

第14回「IEA Windセミナー」

Task44: ウィンドファームの流れ場制御

■ Operating Agents, Paul Fleming (NREL)

■ Web Page, <https://iea-wind.org/task44/>



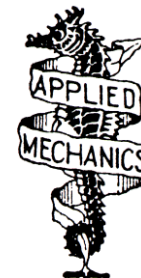
うちだ たかのり

内田 孝紀

応用力学研究所/再生可能流体エネルギー研究センター/洋上風力エネルギー高度利用分野/教授

兼務：洋上風力研究教育センター/マルチスケール洋上風況研究部門/部門長

E-mail : takanori@riam.kyushu-u.ac.jp



- 国際エネルギー機関(IEA)は, 風力技術協力プログラム(略称:IEA Wind TCP)を主催している
- IEA Wind国内委員会(締約機関:NEDO)からの推薦・審議を経て, IEA Windの国際共同研究活動(Task 44)に参画している(2021年12月15日～)

Task 44 (Wind Farm Flow Control) のスコープ

- ・ 風力発電所の制御分野における**国際共同研究**
- ・ 風力発電所の制御アルゴリズムと性能向上への貢献が焦点

研究の目的

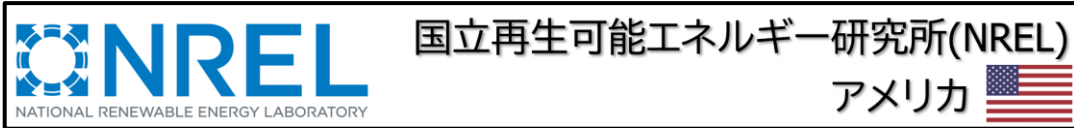
- ✓ 風力発電量の増産による電力システムや電力市場における風力発電の価値の最大化
- ✓ 風車のウェイク荷重の低減による、風力発電コストの低減化
- ✓ 風力発電所の制御モデルのベンチマークとベストプラクティスの開発、ベストプラクティス・データ交換の促進

IEA Wind TCP Task44



主な参加機関

洋上風力研究に関する海外トップ大学/研究所が参画



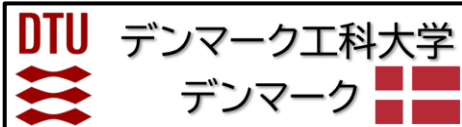
国立再生可能エネルギー研究所(NREL)
アメリカ



国立再生可能エネルギーセンター(CENER)
スペイン



デルフト工科大学(TUD)
オランダ



デンマーク工科大学
デンマーク

参加国

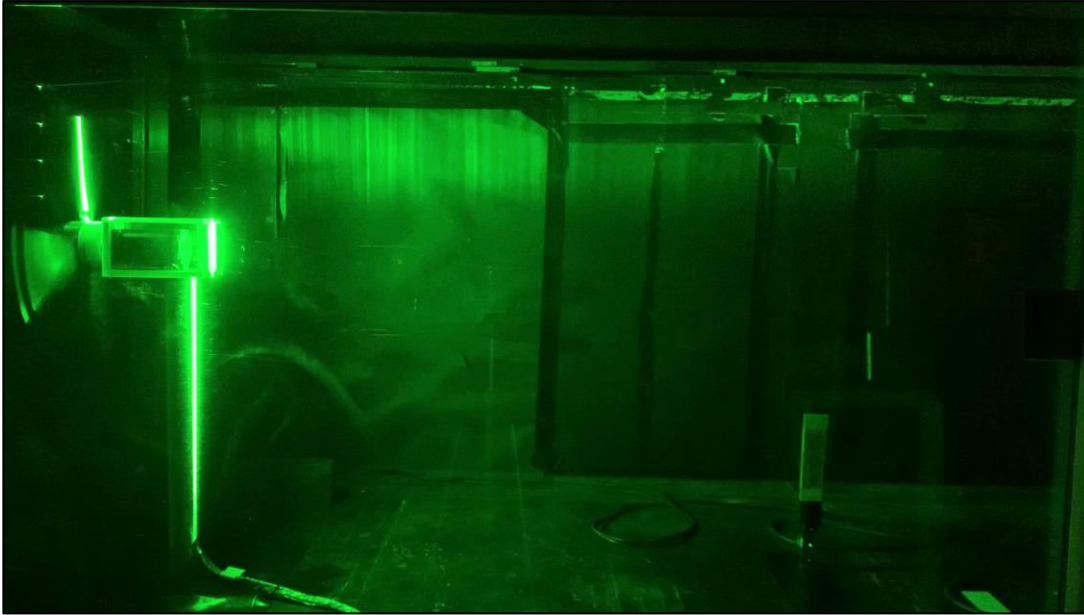
米国, オランダ, 英国, フィンランド, アイルランド,
デンマーク, スペイン, ドイツ, ノルウェー, 日本



