

第45回 風力エネルギー利用シンポジウム, 2023年11月30日(木), 16:35 ~ 16:50 (15分)



一般社団法人
日本風力エネルギー学会
Japan Wind Energy Association

風車ウェイク研究会の最終報告

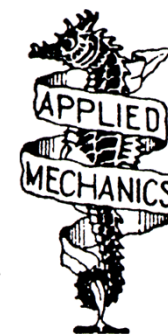


うちだ たかのり

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

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長



風車ウエイク研究会：2021.4～2023.3
主査：内田 孝紀（九州大学応用力学研究所）

体制など

活動内容(2か月に1度をめどに開催)：

- 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

委員登録数:30名以上

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

	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)

これまでの活動内容

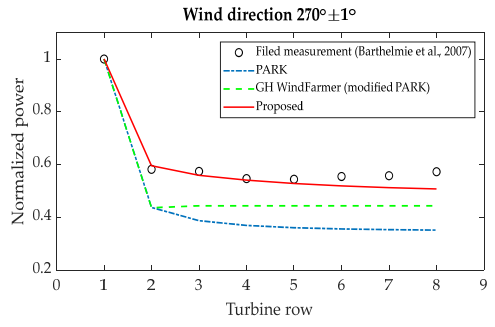
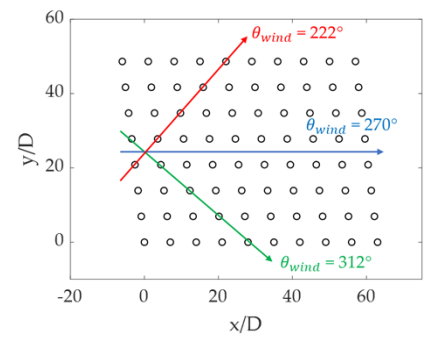
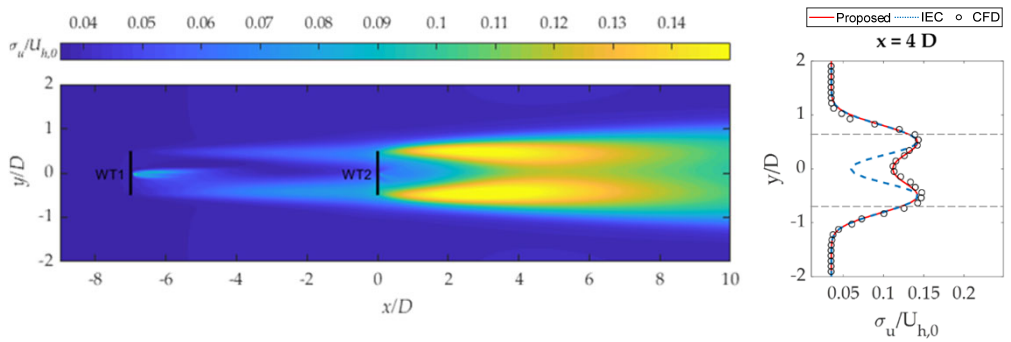
- ◆ 2021/06/01:キックオフミーティング, Zoom, 35名参加
- ◆ 2021/08/20:第2回会議, Zoom, 29名参加
 - ・銭 国偉 先生(東京大学)
 - ・ジェイ プラカス ゴイト 先生(近畿大学)
- ◆ 2021/10/27:第3回会議, Zoom, 26名参加
 - ・鎌田 泰成 先生(三重大学)
 - ・川島 泰史 氏(九州電力グループ 西日本技術開発株式会社)
- ◆ 2022/03/25:第4回会議, Zoom, 27名参加
 - ・本田 明弘 先生(弘前大学)
 - ・中尾 圭佑 氏(電力中央研究所)
- ◆ 2022/06/15:第5回会議, 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
 - ・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)

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

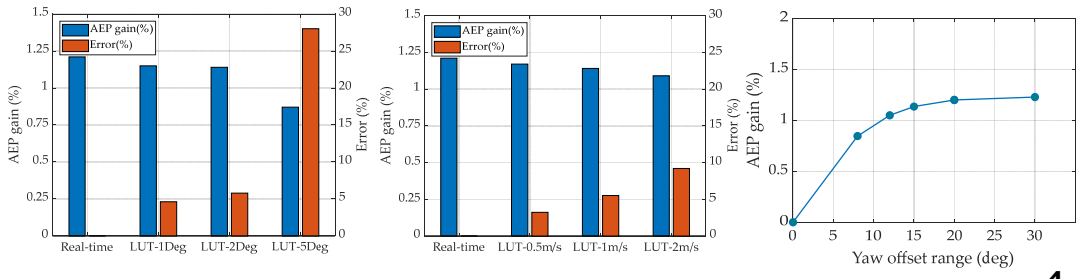
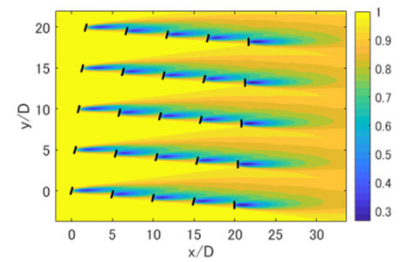
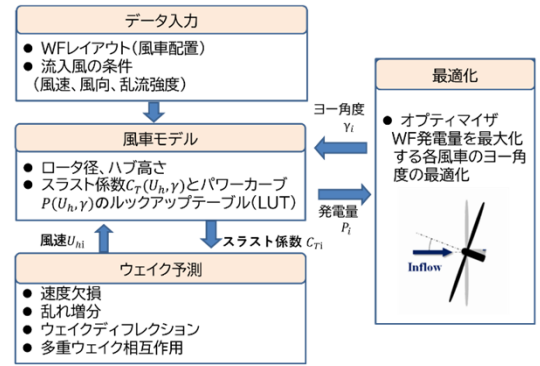
多重ウェイクモデルの開発と検証

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

勾配法を用いたウィンドファーム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。

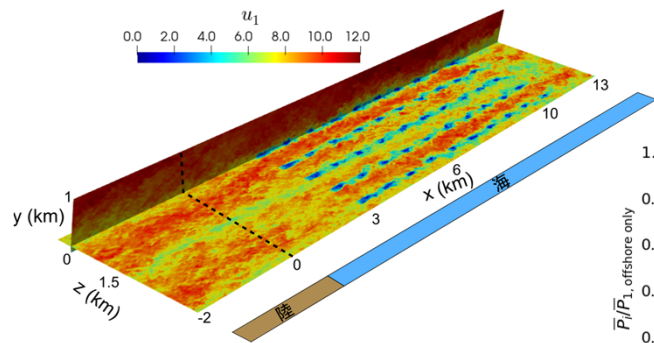


大型洋上windファームの数値流体シミュレーション

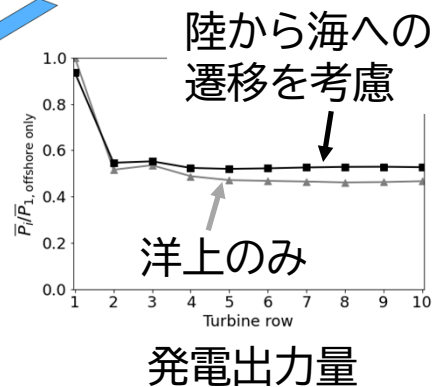
沿岸地形及び風車配置の影響

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ファーム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

