

第15回「IEA Windセミナー」

Task44: ウィンドファームの流れ場制御



WFCC / Wind Farm Flow Control

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

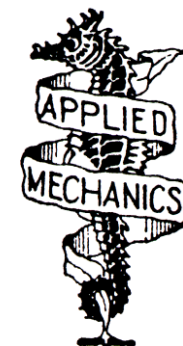
うちだ たかのり

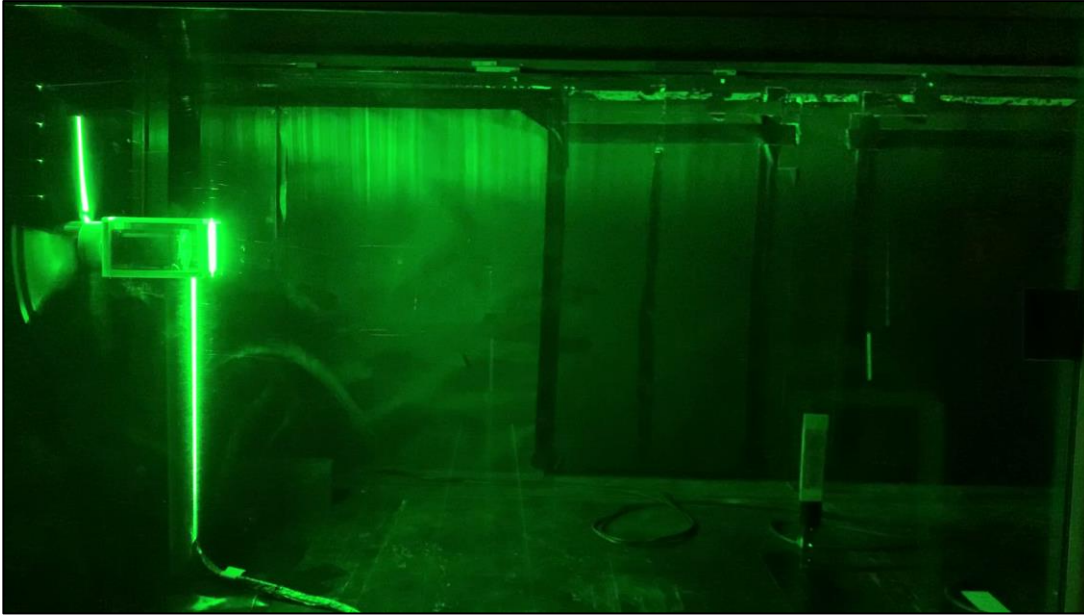
内田 孝紀

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

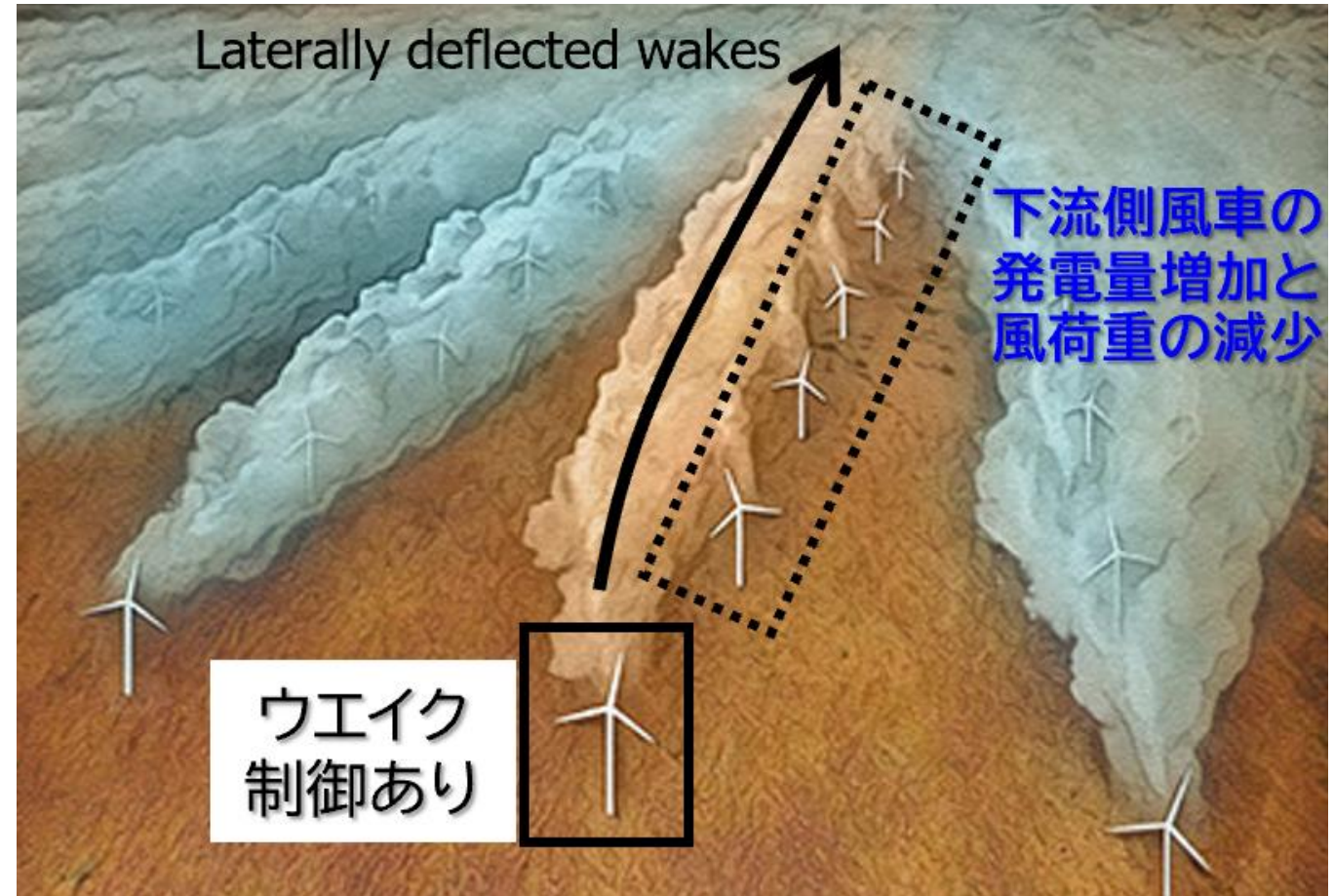
E-mail : takanori@riam.kyushu-u.ac.jp





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

IEA Wind TCP Task44



- 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

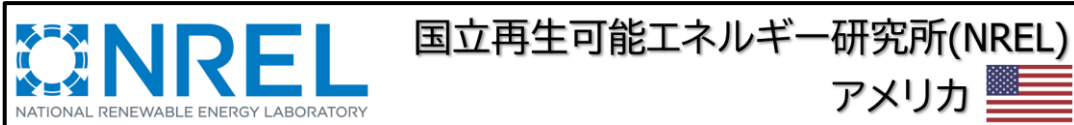
- ✓ 風力発電量の増産による電力システムや電力市場における風力発電の価値の最大化
- ✓ 風車のウェイク荷重の低減による、風力発電コストの低減化
- ✓ 風力発電所の制御モデルのベンチマークとベストプラクティスの開発、ベストプラクティス・データ交換の促進

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



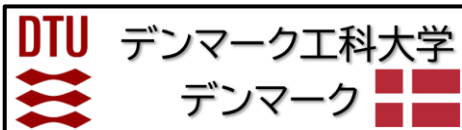
国立再生可能エネルギー研究所(NREL)
アメリカ



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
- カナデビア
- 東京ガス



JWEA／風車ウェイクモデリング研究会／
2025.4～2027.3
※30名以上の委員登録

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



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2026年7月に延長された
- フェーズ2は... (2026.6のTask managerからのメール／抜粋)

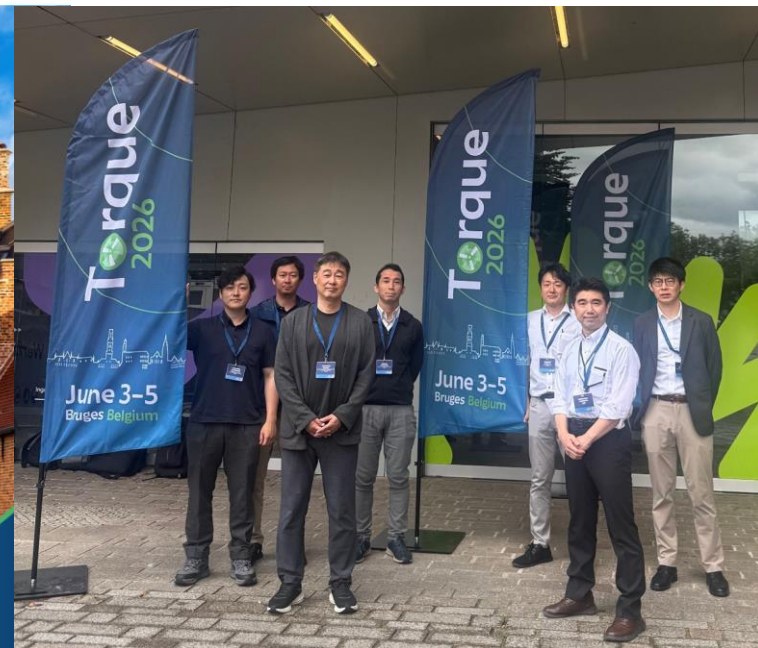
米国が本タスクの新たなフェーズにおいてオペレーティング・エージェント（運営主体）を務めることは困難な状況

- 選択肢1：独立したIEA Windタスクとして継続する
- 選択肢2：タスク44の活動をタスク50フェーズ2（ハイブリッド発電所）に統合する

Torque 2026

June 3-5

Bruges Belgium



Tuesday 2 June 2026

Wednesday 3 June 2026

Thursday 4 June 2026

Friday 5 June 2026

8.30 - 9.00: Registrations [Entrance Hall] & Welcome Coffee [Foyer Parterre & Foyer Balkon 1]