日本の体制

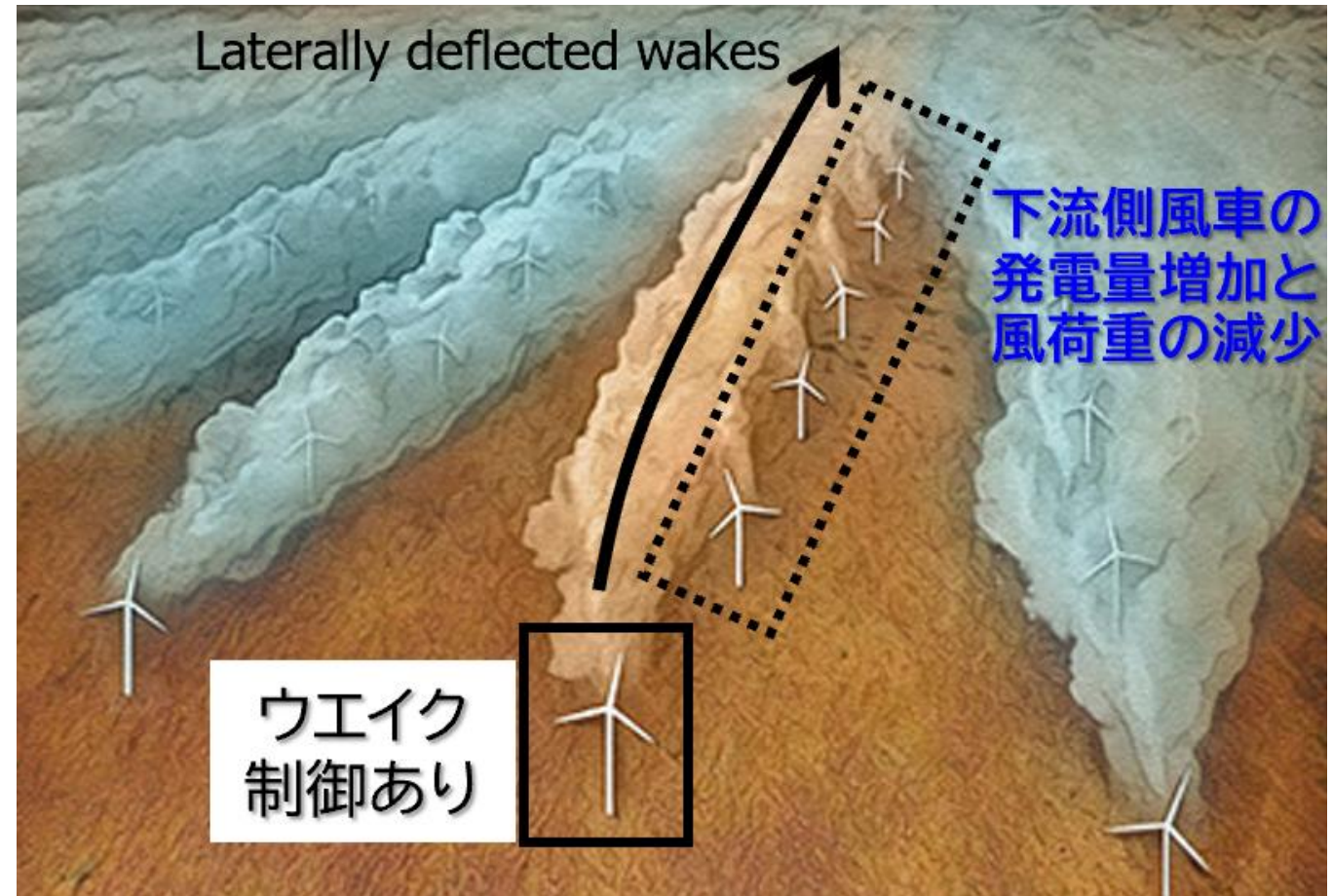
- 九州大学／内田 孝紀 (代表者)
- ENEOSリニューアブル・エネルギー
- 東芝エネルギーシステムズ
- カナデビア
- 東京ガス





