

第10回 IEA Wind セミナー

東京大学大学院工学系研究科教授
石原 孟

2022年3月1日

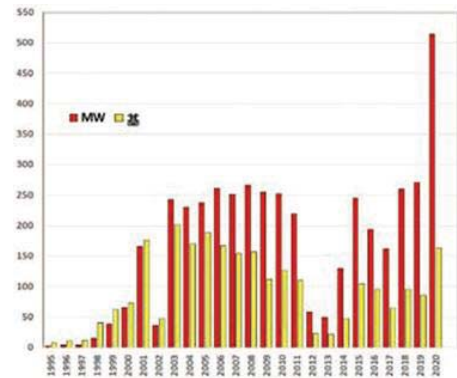
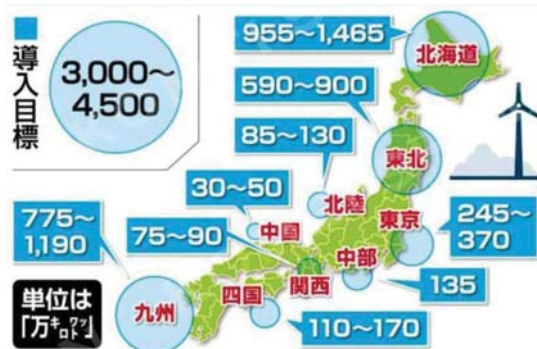
第10回 IEA Wind セミナー

2

- IEA Windでは、国際共同研究(以下、Taskと呼ぶ)を行うことを通じて、日本の風力発電技術の発展及び風力発電の国際標準策定における日本の発言力向上を目指しています。
- 本セミナーでは、特に日本が参加しているTaskに関する最新の研究成果をご紹介するとともに、関係者の皆様に有意義な情報を提供いたします。
- 今回は、新型コロナウイルス感染症の感染拡大防止のために、会場講演とオンライン配信のハイブリット形式にてセミナーを開催しています。昨日時点では、会場申込者数は69名、オンライン参加申込者数は660名、合計729名の方が参加される予定です。

2020年10月菅前総理の所信表明演説で「我が国は、2050年までに、温室効果ガスの排出を全体でゼロにする、すなわち、2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指すこと」が宣言された。

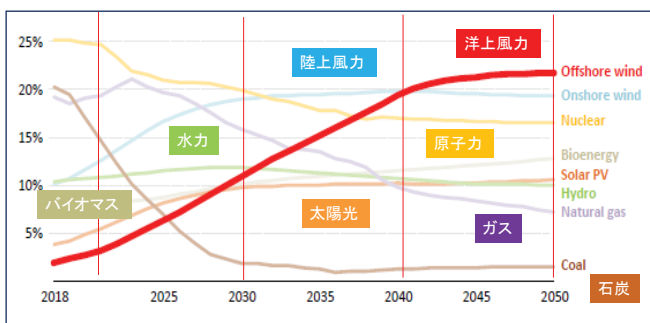
- 2020年12月15日洋上風力の導入目標を定めた「洋上風力産業ビジョン」がまとめられ2030年までに1000万kW、2040年までに最大4500万kWの導入目標が設定された。2020年度第3次補正予算で総額2.0兆円のグリーンイノベーション基金が創出され、洋上風力分野では、今後10年間約1200億円を投じて、「洋上風力発電の低コスト化」に関する技術開発を行うことになった。昨年末フェーズ1における18の実施先が決定された。
- 2021年10月22日閣議決定された第6次エネルギー基本計画では、2030年まで風力発電の導入目標は従来の1.7%からその3倍の5%までに引き上げられた。昨年、陸上風力は約92万kW、洋上風力は約170万kWの入札が実施され、風力発電事業者が決定された。今後、毎年約200万kWの風力発電が導入される見込みです。



世界の風力発電の導入量

世界風力会議GWEC(Global Wind Energy Council)が3月25日に風力発電の2020年の年間報告書 Global Wind Report 2021 を発表した。

- 2020年は世界で、9300万kWが新規導入され、前年比は53%の増加。洋上風力も史上最高607万kWが新規導入された。
- 陸上と洋上風力発電の新規導入のTop 5の国は、1位は中国5200万kW (55.9%)、2位はUS1692 万kW (18.2%)、3位はブラジル230万kW (2.5%)、4位オランダ198万kW (2.1%)、5位はドイツ165万kW (1.8%)
- 洋上風力発電の累積導入のTop 5の国は、1位はイギリス1021 万kW (28.9%)、2位は中国1000万kW (28.3%)、3位はドイツ773万kW (21.9%)、4位はオランダ261万W (7.4%)、5位はベルギー226万kW (6.4%)



出典: IEA Offshore Wind Outlook_2019



https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_offshore_wind_farms

- 10:30-10:35 開会の挨拶 石原 孟(東京大学・IEA Wind国内委員会委員長)
- 10:35-12:05 午前の部
・IEA Windの取組概要 渡部 良朋(NEDO)
・Task32:風計測ライダー適用に関する検討状況 今城 勝治(三菱電機)
・Task30:洋上風車解析コードの検証(OC6) 山口 敦(東京大学)
- 12:05-13:05 休憩
- 13:05-14:50 午後の部①
・Task31:ウィンドファーム流れモデルのベンチマーク 植田 祐子(WINC)
・Task40:ダウンウィンド風車技術とタスク化への取り組み 大和田 政孝(風力エネルギー研究所)
・Task26:風力発電のコスト 菊地 由佳(東京大学)
- 14:50-15:05 休憩
- 15:05-16:20 午後の部②
・Task28:風力発電プロジェクトの社会的受容性 丸山 康司(名古屋大学)
・Task25:風力発電大量導入時の電力系統の設計と運用 安田 陽(京都大学)
- 16:15-16:20 閉会の挨拶 佐々木 淳(NEDO)

IEA Windの取組概要

2022年3月1日

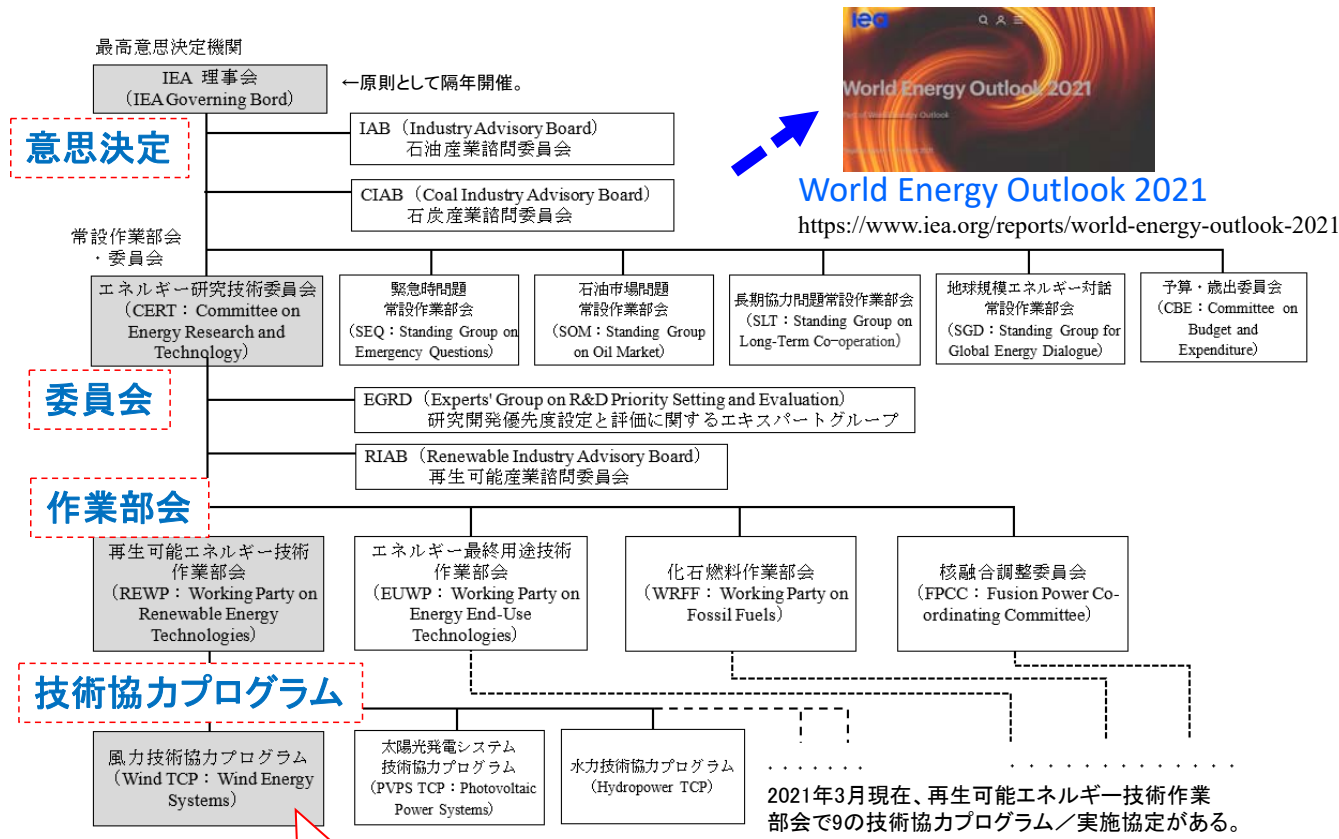
国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)
新エネルギー部 風力・海洋グループ
渡部 良朋

IEAについて

■国際エネルギー機関(IEA)

- 第1次石油危機後の1974年に、キッシンジャー米 국무長官(当時)の提唱を受けて、OECDの枠内における自律的な機関として設立。日本を始めとする30カ国が加盟(2021年9月時点)。
- 「4つのE」を目標に活動推進(①エネルギー安全保障の確保〈Energy Security〉 ②経済成長〈Economic Development〉 ③環境保護〈Environmental Awareness〉 ④世界的なエンゲージメント〈Engagement Worldwide〉)。
- 日本にとっては石油供給途絶の際、IEAの緊急時対応システムにより裨益することが大きい。

IEAの組織、代表的な出版物



IEA Wind TCP

出典: 高橋邦彦、日本風力エネルギー学会第40回エネルギー利用シンポジウム予稿集 P.358(2018)、およびIEA HP情報から作成



IEA Windの経緯

■国際エネルギー機関風力技術協力プログラム

(IEA Wind Technology Collaboration Programmes: IEA Wind TCP)

- IEA下の技術協力プログラムの一つ。
- 1977年に発足した実施協定から2015年に技術協力プログラムに改定。
- 各国の最新の研究開発、政策動向等についての情報収集が可能となるとともに、**IEA Windの成果(技術推奨基準)**が**IEC国際規格**に発展するケースが多いため、日本の実情にあった有利な国際標準策定に資するため参画中。
- 2017年(平成29年)3月14日より産総研からNEDOにIEA Wind締約者を変更し、NEDOのマネジメントのもと活動を実施。
- 参加国(機関)はTaskと呼ばれる協力R&Dに取り組み、2021年12月時点で20Taskが実施中。日本は、8つのTaskに参加中。Task40は、日本提案のTask。



IEA Wind の目的・実施活動

IEA Windの目的

- 風力新技術の研究開発における効率的な国際協力の推進。
- 高品質な風力情報の収集と風力技術・政策・普及の分析等。
⇒各国の風力関連施策、研究開発プログラム策定に対する支援。

IEA Windの実施活動

- IEA Windの活動方針は、年2回開催される執行委員会(Executive Committee, ExCo)において審議。ExCo87および88(2021年分)はCOVID-19禍によりOnline開催。
- 具体的な国際協力活動は、重要な研究開発テーマごとに設置される「Task」を通じて行われる。

◎各Taskは、Operating Agent(OA)が主導。



PARTICIPANTS AT IEA WIND EXCO 85, COPENHAGEN, SEPTEMBER 2019.

In Personで開催されたExCo85におけるIEA Wind ExCoメンバー、OAおよび事務局の様子
(写真:IEA Wind Annual Report2019より)

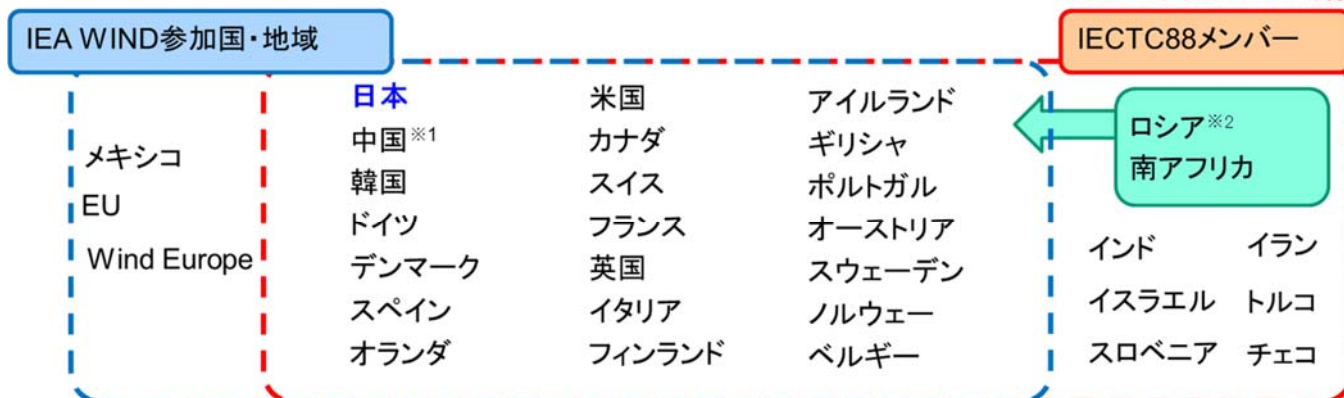


IEA WindとIEC

IEA WindとIEC～2つの国際活動～

- IEA Windの研究開発国際共同活動とIEC(国際電気標準会議)の風力発電関連技術国際標準化活動が、ドイツ、スペイン、英国、米国といった風力発電先進国の国際活動の基本戦略。
- IEA Windの推奨基準が、IEC国際標準のベースとなる事例多数。二つの国際活動は、各々独立した体制・組織により行われているが、技術的には相互補完的關係。
- 我が国でも、IEA WindとIECが国際活動の両輪として重要との認識。

Pメンバーのみ。Oメンバーは除く。

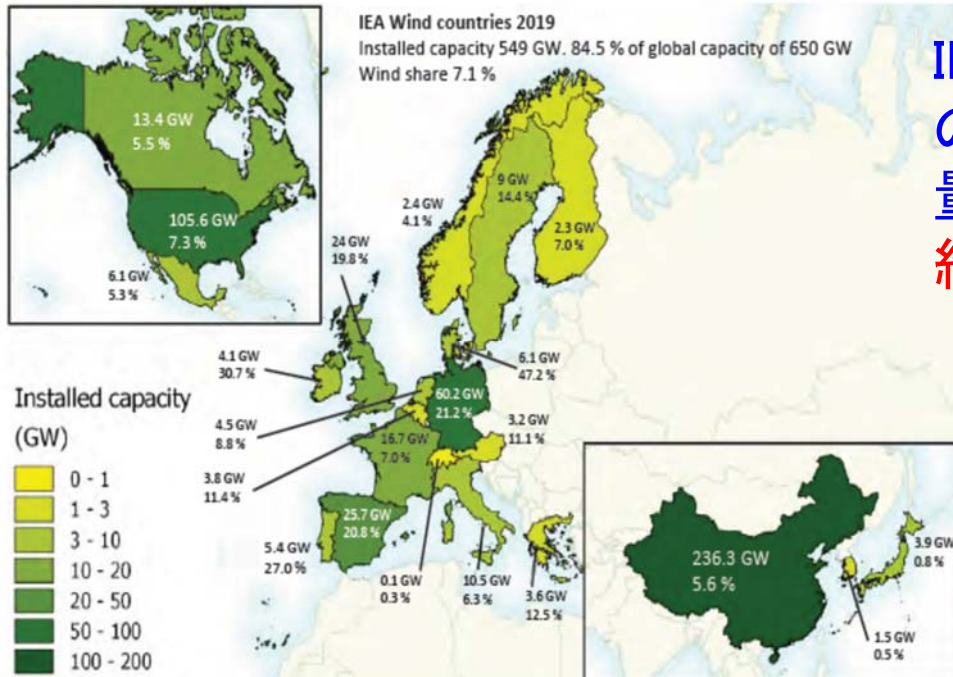


※1) 中国は中国風力エネルギー協会(CWEA)が参画。

※2) 2009年春のExCoにおいて参加承認(ただし、正式加入に向けてロシア政府と調整中)。



IEA Wind 加盟国の取組実績



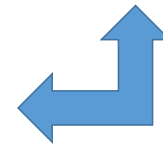
IEA Wind加盟国での導入風力発電量は世界全体の約85%を占める。

2019年度末の割合*

IEA Wind TCP加盟国で世界の約84.5%を占める。

IEA Wind TCP参加国での風力発電量は、電力需要の7.1%に相当する。

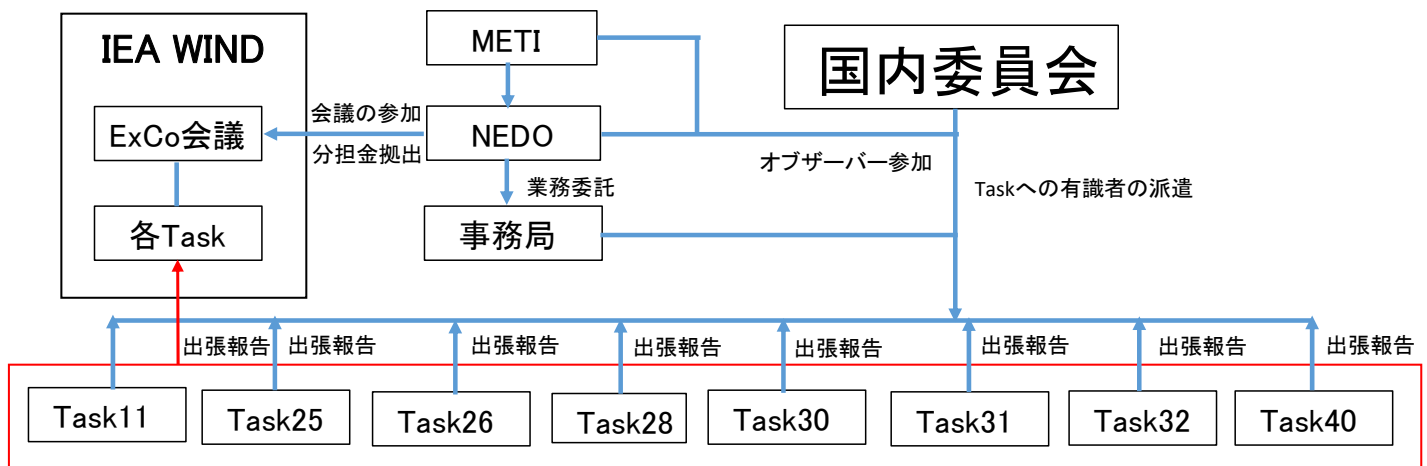
	IEA Wind TCP 加盟国	世界規模
洋上及び陸域の風力発電容量(累積)	549.1GW	650.1GW
洋上風力発電容量(累積)	29GW	29GW
2019年に設置された風力発電容量	51.7GW	60.4GW



出典: IEA Wind Technology Collaboration Programme 2019 Annual Report (2020)

IEA Wind の国内体制

- 国内委員会は国内のIEA Windに関する最高意思決定機関として、各Taskへ派遣する有識者、参加するTask、分科会の設置等を審議(年間3回程度実施)。
- 国内委員会の審議内容より詳細な項目の意見集約等を要する場合は、必要に応じて分科会を設置し、国内委員会で承認された主査の下、各Taskの専門的な議論を実施。
- 事務局はNEDOの委託業務においてWEITに設置。NEDOは、締約者及び委託元としてMETIの監督の下、ExCoへの参加等を通じて、IEA Wind全体を管理。各Taskでは、登録された有識者が各Task Meetingに参加し、国内委員会にて報告。



※Taskは2021年12月時点

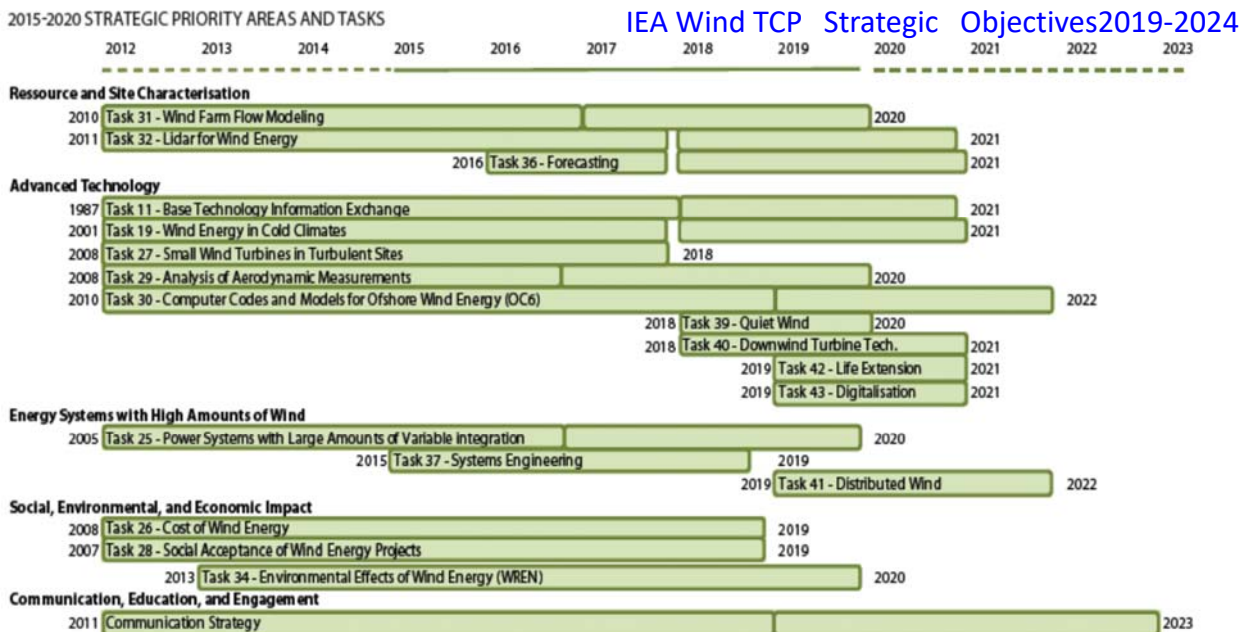
Task40は延長検討中のため含む



各タスクのカテゴリーとスケジュール

各タスクのカテゴリーは4類型+1

- (1) 資源とサイト特徴化 (Resource and Site Characterization)
- (2) 先進技術 (Advanced Technology)
- (3) 高風力量でのエネルギーシステム (Energy Systems with High Amounts of Wind)
- (4) 社会的、環境および経済影響 (Social, Environmental, and Economic Impact)
- +1 (戦略) コミュニケーション、教育と取り決め (Communication, Education, and Engagement)



出典: IEA Wind Technology Collaboration Programme 2020 Annual Report (2021)

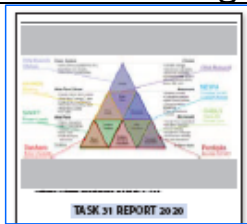
9

各タスク*の概要-類型(1)

*実施中の全Taskについて記載。

(1) 資源とサイト特徴化 (Resource and Site Characterization)

Task31 ウインドファーム流れモデルのベンチマーク (International Wind Farm Flow Modelling and Evaluation Framework (Wakebench)) ※日本参加Task



- ウインドファーム流れモデル(=風況シミュレーションのモデル)及びウェイクモデルの技術の向上、各モデルの妥当性の評価方法の確立。

Task32 風計測ライダの風力発電への導入 (Wind Lidar Systems for Wind Energy Deployment) ※日本参加Task



- 洋上風況調査の推奨基準及び複雑地形での風況調査・ナセル搭載ライダでの風車評価と風車制御の推奨基準の作成。

Task36 風力発電予測 (Forecasting for Wind Energy)



- 気象学に基づく発電量予測、予測モデルの不確実性の分析に基づく発電量予報の最適化。



図、写真: IEA Wind TCP Annual report 2020(2021)より

10

各タスクの概要-類型(2)の1

(2) 先進技術 (Advanced Technology) の1

Task11 基礎技術情報交換 (Base Technology Information Exchange)



- ▶ 各国からのニーズが最も高い最新の研究開発トピックについて、情報交換を行うことにより、風力関連技術の理解の深化を促進。
※日本参加Task

Task19 寒冷気候における風力発電 (Wind Energy in Cold Climates)



- ▶ 寒冷地における風車の設置、維持管理、安全性、環境影響、稼働事例及び直近の調査結果について情報交換を行い、安全性、環境影響を考慮した大規模風車の設置を検討。

※次フェーズより、日本参加Task

Task29 風洞実験計測データ解析と風車空力モデルの改良 (Analysis of Wind Tunnel Measurements and Improvement of Aerodynamic Models)



- ▶ 風車の空気力学的モデルの妥当性の検証と改良。



11

図、写真: IEA Wind TCP Annual report 2020(2021)より

各タスクの概要-類型(2)の2

(2) 先進技術 (Advanced Technology) の2

Task30 洋上風車動的解析コード比較・検証 (Offshore Code Comparison Collaboration (OC6)) ※日本参加Task



- ▶ 実際の現象の再現性の評価を目的に、水槽試験及び実海域のデータを用いた検証。

Task39 低騒音風車 (Quiet Wind Turbine Technology)



- ▶ 騒音が少ない風車の開発及び設置手法の検討。

Task40 ダウンウィンド風車技術 (Down Wind Turbine Technology) ※日本参加Task



- ▶ ローターが風下に位置するダウンウィンド風車のIEC規格への適用に向けたモデルの検討、コスト分析。

○日本主導のTask



12

図、写真: IEA Wind TCP Annual report 2020(2021)より

各タスクの概要-類型(2)の3

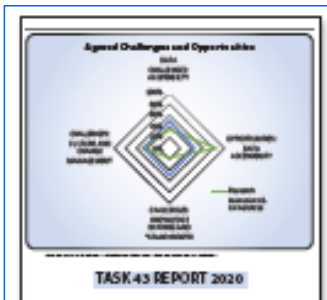
(2) 先進技術(Advanced Technology)の3

Task42 寿命延長評価(Lifetime Extension Assessment)



- 風車や風力発電機器の寿命延長のための評価技術。計画寿命(おおよそ20年)に達した多くの風車の寿命延長、リパワーリングおよび廃棄に関する実行可能な方策検討。

Task43 デジタル化(Digitalization)



- 風力エネルギーにとって意義あるデジタル化の内容検討、風力エネルギーセクターでのデジタル化の現状評価、ならびにデジタル化の強化によりもたらされる効果の解明、風力エネルギーセクターのためにデジタル化展開に資する他セクターでの類似事例の学習と推奨。



各タスクの概要-類型(3)

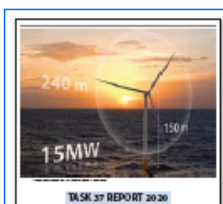
(3) 高風力量でのエネルギーシステム(Energy Systems with High Amounts of Wind)

Task25 変動電源大量導入時のエネルギーシステムの設計と運用(Design & Operation of Energy Systems with Large Amounts of Variable Generation) ※日本参加Task



- 電力システムへの風力エネルギーの大量導入を促進する最も経済的に実現可能な方法及び風力発電が大量導入された電力システムの運用に関する知識と経験の情報交換。

Task37 風力発電システムの全体設計(Wind Energy Systems Engineering: Integrated Research, Design, and Development)



- 発電量、信頼性、低コストを最大限に兼ね備えた風力発電システム全体の設計手法の検討。

Task41 分散型風力(Enabling Wind to Contribute to a Distributed Energy Future)



- 様々な規模のタービンが一定の地域に広がる場合の電力システムの革新、もしくは次世代電力システム形成とその適正制御。



各タスクの概要-類型(4)

(4) 社会、環境および経済影響 (Social, Environmental, and Economic Impact)

Task26 風力発電のコスト(Cost of Wind Energy) ※日本参加Task



- 風力エネルギーのコストに関連する知識や情報の交換を行い、参加国間でコスト要素の違いを定量化し、風力コストの計算方法を開発、共有。

Task28 風力発電プロジェクトの社会的受容性 (Social Acceptance of Wind Energy Projects) ※日本参加Task



- 風力発電事業の社会的受容性についての定性的な記述と規定要因についての分析。参加国の情報を共有し、一般的傾向を踏まえて優良事例と推奨される取り組みを提言。

Task34 風力発電における環境影響の低減策 (Working Together to Resolve Environmental Effects of Wind Energy)



- 生態系や環境への影響を緩和する風力発電プロジェクトの実施方法及び技術開発方針の検討。



15

図、写真:IEA Wind TCP Annual report 2020(2021)より

2021年から新規に開始されたTask

以下の3Taskの新規実施がExCoで承認された。国内委員会にて対応を検討/対応実施中である。

Task44 風力発電所のフロー制御 (Farm Flow Control) ※日本参加手続き中Task

- 風力発電所の制御アルゴリズムおよびパフォーマンス向上に関する研究開発。風力発電所の生産エネルギー増大、風車のウェイクによる荷重低減によるコスト削減、制御モデルのベンチマークとベストプラクティス提示が目的。

Task45 ブレードリサイクル (Enabling Wind Turbine Blade Recycling)

- 大規模なブレードのリサイクルソリューションの課題と実行戦略等のベストプラクティスを推奨することを目的。リサイクル技術、リサイクルバリューチェーンとその環境・社会・経済への影響分析、リサイクルに関連する規格・認証・法律の標準化、がテーマ。

Task46 リーディングエッジ浸食 (Leading Edge Erosion)

- ブレードのリーディングエッジの浸食(エロージョン)の課題明示化と対策の研究開発が目的。エロージョンと気候との関係解明、エロージョン下の風車タービンの運用方法、エロージョンの地上試験方法、エロージョンのメカニズム解明を各々実施。



16

新しい課題の検討

新しい課題の提案・検討

- Task11で新しいTEM(Topical Expert Meeting)候補を検討・提案。
- ExCoで提案TEM候補を審議、新TEMを選択・採択。
- 新TEM事務局がTEM開催準備/開催。
- IEA Wind 国内委員会で新TEMに参加する専門家を検討。
- 新TEMへ専門家を派遣。
- 新TEM事務局が新タスクを提案、ExCoにおいて新タスクの採択・承認。
- IEA Wind国内委員会で新タスクへの参加検討・審議。


2022年2月にExCo88後の投票で承認されたTask

ExCoで承認されたTaskは、国内委員会にて日本の参加を検討する。検討の後、参加の承認もしくは不参加を決定する。

○The new Research Task 51 (Forecasting for the Weather Driven Energy System)
※Task36の後継 ⇒Task36は不参加。Task51についても不参加。

○The new Research Task 52 (Large-Scale Deployment of Wind Lidar)
※Task32の後継 ⇒Task32は参加。Task52についても参加の方向性で検討中。

○The new Research Task 53 (Wind Energy Economics) ※Task26の後継
⇒Task26は参加。Task53についても参加予定(承認の見込み)。

 ○The new Research Task 54 (Cold Climate Wind Power) ※Task19の後継
⇒Task19は不参加。2022年開始Task54に新規に参加(承認済)。

IEA Windの活動報告:各種出版物

活動報告書はIEA Windのホームページから自由にダウンロードが可能です

<https://iea-wind.org/>



Technical Report

図は2020年2月出版の「IEA Wind TCP Task 42 Deliverable Report」の例。



Recommended Practice

図は2018年出版の「WIND/PV INTEGRATION STUDIES」の例。



Annual Report

図は2021年12月出版の2020年(暦年)版の例。

ご清聴ありがとうございました

風計測ライダー適用に関する検討状況

Task32 wind lidar

2022年3月1日

三菱電機株式会社

情報技術総合研究所

光技術部 EOシステムグループ

今城 勝治

Task32 概要

目的	ドップラーライダーの風力発電での利用ガイドラインの策定
内容	①発電サイトのアセスメント、②パワーカーブ評価、③風車制御、 ④複雑な気流、に対する、ライダー使用時の課題整理と改善方法
成果物	Recommended Practice(RP)や論文を発行して成果とする →本成果をたたき台として、IECでの標準化が検討される

Operating Agents (OA)

<https://iea-wind.org/task32/t32-participation/>



Andy Clifton



David. Schlipf



参画機関

大学・研究機関・評価機関

AIST, DNV-GL, DTU, ECN, Fraunhofer IWES, IFPEN, Korea Testing Laboratory, NREL, SWE, UL

コンサル会社

CTC, Deutsche Windguard Consulting, DEWI, Energiewerkstatt, Meteotest, Navigant, Offshore Wind consultants, Sowento

発電事業者

EDF energy, EnBW, Engie, Green Power Investment, IDA Energi, Orsted, SgurrEnergy

タービンメーカー

Enercon, Envision, General Electric, Goldwind, MingYang wind power, Nordex, Siemens-Gamesa, Vestas

浮体・その他機器メーカー

AXYS, Fugro, NRG Systems, METEK Nordic

ライダーメーカー

Leosphere, Mitsubishi Electric, Nanjing Movelaser, Windar Photonics, ZX Lidars

エンジニアリング会社

Black & Ceatch, SSE renewables, Tractebel Engie, Wood renewables

風況調査

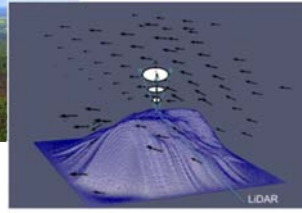
平坦地形、複雑地形、浮体搭載による洋上風況調査



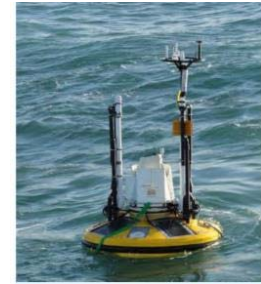
<https://www.ieawindtask32.org/wp-content/uploads/2017/12/WS07-Christos-Tsouknidas-Ground-Based-LiDARs-for-Site-Calibration-in-Forested-Flat-Terrain.pdf>



<https://www.ieawindtask32.org/wp-content/uploads/2017/12/WS07-Sara-Koller-LIDAR-in-complex-terrain-Validation-of-CFD-correction-tools.pdf>

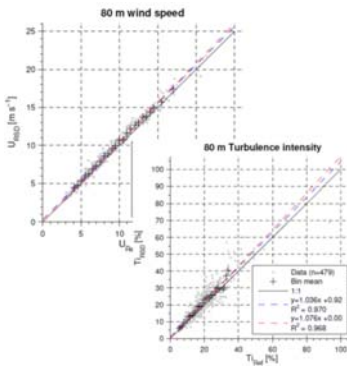


S.Nabi, *et al.*, Improving LiDAR performance on complex terrain using CFD-based correction and direct-adjoint-loop optimization. In: Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, (2020), 012082.



<https://www.ieawindtask32.org/wp-content/uploads/2016/03/WS01-Arve-Berg-Fugro-OCEANOR-SEAWATCH-Wind-LiDAR-BUOY.pdf>

カップ風速計との比較法について整理

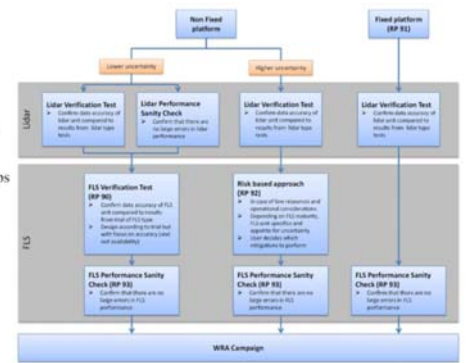


©Mitsubishi Electric Corporation

ライダータイプに対するユースケースを整理

- Use cases based on conical scanning lidar
- Flow reconstruction from conical scans in homogenous flows
 - Flow modeling to convert wind lidar measurements to point values
 - Flow reconstruction from conical scans without assuming homogenous flow
 - Vertical beam use to reduce uncertainty in the vertical component
 - Use of a smaller lidar sampling volume to reduce differences compared to cups
 - Use of a short met mast to scale lidar measurements.
- Use cases based on scanning lidar
- Use of conical sector or slice scans to qualitatively identify flow features
 - Flow reconstruction from conical sector or slice scans in complex flows
 - Scanning lidar use for quantitative analysis of wakes
 - Multiple lidar use to measure wind vectors.

