

# 第11回「IEA Windセミナー」

>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。

## Task44: ウィンドファームの流れ場制御

■OA (Operating Agent)

Paul Fleming (NREL), Jan-Willem van Wingerden (TU Delft)

■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/新エネルギー工学部門/風工学分野/准教授

兼務：(応用力学研究所)自然エネルギー統合利用センター

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



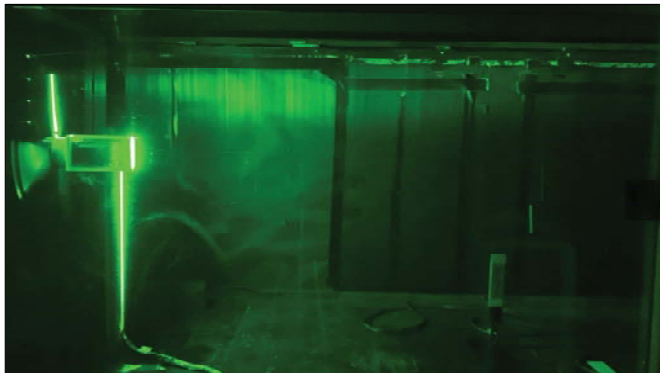
九州大学  
KYUSHU UNIVERSITY



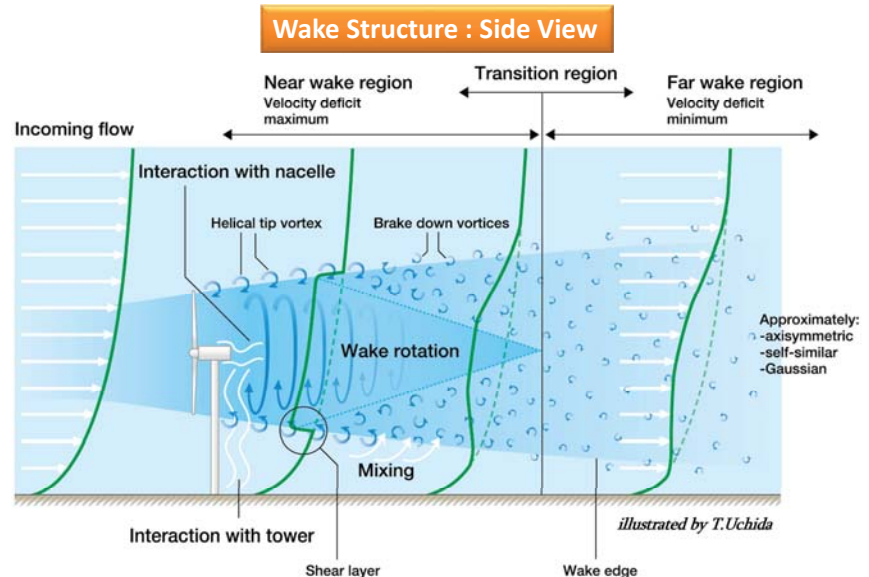
## IEA Wind TCP Task44



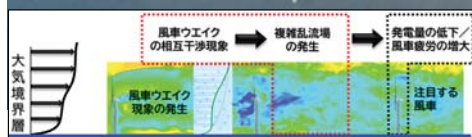
### What is the wind turbine wake phenomenon ?



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



# IEA Wind TCP Task44



Under dedicated meteorological conditions, the wakes are visible within a wind energy farm.

Photo taken on 12 February 2008 at the offshore Horns Rev 1 wind farm, which has a minimum spacing of 7.5 rotor diameters.

Graphic courtesy of Vattenfall



Wind farm control is an active and growing field of research in which the control actions of individual turbines in a wind power plant are coordinated to minimise wake interactions.

