

IEA Wind – Task 57 JAM

モデルの共同評価

植田祐子

株式会社ウインドエナジーコンサルティング

◆ 目的

- 各国の専門家が協力することで、モデル検証活動を標準化し、加速させ、可能な限り多くの利害関係者に利益をもたらすことを目的とするフローモデル及びウェイクモデルのベンチマークプロジェクト
- Task31の後継タスク

◆ 参加国（15カ国）

- ベルギー、中国、デンマーク、フィンランド、フランス、ドイツ、インド、イタリア、日本、オランダ、ノルウェイ、スペイン、スイス、スウェーデン、米国

◆ OA

- NREL

◆ サブタスク

- サブタスク1: マネジメント
 - タスクの実現と時間の管理。スコーピング、予算管理。
- サブタスク2: アウトリーチ
 - 技術ワーキングの価値を最大化：多様な利害関係者のコミュニティからのインプットを促進し、技術ワーキングの終了時に実用的なアウトプットを普及させ、技術ワーキングの価値を最大化
- サブタスク3: ベンチマーク
 - コミュニティ調査をし、ベンチマークに十分な関心があった場合、実験データセットの所有者と協力してベンチマークリーダーを割当。ベンチマークの定義、実行、完了までの活動を開始
- サブタスク4: 不確かさ
 - 不確かさの定量的な推定により、サブタスク3を支援

スケジュール	ベンチマーク	機関	内容
Spring 2024	AWAKEN plant wake	NREL	ウインドファームウェイク Phase1: ベースライン Phase2: 流入風によるモデル改善 Phase3: 流入風及びウェイク観測によるモデル改善
Fall 2024	RAAW rotor inflow	NREL	流入風、平坦地形
Spring 2025	WINSENT	WindForS	複雑地形、2台の風車
Fall 2025	AWAKEN waves	NREL	ランプ、安定成層、内部重力波
Spring 2026	WiValdi	DLR	ニアショア、2台の風車

WindForS: University of Stuttgart, TU Munich, Karlsruhe Institute of Technology, University of Tübingen, University of Applied Science Esslingen, University of Applied Science Munich, ZSW

◆ 風力エネルギーモデル評価手順

- 国際的なV&V（妥当性確認と検証）及びUQ（不確かさの定量化）のベストプラクティスガイドライン
- 文書開発のマイルストーン： 3年間

Wind Energy Model Evaluation Protocol

weMEEP

latest

Search docs

Model Evaluation Protocol

Model Evaluation Protocol

Introduction

Objectives

Terminology

Building-Block Approach

The Model Evaluation Process

Intended Use

Validation-Directed Program Planning

Integrated Experiment, Model Planning and Execution

Verification

Validation

Uncertainty Quantification

Documenting

Data Management

References

Docs » Model Evaluation Protocol

Edit on GitHub

Model Evaluation Protocol

Introduction

WEMEP addresses quality assurance of models being used for research and to drive wind energy applications. This is achieved through a framework to conduct formal verification and validation (V&V) that ultimately determines how model credibility is built upon. The protocol is based SANDIA's V&V Framework [HMN15] which, itself, is based on well-established procedures developed by various organizations including the Department of Energy, National Aeronautics and Space Administration, the American Institute of Aeronautics and Astronautics, and the American Society of Mechanical Engineers. Background articles include [OT02], [OTH04] and [OB06]. The framework's primary focus is to provide guidance on the development and execution of tightly integrated modeling/experimental programs based on well-established V&V practices for the purpose of model assessment.

Based on the AIAA guide for V&V of computational fluid dynamics (CFD) [AIA98]:

Verification is the process of determining that the model implementation accurately represents the developer's conceptual description of the model and the solution of the model. Here accuracy is measured with respect to benchmark solutions of simplified model problems