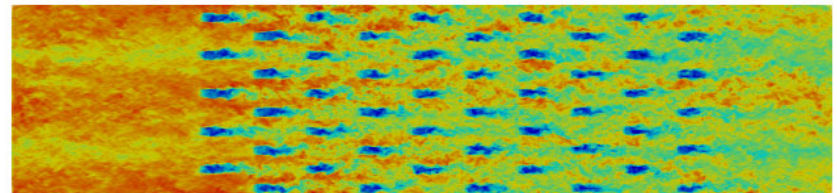


windファーム内における瞬間風速場

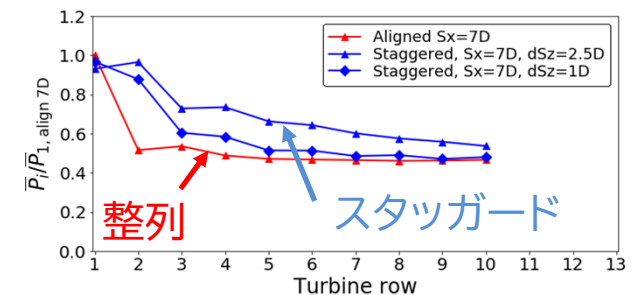


発電出力量

- windファーム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ファーム配置を定義
...整列1つとスタaggerド2つ
- 全ケースでwindファーム面積を固定



総発電出力量はスタaggerド配置の場合、整列配置と比べて約30%高い

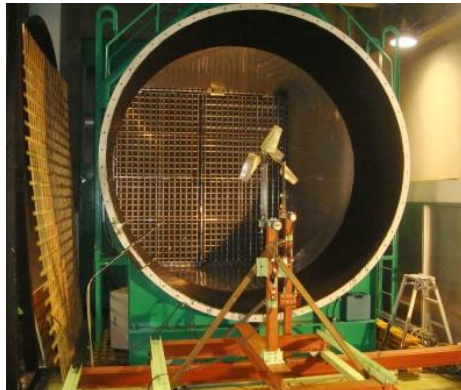


三重大学での風車後流研究 乱れを考慮した後流の風洞実験

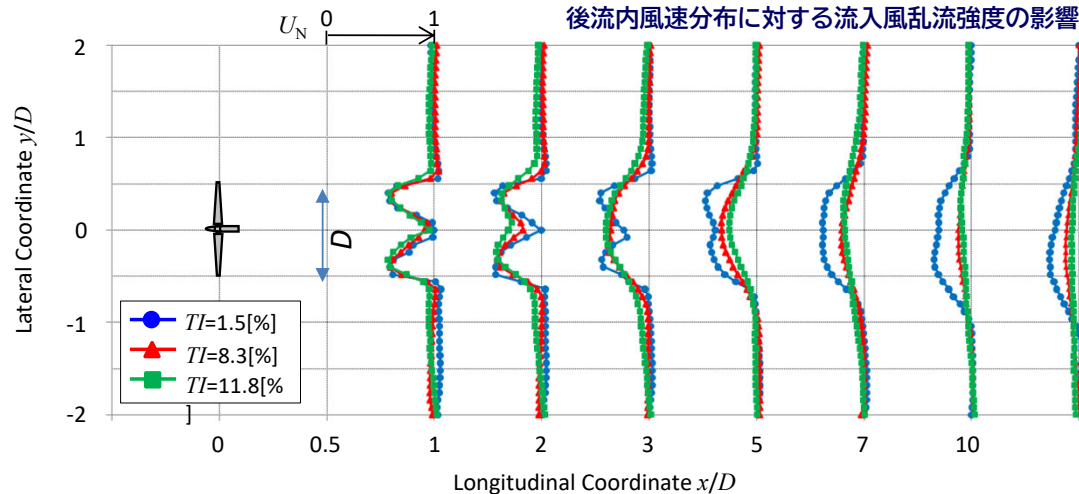
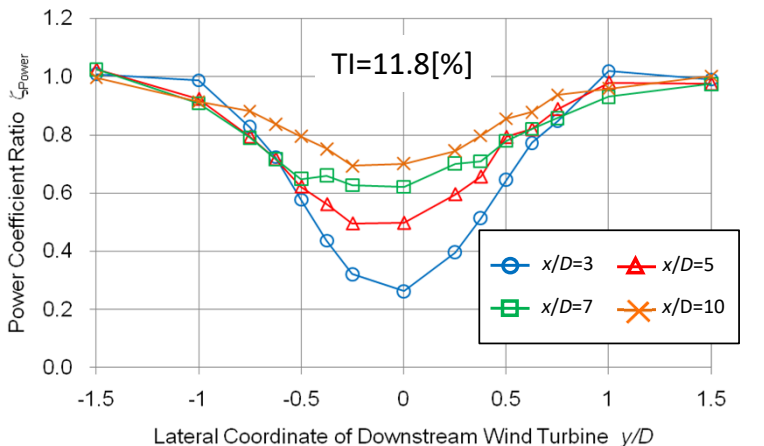
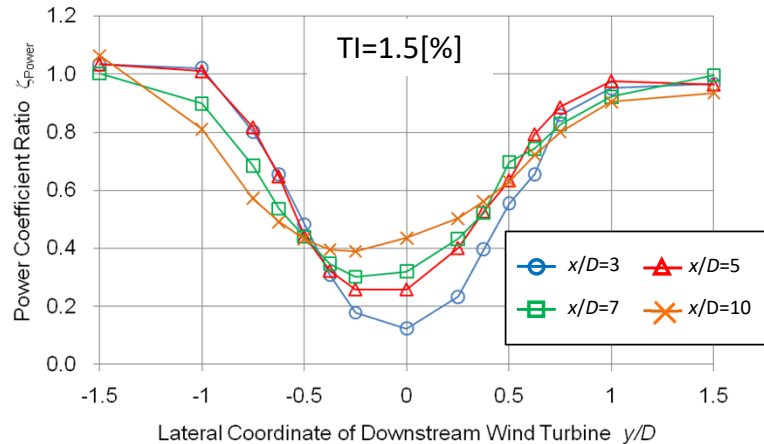
三重大学 前田 太佳夫 / 鎌田 泰成