9.00 - 9.15: Welcome [Concertzaal]

9.15 - 10.00: Plenary Keynote 1 - Jan-Willem Van Wingerden

10.00 - 10.05: Technical break [Concertzaal]

10.05 - 10.40: Technical keynotes

10.40 - 11.10: Coffee break [Foyer Parterre & Foyer Balkon 1]

11.10 - 12.30: Parallel sessions 1.1.

12.30 - 13.40: Lunch [Foyer Parterre & Foyer Balkon 1]

13.40 - 15.20: Parallel sessions 1.2.

15.20 - 17.00: Waffles and Poster I [Foyer Balkon 2]

17.00 - 17.45: Evening Plenary: Celebrating 10 years of WES [Concertzaal]

17.45 - 18.05: EAWE Award Ceremony [Concertzaal]

18.05 - 19.30: Welcome reception [Foyer Parterre & Foyer Balkon 1]

Tuesday 2 June 2026

Wednesday 3 June 2026

Thursday 4 June 2026

Friday 5 June 2026

7.00 - 8.00: Torque Morning Run

8.30 - 9.00: Welcome Coffee [Foyer Parterre & Foyer Balkon 1]

9.00 - 9.45: Plenary keynote 2 - Peter Deuben

9.45 - 9.50: Technical break [Concertzaal]

9.50 - 10.25: Technical keynotes

10.25 - 10.55: Coffee break [Foyer Parterre & Foyer Balkon 1] / In parallel: EAWE PhD Committee - Meet the committee [Forum 7]

10.55 - 12.35: Parallel sessions 2.1

12.35 - 13.40: Lunch [Foyer Parterre & Foyer Balkon 1]

13.40 - 15.20: Parallel sessions 2.2

15.20 - 16.50: Waffles and Poster II [Foyer Balkon 2] / In parallel: DEI meet-up[Forum 7]

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut elit tellus, luctus nec ullamcorper mattis, pulvinar dapibus leo.