ウィンドファーム制御は、風力発電所内の個々の風車の制御動作を調整して、風車ウエイクの相互作用を最小限に抑える、活発で成長している研究分野である。

# IEA Wind TCP Task44



## 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)

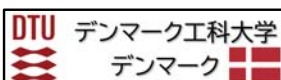
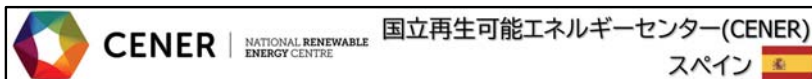
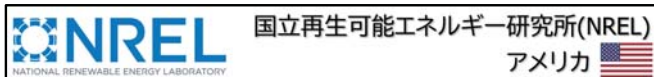
- 風力発電量の増産による電力システムや電力市場における風力発電の価値の最大化
- 風車のウェイク荷重の低減による、風力発電コストの低減化
- 風力発電所の制御モデルのベンチマークとベストプラクティスの開発、制御に最新知識、アルゴリズム等へのアクセス、共同研究・ベストプラクティス・データ交換の促進

## Task44の参加体制



### 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



### 日本の体制

- 九州大学/内田 孝紀 (代表者)
- 東京大学/石原研究室/銭 特任助教
- 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



IEA Wind国内委員会(締約機関:NEDO)からの推薦・審議を経て参画, 2021年12月15日～

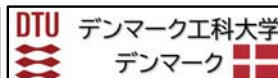
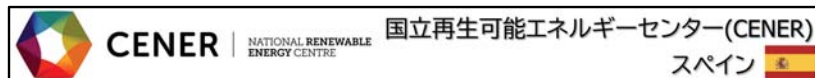
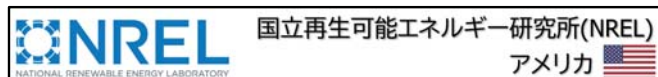
参加国 米国, オランダ, 英国, フィンランド, アイルランド, デンマーク, スペイン, ドイツ, ノルウェー, 日本(10カ国)



## Task44のワークパッケージ(WP)



No	WP	リード組織	日本からの参加
WP0	Management and coordination / 管理と調整	NREL / TUD	—
WP1	Collection of research results / 研究成果の収集	CENER / NREL	東京大学
WP2	Uncertainty quantification / 不確実性の定量化	TBD (To be defined)	九州大学、東芝EES、JRE、東京ガス、日立造船、東京大学
WP3	Overview of technology / algorithms / 技術・アルゴリズムの開発	TUD / CENER	東京大学
WP4	Interaction with other projects / 他のプロジェクトとの連携	DTU	—



# Task44の国内体制のウォーミングアップ



プロジェクト	IEA task44	
開催日時	2022年6月15日(水) 11:30-12:00	
場所	Microsoft Teams	
出席者 (順不同/敬称略)	九州大学	内田
	東京大学	銭
	WEIT	井関、高橋
	東京ガス	吉田、馬場、村上、肥高
	東芝 EES Hitz	谷山、中野、深谷 吉田、乾、澁谷、馬詰 (記)
主題	IEA task44 の目的・参加方針確認	
議案	IEA task44 の目的・参加方針確認	

## ■ 議案① IEA task44 の目的・参加方針確認

主な議事	備考
<ul style="list-style-type: none"> <li>IEA wind への参加目的は、国際共同研究における研究者および技術交流である。IEA Wind の成果が国際規格の策定の際に参考とされることがある。</li> <li>3月に NEDO から IEA へ参加表明書を提出している。正式なメンバーリストの要求・参加費用の要求が IEA からまだない。現状、日本メンバーは仮登録状態ではない。</li> <li>Task 会議参加のための海外出張の費用は NEDO 側で負担。</li> <li>日本メンバーは WP2 のみで問題なし。銭先生は WP2 と 3 に参加しており、5 社の議事に対して補足を行っている。</li> <li>5 社に東京大学・WEIT メンバーをメンバーリストへ加えて 2 カ月に 1 回程度の頻度で状況確認会を実施する。</li> <li>Task44 全体会議で発表する場合は、発表内容を NEDO の事前確認が必要。</li> <li>Task44 では他国の参加者と同じようなオブザーバーとして扱われていると思われる。発言・発表に関しては日本代表というスタンスと個人の意見を明確に分けて行う。</li> <li>WP2 の成果物に日本の技術や成果が貢献できることを目指す。</li> <li>Task44 の活動内容を国内へ共有する際は内田先生がおこなう。今年 11 月 or 12 月の第 2 回国内委員会にて活動状況を報告する予定 (10 分程度)、また、2 月 or 3 月の第 11 回 IEA wind 国内セミナーでも講演予定 (30 分程度)。</li> </ul>	<p>NEDO に手続き状況を確認する → 3 月に分担金支払い完了 → OA に日本メンバーのリストと参加 WP を通知する。</p> <p>銭先生の参加は、WP1、WP2、WP3 オンライン MTG での議論に係る発表は提出義務なしです。</p> <p>他国の参加者もオブザーバーではなく、同様だと思います</p> <p>Proposal を確認したところ WP2 では RP ではなく、overview または paper とあります。</p>

