

第11回 IEA Wind セミナー

IEA Wind国内委員会委員長
東京大学 石原孟

2023年2月28日

第11回 IEA Wind セミナー

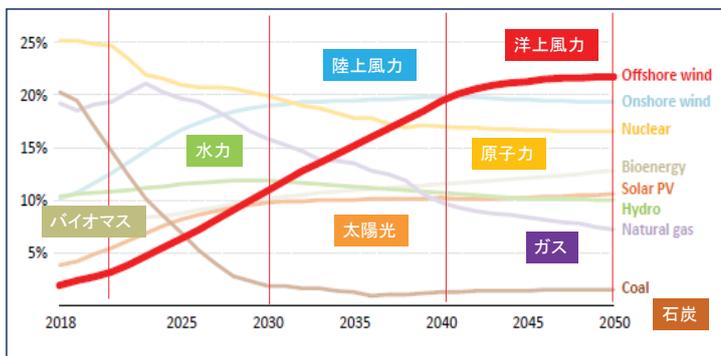
2

- 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します、国内の風力発電関係者の皆様にとって有意義な情報を提供する機会となることを期待しております。
- 本年度も会場講演とオンライン配信のハイブリッド方式にてセミナーを開催しています。会場参加申込者数は90名、オンライン参加申込者数は650名、昨年を上回る合計740名の方が参加される予定です。

GWEC Global Wind Report 2023 will be released on March 27 in São Paulo, Brazil.

世界風力会議GWEC(Global Wind Energy Council)が昨年4月に風力発電の2021年の年間報告書 Global Wind Report 2022 を発表した。

- 2021年における世界新規導入量は93.6GW、うち洋上風力は史上最高21.1GW、前年比207%増を記録した。
- 陸上風力発電の累積導入のTop 5の国は、1位は中国 (40%)、2位はUS (18%)、3位はドイツ (7%)、4位インド (5%)、5位はスペイン (4%)
- 洋上風力発電の累積導入のTop 5の国は、1位は中国 (48%)、2位はUK (22%)、3位はドイツ(13%)、4位はオランダ (5%)、5位はデンマーク (4%)



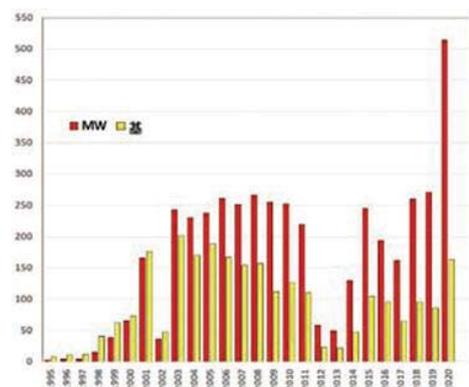
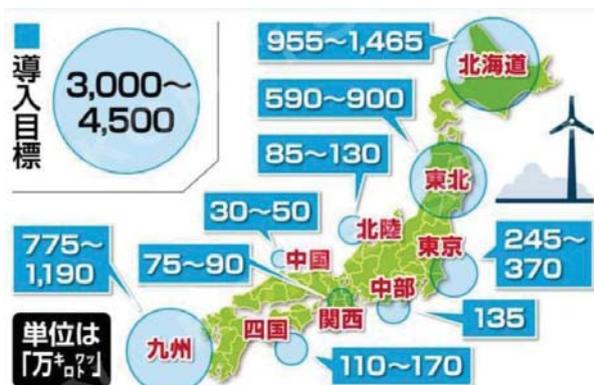
出典: IEA Offshore Wind Outlook_2019



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

国内の動き

- 洋上風力の導入目標を定めた「洋上風力産業ビジョン」では、**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、今年から**セントラル方式**に基づく風況、海底地盤などの調査が導入される。
- 2050年カーボンニュートラルの目標を実現するため、総額2.0兆円のグリーンイノベーション基金が設けられた。洋上風力分野においては、**今後10年間約1200億円**を投じ、「洋上風力発電の低コスト化」に関する技術開発を行う予定。**昨年度から18の実施先がフェーズ1**における研究開発が実施され、**今年中にフェーズ2の公募**が開始される予定。
- **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全発電量の**約5%**までに引き上げられている。陸上風力は昨年**130万kW**入札が実施され、風力発電事業者が決定された。また、洋上風力は現在**180万kW**の入札が実施されている。今後毎年約**200万kW**の風力発電が導入される見込み。



本年度セミナーでは、これまで参加している2つのTask(52、53)が新フェーズに進展するとともに、新たに3つのTask(44、46、54)に参加しております。

| | | |
|-------------|------------------------------|-----------------------------|
| 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) |
| 10:35-10:55 | IEA Windの取組概要 | 渡部 良朋(NEDO) |
| 10:55-11:30 | Task30: 洋上風車解析コードの検証(OC6) | 山口 敦(足利大学) |
| 10:30-12:05 | Task44: ウインドファームの流れ場制御 | 内田 孝紀(九州大学) |
| 12:05-13:05 | 休憩 | |
| 13:05-13:40 | Task52: 風ライダーの大規模展開 | 種本 純(清水建設) |
| 13:40-14:15 | Task46: 風車ブレードのエロージョン | 田中 元史(産総研) |
| 14:15-14:50 | Task54: 寒冷地における風力発電 | 岩井 憲一(駒井ハルテック) |
| 14:50-15:05 | 休憩 | |
| 15:05-15:40 | Task53: 風力発電の経済性 | 菊地 由佳(東京大学) |
| 15:40-16:15 | 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) |
| 16:15-16:50 | 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) |
| 16:50-16:55 | 閉会の挨拶 | 大和田 千鶴(NEDO) |

第1線でご活躍しておられる講師の皆さんのご講演は、皆様のお仕事や研究開発にお役に立てればと期待しております。

IEA Windの取組概要

2023年2月28日

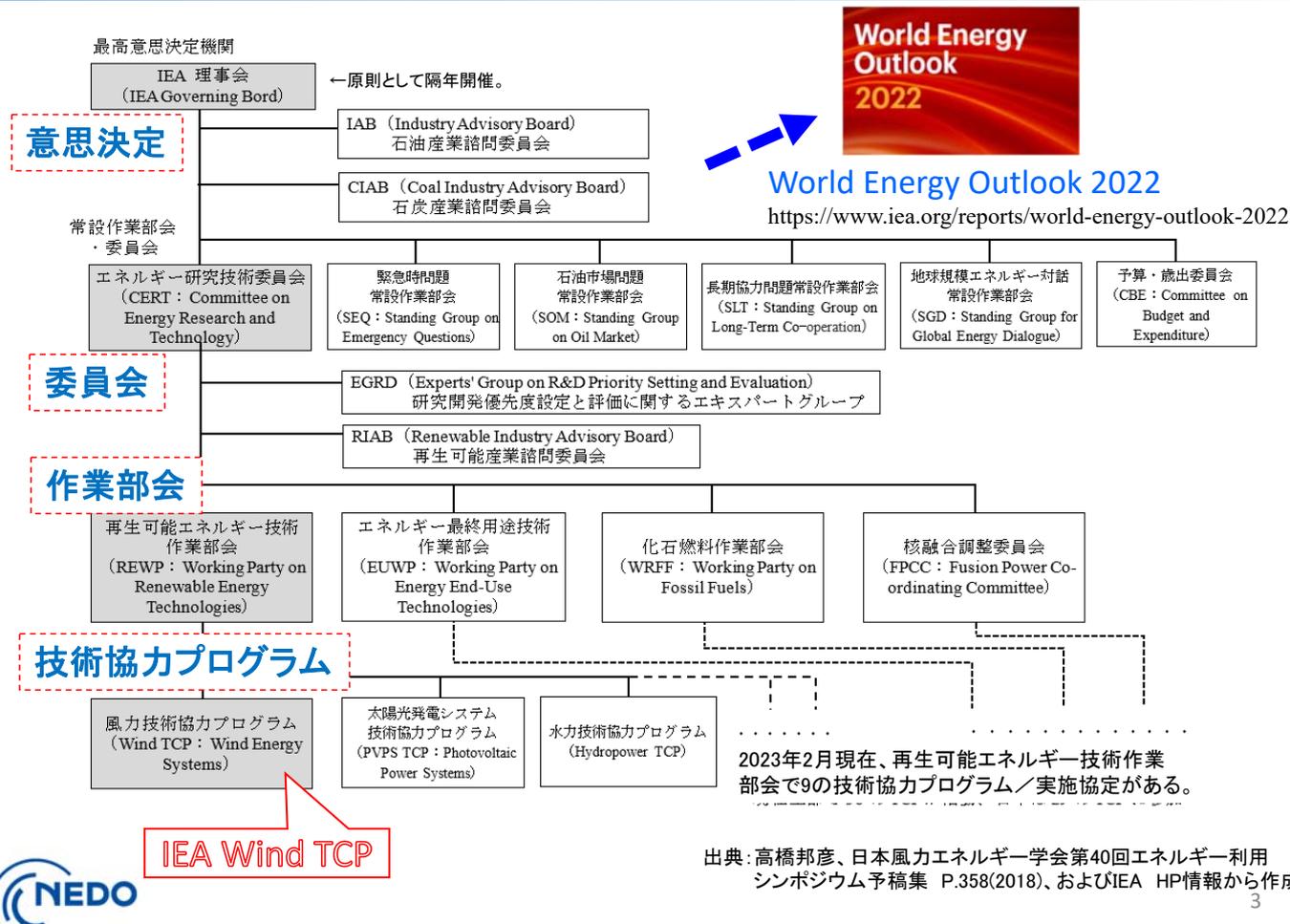
国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)
新エネルギー部 風力・海洋グループ
渡部 良朋

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、キッシンジャー米国務長官(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、2023年1月時点で23Taskが実施中。日本は、8つのTaskに参加中。2023年中に提案・検討されるTaskは3件の見込み。

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。ExCO85~90(2022年秋季分)はCOVID-19禍によりOnline開催。
⇒2023年春季にExCo91が日本においてIn Personで開催予定。
- 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ExCo84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)

5

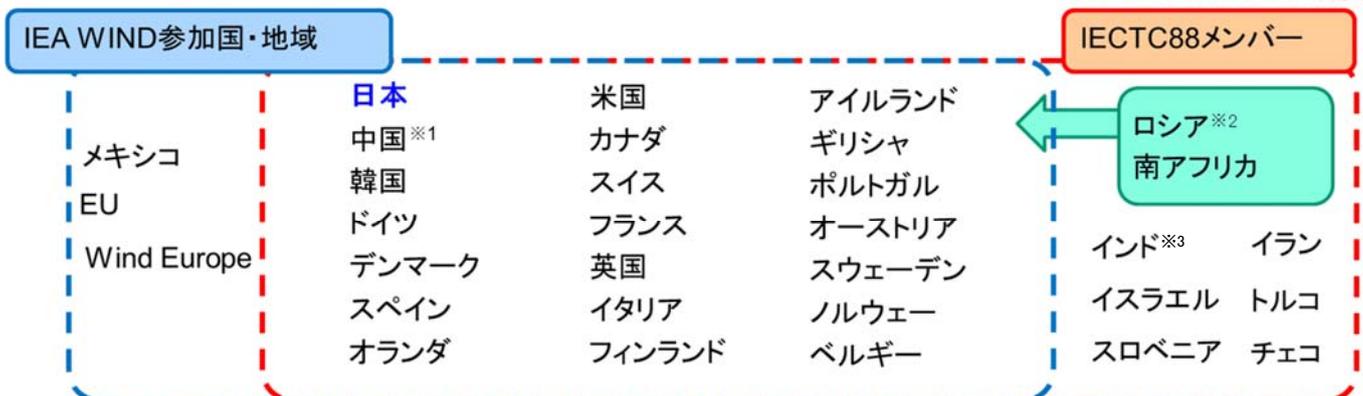


IEA WindとIEC

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 (正式加入に向けてロシア政府と調整中であつたが、今般の状況により、2022年、調整停止)