浮体タイプに対する評価法を整理

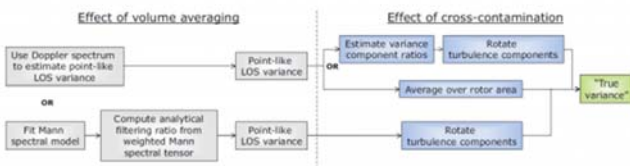


5

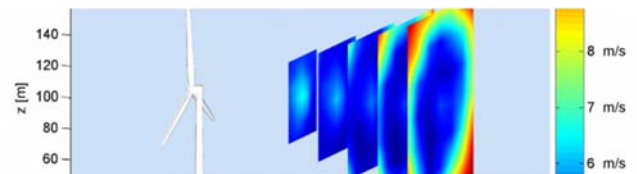
風速場評価

乱流強度計測、wake計測、風速場再構成・風況予測に関して、ライダーによる観測法や課題を共有

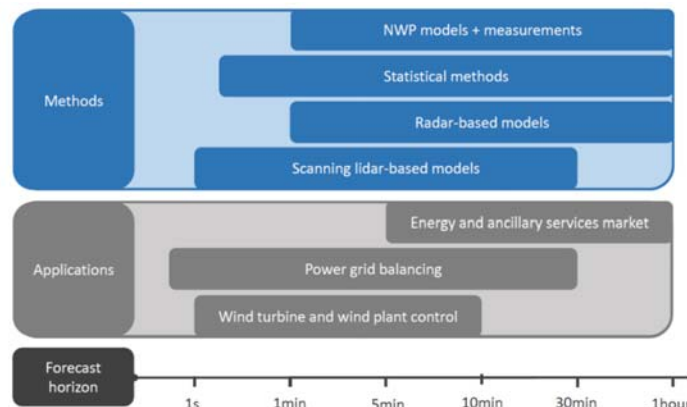
-----乱流強度の算出法-----



-----wakeの計測-----



-----風速場再構成と風況予測 (task36とコラボ) -----



I. Wurth *et al.*, Minute-Scale Forecasting of Wind Power –Results from the Collaborative Workshop of IEA Wind Task 32 and 36, *Energies* 12, 712, (2019)

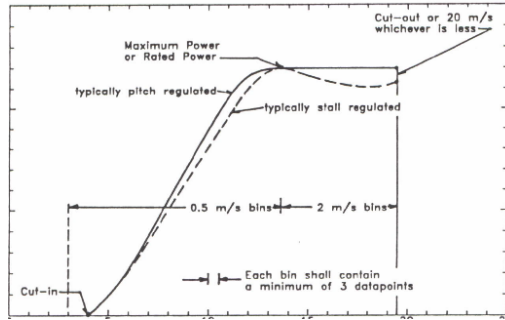
©Mitsubishi Electric Corporation

6

風車評価

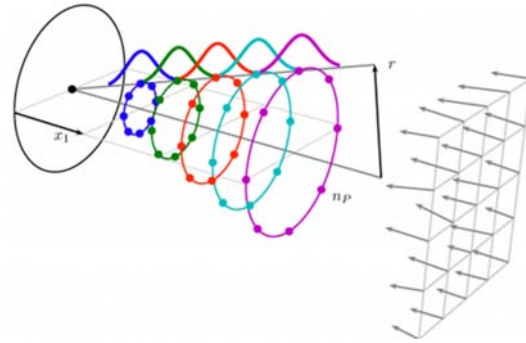
ナセル搭載ライダーでのパワーカーブ評価、風車制御
ライダーによる観測法や課題を共有

-----ライダーによるパワーカーブ計測-----



S. T. Frandsen and B. M. Pedersen, Recommended practices for wind turbine testing. 1. Power performance testing. 2. Edition 1990.

-----ライダーによるタービン制御-----



風向・風速の算出

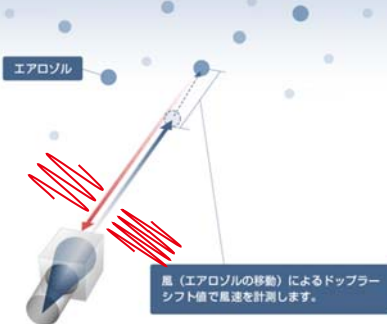
カップ式
超音波式

点（数cmの空間分解能）、数msでの時間分解能での水平風速・風向の計測

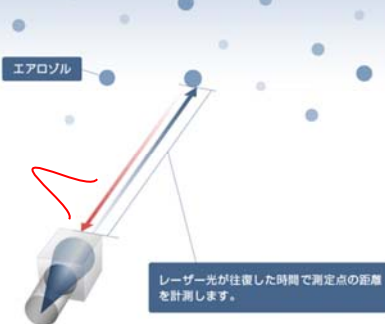
ライダー

パルス方式：パルス幅相当の距離分解能、数秒の積算時間での風向・風速分布計測
CW方式：ビーム集光長さの距離分解能、数秒の積算時間での風向・風速計測
風向を算出するには、ビーム走査するためビーム走査領域の平均風速を算出
計測距離はエアロゾル濃度に依存

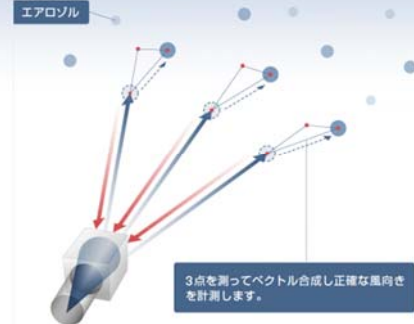
視線方向速度



視線方向距離



風向・風速



成果物 平坦地形、複雑地形、浮体搭載による洋上風況調査について RP, Technical Reportを発行

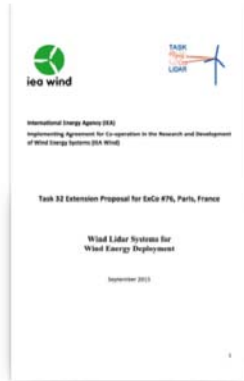
Phase I (2011 – 2015)

Updated April 2013



Phase II (2016-2018)

September, 2015



Phase III (2019-2021)

November 2018



Our Roadmap

October 2019

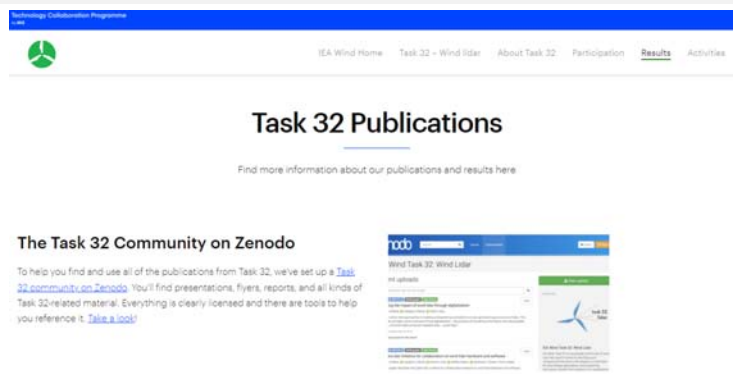


資料入手先

<https://iea-wind.org/task32/>



<https://iea-wind.org/task32/t32-publications/>



Recommended Practices

2021年度活動内容

2021年度活動概要

国内 メンバ

産業技術総合研究所 川端さん
 伊藤忠テクノソリューションズ 早崎さん
 株式会社グリーンパワーインベストメント 吉村さん

テーマ

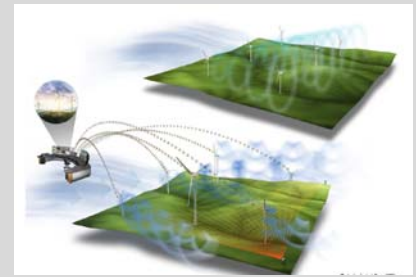
タービン・ライダー連携に向けたI/F検討
 ライダーの寒冷地適用
 複雑地形におけるライダーデータ補正に関する検討

参加 会議

- ・ March 1: Wind lidars in cold climates (CTC 早崎さん)
- ・ March 24: Complex terrain (GPI 吉村さん)
- ・ April 28: Spring Update (参加者なし)
- ・ May 25-28: Wind Energy Science Conference 2021 (AIST 川端さん)
- ・ August 4: Where next for task32 (MELCO 今城)
- ・ September 14: Complex terrain (GPI 吉村さん)
- ・ October 6: Wind lidars in cold climates (CTC 早崎さん)
- ・ November 16-18: General meeting (GPI 吉村さん)

狙い

- (1) 共通のフォーマットを定義することで様々な種類のライダーのデータ分析を実施
- (2) 取得データの保存や検索を容易にし、ユーザ間（またはサイト間）での不確かさを軽減
- (3) タービンやウィンドサイトの管理・制御を遠隔で実施



<https://zenodo.org/record/4646945#.Yep9sJLP2Uk>

活動内容

5~10分単位でのエネルギー取引に向け、ライダー性能やライダーデータを利用した予測方法の改善、経済的メリットの確認、コンセプトの実証（成功例）が必要



[https://www.ifb.uni-](https://www.ifb.uni-stuttgart.de/en/research/windenergy/projects/vamos/)

[stuttgart.de/en/research/windenergy/projects/vamos/](https://www.ifb.uni-stuttgart.de/en/research/windenergy/projects/vamos/)

【計測】洋上における新規風速計測方法、タービンの音響調査

【シミュレーション】LAC等によるタービン制御、浮体式風力発電の設計

【検証】フランスの洋上風力発電機「FLOATGEN」にて実施

2台のライダーを用いて流入側と後流側の風況を測定、

6カ月のキャンペーンを実施。2019年7月スタート、2022年6月終了

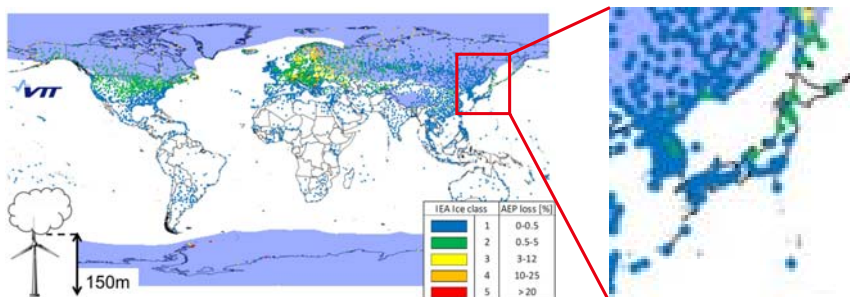
WG : Wind lidar in cold climate

狙い

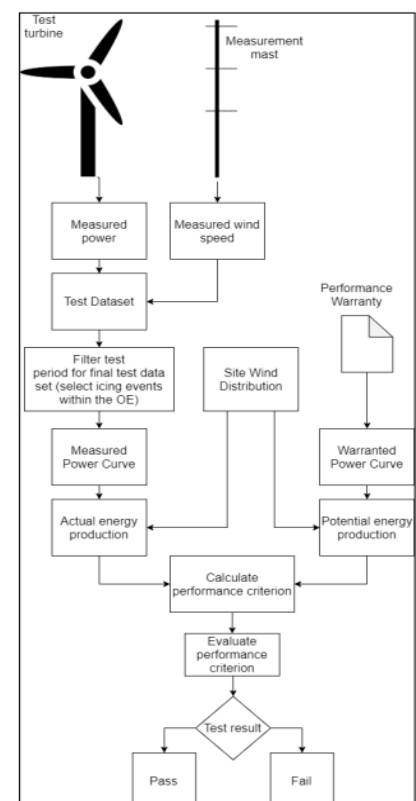
寒冷地における風力ライダーでの検証し利用ガイドラインを策定（Task19とコラボレーション）

現状

- ・ Nergica社にて取得した寒冷地データと解析コードを共有し解析着手
- ・ 寒冷地にて、3Dスキャニングライダーを用いて新たなデータ取得に関する計画を立案中



<https://iea-wind.org/wp-content/uploads/2021/09/2017-IEA-Wind-TCP-Recommended-Practice-13-2nd-Edition-Wind-Energy-in-Cold-Climates.pdf>



<https://iea-wind.org/wp-content/uploads/2021/02/Performance-Warranty-Guidelines-for-Wind-Turbines-in-Icing-Climates.v2.pdf>

狙い

多様な複雑地形におけるライダーデータに対する影響の補正方法の整理

現状

- ・オーストリア5サイト（標高1450mから1850m）での解析結果と実際の数値の比較
- ・解析結果から、補正係数から地形の影響（傾斜や曲率、標高差）や 流れの特性（鉛直風、流入角、乱流強度、シア）を分類
- ・今後報告資料の作成に入る予定

Terrain characteristics:

- Terrain slope, statistics of terrain slope
- Terrain curvature
- Elevation range & statistics
...and all of that for different distances around the measurement point.
- RIX, IEC61400-1

Flow characteristics:

- Vertical wind speed, inflow angle
- Wind shear, regularity of wind shear
- Turbulence intensity
- Stability (time of day)

Topic in General Meeting

LAC

Lidar assisted controlのパネルディスカッション

海外では1000台規模のLACタービンを納入事例があるが、成果（LAC効果）は不明
ライダー-タービン間の制御の複雑さ、コストメリットが不明、認証基準が不明、であることが課題

Panel discussion: 'Lidar assisted control'

The panel included:

- Helena Canet, TUM. *Helena's research focuses on structural design of wind turbines. She has investigated the impact of lidar-assisted control (LAC) on wind turbine cost of energy.*
- Lei Liu, Goldwind. *Lei Liu has five years of experience with LAC at Goldwind working on load reduction and AEP improvement. Goldwind has delivered approximately 1,000 wind turbines with LAC.*
- Irene Miquelez Madariaga, Public University of Navarre. *Irene is working on a LAC project focusing on robust control techniques for LAC.*
- Steven White, ZX Lidars. *ZX Lidars has 18 years of experience with nacelle and hub-mounted lidars for yaw and pitch control. Currently ZX Lidars is participating in the ReLACs lidar-assisted wind turbine control and wind farm control project.*
- Hailong Zhu, Movelaser. *Movelaser develops nacelle-mounted lidars and has delivered approx. 2,000 units.*

What have been the main barriers for LAC so far?

- Clarity and consistency in understanding cost-benefit tradeoff; good lidar cost models are needed
- Difficulties interfacing LAC with existing turbine feedback controllers creates high entry point to use LAC; complex algorithm compared to feedback controllers, especially when considering more advanced controllers
- Concerns about reliability, availability, and complexity; reduction in cost of energy with LAC is very sensitive to lidar reliability and availability
- Need to more clearly quantify the benefit, especially because of the extra lidar costs for wind plant owners
- Guidance on LAC from third parties is available, but lack of standards for certification
- Different metrics are needed to determine how well lidars will work for LAC applications

2022年度計画

風力向けライダーの状況



Ryan Dufiv on Unsplash

<https://zenodo.org/record/5163487#.YeqzhHrP2Uk>

Floating lidar have almost completely replaced masts offshore



Photo from AXYS Technologies via NREL

<https://zenodo.org/record/5163487#.YeqzhHrP2Uk>

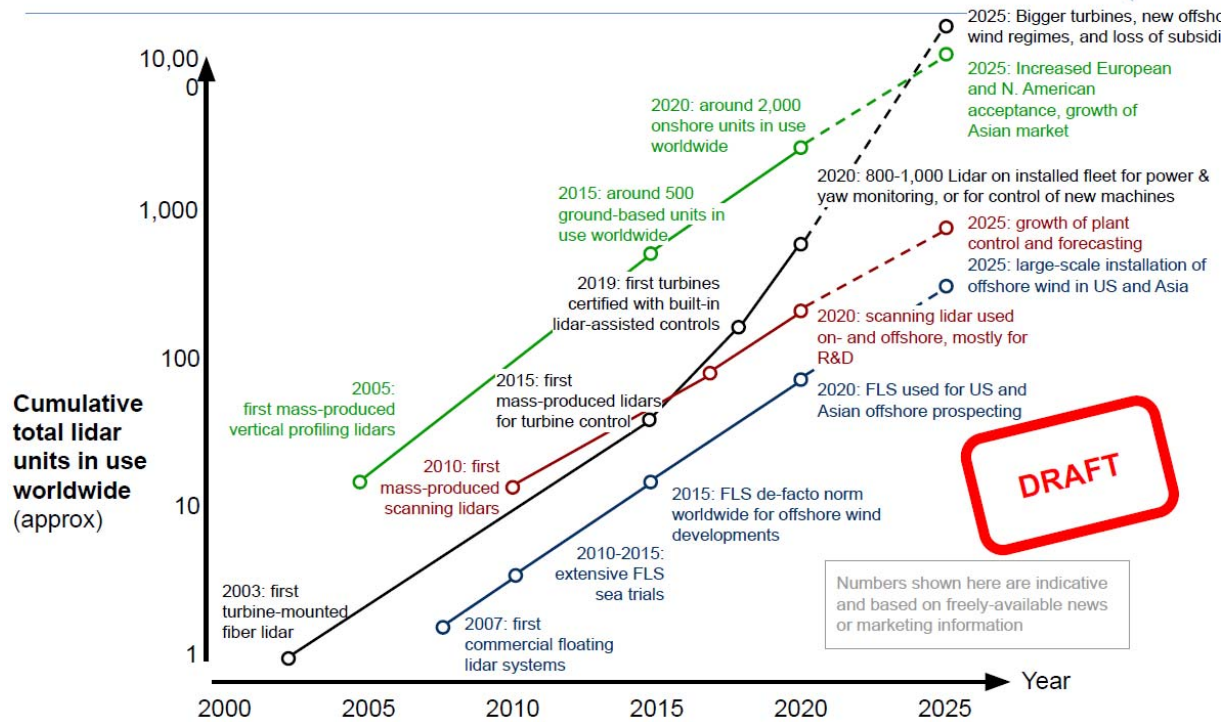
Turbine-mounted lidar are accepted for:
Yaw correction,
Power performance testing,
Turbine control



Photo by Dennis Schroeder / NREL

<https://zenodo.org/record/5163487#.YeqzhHrP2Uk>

The wind lidar fleet is growing



IEA Wind Task 32 - Wind Lidar
www.iea-wind.org/task32

Task 32 Next Phase - 4 August 2021

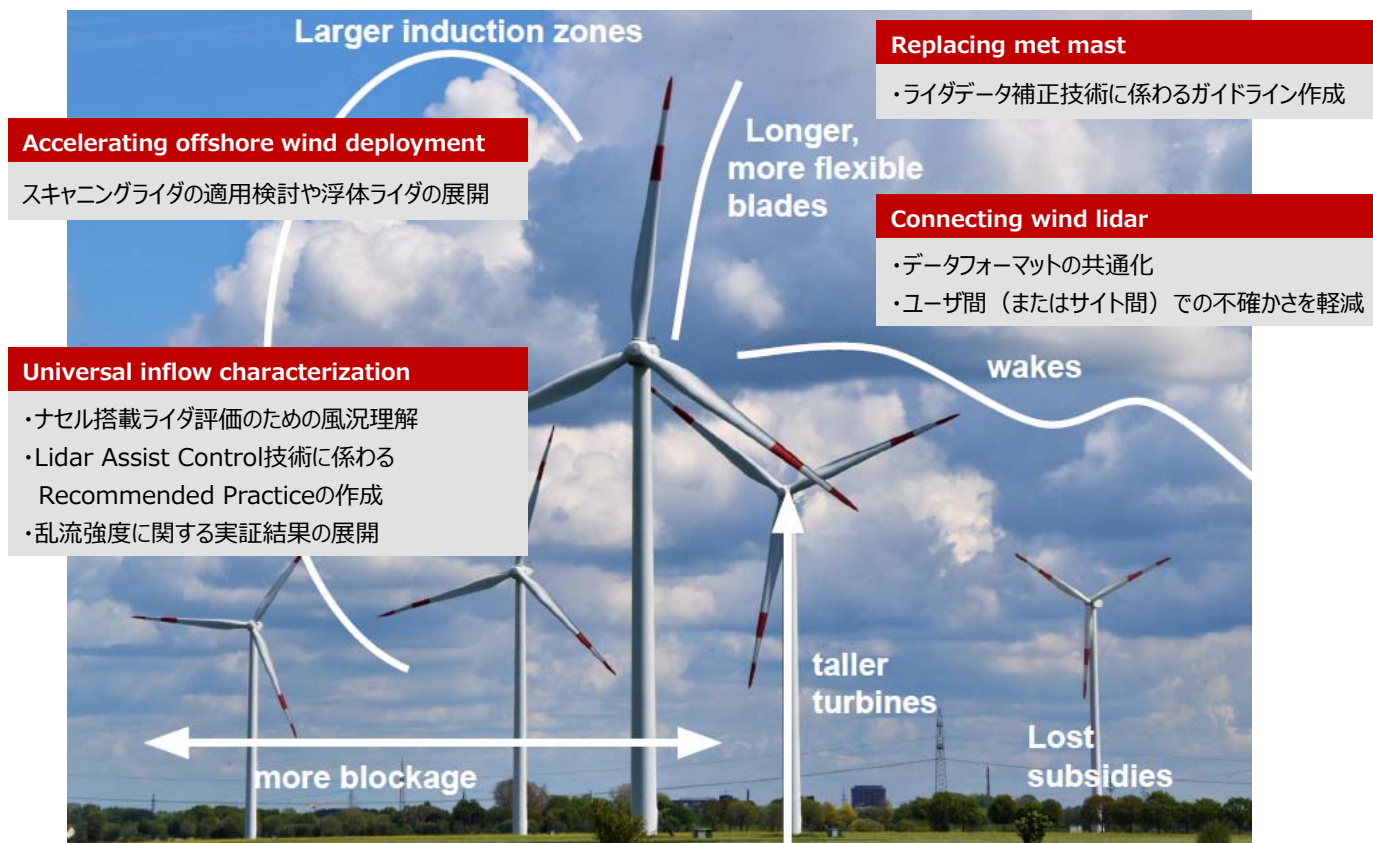
7

<https://zenodo.org/record/5163487#.YeqzhHrP2Uk>

©Mitsubishi Electric Corporation

21

近年の風力サイトでの課題とその取り組み



Larger induction zones

Accelerating offshore wind deployment
スキャニングライダの適用検討や浮体ライダの展開

Replacing met mast
・ライダデータ補正技術に係わるガイドライン作成

Longer, more flexible blades

Connecting wind lidar
・データフォーマットの共通化
・ユーザ間（またはサイト間）での不確かさを軽減

Universal inflow characterization
・ナセル搭載ライダ評価のための風況理解
・Lidar Assist Control技術に係わる Recommended Practiceの作成
・乱流強度に関する実証結果の展開

wakes

taller turbines

Lost subsidies

more blockage

<https://zenodo.org/record/5163487#.YeqzhHrP2Uk>

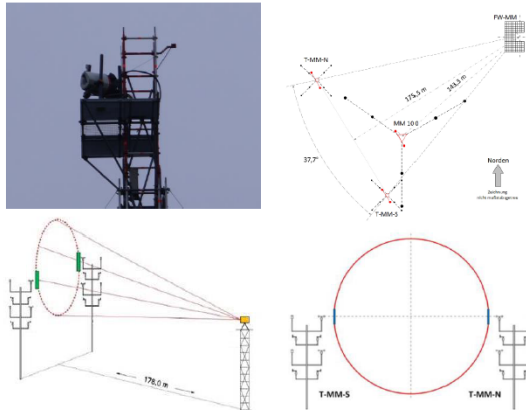
©Mitsubishi Electric Corporation

22

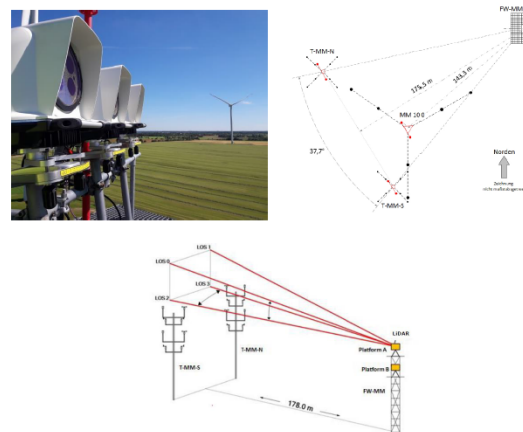
Round Robin on turbulence estimates from nacelle mounted Lidar systems

- ナセル搭載ライダーの乱流強度の計測精度の確認とその補正技術開発として
気象マストとライダーの乱流強度で良い一致を得るための処理法を検討する
- 3つのナセルライダーのデータと気象マストデータを共通し、メンバーが補正した結果をDNVが比較
データセット：2017年取得したCWナセルライダー（ライダー+マスト、ライダーのみ）
2020年取得したパルスナセルライダー（ライダー+マスト、ライダーのみ）
- 22年度の年次ミーティングにて取りまとめ結果を報告予定

- Data from a ZDM/ZX TM unit



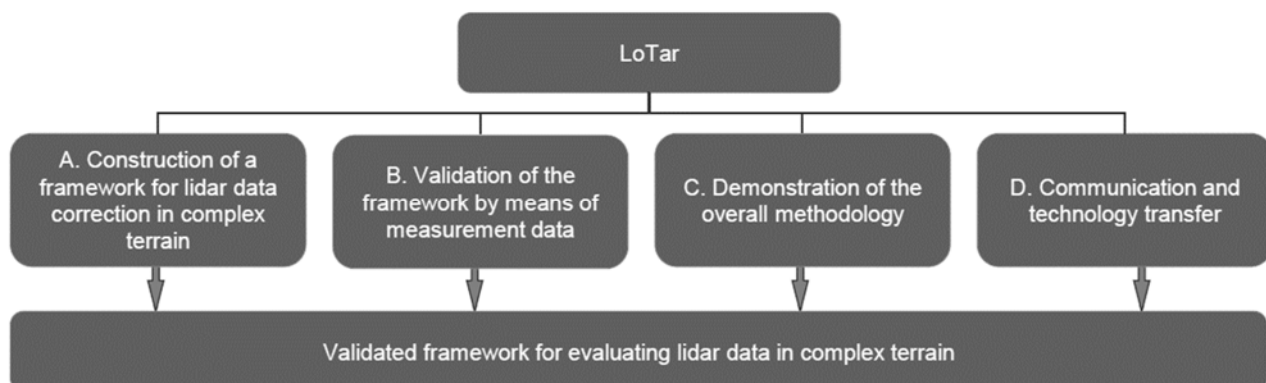
- Data from a Windcube Nacelle (2-beam mode)



<https://zenodo.org/record/5713972#.YerDnNrP2Uk>

Lidar data correction for sites in complex terrain

- ライダーデータの自動解析に寄与することを目的
- 所有するいくつかのメットマストとライダーの比較検証データを共有し、複雑地形における気象マストとライダーの誤差確認、ライダーの乱流強度の観測精度改善方法に関して検討
- ライダーデータと地形データを入力することで補正データを出力するフレームワークを確立
複雑地形におけるライダー誤差の簡易推定モジュール
機械学習に基づく乱流補正モジュール



<https://zenodo.org/record/5718668#.YerEF3rP2Uk>

Operating Agents

~2021 **Task32 Wind Lidar**
ドップラーライダーの風力発電での利用ガイドラインの策定



Dr. Andrew Clifton
University of Stuttgart
enviConnect



Prof. Dr. David Schlipf
University of Flensburg

2022~2025 **Task52 Large-Scale Deployment of Wind LiDAR**

ライダーの利便性を上げることによって風力発電の導入拡大を促すことをを目的



Prof. Dr. David Schlipf
University of Flensburg

Dr. Julia Gottschall
Fraunhofer IWES



Task30 洋上風車解析コードの検証(OC6)

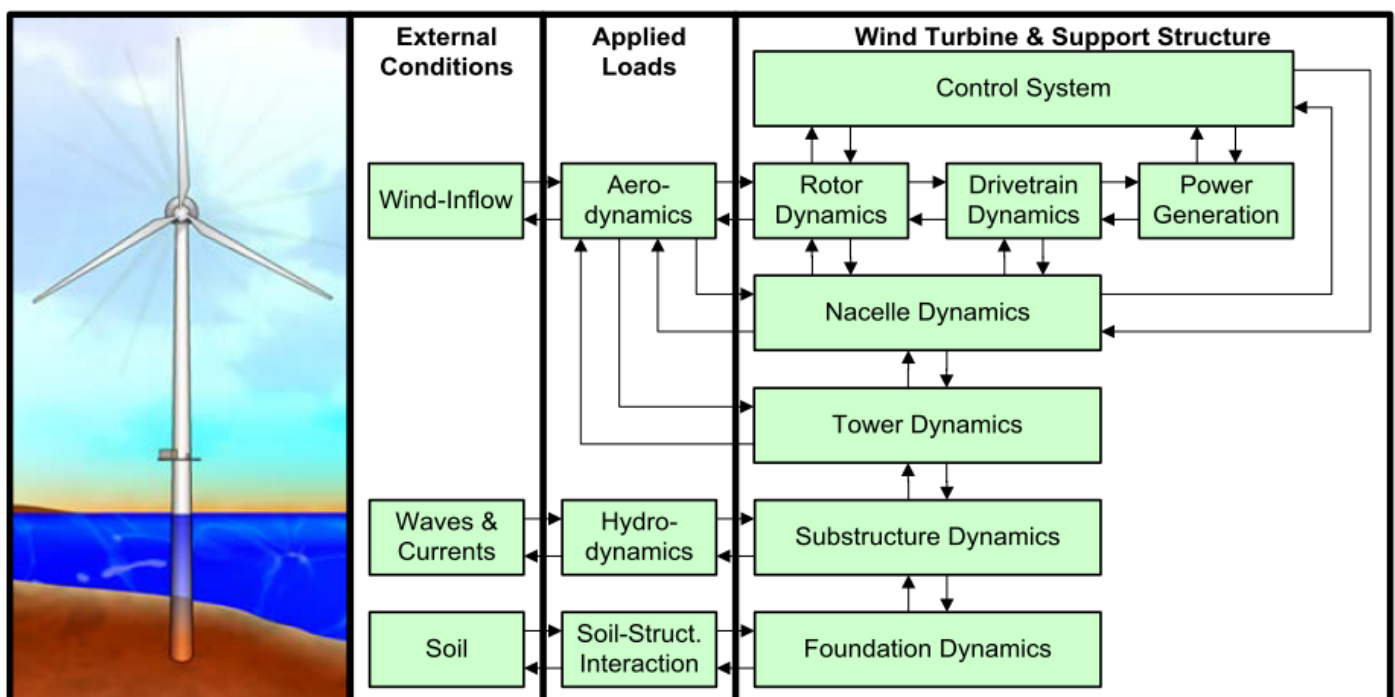
Offshore Code Comparison Collaboration Continuation with Correlation and Uncertainty (OC6)

山口 敦

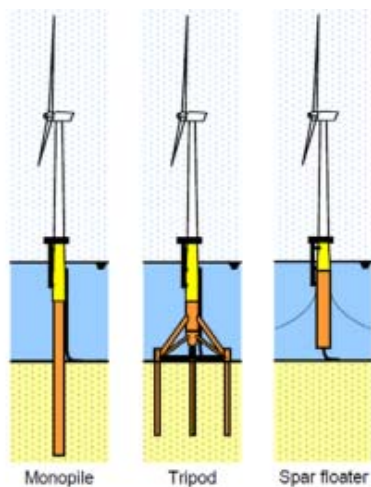


OC3(Task23)とOC4/OC5/OC6(Task30)の背景

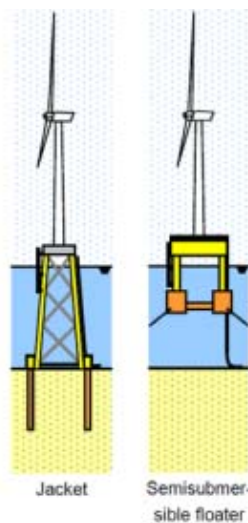
- 洋上風力発電設備は、空力-制御-弾性-流体力の連成解析コードによって設計される。
- 連成解析コードの検証が必要である。



OC3(Offshore Code Comparison Collaboration)ではモノパイル、三脚、スパー浮体、OC4(Offshore Code Comparison Collaboration Continuation)ではジャケット、セミサブ浮体を対象として、支持構造物の応答に着目し、解析コードの相互比較・検証(verification)を行ってきた。



OC3 (Phase I, II, III)
2005-2009



OC4 (Phase I, II)
2010-2013

モデル

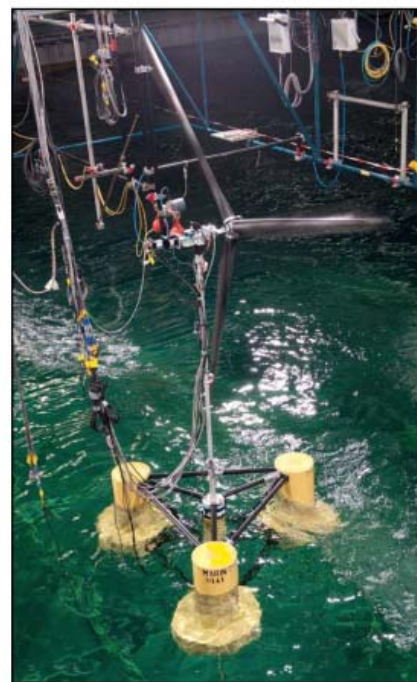
- ・ 風車はNREL 5MW
- ・ 支持構造物を定義
- ・ 風と波のデータセットを定義

段階的实施

- ・ 各支持構造物に合わせた荷重ケースを選定

OC5 (2014-2018)

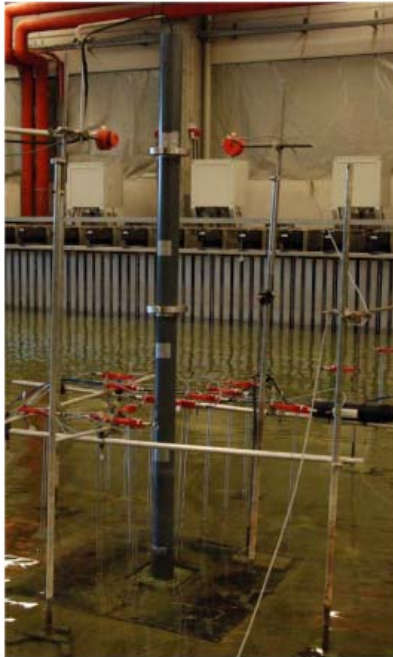
- ・ OC5ではverificationよりもvalidationに重点を置く
 - ・ verification: モデルの相互検証、物理モデルが正しく数値モデルに実装されているか?
 - ・ validation: データによる検証、数値モデルが物理現象と合致するか?
- ・ 参加者は3つのシステムをモデル化し、計算結果を実測値と比較する。
 - ・ 着床式と浮体式両方対象
 - ・ データは水槽試験と実海域のデータ両方を使う
- ・ 正式名称はOC5(Offshore Code Comparison Collaboration Continuation with Correlation)



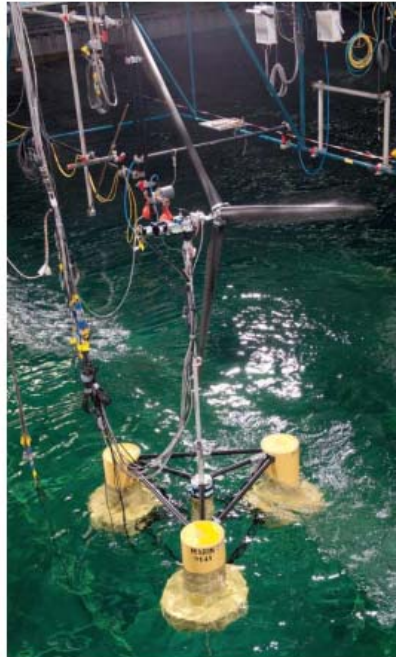
DeepCwind Tank Tests
@ MARIN

OC5の各フェーズ

2014/1～2015/5 風車なしのモノパイル基礎(流体カモデルの適用可能性を検証)
2015/1～2016/5 1:50スケールセミサブ浮体(空気力・流体力・制御の連成問題検証)
2016/1～2018/5 実スケールジャケット基礎風車(実スケール風車の検証)