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。



乱流格子を備えた風洞



風速分布

風車出力比

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

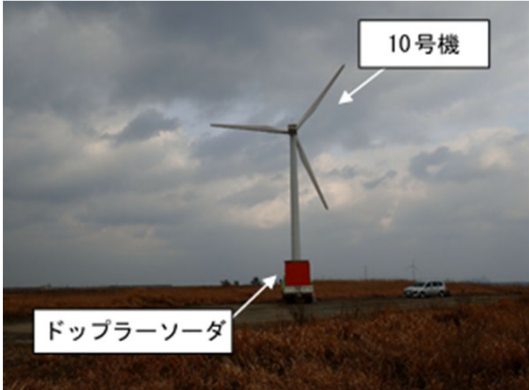


図2 小型ドップラーソーダ(KPA-300)の設置状況

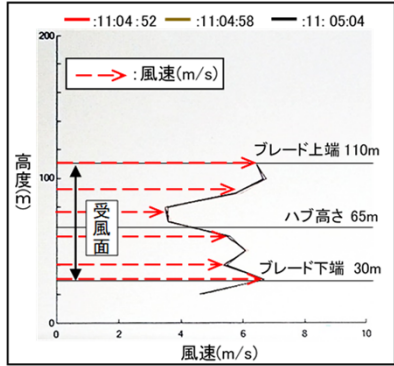


図3 風速鉛直プロファイル

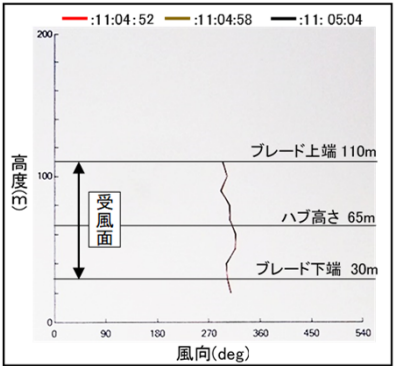
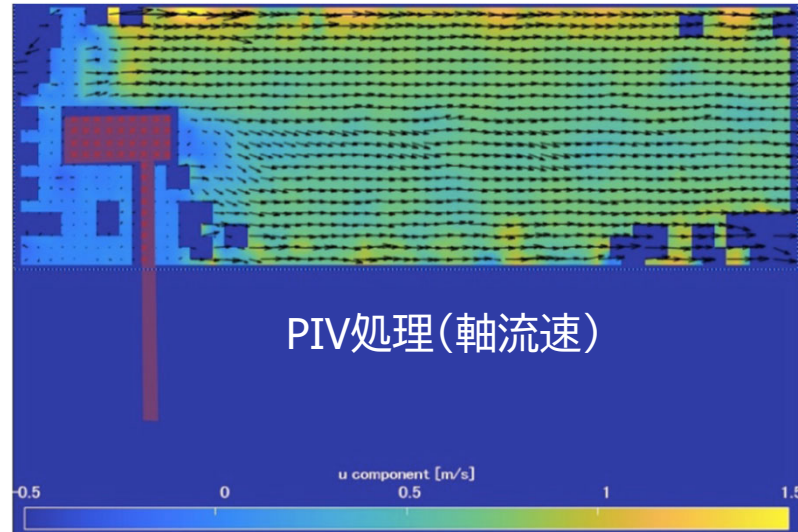
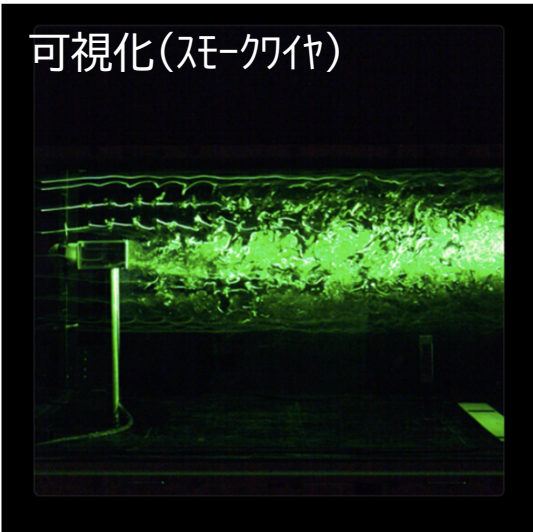
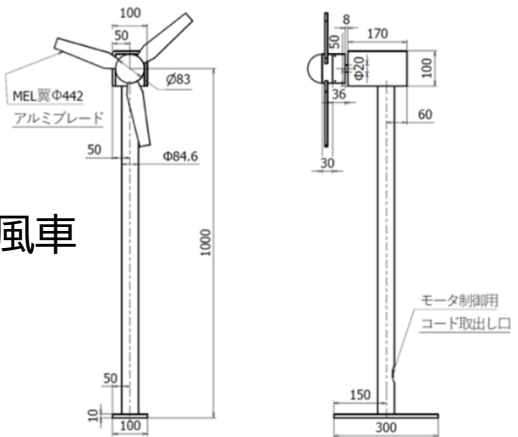