※3) 2021年より参加



6

IEA Wind 加盟国の風力導入実績

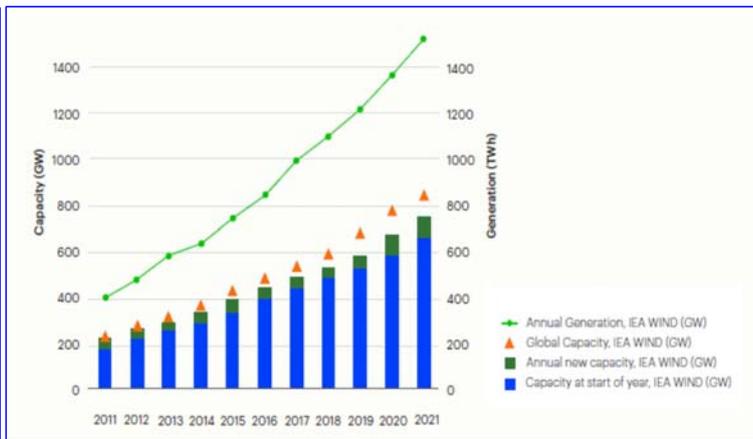
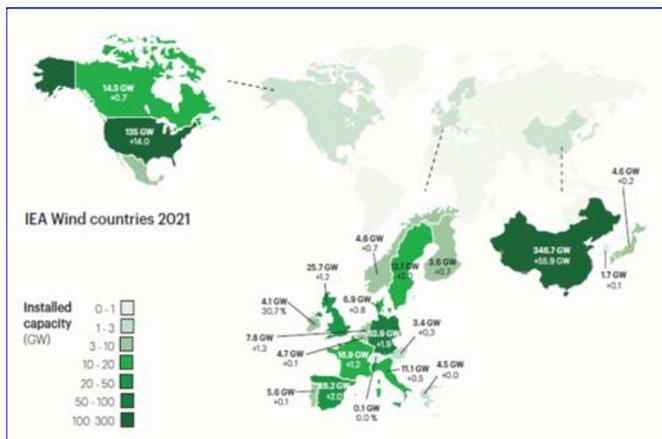


図1 風力発電の総導入量・新規導入量(2021暦年)

図2 2011～2022暦年の風力発電の導入トレンド

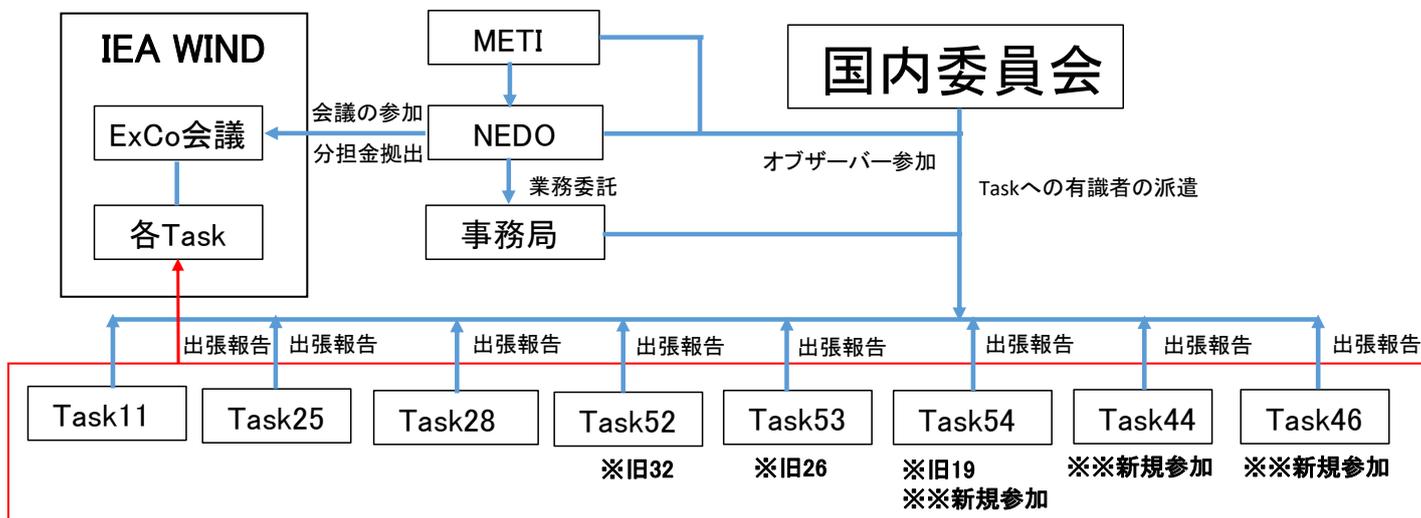
- IEA Wind TCP加盟国で世界の総導入量の**80数%**を占める
- 欧州・米国の導入量が多いが、近年は中国の伸びが著しい。
- IEA Wind TCP参加国の風力発電量は**1500TWh**を超える。

出典: IEA Wind Technology Collaboration Programme 2021 Annual Report (2022)



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。



注1) Taskは2023年1月時点。

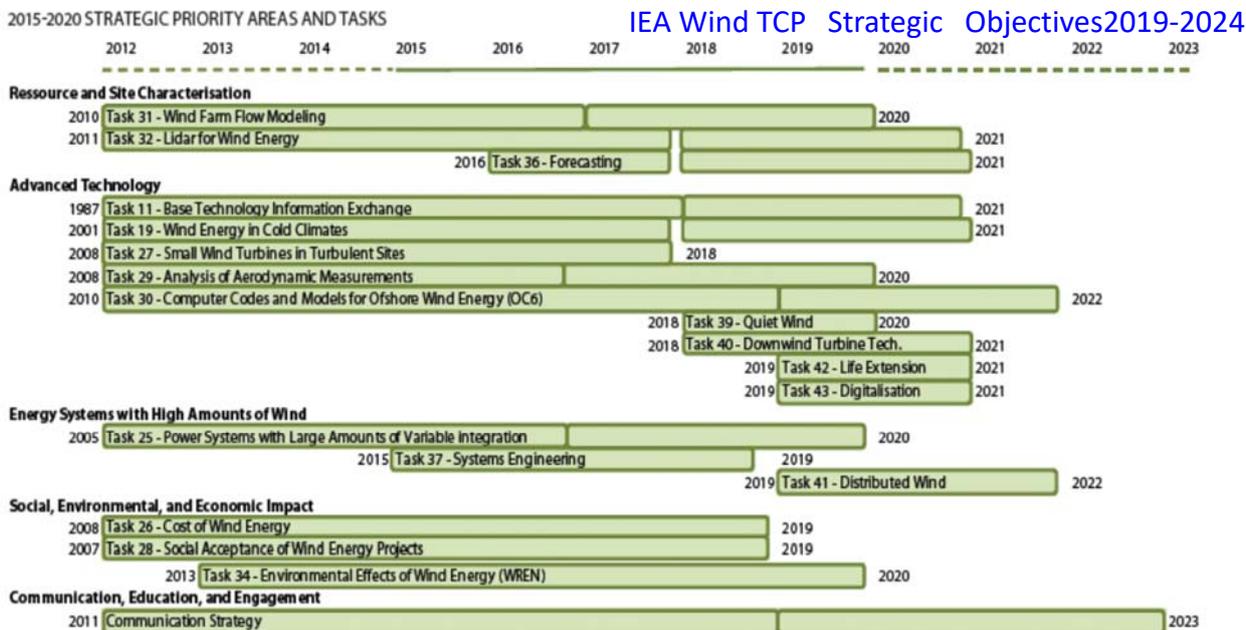
注2) Task30, Task31は成果取りまとめ中。Task49は参加検討中。



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)

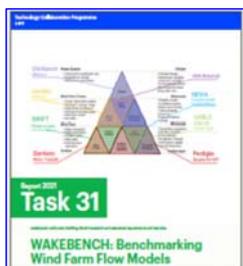
9

各タスク*の概要-類型(1)

*前ページ図の実施中全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(Wakebench: Benchmarking Wind Farm Flow Models) ※日本参加Task(2022年成果取りまとめ中)



- 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。

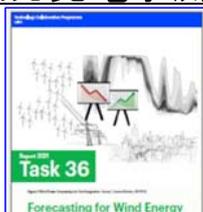
(Task32) → Task52に継続*

風ライダーの大規模展開 (Large-Scale Deployment of Wind Lidar) ※日本参加Task



- 風ライダーの大規模利用に係わり、普遍的な流れの特徴評価、met mastsのリプレイス、風ライダーの連結、洋上ライダー利用の促進策を検討。*2022～

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。



10

各タスクの概要-類型(2)の1

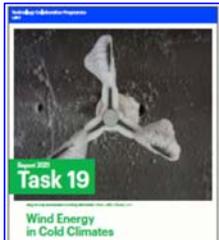
(2) 先進技術(Advanced Technology)の1

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



- ※日本参加Task
- 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。

(Task19) → Task54に継続* 寒冷地における風力発電(Cold Climate Wind)



- ※日本参加Task
- 寒冷地に風力発電の、標準化、推奨事項およびガイドラインの推進。また寒冷地風車のソリューション提供を増やすことを目標。
*2022～ 今フェーズより日本参加

(Task29) → Task47に継続* 乱流流入の革新的な風車空力学的モデル

TURBulent INflow Innovative Aerodynamics(TURBINIA))



- 乱流流入時の風車空力学的モデルの革新。
*2021～



図、写真:IEA Wind TCP Annual report 2021(2022)より

11

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の検証(Offshore Code Comparison Collaboration, Continuation, with Correlation and uncertainty(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。
(2022年成果取りまとめ中)

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 終了済み



写真:IEA Wind TCP Annual report 2021(2021) および 2021(2022)より

12

各タスクの概要-類型(2)の3

(2) 先進技術(Advanced Technology)の3

Task42 風車寿命延長評価(Wind Turbine Lifetime Extension)



- 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 風力エネルギーデジタル化(Wind Energy 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。



13

図、写真:IEA Wind TCP Annual report 2021(2022)より

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 and Operation of Energy System 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などの変動電源の大量導入を促進する方法、及び変動電源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(Systems Engineering)



- 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(Distributed Wind)



- 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。



14

図、写真:IEA Wind TCP Annual report 2021(2022)より

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)

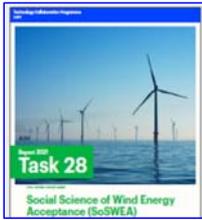
(Task26) →Task53に継続* 風力発電の経済性(Wind Energy Economics)



※日本参加Task

- 風力エネルギーの経済性に関連する知識や情報の交換を行い、参加国間で経済的要素の違いを定量化し、風力経済性の評価方法を開発、共有。
*2021.12~

Task28 風力発電における社会受容性の社会科学 (Social Science of Wind Energy Acceptance)



※日本参加Task

- 風力発電事業の社会的受容性についての社会科学のアプローチを実施。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評価。

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 (WREN))



- 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 2021(2022)より

2021年から新規に開始されたTask

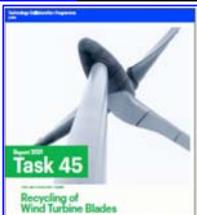
以下の3Taskの新規実施がExCoで承認され2021年から開始。国内委員会にて対応を検討し、Task44と46について2022年から参加。