16.50 - 18.30: Parallel sessions 2.3

18.30 - 19.00: Animated walk to La Brugoise

Tuesday 2 June 2026

Wednesday 3 June 2026

Thursday 4 June 2026

Friday 5 June 2026

8.30 - 9.00: Welcome Coffee [Foyer Parterre & Foyer Balkon 1]

9.00 - 10.40: Parallel sessions 3.1

10.40 - 11.10: Coffee break [Foyer Parterre & Foyer Balkon 1]

11.10 - 12.10: Parallel sessions 3.2

12.10 - 12.40: Conference closure [Concertzaal]

12.40 - 13.40: Lunch [Foyer Parterre & Foyer Balkon 1]

14.00 - 16.00: COB visit (Optional) | Organization by UGent, registration required via separate form

Chair

 Johan Meyers (KU Leuven, BE)



Wind farm flow control: Beyond the steady-state solution

Jan-Willem van Wingerden



Jan-Willem van Wingerden

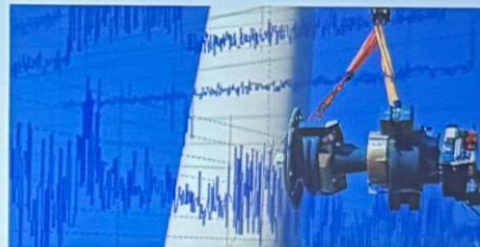
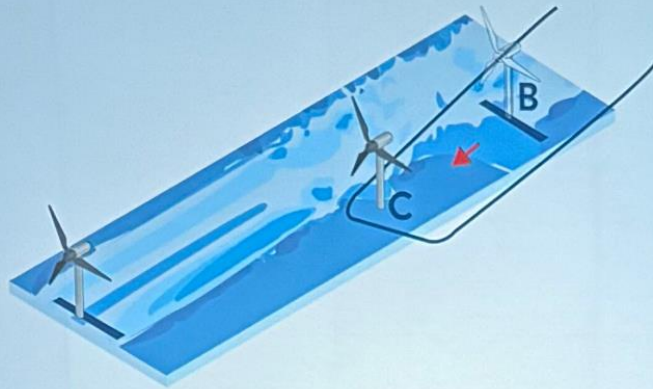
Wind farm flow control: Beyond the steady-state solution

Jan-Willem van Wingerden was born in Ridderkerk, The Netherlands, in 1980. He received the M.Sc. degree in mechanical engineering and the Ph.D. degree (both cum laude) in control engineering from the Delft Center for Systems and Control, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, in 2004 and 2008, respectively. Since 2017 he is a full Professor with the Delft University of Technology. His current research interests include the development of data-driven controllers for wind turbines wind farms, and cluster wakes.



Wind farm flow control

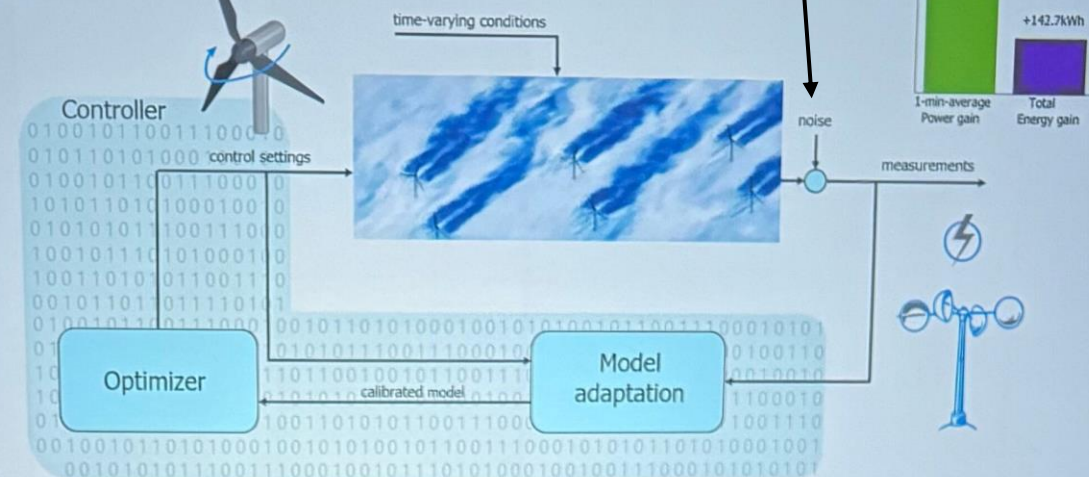
- Reconstruction wind field
- Prediction wind field
- Real-time optimization



TU Delft

測定ノイズによる汚染

Closing the loop



TU Delft

Doekemeijer, B. M., Van Der Hoek, D., & Van Wingerden, J. W. (2020). Closed-loop model-based wind farm control using FLORIS under time-varying inflow conditions. *Renewable Energy*, 156, 719-730.

- ❑ クローズドループ(閉ループ)のフィードバック制御とは、結果(出力)を測定し、それを目標値と比較してズレを自動で修正する制御方式
- ❑ 常に状態を確認して調節するため、高い精度を保てる

Field experiments – ongoing!!



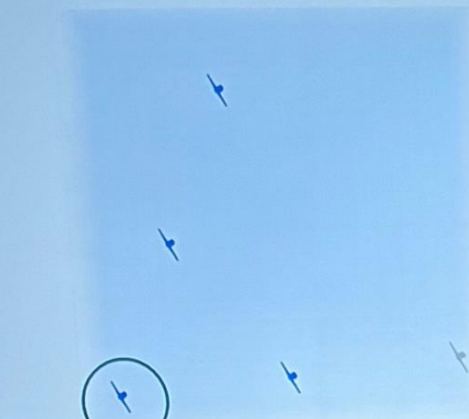
TU Delft

CROSSWIND

シーメンス 11MW

What do we measure?