Phase I:
Monopile - Tank Testing



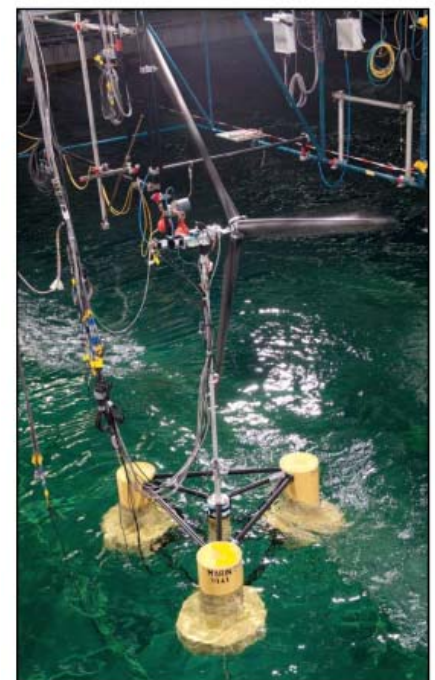
Phase II:
Semi - Tank Testing



Phase III:
Jacket/Tripod - Open Ocean

OC5 Phase II

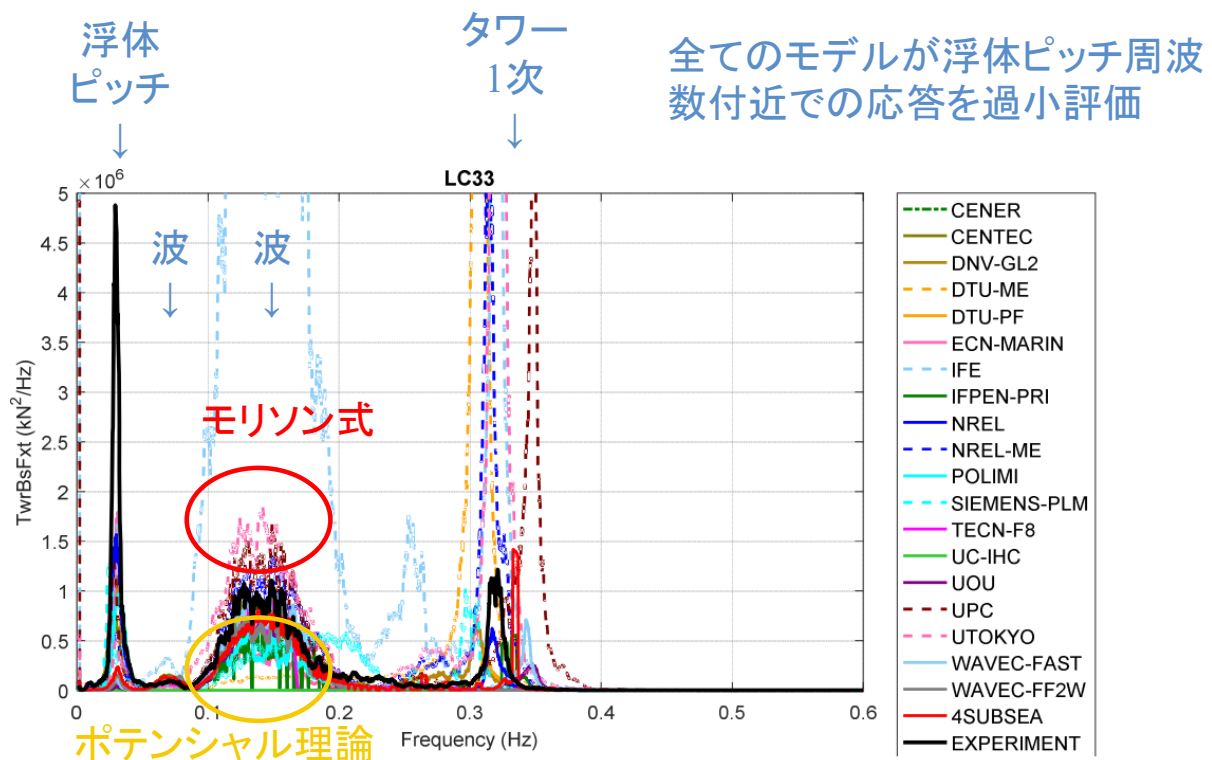
Marin (US) で行われた
DeepCwind の水槽実験
を対象としたValidation



DeepCwind Tank Tests
@ MARIN

LC3.3におけるタワー基部せん断力のPSD

線形不規則波・ $H_s=7.1\text{m}$, $T_p=12.1\text{s}$, JONSWAPスペクトル



IEA Wind セミナー 2022



OC5のまとめ

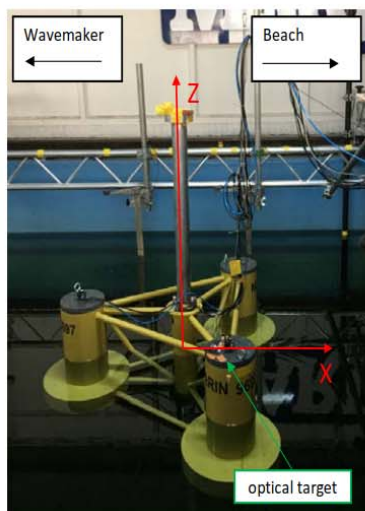
- 平均的に、どのコードもタワーに作用する荷重を過小評価する。
 - 過小評価の大きな原因は、低周波領域(浮体のピッチおよびサージの固有周期)にある。
 - この領域では、波強制力が直接作用しないため、何らかの非線形流体力が作用している。
 - 非線形流体力には、2次のポテンシャル流れ理論、高次の波運動、ストレッチング、浮体位置での流体粒子運動を考慮すること、などが含まれる。
- 係留索張力の評価には、動的モデルを使用することが重要であるが、波および流れが係留索に作用する力は重要ではない。

IEA Wind セミナー 2022

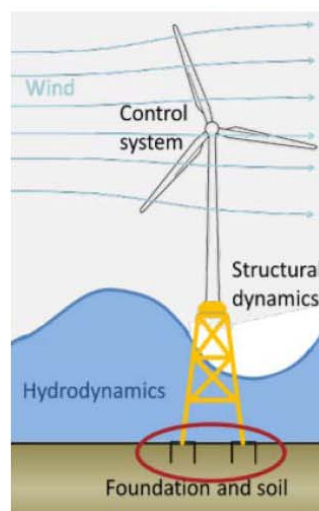


- OC6(Offshore Code Comparison Collaboration Continuation with Correlation and unCertainty)
- 検証(Validation)に焦点
 - 流体力・空気力およびその組み合わせに着目
- 3つのデータを使った検証
 - 工学モデル、高精度モデル(CFD)、実験データ
 - OC5にてシミュレーション結果と実験データが合わなかった原因を高精度モデル(CFD)を用いて解明
- 厳密な検証方法を開発し、使用する
 - 検証の目的を明確にする
 - 定量的な検証
 - 不確かさ(uncertainty)を明らかにする

OC6の各フェーズ



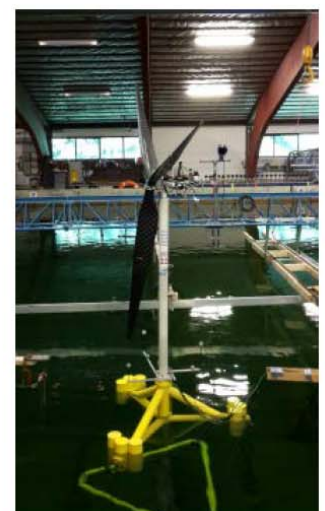
Phase I:
Nonlinear Hydrodynamics
Jan 2019 – Dec 2019
(OWN TESTING)



Phase II:
Soil/Structure Interaction
Jan 2020 – June 2020
(REDWIN)



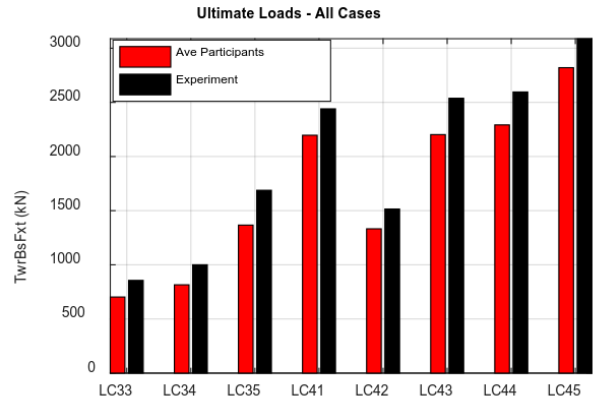
Phase III:
Aerodynamics under Motion
July 2020 – June 2021
(LIFES50+)



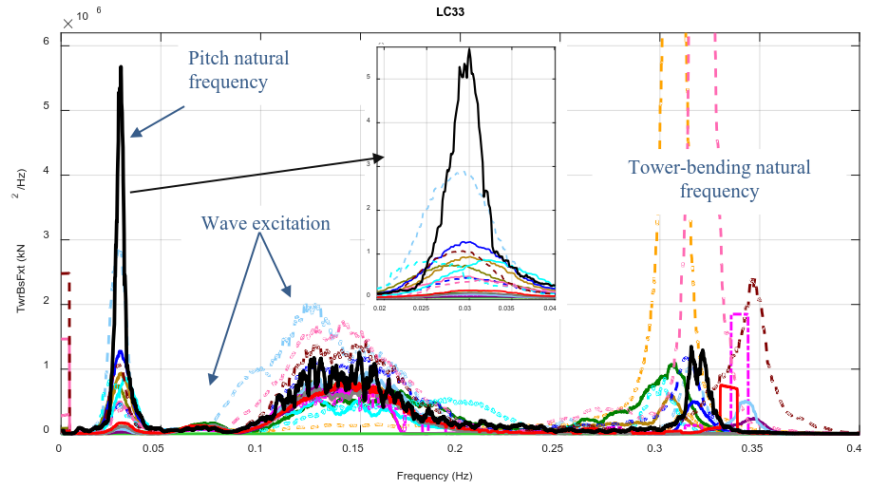
Phase IV:
Hydrodynamic Challenges
July 2021 – June 2022
(STIESDAL)

OC6 Phase 1 の目的

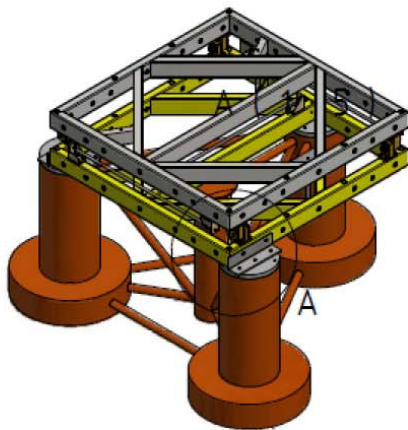
- 浮体のピッチ/サージ固有周期での応答の過小評価の原因を明らかにする
 - OC5 Phase 2 の結果によると平均でシミュレーション結果は20%の過小評価。これはピッチ/サージ固有周期での応答の過小評価による。



- 浮体を固定した実験・浮体を係留した実験の結果を利用

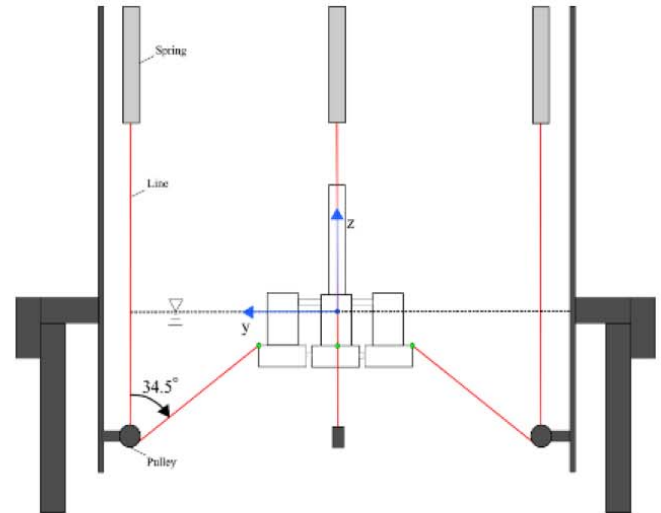
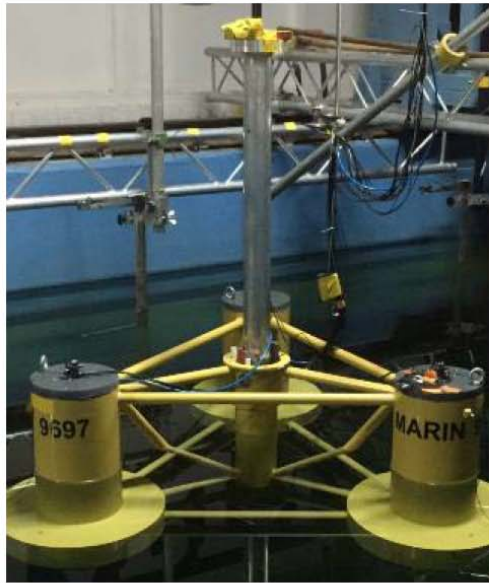


浮体を固定した実験



- フレームに浮体を固定
- 浮体に作用する力とモーメント各3成分、計6成分を計測
- サージ方向の強制動揺試験と、曳航試験も実施

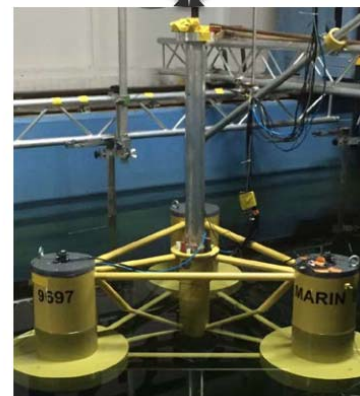
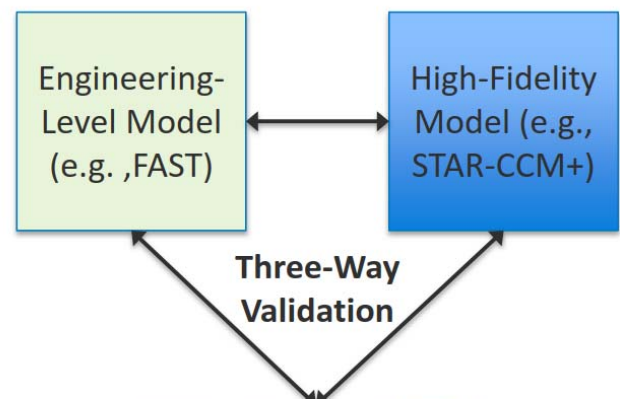
浮体を係留した実験



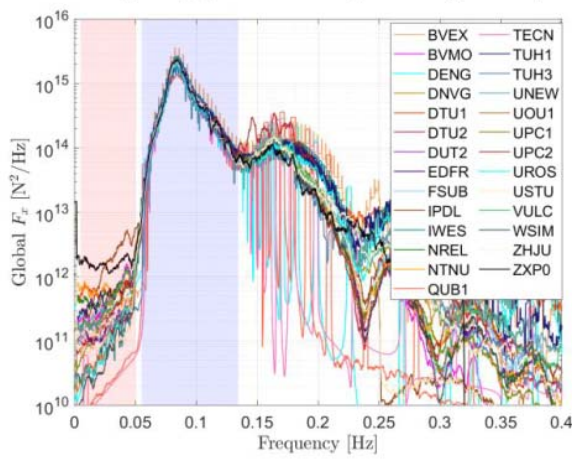
- 風車なし、タワーと浮体のみ
- 光学計測装置で動揺を計測
- 実験の不確かさに焦点

3-way validation

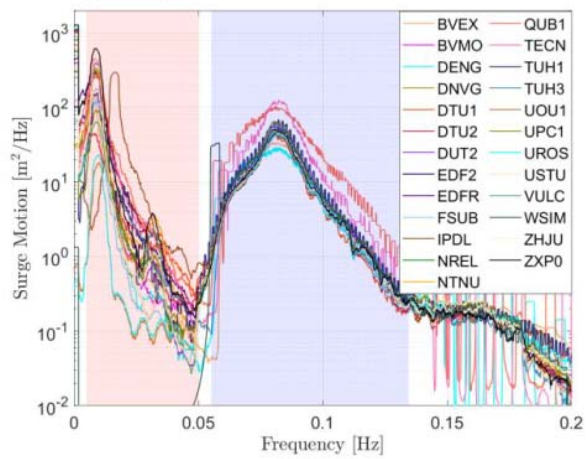
- CFDにより工学モデルが実現象と一致しない原因を明らかにする
- CFDの結果を用いて工学モデルを改良する。
- CFDの結果を利用して、工学モデルをチューニングする方法を確立する。



Phase I の結果

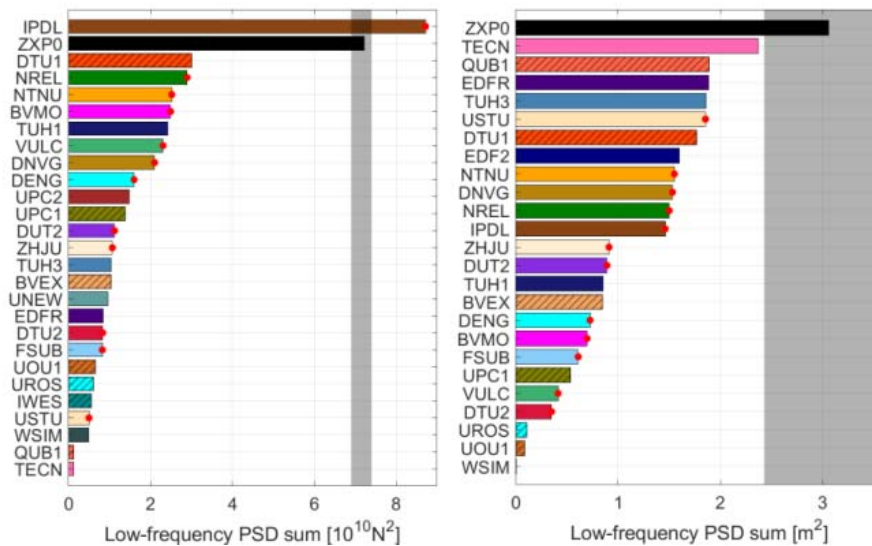


LC3.3 浮体を固定した実験
不規則波中での、浮体に作用する流体力(Fx)のパワースペクトル



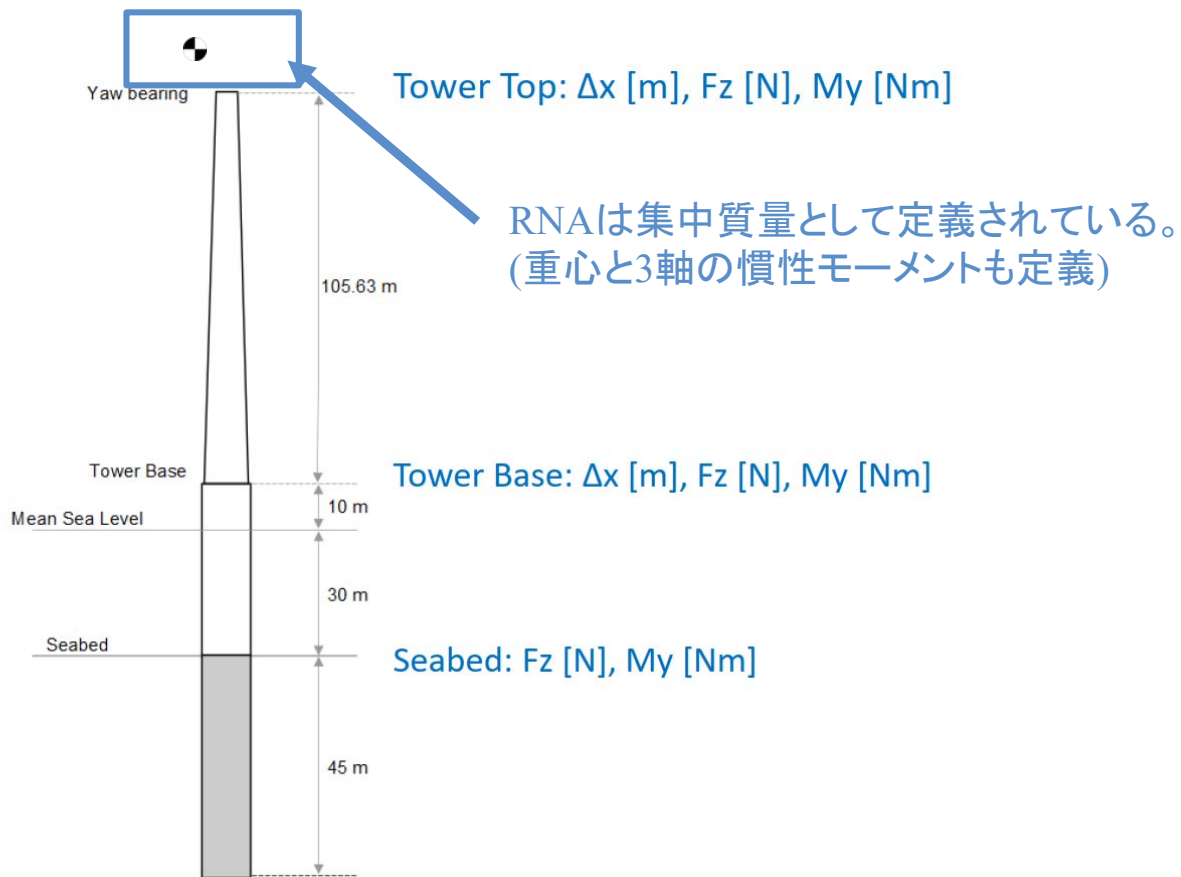
LC5.3 浮体の応答
不規則波中での、浮体のサージ動揺

低周波域でのスペクトルの積分値



- ポテンシャル理論の場合は、2次の波強制力を含めた方がよい結果
- モリソン式の場合は、ストレッチングを導入し、非線形の波モデルを用いる方がよい

Phase 2 モノパイル基礎と地盤の相互作用



Load Case Table (1.x / 2.x)

	Load Case	Enabled DOFs	Wind Conditions	Marine Conditions	Comparison Type
Static Analysis	1.1	Tower, substructure (clamp at seabed)	None	None	Static response
	1.2	Tower, substructure, foundation	None	None	Static response
	1.3	Tower, substructure, foundation	$F_x = 1500$ kN at yaw bearing	None	Static response
Eigen-analysis	2.1	Tower, substructure (clamp at seabed)	None	None	Frequencies, damping, and mode shapes
	2.2	Tower, substructure (clamp at seabed)	None	Still water	Frequencies, damping, and mode shapes
	2.3	Tower, substructure, foundation	None	Still water	Frequencies, damping, and mode shapes

1.x 静的解析

2.x 固有値解析

Load Case Table (3.x / 4.x / 5.x)

風荷重

Wind-Only	3.1	Tower, substructure, foundation	Prescribed time series at yaw bearing $V_{hub} = 9.06$ m/s	None	Time series (t = 3600 s)
	3.2	Tower, substructure, foundation	Prescribed time series at yaw bearing $V_{hub} = 20.90$ m/s	None	Time series (t = 3600 s)
Wave-Only	4.1	Tower, substructure, foundation	None	Regular waves: $H = 5.50$ m, $T = 9.0$ s	Time series (t = 90 s)
	4.2	Tower, substructure, foundation	None	Irregular waves: Pierson-Moskowitz wave spectrum $H_s = 1.25$ m, $T_p = 5.5$ s	Time series (t = 3600 s)
	4.3	Tower, substructure, foundation	None	Irregular waves: JONSWAP wave spectrum $H_s = 7.60$ m, $T_p = 8.6$ s, $\gamma = 5.00$	Time series (t = 3600 s)
Wind + Waves	5.1	Tower, substructure, foundation	Prescribed time series at yaw bearing $V_{hub} = 9.06$ m/s	Irregular waves: Pierson-Moskowitz wave spectrum $H_s = 1.25$ m, $T_p = 5.5$ s	Time series (t = 3600 s)
	5.2	Tower, substructure, foundation	Prescribed time series at yaw bearing $V_{hub} = 20.90$ m/s	Irregular waves: JONSWAP wave spectrum $H_s = 3.75$ m, $T_p = 7.5$ s, $\gamma = 1.37$	Time series (t = 3600 s)

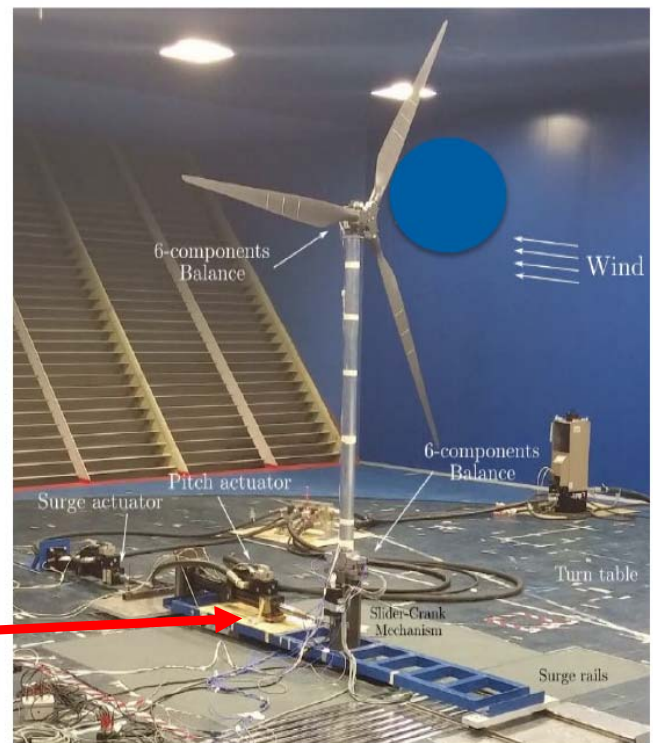
波荷重 + 風荷重

Phase 3 浮体動揺下での空力

目的:
大振幅の浮体動揺下での風車ロータに作用する空気力の検証

ミラノ工科大学での風洞実験結果を検証に使用

アクチュエータ
(ピッチ・サージ)



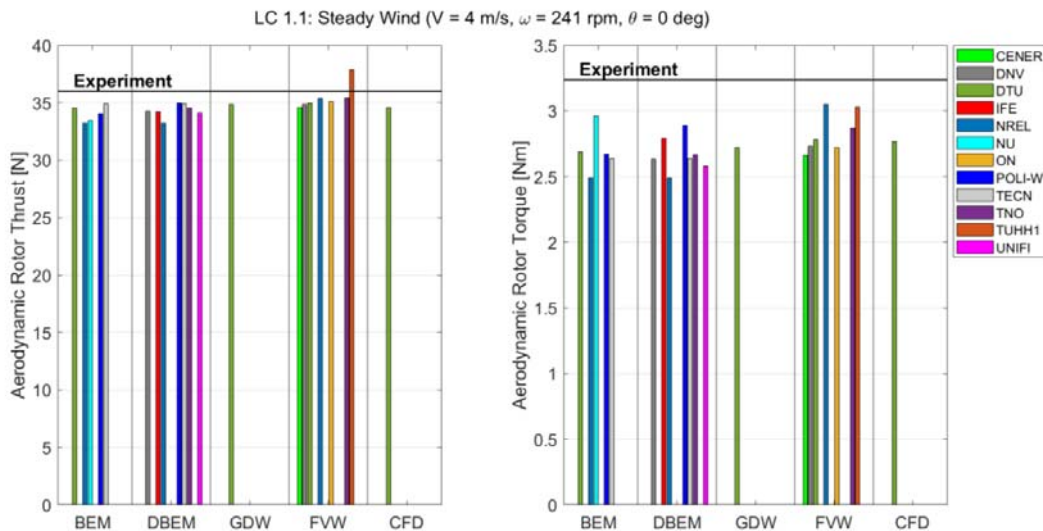
Polimi wind tunnel with scaled DTU-10MW RWT

Phase 3 Load cases (1.x)

Table 5: LC 1.X Prescription

Load Case	V_0 (m/s)	Ω (rpm)	Λ (-)	θ_P (°)
1.1 - Rated 2	4.0	241	7.5	0
1.2 - Above Rated	6.0	265	5.5	12.5

定常風, ロータ回転数一定, ピッチ角固定, 浮体動揺なし



Phase 3 Load cases (2.x)

Table 6: LC 2.X Prescription

Load Case	V_0 (m/s)	F_{surge} (Hz)	A_{surge} (m)	Ω (rpm)	θ_P (°)	CW	AW	PIV	Test #
2.1	4.0	0.125	0.125	241	0	✓	✓	✓	33
2.2	4.0	0.125	0.03	241	0	✓		✓	36
2.3	4.0	0.5	0.065	241	0	✓	✓	✓	41
2.4	4.0	0.5	0.015	241	0	✓		✓	44
2.5	4.0	1.0	0.035	241	0	✓	✓	✓	50
2.6	4.0	1.0	0.01	241	0	✓		✓	52
2.7	4.0	2.0	0.008	241	0	✓	✓	✓	59
2.8	4.0	2.0	0.004	241	0	✓		✓	60
2.9	6.0	0.125	0.125	265	12.5	✓		✓	65
2.10	6.0	1.0	0.035	265	12.5			✓	83
2.11	6.0	2.0	0.0125	265	12.5	✓		✓	91

定常風, ロータ回転数一定, ピッチ角固定,
サージ方向に強制動揺

IEA Wind – Task 31 WAKEBENCH Phase 3

ウインドファーム流れモデルのベンチマーク

植田 祐子

株式会社ウインドエナジーコンサルティング

第10回 IEA Wind セミナー 2022年3月1日

Task 31 Wakebench 概要



◆ 目的

- ウインドファームのフローモデル及びウェイクモデルの開発、評価及び精度向上を目指した国際的な産学によるベンチマークプロジェクト
- モデル評価手順の合意形成をし、国際的なV&Vフレームワークを構築する

◆ 参加国（10カ国）

- 中国、デンマーク、フランス、ドイツ、日本、オランダ、スペイン、スウェーデン、スイス、米国

◆ Phase

- **Phase3 2018年6月～2021年5月： 国際的V&V戦略、IEC61400-15及び61400-12-4を通じた産学連携、オープンサイエンスベンチマーク**
- Phase2 2015年6月～2018年5月： 関連スケールに拡張したフレームワークの構築
- Phase1 2011年10月～2014年9月： マイクロスケールモデル、V&Vフレームワークの定義

◆ ワークパッケージ

- WP1: 外部風条件に対するモデルのベンチマーク（CENER）
 - 国際規格へのV&Vの実装検討 IEC61400-15 及びIEC61400-12-4
 - 風モデルのベンチマークの設定及び実施
- WP2: ウェイクモデルのモデルベンチマーク（NREL）
 - 国際規格へのV&Vの実装検討 IEC61400-15
 - ウェイクモデルのベンチマークの設定及び実施
- WP3: 検証と妥当性確認及び不確かさの定量化のベンチマーク（SNL）

国	契約組織	参加組織
中国	中国再生可能エネルギー学会	華北電力大学(NCEPU) ミンヤン ゴールドウインド エンヴィジョン 華能クリーンエネルギー研究所 (HCERI)
デンマーク	エネルギー庁	デンマーク工科大学(DTU) ベスタス
フランス	EDF R&D IFP Energies Nouvelles	EDF R&D IFP Energies Nouvelles Metedyn
ドイツ	ユーリッヒ総合研究機構	オルデンブルグ大学 ForWind ブラウンホーファーIWES エネルギー シュトゥットガルト大学 ミュンヘン工科大学 エスリングゲン大学
日本	NEDO	東京大学 ウインドエナジーコンサルティング(WINC) 豊橋技術科学大学 みずほ情報総研 東芝エネルギーシステムズ
オランダ	オランダ企業局	デルフト工科大学(TU-Delft)
スペイン	CENER	CENER
スイス	スイス連邦エネルギー庁	スイス連邦工科大学ローザンヌ校(EPFL) ラッペルスウィル応用科学大学(HSR)
スウェーデン	ウプサラ大学	ウプサラ大学
米国	NREL	NREL サンディア国立研究所(SNL) コロラド大学ボルダー校 ワイオミング大学

Task31 Phase3 スケジュール

2018年6月 ~ 2021年5月

IEA Task 31 "Wakebench" Phase 3 Work Plan	Year 1		Year 2		Year 3	
	M6	M12	M18	M24	M30	M36
WP0: Management and Coordination (CENER)						
Task 0.1: Administrative management						
Task 0.2: Scientific and technical management						
Task 0.3: Communication and dissemination						
D0.1, M0.2: Website in IEA-Wind	O					
D0.2, M0.2: Progress Reports/ ExCo meetings	R/M	R/M	R/M	R/M	R/M	M
D0.3: Final management report						R
M0.1: Kick-off meeting	M					
M0.3: Annual in-person meetings		M		M		M
WP1: Benchmarking of models for external wind conditions (CENER)						
Task 1.1: Review & implementation of V&V strategy for IEC-15 and IEC-12-4						
Task 1.2: Setting-up and execution of "wind" benchmarks						
D1.1: Quality acceptance criteria for wind flow models			R			
D1.2: "Wind" benchmark repositories (Windbench)	O	O	O	O	O	O
D1.3: Roadmap for wind flow models			R			
M1.1: Roadmap for wind flow models reviewed			Ms			
WP2: Benchmarking of wind farm wake models (NREL)						
Task 2.1: Review & implementation of V&V strategy for IEC 61400-15						
Task 2.2: Setting-up and execution of "wake" benchmarks						
D2.1: Quality acceptance criteria for wake models			R			
D2.2: "Wake" benchmark repositories (Windbench)	O	O	O	O	O	O
D2.3: Roadmap for wake models			R			
M2.1: Roadmap for wake models reviewed			Ms			
WP3: V&V framework, uncertainty quantification and user guidelines (SNL)						
Task 3.1: PIRT analysis and V&V strategy						
Task 3.2: Best practice procedures						
D3.1: 3rd edition of Model Evaluation Protocol						R
D3.2: 3rd edition of best practice procedures						R
D3.3: White paper on wind farm flow modeling and evaluation						R
M3.1: International PIRT implemented		Ms				

M = Meeting; Ms = Milestone; R = Report; O = Online

◆ 会議

- キックオフミーティング、ミラノ@Torque2018、2018年6月19日
- NEWA, IEA-Wind Task 31, EERA JP Wind ワークショップ、風資源評価R&Dロードマップ、ウブサラ、2019年1月
- 第1回年会、NREL、ボルダー、2019年3月、Task29共同開催
- 中間会議、ウブサラ、2019年5月
- 中間会議、アマースト、2019年10月
- 第2回年会、オンライン、2020年6月27日
- 最終会議、オンライン、2021年5月12日

◆ ブログ（閉鎖中）、ニュースレター：
<https://thewindvaneblog.com>

- ベンチマークガイド、実験、ニュース、その他（20）
- ニュースレター（4）
- YouTubeチャンネル（5）

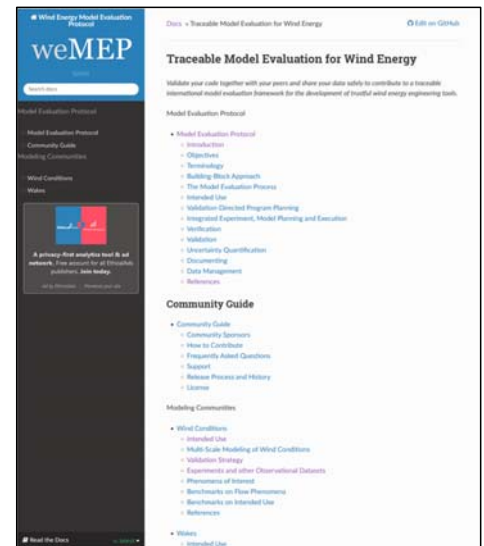
◆ 国際会議

- IEA-Wind + AEE Industry day、ビルバオ、2019年4月1日
- WESC ミニシンポジウム、コーク、2019年6月17-20日
- 風資源評価フォーラム、2020年10月
- WESC ミニシンポジウム、ハノーバー、2021年5月25-28日

◆ 最終成果物：

<https://wemep.readthedocs.io/en/latest/index.html#>

- 風力エネルギーモデル評価手順



最終成果物 weMEEP

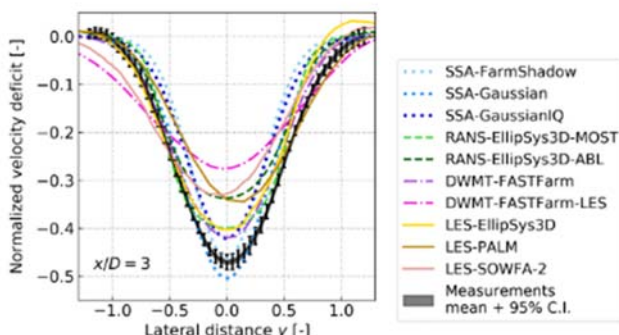
A2e - SWiFT (NREL) - Power & Loads

◆ NRELの実証研究設備 SWiFT

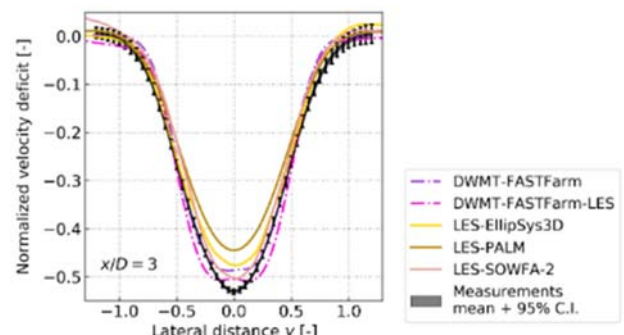
- スケール風車（V27, ロータ径27m）によるシングルウェイク計測（大気安定度別の評価）
- 風車間距離：3D, 5D, 6D
- 6チームの参加者、11種類のモデル
- 流入風、風車応答（風車トルク、ロータスピード、曲げモーメント等）のブラインドテスト

モデルベンチマーク²⁾

Simulation Name	Inflow Model	Turbine Model	Wake Model	Cases	Institution
SSA-FarmShadow	Prescribed	C_p, C_t	FarmShadow (SSA)	NUS	IFPEN
SSA-Gaussian	Prescribed	C_p, C_t	FLORIS (SSA)	NUS	NREL
SSA-GaussianIQ	Prescribed	C_p, C_t	FLORIS (SSA)	NUS	NREL
RANS-WakeBlaster	Prescribed	C_p, C_t	WakeBlaster (RANS)	NS	PPE
RANS-EllipSys3D-MOST	MOST	Actuator Disk	EllipSys3D (RANS)	NUS	DTU
RANS-EllipSys3D-ABL	ABL	Actuator Disk	EllipSys3D (RANS)	NUS	DTU
DWMT-FASTFarm	Stochastic	BEM	FAST.Farm (DWMT)	NUS	NREL
DWMT-FASTFarm-LES	LES	BEM	FAST.Farm (DWMT)	NUS	NREL
LES-EllipSys3D	LES	Actuator Line	EllipSys3D (LES)	NU	DTU
LES-PALM	LES	Actuator Line	PALM (LES)	NU	ForWind
LES-NaluWind	LES	Actuator Line	Nalu-Wind (LES)	NU	SNL
LES-SOWFA	LES	Actuator Line	SOWFA (LES)	N	IFPEN
LES-SOWFA-2	LES	Actuator Line	SOWFA (LES)	NUS	NREL



MEANDERING有り²⁾

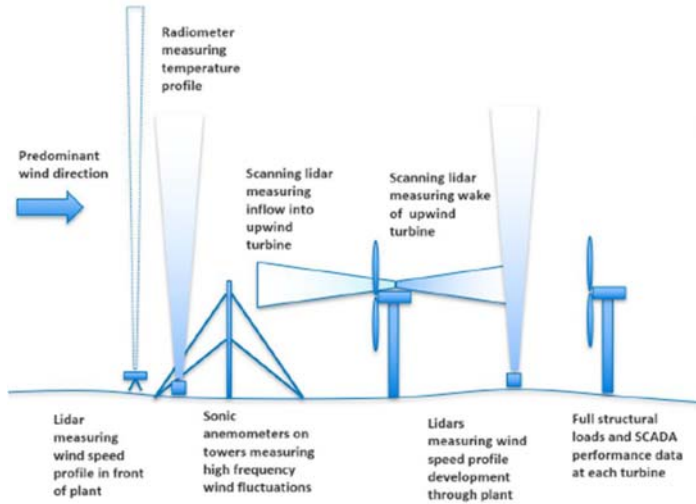


MEANDERING無し²⁾

Ref.1) P. Doubrawa, et al., Multimodel validation of single wakes in neutral and stratified atmospheric conditions, <https://doi.org/10.1002/we.2543>, July 2020.
 Ref.2) P. Doubrawa, IEA Task31 Meeting June 17, 2020.

