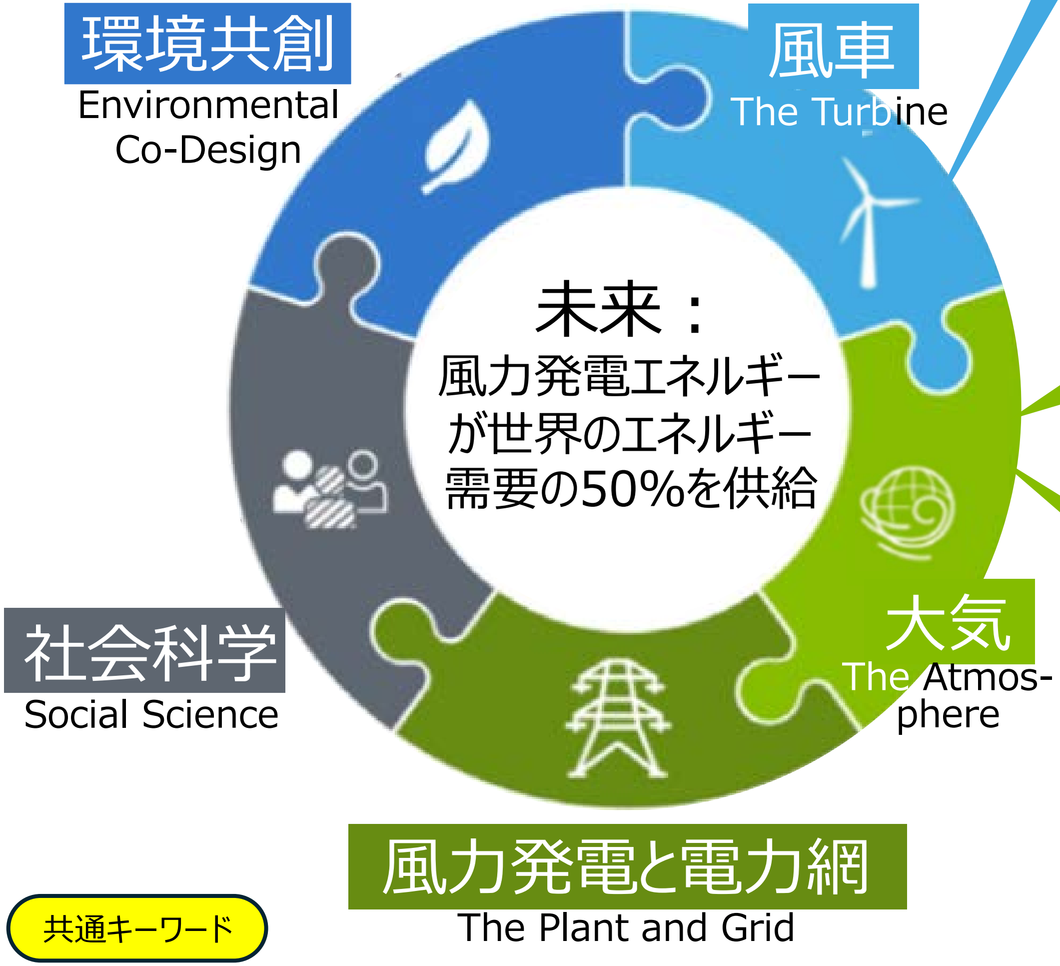
パネルディスカッション1：先進技術①（ライダー，エロ―ジョン，モデル）

目的
・効率的・低コストな洋上風力発電所の設計
・標準化にむけた取り組み



Task46
（風車ブレードのエロ―ジョン）

現象の要因究明
試験の再現性（試験方法の共通化）

Task57
（モデルの共同評価）

解析モデルの標準化・汎用化
実現象と解析結果との整合性

→ モデルとデータの検証

Task52
（風ライダーの大規模展開）

IECの規格化
（国内ガイドラインの国際化に向けて）

→ 手法の共通化

共通キーワード

Task Directory | IEA Wind TCP (iea-wind.org)