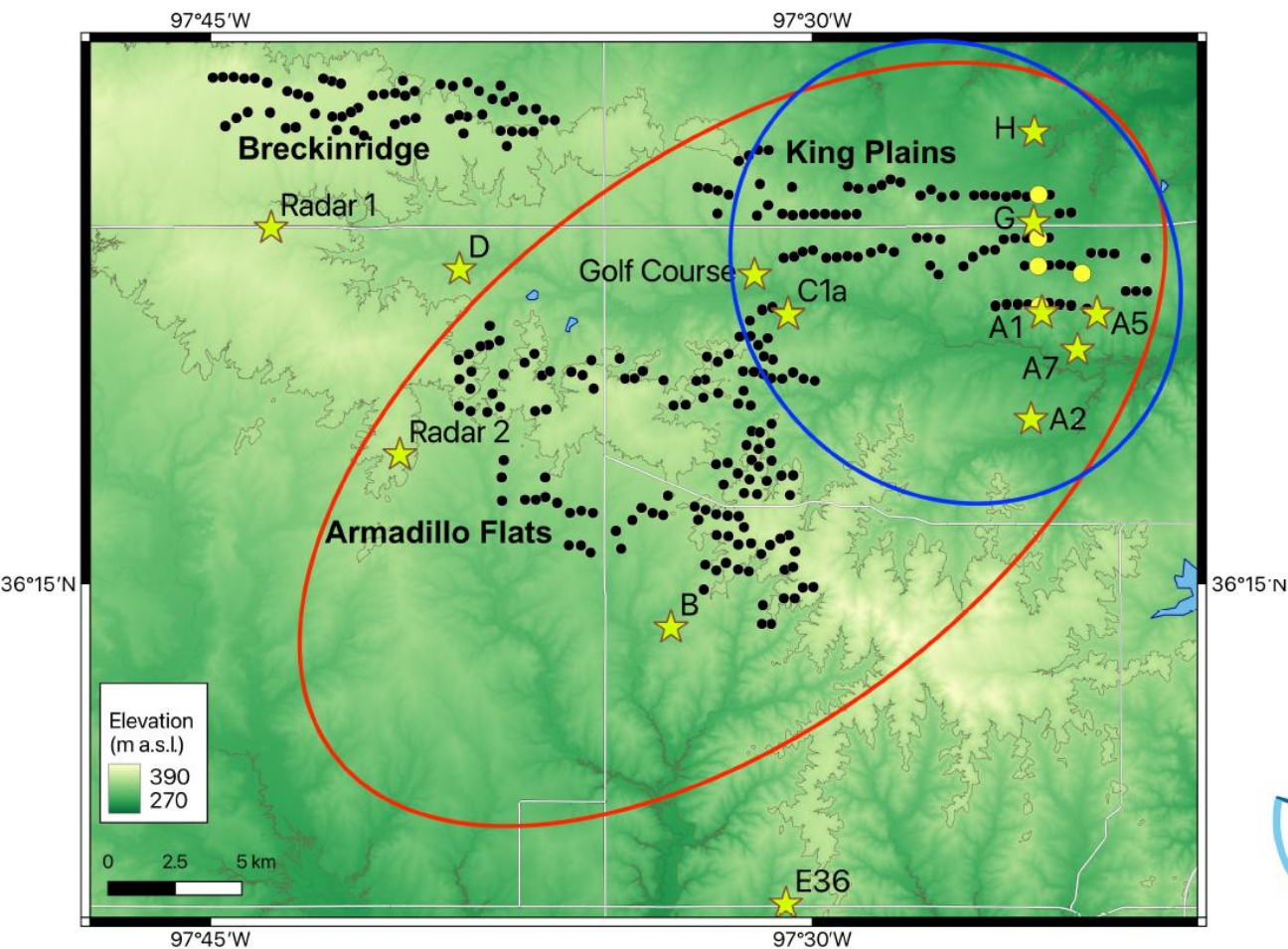
Validation is the process of determining the degree to which the model is an accurate representation of the real world from the perspective of the intended uses of the model. Here accuracy is measured with respect to experimental data.

