新的応用 補助事業

補助事業者名 慶應義塾大学 村上俊之研究室

1 研究の概要

本事業では、浮体式洋上風力発電システム（FOWTs）を想定し、従来方式の個別ピッチ制御と比較して、ピッチ角アクチュエータの動きを大きくすることなく、回転速度を定格値に保つ手法を提案している。提案システムでは、風力エネルギー変換システムのピッチアクチュエータに反力推定オブザーバ（RFOB）を適用し、推定反力からピッチングモーメントを推定することで最終的に風速を推定している。さらに、推定された風速に応じて適切なピッチ角を導出している。これにより、風車に作用する疲労荷重を最小限に抑えた新たなピッチ角制御が可能となる。さらに、ウインドファームにおいて浮体式洋上風力発電システム（FOWTs）を想定したピッチ角制御へも展開し、スラスト力の変動による疲労荷重の低減手法の提案も行っている。

2 研究の目的と背景

地球温暖化の影響は年々深刻になってきている。多くの地域で気温が上昇し、海面が高くなっている。地球の状況を悪化させないためには、現状では二酸化炭素の削減が必要不可欠となっている。そこで、再生可能エネルギーが広く開発されており、太陽光発電、風力発電、水力発電などの普及が強く進められている。特に風力発電はコストを抑えられ、風さえあれば利用できるため、最も有望なエネルギー源と考え、風力発電システムの効率的な運用と共に、運用需要を高める制御手法の開発は必須と言える。本事業では再生可能エネルギーとして着目されている風力発電システムにおいて、風車の寿命にも関係する疲労荷重を考慮したセンサレスでの推定風速に基づいたピッチ角制御、ならびに浮体式洋上風力発電システム（FOWTs）を仮定した複数台の風車から構成されるウインドファームにおいてスラスト力推定による知的ピッチ角制御の開発を目的としている。

3 研究内容

(1) 風速推定アルゴリズムとピッチ角制御

本研究課題では、風力発電システムにおいて風速に基づいたブレードピッチ各制御を提案しているが、風速についてはセンサによる計測ではなくブレードのピッチングモーメントの推定に基づいた風速推定アルゴリズムを構築している。また、同時にブレードスラスト力の低減アルゴリズムを導入し、発電効率の向上とブレードシステムの劣化を防ぐスラスト力抑制を同時に実現できるピッチ各制御アルゴリズムを提案しその有用性をシミュレーションにより検証している。

Srep1：各ブレードのピッチアクチュエータに設置された図3に示す反力推定オブザーバに

よりピッチングモーメントを推定する。

Step2 : 推定されたピッチングモーメントに基づいて風速推定を行う。

Step3 : 風速毎に最適なピッチ角を予め算出してルックアップテーブルを作成することで、風速推定値に応じたピッチ角を導出する。

提案する風力発電システムは洋上の浮体式を仮定しており、図1に示すような浮体モデルを仮定している。シミュレーションでは浮体式において提案アルゴリズムが最も有効であることが確認できている。