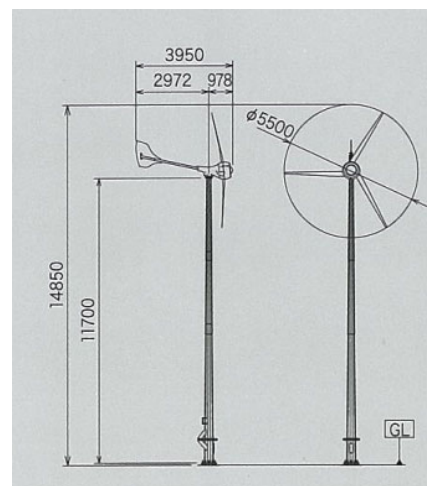
図4 風向鉛直プロファイル

実風車後流の可視化の試み 弘前大学 本田 明弘

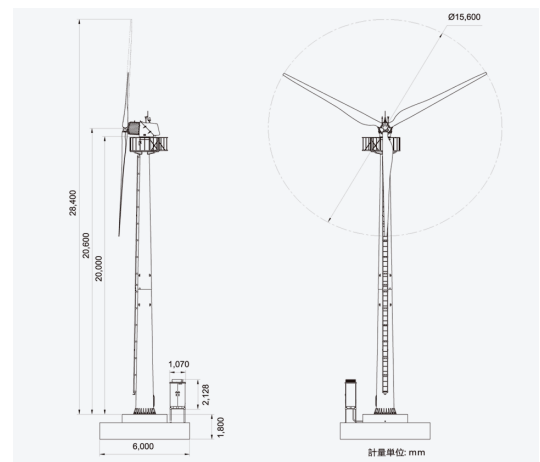
対象: 風洞模型風車
D=0.442m



対象: 5kW風車
D=5.5m

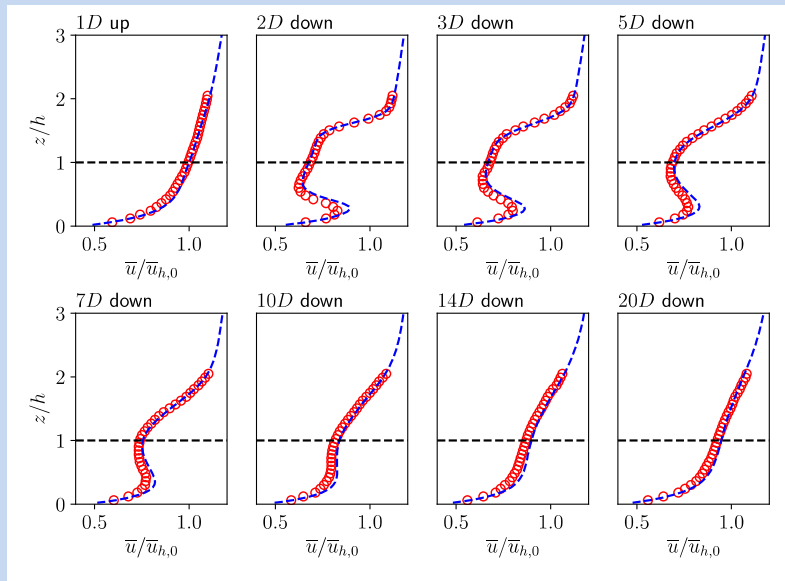


対象: 20kW風車
D=15.6m



1. WRFへのウェイクモデルの導入

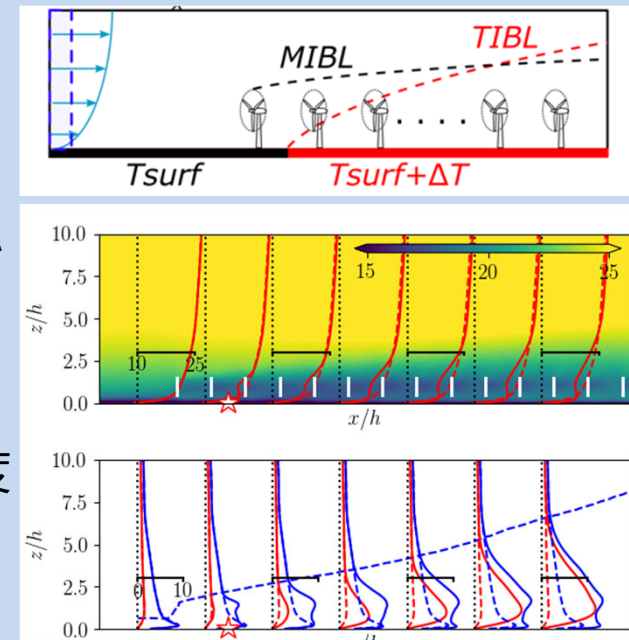
○検証計算により正常な機能を確認した。



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。

○ウェイク、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

日本の洋上風力に多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、ウェイク計算を実施。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)

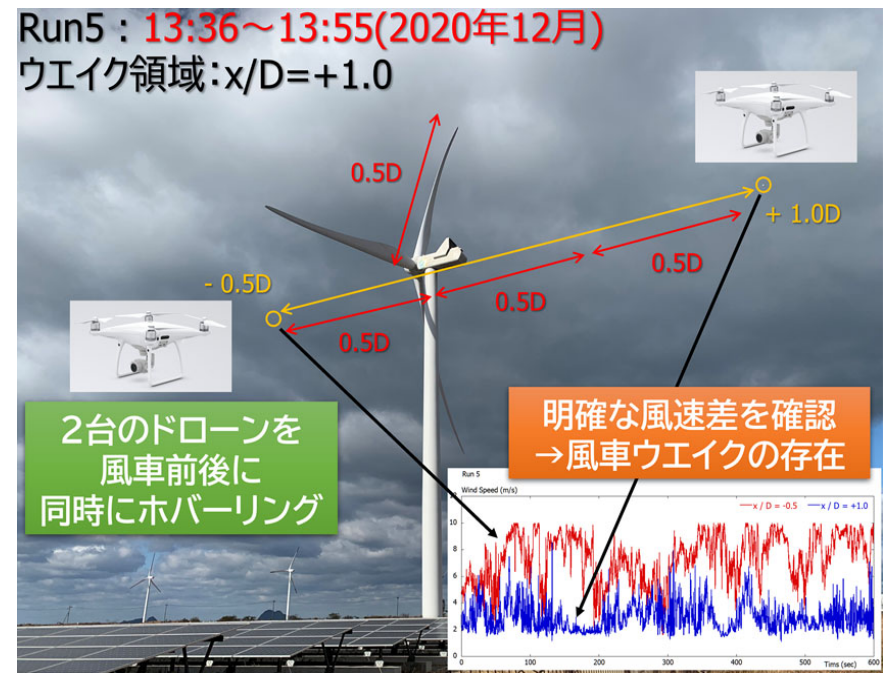
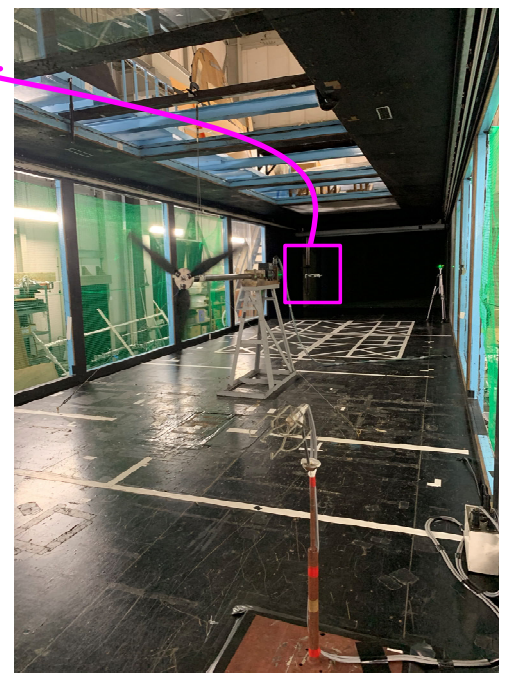
ドローンによる風車ウェイク領域内の気流計測の試み 九州大学 内田 孝紀



