

風車ウエイク研究会・最終報告

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
風車ウエイク研究会 主査 内田 孝紀

1. はじめに

複数の風車群から構成される大規模洋上ウインドファームでは、上流側に位置する風車ウエイクに起因して、下流側に位置する風車の発電量低下や風車内外の故障などが生じる可能性が懸念される(図1, 図2を参照)。よって、上流側に位置する風車が形成する風車ウエイクの挙動を正しく理解し、予測することが不可欠である。

本研究会では、特に洋上風力分野における風車ウエイク評価手法に着目し、1) 海外の動向調査、2) 国内の情報共有/情報発信を実施した(活動期間: 2021.4~2023.3)。本報ではその最終報告を行う。

2. 実施体制および活動内容など

図3に実施体制などを示す。株式会社風力エネルギー研究所に事務局(副主査)をお願いし、総勢30名以上

の方々に参加頂いた。図4には、主な活動内容を示す。以降、話題提供内容のサマリーを掲載する。オンライン会議が中心であったが、毎回活発な議論が行われた。

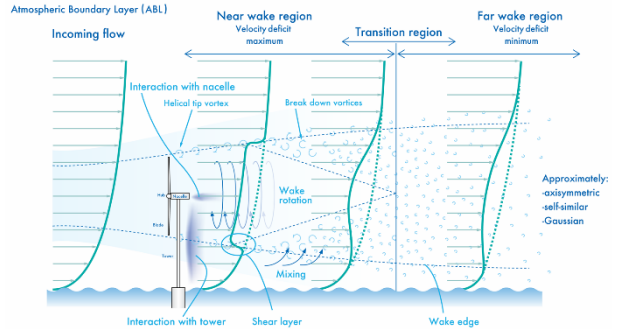


図1 風車ウエイク内の気流構造(内田作成)

風車ウエイクの相互干渉現象/未だ謎の多い強非線形・大気乱流現象

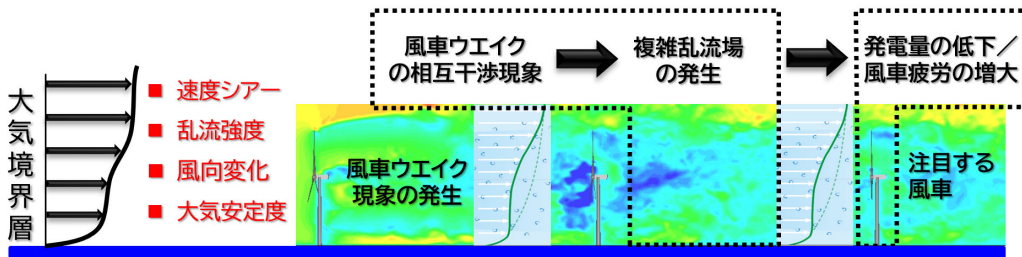


図2 風車ウエイクの相互干渉現象(内田作成)

活動内容(2か月に1度をもとに開催):

■海外の動向調査

■国内の情報共有/情報発信

	東京大学/石原研究室
	弘前大学/本田研究室
	三重大学/前田・鎌田研究室
	神戸大学/大澤研究室
	近畿大学/ゴイト研究室
	一般財団法人 電力中央研究所

途中登録

- ◆一般財団法人 日本気象協会
- ◆株式会社 構造計画研究所

委員登録数: 30名以上

	株式会社 ユーラスエナジーホールディングス
	日本風力開発株式会社
	ジャパン・リニューアブル・エナジー株式会社 東京電力リニューアブルパワー株式会社
	東電設計株式会社
	コスモエコパワー株式会社
	関西電力株式会社
	日立造船株式会社
	東京ガス株式会社
	東芝エネルギーシステムズ株式会社
	西日本技術開発株式会社
	SEWPG European Innovation Center ApS
	株式会社風力エネルギー研究所(事務局)

図3 実施体制

◆ 2021/06/01: キックオフミーティング, Zoom, 35名参加

◆ 2021/08/20: 第2回会議, Zoom, 29名参加
・銭 国偉 先生(東京大学)
・ジェイ ブラス ゴイト 先生(近畿大学)

◆ 2021/10/27: 第3回会議, Zoom, 26名参加
・鎌田 泰成 先生(三重大学)
・川島 泰史 氏(九州電力グループ 西日本技術開発株式会社)