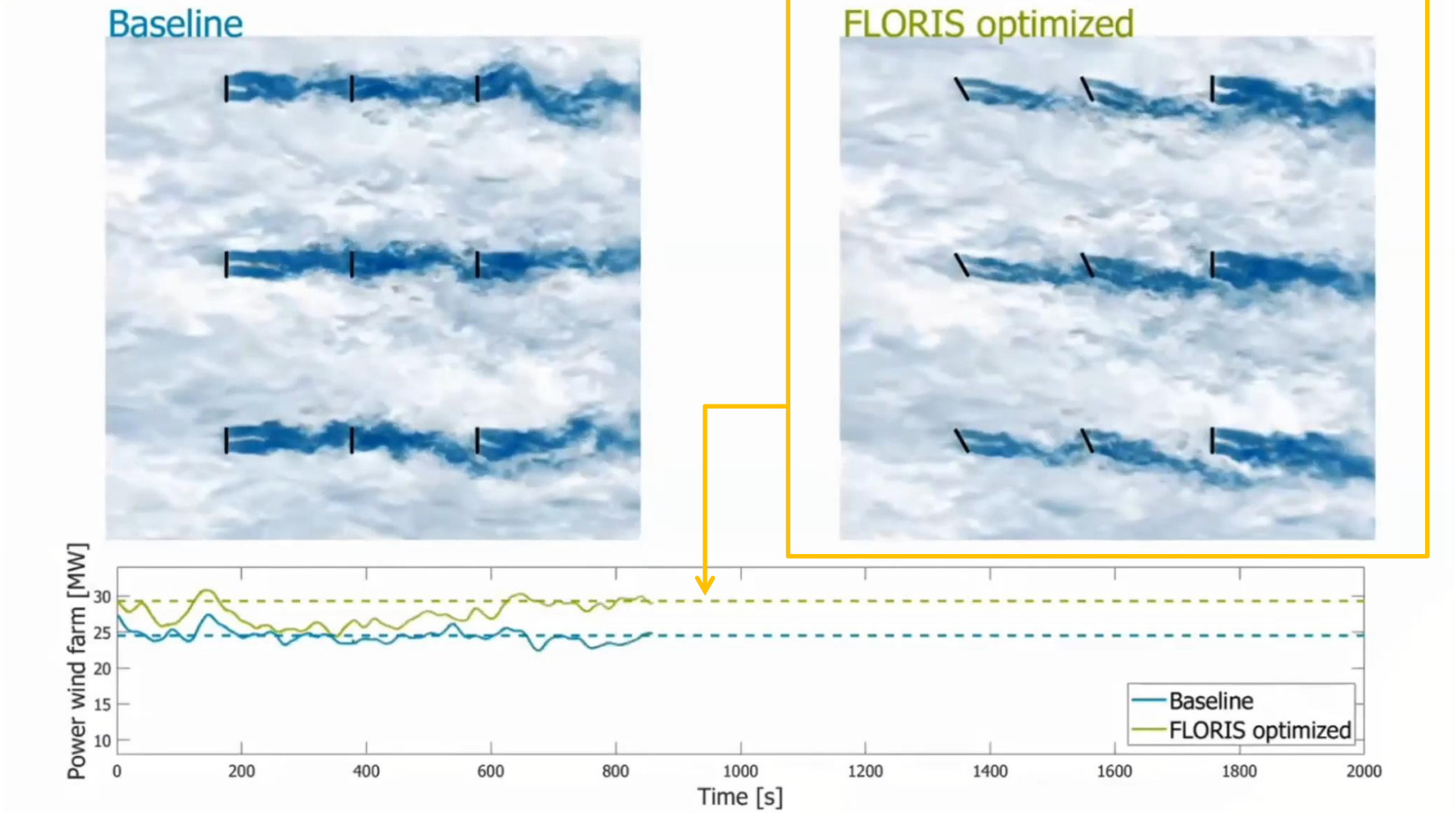
風車ウエイク現象の可視化
九州大学応用力学研究所
温度成層風洞にて撮影
2020年11月12日

What is the wind turbine wake phenomenon and wake steering ?



ウエイクステアリングのイメージ図

Quasi-steady flow control
Wake steering using yaw offsets



Task44 ワークパッケージ(WP)

Work Package 1

Track the evolving state of the art in wind farm control through collection of research results and expert elicitations

Develop set of recommendations and best practices

研究成果の収集

Work Package 2

Characterize and quantify sources of uncertainties

Develop methods for estimating AEP/loads with overall uncertainty

Develop set of recommendations and best practices



Work Package 3

Characterize the building blocks which define wind farm control

Build an overview of available options, specifications and assess TRL of each

Give a full landscape of the solution space

技術・アルゴリズムの開発

Work Package 4

Collaborate and coordinate with other IEA Tasks and other wind farm control R&D activities