GM# dylf# lq1

※計測センサーの塊！

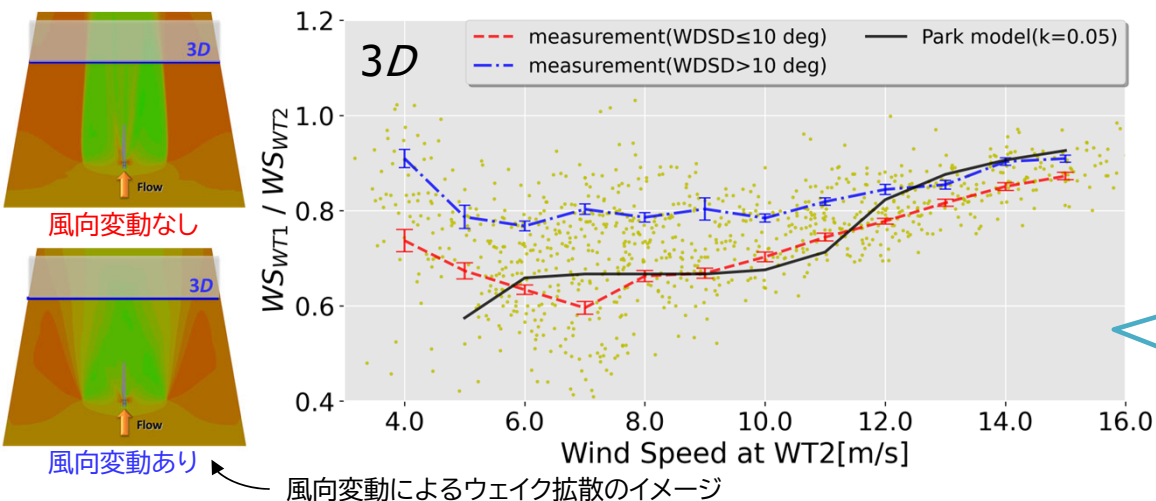
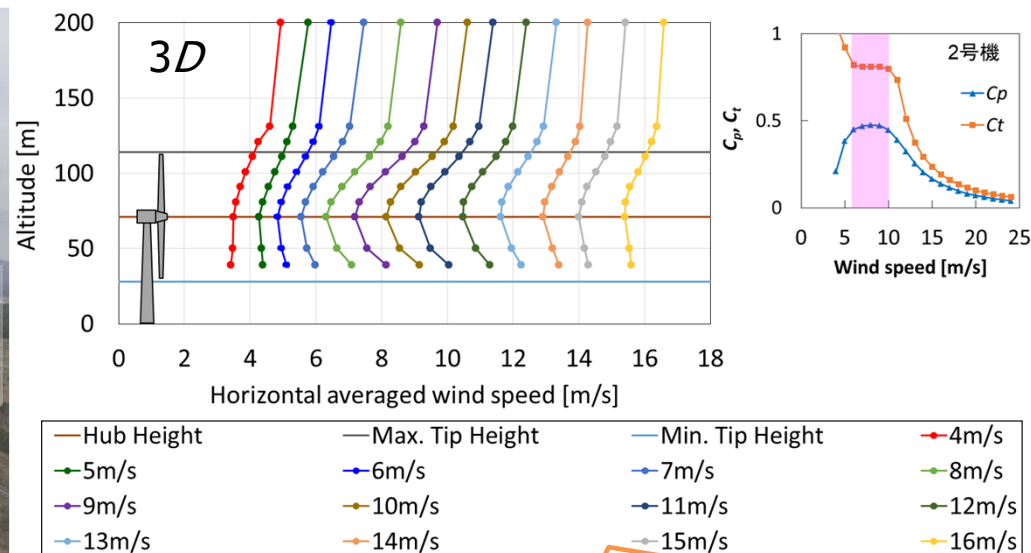
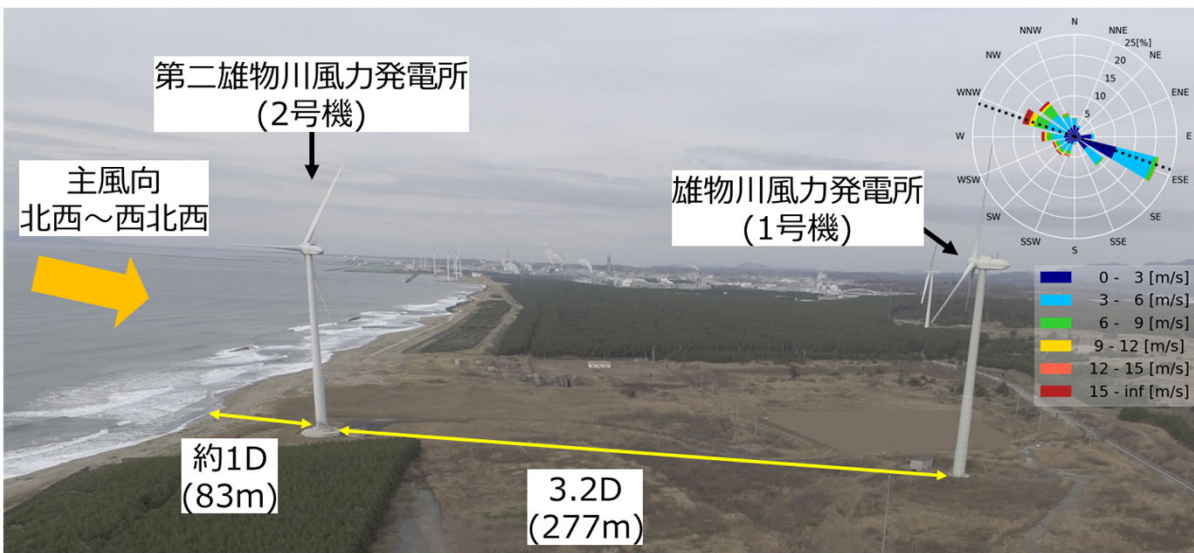
大型風洞設備
+
風車模型



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



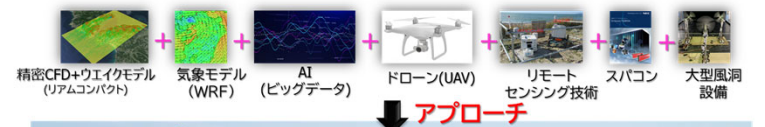
鉛直ライダーZX300を用いて風車のウェイクを観測。風車のパワー係数 (C_p) およびスラスト係数 (C_t) が大きい6.0～10.0 m/sにおいて、大きな風速欠損を確認した。

風向の標準偏差10°をしきい値としてSCADAデータを分割し、k=0.05としたPark modelの予測値と比較。風向変動によって速度欠損が大きく異なることを確認した。

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エイク現象を高精度に再現・マネージメントし、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適展開支援プログラムA-STEP産学共同JPMJTR211CおよびJPMJTR221Cの支援を受け実施しているものです



アプローチ

海風を対象 No.2風車 No.1風車

風車ウエイクを計測

実機風車が形成する風車ウエイク現象の謎の解明

他事業者のウエイクの影響も検討

大型商用風車: 3.3MW

発電容量 6,600kW
Vestas社製 大型風車2基 (洋上設置タイプ)
地上高 (最大到達点) 140m
(ハブ高) 84m
ブレード長 54.65m
ブレード直径 112m
運転開始 平成30年1月1日

風力業界で注目されている地域の一つである

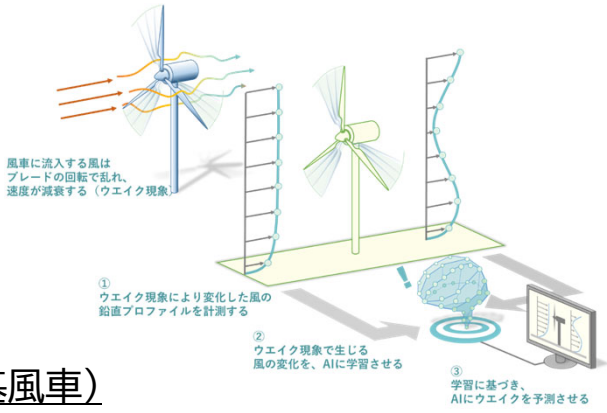
No.2風車ウエイクの影響を受けた状況の発電量の評価

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、ウエ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