◆ 2022/03/25: 第4回会議, Zoom, 27名参加
・本田 明弘 先生(弘前大学)
・中尾 圭佑 氏(電力中央研究所)

◆ 2022/06/15: 第5回会議, Zoom, 26名参加
・内田 孝紀 先生(九州大学)
・澁谷 光一郎 氏(日立造船株式会社)

◆ 2022/08/26: 第6回会議, Zoom, 21名参加
・村上 礼雄 氏(東京ガス株式会社)
・深谷 侑輝 氏(東芝エネルギーシステムズ株式会社)

◆ 2022/12/22: 第7回会議(最終), Zoom, 21名参加
・内田 孝紀 先生(九州大学)
・高桑 晋 氏(ジャパン・リニューアブル・エナジー株式会社)

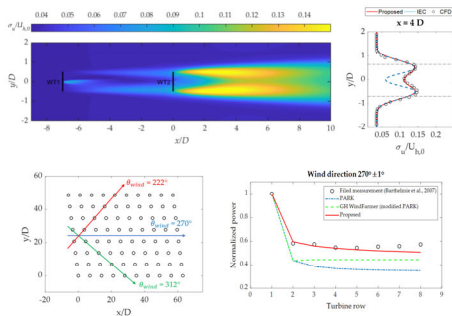
図4 活動内容

風車後流モデルの開発とヨー制御を利用した風力発電所出力の最大化

東京大学 銭 国偉

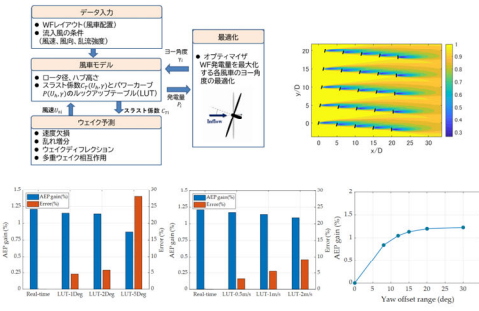
多重ウェイクモデルの開発と検証

大規模風力発電所に適用できる多重ウェイク下の乱流強度の予測モデルを開発し、数値流体解析と観測データにより、提案したモデルが高い予測精度を有することを示した。



ウェイクステアリング制御の提案

勾配法を用いたwind farmの発電量を最大化するアルゴリズムを開発し、風速・風向の分解能がウェイクステアリング制御の予測精度に与える影響を評価した。発電量の最大化と風車の安全基準を同時に満足できる最適ヨーオフセット範囲(±15°)を示した。

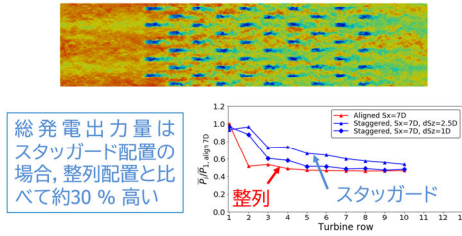
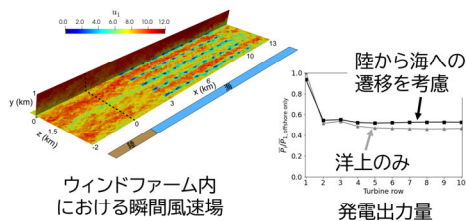


大型洋上wind farmの数値流体シミュレーション

沿岸地形及び風車配置の影響 近畿大学 Jay Prakash Goit

- ラージエディシミュレーション(LES)を用いて大気境界層の陸から海への遷移が沿岸近傍の洋上wind farmの総発電量へ及ぼす影響の評価
- 陸の影響を考慮した場合、総発電出力量が約10%高い

- wind farm内の風車配置が総発電量へ及ぼす影響について解析
- 3つのwind farm配置を定義
 - ...整列1つとスタaggerド2つ
- 全ケースでwind farm面積を固定