Based on tasks 1-3 and external projects, identify research gaps

Develop research roadmap

他のプロジェクトとの連携

メインにWP2へ参加

Uncertainty Quantification / 不確実性の定量化

IEA Wind TCP Task44



Task44 主要メンバー



Paul Fleming

- Operating Agent
- WP1 Co-Lead



Irene Eguinoa

- WP1 Co-Lead



Eric Simley

- WP2 Lead



Joeri Frederik

- WP3 Lead



Tuhfe Göçmen

- WP4 Lead



ChristiAnn Vaughn

- Task Manager

IEA Wind TCP Task44



- ✓ WESC2025にあわせてナント市(フランス)で開催
- ✓ 目的: Task44の各WPの進捗と, ファーム制御に関する研究プロジェクトの成果を共有した上で, ファーム制御の社会実装に向けて本タスクの次フェーズの実施内容を議論する



- ✓ IEA Wind task 44のGeneral Meeting(@ナント市会議場)

IEA Wind TCP Task44



Task44 Work Package Updates Task44の各進捗状況

Work Package 1: 研究結果の収集

- WIKIの作成 (<https://ieawindtask44.tudelft.nl/>)

2013
› Fleming et al. Evaluating techniques for redirecting turbine wake using SOWFA
2012
› Wagenaar et al. Controlling wind in ECN's scaled wind farm
2004
› Corten et al. More power and less load in wind farms: Heat and Flux
2003
› Dahlberg et al. Potential improvement of wind turbine array efficiency by active wake control (AWC)
1988
› Ainslie Calculating the flowfield in the wake of wind turbines
› Steinbuch et al. Optimal Control Of Wind Power Plants
1986
› Katić et al. A simple model for cluster efficiency



Research Database



IEA Wind Task 44 youtube Talks



Wind farm control in the news



Data sets



Terminology



Other Tasks and Projects

Wind Farm Control in the News

Tracking mentions of wind farm controls in news publications and press releases.

Headline	Source	Date	Link to article
WindESCo successfully completes wind industry's first major wake steering installation	WindPower	2023-05-02	https://www.windpowerengineering.com/windesco-successfully-completes-wind-industrys-first-major-wake-steering-installation/
DNV launches wind control technology JIP	reNEWS.BIZ	2023-04-04	https://renews.biz/84912/dnv-launches-wind-control-technology-jip/
ventodyne and Energiekontor completed a successful field demonstration of wake	LinkedIn	2023-04-11	https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7051596734497443841/ (Announcement) and https://doi.org/10.5281/zenodo.7781282 (Presentation)

Wind farm control terminology

Wind Farm Control Terminology

Wind farm control terminology is not used consistently across the research and industrial communities. This page is a reference of preferred language to develop consistent terms across the field.

Note for reference taxonomy of terms created by DTU in the FarmConnors project:

ASPECT | wind energy vAriableS ParametErs and ConstTants

NEAT | wiNd Energy tAxonomy of Topics

Terms around wind farm flow control

Initially suggested by Adam Stock, Scott Dallas, Valentin Chabaud, Konstanze Kölle and Laurence Morgan

Control Types

Name	Description
Wake Steering	The yawing or tilting of turbines to redirect the flow of the turbine wake, typically to increase the power output of the wind farm.
	Maximizing the induction factor of the turbine wakes to enhance performance, thereby increasing the power output of the

IEA Wind TCP Task44



Task44 Work Package Updates Task44の各進捗状況

Work Package 2: 不確実性の定量化(UQ: Uncertainty Quantification)と実証実験

- UQと実証実験に関してWP2のメンバーによる9つの発表

→ YouTubeチャンネル

IEA Wind Task 44 Talks
@ieawindtask44talks21 • チャンネル登録者数 261人 • 24本の動画
このチャンネルの詳細...さらに表示
チャンネル登録

ホーム 動画 再生リスト 🔍

おすすめ

- IEA Wind Task 44 Talk: "Active Wake Control Validation Methodology" by Nassir Cassamo
217 回視聴 • 1 年前
- Affect of Quantity, Resolution, & Scaling of Turbulence Boxes on Aeroelastic Simulation...
157 回視聴 • 1 年前
- Nikhar Abbas - ROSCO: A reference controller for fixed and floating wind turbines
1758 回視聴 • 3 年前
- Forward and Inverse Uncertainty Quantification for Robust Wind Farm Design and Control
319 回視聴 • 1 年前

動画

- Comparing Methods for Estimating the Change in...
45 回視聴 • 1 か月前
- Analysis of leading-edge erosion impact on the design...
95 回視聴 • 5 か月前
- IEA Wind Task 44 Virtual Talk: "Towards Active Wake..."
85 回視聴 • 6 か月前
- IEA Wind Task 44 presents Closed-loop model-predictive wind farm flow control
170 回視聴 • 7 か月前
- Inverse UQ: Intro, Case Study and Bayesian Inference, and...
134 回視聴 • 1 年前
- Predicting minimum measurement and...
65 回視聴 • 1 年前