The AIAA guide states that verification and validation are processes or ongoing activities without a clearly defined completion point. It is a matter of conforming to some V&V practices as possible in

- ◆ 専門家からのフィードバックを得ること
 - JAMの目的の一つとして、ベンチマークを通した専門家のフィードバックが挙げられる
- ◆ より一般化された質問をJAMコミュニティに問う

あなたが担当している具体的な業務において、どの業務に時間を割くべきか？

- ◆ アンケート結果は、集約して、今後公開予定



- 北オクラホマ、米国
- 2022-2024
- 13の地上サイト+風車設置の5つ計測
- 複数のウィンドファーム
- 長期のARM SGP観測

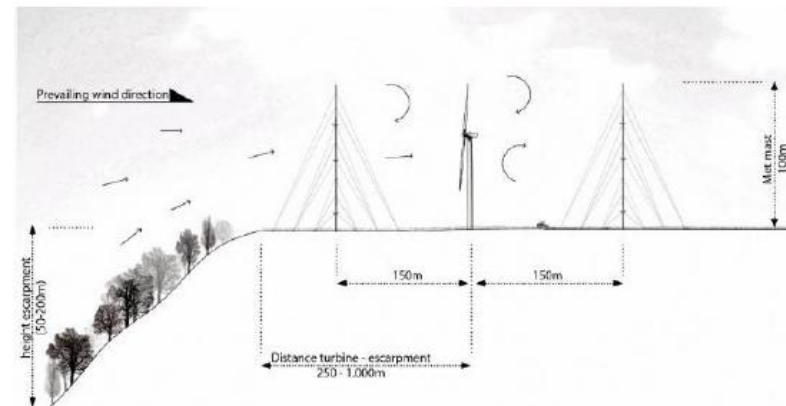


ARM: Atmospheric Radiation Measurement
SGP: Southern Great Plains

参考 <https://zenodo.org/records/11507768>

- WINSENTは、シュヴァーベンアルプの北側に沿った森林の急斜面 Albtrauf に近い複雑地形に位置している。
- Albtraufは研究テストサイトの西側に位置し、森林地帯である。
- 高度変化はテストサイトの前で150m以上あり、卓越風向は西南西である。気流傾斜角と乱れが大きい。
- テストサイトは森林のない高原に位置する
- 冬と夏の主な風向は東南東
- 冬季は凍結状態

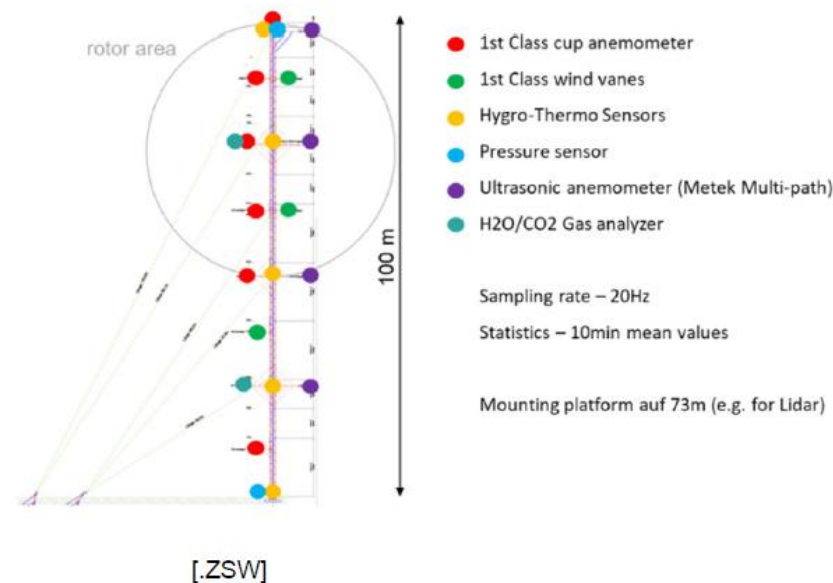
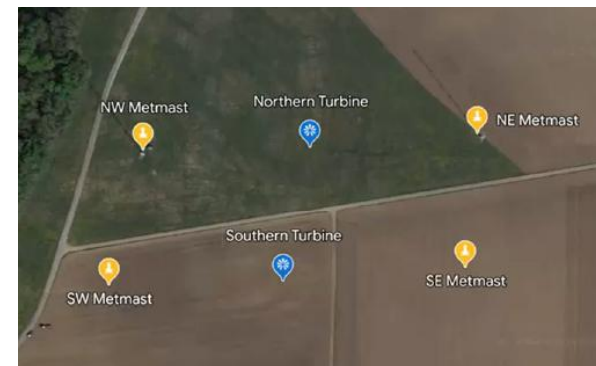
*) www.swabianalb.info