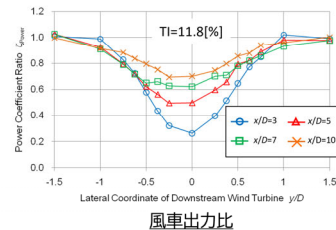
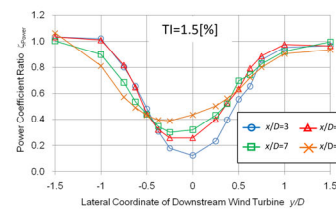
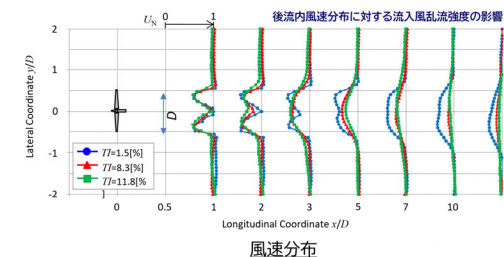
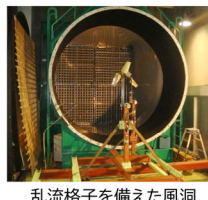


三重大学での風車後流研究 乱れを考慮した後流の風洞実験

三重大学 前田 太佳夫 / 鎌田 泰成

流入風乱流強度を変化させた場合の風車後流、風車出力を実験的に調べた。

- 乱流強度の増加にしたがい、風車後流と自由流れとの混合が促進され、風車後流の風速は早く回復する。
- 乱流強度の増加にしたがい、後流内で運転される風車の出力は回復する。



ドップラーソーダを用いた風車ウエイク計測 西日本技術開発株式会社 川島 泰史



図1 ウエイク計測位置



図2 小型ドップラーソーダ(KPA-300)の設置状況

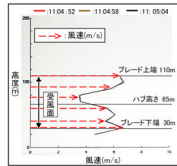


図3 風速鉛直プロファイル

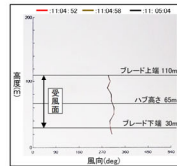


図4 風向鉛直プロファイル

実風車後流の可視化の試み 弘前大学 本田 明弘

対象: 風洞模型風車
D=0.442m

可視化(スモーク)

PIV処理(軸流速)

対象: 5kW風車
D=5.5m

可視化(降雪)

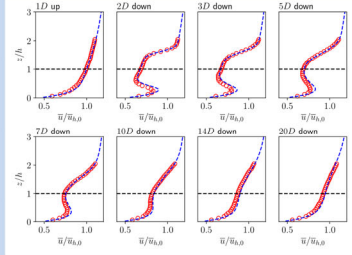
対象: 20kW風車
D=15.6m

可視化(降雪)

数値気象モデルWRFを用いた風車ウエイク計算 電力中央研究所 中尾 圭佑

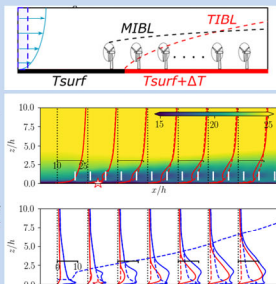
1. WRFへのウエイクモデルの導入

○検証計算により正常な機能を確認した。



2. ウィンドファームと内部境界層の影響

○地表面温度の非一様性下にあるウィンドファームにおいて、風車が受ける気流がどのように変化するかを数値再現。

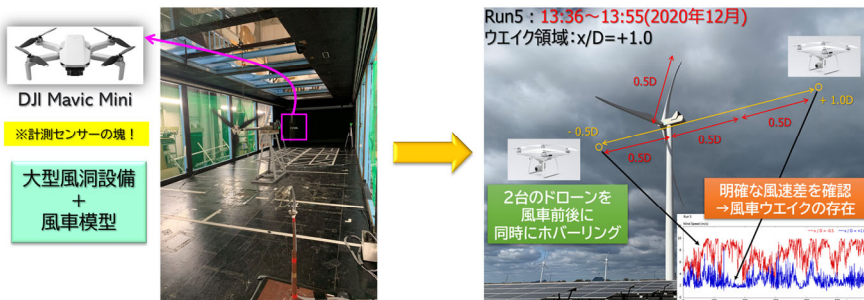


○ウエイク、環境風いずれにも大気安定度の影響が現れることを検証した。

○まとめ

日本の洋上風力によく見られる離岸距離の短さに対応するウィンドファームの風速特性を把握するため、非一様な熱成層条件におけるウィンドファーム、ウエイク計算を実施。熱対流の影響する高さ(内部境界層高さ)の推定を試みる研究成果について報告を行った。(Nakao and Hattori, 2022, Wind Energy)