◆ ウィンドファーム風況観測プロジェクト

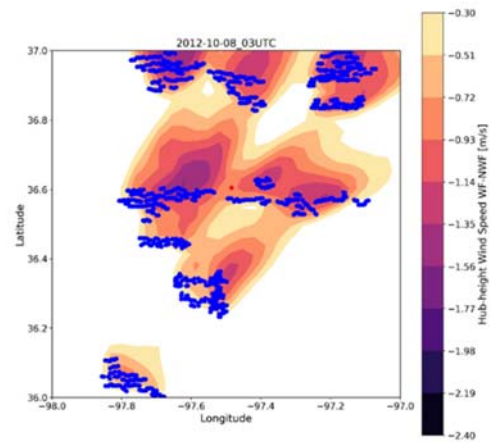
- 米国中西部、地形的にはシンプル、気象条件が複雑
- 国際的なウィンドファーム観測プロジェクト (NSF, Horizon2020, NOAA等の外部研究資金)
- 風車とウィンドファームの相互作用の理解が目的
- WP1: 機器開発、WP2: シミュレーション、WP3: データ管理



観測戦略⁴⁾

スケジュール

- 2020年 9月 観測機器開発ロードマップ
- 2021年 6月 観測設計完了
- 2021年10月 現地設置及び校正
- 2022年 1月 長期間観測キャンペーン(2023年9月まで)
- 2023年 1月 短期間観測キャンペーン(2023年9月まで)
- 2022年 4月 モデル検証、データ分析、蓄積(2024年9月まで)
- 2024年 9月 プロジェクト終了



ハブ高における風速分布³⁾

Lundquist, 2020

Ref.3) P. Moriarty, IEA Task31 Meeting June 17, 2020.
 Ref.4) P. Moriarty, et.al., American WAKE experiment (AWAKEN), NREL/TP-5000-75789, May 2020.

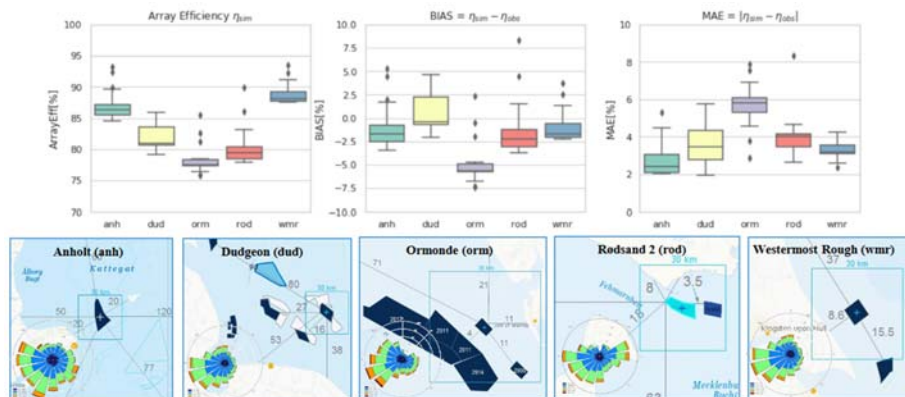
OWA ウェイクモデルチャレンジ (CENER) - Offshore

◆ Carbon TrustのOWAプログラム : Wake Modelling Challenge

- 5つのウィンドファーム
- メソスケールシミュレーションによる流入風 (メソ-ウェイクアプローチ)
- 風速ビン平均のアレイ効率の評価
- オープンソースモデル評価手法の構築
- 全体的にネガティブのバイアス
- ファーム間ウェイク予測のバイアスが大きい

モデルベンチマーク

ID	Participant	Models (Code)	Type	Approach	Input
0	CENER	Porté-Agel, Jensen, Multi-zone (FLORIS)	ENG	time-series	ref
1	ProPlanEn	WakeBlaster	RANS-Parabolic	time-series	wt
2	TU-Delft	PARKB3, Bastankah&Porté-Agel (eWakeLab)	ENG	time-series	wt
5	EMD	PARK2 (windPRO)	ENG	time-series	wt
7	IFP Energies Nouvelles	Ishihara&Qian, Bastankah&Ishihara&Qian, super-Gaussian/Ishihara&Qian	ENG	time-series	ref
8	EDF Renewables	PARK, PARK2 (windPRO)	ENG	time-series	wt
9	Lloyd's Register	WindPro/WakeBlaster	ENG	bin-averages	ref
10	Anonymous	Anonymous	ENG	bin-averages	ref
11	Anonymous	Anonymous	RANS	bin-averages	ref
12	Anonymous	Anonymous	ENG	bin-averages	ref
13	Anonymous	Anonymous	RANS	bin-averages	ref
13	Ensemble	1 + 2 + 5 + 8		time-series	wt



ベンチマーク結果サマリー⁵⁾

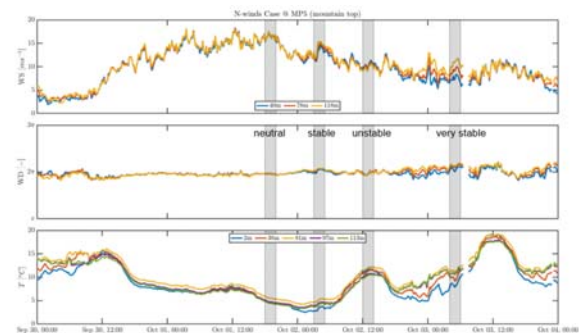
Ref.5) J.S. Rodrigo et.al, Validation of Meso-Wake Models for Array Efficiency Prediction Using Operational Data from Five Offshore Wind Farms. J. Phys. Conf. ser. Vol.1618, 062044, (2020).

◆ CENERのAlaizサイト

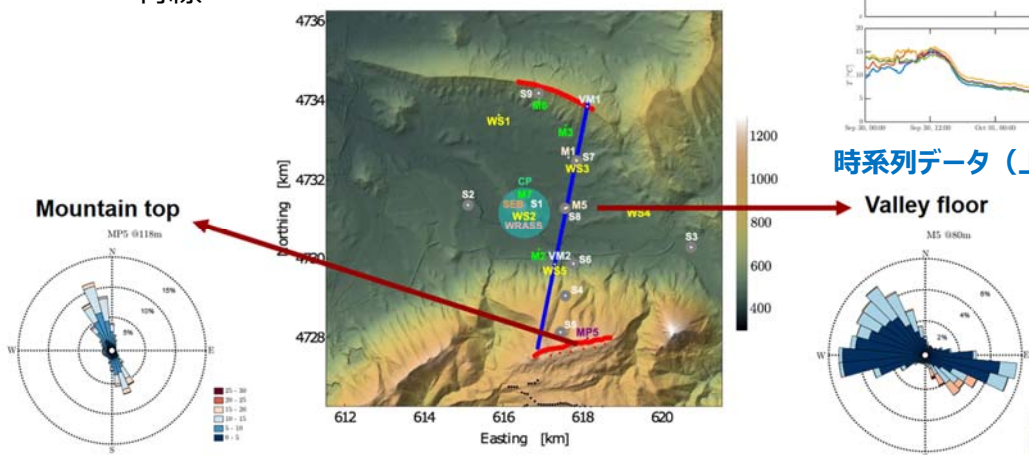
- 複雑地形における日変化 (4日間)
- 谷間と尾根での風況の違い
- 大気安定度の影響評価
- ベンチマーク用入力データ：高解像度地形データ、粗度データ、WRFデータ (netCDF)、マストデータ
- Validationデータ：マスト地点のプロファイル、水平断面@126m高、鉛直断面 (RHI) @青線

スケジュール

- 2019年11月 キックオフ
- 2020年Q2：結果の提出
- 2020年Q3：議論及び論文素案
- 2020年Q4：論文提出



時系列データ (上：風速、中：風向、下：気温)

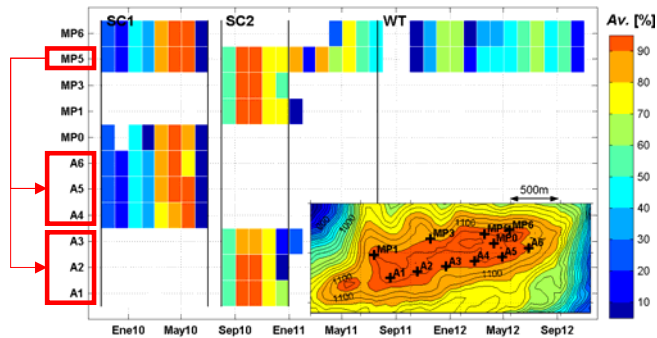


Alaizサイト

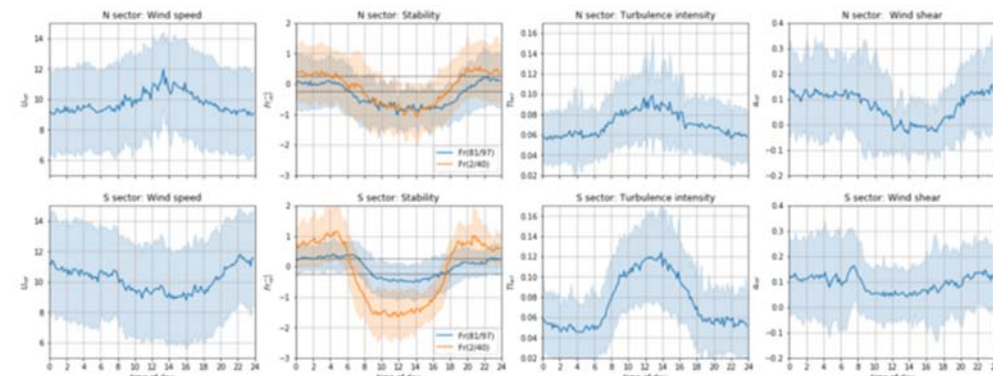
Alaiz (CENER) NSC

◆ Numerical Site Calibration

- IEC61400-12-4 のベンチマーク
- Flow Correction Factor (FCF)の算出
- 観測期間： 2009/11/24 - 2012/10/7
- IEC61400-12-1準拠のマスト
 - MP5 → A4, A5, A6の予測 (SC1)
 - MP5 → A1, A2, A3の予測 (SC2)
- 入力データ： 2m解像度の地形データ、10m解像度の粗度データ、20m解像度のキャノピー高さ、LAD及びLAIマップの提供



Alaizテストサイトにおけるマスト観測データ⁶⁾



日変動 (風速、安定度、乱流強度、シア) ⁶⁾

スケジュール

- 2020年6月 キックオフ
- 2021年2月：結果提出

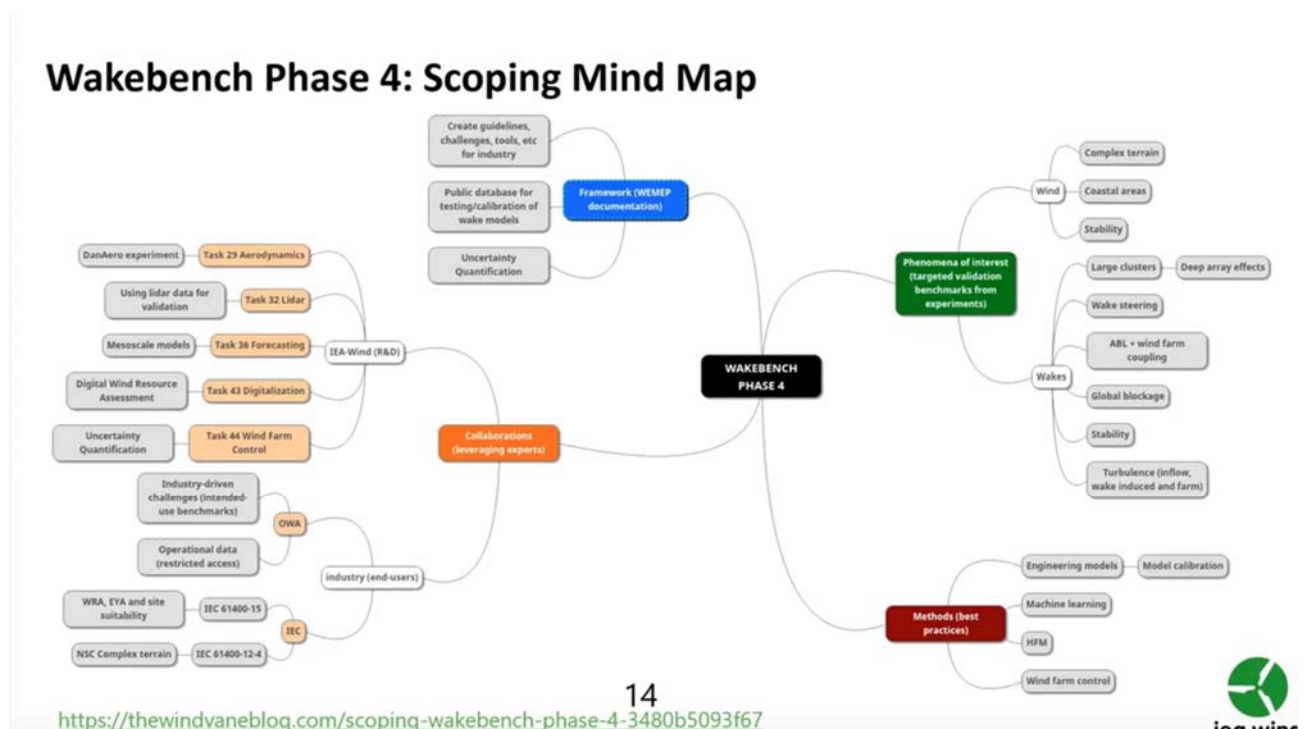
Ref.6) J.S. Rodrigo, <https://thewindvaneblog.com/numerical-site-calibration-benchmark-the-alaiz-case-b3767918d812>

- ◆ ベンチマークの量及び質に関して、最も生産的なフェーズとなった。
- ◆ FAIRデータ原則に向けたオープンソース文書（WEMEP）の構築ができた。より広範なコミュニティへの展開に向けて、さらなる寄与が必要である。
- ◆ 高品質で科学的なベンチマークが、メソ-マイクロカップリング、風車性能、ウェイク挙動、複雑地形における大気安定度効果、森林キャンピーモデルの進展に寄与した。
- ◆ 2つの産業界がリードしたベンチマーク、アレイ効率予測及びIEC61400-12-4サイトキャリブレーションにより、産業界との連携を強めることができた。
- ◆ エキスパートによるマインドマップ及びPIRT分析によって、AWAKEN実証のモデル開発及び検証のサイクルを検討した。
- ◆ 不確かさの定量化が重要な課題である。

※FAIRデータ原則：「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）」というデータ共有の原則

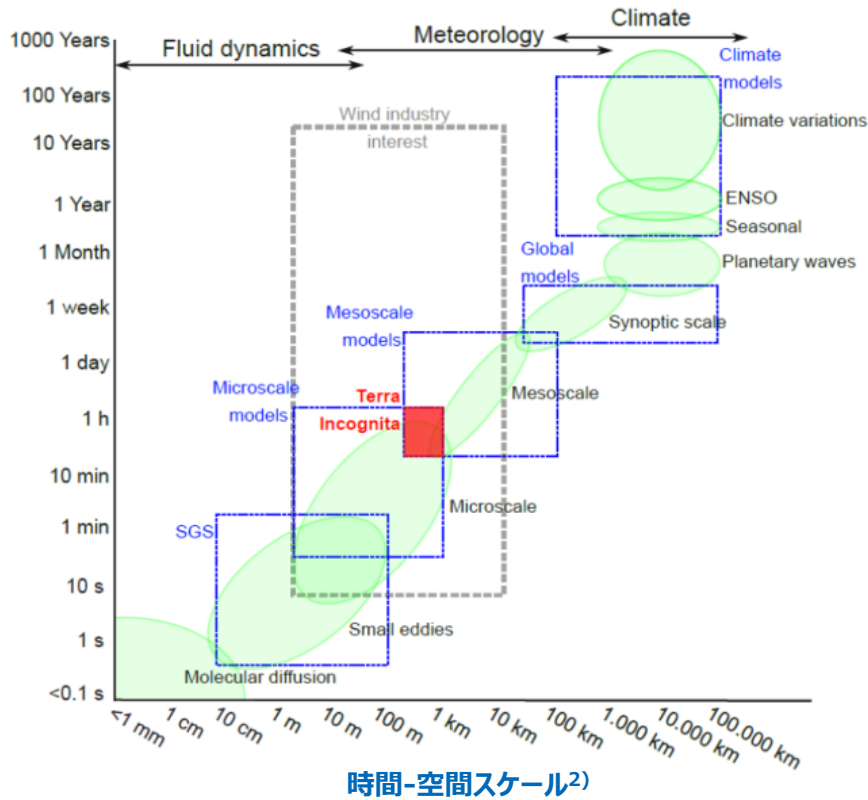
今後の予定

- ◆ Phase3は、2021年5月で終了。Phase4に向けて、関係者会議を開催予定。
- ◆ 2022年春開催のExCo会議での提案を目指している。
- ◆ 今までと比較して、社会実装にフォーカスした内容にする。



◆ マイクロスケールとメソスケールのインタフェース

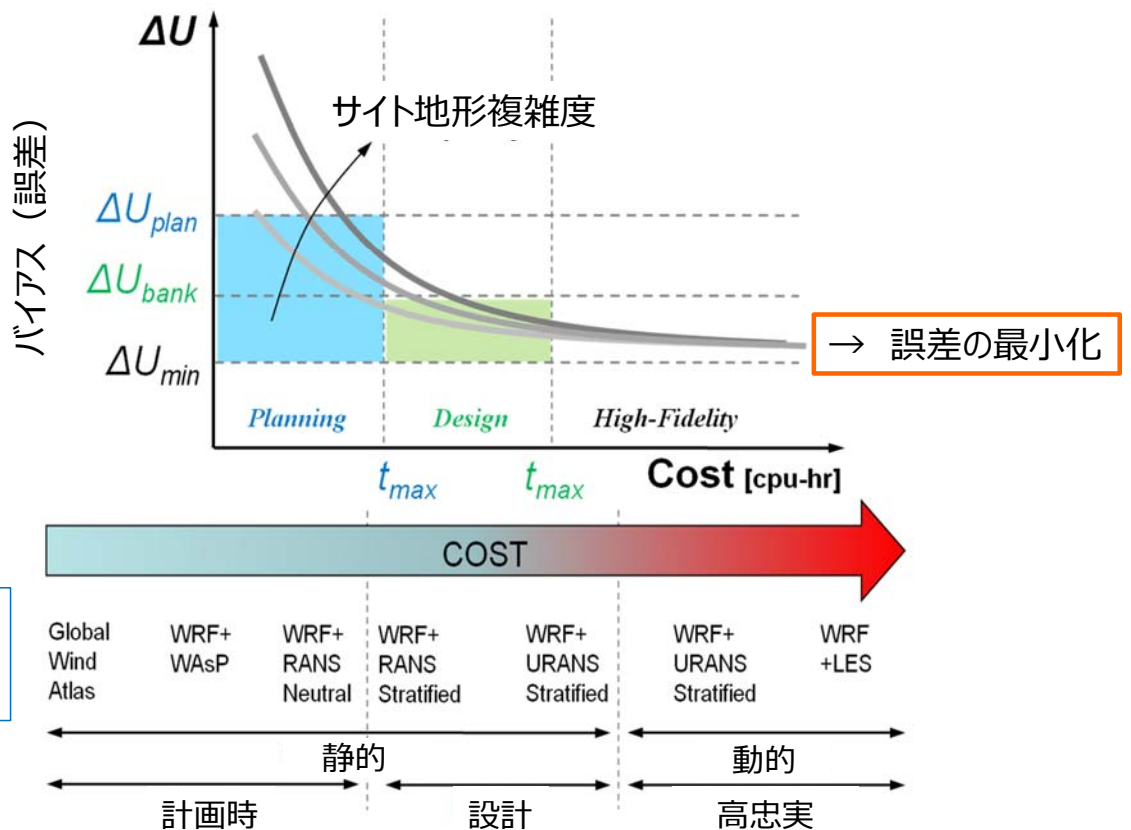
- 風車の大規模化、ウインドファームの大規模化により、一層重要性が高まる



Ref.7) Gil Lizcano, "Can Mesoscale models reach the Microscale?", EWEA2015 Workshop Resource Assessment 2015.

流れモデルの高忠実度と精度の関係

◆ コスト（時間） VS 精度



Ref.8) <http://windbench.net/newa-meso-micro-challenge-wind-resource-assessment>

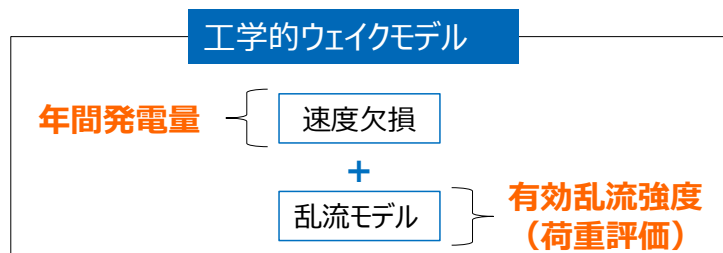
モデル		特徴	ソフトウェア	
メソスケール	気象モデル	100km程度のスケールを対象とし、気象現象（気圧、気温、湿度等）がモデル化されている。	WRF	
	線形モデル	流れの方程式を一部簡略化し（線形化）、短時間に解くことが可能。平坦地に適用が可能。	WASP	
マイクロスケール	CFDモデル（非線形モデル）	RANSモデル	複雑地形で発生する乱れた流れを解くことができる。中程度の複雑地形に適用が可能。はく離を伴う流れを解くのは困難。計算時間がややかかる。	MASCOT, WindSim, WASP CFD, Meteodyn, OpenFOAM, ANSYS CFX
		LESモデル	複雑地形で発生する乱れた流れを解くことができる。中程度の複雑地形に適用が可能。はく離を伴う流れを取り扱うことが可能。計算時間がかなりかかる。	RIAM-COMPACT, OpenFOAM, ANSYS CFX

はく離： 流れが物体の表面から剥がれること。地表面の傾斜角が大きくなると、はく離が発生する。

ウェイクモデルの重要性

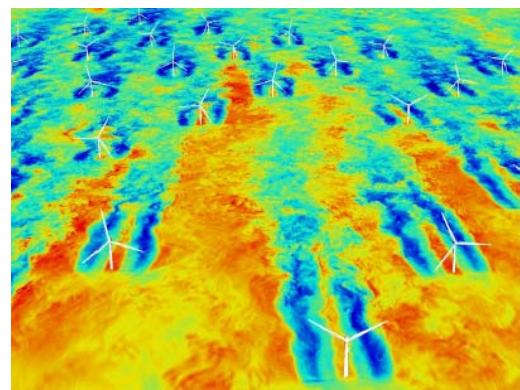
◆ 精度の高いウェイクモデルは、ウインドファームの年間発電量予測及び風車の荷重を把握する上で重要

- 年間発電量
- 風車の荷重
- 風車制御方法



◆ ウェイクの特徴

- 風速低減
- 大きなスケールの蛇行
- 乱流
- 3次元的な構造
 - ウィンドシア・大気安定度の影響



Wind speed (m/s)
2.5 5 7.5 10
2 12

Lillgrund風力発電所におけるシミュレーション⁹⁾

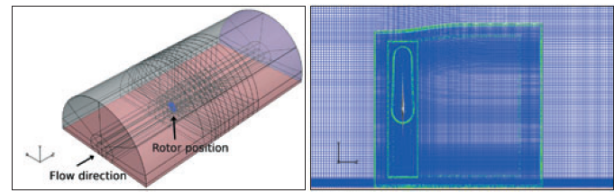
Ref.9) M.J. Churchfield, A review of Wind turbine wake models and future direction, 2013 NAWEA symposium

◆ 工学モデル

- N.O. Jensen (DTU-WAsP/Park)
- Ainslie (Eddy viscosity model) (RES)
- DWM(Dynamic Wake Meandering), RDWM(Rapid DWM) (DTU)

◆ CFD

- Linearized / Parabolized CFD
 - Fuga (DTU)
 - FarmFlow (ECN)
- RANS
 - CRES-flowNS: RANS AD (CRES)
 - CRES-farm: flowNS + engineering model (CRES)
 - CFDWake: OpenFoam RANS AD (CENER)
 - VENTOS: RANS AD (UPORTO)
 - EllipSys: RANS AD/AL (DTU)
- LES
 - ECNS: LES AD/AL (ECN)
 - EllipSys: LES AD/AL (DTU)
 - EllipSys: LES フルローター (DTU)



EllipSysによるフルローターシミュレーション¹⁰⁾

高コスト・高忠実度

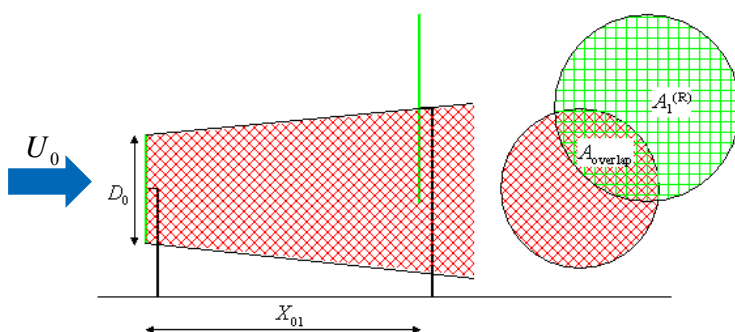


Ref.10) P.E. Réthoré et al., Verification and Validation of an actuator disk model, Wind Energy, 17, pp919-937, 2014

ウェイクモデル例 : Park

◆ 運動量理論に基づく工学モデル (N.O.Jensen, I.Katic)

- ウェイクは、風車の後ろにおいて線形に広がる
- ウェイクによる風速の減衰は、スラスト（推力）係数とウェイク減衰係数の2つのパラメータに依存する
- スラスト係数は、風による動圧に対するスラストの大きさ。スラスト係数が高いほどウェイクロスが大きくなる
- ウェイク減衰係数は、ウェイクが広がる割合 洋上 ~0.04, 陸上 ~0.075
- ウェイクと後ろの風車ロータ面の重なりを考慮することで、異なるロータ径やハブ高さをもつ風車間のウェイク損失について算出が可能



Parkモデル

$$\delta v_{01} = U_0 (1 - \sqrt{1 - C_t}) \left(\frac{D_0}{D_0 + 2kX_{01}} \right)^2 \frac{A_{overlap}}{A_1^R}$$

- D_0 ロータ径
- X_{01} 風車間距離
- U_0 ハブ高風速
- C_t スラスト係数
- k ウェイク減衰係数
- A_1^R 後ろの風車のロータ面積
- $A_{overlap}$ 前の風車のウェイク影響面と後ろの風車のロータ面の重なった面積

Ref.11) WAsP オンラインマニュアル:

◆ 通常乱流モデル (NTM)

- 周囲乱流標準偏差

$$\sigma_1 = \hat{\sigma} + 1.28\hat{\sigma}^\sigma$$

σ_1 : 乱流標準偏差 (主方向成分) の90%分位値

$\hat{\sigma}$: 周囲乱流標準偏差

σ^σ : $\hat{\sigma}$ の標準偏差

- 風車ウェイクの影響

$$\sigma_1 = I_{eff} \cdot V_{hub}$$

I_{eff} : 有効乱流強度

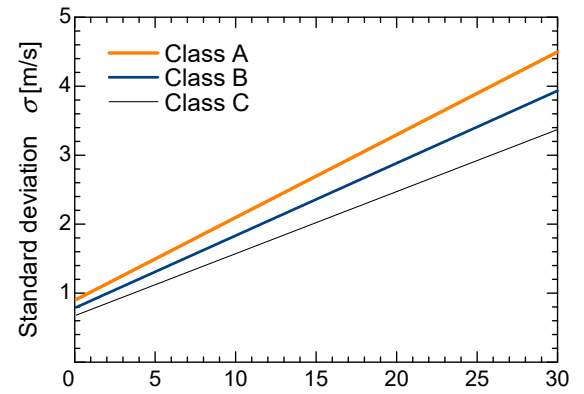
- 有効乱流強度

$$I_{eff}(V_{hub}) = \left\{ \int_0^{2\pi} p(\theta | V_{hub}) I^m(\theta | V_{hub}) d\theta \right\}^{\frac{1}{m}}$$

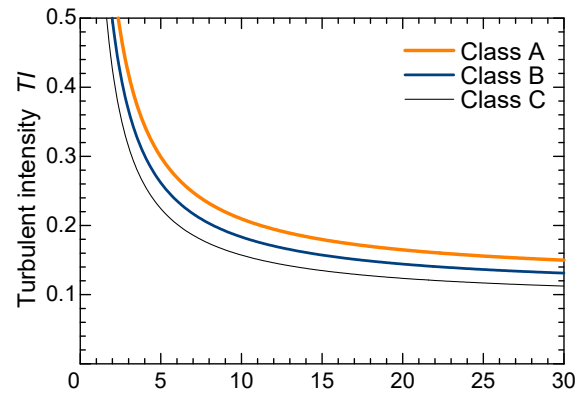
m : Wöhler曲線指数 (材料により決まる)

p : 確率密度関数

I : 風向によって変わる周囲及びウェイクが組み合わさった乱流強度



通常乱流モデルの乱流標準偏差



通常乱流モデルの乱流強度

IEC61400-1 ed.3におけるウェイクの乱流評価 [2/2]

◆ Frandsenモデル (2007)

- 10D以上の場合

$$I_{eff} = \frac{\hat{\sigma}_c}{V_{hub}} \quad \hat{\sigma}_c : \text{特性周囲乱流標準偏差}$$

- 10D以内の場合

$$I_{eff} = \frac{1}{V_{hub}} \left[\underbrace{(1 - N \cdot p_w) \hat{\sigma}_c^m}_{\text{気象・粗度・地形}} + \underbrace{p_w \sum_1^N \hat{\sigma}_T^m(d_i)}_{\text{ウェイク}} \right]^{\frac{1}{m}}$$

$$\hat{\sigma}_T = \sqrt{\frac{V_{hub}^2}{\left(1.5 + \frac{0.8d_i}{C_T}\right)^2} + \hat{\sigma}_c^2} \quad p_w = 0.06$$

確率密度

$\hat{\sigma}_T$: 後流中心での最大乱流標準偏差の特性値

C_T : スラスト係数

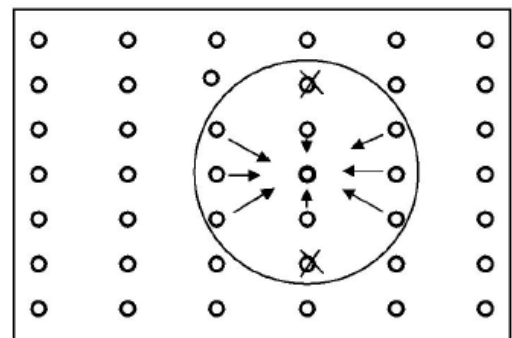
d_i : ロータ直径によって正規化した隣接風車Iまでの距離

- 大規模windファームの場合 (5列以上)

$$\hat{\sigma}'_c = \frac{1}{2} \left(\sqrt{\hat{\sigma}_w^2 + \hat{\sigma}^2} + \hat{\sigma}' \right)$$