# Task44の活動状況



- 1) WESC 2023, Glasgow, United Kingdom で WS を予定
- 2) WP はあまり進捗はなく、現状は Task44 Wiki を作成中
- 3) 各 WP の定期的なオンライン会議の実施、ワークショップ、ミニシンポジウムの開催を予定

## IEA Wind Task 44 Wiki: Wind Farm Flow Control

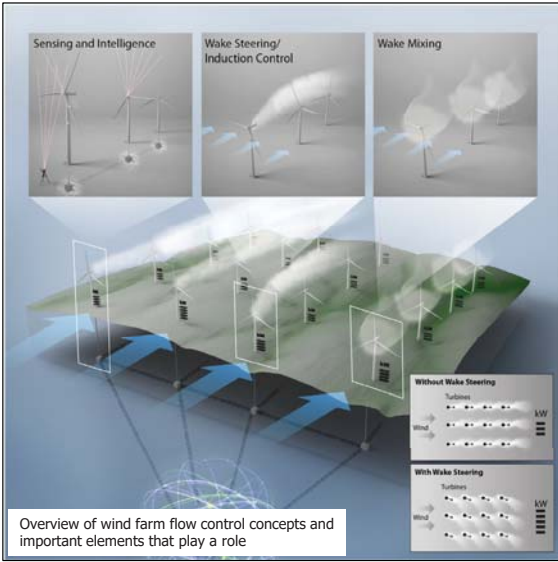
<https://ieawindtask44.tudelft.nl/>

https://doi.org/10.5194/wes-2022-24  
 Preprint. Discussion started: 22 March 2022  
 © Author(s) 2022. CC BY 4.0 License.

**Wind farm flow control: prospects and challenges**

Johan Meyers<sup>1</sup>, Carlo Bottasso<sup>2</sup>, Katherine Dykes<sup>3</sup>, Paul Fleming<sup>4</sup>, Pieter Gebrard<sup>5</sup>, Gregor Giebel<sup>1</sup>, Tuhfe Göçmen<sup>1</sup>, and Jan-Willem van Wingerden<sup>6</sup>

<sup>1</sup>KU Leuven, Mechanical Engineering, Celestijnenlaan 300A, B3001 Leuven, Belgium  
<sup>2</sup>Chair of Wind Energy, Technische Universität München, Boltzmannstr. 15, 85748 Garching b. München, Germany  
<sup>3</sup>DTU Wind Energy, Frederiksborgvej 399, DK-4000 Roskilde  
<sup>4</sup>National Renewable Energy Laboratory, Boulder, Colorado, US  
<sup>5</sup>Siemens Gamesa Renewable Energy, Tomteparken 16, 2740 Skovhede, Denmark  
<sup>6</sup>Delft University of Technology, Delft Center for Systems and Control, Mekelweg 2, 2628 CD Delft, The Netherlands



Wind farm control has been a topic of research for more than two decades. It has been identified as a core component of grand challenges in wind energy science to support accelerated wind energy deployment and transition to a clean and sustainable energy system for the 21st century.

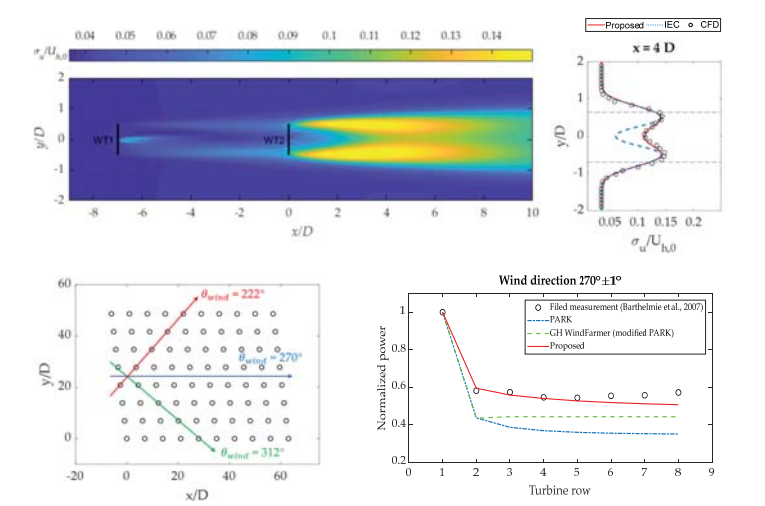
In summary, the field of wind farm flow control is an active area of research and innovation, with many interesting multidisciplinary challenges, and exciting prospects for the increase of the total value of wind energy for society.