ドローンによる風車ウェイク領域内の気流計測の試み 九州大学 内田 孝紀

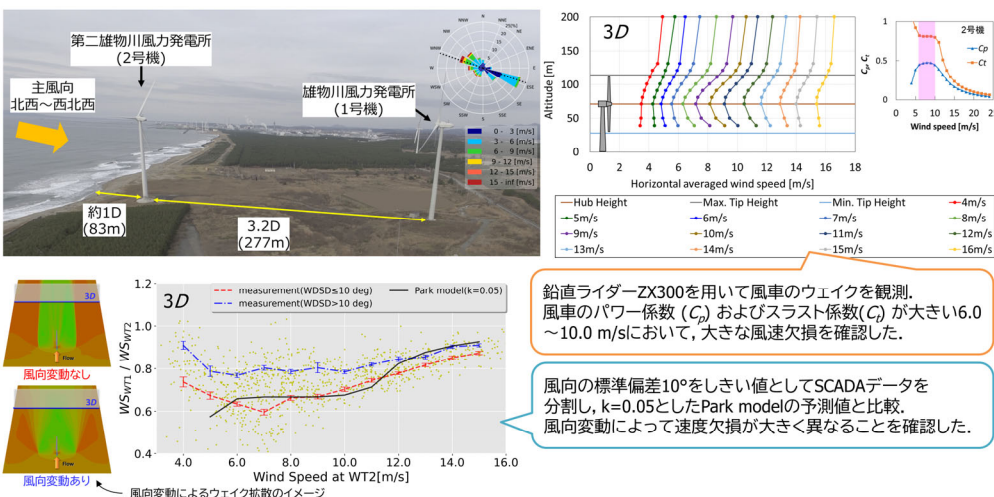


大型風洞設備を用いた気流計測センサーとしてのドローン校正手法の確立

↓
風洞実験スケール風車模型・実機スケール大型風車のウェイク計測への試み

秋田県雄物川風力発電所における実機風車のウェイク測定と風向変動の影響 日立造船 澁谷 光一郎

日立造船 澁谷 光一郎



東京ガス株式会社における風況評価技術開発の取り組み 東京ガス 村上 礼雄

洋上風力発電の風車ウェイク現象を高精度に再現・マネジメントし、設備利用率向上と故障率低減を図ることを目的に、九州大学、ジャパン・リニューアブル・エナジー(株)、東京ガス(株)の3者で国立研究開発法人科学技術振興機構の支援を受けた共同研究※を開始

※JST 研究成果展開事業研究成果最速展開プログラム(AA-STEP)産学共同PMUTR211CおよびPMUTR221Cの支援を受け実施しているものです

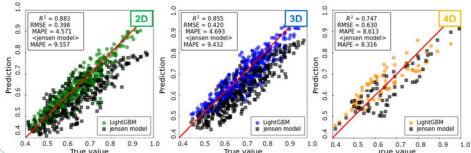
当社では、風況(風速、風向、乱流強度等)や風車情報(回転数、ピッチ角、トルク等)のビックデータに機械学習を適用させることで、ウェイクを高精度に予測するモデルの開発に挑戦

機械学習適用のモチベーション

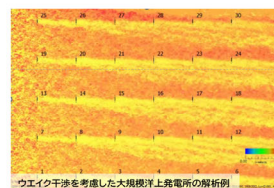
モデルパラメータや現象をデータから発見できないか

風況や風車情報を入力すれば、最適なパラメータが選択され、誰でも簡単に精度良く解析できるようにしたい

既存モデルとの精度の検証結果(洋上型単基風車)
JensenPark modelよりも高い精度で風車ウェイクを予測

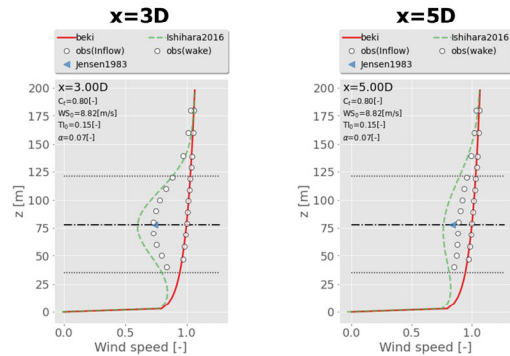
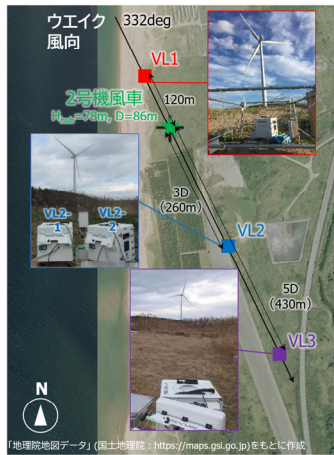