Task44 ウインドファームの流れ場制御 (Farm Flow Control) ※日本参加



- 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 風車ブレードのリサイクル (Recycling of Wind Turbine Blades)



- 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 風車ブレードのエロージョン (Erosion of Wind Turbine Blade) ※日本参加



- 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

図、写真:IEA Wind TCP Annual report 2021(2022)より

2022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、2022年に開始。国内委員会にて対応を検討し、Task49について参加を検討中。

Task48 空挺風力エネルギー (Airborne Wind Energy)



- 空挺風力エネルギー (AWE) に関する新しいタスク。凧や無人機などのつながれた飛行装置、航空機による自動的な風力エネルギーの収穫についての研究が目的。

Task49 浮体式風力発電の統合設計 (IntegrateDEsign of floating wind Arrays (IDEA))

※日本参加検討中Task



- 風力技術の研究分野および産業界に、様々なサイト条件と設計ソリューションにおける、一連の浮体式風力発電のレファレンスアレイを提供。

Task50 ハイブリッドパワープラント (Hybrid Power Plant)



- 風力、太陽光、地熱等の変動電源と電池などの電力貯蔵を組み合わせた統合型発電システムとその制御方法の開発。



17

図、写真: IEA Wind TCP Annual report 2021(2022)より

新しい課題の検討

新しい課題の提案・検討のプロセス

- 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 国内委員会でも新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。
- 新TEM参加専門家から、IEA Wind国内委員会に日本参加の申請、国内委員会が新タスクへの日本参加の検討・審議。
- 参加が承認された後、NEDOがIEA Wind事務局および新TEM事務局へ日本参加を申請。



18

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Task40*による「Downwind Turbine Technologies Technical Report」(2022年4月)の例。
*日本がOAを務めた。



Recommended Practice

図はTask25による「WIND/PV INTEGRATION STUDIES」の例。



Annual Report

図は2022年12月出版の2021年(暦年)版の例。

ご清聴ありがとうございました

Task30 洋上風車解析コードの検証(OC6)

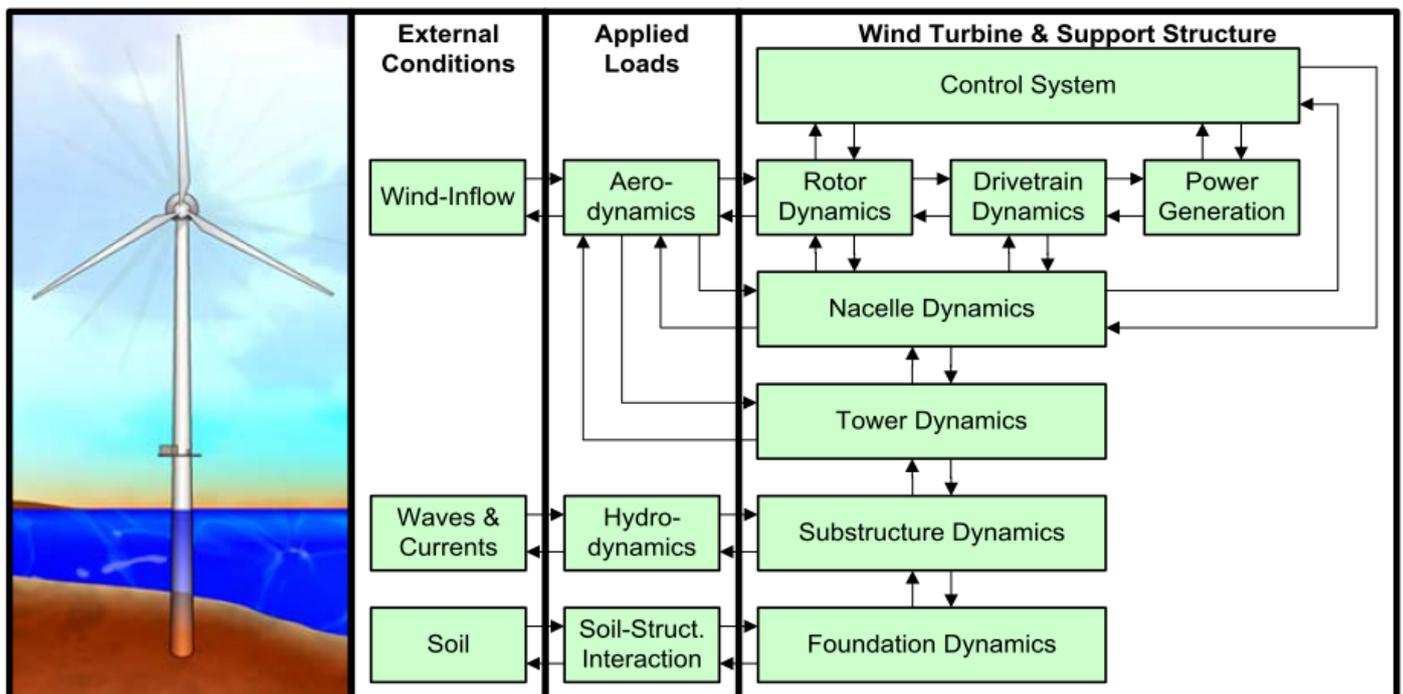
Offshore Code Comparison Collaboration Continuation with Correlation and Uncertainty (OC6)

足利大学 山口敦
yamaguchi.atsushi@g.ashikaga.ac.jp



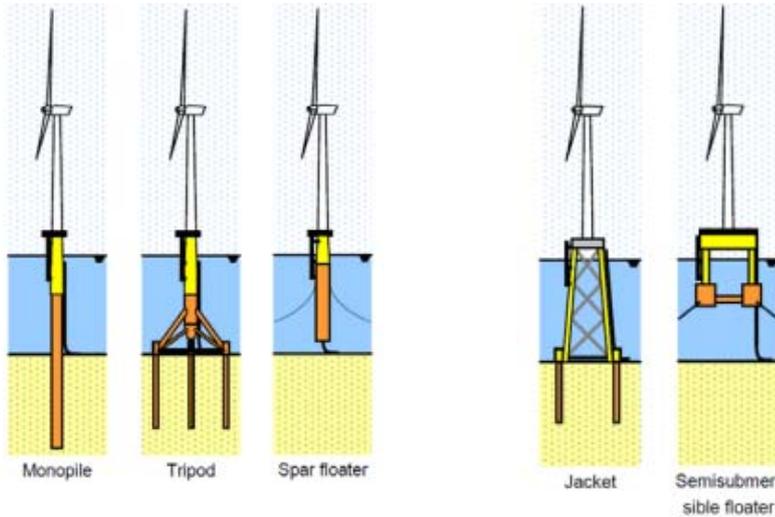
OC3(Task23)とOC4/OC5/OC6(Task30)の背景

- 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 / OC4

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)
2010-2014

モデル

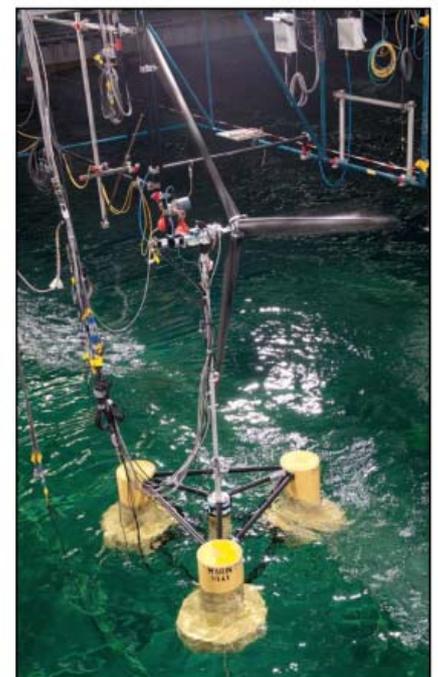
- ・ 風車はNREL 5MW
- ・ 支持構造物を定義
- ・ 風と波のデータセットを定義

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

- ・ 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)