- 1 Introduction
  - 1.1 Main control objectives studied to date
  - 1.2 Control approaches
  - 1.3 Outline
- 2 Wind farm flow control physics: turbulence, wakes and the atmospheric boundary layer
  - 2.1 Quasi-steady flow effects
    - 2.1.1 Axial-induction-based control
    - 2.1.2 Wake steering using yaw offsets
  - 2.2 Wake dynamics and turbulence
    - 2.2.1 Wake dynamics
    - 2.2.2 Boundary-layer turbulence
  - 2.3 Mesoscale effects, blockage and wind farm wakes
- 3 Control algorithms
  - 3.1 Current practice — Open-loop control
  - 3.2 The closed-loop paradigm
  - 3.3 Synergies with artificial intelligence and other digitalization concepts
  - 3.4 Controllability, observability, and sensors
- 4 Validation and industrial implementation
  - 4.1 Proof-of-concept studies in high-fidelity simulation tools
  - 4.2 Validation in wind tunnel experiments
  - 4.3 Validation via field tests
  - 4.4 Industrial implementation
- 5 Integrated design and systems perspective
  - 5.1 Progress in wind farm design optimization research
  - 5.2 Wind farm control co-design (CCD)
    - 5.2.1 Wind farm CCD for AEP and LCoE objectives
    - 5.2.2 Wind farm CCD for profitability objectives
    - 5.2.3 Wind farm CCD for non-economic objectives
- 6 Conclusions