考慮する最近接風車の数

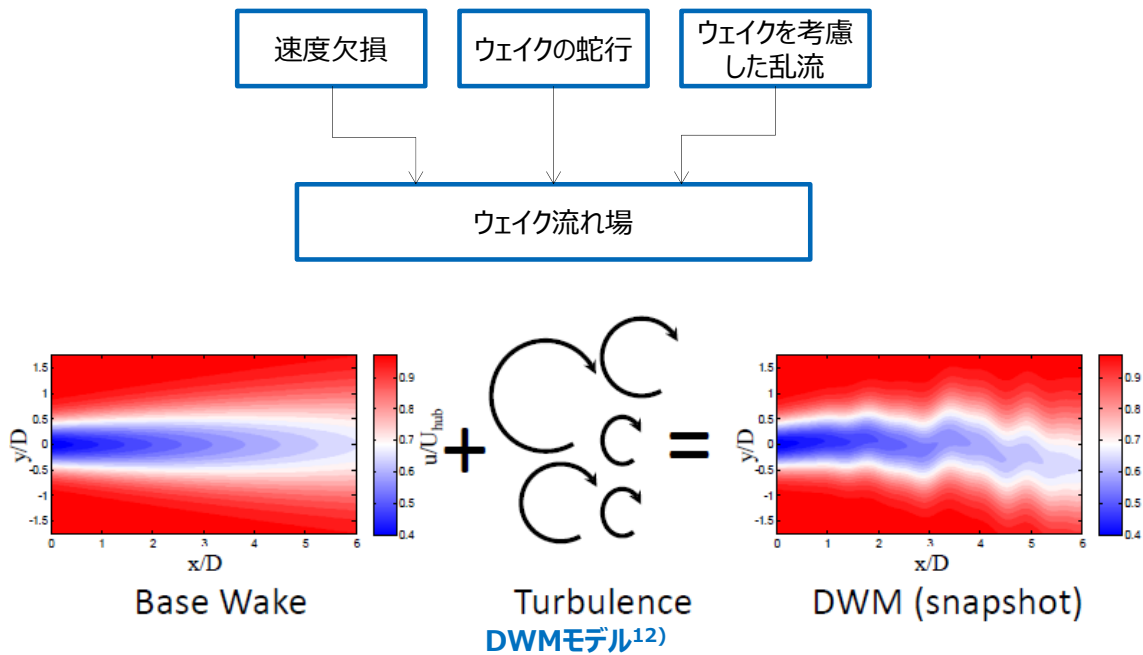
windファームの構成	N
2基の風車	1
1列	2
2列	5
3列以上のwindファーム内部	8



3列以上のwindファームにおける考慮する隣接風車

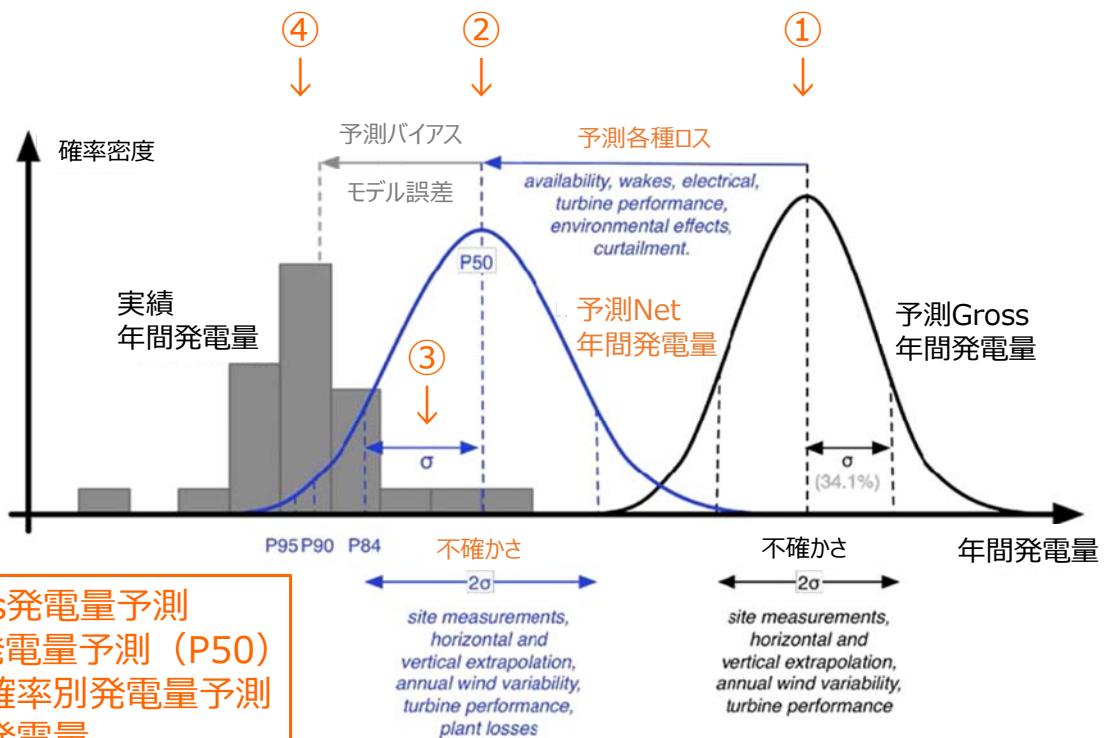
◆ 力学的ウェイク蛇行モデル (Larsen et al., 2007)

- IEC61400-1 ed4に採用予定のモデル
- トレーサー粒子を用い, 大気乱流内のウェイクの蛇行を考慮
- ベースのウェイクは, 渦粘性モデル



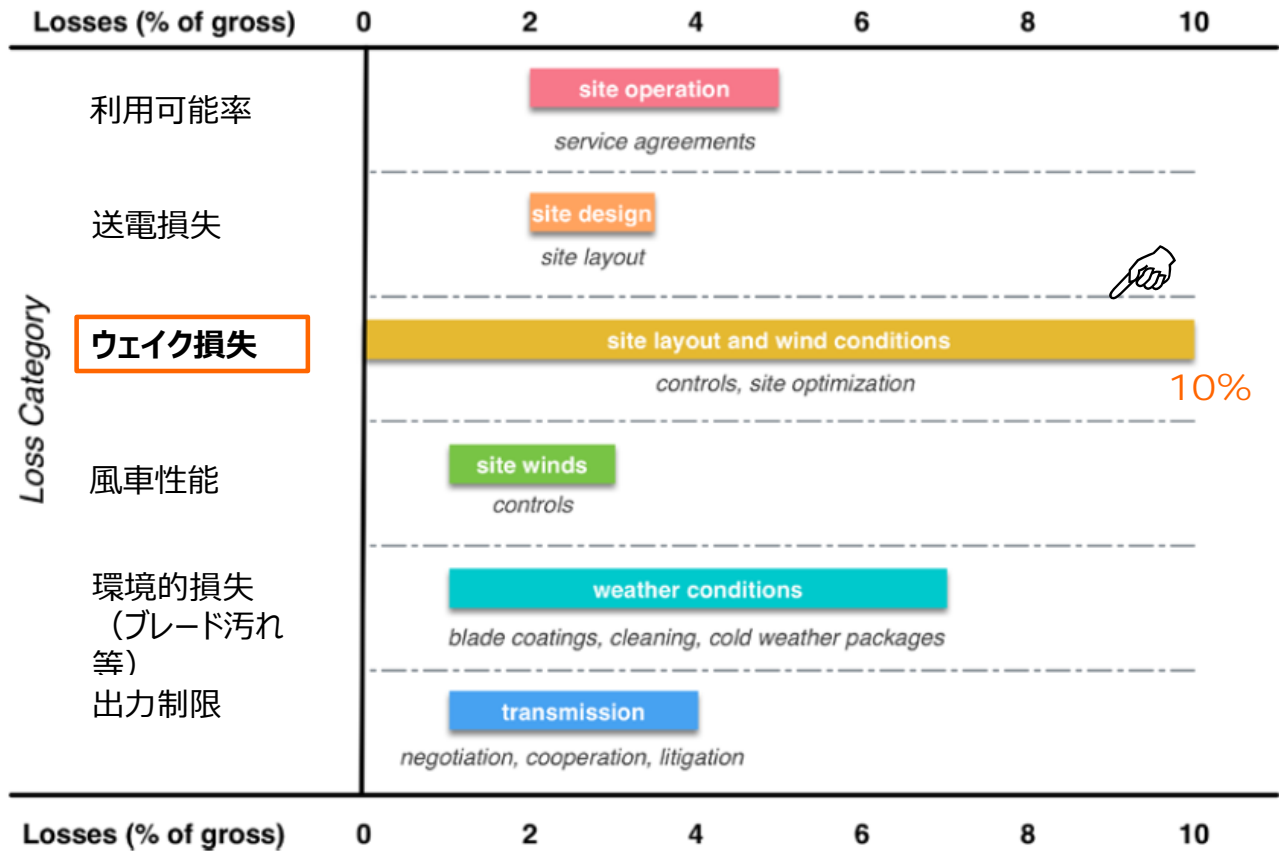
Ref.12) M.J. Churchfield, A review of Wind turbine wake models and future direction, 2013 NAWEA symposium

予測と実績の誤差 (バイアス)、ロス及び不確かさの関係

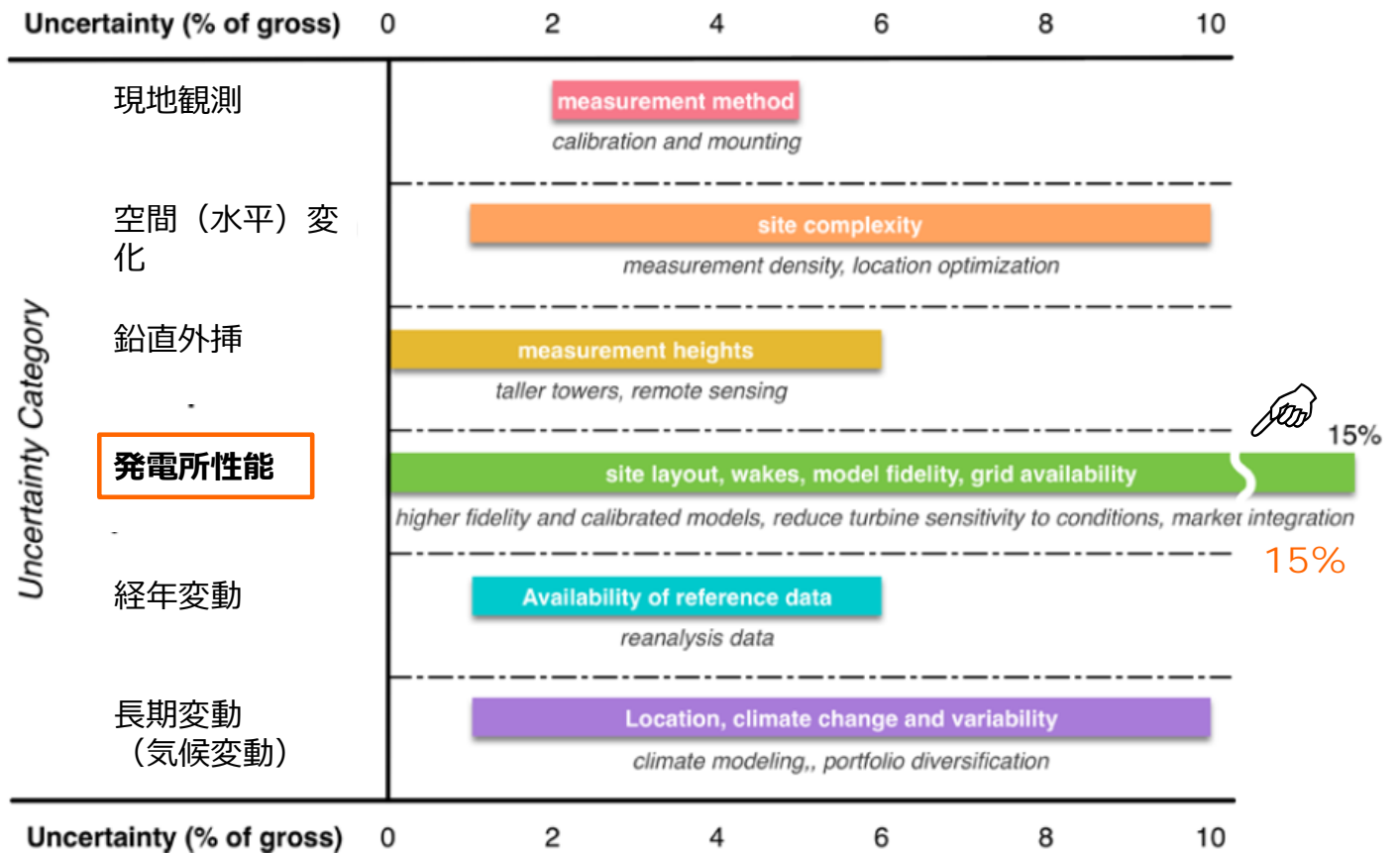


発電量予測と実績の差の主要原因¹³⁾

Ref.13) A.Clifton, et. al "Wind Plant Preconstruction Energy Estimates: Current Practice and Opportunities", NREL/TP-5000-64735, 2016.



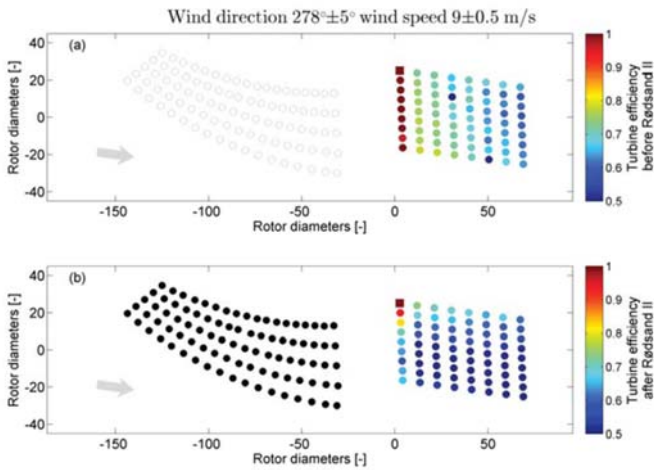
Ref.14) A.Clifton, et. al "Wind Plant Preconstruction Energy Estimates: Current Practice and Opportunities", NREL/TP-5000-64735, 2016.



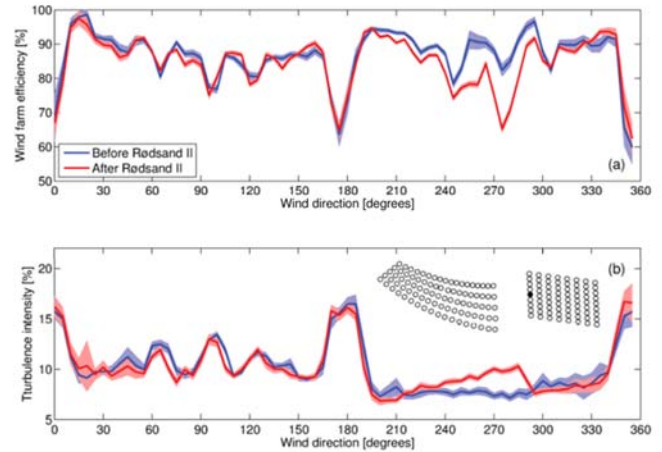
Ref.15) A.Clifton, et. al "Wind Plant Preconstruction Energy Estimates: Current Practice and Opportunities", NREL/TP-5000-64735, 2016.

◆ Nystedに対するRødsand II 建設前後の比較

- 約3km離れたウインドファーム (約25D)
- Nystedは、Rødsand IIの建設により、ウェイク損失及び乱流強度が増加



Rødsand建設前後のNystedの風車効率¹⁶⁾



Rødsand建設前後のNystedのウインドファーム効率 (上図) 及び乱流強度 (下図) ¹⁶⁾

Ref.16) Nicolai Gayle Nygaard, Wakes in very large wind farms and the effect of neighbouring wind farms, 2014 J. Phys.: Conf. Ser. 524 012162.

ブロッキング効果 [1/2]

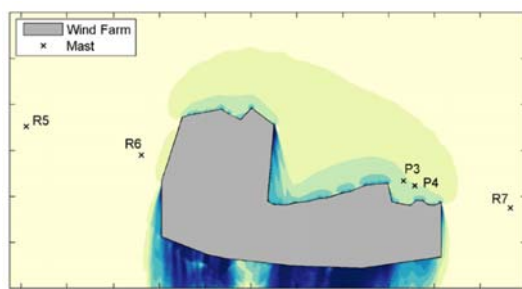
◆ Orstedが発電量予測値を下方修正^{17),18)}

- ウェイク影響を過少評価
- 8つの新規ウインドファームのIRRを下方修正

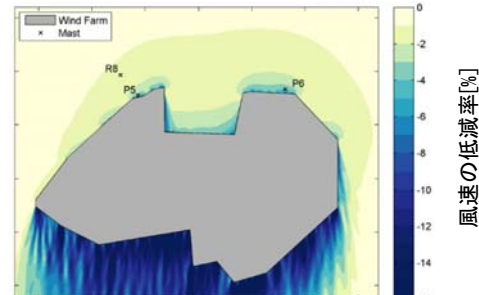


◆ ブロッキング効果

- 発電時の風車の上流側の風速が低減する効果
- ウインドファームでは、単機の風車による影響の合計よりも大きくなることが判明
 - 従来のモデルはブロッキング効果を過小評価



a) ウインドファームA



b) ウインドファームC

DNV-GLによるブロッキング効果の評価結果 (0°を中心とした30°方位区分) ¹⁹⁾

Ref.17) <https://renews.biz/56101/orsted-cuts-offshore-wind-output-estimates/>

Ref.18) <https://orsted.com/en/Company-Announcement-List/2019/10/1937002/>

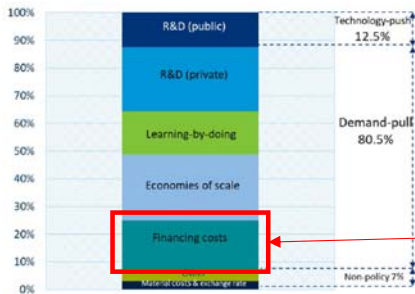
Ref.19) J.Bleeg, M.Purcell,R.Ruisi and E.Traiger, Wind Farm Blockage and the Consequences of Neglecting Its Impact on Energy Production, Energies 2018, 11(6), 1609.

◆ 2021年2月4日、OWA GloBE (Global Blockage Effect in Offshore Wind) プロジェクト開始²⁰⁾

- RWEが主導するウィンドファーム閉塞効果に関する研究プロジェクト
- 研究目的は、洋上風力発電の発電量予測の確実性を高め、それによってエネルギーコストの低減に貢献すること
- 3つのウィンドファームNordsee Ost, Amrumbank West及びKaskasi での観測キャンペーン
- デュアルスキャンングライダーを含む複数のライダーによるウェイク計測

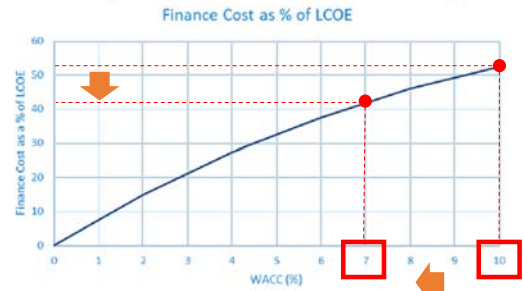
◆ 発電コストの低減に対するWACCの寄与

- 欧州ではウィンドファームの流れ、ウェイクの影響の「理解を深めること」により、発電量予測の「不確実性低減」をすることで、洋上風力発電プロジェクトのWACC (ファイナンスコスト) を大幅に低減してきた。 “10% in 2010 to below 7% by 2020 ”(BVG Associates,2020)



ファイナンスコスト

コスト低減ドライバー²¹⁾



WACCのLCOE寄与度²¹⁾

Ref.20) <https://www.carbontrust.com/news-and-events/news/offshore-wind-global-blockage-effect>
 Ref.21) Carbon Trust, UCL BSERR, "Policy, innovation and cost reduction in UK offshore wind", 2020.

TASK40(ダウンウィンド風車技術)

-ダウンウィンド風車技術とタスク化 への取組み-

2022年3月1日

OA:九州大学/佐賀大学 吉田茂雄

Co-OA:株式会社風力エネルギー研究所

大和田 政孝

1

目次



はじめに

1. 全体

2. フォーラムの設立

3. 研究タスクの提案申請・認可

4. 研究タスクの立上げ

5. 研究タスクの実行

おわりに

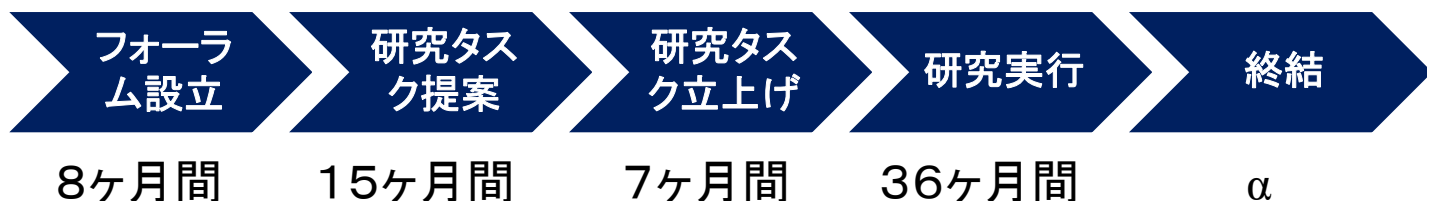
2

1. IEA Wind設立(1978年)以来、初めて日本から研究タスクの提案を行い研究を実施した。
2. 研究タスクは、OA(Operating Agent 議長)の責任で実行される。
3. OAは、研究タスクの参加国から運営費を頂きマネジメントする。
4. Task 40は、日本初の研究タスクであるため2人のOAで実行した。
技術: 吉田茂雄 マネジメント: 大和田政孝
5. この経験を次に繋いでいくために情報を共有する。

1. 全体

1. 全期間: 2015年9月—2021年2月(5年半)+ α
2. 研究期間: 2018年3月—2021年2月(3年間)
3. 研究テーマ: ダウンウィンド風車技術
4. 参加国: 4ヶ国(米国、ドイツ、スペイン、日本)
5. 参加機関: 15機関

Fraunhofer IWES、CENER, X1Wind、NREL, BWC、テキサス大、ヴァージニア大、マサチューセッツ大、東大、九大、日立、AIST、RCCM、NK、WEIT



1. 全体

《アップウインドとダウンウインド風車の概念》



アップウインド方式

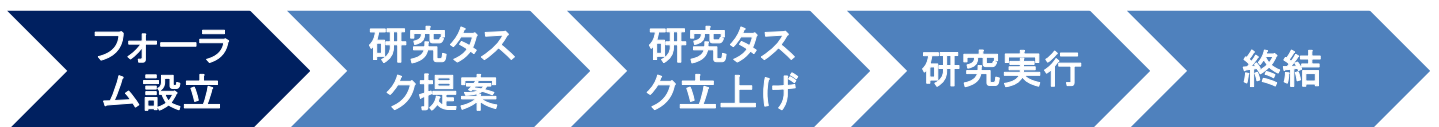


ダウンウインド方式



5

2. フォーラム設立



2. フォーラムの設立



《 設立の経緯 》

1. ダウンウィンドフォーラム(DWF)の構想:2015年9月
東京で開催されたIECRE会議の際に下記4人の会合でDWFに合意
 - ・Sandy Butterfield:IECRE議長、IEC TC88議長(元NREL)
ダウンウィンド風車技術に非常に興味を持っていた
 - ・藤澤 浩通:IEC副議長(日立)
IECREの立上げでSandyさんと深い関係を持っていた
 - ・市川 芳明:研究開発本部標準化推進室(日立)
日立の標準化を推進していた
 - ・大和田 政孝:電機システム事業部(日立)
ダウンウィンド方式洋上風力の開発に従事していた注記:所属等は当時のもの
2. 米国NRELと共同でDWFのチームビルディングを実施:2015年12月
Butterfield氏が中心となり7カ国27人の研究者のネットワークを構築
3. 第1回DWFのオンライン会議を実施:2016年5月

7

2. フォーラム設立

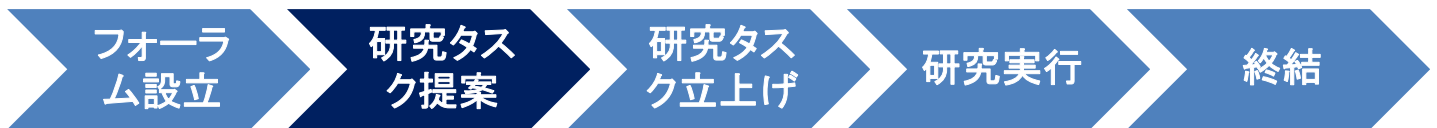


《 活動概要 》

1. 発起人:4名
2. 目的:ダウンウィンド風車技術のグローバルネットワーク構築
3. 参加国:7か国
(米国、ドイツ、スペイン、英国、デンマーク、スイス、日本)
4. 参加数:27人
5. 第1回会議:2016年5月(オンライン会議)
本フォーラムを継続させるためには、IEA WINDの枠組みを活用する案がNRELから提案されフォーラム全員の一致で決定

8

3. 研究タスクの提案



9

3. 研究タスクの提案



《提案の経緯》

1. IEA Windの調査(産総研小垣氏の支援:前IEA Wind日本代表機関)
2. IEA WIND国内委員会へTEMの提案と承認:2016年6月
3. IEA WINDにおいてTEM#86として登録:2016年8月
4. TEM#86開催(東京会議):2016年11月
5. IEA WIND国内委員会にて新タスクの提案を決定:2017年2月
6. IEA WIND国内委員会にて提案書の承認:2017年5月
7. IEA WIND ExCo会議へ研究タスクを提案し承認取得:2017年6月
(ダウンウインド風車技術に関する研究タスクがTask 40として正式決定)

TEM(Topical Expert Meeting):IEA Wind専門技術者会議
IEA Wind ExCo:執行委員会(参加国代表+研究タスクOA)

10

3. 研究タスクの提案

《 TEM#86の実施 》

1. TEM開催実施要領の調査(小垣氏の支援)
2. TEM実施計画書の作成・配信
3. 会議場の確保・準備
4. TEM#86開催(東京会議):2016年11月
結論:ダウンウィンド技術の研究タスクをIEA Windに提案する
5. TEM#86報告書作成(Task 11のOAが作成)



11

3. 研究タスクの提案

《 IEA Windへ研究タスク提案と承認 》

1. 研究タスク提案の方法調査(Sandy氏の支援)
2. 提案書のドラフト作成
3. IEA WIND内委員会にて新タスクの提案を決定:2017年2月
4. IEA Wind国内委員会に分科会を設置:2017年4月
5. IEA WIND国内委員会にて提案書の承認:2017年5月
6. IEA WIND ExCo#79会議(フィンランド)にて提案し承認取得:2017年6月
(ダウンウィンド風車技術に関する研究タスクがTask 40として正式決定)



12

3. 研究タスクの提案・承認



《 研究タスクの提案書 》

過去の研究タスクを参考に作成



目次

1. スコープ
2. 研究の背景
3. 目的と期待する成果
4. 取組方針と方法論
5. スケジュールとマイルストーン
6. 報告書、出版物及び普及
7. 進捗状況の審査と評価方法
8. 義務と権限
9. 予算の種類とタスク管理者の提案
10. 予算
11. タスクマネジメント
12. 組織
13. 情報と知識の所有権
14. 参加候補者
15. 参考文献

13

4. 研究タスクの立上げ



14

3. 研究タスクの立上げ



《活動経緯》

1. IEA WINDへ日本のコミットメントレター提出:2017年8月
2. IEA WINDへOAの登録:2017年6月
3. Task 40キックオフ会議の準備開始:2017年10月
4. Task 40キックオフ会議開催(東京会議):2017年12月
5. Task 40 Work Planの承認申請:2018年1月
6. Task 40 Work Planの承認:2018年5月(ExCo#80メキシコ会議)



15

3. 研究タスクの立上げ



《IEA Wind研究実施要領書》



Procedure for Research Tasks ←

The Implementing Agreement for Co-operation
in the Research, Development, and
Deployment of Wind Energy Systems ↓

目次

1. 目的
2. 新研究タスクの作り方
3. 新研究タスクの審査と承認
4. ワークプランの実行
5. タスクの合併
6. IEA Wind以外のタスクとの共同研究
事務処理のフォーマット:11種類

3. 研究タスクの立上げ

《 IEA 本部へのコミットメントレター提出 》

日本代表機関NEDOの登録レター

Task 40議長(OA)の登録レター

OA: Operating Agent

New Energy and Industrial Technology Development Organization

Implementing Agreement for Co-Operation in the RD&D of Wind Energy Systems

29/08/2017

Mr. Fatih Birol
Executive Director
International Energy Agency
9, rue de la Fédération
75015 Paris
FRANCE
fatih.birol@iea.org

Dear Mr. Fatih Birol,

New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), the Contracting Party to the IEA Implementing Agreement for Cooperation in the Research, Development, and Deployment of Wind Energy Systems (IEA Wind TCP), for Japan is pleased to announce its intention to participate in the following Task:

Task 40, Downwind Turbine Technology

NEDO agrees to assume the responsibilities and obligations of a Participant, according to the terms of the Task proposal and work plan. These obligations include payment of fees (if any) and provision of in-kind contributions.

Further Japanese participants are:

- Kyushu University
- Tokyo University
- Mie University
- The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)
- Hitachi, Ltd.
- The Wind Energy Institute of Tokyo (WEIT)

The notice for payment of fees should be sent to NEDO.

Yasushi Kojima, Offshore Wind & Ocean Energy, New Energy Technology Department
18F Musashi Kawasaki Central Tower, 1310 Omiya-cho, Saitai-ku Kawasaki City, Kanagawa
212-8554, Japan, kojimayss@nedo.go.jp.

Yours sincerely,

For Masaharu Itoh
[NEDO, Contracting Party Member, Masaharu Itoh]

cc. IEA Wind TCP ExCo Chair Ignacio Marti
imarti@iea.org
IEA Wind TCP ExCo Secretary, Cezanne Murphy-Levesque
cezanne@ieawind.org



Mr. Fatih Birol
Executive Director
International Energy Agency
9, rue de la Fédération
75015 Paris
FRANCE
fatih.birol@iea.org

30 June 2017

Notice of Acceptance by: Wind Energy Institute of Tokyo in Japan

Dear Mr. Fatih Birol,

Wind Energy Institute of Tokyo in Japan accepts the rights and powers and agrees to carry out the obligations and functions of the Operating Agent of the IEA Wind TCP Task 40 Downwind Turbine Technology with Dr. Shigeo Yoshida, Kyushu University, Japan, in the Implementing Agreement for Co-operation in the Research, Development and Deployment of Wind Energy Systems signed in Paris in 1977, in accordance with that Agreement, and any subsequent amendments thereto.