<https://www.youtube.com/@ieawindtask44talks21>

Task44 Work Package Updates Task44の各進捗状況

Work Package 2: 不確実性の定量化(UQ: Uncertainty Quantification)と実証実験

- 「Field Assessment Review and Best Practices Paper」の作成
 - ✓ ドラフトは80%作成
 - ✓ Task 44フェーズ1の終了時(12月)にジャーナルへ提出予定

IEA Wind Task 44: Review and Best Practices for Wind Farm Flow Control Field Assessment

Eric Simley, Søren Juhl Andersen, Maria Aparicio-Sanchez, Ervin Bossanyi, Nassir Cassamo, Bart Doekemeijer, Thomas Duc, Irene Eguinoa, Tuhfe Göçmen, Hadi Hoghooghi, Daniel Houck, Matt Harrison, Michael Howland, Paul Hulsman, Yan Jie, Vile Kipke, David Onnen, Nathan Post, Julian Quick, Johannes Schreiber, Balthazar Sengers, Rafael Valotta Rodrigues, Pragya Vishwakarma, and Stoyan Kanev

Task44 Work Package Updates Task44の各進捗状況

Work Package 3: 用語とアルゴリズムの概要

- ✓ 2024年後半にアンケート調査の実施([後のスライドで調査結果を紹介](#))
- ✓ 10月28日にファーム流れ場制御の実装への課題に関するワークショップを開催

Work Package 4: 他プロジェクトとの交流

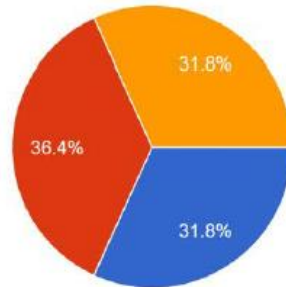
- ✓ 関連するIEA Taskやプロジェクトの情報をWIKIに整理
- ✓ 他Taskメンバーによるワークショップの開催

WFFC Survey Results: Reviews & Discussion

ファーム流れ場制御に関するアンケート調査:レビューと議論

What sector best describes your current work?

44 responses



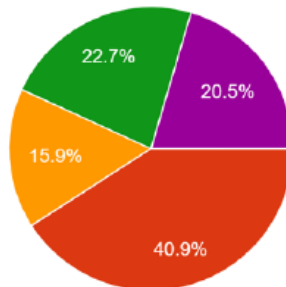
- Industry (e.g., private companies, startups)
- Research Institute (e.g., national labs, independent research centers)
- Academia (e.g., universities, teaching & research)

➤ 44名の回答を集計

➤ 産業・研究所・大学それぞれのメンバーが回答

How do you rank the level of implementation of your work in WFFC?

44 responses



- Purely academic – My work is mostly theoretical, with no direct industry appl...
- Early-stage research – I develop models, simulations, or concepts with...
- Prototype/testing phase – My work involves lab-scale or limited field testin...
- Industry collaboration – I work on applied research, collaborating with in...
- Field implementation – My work is actively deployed in operational wind f...

各々のWFFCに関する研究の実装レベルについて

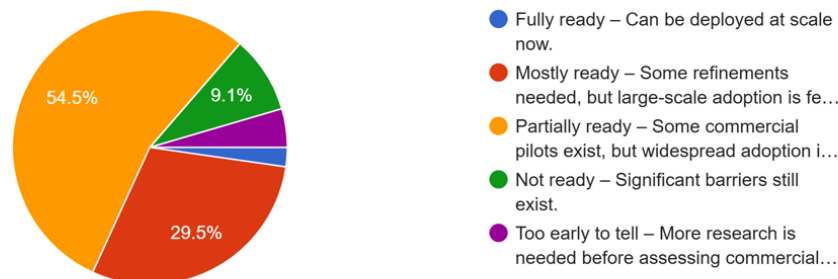
➤ 半数近くが初期段階のレベル

WFFC Survey Results: Reviews & Discussion

ファーム流れ場制御に関するアンケート調査:レビューと議論

How close do you believe we are to widespread commercial implementation of WFFC strategies?

44 responses

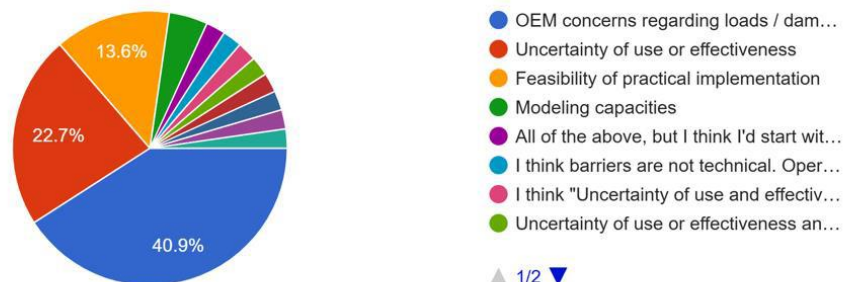


WFFC状態は社会実装できる状態にどれほど近いと考えられるか

- ほぼ半数が一部は実装準備ができていると考えている

What are the remaining barriers?