Task46（風車ブレードのエロージョン）

項目	内容
目的	・エロージョンの早期発見に向けた損傷特定法の開発 ・エロージョン対策手法の開発
概要	ブレード表面が雨滴等の衝突によって疲労損傷するエロージョンは，ブレードの寿命や発電量等に影響し事業の予見性を低下させるため，企業や地域の垣根を超えた国際共同研究によって現象の理解を深め，対策を検討する。
参加者（敬称略）〇：主担当者	〇田中元史，川端浩和，栗飯原あや，藤澤延行（産総研），牛尾知雄（大阪大院），西田蓉子（東京ガス），渡辺延由，峰岸聖（朝日ラバー）
スケジュール	2021年3月（キックオフ3/16）~2025年2月
ワークパッケージ（WP）	WP1:マネジメント，WP2:エロージョン要因となる気象因子，WP3:エロージョンと風車オペレーション，WP4:エロージョンの地上試験，WP5:エロージョンの力学と材料特性
活動状況	・エロージョンに影響する気象因子の計測・解析手法の検討 → データセットの蓄積 ・雨滴粒径分布等の地域間比較 → 地域特性の把握 ・実フィールドにおけるエロージョンの分類調査 → モデルツールの開発 ・エロージョンの地上試験 → エロージョン試験の再現性 ・エロージョン力学と材料特性の把握 → 損傷モデルの開発
課題	・疲労試験とRET試験の整合性 ・RET試験における寿命予測の限界 ・試験レベルと実現象の解離 ・解析モデル開発に供する実データの不足
主な成果	・共著論文やTaskレポートの執筆 ・まだ規格化の議論には及んでいない
日本の取り組みと展開	国内材料メーカの技術力をアピールし，フェーズ2ではMaterial Scienceに関する議論を日本が主導したい

Task52（風ライダーの大規模展開）

項目	内容
目的	風ライダーを最適な風況観測ツールにするための研究開発に取り組み、風ライダーの利用機会を増進（大規模展開）する。
概要	風ライダーにとって重要な様々なテーマに取り組み，他Taskとのコラボレーションによる知識の共有をはかる。
参加者（敬称略）○：主担当者	○種本純（清水建設），植田祐子（WINC），川端浩和（産総研），嶋田進（産総研）， 渡邊慶一郎（JRE），吉村淳（GPI），
スケジュール	2022年5月~2026年4月
テーマとワーキンググループ（WG） 赤字：日本参加	テーマ1（ユニバーサル流入特性）：WG1:乱流強度，WG2:ライダーアシスト制御（LAC）， テーマ2（風速観測マストの代替）：WG3:複雑地形，WG4:寒冷地，WG8:ナセル搭載ライダー， テーマ3（風ライダーの繋がり）：WG5:デジタル化，WG7:オントロジー， テーマ4（洋上風力の展開促進）：WG6:洋上スキャンニングライダー，浮体式ライダー（予定）
活動状況	・ナセル搭載ライダーの乱流強度の推定手法と精度検証に関するラウンドロビン（WG1） ・ライダーアシスト制御に関するオープンソースツールの開発（WG2） ・複雑地形の地上設置型ライダーの観測値の補正と検証に関するレポート作成（WG3） ・ライダーによる着氷検出、寒冷地のデータ取得率改善（WG4） ・データハンドリング用のサンプルデータベースの作成（WG5）、ライダーの用語集の作成（WG7） ・RPの作成に向けたスキャニングライダーの大規模データ検証（WG6）
課題	・複雑地形、乱流強度、寒冷地など、ライダー特有の課題への対処 ・ユーザーの利便性・信頼性の向上（デジタル化、RP、標準化） ➢ タスク発足当初、海外にスキャンニングライダーのRPやガイドラインがなかった →日本は，「洋上風況観測ガイドブック（NEDO）」がある
主な成果	Task32（前タスク）のリコメンデッドプラクティス（RP）が国際標準化されている ・RP18 （Task32）→ IEC/TS 61400-50-4 ・RP15 （Task32）→ IEC 61400-50-2（旧-12-1 ed.2）
日本の取り組みと展開	・国内でワークショップを開催し、導入が進んでいる日本のユーザ経験をTaskに提供した。 ・結果、日本主導でのTS策定を開始し、標準化を進めている。

