

浮体式風車動揺低減に向けて ハイブリッド風力・波力複合発電装置の開発

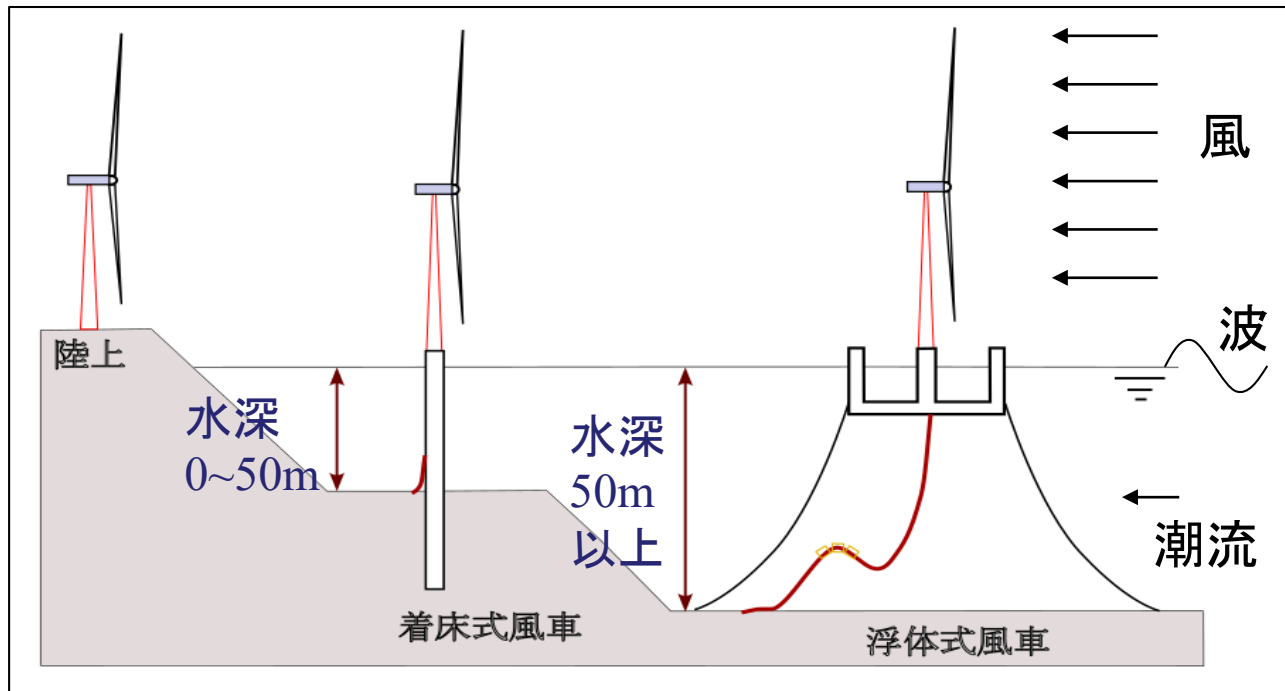
九州大学 応用力学研究所 再生可能流体エネルギー研究センター
准教授 朱 洪忠

2023年10月12日

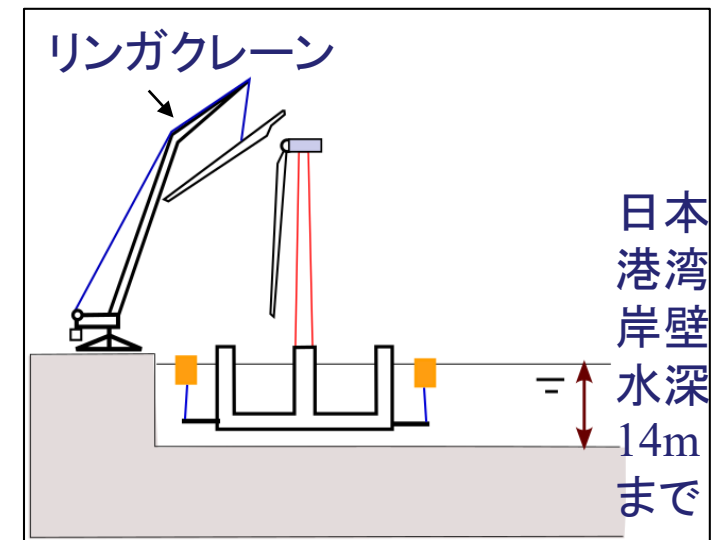
はじめに

- ハイブリッド風力・波力複合発電のアドバンテージ:
 - 海洋空間の有効利用
 - 係留、送電システムの共有
 - 大型風車のアセンブリの際に、岸壁水深制約が解消可能
 - 風車動揺低減 → 今回の新技術の目的