[ZSW, TUM-LAREG]

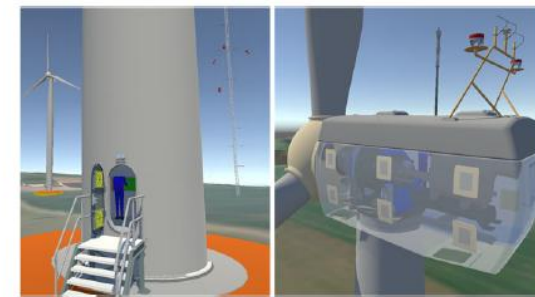
◆ フィールド観測

- 4本の気象マスト（流入風とウェイク）
- 3台のLR-LiDARシステムを同期スキャンするバーチャルマスト
- 谷間に設置したLiDARウィンドプロファイラ
- 3つの渦共分散システム & 雲高計
- 無人航空機システム



◆ 研究風車

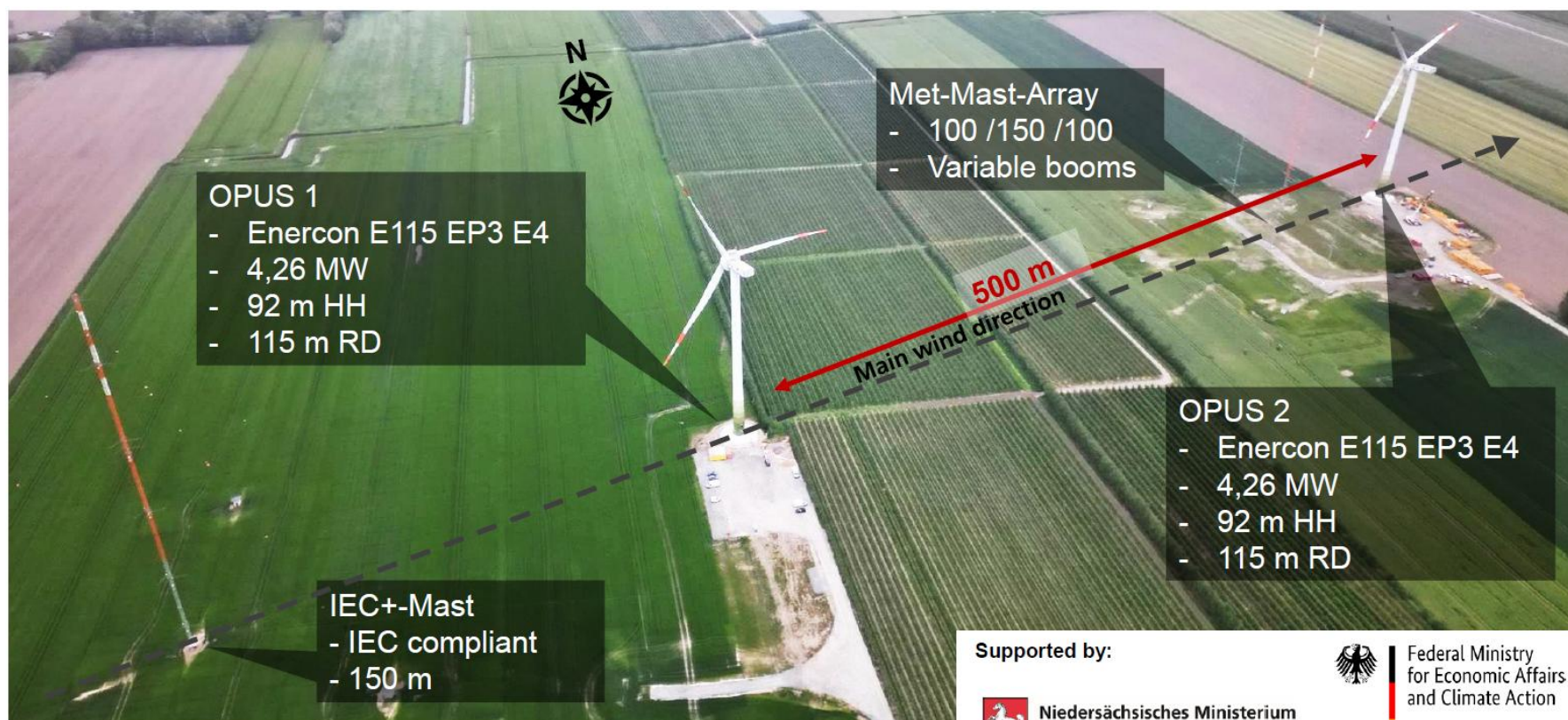
- ZSW社製（コントローラーとHILテストリグを含む）
- ハブ高73m、ローター直径50m- 定格出力：750 kW- 可変速度- 個別駆動ピッチモーター
- 監視制御を含むタービンコントローラーへのフルアクセス- IEC 61400-13に準拠した計測センサーを完備
- 以下のような計測機器の設置が可能
 - ブレード、メインシャフトなどの荷重センサー（ひずみゲージ、FBG）
 - ブレード先端の加速度センサー
 - ブレード形状曲げセンサー
 - 基礎の土圧発信器と伸縮センサー
 - 周辺の地震センサー
- コンバーター・システムは、さらなる再生可能エネルギー源や蓄電装置で拡張可能