プロジェクトの最終目標:
発電量を精緻に予測するツールの社会実装



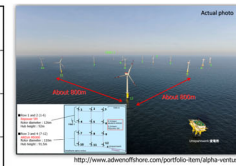
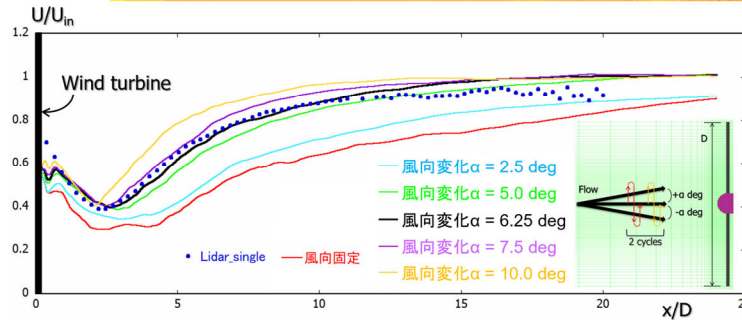
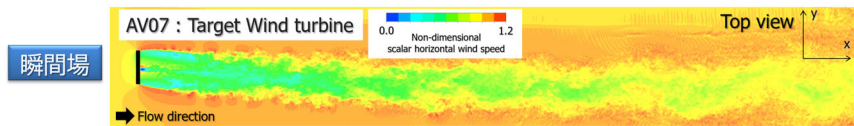
実サイトにおける風車後流の影響評価 東芝ESS 深谷 侑輝

- 沿岸部の風力サイトにおいて、複数の鉛直LIDARで流入風とウエイクを同時観測



✓ 観測データは工学モデルと比較して、ウエイクを過小に評価

スパコンを用いた風車ウエイクシミュレーション 九州大学 内田 孝紀

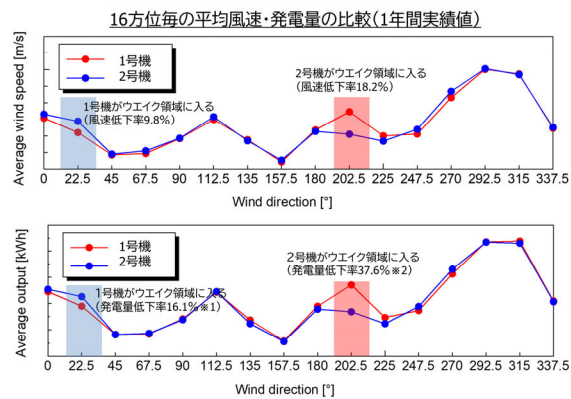
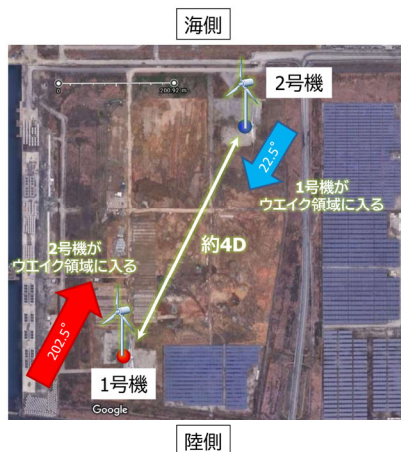


Alpha Ventus Offshore Wind Farm (Germany)

7号機風車のハブ高さ(91.5m)におけるスカラー平均風速の比較

鉛直ライダーと SCADA データによるウエイク分析

ジャパン・リニューアブル・エナジー 高桑 晋



風速低下割合からの理論上(発電量∝風速^{3乗})発電量低下率
 ※1 26.7%
 ※2 45.2%

3. おわりに

IEA task 44のウィンドファームの流れ場制御(Wind Farm Flow Control)では、風力発電所の制御アルゴリズムと性能向上への貢献を目的とし、風車ウェイクステアリング手法等が活発に議論されている(図5, 図6を参照)。日本からも著者が代表者となり、数名の委員登録の下、task 44に参加している。今後、国内の洋上風力発電分野においてもtask 44で議論されている最新の研究成果が重要になってくる。