風車ウェイクモデルの開発とウェイクステアリング制御を利用した風力発電所出力の最大化 10  
 東京大学大学院工学系研究科 石原孟 / 銭 国偉

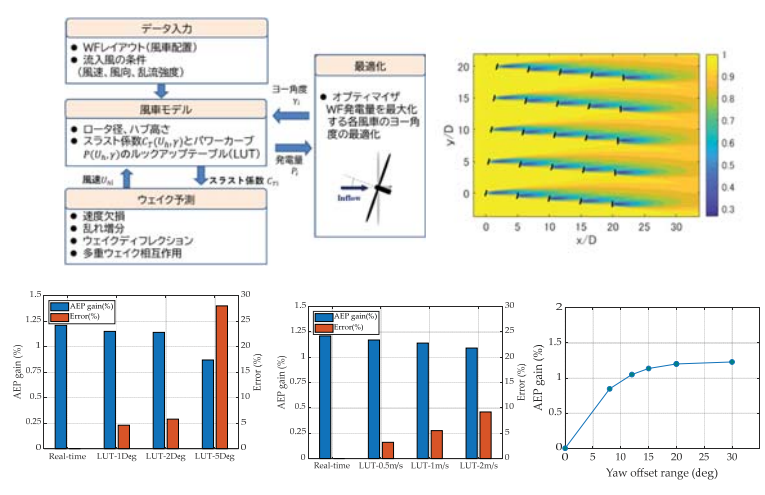
□ 多重ウェイクモデル(Analytical model)の開発と検証

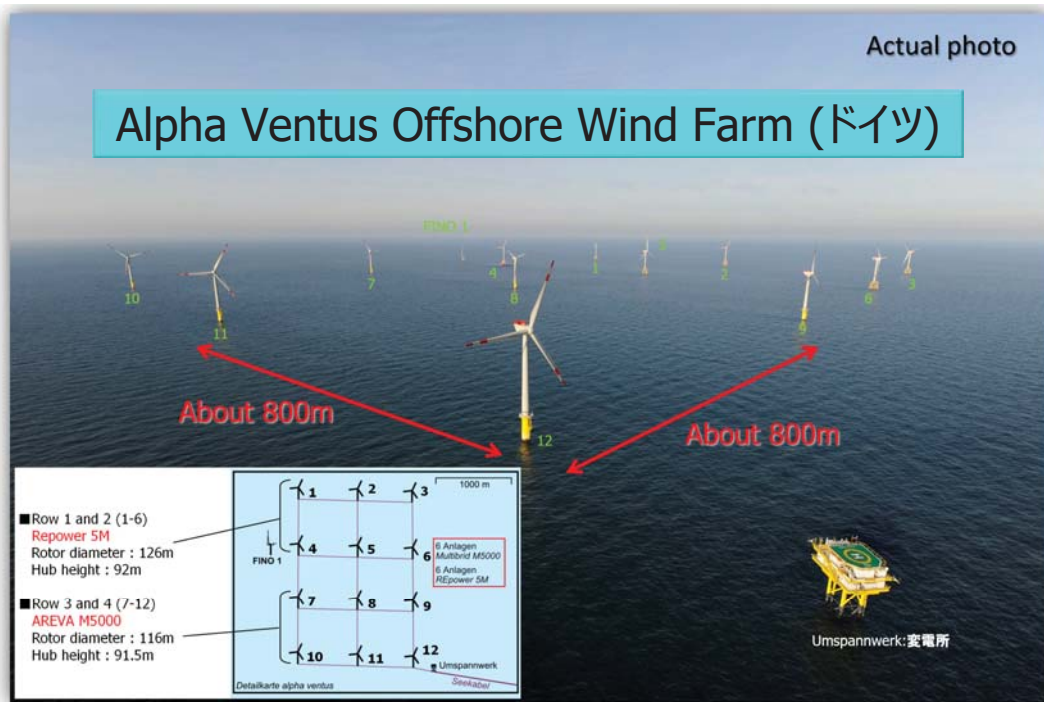
大規模風力発電所に適用できる多重ウェイク下の乱流強度の予測モデルを開発し、数値流体解析と観測データにより、提案したモデルが高い予測精度を有することを示した(風車ウェイクの高速度・高精度予測)。



□ 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。また、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。

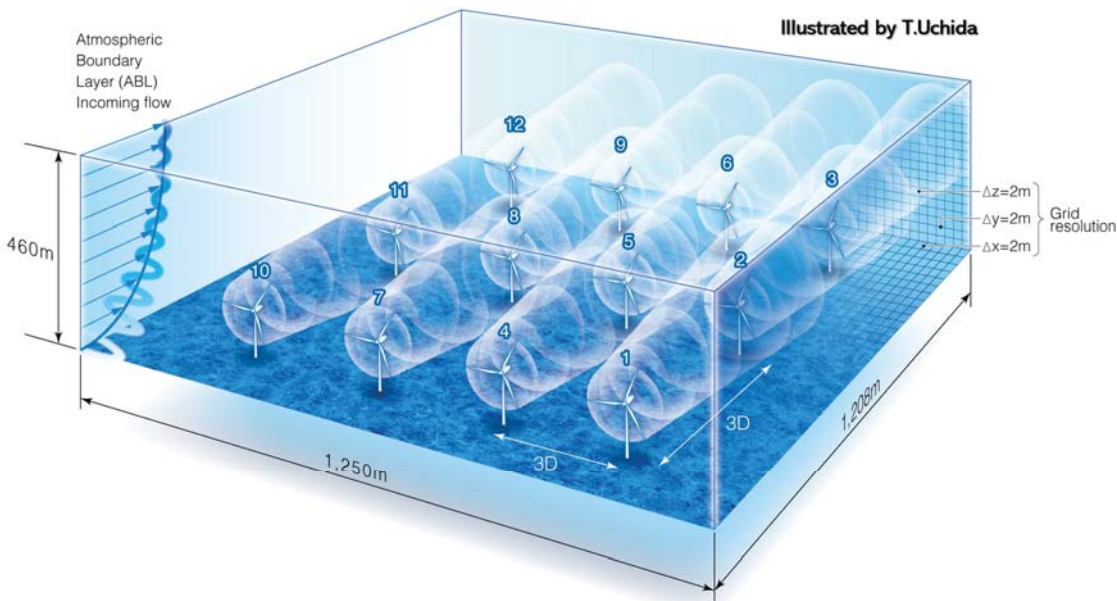




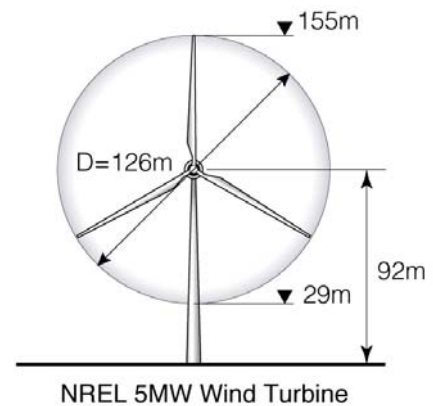
<http://www.adwenoffshore.com/portfolio-item/alpha-ventus/>