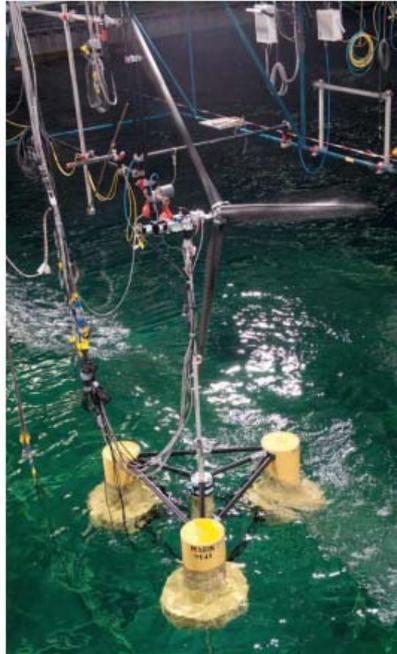
DeepCwind Tank Tests
@ MARIN

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



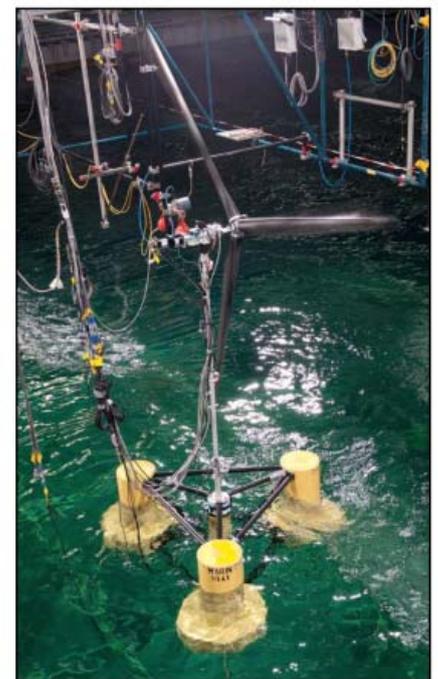
Phase III:
Jacket/Tripod - Open Ocean

IEA Wind セミナー 2023/2/28

AUG
ASHIKAGA UNIVERSITY GROUP

OC5 Phase II

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



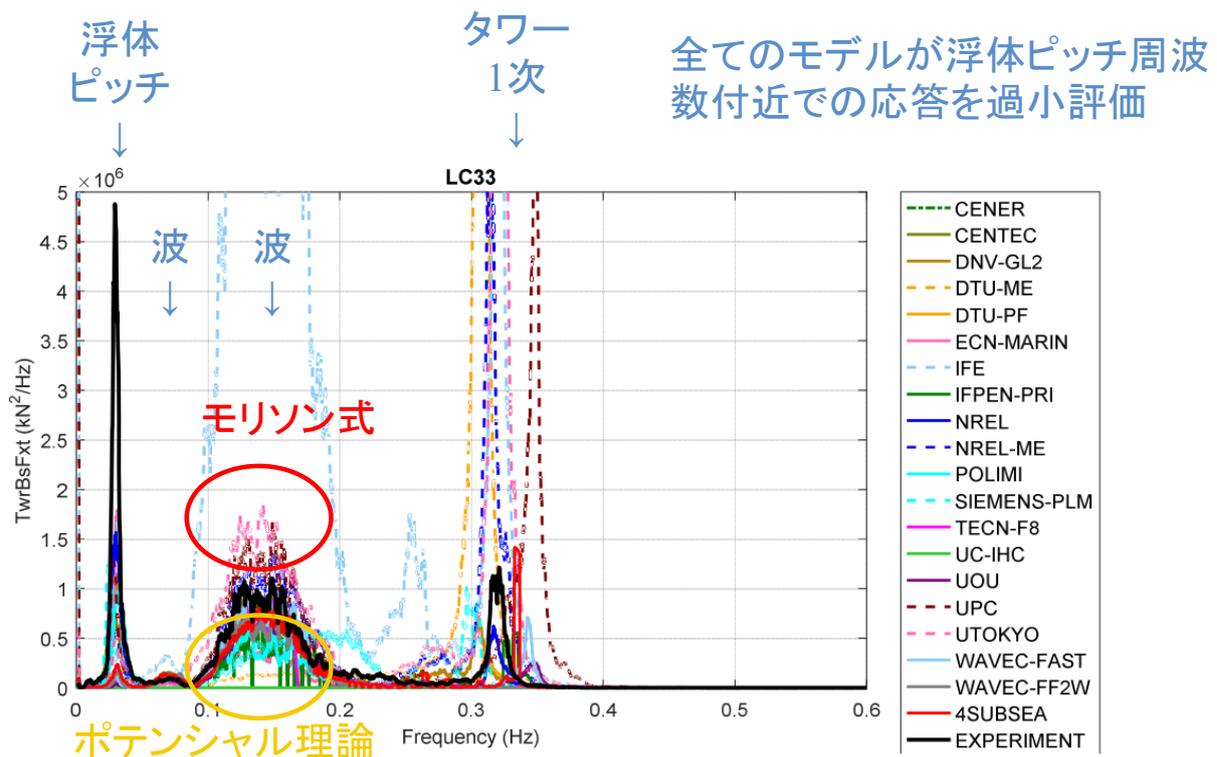
DeepCwind Tank Tests
@ MARIN

IEA Wind セミナー 2023/2/28

AUG
ASHIKAGA UNIVERSITY GROUP

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 2023/2/28

AUG
ASHIKAGA UNIVERSITY GROUP

OC5のまとめ

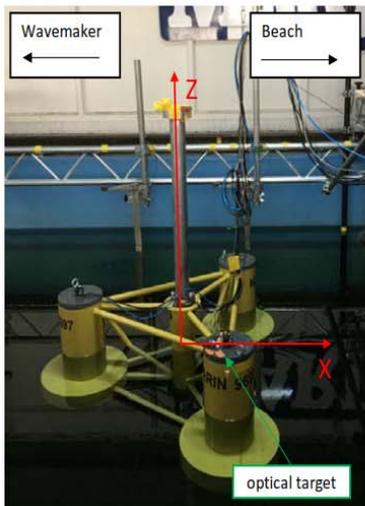
- 平均的に、どのコードもタワーに作用する荷重を過小評価する。
 - 過小評価の大きな原因は、低周波領域(浮体のピッチおよびサージの固有周期)にある。
 - この領域では、波強制力が直接作用しないため、何らかの非線形流体力が作用している。
 - 非線形流体力には、2次のポテンシャル流れ理論、高次の波運動、ストレッチング、浮体位置での流体粒子運動を考慮すること、などが含まれる。
- 係留索張力の評価には、動的モデルを使用することが重要であるが、波および流れが係留索に作用する力は重要ではない。

IEA Wind セミナー 2023/2/28

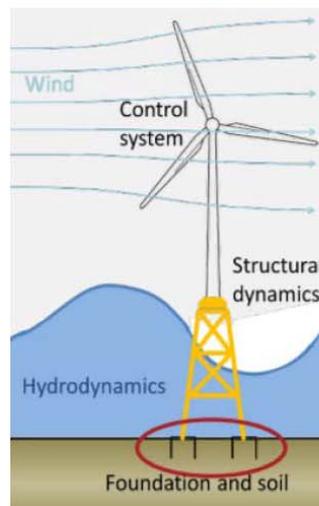
AUG
ASHIKAGA UNIVERSITY GROUP

- 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



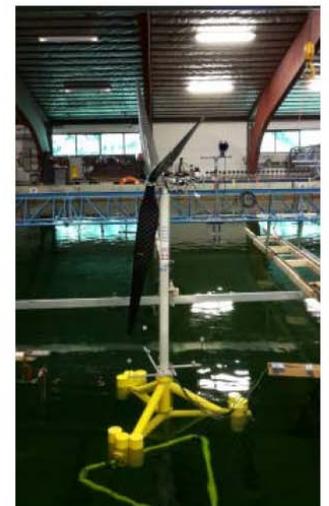
Phase I:
Nonlinear Hydrodynamics
Jan 2019 – Dec 2019
(OWN TESTING)



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

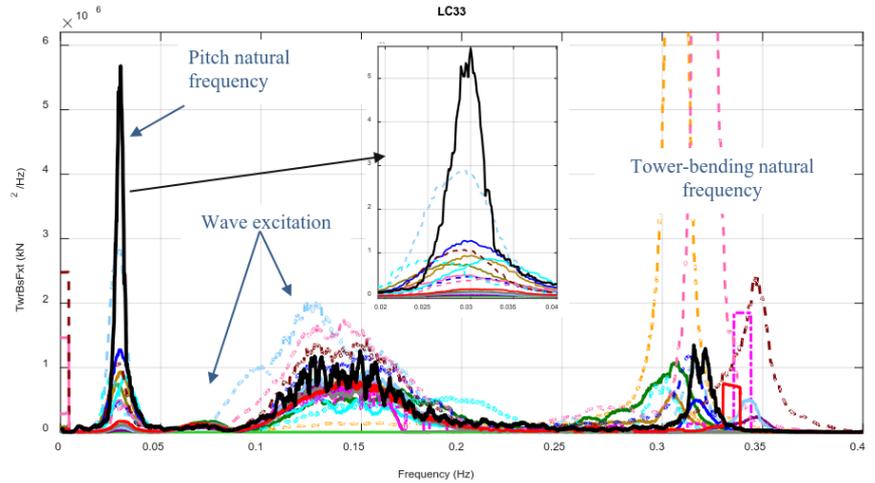
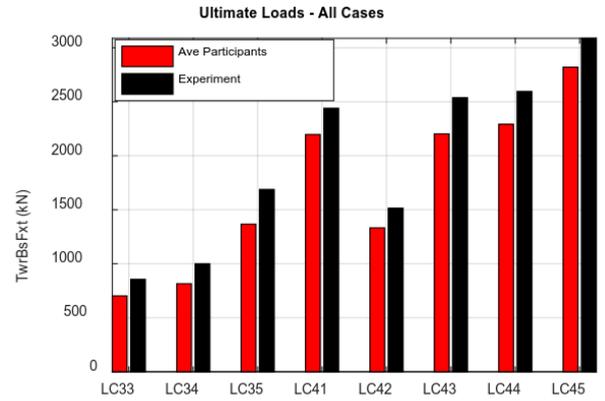


Phase III:
Aerodynamics under Motion
July 2020 – June 2021
(LIFES50+)

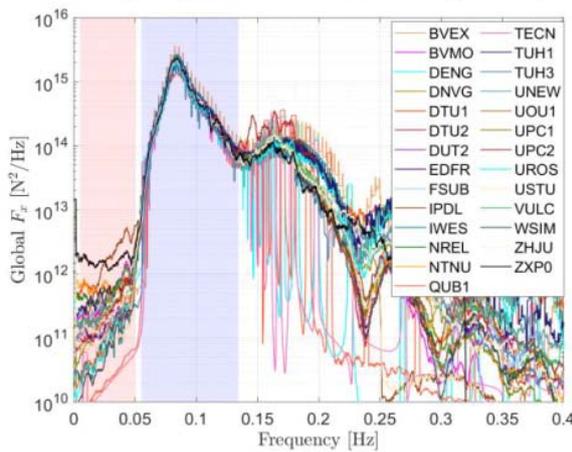


Phase IV:
Hydrodynamic Challenges
July 2021 – June 2022
(STIESDAL)

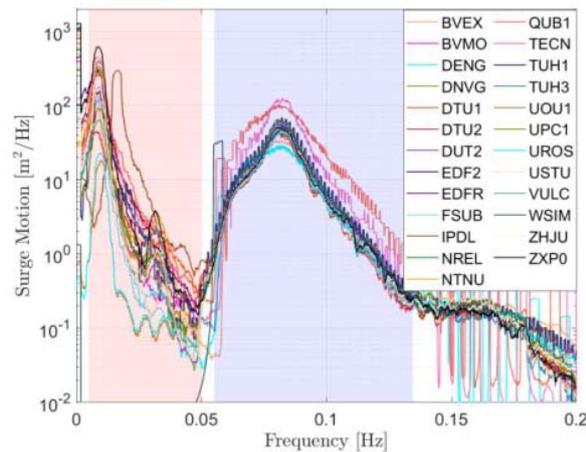
- 浮体のピッチ/サージ固有周期での応答の過小評価の原因を明らかにする
 - OC5 Phase 2 の結果によると平均でシミュレーション結果は20%の過小評価。これはピッチ/サージ固有周期での応答の過小評価による。
- 浮体を固定した実験・浮体を係留した実験の結果を利用



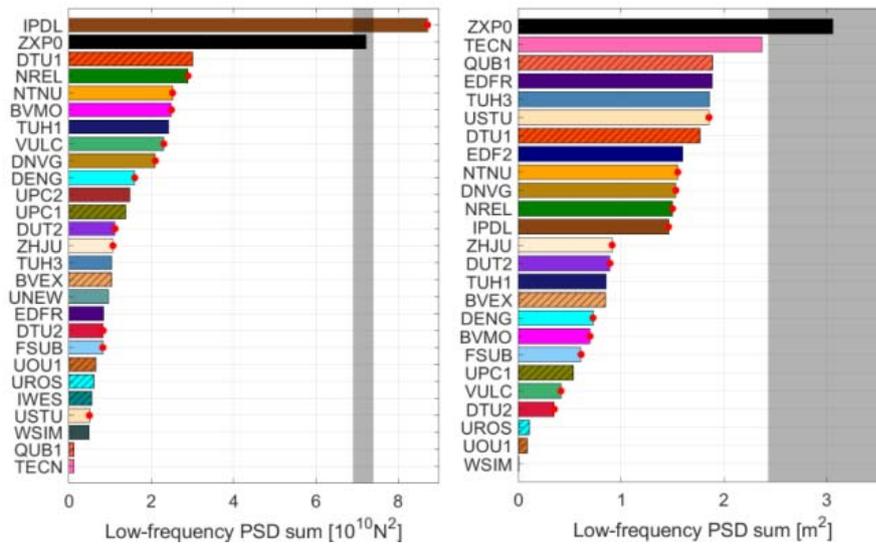
Phase I の結果



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

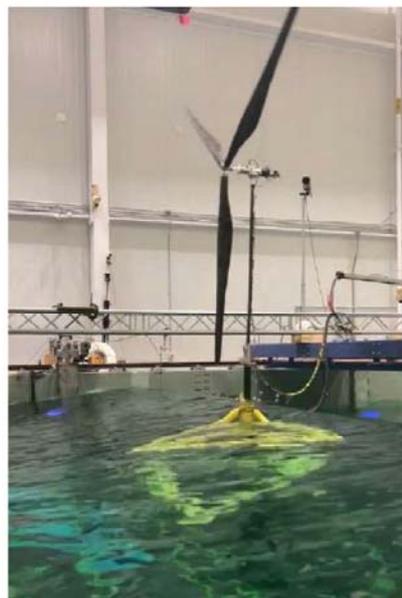


LC5.3 浮体の応答
不規則波中での、浮体のサージ動揺



- 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

OC6 Phase IV (Tetraspar floater)



| Load Case | Description | Mooring System | Run Time | Notes |
|-----------|--------------|---|--------------------|---|
| 1.0 | Equilibrium | Lumped Mass 2.93e5 kg at Hull COG (0.0 m, 0.0 m, -13.5 m) | Until steady state | Output only one final time step |
| 1.1 | Equilibrium | Base | | Output one final time step per position |
| 1.2 | Surge Offset | Base | | |