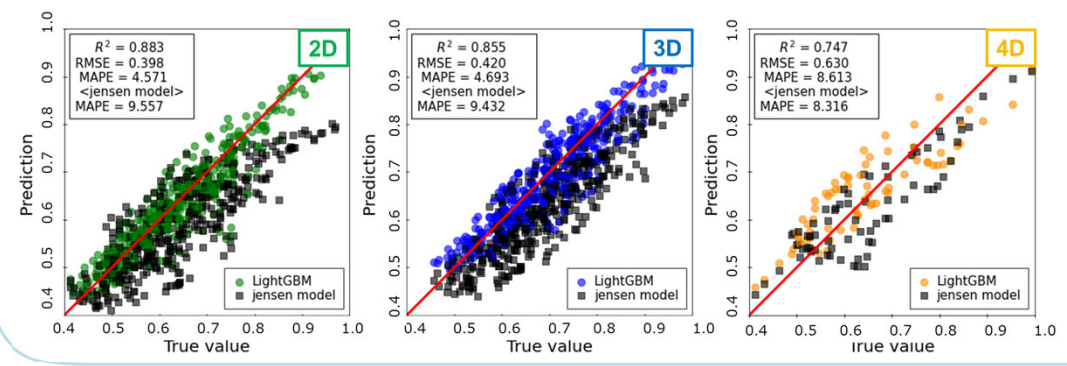
モデルパラメータや現象をデータから発見できないか

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

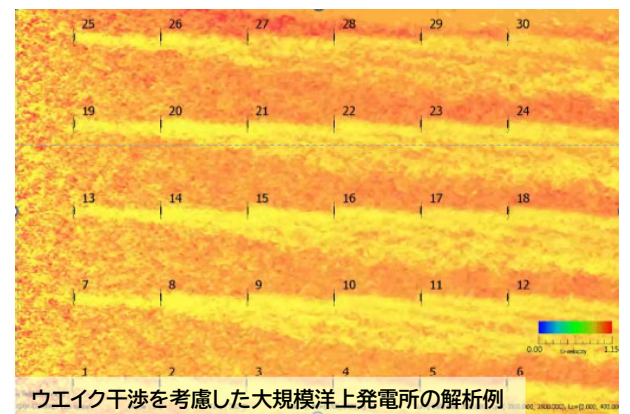


既存モデルとの精度の検証結果(洋上型単基風車)

JensenPark modelよりも高い精度で風車ウエイクを予測



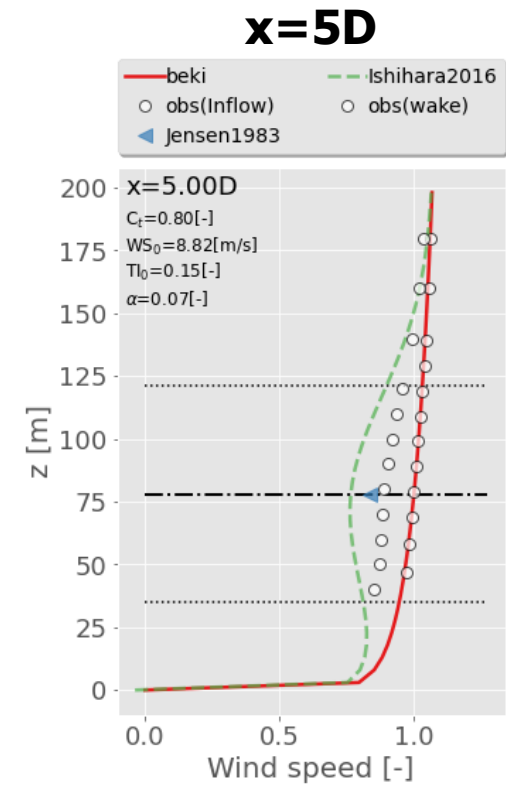
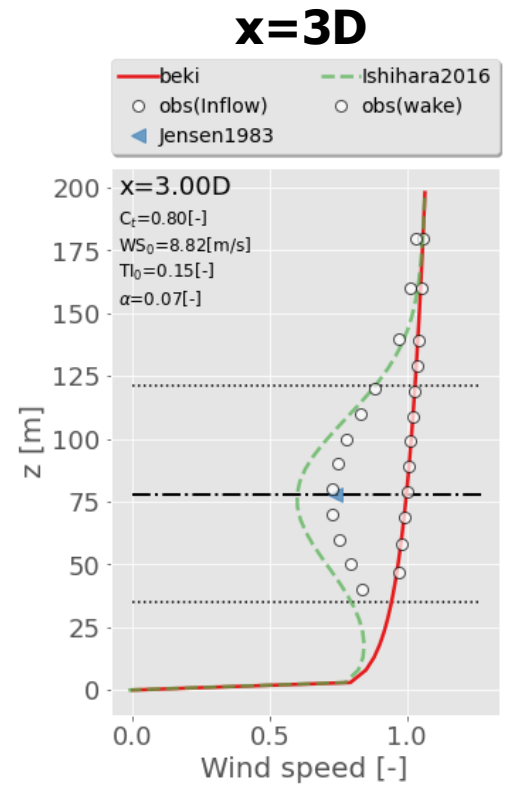
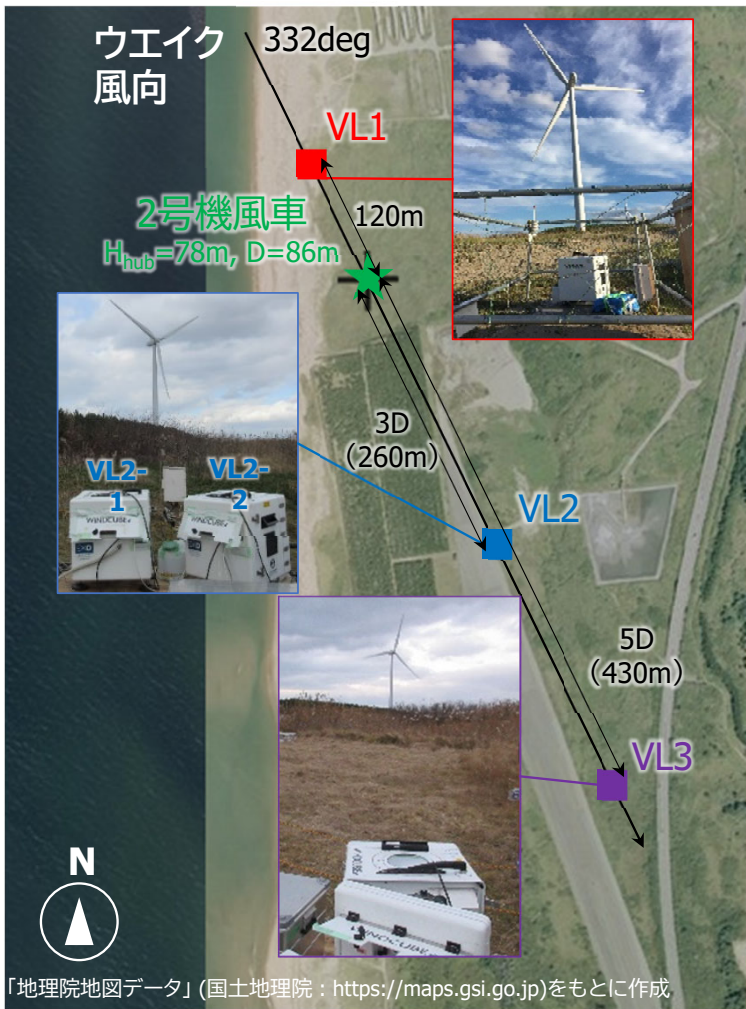
風洞試験、実機計測、CFD解析の多面的な評価と高精度なウエイクモデル開発を産学連携で実施