1) High frequency scada



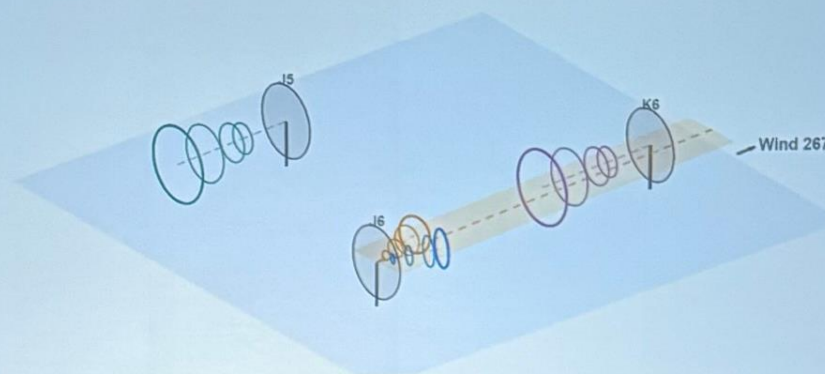
TU Delft

2) Four ZX TM lidars



CROSSWIND

The lidar configuration

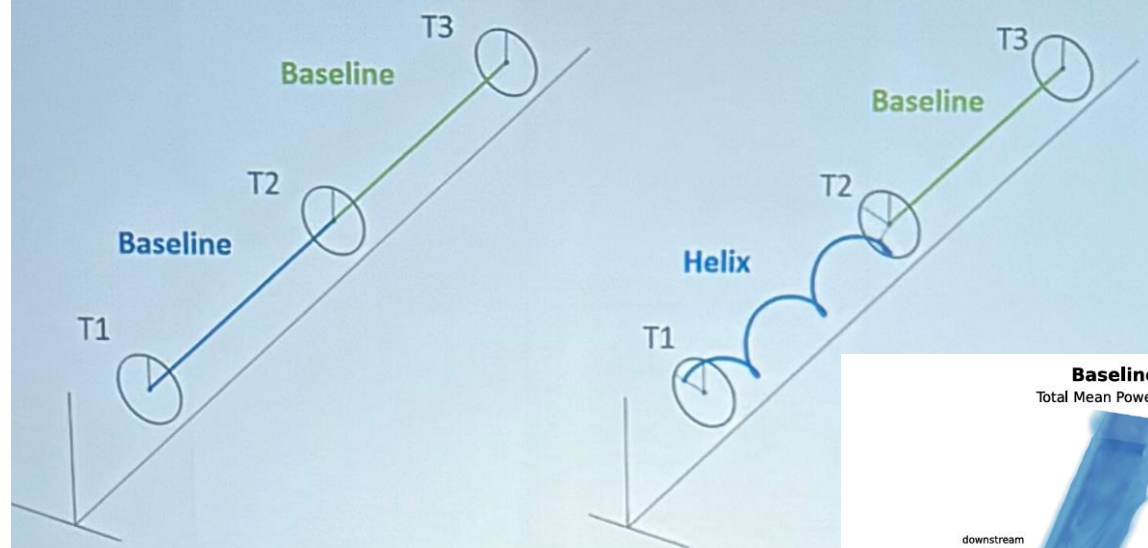


TU Delft

CROSSWIND

Synchronized Helix control

The concept



Flock of birds $\approx$ Helix



Synchronized Helix control(同期型ヘリックス制御)

❑ 風車のブレードを個別に動かし、後方に螺旋(らせん:Helix)状の空気の流れを作り出す技術

❑ Helixの主な欠点／ピッチベアリングへの追加荷重

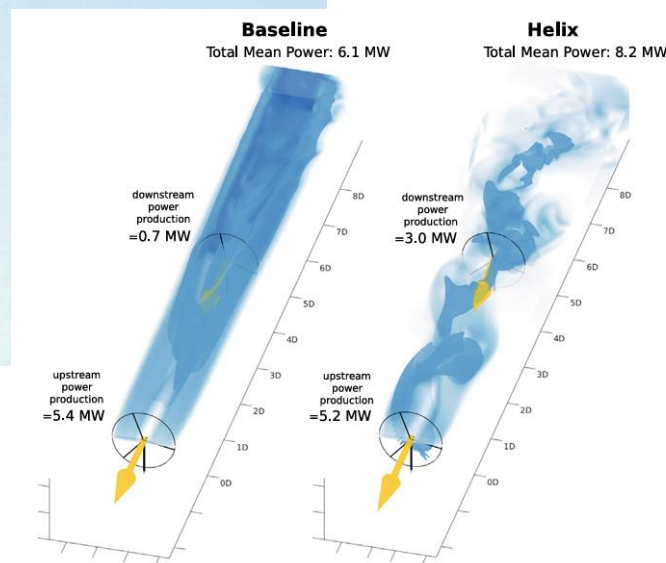
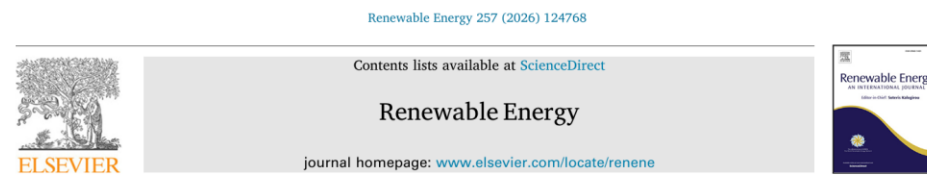


Fig. 1. Visualization of the baseline (left) and Helix-controlled (right) cases in a two-turbine array under full wake overlap. The data is based on a Large-Eddy Simulation with laminar inflow conditions by [12], and the image is adapted from [5]. Turbine spacing along the x -axis is normalized by rotor diameter D .