Task57（JAM, 風力エネルギーにおけるモデルの共同評価）

項目	内容
目的	風の流れ，風力タービン，および風力発電所のシミュレーションの分野における国際的研究の調整
概要	・シミュレーション誤差を定量化と不確かさを定義することで，モデル利用者にシミュレーションツールの適用可能性を提示する ・モデル開発者がモデル改良の必要性を特定し，優先順位をつけることを支援する
参加者（敬称略）〇：主担当者	〇植田祐子（WINC），山口敦（足利大），谷山賀浩（東芝ES），種本純（清水建設）
スケジュール	2024年1月~2027年12月
サブタスク	サブタスク1：マネジメント サブタスク2：アウトリーチ サブタスク3：ベンチマーク サブタスク4：不確かさ
活動状況（予定）	・シミュレーション誤差を定量化し，不確かさを定義することで，モデル利用者にシミュレーションツールの適用可能性を示す ・モデル改良の必要性を特定し，優先順位をつけることを支援する
課題	・各種状況におけるフローモデル及びウェイクモデルの高精度化 ・各種状況に対するベンチマークに必要なデータセットの設定と不確かさの評価
主な成果	Task31（前タスク）のTR（技術報告書）をTS化予定（国際提案）（IEC TR61400-12-4）
日本の取り組みと展開	複雑地形におけるフローモデルの研究が進んでいる日本の経験を国際標準に反映する

IEA Wind TCP Task46 Erosion of Wind Turbine Blades

●エロージョンとは
高速で回転するブレード前縁に雨滴等が衝突する際に発生する繰り返し衝撃力によってブレード材料の疲労破壊が進行する現象。洋上での高周速化や高雨量地域への市場移行でリスクが顕在化。

●エロージョンの影響
- ・パワーカーブへの影響
- ・補修によるダウンタイム
- ・点検や監視のコスト
- ・補修やメンテナンスのコスト

↓

- ・事業予見性への影響

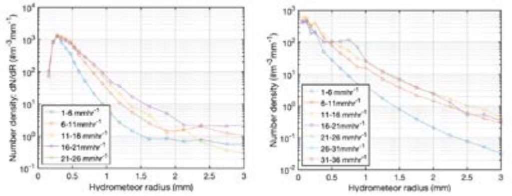
●Task概要
- ・期間：2021年4月～2025年3月
- ・OA：　DTU,VTT(2023/5まで)
- ・目的：エロージョン要因の理解を深め、エロージョン予測のためのデータセットとモデルツールを開発し、可能な限り早い段階での損傷特定法と、対策手法を開発すること。
- ・参加国

- ・ワークパッケージ
  - WP1：マネジメント
  - WP2：エロージョン要因となる気象因子
  - WP3：エロージョンと風車オペレーション
  - WP4：エロージョンの地上試験
  - WP5：エロージョンの力学と材料特性

議論の一例と日本からの貢献の模索

●WP2

エロージョンに影響する気象因子の
計測・解析と地域間比較



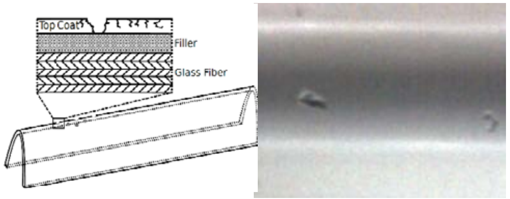
雨滴粒径分布の地域比較

降雨計測装置の精度検討

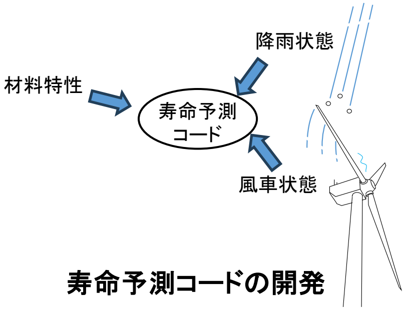
計測法確立のRPに日本の降雨データを提供

●WP4

地上試験からのエロージョン予測法の開発



地上試験の損傷分類



寿命予測コードの開発

DTUのエロージョン予測コードの検証に参加

●WP3

数値解析によるエロージョン翼性能評価

Evaluation Criteria	Severity Level 0	1	2	3	4	5
Visual Condition (LEP)		Lightly worn external coating/LEP Instances of reduced LEP adhesion	Notable areas of localized damage on external coating/LEP Individual Instances of LEP adhesive failure.	LEP is largely compromised over a large area and no longer providing protection to underlying layers	Delamination of topcoat with immediate layer underneath clearly visible and exposed	Notable damage to substrate