[msz]



- ◆ ドイツ北部、エルベ川の河口付近に位置
- ◆ ライダー及びマストによる長期観測を2020年から実施
- ◆ 風速、乱流強度、LLJ、ガストなどの風特性を評価
- ◆ 風車は、2023から設置



Norman Wildmann, DLR-PA, 17 June 2025

Supported by:



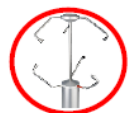
Niedersächsisches Ministerium
für Wissenschaft und Kultur



Federal Ministry
for Economic Affairs
and Climate Action

- ◆ 150m高、100m高、100m高からなる3つの風況観測塔アレイ

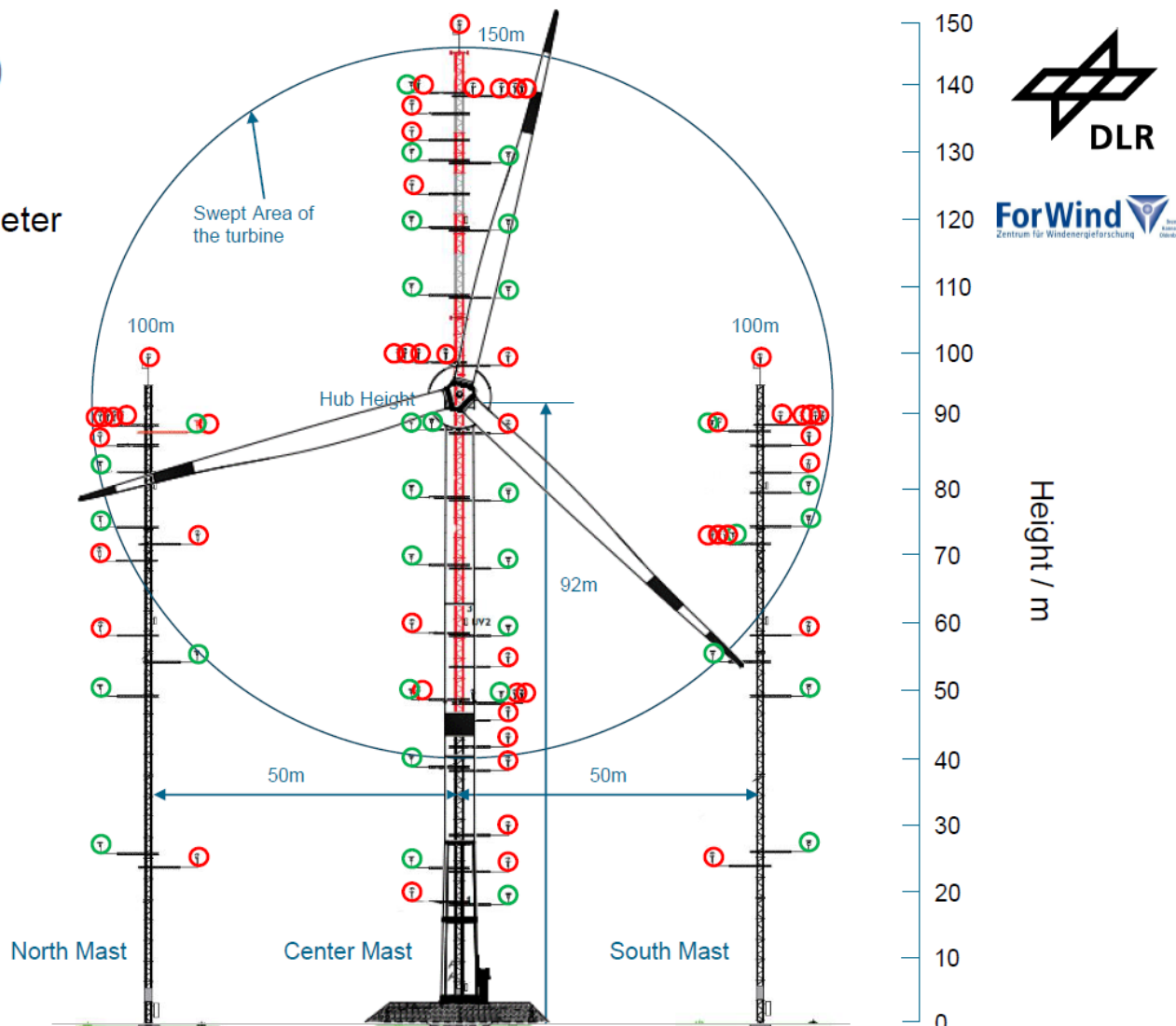
Met Mast Array (MMA)