Experimental validation of synchronized Helix wake mixing control

Aemilius A.W. van Vondelen^{a,*}, Daan C. van der Hoek^a, Sachin T. Navalkar^b, Jan-Willem van Wingerden^a

^a Delft Center for Systems and Control, Delft University of Technology, Mekelweg 2, Delft, 2628 CD, The Netherlands

^b Siemens Gamesa Renewable Energy B.V., Prinses Beatrixlaan 800, The Hague, 2595 BN, The Netherlands

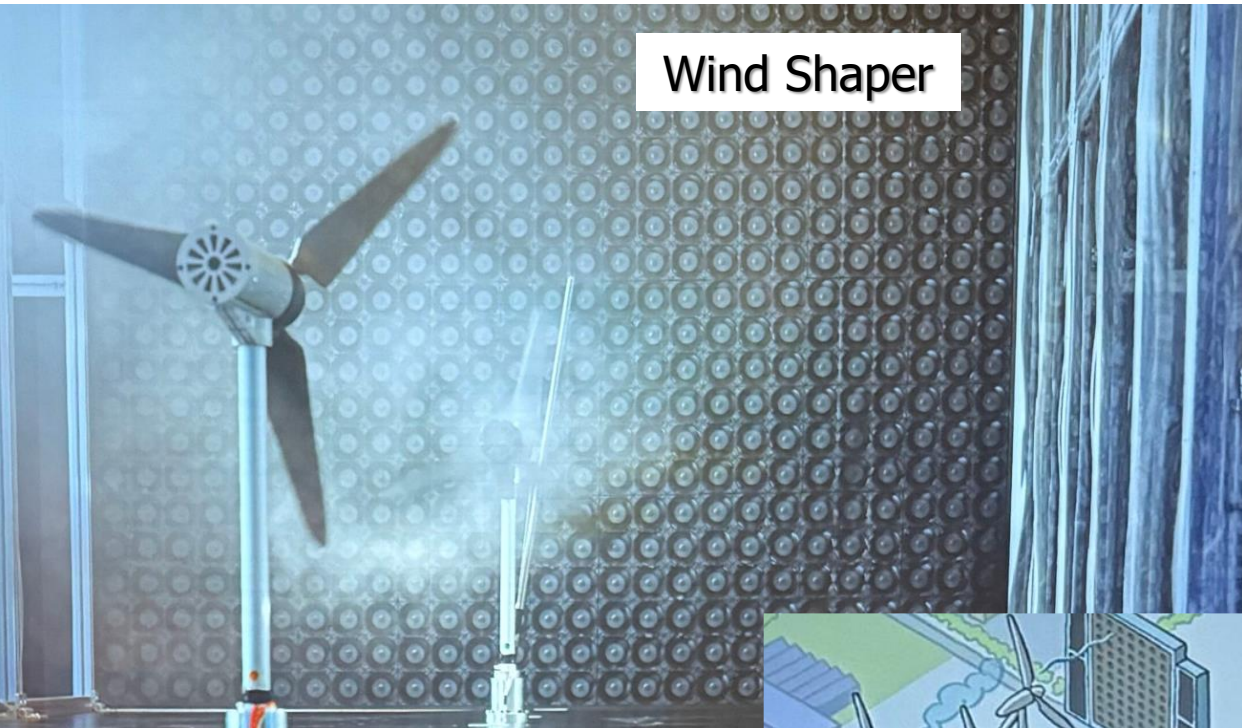
ARTICLE INFO

Keywords:
Kalman filter
Wind turbine control
Wake mixing
Synchronization
Wind tunnel experiment

ABSTRACT

Wakes of upstream turbines impinge on downstream turbines in wind farms, causing power losses and increased fatigue. Wind farm control methods, such as the Helix approach, have been proposed to actively stimulate mixing of the wake with the free stream by pitching the blades dynamically. As a result, a periodic structure is forced in the wake, which increases average downstream wind velocity and thereby improves downstream turbines' power production. However, downstream turbines could further exploit this periodic wake structure by pitching dynamically as well, but in sync with the phase of the incoming wake structure. Depending on the phase offset between the impinging wake and the downstream pitch, this creates destructive or constructive interference between the two wakes and further improves power production downstream. This work presents and experimentally validates such a control strategy for downstream wind turbines and evaluates it on a three-turbine wind farm in an experimental wind tunnel setting using scaled wind turbines. Results validate the controller's effectiveness and show that the third turbine's performance improvement is strongly influenced by the phase offset between the periodic wake components generated by the second turbine and those present in the upstream wake.

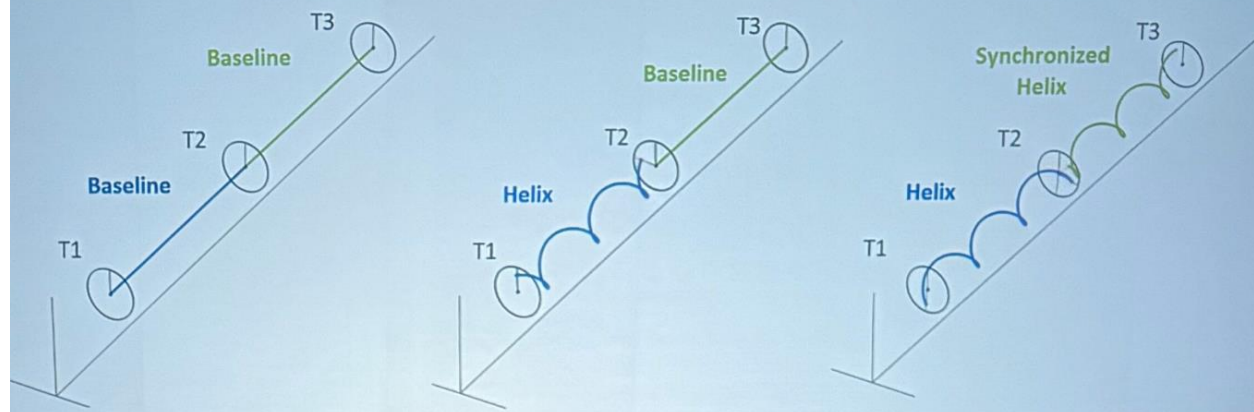
Wind Shaper



風洞実験におけるWind Shaper (ウィンドシェイパー)とは、小さなファンを壁のように多数並べて、コンピューター制御で自由自在な風の流れを作り出す画期的な「風発生装置」



Synchronized Helix control The concept



電力需要に合わせた制御??