エロージョン分類システムの検討

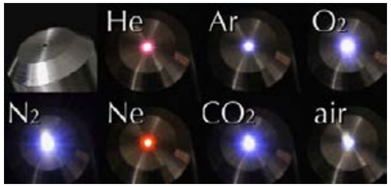
エロージョン翼まわりの数値解析

エロージョン翼の数値解析ラウンドロビンに参加

●WP5

表面保護材の探索ー材料・施工の影響

・材料物性とエロージョンの関係
・多層システム



プラズマによる界面接着力の制御

接着状態の影響を検討

Task52：風ライダーの大規模展開 -大規模展開へのアプローチ-

WG1：乱流強度
ナセル搭載ライダーによる乱流強度推定精度検証

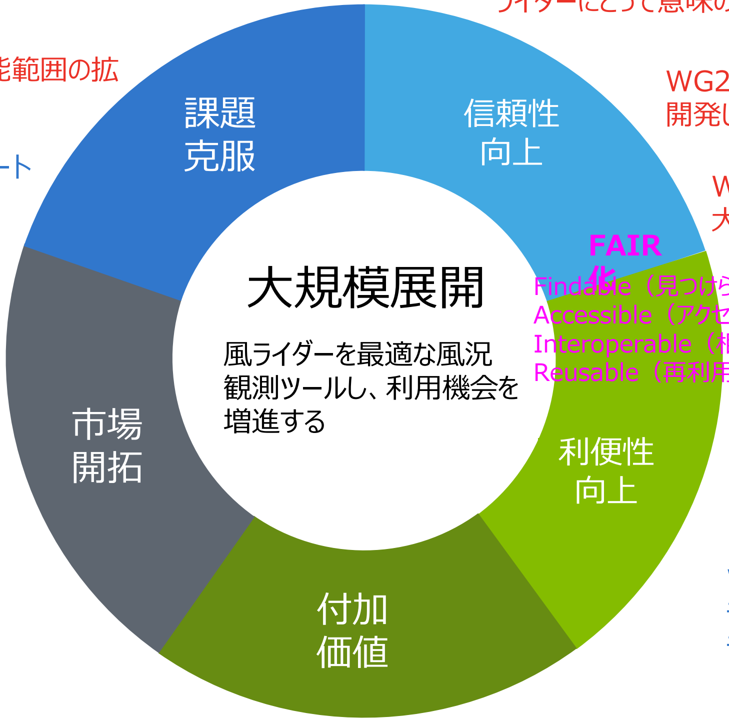
WG8：複雑地形のナセル搭載ライダー
シンプル+（少し複雑）地形の定義による使用可能範囲の拡大

WG3：複雑地形
地上設置型ライダーの補正と検証に関するレポート

WG4：寒冷地
寒冷地のデータ取得率向上、技術資料

WG2：ライダーアシスト制御（LAT）
LATに関するオープンソースツールの開発

風力途以外で用いられるライダーの紹介



FAIR化
Findable（見つけられる）
Accessible（アクセスできる）
Interoperable（相互運用できる）
Reusable（再利用できる）