51 x 3D Ultrasonic anemometer



32 x Cup anemometer



◆ テスト風車（OPUS1 & 2）に設置されたセンサー

OPUS 1 & 2

(total installed sensors OPUS 1: 1225 / OPUS 2: 689)

Sensor type	QTY	Sensor type	QTY
Foundation (total)	229	Generator (total)	95
Inclinometer		Electrical acceleration sensors	
Electrical strain gauges		Electrical strain gauges	
Electrical displacement sensors		Air gap sensors	
Fiber optic strain and temperature		Electrical temperature sensors	
Tower (total)	167	Grease sensors	
Electrical acceleration sensors		Rotor (total)	1381
Electrical strain sensors		Electrical acceleration sensors	
Electric strain gauges		Electrical strain gauges	
Electrical temperature sensors		Torque measuring shafts	
Pressure measuring belt		Electrical temperature sensors	
Nacelle & azimuth (total)	42	Distance sensor	
Electrical acceleration sensors		Fiber optic strain sensors	
Electrical strain gauges		Fiber optic acceleration sensors	
Power meter		DuraAct surface converters	
Rotary encoder		DIC marker system	
Electrical temperature sensors		Lidar (spinner)	
Current clamp meters			



◆ フィールド観測

- (a) ロングレンジライダー及びマイクロ波放射計
- (b) ショートレンジライダー
- (c) ナセル設置ショートレンジライダー
- (d) スピナーライダー