Equilibrium and static offsets
(assumed blade pitch angle: 0 deg)

| Load Case | Description | Mooring System | Initial Position | Blade Pitch Set Point | Run Time [s] |
|-----------|-------------|----------------|------------------|-----------------------|--------------|
| 2.1 | Surge Decay | Base | 8.77 m | 90° | 800 |
| 2.2 | Heave Decay | | 8.59 m | 0° | 300 |
| 2.3 | Pitch Decay | | 4.62° | 90° | 500 |

Free decays

| Load Case | Description | Condition | Wind Speed [m/s] | RPM | Blade Pitch Starting Point | Target My [N-m] | Target Hull Surge [m] | Target Hull Pitch [deg] |
|-----------|-------------|-----------------|------------------|------|----------------------------|-----------------|-----------------------|-------------------------|
| 3.1 | Rated | Moored Platform | 9.89 | 12.2 | -6.2 | 7.66e7 | 20.76 | 4.84 |
| 3.2 | Post-Rated | | 24.05 | 13.3 | 18.7 | 2.88e7 | 13.35 | 0.89 |
| 3.3 | 50-yr Storm | | 44.62 | Idle | 89 | 2.29e7 | 10.27 | 0.66 |
| 3.4 | Rated | Fixed Platform | 9.89 | 12.2 | Use Angle | N/A | | |
| 3.5 | Post-Rated | | 24.05 | 13.3 | From LC | | | |
| 3.6 | 50-yr Storm | | 44.62 | Idle | 3.1 – 3.3 | | | |

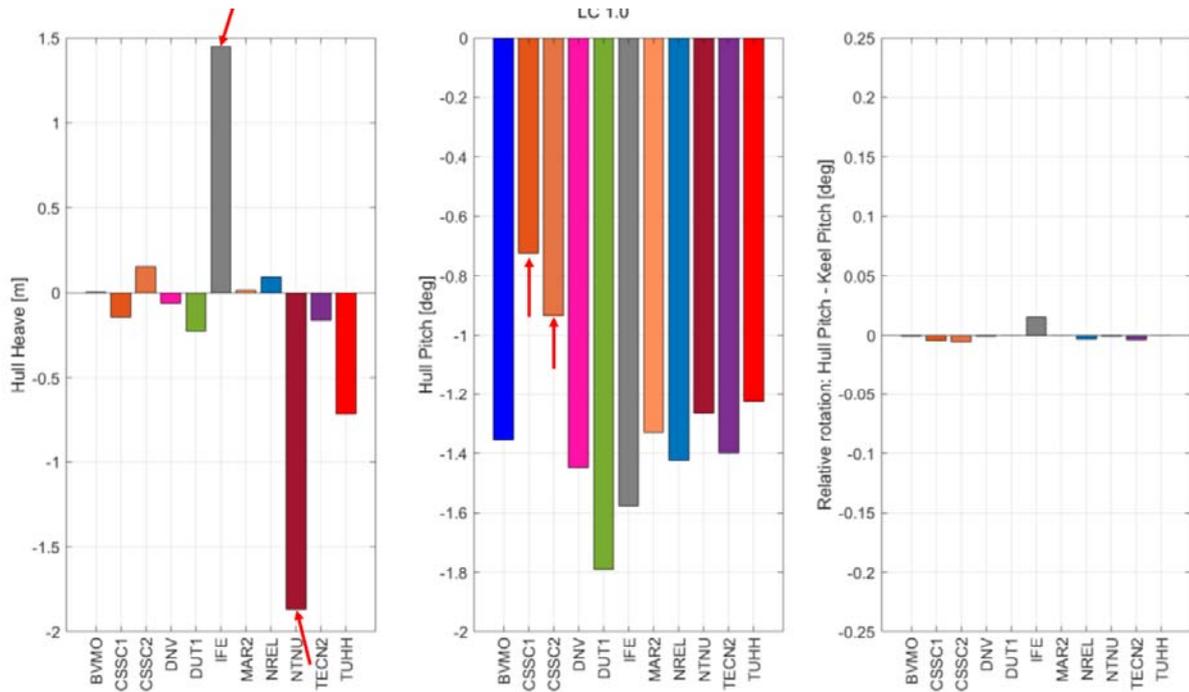
Wind-only

| Load Case | Description | Wave Spectrum | Wave Height [m] | Period [s] | γ Tor. | Γ JON. | Mooring | Duration [s] |
|-----------|-------------|---------------|-----------------|------------------|---------------|---------------|------------|--------------|
| 4.1 | Post-Rated | Regular | 8.31 | 12.41 | - | - | Base | 3934 |
| 4.2 | Rated | Torsethaugen | 1.46 | 6.73 | 2.7 | 2.3 | | 10977 |
| 4.3 | Post-Rated | Torsethaugen | 8.00 | 12.48 (12.20) | 2.7 | 2.2 | | 10977 |
| 4.4 | 50-yr Storm | Torsethaugen | 12.81 | 15.79 | 3.9 | 3.3 | Yaw Bridle | 10977 |

Wave-only
(assumed blade pitch angle: 0 deg)

| Load Case | Description | Wave Spectrum | Wave Height [m] | Wave Period [s] | Wind Speed [m/s] | Turbulence Intensity | Mooring | Duration [s] |
|-----------|-------------|---------------|-----------------|------------------|------------------|----------------------|------------|--------------|
| 5.1 | Post-Rated | Regular | 8.31 | 12.41 | 24.05 | 2.51% | Base | 3934 |
| 5.2 | Rated | Torsethaugen | 1.46 | 6.73 | 9.89 | 2.40% | | 10977 |
| 5.3 | Post-Rated | Torsethaugen | 8.00 | 12.48 (12.20) | 24.05 | 2.51% | | 10977 |
| 5.4 | 50-yr Storm | Torsethaugen | 12.81 | 15.79 | 45.22 | 8.89% | Yaw Bridle | 10977 |

Wind and waves



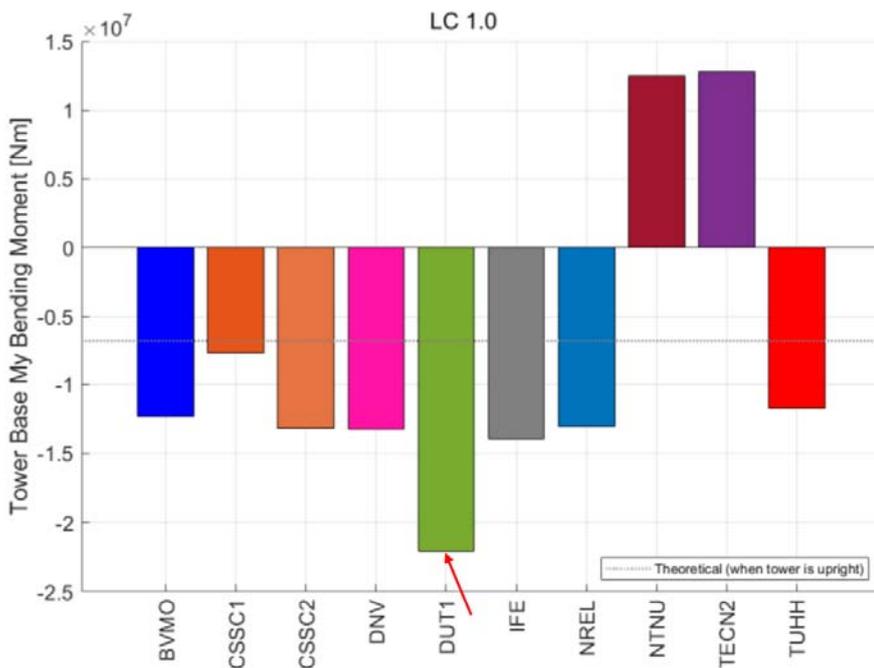
NTNU: proper buoyancy? IFE: Proper mass?

CSSC1, CSSC2: proper RNA? Proper hydrostatic pitch restoring?

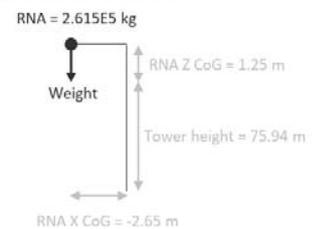
Check regarding the floater behaving as a rigid body. Relative rotation between hull and keel should be almost null.

Note about the keel lines:
When the platform is held fix at the top, the keel drops 0.065 m with regarding to the tetrahedron (upper part of the floater).

静的つり合い タワー基部モーメント



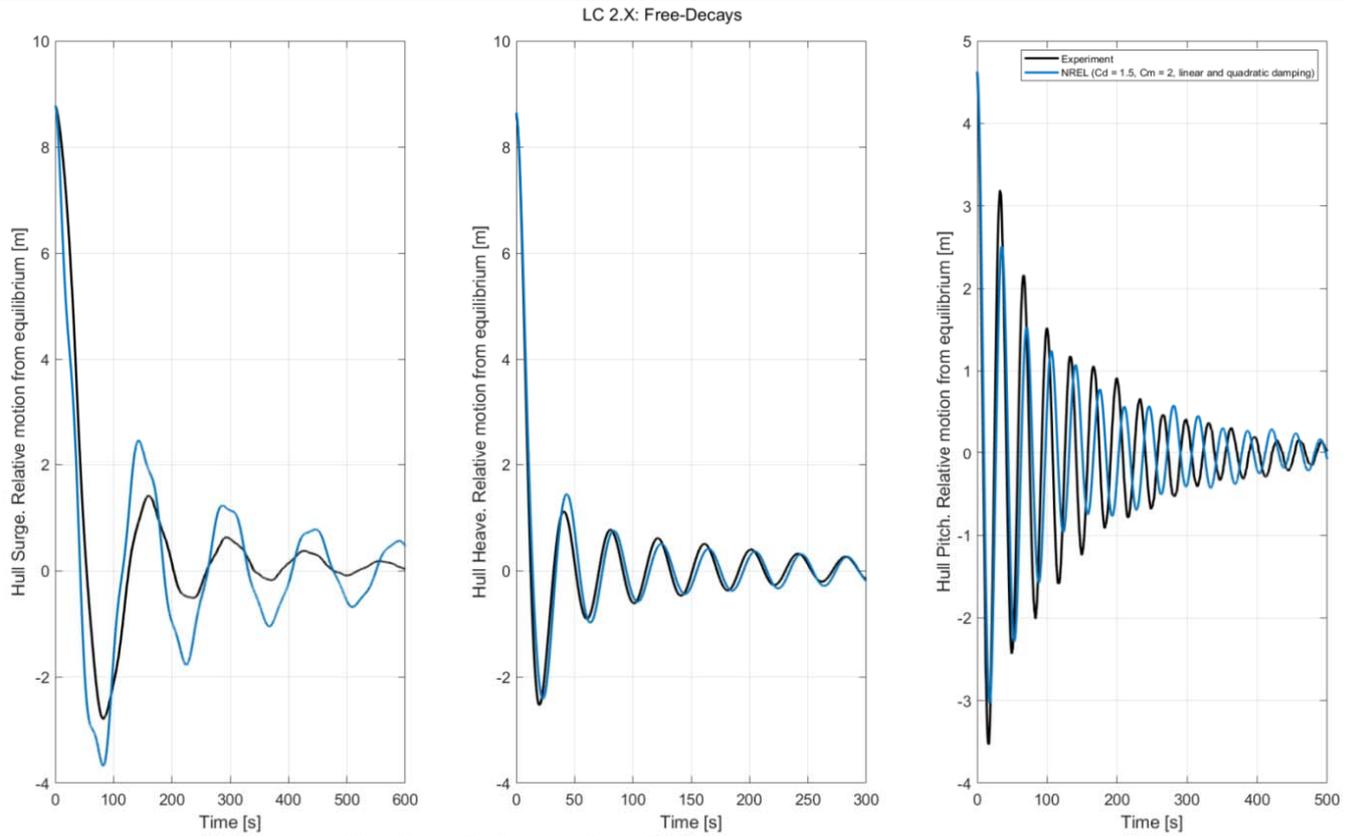
Theoretical bending moment assuming no platform pitch motion, nor tower deflection:



Moment balance:
 $\sum M_{Tower\ Base}^Y = 0$
 $2.615E5 * 9.80665 * (-2.65) = -6.8E6\ Nm$

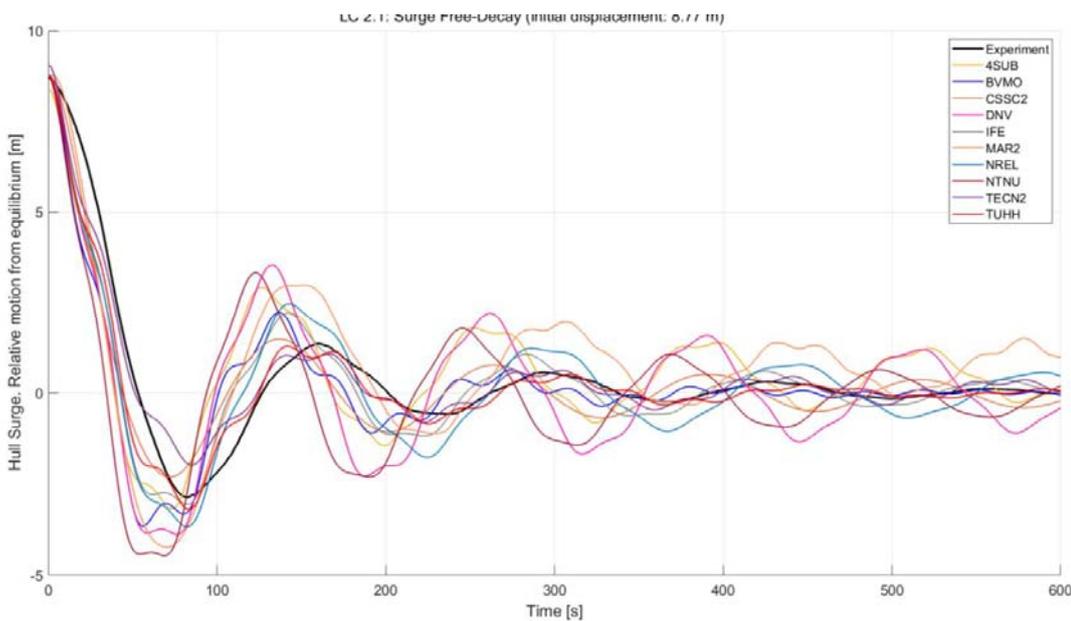
The platform negative pitch rotation would induce an additional distance and weight projection. This would also contribute to the tower deflection. All these factors will make the bending moment at the tower base more negative than -6.8E6 Nm.

In this case there is no cable bundle, so the umbilical does not impact the tower base results.



Linear damping in surge and sway: $4E4 \text{ N/(m/s)}$ applied at the (0,0,0) location.
 Quadratic damping in heave: $7.5E5 \text{ N/(m/s)}^2$ applied at the (0,0,0) location.

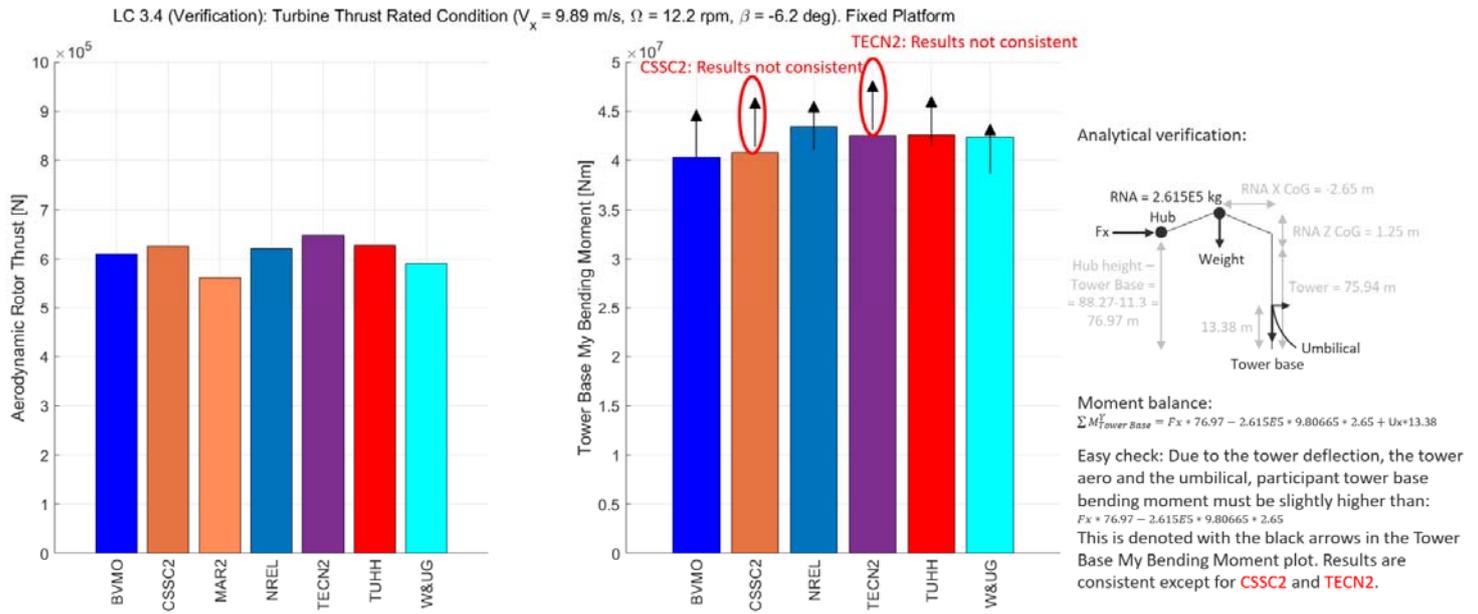
サージ自由振動



Participants removed from the plot due to inconsistent outputs: **W&UG, DUT2, EDF, CCSC1**.
 Slightly wrong initial conditions: **TECN2 (9.06 m), 4SUB (8.39 m)**.

Participants using quasi-static mooring lines: DUT2, DUT1 (is DUT1 using MAP++ instead of MoorDyn in OpenFAST?)
 Any other active participants?

MAR2 slightly different surge equilibrium position than in LC 1.1. It could be due to the seabed friction.



今後の予定

- OC6は2022年までの予定であったが、半年程度延長する。(2023年度は参加費を徴収しない)
- 2024年より後継のプロジェクト(OC7)を計画中であり、OC7の内容の意見募集を行っている。
 - 7つ目の”C”も募集中
- OC7では、複数のワークパッケージに分かれて作業することも考えている。

- WP1: Validation の継続
 - 3つのデータを使った検証(Engineering model, CFD, 実験)
 - 重要な現象に対象を絞った検証
 - 検証用データセットの作成
- WP2: Recommended Practice (RP)の作成
 - モデル化の方法
 - モデルのチューニング
 - モデルの検証
 - 実験の方法
 - 不確実性の評価(UQ)
- WP3: 実スケールでの検証と、水槽実験との違い
 - 経験の共有
 - 計測の計画

第11回「IEA Windセミナー」

➤国際エネルギー機関(IEA)は、風力技術協力プログラム(略称:IEA Wind TCP)を主催している。

Task44: ウィンドファームの流れ場制御

■OA(Operating Agent)

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

■Web Page

<https://iea-wind.org/task44/>



うちだ たかのり
内田 孝紀

応用力学研究所/新エネルギー工学部門/風工学分野/准教授

兼務：(応用力学研究所)自然エネルギー統合利用センター

兼務：洋上風力研究教育センター/
マルチスケール洋上風況研究部門



九州大学
KYUSHU UNIVERSITY



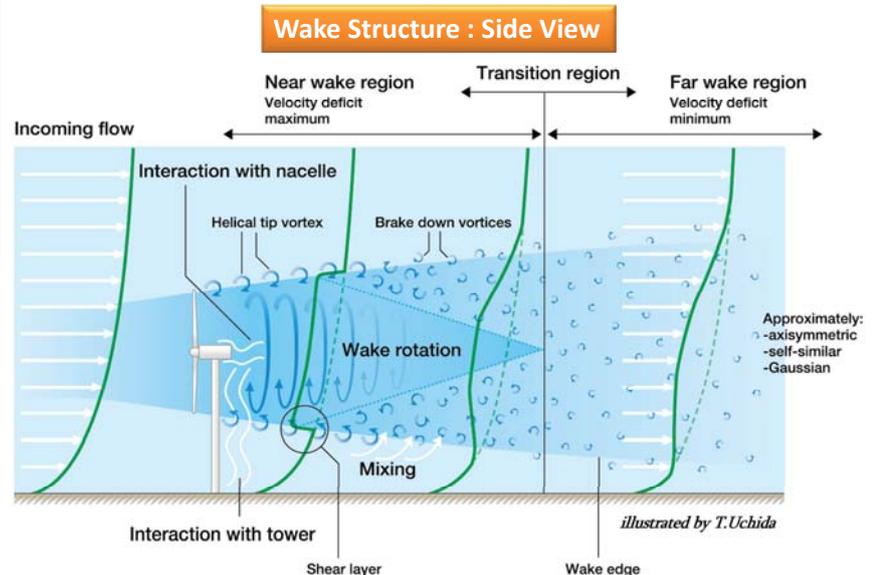
IEA Wind TCP Task44



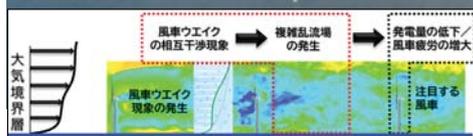
What is the wind turbine wake phenomenon ?