additional gain of around 20%

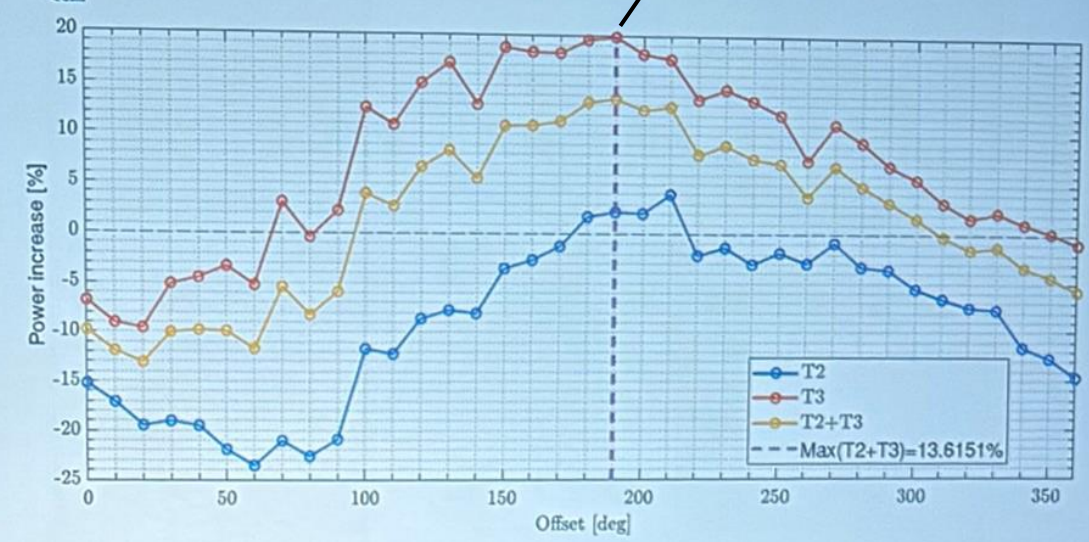
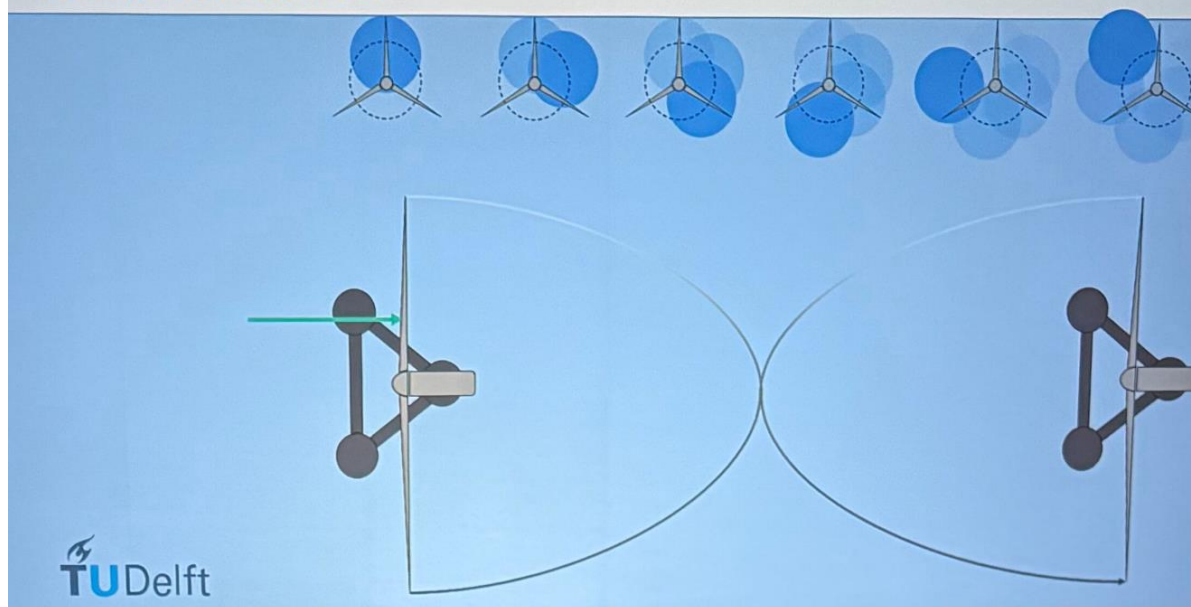


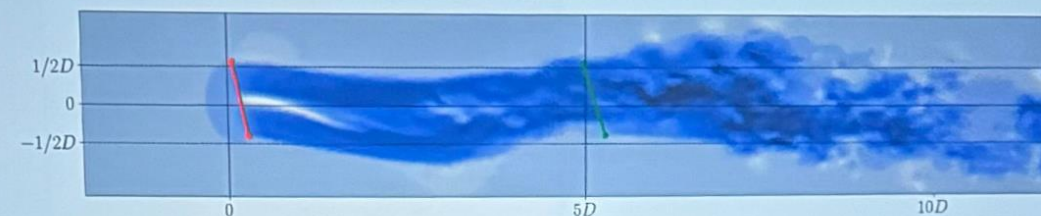
Figure: T1: CCW, T2: CCW, T3: Greedy.

Helix on a floater

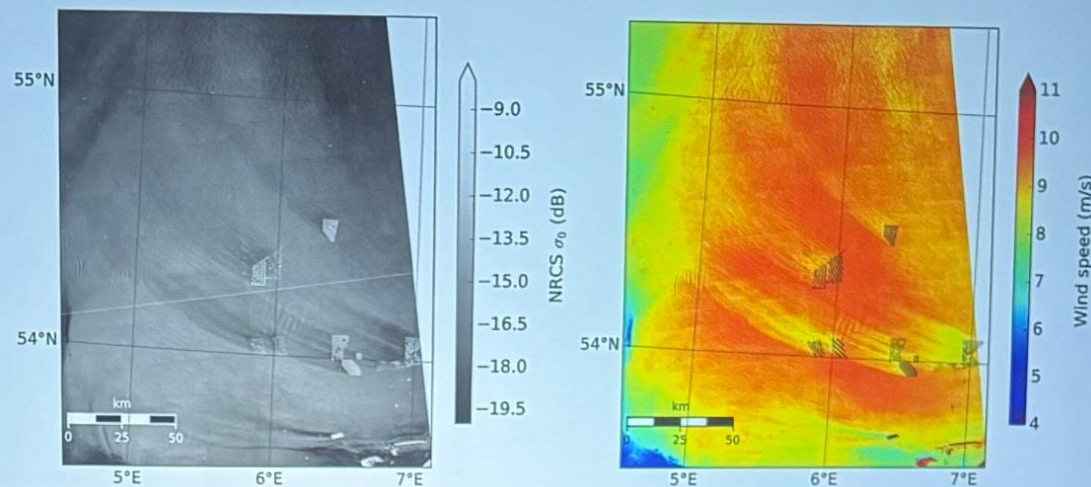


What happens if we put the Helix Strategy Technology on a floating?