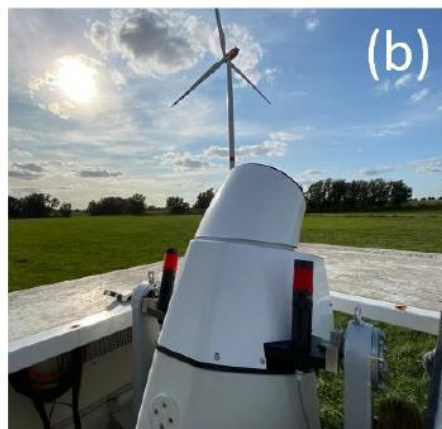
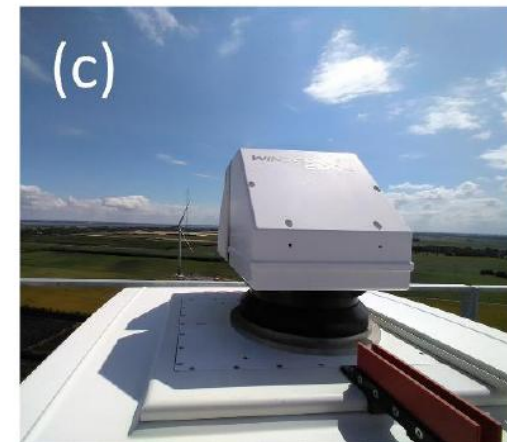
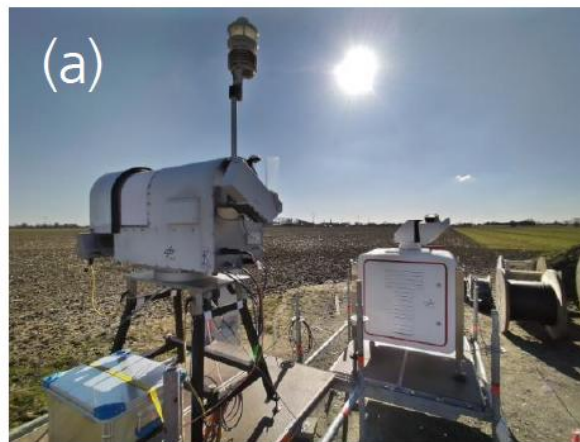
Remote sensing of wind, temperature, humidity, clouds, rain etc.

- (a) Long-range Windlidar und Microwaveradiometer
- (b) Short-Range Windlidar
- (c) Long-Range Windlidar on OPUS1
- (d) Spinner-Lidar
- Micro-Rain-Radar (MRR) マイクロレインレーダー
- Dysdrometer 雨滴計
- Ceilometer 雲高計
- Eddy-Covariance station 渦相関計測ステーション

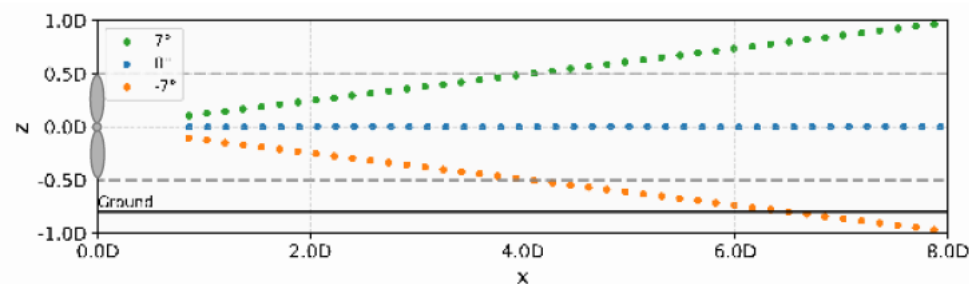
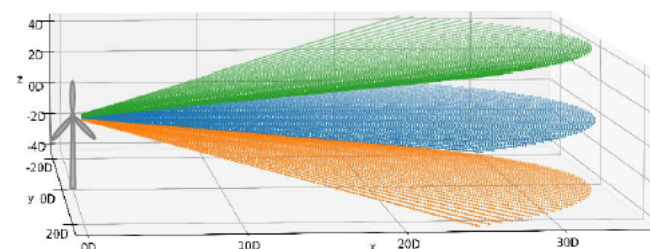
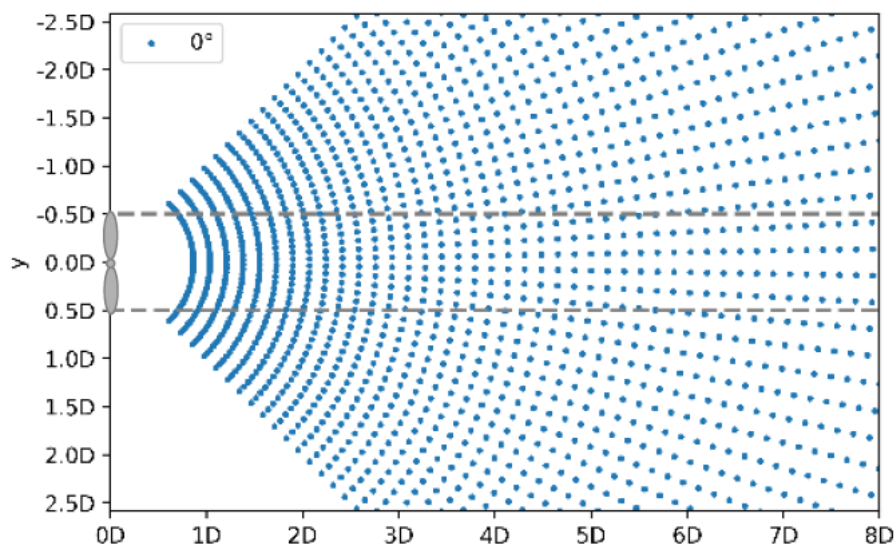
Noise