九州大学応用力学研究所
温度成層風洞にて撮影
2020年11月12日



IEA Wind TCP Task44



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

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

Graphic courtesy of Vattenfall



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

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

IEA Wind TCP Task44



Task 44 (Wind Farm Flow Control) のスコープ

- 風力発電所の制御分野における国際共同研究
- 風力発電所の制御アルゴリズムと性能向上への貢献が焦点

(研究の目的)

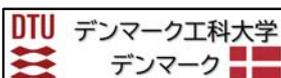
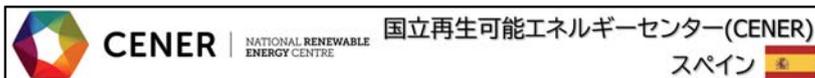
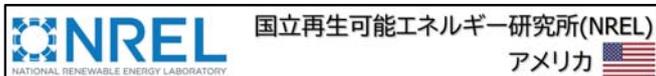
- 風力発電量の増産による電力システムや電力市場における風力発電の価値の最大化
- 風車のウェイク荷重の低減による、風力発電コストの低減化
- 風力発電所の制御モデルのベンチマークとベストプラクティスの開発、制御に最新知識、アルゴリズム等へのアクセス、共同研究・ベストプラクティス・データ交換の促進

Task44の参加体制



主な参加機関

洋上風力研究に関する海外トップ大学/研究所が参画



日本の体制

- 九州大学/内田 孝紀 (代表者)
- 東京大学/石原研究室/銭 特任助教
- ジャパン・リニューアブル・エナジー, 4名
- 東芝エネルギーシステムズ, 3名
- 日立造船, 4名
- 東京ガス, 2名



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

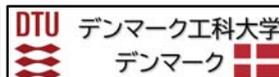
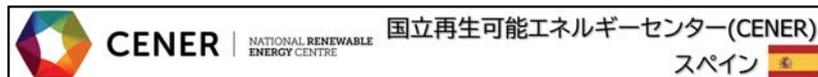
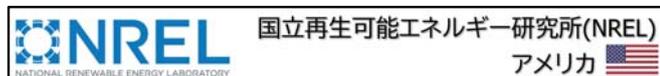
参加国 米国, オランダ, 英国, フィンランド, アイルランド, デンマーク, スペイン, ドイツ, ノルウェー, 日本(10カ国)



Task44のワークパッケージ(WP)



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



Task44の国内体制のウォーミングアップ



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

■ 議案① IEA task44の目的・参加方針確認

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

Task44の活動状況



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

IEA Wind Task 44 Wiki: Wind Farm Flow Control

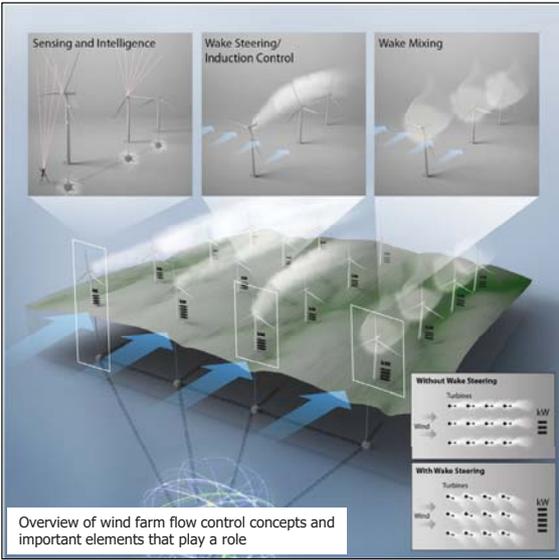
<https://ieawindtask44.tudelft.nl/>

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

Wind farm flow control: prospects and challenges

Johan Meyers¹, Carlo Bottasso², Katherine Dykes³, Paul Fleming⁴, Pieter Gebrard⁵, Gregor Giebel¹, Tuhfe Göçmen¹, and Jan-Willem van Wingerden⁶

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



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

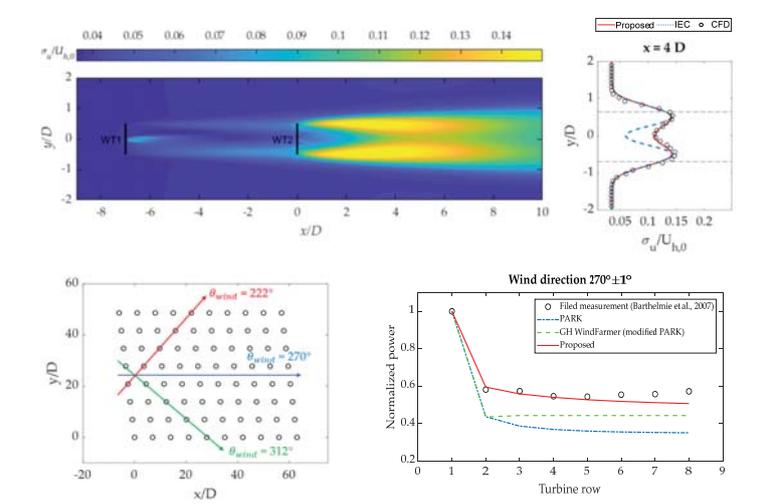
In summary, the field of wind farm flow control is an active area of research and innovation, with many interesting multidisciplinary challenges, and exciting prospects for the increase of the total value of wind energy for society.

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

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

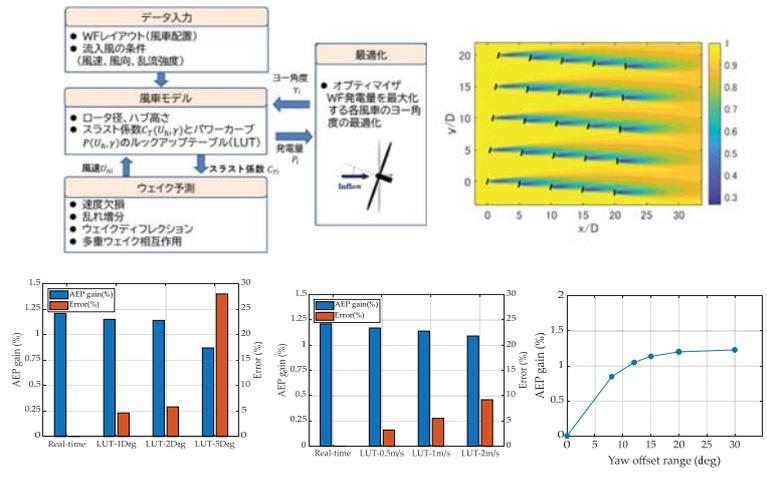
□ 多重ウェイクモデル(Analytical model)の開発と検証

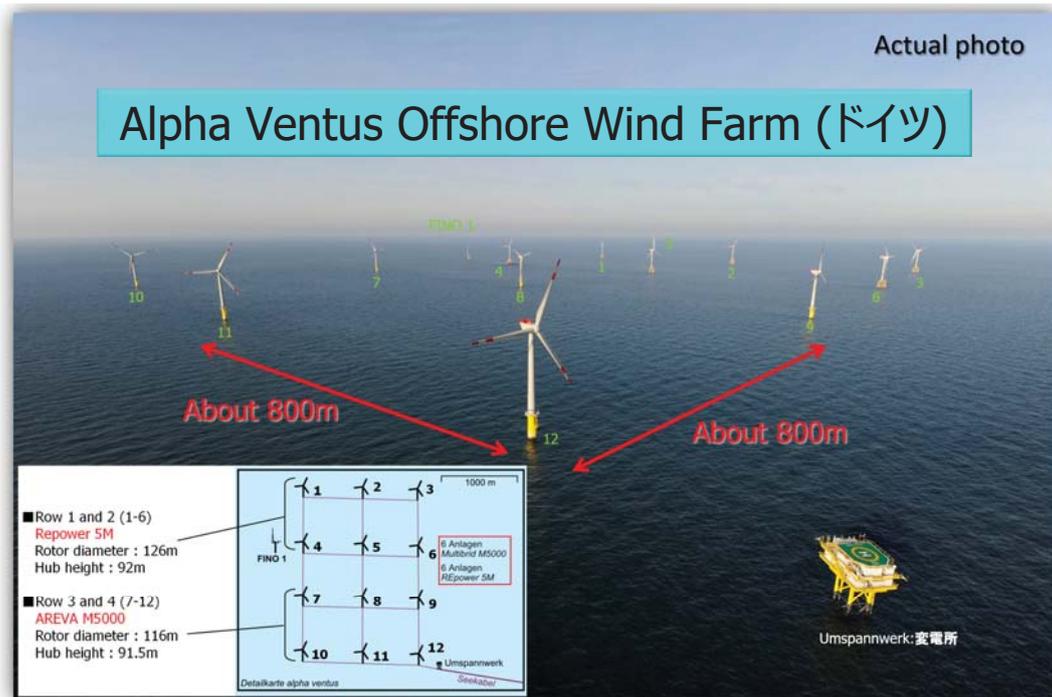
大規模風力発電所に適用できる多重ウェイク下の乱流強度の予測モデルを開発し、数値流体解析と観測データにより、提案したモデルが高い予測精度を有することを示した(風車ウェイクの高速度・高精度予測)。



□ ウェイクステアリング制御の提案

勾配法を用いたウィンドファームの発電量を最大化するアルゴリズムを開発し、風速・風向の分解能がウェイクステアリング制御の予測精度に与える影響を評価した。また、発電量の最大化と風車の安全基準を同時に満足できる最適ヨーオフセット範囲(±15°)を示した。

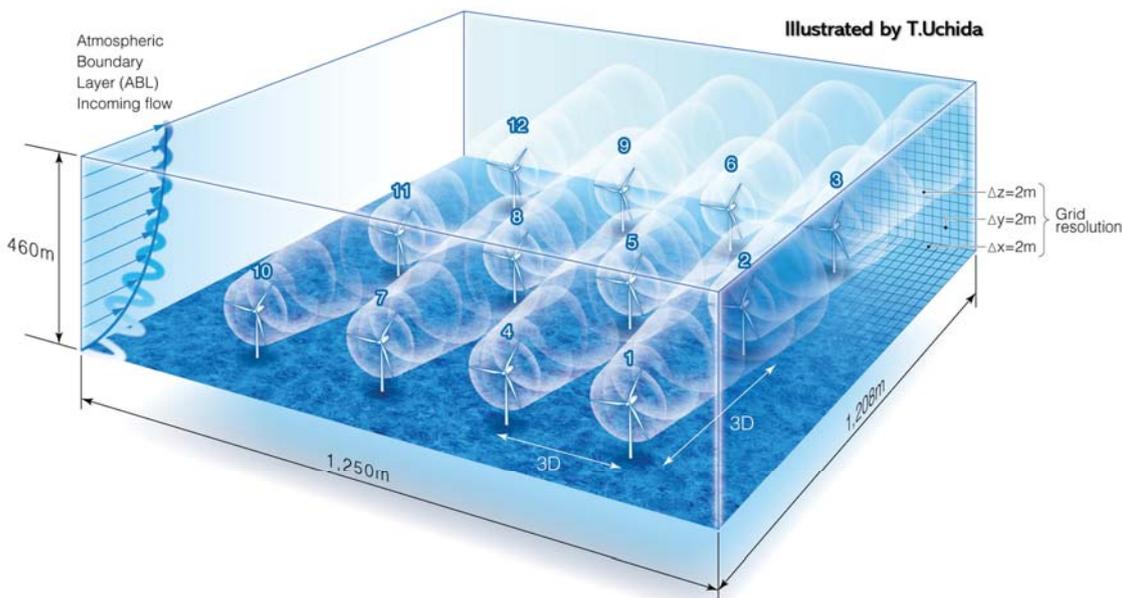




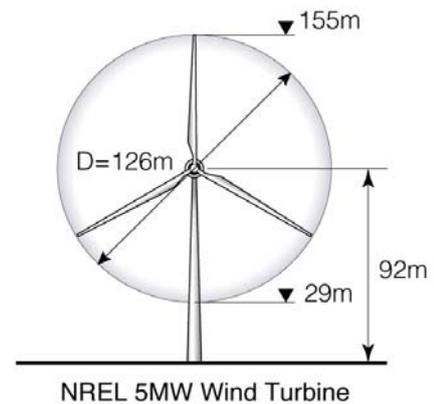
<http://www.adwenoffshore.com/portfolio-item/alpha-ventus/>