Yours faithfully,

Masataka Owada
Technical Adviser
Wind Energy Institute of Tokyo in Japan

cc. IEA Wind ExCo Secretary, Cezanne Murphy-Levesque
Secretariat@ieawind.org

New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO),
New Energy Technology Department, Masaharu ITOH, Yuko TAKUBO

Kyushu University Research Institute for Applied Mechanics, Shigeo Yoshida

3. 研究タスクの提案・承認

《 Task 40キックオフ会議 》

1. 開催日: 2017年12月11-13日
2. 開催場所: 東京
3. 参加国: 米国、スペイン、ドイツ、デンマーク、スイス、日本
4. 参加人数: 24人
5. 会議内容: 技術打合せ(2日間)、テクニカルツアー(1日)
6. 会議成果:
 - (1) ダウンウィンド風車関連技術に関する情報の共有化
 - (2) 研究計画書の具体化
 - (3) 今後の研究の進め方の確認



Kick-off 東京会議



テクニカルツアー(NSK)

3. 研究タスクの立上げ



《Task 40のWork Plan》



The International Energy Agency
Implementing Agreement for Co-operation in the Research,
Development, and Deployment of Wind Energy Systems

International Energy Agency (IEA)
Implementing Agreement for Co-operation in the Research
And Development of Wind Energy Systems (IEA Wind)

Task 40

Downwind Turbine Technologies

Period: March, 2018 – February, 2021

Work Plan

January 2018

(OA)
Prepared by Sigeo Yoshida: Kyushu University
(Co-OA)
And Masataka Owada: Wind Energy Institute of Tokyo

目次

1. スコープ
2. 研究の背景
3. 目的と期待する成果
4. 取組方針と方法論
5. スケジュールとマイルストーン
6. 報告書、出版物及び普及
7. 進捗状況の審査と評価方法
8. 義務と権限
9. 予算の種類とタスク管理者の提案
10. 予算
11. タスクマネジメント
12. 組織
13. 情報と知識の所有権
14. 参加候補者
15. 参考文献

3. 研究タスクの立上げ



《Task 40参加国の勧誘》

1. 研究タスクの参加国の勧誘はOA(議長)の仕事
⇒IEA Wind代表機関・企業・研究機関との直接交渉
2. 各国のダウンウィンド風車技術への取組は千差万別
 - ・ダウンウィンド風車技術の研究開発をしている国：
米国、ドイツ、中国、オランダ、日本
 - ・ダウンウィンド風車技術に関心のある国：
デンマーク、スペイン、スイス
3. 各国の判断基準
 - ・各国の代表機関：企業と研究機関の意向確認
 - ・企業：事業に繋がるか、リソースをあてられるか
 - ・研究機関：研究予算が確保出来るか
4. 最終的な参加国：ドイツ、スペイン、米国、日本の4か国

3. 研究タスクの立上げ



《 研究予算の確保 》

1. OAの活動予算

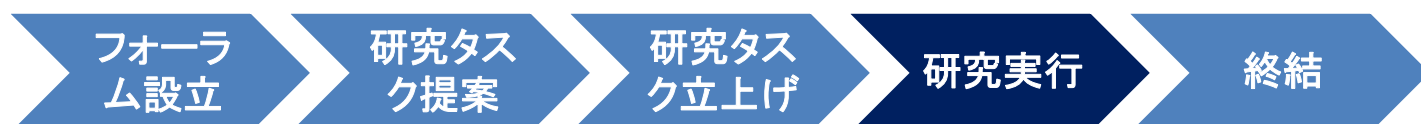
- (1) 研究タスクの参加国からの拠出金
- (2) 拠出額は提案書の中に記載 (ExCo承認事項)
- (3) 参加国が増えると各国の参加費は低減する
- (4) OAのマネジメント費用と出張費用に使用

2. 研究者の研究予算

- (1) 国の研究予算が確保出来たら研究タスクを提案する
(欧米スタイル: IEA Wind活動が認知されている)
- (2) 研究タスクに参加する場合はそれぞれの国において
研究予算を確保
国の研究予算、企業の研究予算他

21

5. 研究タスクの実行



22

5. 研究タスクの実行

《概要》

1. タスクの実質的なスタート:2018年5月(ExCo会議以降)
2. 第1回ワークショップ開催(東京):2019年1月
3. 日立の風車生産中止:2019年1月
4. 第1回Task40会議開催(CENER):2019年5月
5. スペインからX1windが参加:2019年5月(国ではなく企業として)
6. スペインCENERの参加中止:2019年5月
7. 第2回ワークショップ開催(日立):2019年10月
8. 新型コロナ感染により上記以降はオンライン会議にて実施



第1回 ワークショップ(於東京)



第1回 Task 40会議(於CENER)

23

5. 研究タスクの実行

《第1回ワークショップ》

1. 開催国:日本(九州大学主催)
2. 場所:九大サテライトオフィス
3. 開催日:2019年1月22-23日
4. 参加国:ドイツ、スペイン、デンマーク、スイス、日本
(5ヶ国)
5. 参加人数:18人



24

5. 研究タスクの実行

《第1回全体会議》

1. 開催国: スペイン
2. 場所: CENER
3. 開催日: 2019年5月13-14日
4. 参加国: 米国、ドイツ、スペイン、日本(4ヶ国)
5. 参加人数: 15人
6. テクニカルツアー: CENER実証試験場



25

5. 研究タスクの実行

《第2回ワークショップ》

1. 開催国: 日本
2. 場所: 日立製作所(茨城県ひたちなか市)
3. 開催日: 2019年10月23-24日
4. 参加国: 米国、ドイツ、日本(3ヶ国)
5. 参加人数: 11人
5. テクニカルツアー: 茨城県神栖ダウンウインド風車



26

5. 研究タスクの実行



《 新型コロナ禍のタスク運営 》

1. 第2回全体会議: 2020年5月
米国NREL⇒オンライン会議
2. 第3回ワークショップ: 2010年10月
東京⇒オンライン会議
3. 第3回全体会議: 2021年3月
ドイツFraunhofer IWES⇒オンライン会議
4. 最終報告書の作成
 - ・技術報告書
 - ・マネジメント報告書
5. Task 40 Phase 2に向けた検討
 - ・米国NRELがDOEにダウンウィンド風車技術に関する研究費を提案中
 - ・予算が認可されたら米国主導で研究を継続予定

27

おわりに



1. ダウンウィンド風車技術に関するグローバルネットワークを構築出来た。
2. Task 40のWork Planに従い研究を実行出来た。
3. OAとしてIEA Wind ExCo会議に参加出来、グローバルな風力研究の動向を把握することが出来た。
4. 風力研究拠点 (DTU、NREL、Fraunhofer IWES、CENER) の研究開発動向を理解することが出来た。
5. IEA Windの参加国の風力に対する取り組みを理解することが出来た。
 - ・風車メーカーと公的研究機関を有する国は活力がある
6. IEA Windの運営方法に関して理解することが出来た。
 - ・秘書業務: 米国 (NREL) ⇒ デンマーク (DTU)
 - ・金庫番: 米国 (NREL)
 - ・HP管理: 米国 ⇒ スイス ⇒ デンマーク
 - ・IEA Wind Strategic Plan達成に向けた活動の改善

28

IEA Wind Task 40の立上げから終了まで

お世話になりました関係者の方々に

心より御礼申し上げます。

今後、日本から次の研究タスクを提案される方に参考

になれば幸いです。

IEA Task26 風力発電のコスト

2022年3月1日

東京大学工学系研究科
総合研究機構 特任講師
菊地由佳



Task26の概要

2

名称: Cost of Wind Energy

目標: 一貫性、透明性のある共通の方法論を用いて過去、現在、及び将来の各国の風力発電コストの結果を整理し分析する。

活動内容: 各国のコスト分析の専門家が所定のWork (Work Package)に基づき、それぞれの国の現状及び将来の動向を分析・整理。第4期は3つのWork Packageがあり、各国の事情、関心から関与するWorkを選択。年2回のTask Meeting、毎月のWeb Meeting等を通じてディスカッション。2021/11/23のWind Europeにて、タスクの成果発表会が行われた。

活動期間: 2009年～現在(第4期)
第4期: 2018年10月～2021年9月

参加国: 米国、英国、デンマーク、ドイツ、ノルウェー、スウェーデン
EC (European Commission)、日本、アイルランド

Operating Agent(OA): Eric Lantz (NREL)

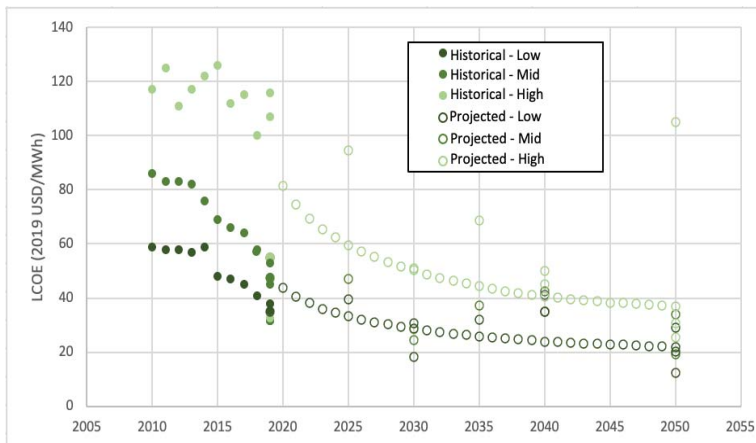


建設費 維持管理費 撤去費

発電コスト

$$LCOE = \frac{\sum_0^N (C_n + OM_n + D_n) \times (1 + r_n)^{-n}}{\sum_1^N E_n \times Avail \times (1 + r_n)^{-n}}$$

E_n : 理論発電量
 r_n : 減価償却率
 Avail: 利用可能率

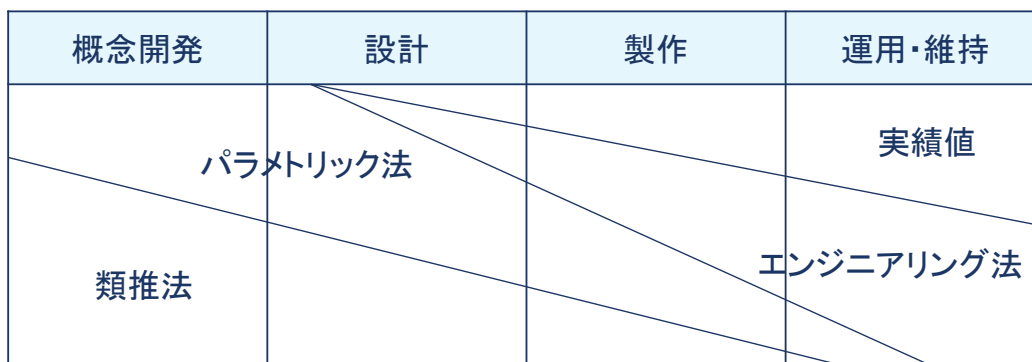


Source: Beiter et al. 2021

風力エネルギーの主電源化のためにコスト低減が求められる
 コスト評価手法を確立し、コスト低減シナリオを示す

コスト評価の主な手法

類推法	過去の類似プロジェクトを参考に見積もる
パラメトリック法	回帰式により評価する
エンジニアリング積み上げ法	コスト要素毎に工学的知見より評価する
専門家意見	専門家の意見を聞く



Integrated Defense Acquisition, Technology, & Logistics Life Cycle Management Framework
https://space.se.spacegrant.org/uploads/Project%20Life%20Cycle/DAU_wallChart.pdf
 日本コスト評価学会、コスト評価知識体系、CEBok Unit I Module 3、2011

風力エネルギーの発電コスト評価手法を確立する必要がある

活動項目	主担当機関	成果	コスト評価手法
WP1: 風力発電のコスト			
年間データベースの作成	U.S. (NREL)	HP	実績値の収集
O&Mコストのモデル化	GE (Fraunhofer), U.S.(NREL)	—	エンジニアリングモデル
技術と発電所の違いがコストに与える影響	U.S. (NREL)	論文	エンジニアリングモデル
リパワリングに関する研究	DK (DTU)	論文	実態調査
洋上風力のコスト	U.K.	レポート*	エンジニアリングモデル
陸上風力のコスト	U.S. (NREL)	レポート*	エンジニアリングモデル
WP2: 将来のコスト予測			
将来コストの予測	U.S (NREL)	論文	専門家意見
コストと性能データ整備	DK (Ea Energy Analysis)	レポート*	実績値の収集
WP3: 風力の価値			
LROEの比較	U.S.(NREL),DK(DTU)	論文	エンジニアリングモデル
蓄電池と風力の価値のモデル化	DK (Ea Energy Analysis)	レポート*	エンジニアリングモデル

第4期の活動は計画通りに行われ、成果がほとんど出揃った
*は今年出版予定

Task26 第4期 の成果報告会

IEA TCP Wind Task 26: The changing economics of wind power in high renewables futures



When: 23 November, 14:00–17:00

Where: Meeting room 19, Level 1

Open to: All registered participants with additional registration at this link

Task 26 of IEA has facilitated extensive international research in the field of future wind energy costs levels as well as the factors that affect these. Members of Task 26 as well as guest speakers will present and discuss cutting-edge research and new insights into costs and values of offshore wind energy at this event.

Topics will include:

- Cutting wind energy costs in half by 2050 – results of an expert elicitation
- Expert perspectives on the wind plant of the future
- Market Value of Wind – perspectives from a European-wide analysis
- Value-based metrics to assess offshore wind cost
- The rise of competitive procurement in offshore wind energy
- Peek into the future: economic perspectives on floating wind, energy islands, new business models and financing concepts, new routes to market including Power-to-X

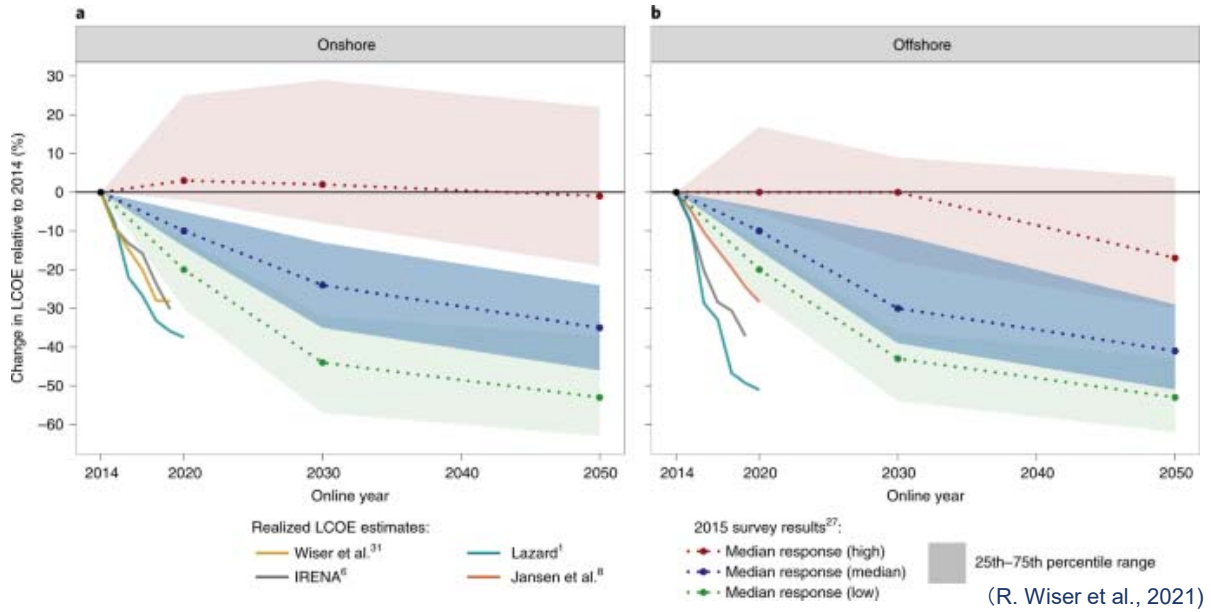
The workshop will be a combination of presentations and open discussion. The event is free to attend for registered participants. Physical participation will require an exhibition or an event pass to the WindEurope Electric City 2021.

➤ 発表資料は下記URLからダウンロード可能

<https://orbit.dtu.dk/en/projects/iea-tcp-wind-task-26-dissemination-event-the-changing-economics-o>

昨年、Wind Europe会議のサイドイベントとして、成果報告会が開催された

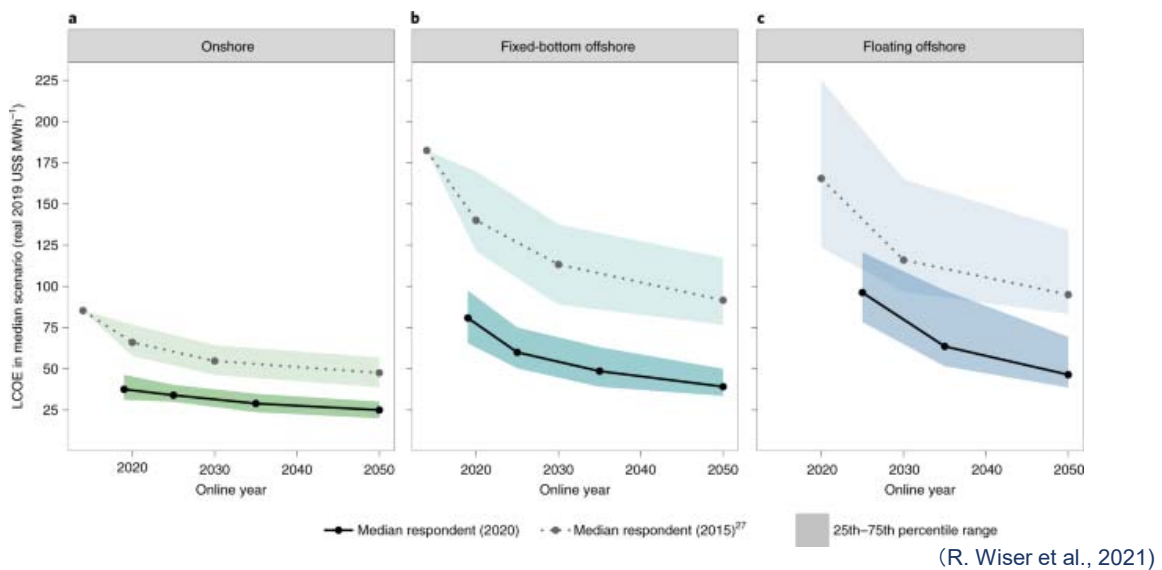
- 2015年(第3期)において、専門家意見の手法を用いた将来のコスト低減予測が実施



専門家へのインタビューにより将来コストが予測されている
 2015年に実施された調査結果よりも、実際のコスト減少率が高かった

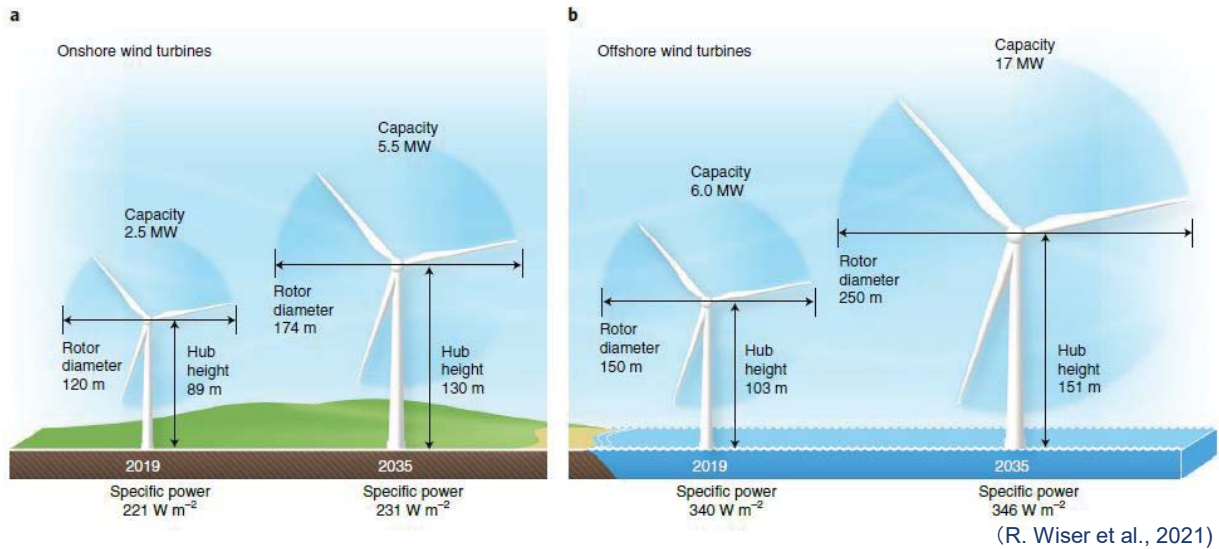
<https://emp.lbl.gov/publications/expert-elicitation-survey-predicts-37>

- 2020年7月～9月にかけて専門家へのオンラインでの調査が実施された
- 不確かさも併せて調査しているところが特徴



2050年までに37～49%のコスト低減が予測された

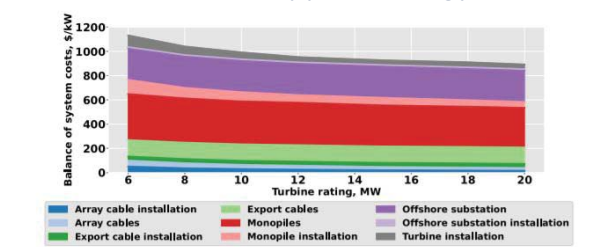
- 2020年調査の結果を踏まえて、2015年調査でコスト低減の過小評価が起こった理由の分析が行われた



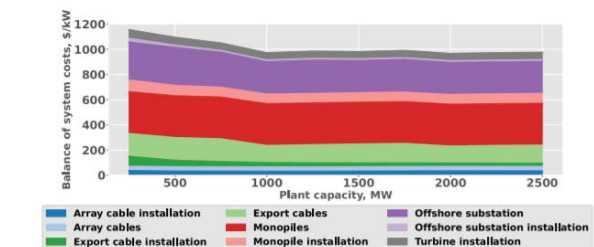
- 競争入札といった仕組みによるコスト低減効果
- プロジェクトのリスクがより理解され、予備費が少なくなった
- 風車の大型化のスピードが2015年予測時より早かった

エンジニアリングモデルによる洋上風力のコスト分析

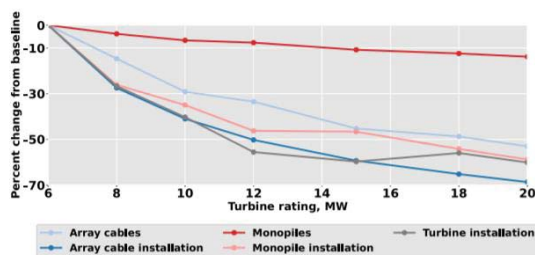
M. Shields, et al., Impacts of turbine and plant upsizing on the levelized cost of energy for offshore wind, Applied Energy, 298, 2021.



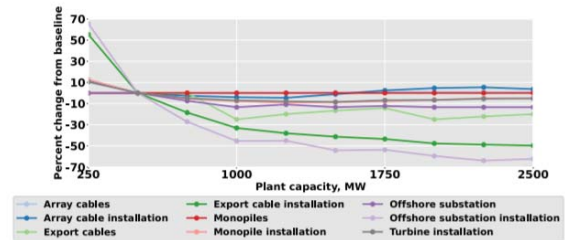
turbine upsizing on balance-of-system costs for a constant plant capacity of 1000 MW. Results are shown as a breakdown of cost magnitudes



plant upsizing on balance-of-system costs for a constant turbine rating of 10 MW. Results are shown as a breakdown of cost magnitudes



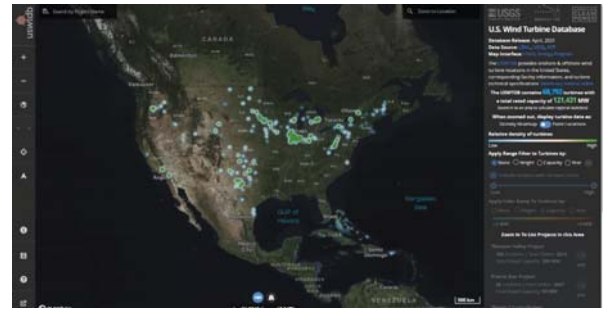
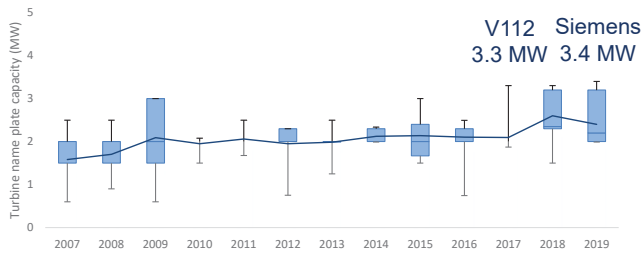
turbine upsizing on BOS costs for a constant plant capacity of 1000 MW. Results are shown as a percentage of the baseline project cost. Export cables that do not scale with turbine rating are not shown.



plant upsizing on balance-of-system costs for a constant wind turbine rating of 10 MW. Results are shown as a percentage of the baseline project cost.

(M. Shields et al., 2021)

発電量、CAPEX、OPEXをエンジニアリングモデルを用いて統合的に評価し、風車サイズ・発電所規模が発電コストに及ぼす影響を定量的に評価した



日本の陸上風力のローター直径(Task26より)



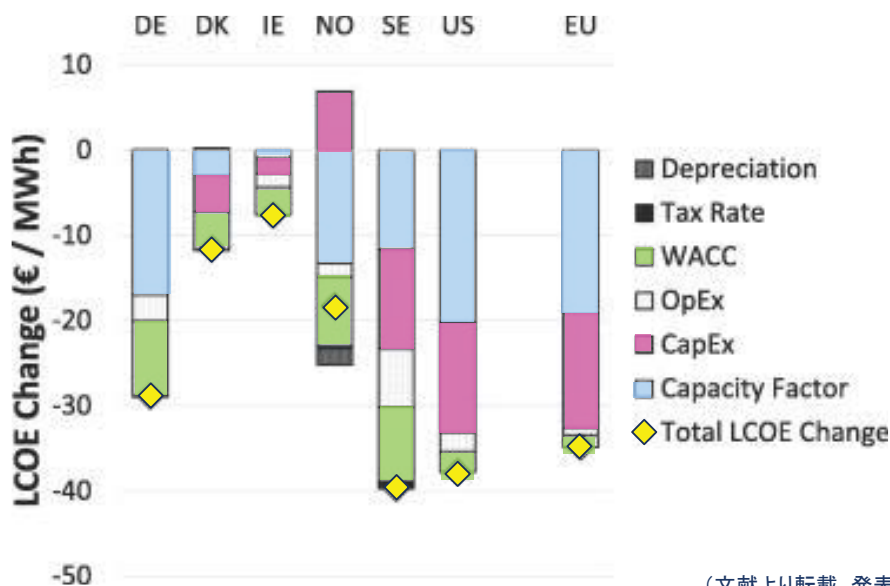
日本の陸上風力のCAPEX
(経済産業省, 調達委員会, 2020)



アメリカで整備されたデータベース
<https://eerscmap.usgs.gov/uswtdb/viewer/#3.19/37.33/-90.42>

第3~4期の活動を通して、日本の風車の物理的な統計値を明らかにした
日本の風車に関するデータベースの整備が求められる

陸上風力の発電コスト低減の分析



(文献より転載, 発表者色付け)

A. Duffy et al., Land-based wind energy cost trends in Germany, Denmark, Ireland, Norway, Sweden and the United States, *Applied Energy*, 277, 2020

設備利用率の向上、WACCの低減、建設費の低減が発電コスト低減に寄与していることを定量的に評価

Expert perspectives on the wind plant of the future, <i>Wind Energy</i> , July 2021(Submitted)	WP2
Toward global comparability in renewable energy procurement, <i>Joule</i> , May 2021	WP3
Expert elicitation survey predicts 37% to 49% declines in wind energy costs by 2050, <i>Nature Energy</i> , 2021	WP2
Wind power costs driven by innovation and experience with further reductions on the horizon, <i>WIREs Energy and Environment</i> , 2021	WP1
Multifaceted drivers for onshore wind energy repowering and their implications for energy transition, <i>Nature Energy</i> , 2020	WP1
Land-based wind energy cost trends in Germany, Denmark, Ireland, Norway, Sweden and the United States, <i>Applied Energy</i> , 2020	WP1

WPの主要な成果について論文が出版された
日本は赤字で示した2本の出版に参加した

名称: **Wind Energy Economics**
- The changing economics of wind power in high renewable futures -

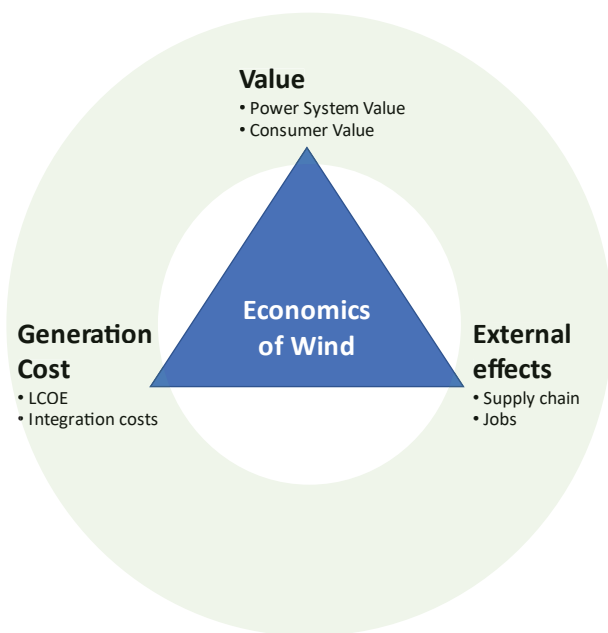
目標: 一貫性、透明性のある共通の方法論を用いて、来たる低炭素化社会における
風力発電大規模導入下での各国の風力発電コストと価値を評価する。

活動内容: 各国のコスト分析の専門家が所定のWork(Work Package)に基づき、
それぞれの国の現状及び将来の動向を分析・整理。6つのWork Packageが
提案されている。
年2回のTask Meeting、毎月のWeb Meeting等を通じてディスカッション。

活動期間: 2009年～
第5期: 2021年12月1日～2025年11月30日

参加国: 米国、英国、デンマーク、ドイツ、ノルウェー、スウェーデン
EC(European Commission)、日本、アイルランド、オランダ

Operating Agent(OA): Eric Lantz (NREL)

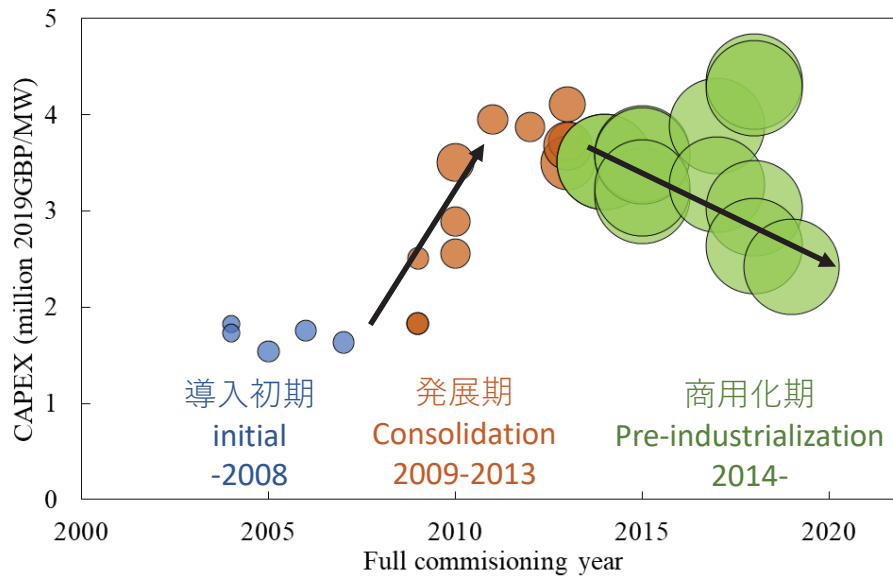


- Power Sector Trends**
 - Deep de-carbonization
 - Siting constraints
 - Use of hydrogen
- Emerging Wind Technologies and Solutions**
 - Integrated transmission
 - Larger turbines
 - Integrated and industrialized supply chains
- Performance Metrics**
 - Holistic cost and value metrics
 - Metrics for new wind applications (e.g., in consideration of hydrogen and storage)
 - Uncertainty

水素・蓄電池・送電システムを考慮し、電力システムとして風力エネルギーの経済性を評価しようという枠組みが提案されている

WP名	題目と内容
WP1	<p>“風力発電所の設計・運転維持管理・価値は、脱炭素化に伴い、どのように変化するか？”</p> <p>専門家意見 (Expert elicitation) の手法を用いて、風力発電所の技術、設計、運転維持管理について現在検討されている技術革新について調査する。</p>
WP2	<p>“個別の技術革新、運転維持管理方法はコストと価値にどのように影響を与えるか？”</p> <p>エンジニアリングコストモデルを構築し、技術、設計、維持管理の革新がコストに与える影響を調査する。地域と送電線のタイプに対して比較のケーススタディを実施する。</p>
WP3	<p>“不確かさは風力発電のコスト、価値と金融にどのように影響を与えるか？”</p> <p>現在進んでいる金融コストにたいする専門家意見を調査し、結果を分析することにより、不確かさやリスクが実際に及ぼす影響について調査する。次に、これらの不確かさがLCOEに与える影響を明らかにする。最後に、シナリオベースの風力の金融コストの予測モデルを構築する。</p>
WP4	<p>“どのようなデータと分析手法が、現在と過去の風力発電コストをより良く理解するためにふさわしいか？”</p> <p>毎年の各国の風力発電に関する技術・経済に関するデータの調査を行うとともに、発電コスト等による経済性評価手法の提案と検証を行う。</p>
WP5	<p>“新しい送電網と水素はコストと価値にどのように影響を与えるか？”</p> <p>シナリオ研究により、参加国が保有しているモデルを用いて、水素と送電線がコストと価値に与える影響を評価する。</p>
WP6	<p>“成熟した将来の市場においてサプライチェーンはどのように発展し変化するか？”</p> <p>2030年、2050年までの雇用創出数、売り上げ規模といった将来の価値を評価 認証機関、EPDやその他から風車の部品とその製造拠点を調査する。さらに、その地域で作られられる価値について評価する。</p>

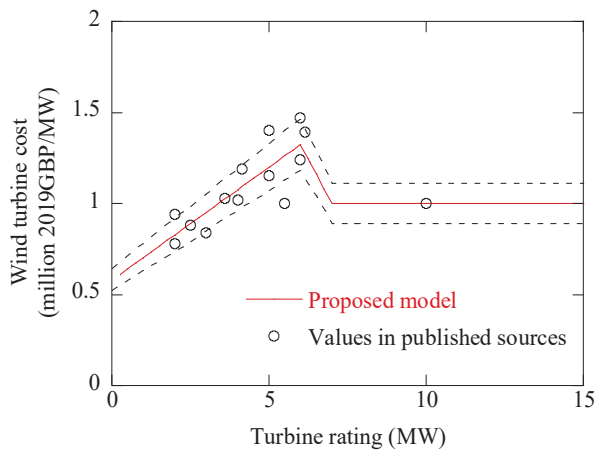
- イギリスで、既に運開された33個の商用洋上風力発電所 (9.95 GW in 2019)
- 3つの時期に分けられる (R. Lacal-Aránategui et al. 2018)



菊地由佳, ジラウオンサパン・ピッチャポン, 石原孟: エンジニアリングモデルを用いた着床式洋上風力発電所のコスト評価に関する研究, 第43回風力エネルギー利用シンポジウム, 2021

風力発電機コスト

$$C_{WT} = \begin{cases} (a_{wt} \times P + b_{wt}) \times P \times N & P < 6 \text{ MW} \\ (c_{wt} \times P + d_{wt}) \times P \times N & 6 \text{ MW} \leq P < 7 \text{ MW} \\ e_{wt} \times P \times N & 7 \text{ MW} \leq P \end{cases}$$



ビジネス環境の変化により7MW以降の風車コストをMWあたり一定とした

支持構造物コスト

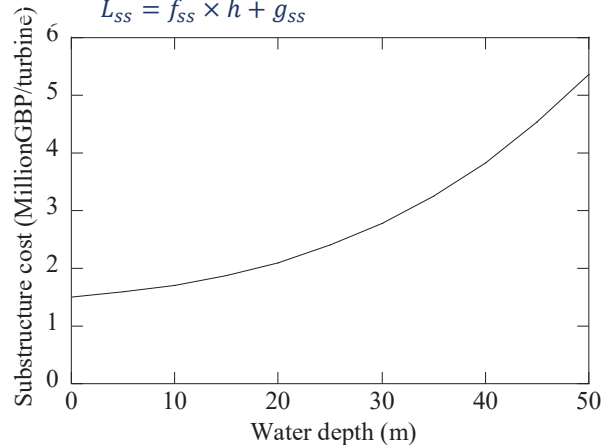
$$C_{SS} = C_{SS-fabrication} + C_{SS-material}$$

$$C_{SS-material} = \pi D_{SS} t_{SS} L_{SS} \times \rho_{steel} \times C_{steel} \times N$$

$$D_{SS} = \max(4, a_{SS} \times h^2 + b_{SS} \times h + c_{SS})$$

$$t_{SS} = d_{SS} \times h + e_{SS}$$

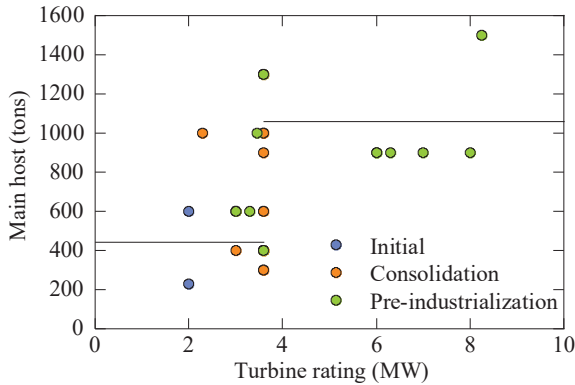
$$L_{SS} = f_{SS} \times h + g_{SS}$$



支持構造物において材料費に加え、製作費を新たに定数として考慮した

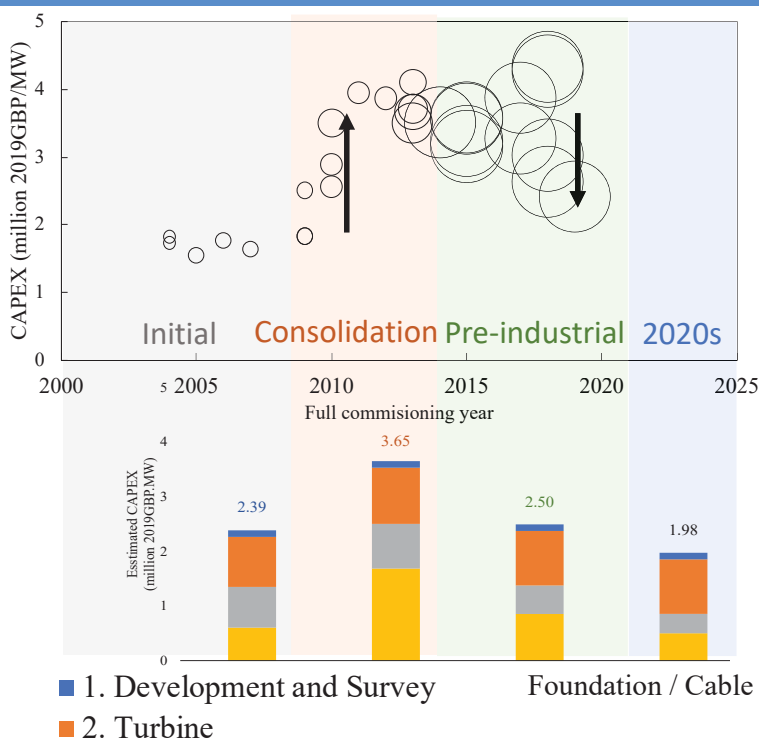
$$IC_{WT} = C_{vessel,fuel} \times N_{trip} + A_{ves}^{wt} \times C_{vessel,wt} \times \alpha_{wt} \times T_{install,wt}$$

$$A_{ves}^{wt} = \begin{cases} P_1 = \frac{0.42 \exp(0.42)}{\exp(0.42) + \exp(1)} = \frac{2}{3}, & P < 3.6 \\ P_2 = \frac{\exp(1)}{\exp(0.42) + \exp(1)} = \frac{1}{3}, & P = 3.6 \\ & P > 3.6 \end{cases}$$