- single-microphones
- Microphone-array

... and more



- ◆ ナセルライダー観測（3つの仰角）を使用
- ◆ ～27s/スキャン
- ◆ 2023年11月から計測
- ◆ 2025年6月までに、274日以上のウェイク観測

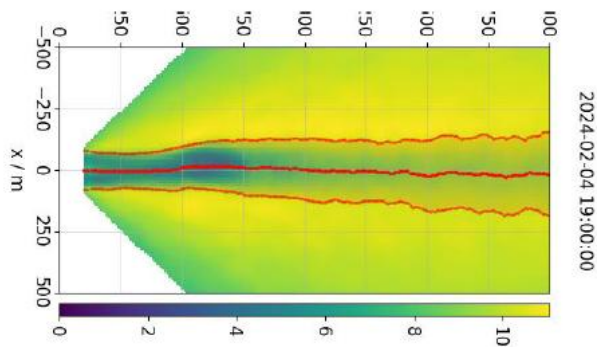


◆ OPUS1のウェイク内のOPUS2

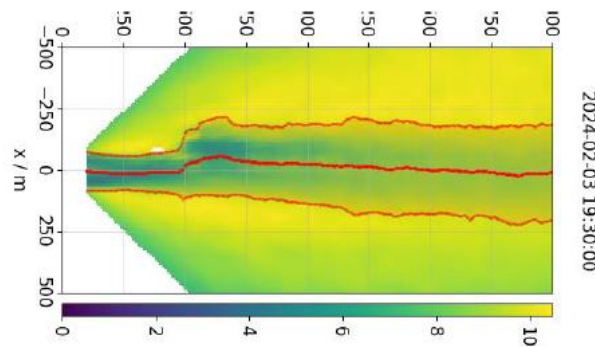
- フルウェイク
- ハーフウェイク
- 暗黙的なウェイク影響

OPUS2 in wake of OPUS1

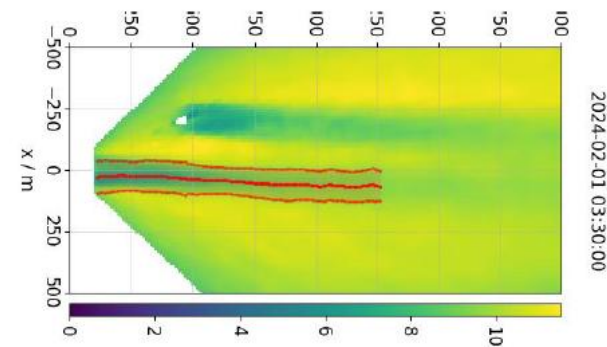
Full-waked



Half-waked



Implicit wake effects



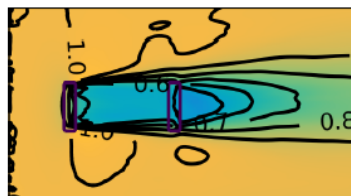
Two possible goals

◆ ウェイク干渉／重ね合わせ

- ウェイク速度欠損モデルの検証
- エンジニアリングモデル
- 下流の風車の下流におけるマルチウェイク

◆ ニアウェイクモデルの精度

- LESによるニアウェイク特性の詳細調査
- エンジニアリングモデルのニアウェイクモデル



Atmospheric impact on wake