均等化発電原価が低減可能



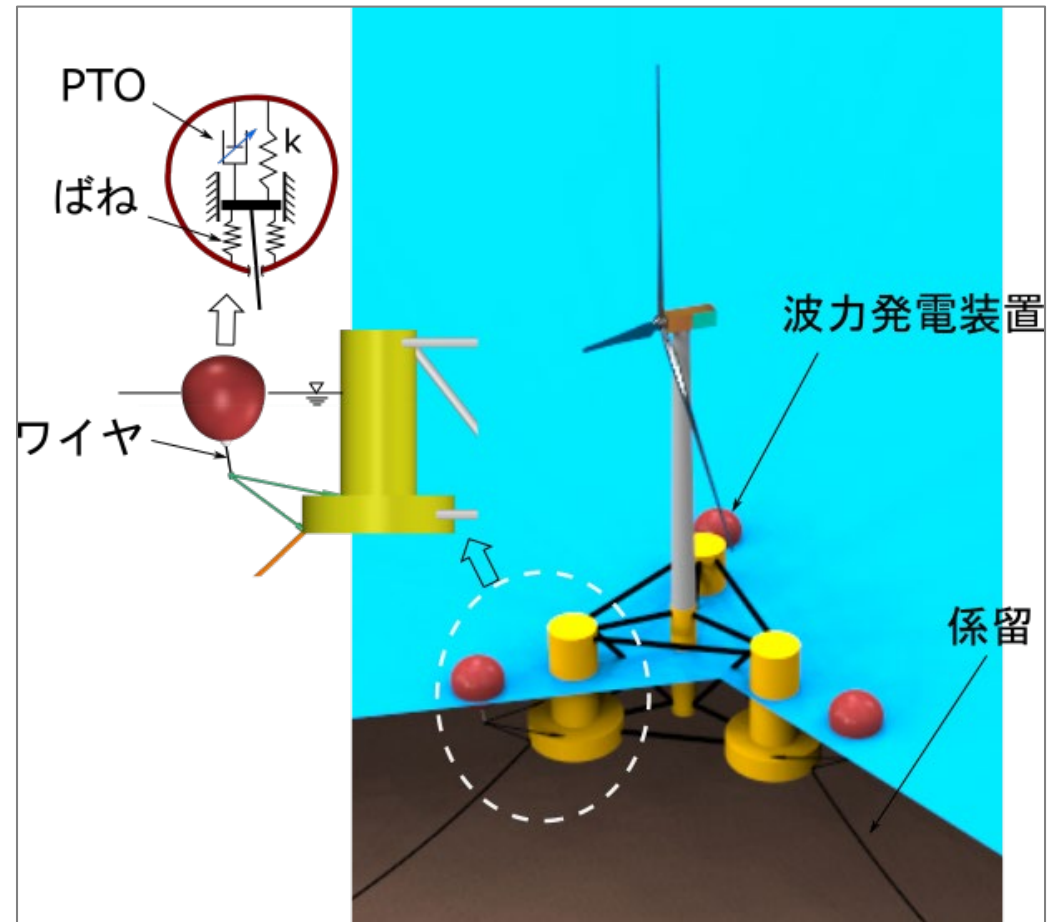
風力発電方式VS水深



風車アセンブリ際に岸壁水深制約の解消

新技術の概要1

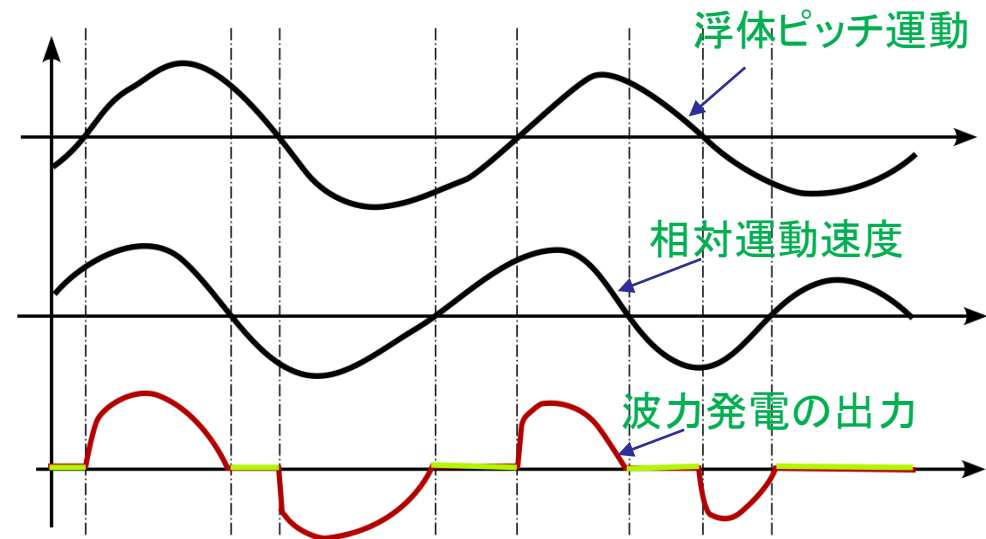
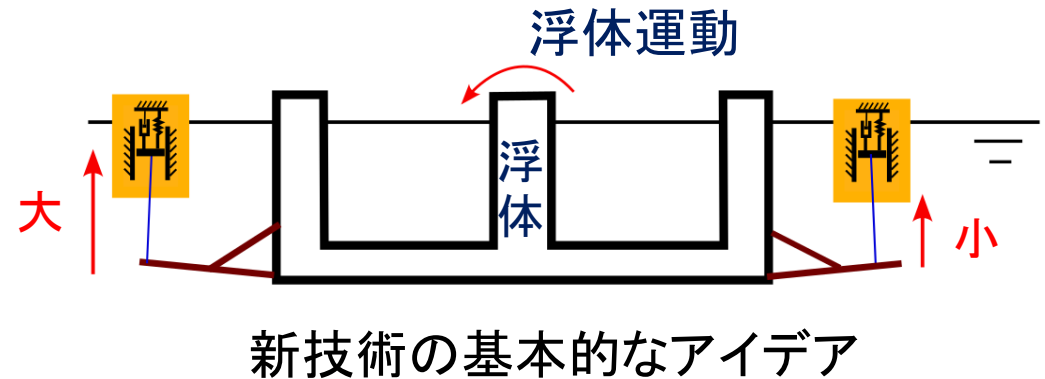
- 風力・波力複合利用;
- 波力発電装置は浮体のサスペンションシステムとして働く;
- 波力発電装置は浮体との間にワイヤで繋がり、鉛直方向以外の波浪荷重がほとんど浮体側に伝わらない。鉛直方向の荷重が波力発電と浮体動揺抑制に使う。
- 波力発電装置の保守は、風車の運用に影響を与えない。