600トン吊り	1000トン吊り
MPI Resolution SEA WORKER Seajacks Kraken	MPI Adventure SEA CHALLENGER Seajacks Scylla

風車・支持構造物の設置船の大きさを表す係数について、詳細な船舶データベースを分析し、クレーン吊り能力より定格出力の関数で評価した
 3.6MW風車について2項ロジットモデルを採用した
 また、設置費モデルでは、2009年以降、保険料等の増加を考慮した



- 発展期では、水深と離岸距離の増加に伴い、支持構造物・送電ケーブル費が増加したが、風車の大型化がその影響を相殺した。建設船の大型化と保険料の増加が大きな影響を持つ
- 商用化期では、風車の大型化がコスト低減に繋がった (Cost / MW)
- 15 MW 風車と船舶賃料の低減により、CAPEXは導入初期より低減している

日本は発展期に位置すると考えられ、イギリスの低減メカニズムを日本に適用して低減シナリオを考えることが可能

$$LCOE \times \sum_{n=0}^N E_n \times (1 + r_n)^{-n} = \sum_{n=0}^N (C_n + OM_n + D_n) \times (1 + r_n)^{-n}$$

		イギリス	日本
発電コスト	LCOE	7 円/kWh	20 円/kWh
建設費	CAPEX	32.6 万円/MW	51.2 万円/MW
維持管理費	OPEX	1.04 万円/MW/年	1.84 万円/MW/年
撤去費	DECEX	4.2 万円/MW	10.7 万円/MW
設備容量	CF	50 %	33 %
運転年数	N	25 年	20 年

8-9 円/kWh は欧州を参考にした発電コストである
日本において実現可能な発電コストの低減シナリオを
定量的に評価する必要がある

エンジニアリングコストモデルを用いた日本のコスト低減評価例 22

コスト低減 方策	現状	CAPEX+DECEX		OPEX		Extension
		施工の 効率化	風車の 大型化	点検と軽微補 修の効率化	大型部品修繕の 効率化	耐用年数 の延長
シナリオ	Baseline	1.1	1.2	2.1	2.2	3
建設費 (万円)	51.2	28.6	25.8	25.8	25.8	25.8
運転維持費 (万円/kW/年)	1.84	1.84	1.84	1.40	1.04	1.04
撤去費 (万円)	10.7	5.7	4.3	4.3	4.3	4.3
運転年数(年)	20	20	20	20	20	25
利用可能率(%)	95	95	95	96	97	97
発電コスト (円/kWh)	20	13.9	13.0	11.4	10.1	9.1

建設費と撤去費の減少により7円/kWh、維持管理費の減少により3円/kWh、
耐用年数の延長により1円/kWhの減少となった

Task26の活動

- 第4期の活動を終え、コスト低減の定量的な評価手法を様々な適用し、手法の有用性や更なる課題が明らかとなった
- Task53では、水素・蓄電池といった技術との組み合わせや、送電システムを考慮したエネルギーシステム全体での風力エネルギーの経済性について研究していく

Task26を受けた日本での活動

- エンジニアリングモデルの分野でTask53に貢献していく予定
- 日本としては、Task53で得た知見を持ち帰り、浮体式洋上風力発電のコスト低減に向けて、エンジニアリングモデルを用いたコスト低減シナリオを評価していくことを考えている



Task 28

Social Science of Wind Energy Acceptance

- ・タスク28について
- ・第四期の活動目標について
- ・現段階での成果について

Technology Collaboration Programme

by IEA



iea wind

社会的受容性のための社会科学

Community Acceptance
Related to the acceptance of specific wind energy developments by host communities

Social Acceptance of Wind Energy

Socio-political acceptance

Related to acceptance of wind technology as a viable energy source and supported in government policy and by the general public

Market acceptance

Related to the acceptance of wind technology by investors, financial institutions and consumers of electricity

Ellis 2016 modeled after Wuestenhagen, 2007

コミュニティの反対は、開発者が直面する最大の問題の一つ

政策立案者や潜在的なホストコミュニティは、しばしば風力発電についての理解を欠き、誤った情報に基づいて意思決定を行うことがある

計画プロセスにホストコミュニティを早期に、あるいは十分に関与させていない場合も少なくない



社会的受容性という課題の重要性



Task 28 第4期

- 2020年5月～2024年4月（4年間）
- 共同OA ガリャー・キーガン（アイルランド）、スザンヌ・テーゲン（アメリカ）
- 会員増強（参加国8カ国から12カ国へ）
- タスクのタイトル変更と範囲の拡大（風力エネルギーの社会的受容性のための社会科学）
- 2つのトラック、5つのワークパッケージ
 - トラック1：研究の集約と分析
 - トラック2：研究の普及、ファシリテーション、知見の交換



Phase IV (2020-2024)

- タスク会議、ウェビナー、研究イニシアティブへの政策立案者、規制当局、開発者、地域社会、特別利益団体の参加の拡大（個人および共同国の資金調達申請に向けた参加者間の協力の拡大）。
- アウトリーチ、多様な参加、エンゲージメント、普及の強化
- Wind Europe 年次会合において社会科学ストリームにおいて、タスク28の活動や専門的知見を発表する機会が増える見込み
- 共同OA（タスクの目標と新しい4年間の作業計画のため）
- タスクのタイトル変更と範囲の拡大（風力エネルギーの社会的受容性のための社会科学）
 - 革新的な付加価値（地域のグリッドインフラのアップグレード、気象・科学ステーション、商業漁業用のアイスプラント、養殖や人工漁礁、道路改善、教育機会、関連する野生生物保護区、革新的な金銭的・非金銭的スキーム、所有モデルと地域の便益
 - コミュニティエンゲージメント（地域対応）への投資のタイミングと事業の成否
 - 新たな課題：大型タービン、コンポーネントのリサイクル、放棄されたタービン、浮体式と固定式、ハイブリッド（風力＋太陽光発電、風力＋電池）、廃炉、廃炉、リパワリング（T1WP3
 - 他の再生可能エネルギーが経験した社会経済的な懸念 – 大規模太陽光や水力発電（T2WP4
 - オフショア-ステークホルダー・エンゲージメントのベストプラクティス（T2WP5）



ワークパッケージ 1-5 (2020-2024)

Track 1:トラック1：研究の集約と分析

WP1 風力発電事業の付加価値と利益にかかわる（社会）イノベーション

WP2 コミュニティの関与と反対に関連するコストの把握

WP3 風力エネルギー受け入れにおける新たな課題（超大型タービン、廃炉・リパワリング、浮体式洋上システムなど）

Track 2:研究の普及、ファシリテーション、知見の交換

WP4 風力エネルギーの社会受容性と社会科学に関する世界レベルでの知識交換の充実（バーチャル/オンライン、可能な場合は対面）

WP5 風力発電による付加価値と利益共有スキームにかかわる社会イノベーション



ワークパッケージ 1: 風力発電事業の付加価値と利益にかかわる (社会) イノベーション

Denmark, Germany, Japan, US, Canada, Ireland

風力発電プロジェクトが提供する社会的に有益な付加価値のイノベーションと、これらがプロジェクトの受容性に与える影響についての短いレポートとオンラインブリーフィングを作成

革新的な付加価値（地域のグリッドインフラのアップグレード、気象・科学ステーション、商業漁業用のアイスプラント、養殖や人工漁礁、道路改善、教育機会、関連する野生生物保護区、革新的な金銭的・非金銭的スキーム、所有モデルと地域の便益

コミュニティは金銭以外の利益（例：学校、道路、インフラ）を好む可能性があり、このWPでは選択肢のメニューと新たな選択肢の可能性（例：養殖や人工リーフ）についての理解を深める



ワークパッケージ 2: コミュニティの関与と反対に関連するコスト の把握



- コミュニティエンゲージメント（地域対応）への投資のタイミングと事業の成否との関係を明らかにする
- 2021年：複数のメンバー国からの意見を参考に、文献のレビューに着手する。
- 2022年:文献調査の内容をブリーフィング（文書およびオンライン）にまとめる



ワークパッケージ 3:

風力エネルギーの受容性における新たな課題



- 風力発電の社会的受容性にかかわる新たな課題（大型タービン、コンポーネントのリサイクル、放棄されたタービン、浮体式と固定式、ハイブリッド（風力+太陽光発電、風力+電池）、廃炉、廃炉、リパワリング）の既存研究がおこなわれつつあり、これらを統合する作業を行う。
- タスク28のメンバーが中心となって新しいファクトシートやウェビナーを作成するために、新たな問題に関連する進行中の研究結果を統合することに重点を置く。
- 2023年以降に社会への動的变化の記述と評価に関する報告書とブリーフィング



ワークパッケージ 4:

風力エネルギーの社会受容性と社会科学に関する世界レベルでの知識交換の充実

Wind Energy Science Conference (2021年6月)
(<https://www.wesc2021.org/>)

招待講演の一つとして社会的受容性のタスクを紹介した。ウェビナーは録画され、タスク28のウェブサイトで公開されている。ホスト国向けの紹介や質疑応答を含むウェビナーを、ホスト国の言語で上映またはナレーションするなど、多言語にも対応。

2022年予定

資金的援助が受けられれば風力エネルギーの受容に関する社会科学の査読付き論文の文献リストをデータセットとして公開したい。Tethys（タスク34）など、他のIEA風力タスクデータベースへのリンクも可能とし、オンラインで検索可能なデータベースに拡張することも可能。



ワークパッケージ 5: 風力発電による付加価値と利益共有スキームに かかわる社会イノベーション

オフショア・ウィンドファーム・プロジェクトの地域社会への受け入れとステークホルダー・エンゲージメントに関する**ベスト・プラクティス・ガイドライン**の発行。

<https://iea-wind.org/task28/t28-publications/>

ワークショップ、セミナー、会議などで国際的に研究成果を発表する。IEA、Wind Europe、Renewables Grid Initiatives、欧州送電系統運用者ネットワーク、EU委員会・議会などの組織に向けた普及啓発を行う

可能であれば、社会的、娯乐的、視覚的、観光的、経済的、健康的などのコミュニティへの影響に関する世界的な例を示したファクトシートを作成したい。



現段階での成果

洋上風力についてのステークホルダーエンゲージメント
社会的受容性に関する知見の集約

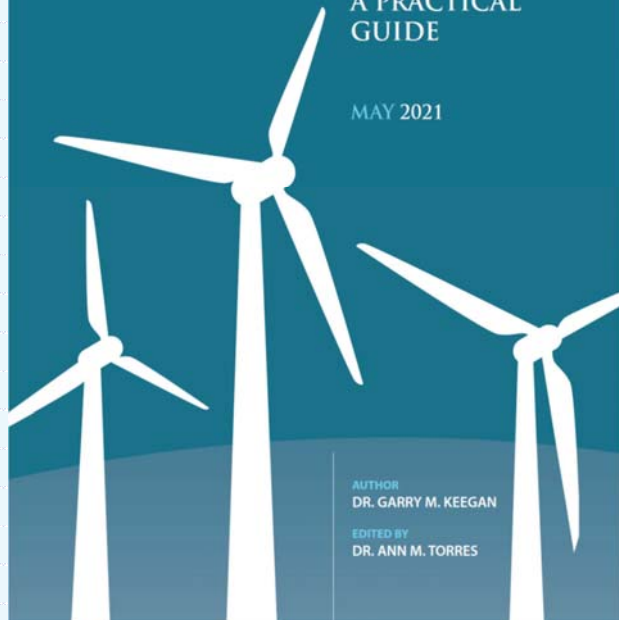
※いずれもタスクウェブサイトにて公開中
(<https://iea-wind.org/task28/t28-publications/>)
近日中に日本語訳版を公開予定



OFFSHORE WIND FARM PROJECTS

STAKEHOLDER
ENGAGEMENT &
COMMUNITY
BENEFITS
A PRACTICAL
GUIDE

MAY 2021



IEA Wind Task 28 Information Resources
<https://iea-wind.org/wp-content/uploads/2021/11/Offshore-Wind-Stakeholder-Engagement-KEEGAN-May-31st-2021.pdf>

まもなく日本語版が公開される予定

13

立地地域であり得るリスク（潜在的可能性として）

問題点	コメント
自然環境	<ul style="list-style-type: none">・ 魚類資源や海洋生物の減少の可能性・ 鳥類個体および鳥の飛来経路に関する懸念・ 自然の美しさや海岸線の質の変化・ 手付かすの自然の価値を損なうこと・ 風車による景観の阻害
生活	<ul style="list-style-type: none">・ 生計維持、技能喪失、生活様式に関する地元漁師の懸念・ 航路妨害や、衝突リスクの増加
文化	<ul style="list-style-type: none">・ 地域の文化や価値の一時的な中断または損傷・ 海岸の景色の本来の特徴や価値との齟齬・ 地域に対する人々の愛着を損なう・ 民主主義の欠如の可能性
生活環境	<ul style="list-style-type: none">・ 景観や不動産価値の観点から地域住民の生活環境が損なわれる・ ポート、釣り、ヨットなどレクリエーション活動へのマイナス効果
ビジネス利益	<ul style="list-style-type: none">・ 観光、伝統的遺産、漁業、レジャー船舶、航空交通、および電気通信へのマイナス影響
健康と安全	<ul style="list-style-type: none">・ 電磁場の存在・ ケーブル陸揚げ地点/陸上系統連系、ケーブルルート、および変電所が与える潜在的影響および安全に関わる影響

14

洋上風力の潜在的ステークホルダー

地元のステークホルダー・グループ 例

居住者

- ・沿岸および港湾コミュニティ
- ・居住者協同組合
- ・住民組織
- ・自警団

コミュニティのインフルエンサー（影響力を持つ人）

- ・地域のオピニオン・リーダー
- ・大規模な雇用主
- ・選ばれた市民の代表
- ・地元、市、地域、州、国の放送メディアや活字メディア
- ・ソーシャルメディアに関心のある人
- ・有名人、セレブリティ

業界団体

- ・地元の小売店
- ・商工会議所
- ・サービス業および製造業
- ・商業漁業者
- ・輸送会社
- ・労働組合
- ・電気通信事業者
- ・観光産業提供者
- ・接客および宿泊施設提供者

洋上風力の潜在的ステークホルダー（続き）

地元のステークホルダー・グループ 例

行政当局

- ・防衛省
- ・空港当局
- ・航空会社
- ・航空救難
- ・海洋管理サービス
- ・流域管理局
- ・地方自治体
- ・ローカルネットワーク
- ・観光協会
- ・先住民と彼らの代表

その他のグループ

- ・宗教団体
- ・スポーツクラブ、スカウト活動
- ・レジャー・ボート・クラブ、ボート・ヨット協会
- ・環境・自然・保護団体
- ・バードウォッチング・グループ
- ・ウォーキング・ハイキングクラブ
- ・特殊利益集団（水深測量など）

コミュニティエンゲージメントの指針

早期の関与	明確なコミュニティ・エンゲージメント・プランを早い段階で周知させる。
可視化	プロジェクトの初期段階や、調査段階で視覚的資料を作成する
コミュニティの関与	計画策定時のコミュニティ関与の価値および地域についての知識を認識すること。
コンサルテーション・プロセス	地域の計画策定当局およびステークホルダーとコンサルテーション・プロセスを計画・設定する
包括的	全てのステークホルダー・グループを関与させ配慮するために、包括的アプローチを使う
戦略的エンゲージメントのレベル	地域にふさわしい、コンサルテーション方法やテクニックを使う。戦略的エンゲージメントのレベルを決定する。
透明性	情報発信やフィードバックを受けるエンゲージメント活動において透明性とアクセス性を常に確保する。
柔軟性	計画はステークホルダーの見解を組み込めるよう、柔軟でなければならない。
対話	計画体制を認識した上で、事業設計・計画の変更について有意義で丁寧な対話を継続し、内容については適時に伝達して議論する。
ネットワーク	社会的・非公式ネットワークの重要性を認識する。コミュニティと協力関係を築く。
地域資源	雇用や契約を満たすために地域の人材や資源を活用する。
ベネフィット・スキーム	緩和策、補償手段、およびベネフィット・スキームについて地域コミュニティと話し合う。 企業の社会的・倫理的責任とガバナンスについて認識する。

コミュニティエンゲージメントの手順

要素	コメント
主要ステークホルダー	地元や地域の意見を反映する主要ステークホルダーのコアグループを作る。
問題へのスコーピング	ステークホルダーを確定し、問題の最初のスコーピングを行い、どの問題がどのステークホルダーに重要であるかを明確にする。
コンサルテーション・プロセス	コンサルテーション・プロセスを設計する。目標とアウトプット、技法、主要イベント、タイミング、資源調達、予算、他の法定あるいは非法定プロセスで合意し、調整を設計する。
ステークホルダーの連絡代表	ステークホルダーがコミュニティ/プロジェクト連絡代表と情報をやり取りすることのできる個人を確認し指名する。中立的な議長についての合意、およびこれまでに確認されたさまざまなステークホルダーを代表する事業モニタリング委員会（Residents Project Monitoring Committee）の設立を検討する。
対話	さまざまなステークホルダー・グループの明確化や、提案されている洋上風力発電所の立地に固有の要素も含め、地域のコミュニティや利害関係者の意見や懸念を引き出すために、公開集会、スタッフ参加の展覧会、および地域の連絡窓口あるいは連絡電話番号の設定などの二者間の連絡方法は初期段階で必要となる。
コミュニケーション戦略	事業推進者は、事業水域内の地域のステークホルダーを包括的に理解し、接触する方法について戦略を立てる必要がある。
包括的なアセスメント	開発業者は、同意に向けた申請を行う段階で、海洋環境や鳥類、景観、漁業や海運業も含め、広範囲にわたるステークホルダーに対し、プロジェクトの予想される影響の包括的評価を示すことが重要。

社会的受容性に関する知見の集約

◆ 風車への不快感に関するメタ分析

- 全体として不快に感じる人の割合は低い（1~5%程度）
- （規制を満たしている場合）現段階では風車からの距離と健康影響の関係は実証されていない
- 社会的要因の影響力が大きい
 - ◆ 地域文化とアイデンティティー
 - ◆ プロジェクトの意義への理解

Michaud, D. S., et al. (2016)
DOI: 10.5665/sleep.5326.
Poulsen et al.(2018)
DOI: 10.1016/j.envint.2018.08.054
Pedersen, E. and Persson Waye, K. (2004)DOI:10.1121/1.1815091
Pasqualetti, M. J. (2011)
DOI:10.1080/00045608.2011.568879
Fast, S., et al. (2016)
DOI:10.1038/nenergy.2015.28
Fast, S., et al. (2016)
DOI:10.1038/nenergy.2015.28
ほか



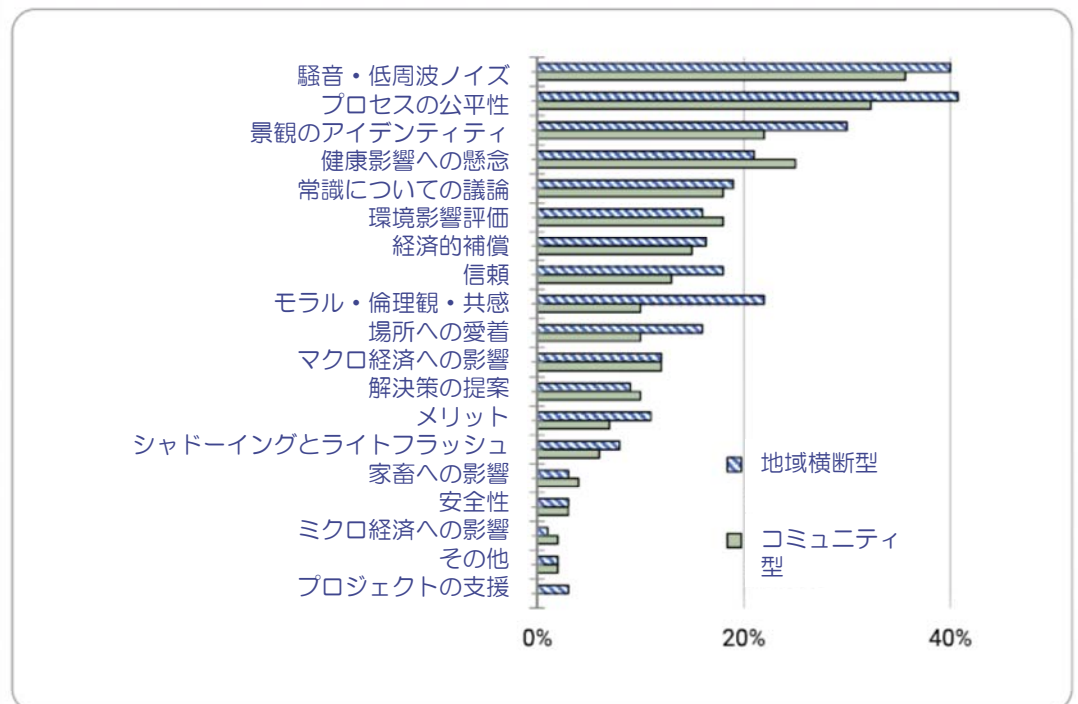
Hübner, G. (2020). Chapter 10 - Citizen participation for wind energy: experiences from Germany and beyond. The Role of Public Participation in Energy Transitions. O. Renn, F. Ulmer and A. Deckert, Academic Press: 179-190.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819515-4.00010-6>

社会的受容性に関する知見の集約

◆ デンマークにおけるSNSの分析（風力反対者のFacebookページとグループ）

◆ 主な問題関心の分布（右図）

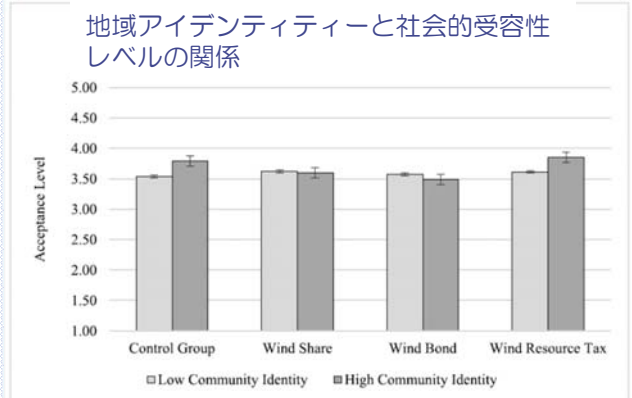
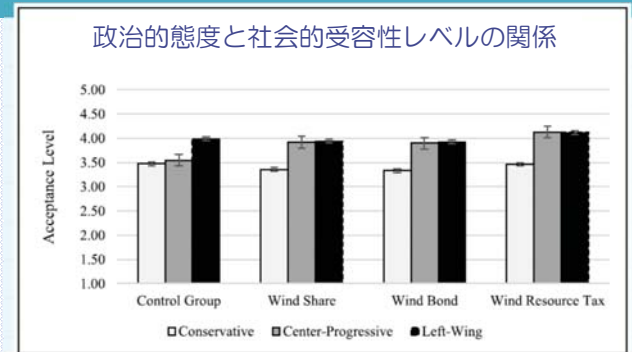
◆ 地域横断型とコミュニティ型の違い



Borch, K., et al. (2020). "Mapping wind-power controversies on social media: Facebook as a powerful mobilizer of local resistance." Energy Policy 138: 111223.

社会的受容性に関する知見の集約

- ◆ スイスにおける社会調査
- ◆ 4つの利益分配方法による社会的受容性への効果の比較
 - 利益配分無し
 - 資本参加（Wind Share）：ハイリスク・ハイリターン
 - 社債（Wind Bond）：ローリスク・ミドルリターン
 - 資源税：ノーリスク・ローリターン
- ◆ 全体として利益配分が社会的受容性を向上させる効果は少なめ
- ◆ ただし政治的態度が中道的な人々に対しては大きな効果が認められる
- ◆ 資本参加や社債と比較して地域全体に利益が還元される方法の効果が高い



Vuichard, P., et al. (2019). "Individual or collective? Community investment, local taxes, and the social acceptance of wind energy in Switzerland." *Energy Research & Social Science* **58**: 101275.

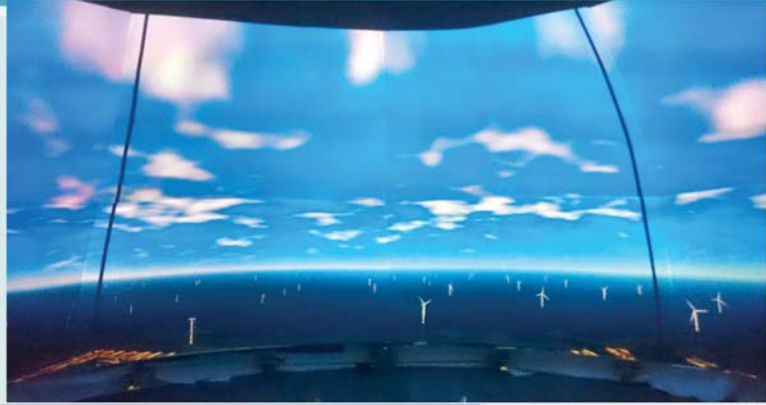
社会的受容性に関する知見の集約

- ◆ 景観に関する文献レビュー
 - 可視性と受容性の間には必ずしも負の関係はない
 - 住民の反対理由として仮定される『NIMBY (not in my backyard)』は妥当ではない
 - 一般的に大規模なウィンドファームより小規模なウィンドファームの方が好まれる
 - タービンやウィンドファームの規模に対する好感度は、設置場所の地理的背景（例：高地からの景観、肥沃な農地など）によって異なる
 - 中庸な色で塗装され、景観に溶け込んでいるタービンがより好感を持たれる
- ◆ 景観の問題はインフラ自体の美的性質と景観への適合性の問題
 - 例えば下図のようなフォトモンタージュでは一番右のT型が好まれる



Devine-Wright, P. and S. Batel (2013). "Explaining public preferences for high voltage pylon designs: An empirical study of perceived fit in a rural landscape." *Land Use Policy* **31**: 640-649. 22

社会的受容性に関する知見の集約



Akzeptanz Erneuerbarer Energien:
Beteiligung, Visualisierung und Evaluation
am Beispiel küstennaher Offshore-Windparks
in Mecklenburg-Vorpommern

『再生可能エネルギーの受容性：メク
レンブルク洋上風力の事例における住民参
加と可視化による評価』

<https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-32668-01.pdf>

23

今後の予定

◆2022年後半に各ワークパッケージの成果を集約

◆次回ミーティング（5月）は日本で開催される可能性があり、実現すれば国内向けのセミナーを実施したい

24



第10回
IEA Wind セミナー

2022年3月1日



Task 25:

変動電源大量導入時の エネルギーシステムの設計と運用



京都大学大学院 経済学研究科
再生可能エネルギー経済学講座 特任教授

安田 陽



Task 25 の紹介

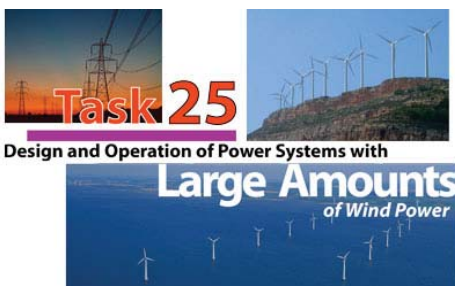
今期から名称変更

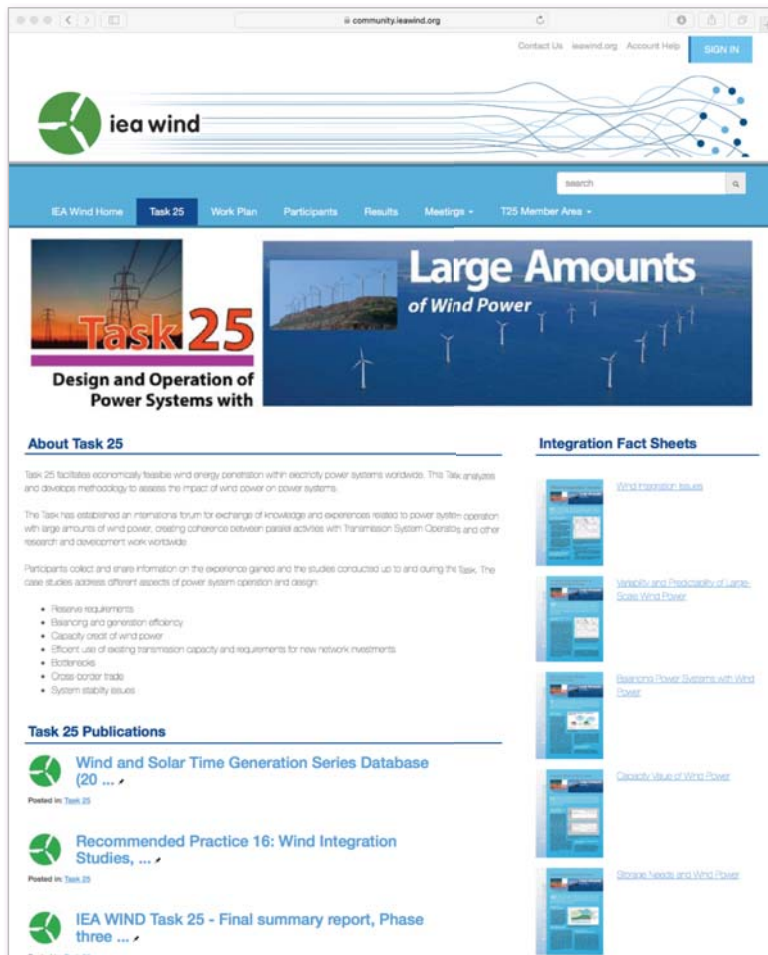
■ 名称

- 変動電源大量導入時のエネルギーシステムの設計と運用

■ 目的

- エネルギーシステムへの変動性再生可能エネルギーの大量導入を促進する最も経済的に実現可能な方法に関する情報の提供
- 風力発電が大量導入された電力システムの運用に関する知識と経験の情報交換





<https://community.ieawind.org/task25/home>



これまでの活動経緯



- 第1期 (2006～2008年, 11ヶ国+1団体(EWEA))
 - 第1期報告書(2009) → 日本語訳(2012)
- 第2期 (2009～2011年, 14ヶ国+1) ← 日本参加
 - 第2期報告書(2012)
- 第3期 (2012～2014年, 15ヶ国+1)
 - 第3期報告書(2015) → 日本語訳(2020), RP16(2013)
- 第4期 (2015～2017年, 16ヶ国+1)
 - 第4期報告書(2018)
 - RP16(2018)(PVPS Task14と共同) → 日本語訳(2022予定)
- 第5期 (2017～2020年, 18ヶ国+1)
 - Fact Sheet 2020年版 → 日本語訳(2020)
 - 第5期報告書(2021) → 日本語訳(2022予定)
- 第6期 (2021年～, 15ヶ国+2)

+ Task25の構成

■ 構成メンバー

- TSOなど実務者も多い
 - Hydro Québec(CA)
 - Energinet.dk (DK)
 - TenneT (DE)
 - RTE (FR)
 - Terna (IT)

女性率も高い
(ジェンダーバランス)



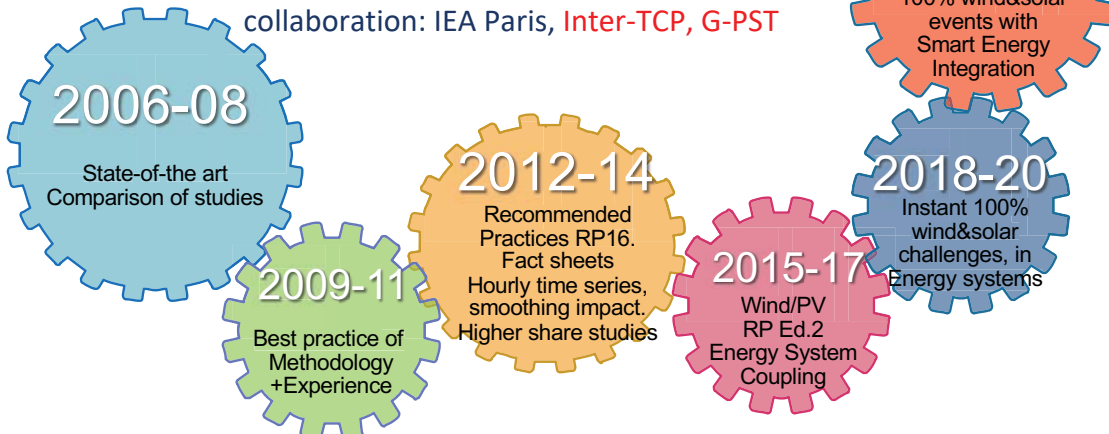
■ 日本からは、以下の専門委員が参加

- 近藤潤次 (東京理科大) 2009年～2020年
- 安田 陽 (京都大学) 2010年～
- 田辺隆也 (東京電力/電力中央研究所) 2014年～
- 荻本和彦 (東京大学), 辻 隆男 (横浜国立大学) 2020年～

+ これまでの活動経緯

Task Objectives & Expected Results

- Objectives: recommend methodology to assess the impact of wind (and solar) power on energy systems, and mitigation
- Outcomes: RP16 Ed 3 / articles / fact sheets / bibliography / benchmarking simple tool / reference systems + collaboration: IEA Paris, Inter-TCP, G-PST



+ ワークプラン



- **WP1: Planning Topics** 系統計画
 - Transmission Planning
 - Generation capacity expansion and security of supply
 - Energy System Integration
- **WP2: Balancing Topics** 需給調整 (含む柔軟性)
 - Balancing the system
 - Need for flexibility and options to provide flexibility
 - Smart sector integration
- **WP3: Stability Topics** 安定度 (含む慣性問題)
 - Operation and stability of low-inertia RES power systems
 - Design and operational requirements
 - Reliability services
- **WP4: Market Topics** 電力市場
 - Ancillary Service markets to energy markets and capacity market
 - New market products, such as flexible ramping products.