そのため、IEA task 44の日本チームと連携を図りつつ、最新の風車ウェイク研究とウィンドファームの流れ場制御について調査を行い、国内の関係者間にて情報交換を行うため、「ウィンドファームの流れ場制御研究会、主査:内田孝紀、事務局(副主査):株式会社風力エネルギー研究所、活動期間:2023.4~2025.3」を新たに立ち上げ、現在活動を行っている。「ウィンドファームの流れ場制御研究会」への参加は随時受け付けており、興味のある方は内田(takanori@riam.kyuhsu-u.ac.jp)まで連絡を頂きたい。

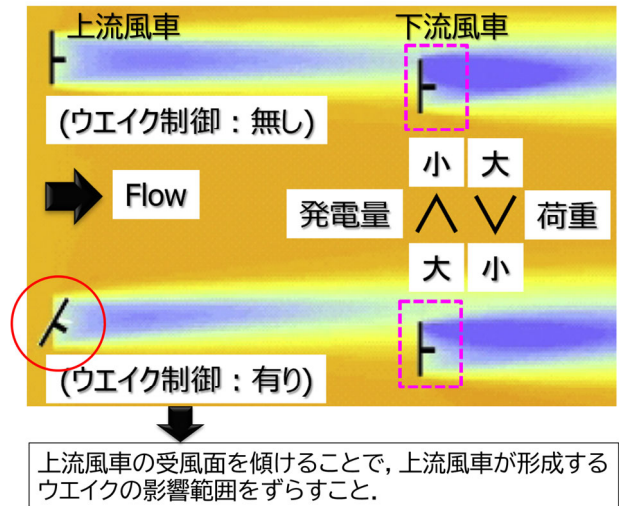


図6 風車ウェイクステアリング手法の概念図

謝辞

風車ウェイク研究会およびウィンドファームの流れ場制御研究会の事務局を快く引き受けて頂いた株式会社風力エネルギー研究所、また、上記の委員会の設置を認めて頂いた一般社団法人 日本風力エネルギー学会 (JWEA)には、ここに記して感謝の意を表します。

国際連携のさらなる推進

IEA (国際エネルギー機関) は、IEA Wind (風力技術協力プログラム) を主催している。IEA Wind国内委員会 (NEDO) の推薦・審議を経て、Task44に参画している(2021年12月15日)。



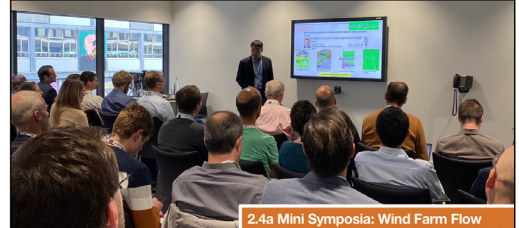
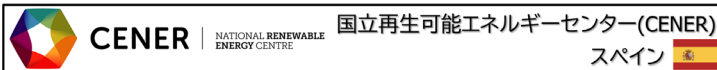
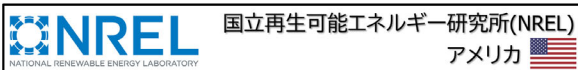
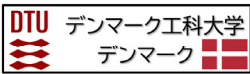
主な目的
国際共同研究の促進
(Multidisciplinary Challenges)

- 九州大学 / 内田 孝紀 (代表者)
- ジャパン・リニューアブル・エナジー, 4名
- 東芝エネルギーシステムズ, 3名
- 日立造船, 4名
- 東京ガス, 2名



主な参加機関

洋上風力研究の海外トップ大学 / 研究所が参加している



2.4a Mini Symposia: Wind Farm Flow Control research organized by IEA Wind Task 44
WHEN 6:30am - 10:15am
TRACK Room 04 - Conference Room 2 (Level 3)
Takanori Uchida et al., Numerical visualization of wind turbine wakes using passive scalar advection-diffusion equation and its application to wake management, WESC 2023 (Glasgow, UK), 2023.5.25

図5 IEA task 44のウィンドファームの流れ場制御(Wind Farm Flow Control)