新技術の適用対象のイメージ

新技術の概要2

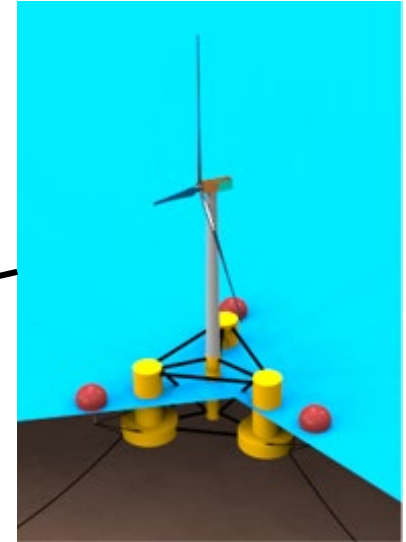
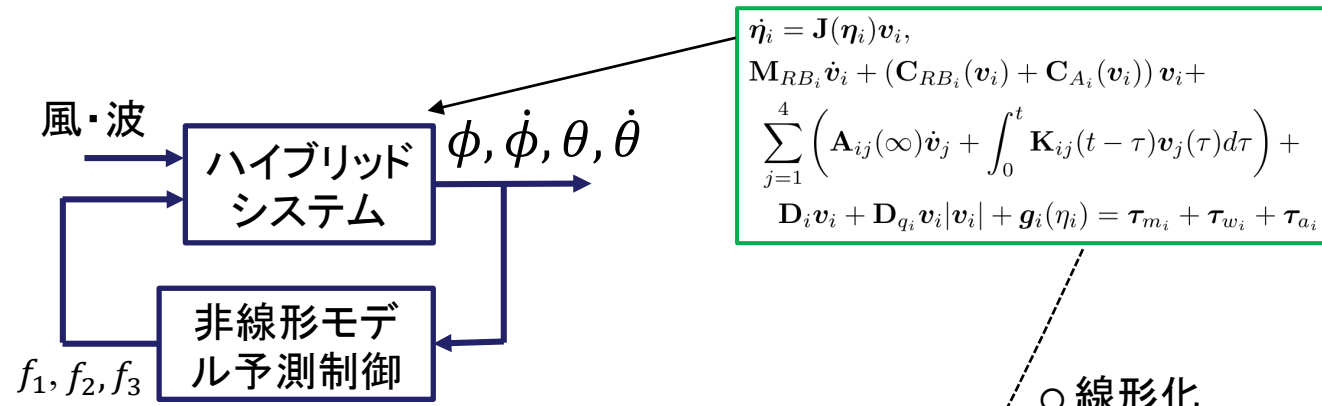
- 浮体動揺信号に基づいて波力発電装置と浮体との相対運動を制御することで、動揺抑制を行う;
- 予測機能を有するセミアクティブ制御手法により波力発電と浮体動揺低減との両立ができる。
- 厳しい海況に風車が停止になる場合も波力発電ができる。



セミアクティブ制御: PTO装置は浮体動揺低減に有効な場合のみ作動する

新技術の概要3

- 予測機能を有するセミアクティブ制御手法:



○線形化

$$\min_{f_1, f_2, f_3} J = \int (q_1 \phi^2 + q_2 \dot{\phi}^2 + q_3 \theta^2 + q_4 \dot{\theta}^2 + \dots) dt$$

subject to:

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A} \mathbf{x}(t) + \mathbf{B} \mathbf{f}(t)$$