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

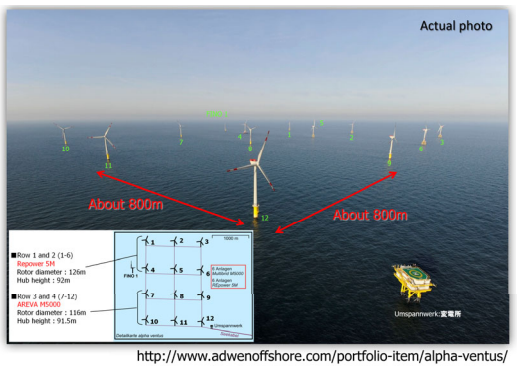
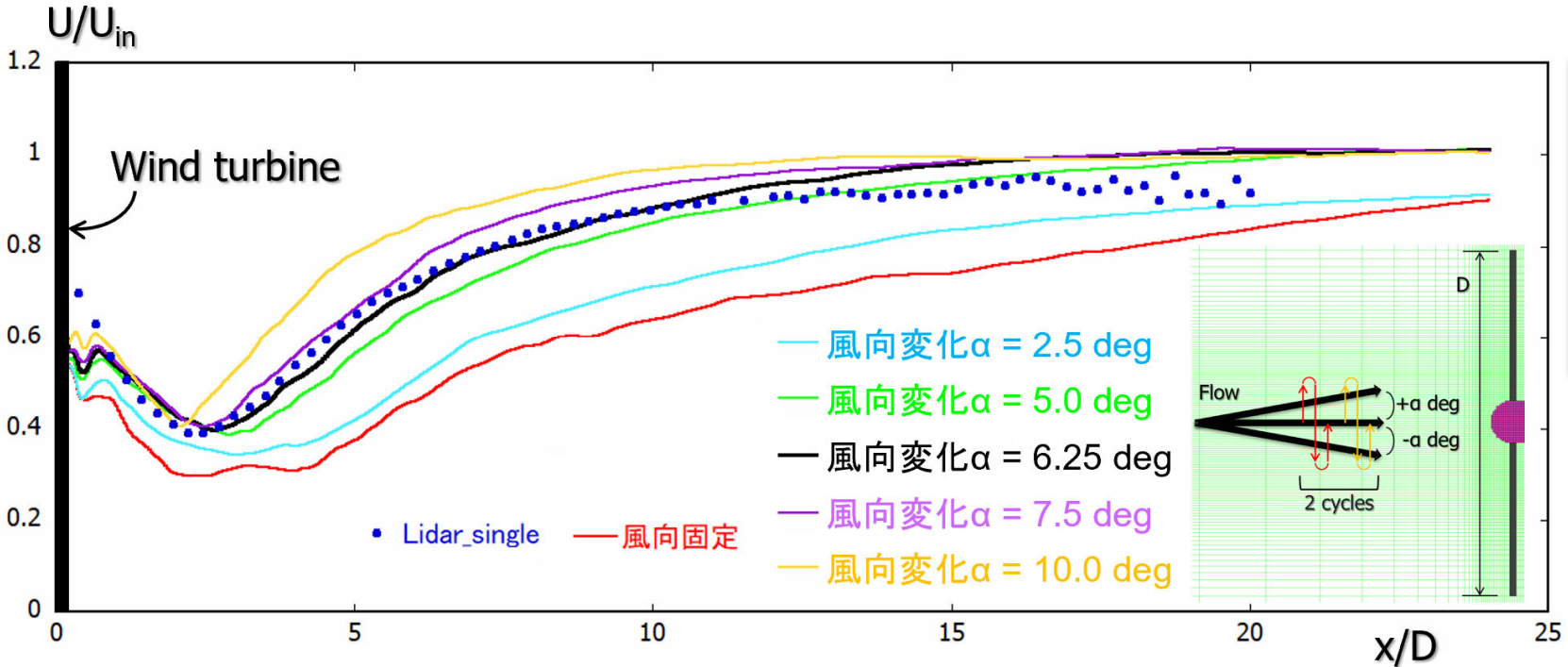
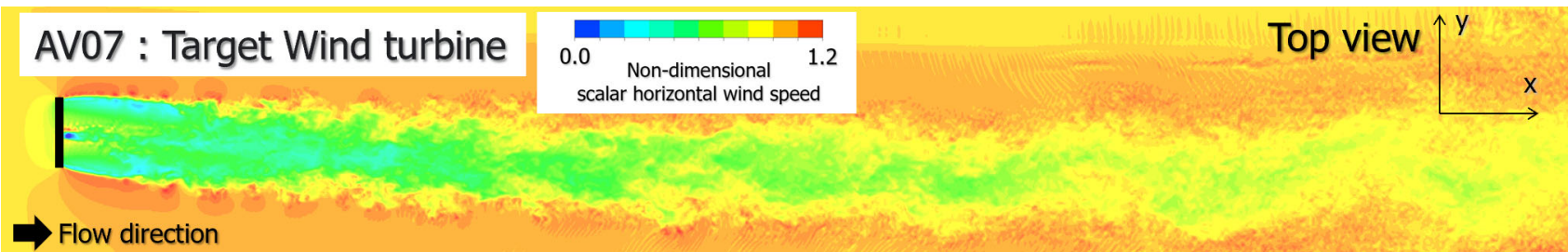
- 沿岸部の風力サイトにおいて、複数の鉛直LiDARで流入風とウェイクを同時観測



✓ 観測データは工学モデルと比較して、ウェイクを過小に評価

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

瞬間場

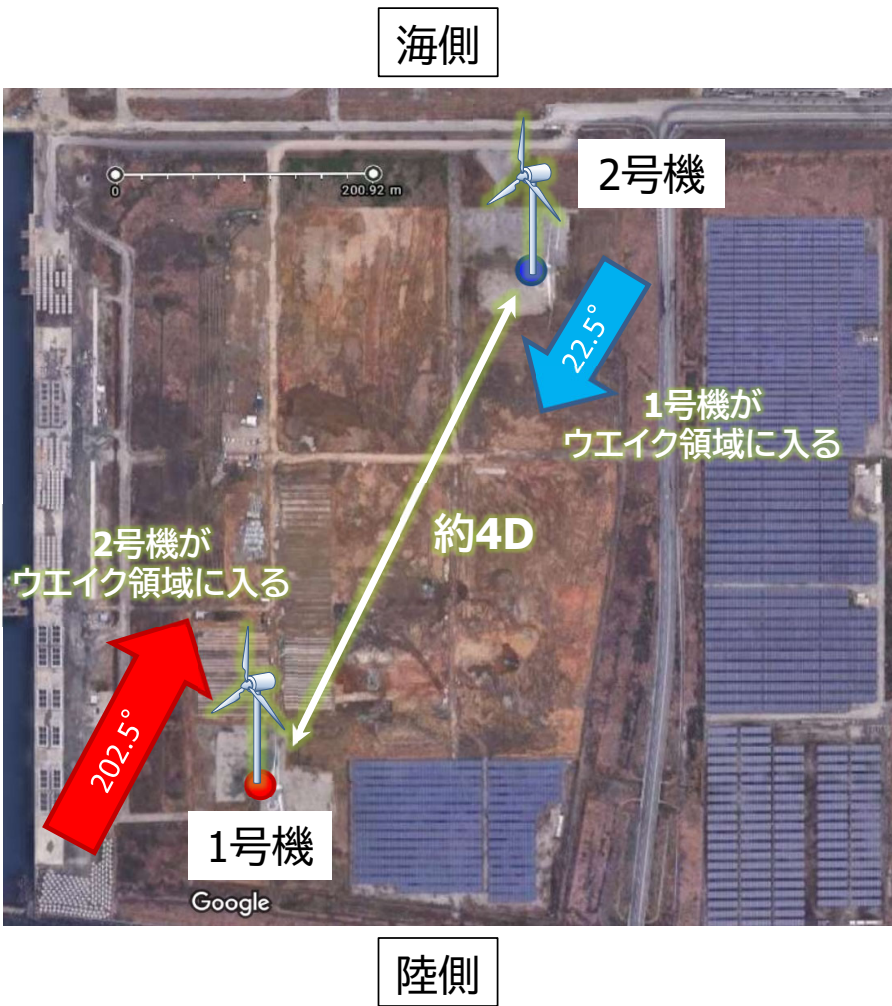


Alpha Ventus Offshore Wind Farm (Germany)