44 responses



引き続き残る課題

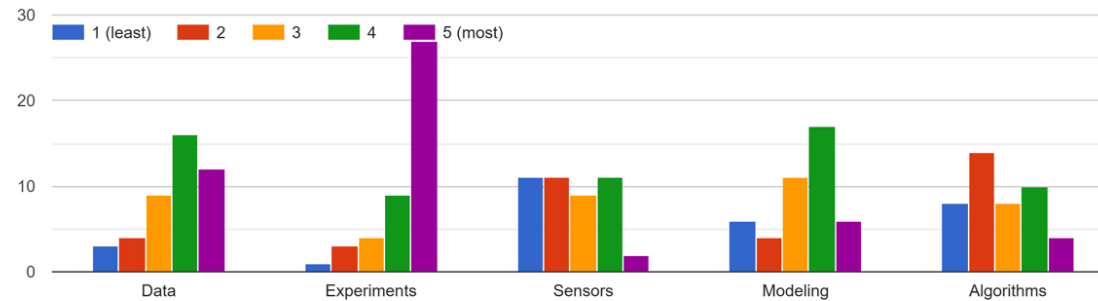
- 一番は, OEMによる荷重疲労評価
- 次に, 不確実性や効率性, 実装の可能性など

OEM : 風力発電機メーカー

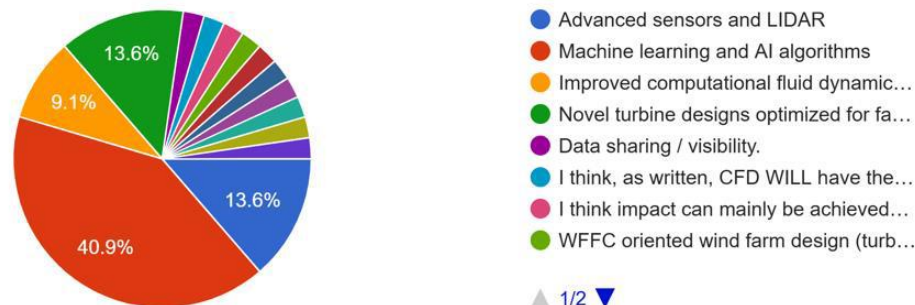
WFFC Survey Results: Reviews & Discussion

ファーム流れ場制御に関するアンケート調査:レビューと議論

How important are the following things to remove these barriers? 1: More (public) data / data sharing 2: Demonstration projects / field experiments 3: ...oved modeling/predictions 5: Improved control algorithms



Which technology do you think will have the biggest impact on improving WFFC in the next 5 years?
44 responses



課題を解決するために次の項目はどれほど重要か

➤ 実証実験, (オープン)データ, モデル化の順で多い

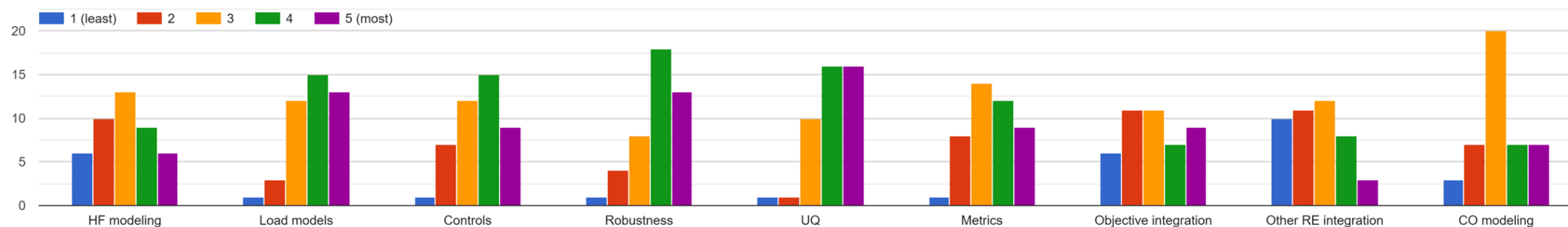
WFFCを改善するために今後5年で一番効果のある技術と考えられるのは

➤ 機械学習, 観測機器の改善, 風車設計の改善など

WFFC Survey Results: Reviews & Discussion

ファーム流れ場制御に関するアンケート調査:レビューと議論

Which area of WFFC research do you think needs the most attention? 1: High-fidelity (HF) modeling of transient effects 2: Wake models for fatigue load investigations 3: Control implementation and hierarchy 4: Robust control algorithms for uncertain conditions 5: Uncertainty quantification (UQ) 6: Def....) 8: Integration with other renewable energy sources and storage 9: Control-oriented (CO) wake modeling