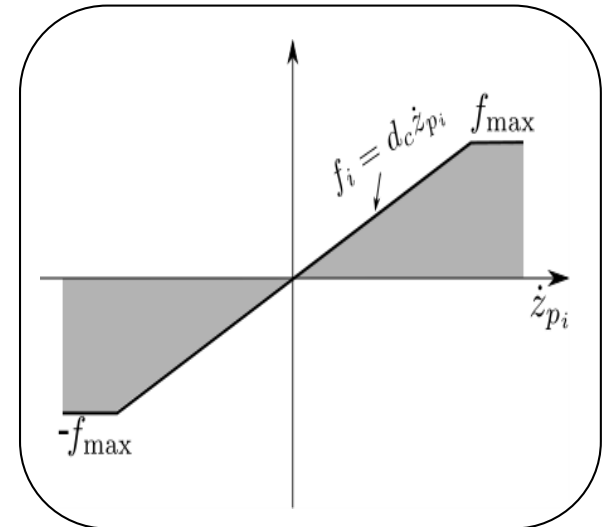
$$f_i \cdot \dot{z}_{p_i} \geq 0,$$

$$|f_i| \leq d_c |\dot{z}_{p_i}|,$$

$$|f_i| \leq f_{\max},$$

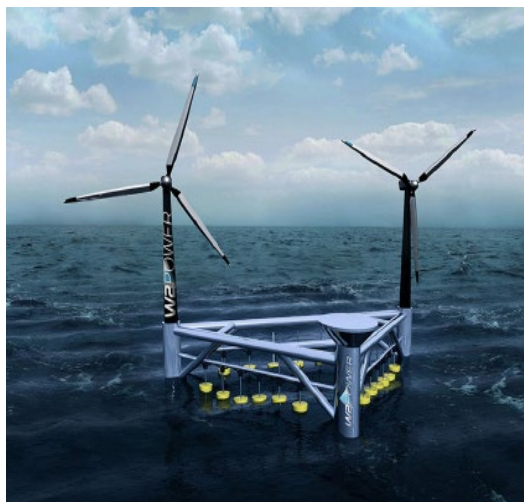
○発電モードのみ

○PTO機構制約



従来技術とその問題点1

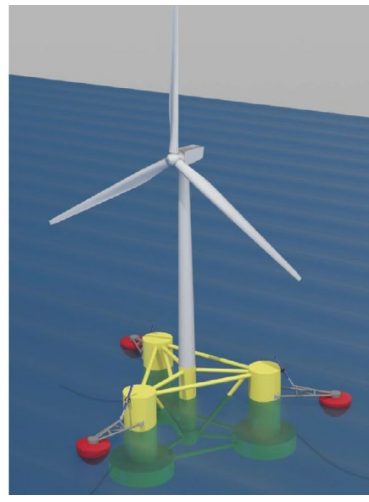
- 従来の風力・波力複合利用には、波力発電装置が浮体に強結合で設置され、波力発電装置に加わる波浪荷重が浮体に伝わる。浮体動揺が増大になる懸念がある；
- 構造間の距離が小さく、相互影響で流体力の計算が複雑になり、システムの動的解析と構造設計が困難になる；
- 波力発電装置の独自保守が困難になる（風車も止まる必要がある）。