## 仮想モデルのMini Alpha Ventusを対象とした スパコン版RIAM-COMPACTの性能評価

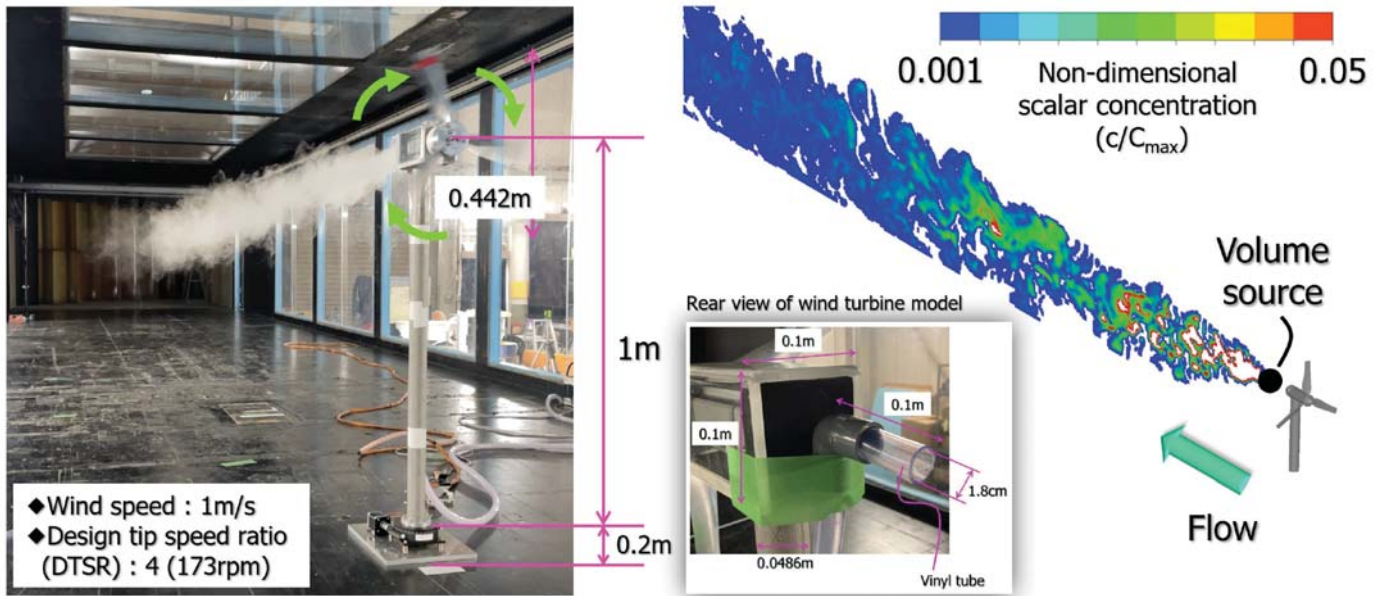


**Benchmark Testing of  
Mini Alpha Ventus  
(12 Wind Turbines)**



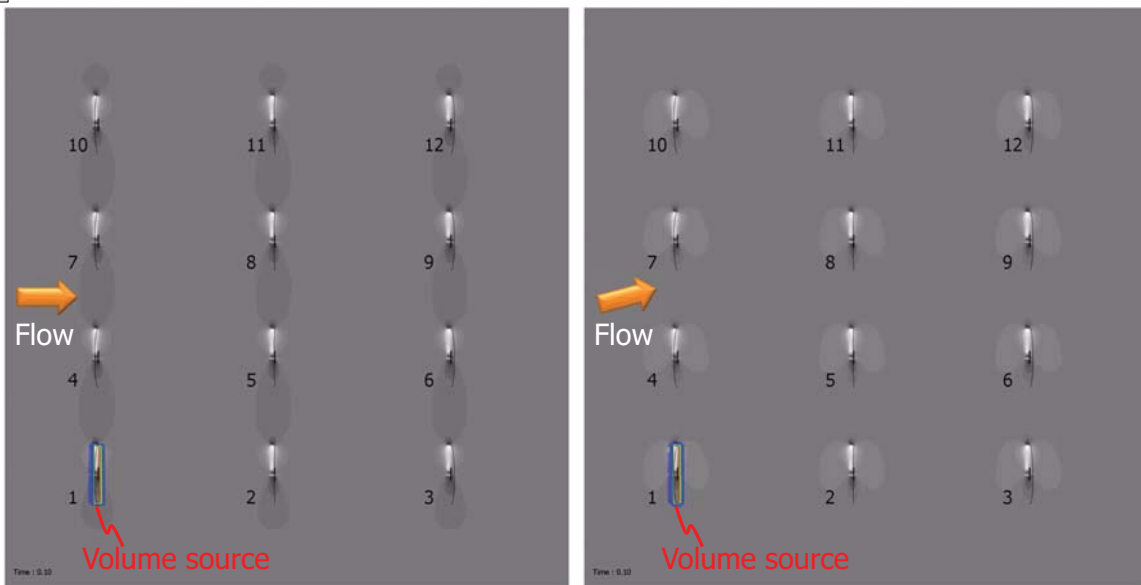
Takanori Uchida et al., Numerical visualization of wind turbine wakes using passive scalar advection-diffusion equation and its application for wake management, Wind Engineering, July, 2022, <https://doi.org/10.1177/0309524X221113011>

## 大型境界層風洞・精密風車模型を用いた本手法の検証



本提案手法(CFD)は、大型境界層風洞を用いた可視化実験と定性的に良好な一致