Wake steering on a floater - synchronization



Cluster wakes: A look into what's already happening

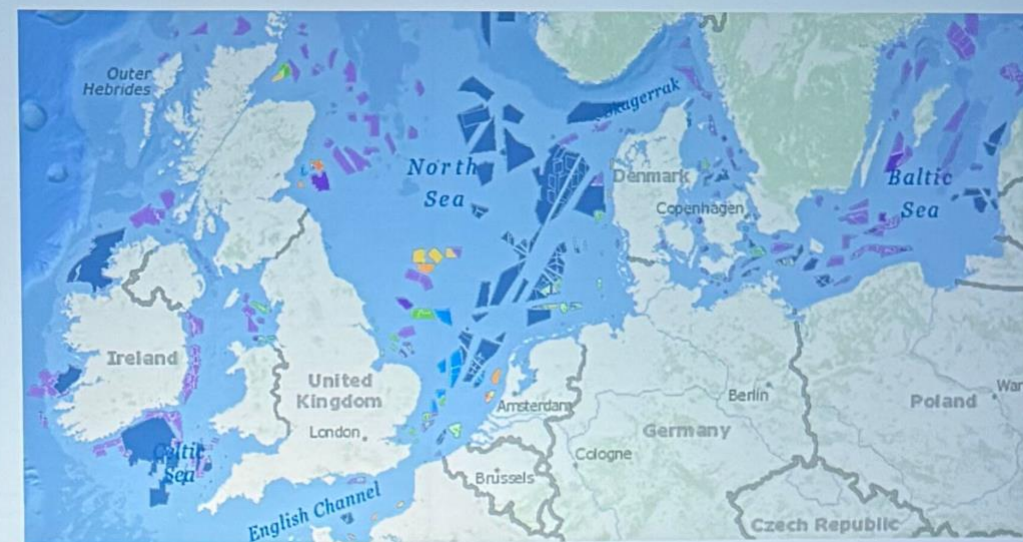


Satellite images

4C Offshore Global Map

<https://map.tgs4c.com/offshorewind/>

A look into the future ...

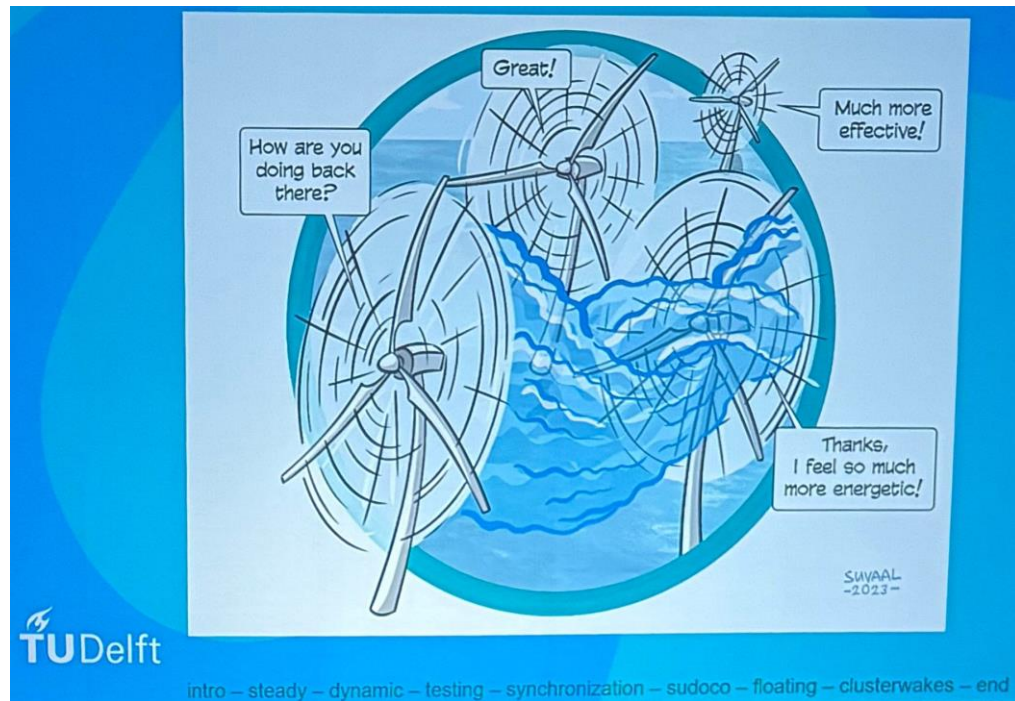


Cluster wake control:

Patented

Gutknecht, J., Taschner, E., Becker, M., Viré, A., & van Wingerden, J. W. (2025). Mitigating cluster wake induced power losses at neighboring wind farms through cluster-wide coordinated control.