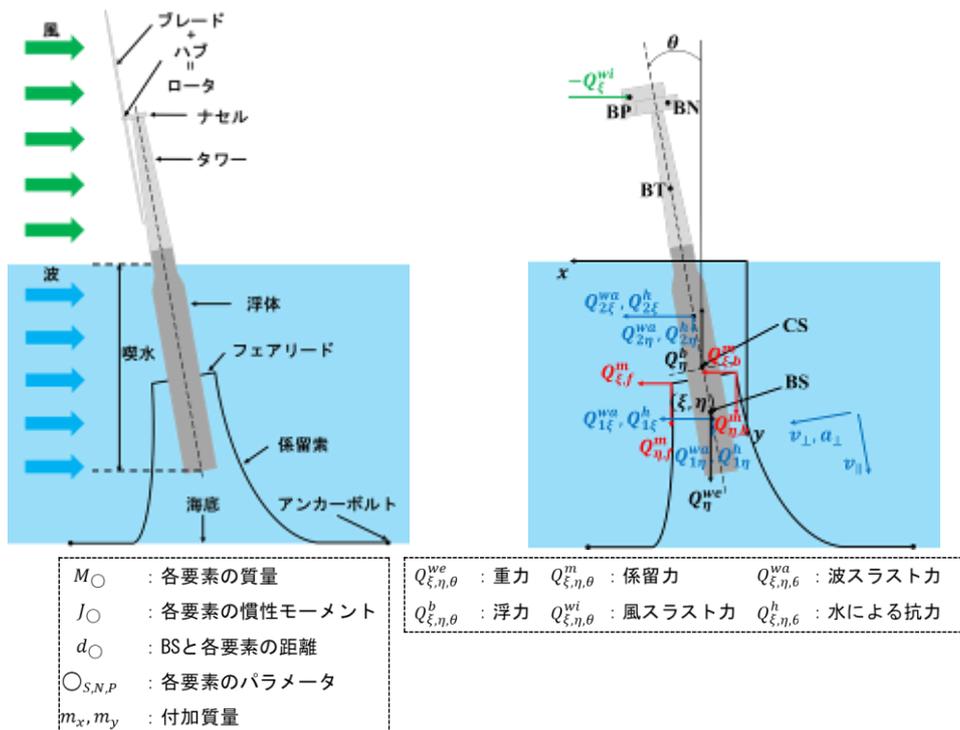


図1 : 浮体式洋上風力発電システム (FOWT) に作用する力のモデル

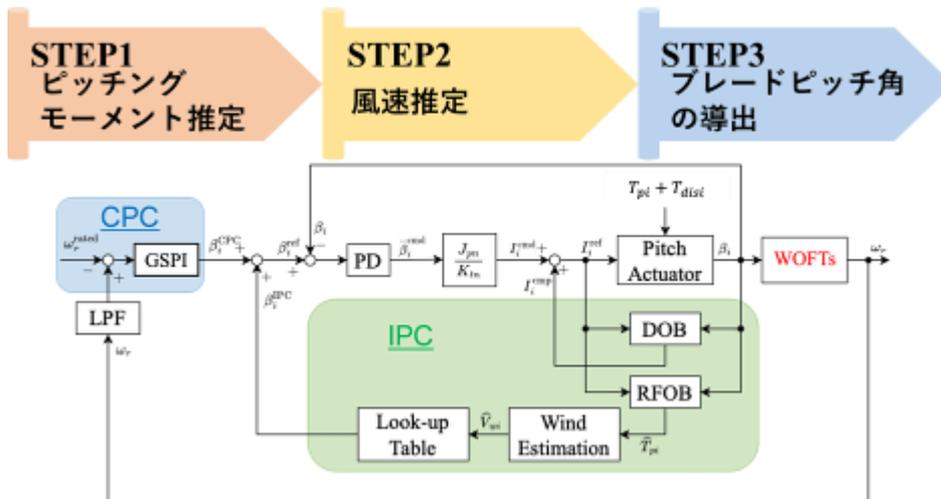


図2 : 風速推定手法のブロック線図.

(2) ウィンドファームシステムの構築のための浮体式風力発電システムを仮定した風速推定実験

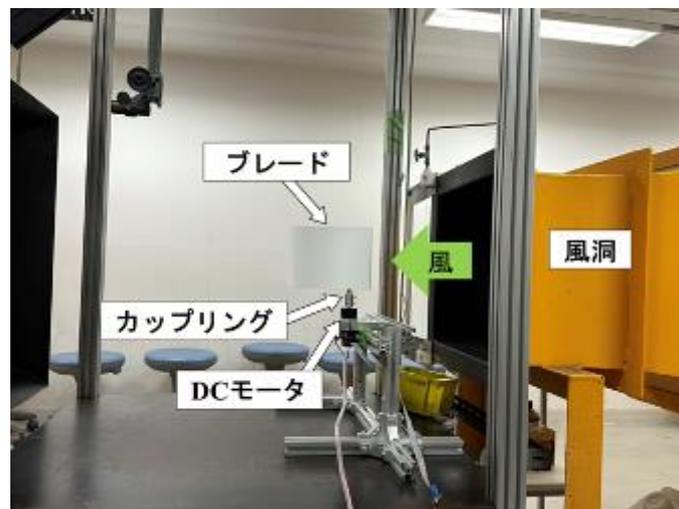


図3：風速推定のための実験システム

提案アルゴリズムの有用性を確認するため、図3に示す実験システムを構築している。残念ながら風速推定に関しては期待する結果は得られなかったが、その原因としてピッチ角モータの性能が関係していることが判明しており、実験結果よりその解決法については明確化できている。

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本事業では、耐久性ならびに高効率を十分に満たす風力発電システムを実現することで、再生可能エネルギーの利用をさらに促す社会システムの構築を目指した。また、同時にシステムの安定性ならびに信頼性向上により、カーボンニュートラルへの貢献も可能なシステム構築を目指したものである。風速推定をセンサレスで実現している本アルゴリズムはサステナブルな構成となっており、災害時にも活用できるものと期待している。また、台風などの環境外乱に対しても十分にロバストな対応が行えるシステム制御の提案を行っており、社会のレジリエンスにも役立つ安全・安心システムの提案となっていることを期待している。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本事業では、疲労荷重を防止するためのピッチ角アクチュエータの動作抑制を目的として、従来方式のようにピッチ角アクチュエータの動きを大きくすることなく、風車の回転速度を定格値に保つ浮体式洋上風力発電システム(FOWTs)の制御手法を提案している。提案システムでは、風車のピッチアクチュエータに反力推定オブザーバを適用し、推定反力からピッチングモーメントを推定することで最終的に風速を推定している。さらに、推定された風速に応じて適切なピッチ角を導出している。これら推定法については従来にない考え方であり強い新規性を有するものである。ピッチングモーメントの推定については、過去において本事業に携わった研究グループが開発してきたセンサレスアルゴリズムの応用として開発したものとなっている。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

(論文発表)

1. M. Yamada, T. Murakami, " Individual Pitch Control of Wind Turbine System by Estimating Wind Speed Using Pitching Moment", Volume 12, Issue 5, 1008-1014, 2023 (doi.org/10.1541/ieejjia.23000261). (JKA謝辞あり：人の動作モデル化に関する論文)

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

2023年度 風力発電における推定風速によるピッチ角制御とウインドファームへの革新的応用
補助事業

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

https://www.murakami.sd.keio.ac.jp/JKA2023/2023jka_report-chukan.pdf

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 慶應義塾大学 理工学部 村上俊之研究室

(ケイオウギジユクダイガク リコウガクブ ムラカミシユキケンキュウシツ)

住 所： 〒223-8522

神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1

担 当 者： 教授 村上俊之(キョウジュ ムラカミシユキ)

担 当 部 署： システムデザイン工学科(システムデザインコウガクカ)

E - m a i l: mura@sd.keio.ac.jp

U R L : <https://www.murakami.sd.keio.ac.jp/>