WFFCで最も注目する必要がある分野は

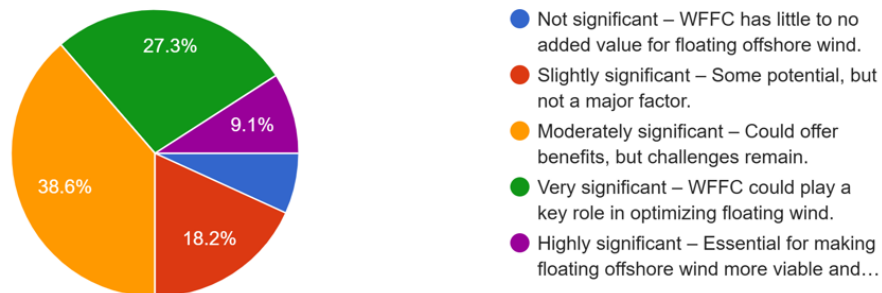
- 不確実性の定量化
- 不明瞭な条件でも対応できるアルゴリズム
- 疲労荷重に対するウエイクのモデル化

WFFC Survey Results: Reviews & Discussion

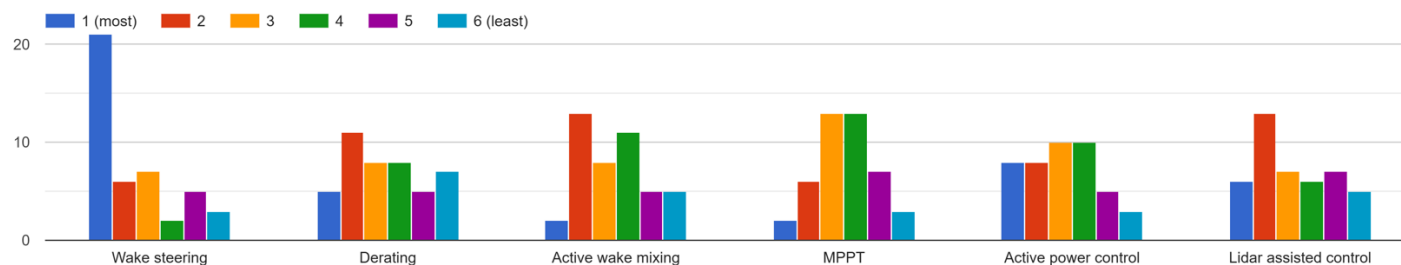
ファーム流れ場制御に関するアンケート調査:レビューと議論

How significant do you consider the potential of floating offshore wind farms to leverage WFFC strategies?

44 responses



Rank these technologies from most (1) to least (6) theoretical potential to reduce the LCOE (or increase the net value) of wind farms 1: Wake steering 2: Derating 3: Active wake mixing 4: Maximum Power Point Tracking 5: Active power control 6: Lidar assisted control



WFFCを活用するために浮体式ウインドファームのどれほど重要と考えているか

➤ 半分以上が中程度に重要と考えている

LCOEを低減するために理論的に重要な技術は

➤ ウェイクステアリング

➤ アクティブウェイクミックス

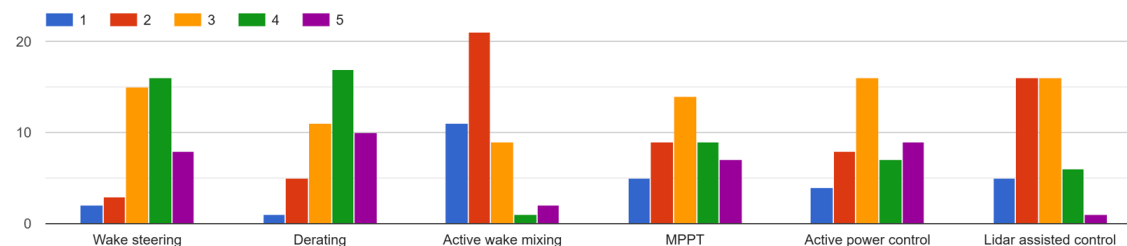
➤ ライダー支援制御

LCOEとは、Levelized Cost Of Electricity(均等化発電原価)の略で、発電設備の建設から運用、廃棄までを含めた発電ライフサイクル全体にかかるコストを、想定される発電量で均等に割ったもの