WG3：複雑地形
ライダーにとって意味のある地形複雑度の定量化と適用可能範囲の整理
（ガイドラインの作成）

WG2：ライダーアシスト制御（LAT）
開発したツールのベンチマーク、RPの作成

標準化へ

WG6：洋上スキャニングライダー
大規模データ分析、RPの作成

WG7：オントロジー
用語集の作成、論文執筆

WG1：乱流強度
ライダー観測値の用途別（発電量、荷重評価、性能計測、寿命延長など）の乱流強度の解釈と標準化案

WG5：デジタル化
データハンドリング用のサンプル
データベースの作成

データモニタリング用
ソフトウェアの紹介

WG4：寒冷地
ライダーによる着氷検出、技術資料

青字：これまでの成果、赤字：現在取組中または将来取組予定

*発表者の個人的解釈に基づく整理であり、Task 52の公式見解ではない
*複数の役割を担うものもあるが、紙面と表現の都合上表現可能な範囲に留めた

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ヵ国）

- 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

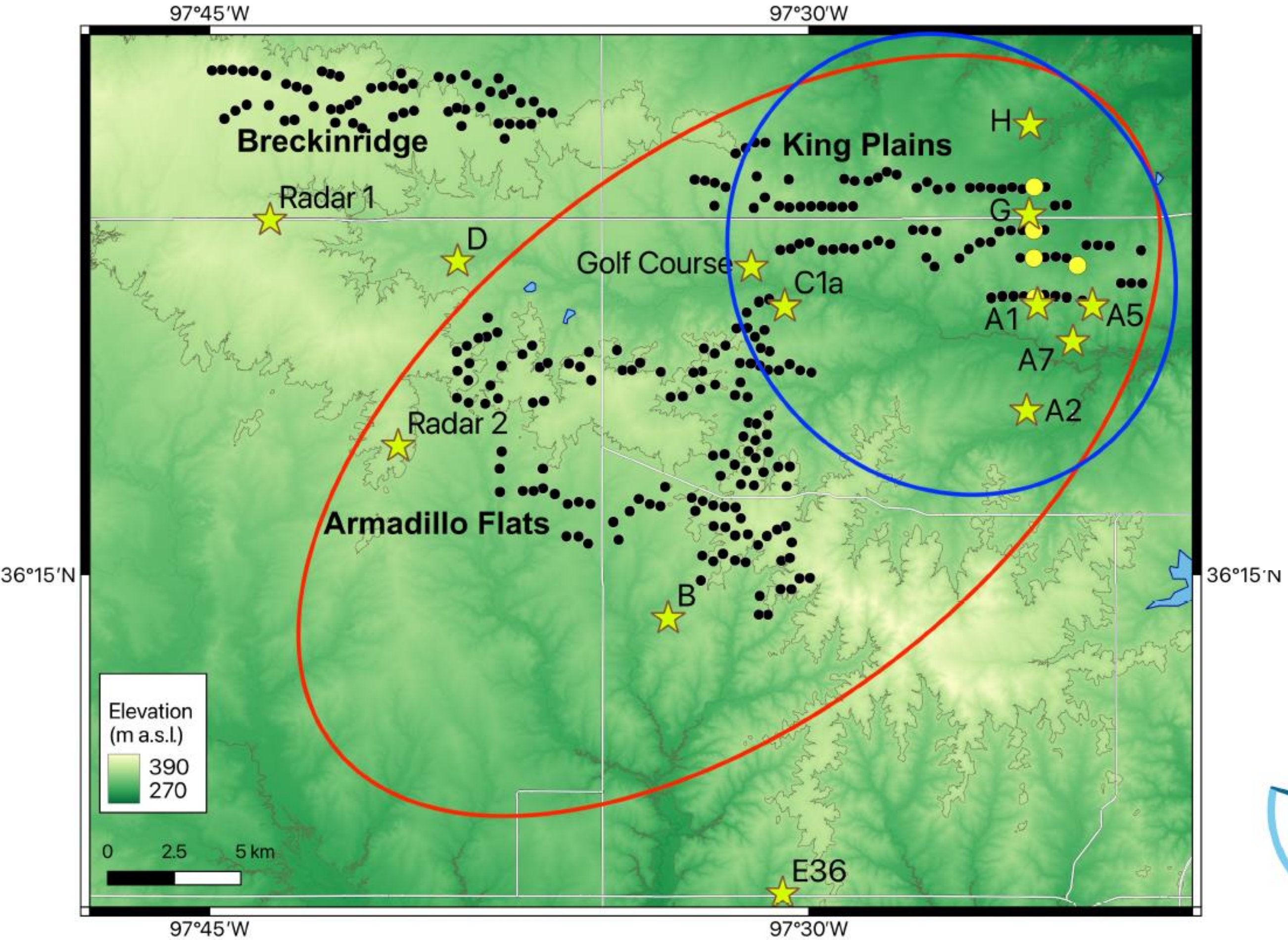
予定されているベンチマーク

WINC

スケジュール	ベンチマーク	機関	内容
Spring 2024	AWAKEN plant wake	NREL	ウィ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