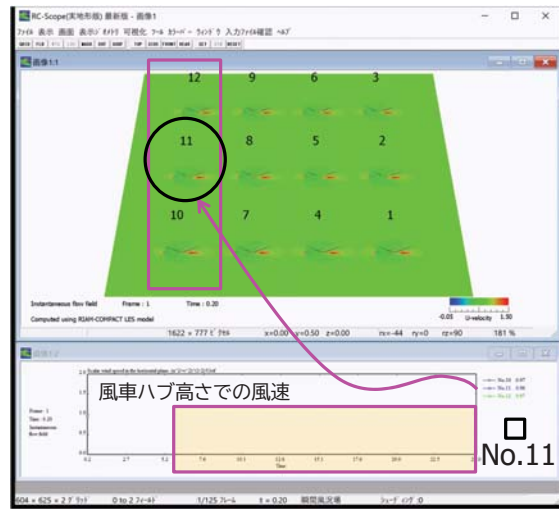
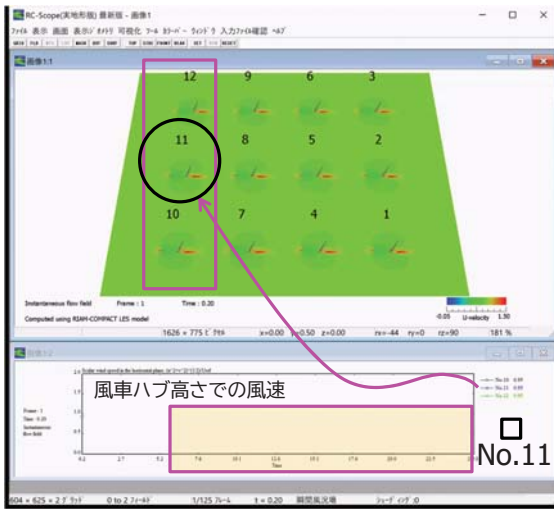
## 仮想モデルのMini Alpha Ventusでの性能評価



風車群への風の侵入角度 (0deg)

風車への疲労: 最小 + WF全体の発電量: 最大 (ウエイクステアリング)

風車群への風の侵入角度 (15deg)



風車群への  
風の侵入角度  
(0deg)

風車への疲労:最小  
+  
WF全体の発電量:最大

風車群への  
風の侵入角度  
(15deg)

ご清聴ありがとうございました

KOITQ, JAPAN - NOVEMBER 22 2015. Ancient paintings of Wind and Thunder Gods on partitions at Kenninji Temple



<https://www.shutterstock.com/ja/image-photo/kyoto-japan-november-22-2015-ancient-463824266>