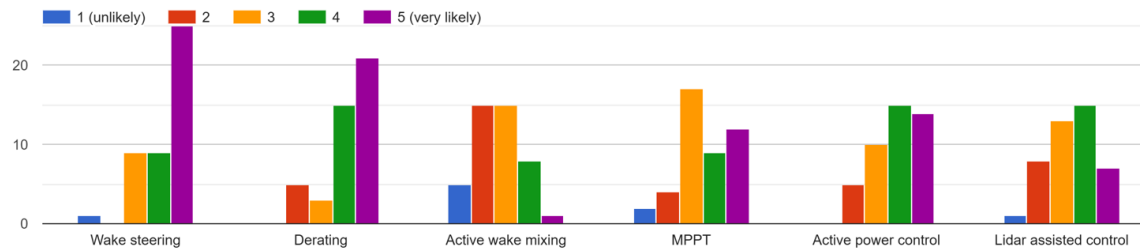
WFFC Survey Results: Reviews & Discussion

ファーム流れ場制御に関するアンケート調査:レビューと議論

How far advanced would you say the development of wind farm flow control (WFFC) technologies is? (1 = purely academic, 5 = implemented on a large scale)



How likely do you think it is that each of these technologies will be implemented on wind farms within 10-20 years? 1 = Highly Unlikely (very little chance of adoption) 5 = Close to Certain (Widespread implementation is very likely.)



各技術がどれほど開発が進んでいるか

- ウェイクステアリングは実装寄り
- アクティブウェイクミックスはアカデミック寄り
- ライダー支援制御はアカデミック寄り

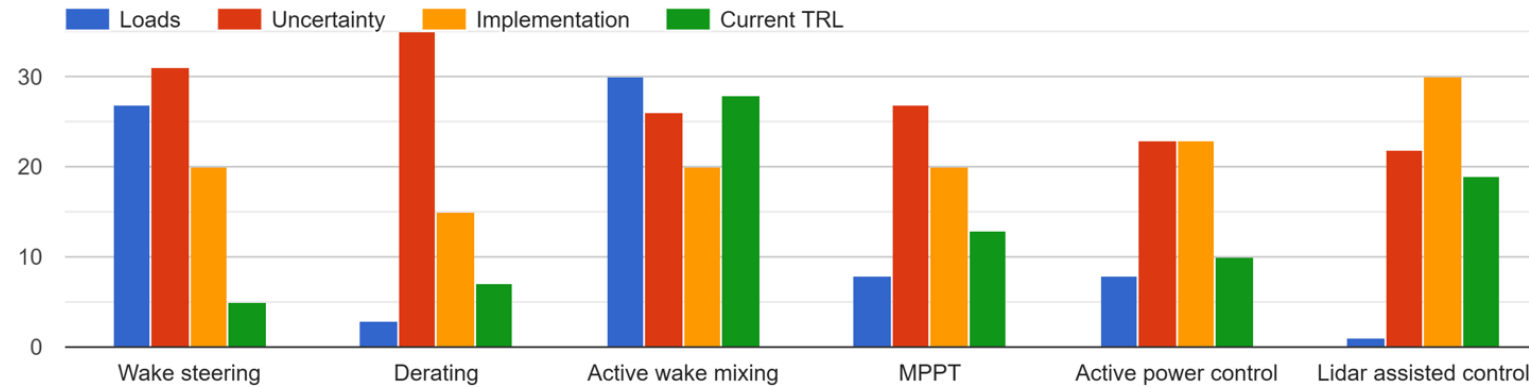
今後10年から20年の間に各技術が実装される可能性が高いのは

- ウェイクステアリング
- 出力抑制
- 動的出力制御

WFFC Survey Results: Reviews & Discussion

ファーム流れ場制御に関するアンケート調査:レビューと議論

What is holding this technology back from being implemented on a larger scale? 1: OEM concerns regarding loads / damage / lifetime of the turbine. 2: Uncertainty of use,...ion challenges 4: Current Technology Readiness Level (TRL)



各技術を実装するために解決が必要な課題は

- ウェイクステアリングは、不確実性の評価・風車寿命や疲労に関するOEM評価
- アクティブウェイクミックスは、風車寿命や疲労に関するOEM評価・技術成熟度
- ライダー支援制御は実装

Plan Task 44 Phase 2

Task44 フェーズ2の計画

- フェーズ1の終了は、2025年7月から2025年12月に延長された
- フェーズ2は、2025年11月のIEA Wind ExCo会議で申請される
- フェーズ2は、2026年1月から開始予定(3-4年継続)

Phase 1 extended to
December 2025
(orig. July)

Phase 2 will be
proposed at the IEA
Wind ExCo meeting
in November 2025

Phase 2 planned to
start January 2026
(3–4 years)