WINC



- 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

AWAKEN
U.S. DEPARTMENT OF ENERGY

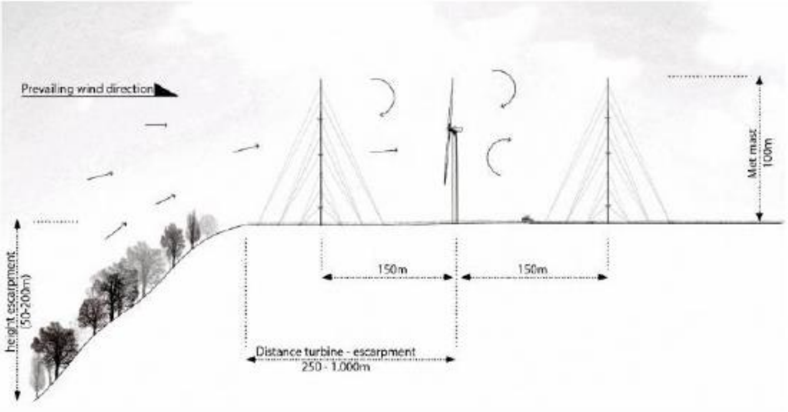
ARM: Atmospheric Radiation Measurement
SGP: Southern Great Plains

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

WINSENT 研究テストサイト [1/3]

- 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



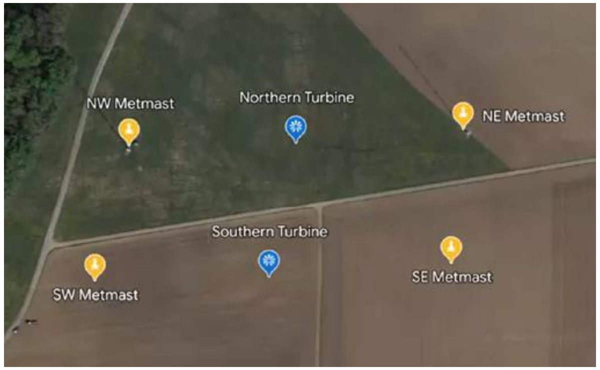
[ZSW, TUM-LAREG]

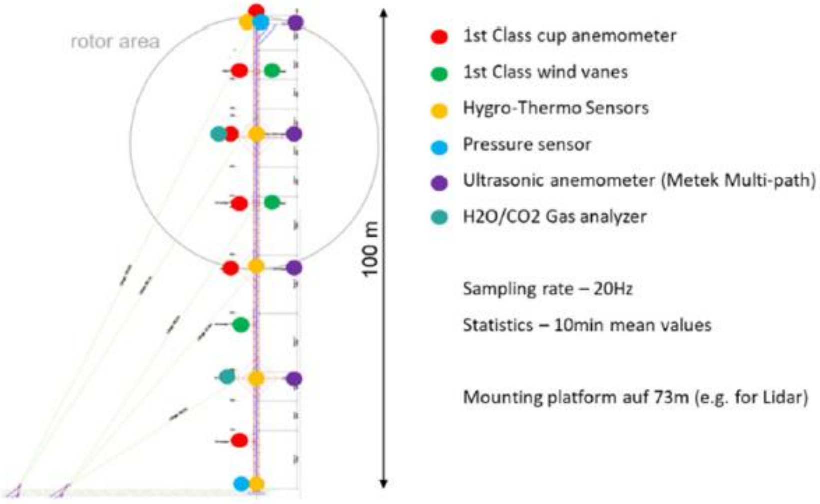
参考　https://zenodo.org/records/11507768

WINC

◆ 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 & セイロメーター
- 無人航空機システム





[.ZSW]

◆ 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

[ZSW]