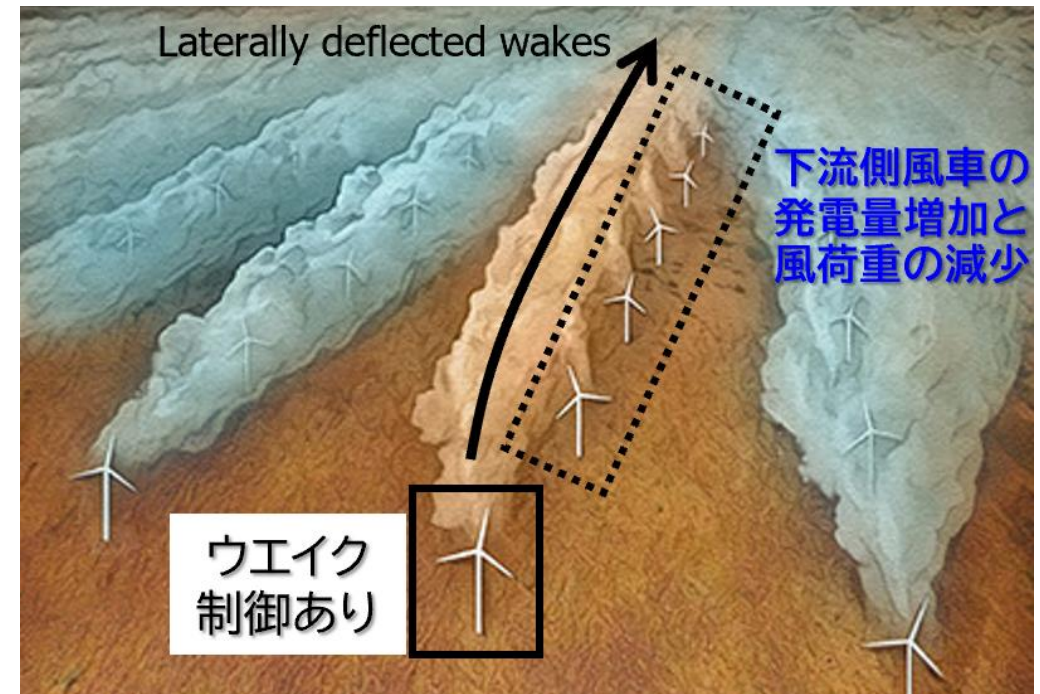
Sudocolは「持続可能で強靱、データ駆動型の洋上風力発電所の制御共同設計(Sustainable resilient Data-enabled Offshore wind farm and control CO-design)」を目的としたEUのプロジェクト

日本の課題

実機風車を活用した

- ウェイクステアリング制御(Wake Steering)
- 軸流誘導制御(Axial Induction Control)

の実証研究が急務！





当機関は「National Laboratory of the Rockies（NLR）」（旧NREL）となりました。つきましては、メールアドレスのドメインを「@NREL.gov」から「@NLR.gov」へ変更していただきますようお願いいたします。
Task 44 参加者の皆様

ご存知の通り、Task 44は1年間の追加費用を伴わない期間延長（no-cost extension）を経て活動を続けてまいりましたが、来月（2026年7月）をもって終了する予定です。
この1年間、私たちは風力発電所におけるフロー制御（流体制御）に関する重要な国際共同研究を継続すべく、フェーズ2に向けた提案書（添付）を準備してまいりました。
しかしながら、米国の優先事項やリソース状況の変化により、米国が本タスクの新たなフェーズにおいてオペレーティング・エージェント（運営主体）を務めることは困難な状況となりました。
そこで、この共同研究を継続し、Task 44のコミュニティが過去数年にわたり築き上げてきた活動の勢い（モメンタム）を維持するための、2つの選択肢について協議したいと考えております。

選択肢1：独立したIEA Windタスクとして継続する

この選択肢では、他の参加国または参加機関がオペレーティング・エージェントの役割を引き継ぎ、各ワークパッケージの主導的な役割を担うことになります。

利点

風力発電所のフロー制御に特化した、専門的な国際的フォーラムを維持できる。
Task 44のアイデンティティ、目的、および確立されたネットワークを維持できる。
他の優先事項に阻害されることなく、ウェイク・ステアリング（後流制御）、ウェイク・ミキシング（後流混合）、制御技術、検証、導入に向けた課題といったテーマに引き続き注力できる。
すでに策定済みのフェーズ2提案書の内容を継続して活用できる。

欠点

新たなオペレーティング・エージェント（運営責任者）およびワークパッケージのリーダー・チームが必要となる。
参加国によるリソースおよび資金の再拠出が必要となる。
独立したタスクを立ち上げ、管理するための追加的な事務作業が発生する。
長期的な持続可能性は、十分なリーダーシップと参加を確保できるかどうかにかかっている。

選択肢2：タスク44の活動をタスク50フェーズ2（ハイブリッド発電所）に統合する

タスク50フェーズ2は最近開始されたばかりであり、ハイブリッド発電所や発電所レベルの最適化に焦点を当てた既存の国際的な枠組みを提供しています。
風力発電所のフロー制御（気流制御）は、このより広範なタスク内の一つの専門ワークパッケージとして位置づけることが可能です。

利点

活動実績があり、資金も確保されている国際的な共同研究の枠組みの中に、即座に活動拠点を置くことができる。
独立した新規タスクを立ち上げる場合に比べ、事務的な負担が軽減される。
風力発電所のフロー制御に関する研究を、ハイブリッド発電所の制御、蓄電技術、および系統サービスと連携させる機会が増える。
タスク50のより大きなコミュニティを通じて、業界の関与や認知度が高まる可能性がある。

課題

風力発電所のフロー制御が、タスク50における数あるトピックの一つとなる。
タスク50の目標や構造に合わせるため、タスク44の目的や活動範囲の一部を見直す必要があるかもしれない。
既存の計画済みワークパッケージ、成果物、およびガバナンス体制を再構築する必要がある。
もしコミュニティがタスク50への統合を支持する場合、現在のフェーズ2提案書を再検討し、風力発電所のフロー制御活動をハイブリッド発電所の広範な枠組みの中でどのように位置づけるかを明確にする必要があります。

今後の対応：今後2週間以内に、これらの選択肢についてのご意見、特にリーダーシップの役割を担うことへの関心の有無についてお知らせいただければ幸いです。
タスク44への皆様の貢献に感謝申し上げます。この共同研究は、重要な技術的進歩をもたらし、国際的なパートナーシップを強化し、風力発電所のフロー制御を商用導入へと近づける一助となりました。
私たちは、この勢いを維持し、コミュニティ内での有益な知識交流を継続できる道を見出したいと考えています。