+ 2021年度の活動



- 春季オンライン会議
 - 当初、日本開催も計画されていたが…。
 - 3月13～15日
 - 参加者: 約40名
- 秋季ハイブリッド会議
 - 10月2日～10月3日
 - オランダ・デルフトにてリアル開催+オンライン
 - 参加者: 約40名

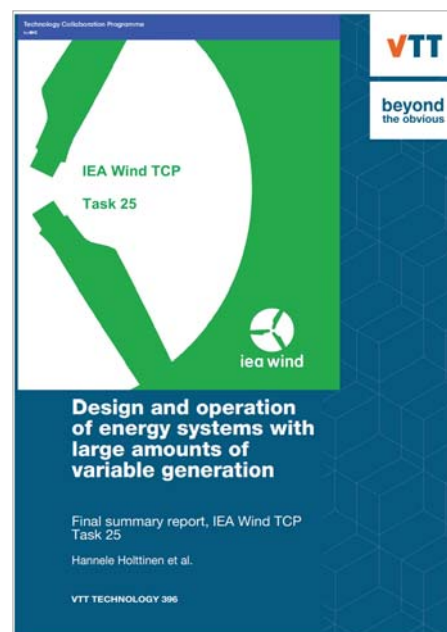
online会議の方がリアル開催よりも参加者が多い傾向

+ 第5期最終報告書 (2021年10月)

9



- Design and operation of energy systems with large amounts of variable generation
- Final summary report, IEA Wind Task25, Phase 5
 - <https://publications.vtt.fi/pdf/technology/2021/T396.pdf>



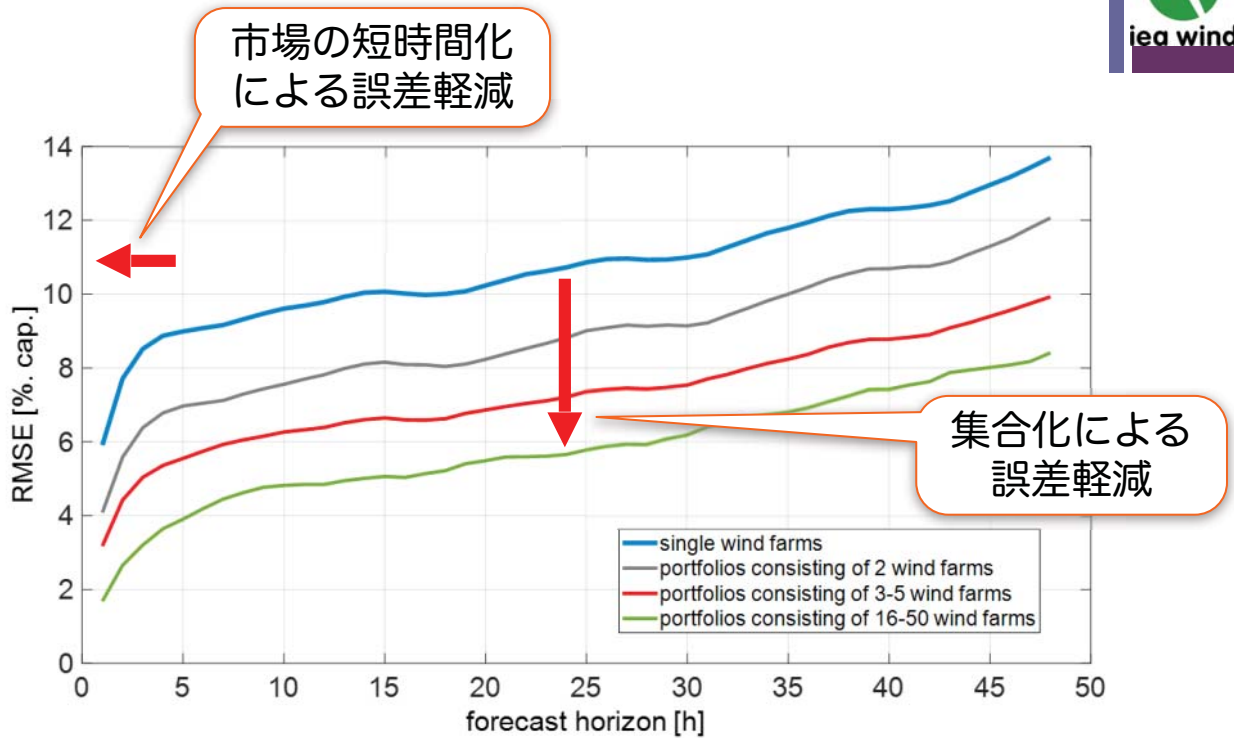
+ 第5期最終報告書 (目次より)

10



- 1. Introduction
- 2. Variability and uncertainty of power system **変動性と不確実性**
- 3. Transmission planning **系統計画**
- 4. Ensuring long-term reliability and security of supply **長期的信頼度**
- 5. Ensuring short-term system reliability **短期的信頼度**
- 6. Maximising the value of wind power in operations **風力の価値**
- 7. Pushing the limits: Toward 100% share of renewables **100%再エネ研究**
- 8. Conclusions

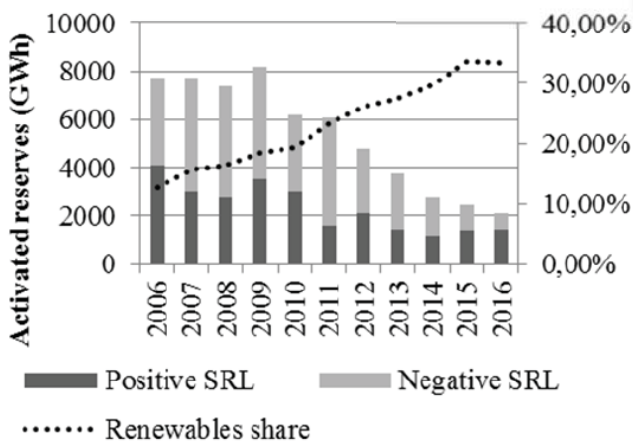
+ 不確実性(予測誤差)と制度設計



(source) IEA Wind Task25: Design and operation of power systems with large amounts of wind power, Final summary report, Phase 5 (2022)

+ 再エネ増加にも関わらず 応動予備力は減少

市場の短時間化により、
必要な予備力は却って減少



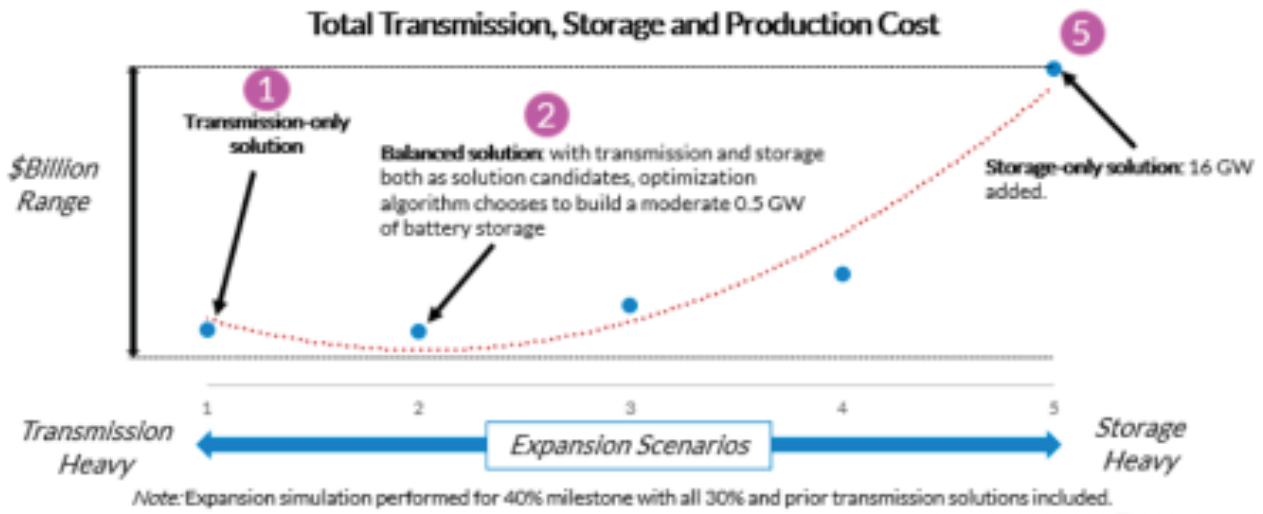
ドイツの事例 (2006~2016)



米国テキサスの事例 (2011~2015)

(source) IEA Wind Task25: Design and operation of power systems with large amounts of wind power, Final summary report, Phase 5 (2022)

+ 系統計画と蓄電池

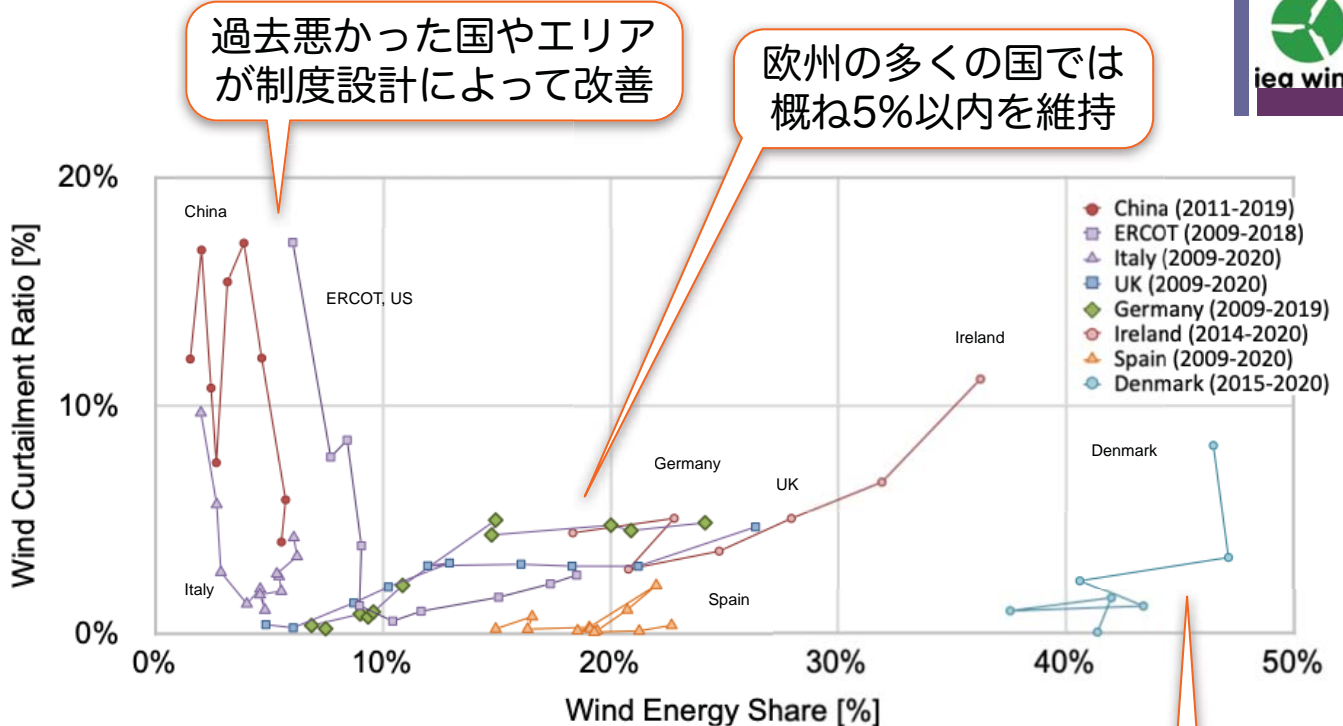


系統増強は
低コスト

蓄電池偏重は
高コスト

(source) IEA Wind Task25: Design and operation of power systems with large amounts of wind power, Final summary report, Phase 5 (2022)

+ 出力抑制国際比較



VREシェアが大きな国で苦戦

(source) IEA Wind Task25: Design and operation of power systems with large amounts of wind power, Final summary report, Phase 5 (2022)



出力抑制国際比較

追加



- Task25有志の共同論文が **Renewable & Sustainable Energy Reviews** 誌に掲載されました。(Open Access / CC-BY 4.0)

- 欧州, 北米, 中国, 日本の風力・太陽光の出力抑制比較
- C-E Map (抑制率-導入率相関図) による歴史的推移



Renewable and Sustainable Energy Reviews 160 (2022) 112212

Contents lists available at ScienceDirect

ELSEVIER

Renewable and Sustainable Energy Reviews

journal homepage: www.elsevier.com/locate/rser

C-E (curtailment – Energy share) map: An objective and quantitative measure to evaluate wind and solar curtailment

Yoh Yasuda^{a,*}, Lori Bird^b, Enrico Maria Carlini^c, Peter Børre Eriksen^d, Ana Estanqueiro^e, Damian Flynn^f, Daniel Fraile^g, Emilio Gómez Lázaro^h, Sergio Martín-Martínezⁱ, Daisuke Hayashi^j, Hannele Holttinen^k, Debra Lew^l, John McCam^m, Nickie Menemenlisⁿ, Raul Miranda^o, Antje Orths^p, J. Charles Smith^q, Emanuele Taibi^r, Til Kristian Vrana^s

^a Kyoto University, Yoshida-Homachi, Sakyo-Ku, Kyoto, 606-8601, Japan
^b World Resources Institute, 10 G Street, NE Suite 800, Washington, DC, 20002, USA
^c TERNA Rete Italia, Viale Egidio Galvani 70, 00156, Rome, Italy
^d Ea Energy Analyses, Copenhagen, Denmark
^e LNEG, Aviação dos Lusitanos e Estrada Do Pays De Lumiar, 22, 1649-038, Lisbon, Portugal
^f University College Dublin, Belfield, Dublin 4, Ireland
^g WindEurope, Rue Belliard 40, Brussels, 1040, Belgium
^h University of Castilla-La Mancha, 02071, Albacete, Spain
ⁱ Kitazumeikan University, 56-1 Fuji in Kitamachi, Kitasaku, Kyoto, 603-8577, Japan
^j Recogis, C/o Oy Acire AB, Karhämäentie 3, 01530, Vantaa, Finland
^k ESIG, P.O. Box 2787, Reston, VA, 20195, USA
^l Sustainable Energy Authority of Ireland (SEAI), 3 Park Place Hatch Street Upper Dublin 2, Co.Dublin, D02 F3K5, Ireland
^m Hydro Quebec, Varennes, QC, J3X 1S1, Canada
ⁿ International Renewable Energy Agency (IRENA), Willy-Brandt-Allee 20, 53113, Bonn, Germany
^o Energinet, Tomte Kjøerovig 65, DK-7000, Fredericia, Denmark
^p SINTEF Energy, Sem Sæviands vei 11, 7034, Trondheim, Norway

ARTICLE INFO

Keywords:
 Wind power
 Curtailment ratio
 Penetration ratio
 VRE (Variable renewable energy)
 Photovoltaic (PV)
 Solar power

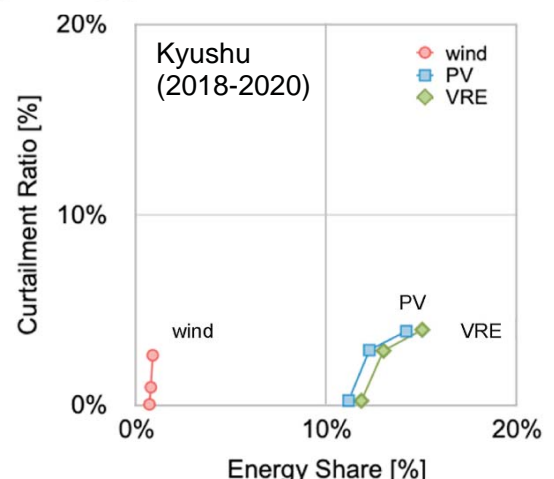
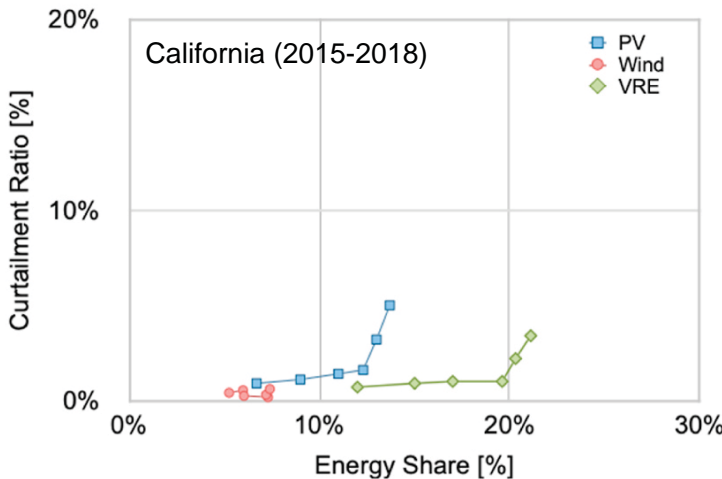
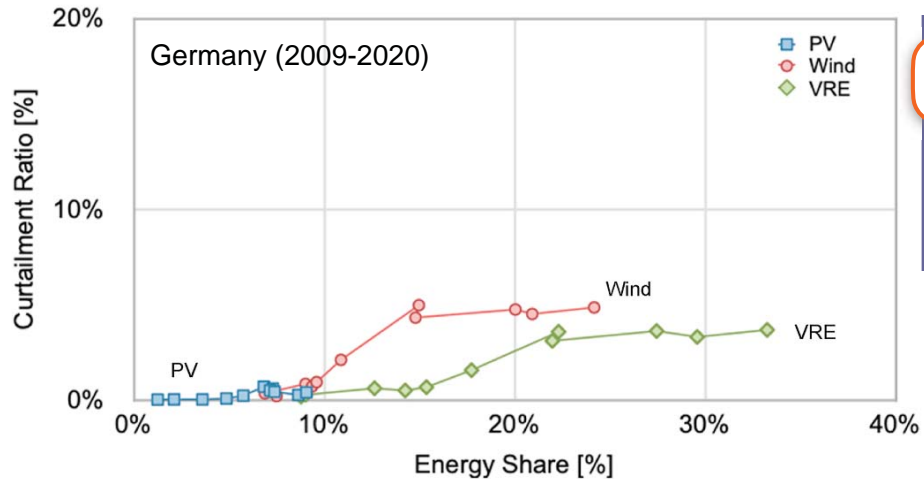
ABSTRACT

As the share of VRE (variable renewable energy) has grown rapidly, curtailment issues have arisen worldwide. This paper evaluates and compares curtailment situations in selected countries using an objective and quantitative evaluation tool named the “C-E map” (curtailment-energy share map). The C-E map is a correlation map between curtailment ratios that mean curtailed wind (or solar) energy per available energy and energy shares of wind (or solar). The C-E map can draw a historical trend curve in a given country/area, as an at-a-glance tool to enable historical and/or international comparison. The C-E map also can classify the given countries/areas into several categories, according to the current levels of curtailment ratio and historical trends. The C-E map helps institutional and objective understanding of curtailment for non-experts including policy makers.



出力抑制国際比較

追加



(source) Y. Yasuda et al.: C-E (curtailment – Energy share) map: An objective and quantitative measure to evaluate wind and solar curtailment, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 160 (2022) 112212

doi.org/10.1016/j.rser.2022.112212

+ 日本からの貢献

15



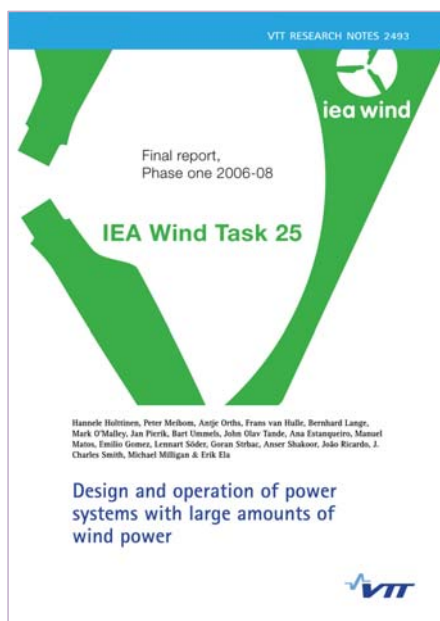
- Task25有志による共同論文（安田）
 - 出力抑制国際比較
 - Phase 4 Summary Report (2018)に掲載
 - Renewable and Sustainable Energy Review に掲載決定
 - 柔軟性評価チャート
 - 共同論文準備中

+ Task25成果物の翻訳

16



- 第1期報告書 (2009年)
- 2012年に日本語訳を公開
- <http://jema-net.or.jp/Japanese/res/wind/shiryo.html>



+ Task25成果物の翻訳

- 2020年10月: 日本語訳を公開
 - ファクトシート
https://www.nedo.go.jp/library/ZZFF_100033.html
 - 第3期最終報告書
https://www.nedo.go.jp/library/ZZFF_100035.html



+ Task25成果物の翻訳



RP16(2018)(PVPS Task14と共同)



第5期報告書(2021)

+ まとめと今後の方針

19



- 再生可能エネルギーの系統連系（エネルギー統合）に関する情報や概念は、依然として日本と世界で乖離
- Task25から得られる情報は非常に貴重
- **世界** → **日本**: Task25の情報の普及啓発
 - 報告書の翻訳
- **日本** → **世界**: 日本の知見のTask25への貢献
 - 国際共同論文
 - NEDOプロ成果などの発表



Task 25:
変動電源大量導入時の
エネルギーシステムの設計と運用

ご清聴有り難うございました。

yasuda@mem.iee.or.jp

第10回
IEA Wind
セミナー



第10回IEA Windセミナー 閉会にあたって

2022年3月1日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)
新エネルギー部 風力・海洋グループ
統括研究員 佐々木淳

**グリーンイノベーション基金事業、「洋上風力発電の低コスト化」
に着手 — 4分野で要素技術の研究開発を推進し、洋上風力発電
の導入拡大を目指す —**

NEDOは、グリーンイノベーション基金事業の一環として、浮体式を中心とした洋上風力発電のコスト低減によって導入拡大を目指すプロジェクト「洋上風力発電の低コスト化」(総額1195億円)に着手します。

本プロジェクトでは、まずフェーズ1として「次世代風車」、「浮体式基礎製造・設置低コスト化」、「洋上風力関連電気システム」、「洋上風力運転保守高度化」の4分野を対象とした、18テーマの要素技術研究開発を進めます。また、最速2023年度以降に実施する実証研究(フェーズ2)と合わせて、浮体式を中心とした洋上風力発電の早期の低コスト化を通じた導入拡大を目指します。

研究開発項目：フェーズ1-① 次世代風車技術開発事業

事業の目的・概要

2030年までに一定条件下（風況など）で、着床式洋上風力発電の発電コストが8～9円/kWhを見通せる技術または浮体式洋上風力発電を国際競争力のあるコスト水準で商用化する技術の確立を目標に、グローバルメーカーとの協働を視野に入れながら、日本・アジア市場向けの洋上風車要素技術（次世代発電機、台風・落雷対応、低風速域向けブレードなど）を開発し、設備利用率の向上および大量生産技術の確立によりコストを低減する。

実施体制

※太字：幹事企業

- ① **大同メタル工業株式会社**
- ② **株式会社石橋製作所**
- ③ **NTN株式会社**
- ④ **株式会社駒井ハルテック**

事業規模など

- 事業規模^{*1} : 約211億円
- 支援規模^{*1*2} : 約150億円
- *1 採択テーマの提案総額であり、今後の手続きにより変更の可能性あり。
- *2 インセンティブ額を含む。
- 補助率 : 2/3補助（インセンティブ率は10%）

事業期間

2021年度から原則最大5年間

事業イメージ

風車の高品質大量生産技術

日本の生産技術やロボティクス技術を生かし、大型風車の国内における高効率生産を実現

次世代風車要素技術開発

発電機、電力変換装置、増速器および周辺機器などのナセル部品の高性能、高信頼・耐久性、低コスト化技術開発

研究開発項目：フェーズ1-② 浮体式基礎製造・設置低コスト化技術開発事業

事業の目的・概要

2030年までに一定条件下（風況など）で、浮体式洋上風力発電を国際競争力のあるコスト水準で商用化する技術の確立を目標に、造船技術や建設インフラなどを活用しながら各種浮体の最適化、大量生産技術を確立し、先進的な浮体・係留システムを世界に先駆けて開発する。

実施体制

※太字：幹事企業

- ① **日立造船株式会社**、**鹿島建設株式会社**
- ② **三井海洋開発株式会社**、**東洋建設株式会社**、**古河電気工業株式会社**、**株式会社 J E R A**
- ③ **ジャパン マリンユナイテッド株式会社**、**日本シップヤード株式会社**、**ケイライン・ウインド・サービス株式会社**、**東亜建設工業株式会社**
- ④ **東京電力リニューアブルパワー株式会社**、**東京電力ホールディングス株式会社**
- ⑤ **戸田建設株式会社**
- ⑥ **東京瓦斯株式会社**

事業規模など

- 事業規模^{*1} : 約133億円
- 支援規模^{*1*2} : 約100億円
- *1 採択テーマの提案総額であり、今後の手続きにより変更の可能性あり。
- *2 インセンティブ額を含む。
- 補助率 : 2/3補助（インセンティブ率は10%）

事業期間

2021年度から原則最大3年間

事業イメージ

浮体基礎の最適化

風車の大型化および台風、地震、複雑な海底地形などの自然条件に対応した浮体基礎の最適化および材料削減によるコスト低減

浮体の量産化

連続製造に適した浮体を設計し、浮体製造のパネル化やブロック化、分割施工、ドックに依存しない浮体の大量製造などの技術を確立

ハイブリッド係留システム

軽量化可能な合成繊維索の特性を生かし、合成繊維索と鋼製索からなるハイブリッド係留システムの設計・製造技術を開発し、係留システムを低コスト化

低コスト施行技術の開発

浮体製作場所に対応した浮体基礎の浜出し・えい航方法、クレーン付き台船やジャッキアップ型作業構台を活用した大型風車の据え付け方法、ハイブリッド係留システムおよび共用アンカーの施工技術の開発による低コスト化

研究開発項目：フェーズ1-③ 洋上風力関連電気システム技術開発事業

事業の目的・概要

2030年までに一定条件下（風況など）で、着床式洋上風力発電の発電コストが8～9円/kWhを見通せる技術または浮体式洋上風力発電を国際競争力のあるコスト水準で商用化する技術の確立を目標に、台風などの厳しい気象条件やうねりなどの海象条件の中で、浮体の挙動によるケーブルの曲がりやねじれに耐えうる強度や、浮体式変換設備の揺れに対する制御技術、ウインドファームの大規模化を見据えた、ダイナミックケーブルなどの高電圧化や高耐久性・低コスト化の技術開発を行う。また、大規模浮体式洋上ウインドファームの実現に向けた浮体式洋上変電所技術を確立する。

実施体制

※太字：幹事企業

- ① **東京電力リニューアブルパワー株式会社**、東北電力株式会社、北陸電力株式会社、電源開発株式会社、中部電力株式会社、関西電力株式会社、四国電力株式会社、九電みらいエナジー株式会社、住友電気工業株式会社、古河電気工業株式会社、東芝エネルギーシステムズ株式会社、三菱電機株式会社

事業規模など

- 事業規模*1 : 約32億円
 - 支援規模*1*2 : 約25億円
- *1 採択テーマの提案総額であり、今後の手続きにより変更の可能性あり。
*2 インセンティブ額を含む。
- 補助率 : 2/3補助（インセンティブ率は10%）

事業期間

2021年度から原則最大3年間

事業イメージ

高電圧ダイナミックケーブル

風車の大型化に対応できる66kV超えの高圧アレイト送電用のダイナミックケーブルを開発し、洋上送電を低コスト化

浮体式洋上変電所

大規模浮体式洋上ウインドファームの実現に向けた高効率・高密度な電力変換技術、並びに電気機器やケーブルの疲労荷重を抑制した浮体式洋上変電所の開発

研究開発項目：フェーズ1-④ 洋上風力運転保守高度化事業

事業の目的・概要

2030年までに一定条件下（風況など）で、着床式洋上風力発電の発電コストが8～9円/kWhを見通せる技術または浮体式洋上風力発電を国際競争力のあるコスト水準で商用化する技術の確立を目標に、運転中のデータを集積・分析・管理するプラットフォームの構築や人員などの輸送ソリューションを視野に入れつつ、台風、落雷、うねりなど日本、アジア市場特有の事象に対応するため、陸上風車のスマートメンテナンスや落雷対策技術を活用し、先進的な運転保守技術の開発を行う。

実施体制

※太字：幹事企業

- ① **関西電力株式会社**、**関電プラント株式会社**
 ② **古河電気工業株式会社**、**東京汽船株式会社**、**イーストブリッジリニューアブル株式会社**
 ③ **東京電力リニューアブルパワー株式会社**、**東芝エネルギーシステムズ株式会社**
 ④ **東京汽船株式会社**、**イーストブリッジリニューアブル株式会社**
 ⑤ **株式会社北拓**
 ⑥ **NTN株式会社**
 ⑦ **戸田建設株式会社**

事業規模など

- 事業規模*1 : 約24億円
 - 支援規模*1*2 : 約19億円
- *1 採択テーマの提案総額であり、今後の手続きにより変更の可能性あり。
*2 インセンティブ額を含む。
- 補助率 : 2/3補助（インセンティブ率は10%）

事業期間

2021年度から原則最大3年間

事業イメージ

運転保守および修理技術の開発

洋上環境に適した修理技術や塗装管理技術の開発、浮体式風車をえい航せず現地で大規模修理を行う技術の開発、係留索の張力調整技術、ダイナミックケーブルの脱着技術、高稼働率の作業船や作業員輸送船の開発

デジタル技術による予防保全・メンテナンス高度化

風車運転保守データおよびCMSデータ収集システムの高度化、デジタルツインによる予防保全技術、AI技術を活用した部品寿命予測の高精度化

監視および点検技術の高度化

低コストの監視および点検技術（遠隔モニタリングと状態監視メンテナンスのための新たなセンサーとアルゴリズム、空中・水中ドローン、点検ロボット、通信技術など）の開発

ご参加ありがとうございました。

第10回 IEA Wind セミナーの Q&A に寄せられたご質問に対する回答一覧

#	ご質問	回答
1	Task25 のタイトルが若干変わりましたが、前回のフェーズと今回のフェーズで研究テーマの方向性の違いはなんでしょうか。風力の導入率とコストに対応した系統連系の柔軟性、発電設備の柔軟性の話がよくありましたが、今後どのようなテーマがメインとなりますでしょうか。	ご質問有難うございます。前回のフェーズと今回のフェーズで特段方向性に大きな変更はありませんが、①風力だけでなく、他の再生可能エネルギー（太陽光や水力、バイオマス）との連携・協調・統合も視野に入れたこと、②電力システムだけでなく、熱や運輸部門を含むエネルギーシステム全体の統合を視野に入れたこと、がこれまでとの相違点であり、名称の変更の理由でもあります。今後は引き続き供給信頼度や系統安定性、柔軟性、電力市場などが調査テーマとなりますが、それらに加え、セクターカップリングと 100%再エネ研究が新たなテーマとして加わることになりました。(Task25 安田回答)
2	安田先生のお話の中で、九州電力管内の出力抑制実績のスライドがあり、風力の導入量が少ないにもかかわらず出力抑制が多く行われているとのことでした。これは、九州電力では、太陽光と風力とを同じに出力抑制しているためであると考えてよいのでしょうか？	はい。その通りです。2021 年(暦年)の九州エリアの出力抑制率は太陽光が 4.3%、風力が 3.0%なので、九州電力送配電としては、太陽光と風力の抑制率はほぼ同程度(風力の方が若干少ない)となるように抑制する発電所を配分していると思料されます。これは一見公平なように見えますが、IEA Wind Task25 が開発した C-P マップ(抑制率-導入率マップ)という手法で評価した場合、導入率 14.6%の太陽光が 4.3%の抑制率となるのは国際水準に比べて妥当な範囲に収まっているものの、導入率わずか 1.0%の風力が抑制率 3.0%もあるのは他国のこれまでの知見や経験に比べ異常に多い数値であると言えます。(Task25 安田様)
3	風力発電コストについて日本で最近安い価格で落札された案件がありましたが、このデータも予測等に反映されてくるでしょうか？	専門家意見による将来のコスト低減予測、風力の価値の評価、といった分野では、このような日本の動向も反映されていくと思います。(Task26 菊地回答)

#	ご質問	回答
4	<p>Task26 の 20 ページで菊池先生は発電コストを 20 円と記載されていますが、20 円には IRR10%が含まれているのでしょうか？もし含まれているのであれば、国の調達価格委員会で示した 29 円も同じ LCOE の計算式で計算したのであれば間違いということでしょうか？</p> <p>また、21 ページ目にコスト低減の評価例が記載されていますが、この各々の項目（例えば施工の効率化）のブレークダウン、根拠はあるのでしょうか？</p> <p>これを一つ一つ実現すれば今にも 9 円になるということでしょうか？</p>	<p>発電コスト 20 円/kWh には、IRR10%は含まれておりません。</p> <p>29 円/kWh は、調達価格であり、発電コストではございませんので、正しいです。</p> <p>効率化のブレークダウンにつきまして、風車大型化は既にリリースが発表されている風車、施工の効率化は現在の欧州での施工必要日数、国内で洋上風力専用船が完成することを根拠として計算しております。維持管理については陸上風力での調査を基としており、詳細は論文 (Duffy, A. et al., 2020) をご参照ください。</p> <p>これらを実現することにより、発電コスト 8~9 円/kWh を達成できると考えております。しかし、実現には、時間が必要ですので、2030 年前後を想定しており、今にもという認識ではございません。(Task26 菊地回答)</p>
5	<p>洋上風力では、秋田県、千葉県 の 3 海域での公募では、三菱商事を中心とする企業連合が総取りとなりました。発電単価は、1kWh あたり 11 円台から 16 円台という結果でした。21 頁の表を見ると、発電コスト 20 円/kWh をベースラインとした時に、表にある効率化を図ることによって、今回の発電コストは妥当な金額設定と言えるのでしょうか。</p>	<p>入札案件に関しては、提案内容を存じ上げず、私は妥当性を議論することが難しいです。提案された供給価格だけをみれば、2030 年までに発電コスト 8~9 円/kWh をという国の目標を、一気に達成した値と認識しております。(11~16 円/kWh 台は、発電単価ではなく、供給価格になります。)(Task26 菊地回答)</p>
6	<p>国内の計画されている洋上風力発電事業の状況を見ると、当初は漁業団体も好意的に洋上風力導入に対して賛同して、事業計画が進められていますが、ここ最近はこれまで賛同していた漁業団体が反対に回る事例のニュースをよく耳にします。なぜ、急に反対の姿勢になるのでしょうか。どのような要因から発生するのでしょうか。お分りの範囲または先生をご意見をお聞かせ願いますでしょうか。</p>	<p>途中から態度が変わるということは漁協に限られた話しではなく町内会などでも存在するので、必ずしも特殊な現象とは言えないと思います。私自身が見聞きした類似例からの類推になりますが、当初は組合長など限られた方とのやりとりを通じて賛成という感触を得られていても、組合員の総意ではないことがあります。事業が進捗するにしたがってリスクについての懸念が顕在化し、反対に変わったということがあります。(Task28 丸山回答)</p>

#	ご質問	回答
7	低周波域で、シミュレーションでは過小評価するということであったが、最終的にどのようなモデル化、どのような境界条件を設定すれば、実現象を表現することができるということは、分かってきたのでしょうか。また、逆になぜこのようなモデル設定にすると、このような境界条件を設定すると実現象を表現することができるのかということも分かってきているのでしょうか。	風車浮体共振領域でのシミュレーションを高精度に実施することはまだ現段階では難しいというのが現実的な答えです。一方で、講演でも説明しましたが、現実の浮体では共振領域での応答が最大応答と関係ないことも多く、その場合には、現実的な設計用のシミュレーションとしては問題がありません。また、今回の IEA TASK 30 で使用した水槽実験での共振応答は、実験用の計測ケーブルの影響があることも指摘されており、実浮体の挙動とは異なる可能性があることにもご留意いただきたいと思えます。(Task30 山口回答)
8	幾つかのウェイクモデルでいろいろなパターンのシミュレーションをやられているかと思えます。最終的に、何 D に設定するのが最適でしょうか。シミュレーションの結果からその辺の目安は分かっているのでしょうか。卓越風向の直角方向には、卓越風向と同じ間隔に設定する必要はないかと思えますので、例えば、ある風速に対応しては、卓越方向には何 D 程度、直角方向には何 D 程度のような、風速に対応した最適な風車間隔の関係は分かっているのでしょうか。	風車間距離は、サイトの風況、配置、荷重、セクタマネジメント、建設コスト等を踏まえて、総合的に最適な距離を判断をするため、すべてのプロジェクトに汎用的な最適値というのはありません。また、風速に応じて、最適な風車間隔が決まるという関係性はございません。ウェイクはスラストと関係があり、低風速の方が影響度合いが大きい(風速欠損が大きく、乱流強度が高い)ということはわかっています。(Task31 植田回答)
9	風計測ライダーについて、例えば 5×5 で正方形に 25 基並ぶウインドファームの場合、LAC ライダーは卓越風に向いている 5 機に搭載が必要になるのでしょうか？	ピッチ、ヨー制御とも、現行風車で個別に制御されているので、lidar-assisted になる場合も個別に採用されると考えています。(Task32 今城回答)
10	ナセルライダーを実際に搭載することによってヨーおよびピッチ制御をした風車とナセルライダーを搭載しない風車を比べるとどの程度発電効率がよくなったというデータはあるのでしょうか。また、現在のナセルライダーの利用目的の現状はどのレベルなのでしょうか。パワーカーブに沿った発電性能が得られているかを確認する程度にとどまっているのでしょうか。	発電効果としてはヨー角で数%という報告あります。また、ピッチ角については、発電効率改善はほとんどありませんが、ブレードへの荷重低減効果が 10~20%の報告あります。利用目的については、上記性能改善を見込むべく、中国では 1000 台レベルで導入が始まっています。欧州はまだ、国プロレベルで検証中です。(Task32 今城回答)