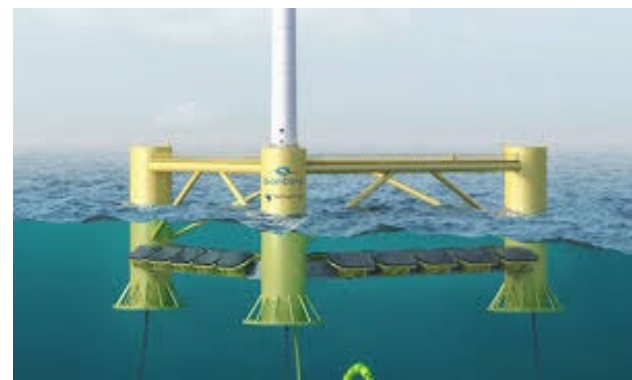
Pelagic Power AS



Floating power plant



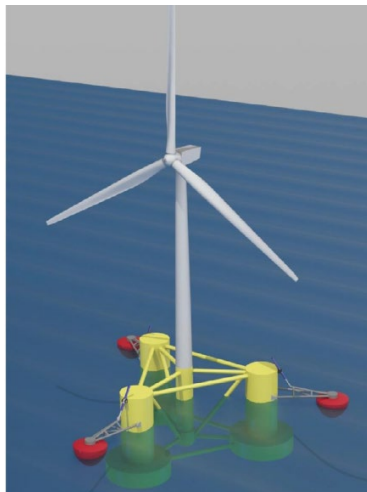
Y. Si, *et al.* 2021



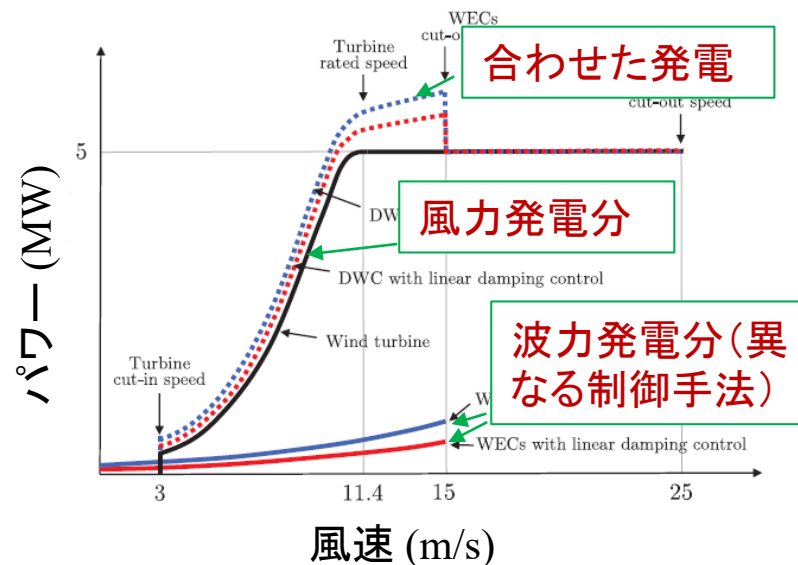
Bombora Wave

従来技術とその問題点2

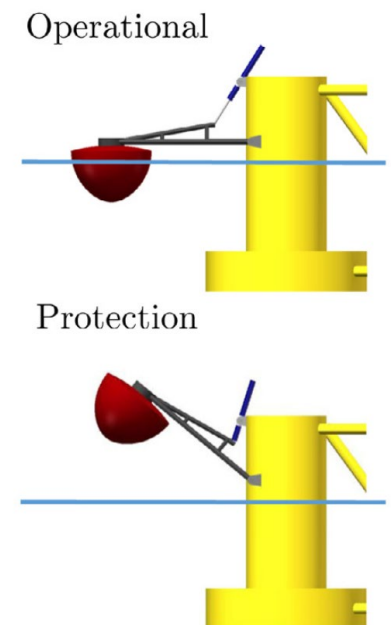
- 風車と波力発電装置が各々の発電を最大化するために制御を行う。両方の相互影響を考慮する制御手法が未確立である。
- 厳しい海象条件に、風車の性能と安定性を確保するために波力発電装置を止める可能性がある。
- 設計、技術、経済的な利点に関する問題があり、実証実験までにはほとんど至っていない。