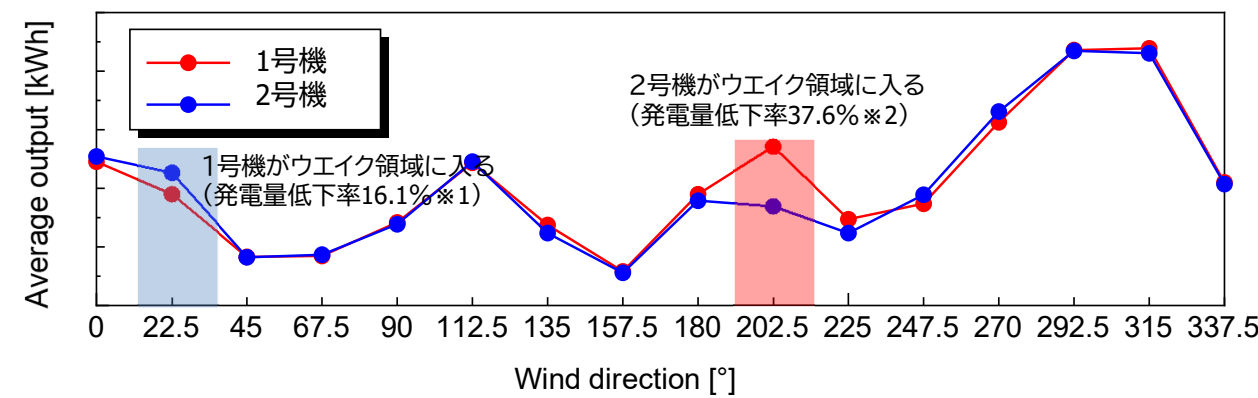
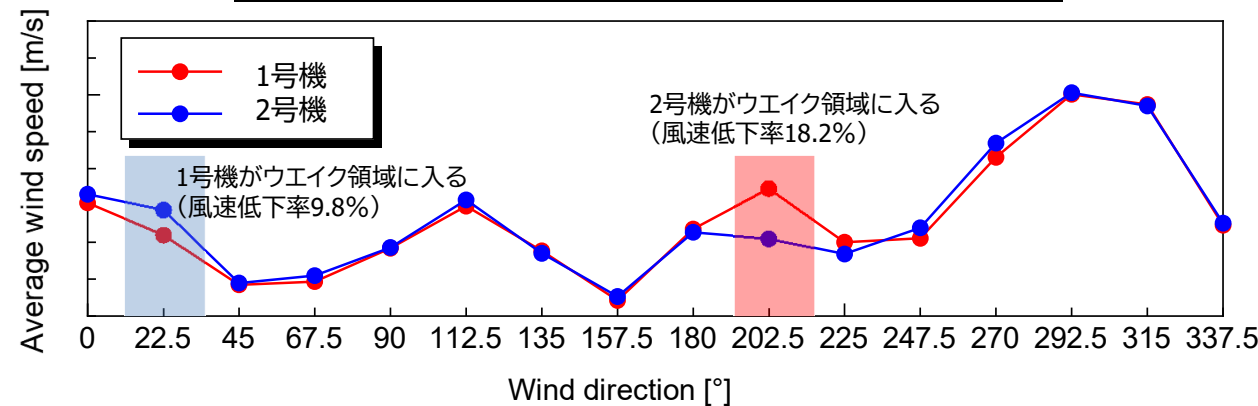
7号機風車のハブ高さ(91.5m)におけるスカラー平均風速の比較

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



16方位毎の平均風速・発電量の比較(1年間実績値)



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

風車ウエイク研究会：2021.4～2023.3



IEA Wind TCP Task44 との連携

ウィンドファームの流れ場制御研究会：2023.4～2025.3

研究会名称	ウィンドファームの流れ場制御研究会	
研究の目的, 期待される成果	IEA task 44 のウィンドファームの流れ場制御(Flow Farm 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議論されている。日本からも内田が代表者となり、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 で議論されている研究開発が重要になってくる。そのため、本研究では IEA task 44 の国内チームと連携を図りつつ、最新の風車ウェイク研究について調査を行う。また同時に国内の風車ウェイク研究についても情報交換を行う。	
体制		
主査/副主査	会員氏名	所属
主査	内田孝紀	九州大学応用力学研究所
副主査	鈴木章弘／谷垣洋一郎	(株) 風力エネルギー研究所
年月	内容	費目・予算
2023 年 3 月	メンバー公募	
2023 年 4 月	研究会発足	
2025 年 3 月	学会誌特集号投稿	

活動内容(2か月に1度をめどに開催)： ■海外の動向調査 ■国内の情報共有 / 情報発信

体制

主査	1	内田 孝紀	九州大学応用力学研究所
事務局	2	鈴木 章弘	(株)風力エネルギー研究所
事務局	3	谷垣 洋一郎	(株)風力エネルギー研究所
	4	Goit Jay Prakash	近畿大学
	5	宋 雲鵬	東京大学 工学系研究科 社会基盤学専攻 橋梁研
	6	中尾 圭佑	電力中央研究所
	7	Yoshinori Teramoto	General Electric, Renewable, Onshore
	8	久末 信幸	関西電力株式会社 技術研究所 土木技術研究室
	9	横田 克哉	関西電力株式会社 土木建築室計画グループ
	10	大川 弘佑	関西電力株式会社 土木建築室計画グループ
	11	大内 和良	東電設計(株)
	12	草場 浩平	日本工営(株)福岡支店 基盤技術部(環境)
	13	吉野 亜香利	株式会社構造計画研究所 防災・環境部
	14	藤川 凜太郎	ジャパン・リニューアブル・エナジー株式会社 事業開発本部 風況解析部
	15	谷山 賀浩	東芝エネルギーシステムズ株式会社
	16	深谷 侑輝	東芝エネルギーシステムズ株式会社
	17	鹿仁島 康裕	東芝エネルギーシステムズ株式会社
	18	齋藤	東芝エネルギーシステムズ株式会社
	19	田中 鉄平	(株)ユーラスエナジーホールディングス
	20	市川 弘人	(株)ユーラスエナジーホールディングス
	21	馬場 好孝	東京ガス株式会社 基盤技術部 次世代技術研究所
	22	村上 礼雄	東京ガス株式会社 基盤技術部 次世代技術研究所
	23	川島 泰史	西日本技術開発(株)
	24	吉田 忠相	日立造船(株)
	25	馬詰 佳亮	日立造船(株)
	26	乾 真規	日立造船(株)
	27	澁谷 光一郎	日立造船(株)