Y. Si, et al., *Ocean Engineering* 2021



風力・波力発電の策略

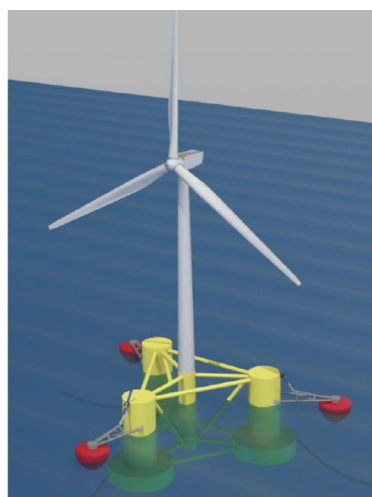


新技術の特徴・従来技術との比較1

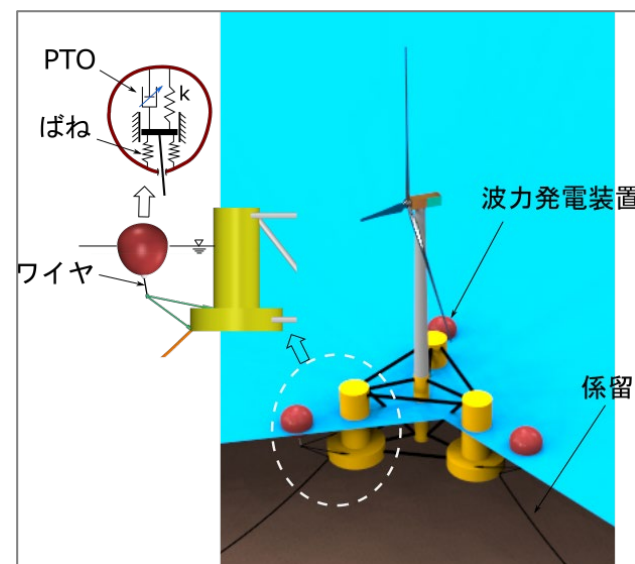
- 従来 of 風力・波力複合利用方式では、浮体に加わる荷重が大きいと、波力発電装置の単独保守が困難である点に対して、新提案は：
 - 波力発電装置と浮体に柔軟性があるワイヤで繋がり、浮体に加わる荷重が低減できる。
 - 波力発電装置の設置及び浮体からの分離が容易になるため、波力発電装置の保守期間に風車の稼働が影響されない。



Floating power plant

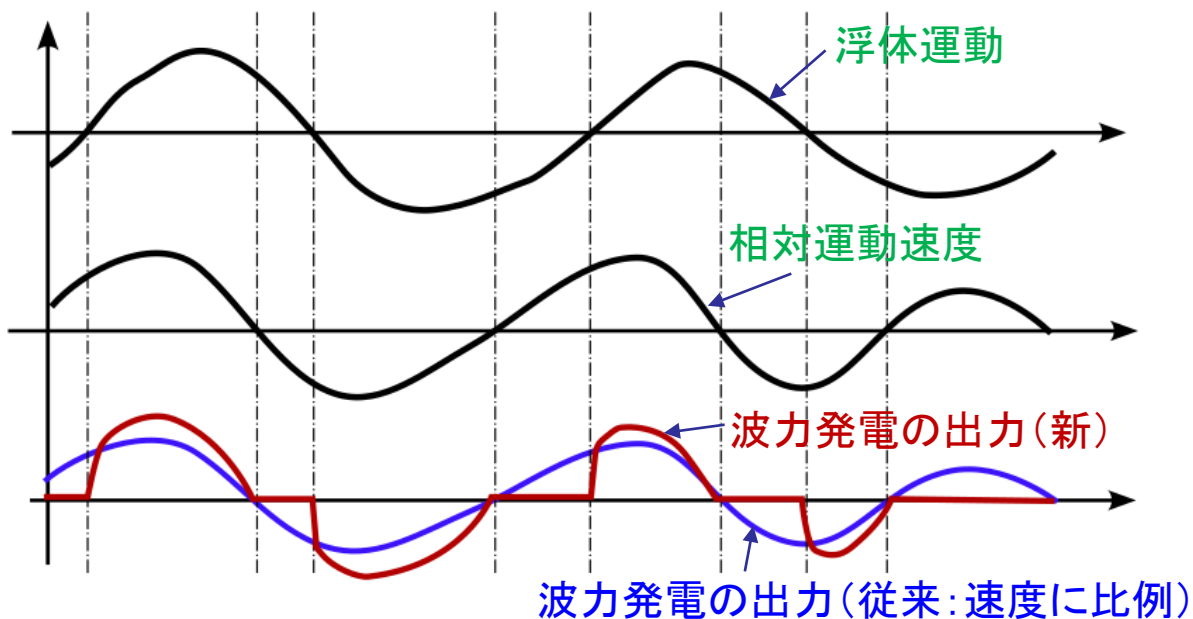


Y. Si, *et al.* 2021

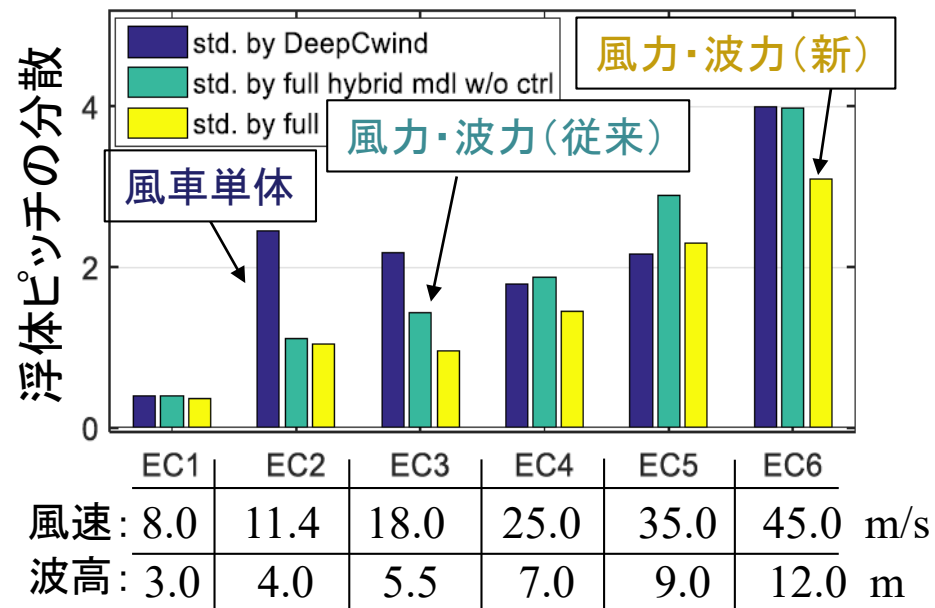


新技術の特徴・従来技術との比較2

- 従来 of 複合利用方式では、波力発電装置もその出力を最大化させ、浮体動揺への配慮がないことに対して、新技術は：
 - 浮体の動揺は波力発電装置の協調で予測機能を有するセミアクティブ制御により低減可能となった。
 - 厳しい海象条件においても波力発電装置が働け、電力システムのシャットダウンのリスクの低減に期待される。



セミアクティブ制御 VS 従来の速度比例制御 (例)



異なる海況に浮体のピッチ運動

想定される用途

- 本技術の特徴を生かすためには、洋上再生可能エネルギーの有効利用および浮体動揺低減によって得る風車疲労寿命の向上で、洋上風力の開発においてリスクとコストの低減が期待される。
- 上記以外に、風車停止中でも波力発電ができ、電力の安定性にも貢献できる。

実用化に向けた課題

- 現在、提案の風力・波力複合利用システムに波力発電装置の協調制御で浮体動揺低減に有効であることシミュレーションで検証済み。しかし、制御手法の組込システムへの実装が未解決である。
- 今後、アルゴリズムの組込システムへの実装と水槽で模型実験を行い、様々な実験条件に新技術の有効性を検証する。

実用化に向けた課題

- 実用化に向けて、以下の項目の検討も必要：
 - 波力発電装置の形状最適化；
 - 波力発電装置の浮体構造及び係留への影響；
 - 波力発電の電力平滑システム；
 - 風力・波力電気的な統合技術の確立；
 - 浮体動揺制御のためPTO装置の開発；
 - 実海域での実証実験。

企業への期待

- 未解決の最適制御アルゴリズムの実装については、いくつかの先行研究があり、計算負荷と制御性能のバランスを工夫することで克服できると考えている。
- 波力発電装置に関連する技術を持つ企業との共同研究を希望している。
- また、浮体式風車を開発中の企業、洋上風力分野への展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 風力・波力複合発電装置
出願番号 : 特願2022-134370
- 出願人 : 九州大学
- 発明者 : 朱 洪忠

お問い合わせ先

九州大学

オーペンイノベーションプラットフォーム

サイエンスドリブンチーム

T E L 092-400-0494

F A X 092-400-0527

e-mail transfer@airimaq.kyushu-u.ac.jp