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

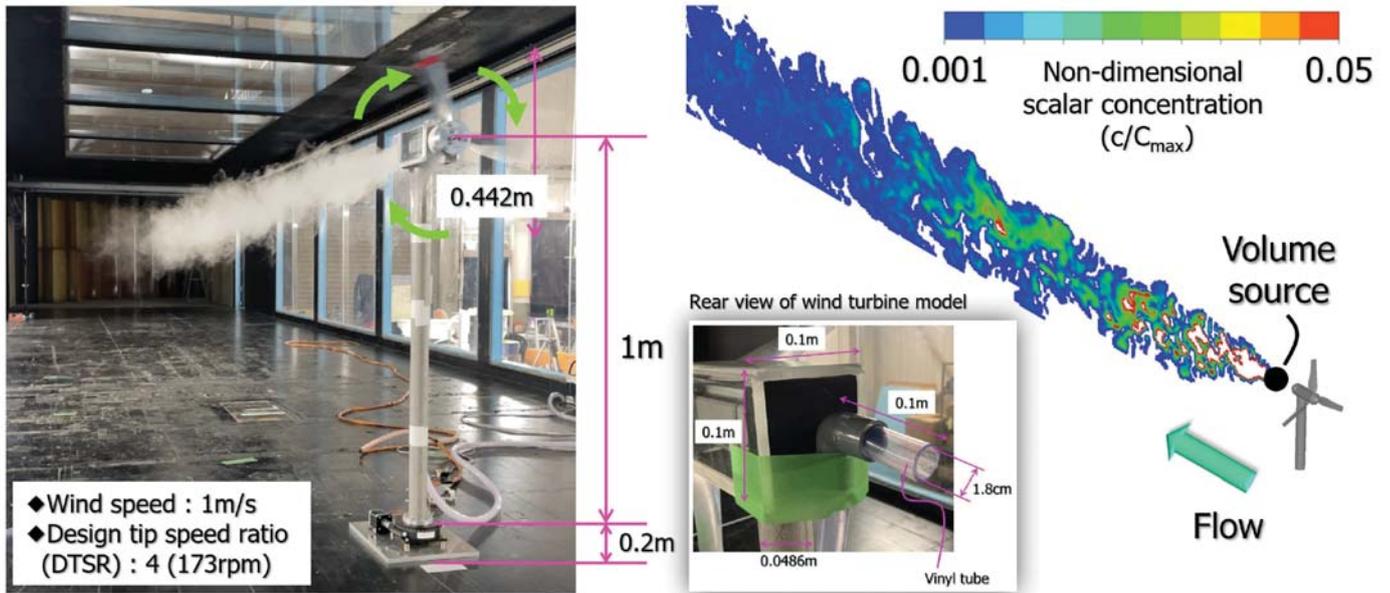


**Benchmark Testing of
Mini Alpha Ventus
(12 Wind Turbines)**



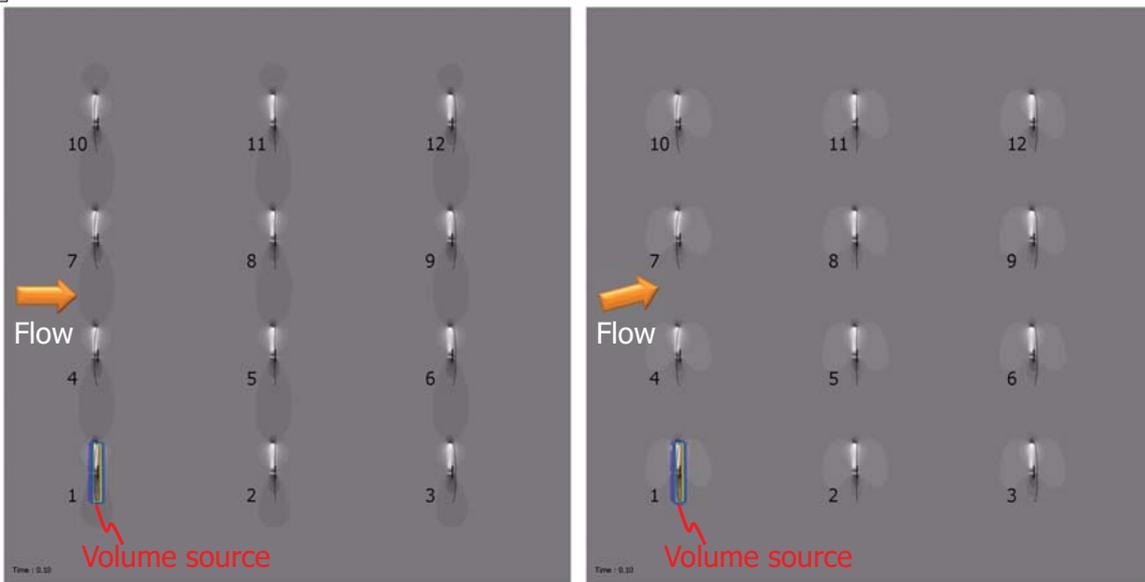
Takanori Uchida et al., Numerical visualization of wind turbine wakes using passive scalar advection-diffusion equation and its application for wake management, Wind Engineering, July, 2022, <https://doi.org/10.1177/0309524X221113011>

大型境界層風洞・精密風車模型を用いた本手法の検証



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

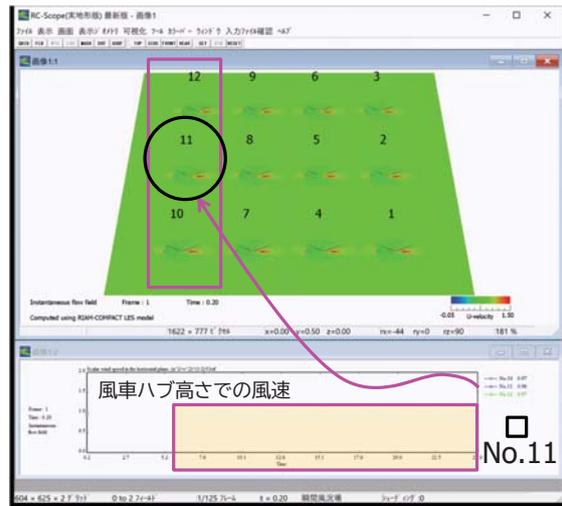
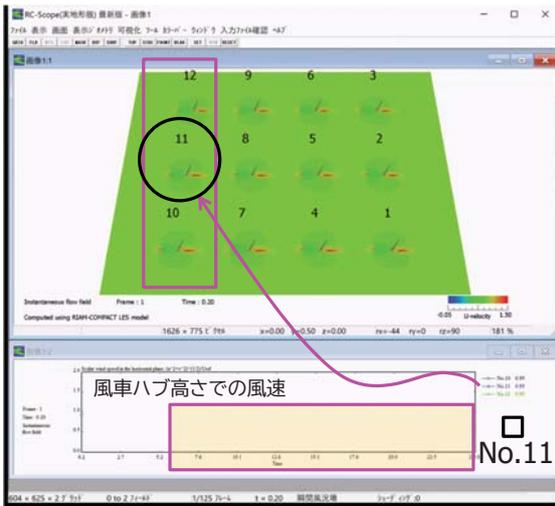
仮想モデルのMini Alpha Ventusでの性能評価



風車群への風の侵入角度 (0deg)

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

風車群への風の侵入角度 (15deg)



風車群への
風の侵入角度
(0deg)

風車への疲労:最小
+
WF全体の発電量:最大

風車群への
風の侵入角度
(15deg)

ご清聴ありがとうございました

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



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

Task 52 : 風ライダーの大規模展開 Large-Scale Deployment of Wind LiDAR

清水建設株式会社

種本 純

Task 52の概要

- IEA Wind Task 52

- 正式名称 : Large-Scale Deployment of Wind LiDAR (風ライダーの大規模展開)
- 別名: (Wind) Lidar Task
- 2011年に発足したTask 32: Wind LIDAR systems for Wind Energy Deploymentの後継タスク

- 目的

- 風ライダーを最適な風況観測ツールにするための研究に取り組むことで、将来風ライダーの使用が容易になり、風力発電の発展を可能にするに利点と機会をもたらすものにする。

- 活動内容

- 風ライダーにとって重要となる、様々なテーマへの取り組み
- 他のTaskとコラボレーションによる知識の共有

- 活動期間

- 2022~2026年 (4年)

Task 52のOA
(Task 52 ホームページより引用)



Julia Gottschall
(フランフォーファー)



David Schlipf
(フランスブルク応用科学大学)

Task 52の特徴

- Task 32時代と同様にオープンなグループ
 - 2022年5月に開催されたTask 52のキックオフ会議（オンライン）には、120名以上が参加
 - LinkedInのフォロワー数は1583人（2023年2月現在）

Task 32 has (had) a powerful brand

Regular events with 60+ attendees

30 publications in 2020 and 2021

Task 52 キックオフ会議資料より引用

1200 followers on LinkedIn

7

500 people on our mailing list

3

Task 52の加盟国と主な参加機関

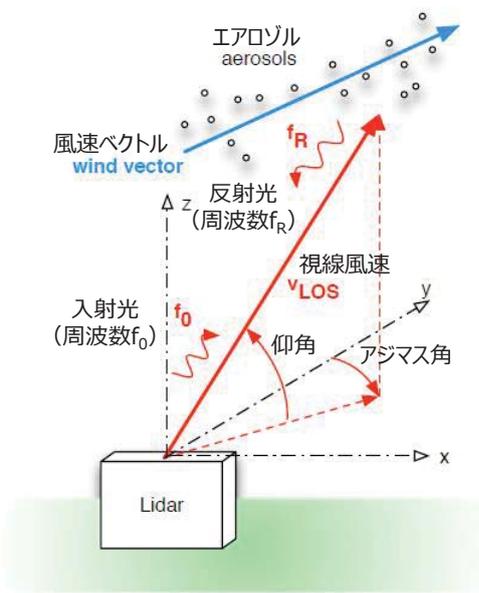
- 加盟国（2023年2月現在調印済み）
 - アメリカ、インド、オーストリア、韓国、スイス、中国、ドイツ、日本
- 今後の想定加盟国（検討中、手続き中）
 - イギリス、オランダ、スペイン、デンマーク、ノルウェー、フランス
- 主な参加機関
 - DNV, DTU, EDF, EnBW, **enviConnect**, ForWind, **Fraunhofer**, Fugro, GE, GPI, Meteodyn, **Nergica**, NREL, NRG Systems, **Oldbaum**, RES, RWE, SGRE, UL, **University Flensburg**, University Oldenburg, University Porto, **University Stuttgart**, Vaisala, Vattenfall, Vestas, ZX Lidars（他、計80機関）（Task 52キックオフ会議資料より抜粋）
 - 日本から、（株）ウインドエナジーコンサルティング、（株）グリーンパワーインベストメント、（国研）産業技術総合研究所、ジャパン・リニューアブル・エナジー（株）、三菱電機（株）、清水建設（株）の有識者が参加。

黒字：Task 32からの継続
青字：Task 52で新規加盟

50音またはアルファベット順
青字：OAまたはWGのリーダーが所属している機関

風ライダーとは

- LiDAR (Light Detection And Ranging)
 - 光を照射し、反射光により物体や距離を計測するシステム。
- 風ライダー (ドップラーライダー) の計測原理
 - ドップラー効果を利用して風を観測する。
 - ある周波数のレーザー光を照射し、風に乗って移動する大気中のエアロゾルや微粒子による反射光を受信し、入射光と反射光の周波数の違い (ドップラーシフト) から照射方向の風速 (視線風速) を計測する。
- 風速・風向の計算
 - 3次元空間なので、x方向、y方向、z方向の3つの風速成分が存在する。これらはいずれも未知数。
 - ライダーの照射角度 (アジマス角、仰角) を変更しながら、少なくとも3か所の視線風速を計測することで、3成分の風速の推定が可能。



風ライダーによる計測の模式図 (IEA Wind RP15より引用)

鉛直ライダー

- 用途
 - 風資源評価
 - 設計条件評価
 - 性能計測
- 計測方法、特徴
 - 上空に向けてアジマス角と仰角を変えながら複数点を照射し、風速・風向を推定する (検査体積での風速を一様と仮定)。
 - 鉛直 (高さ) 方向に複数点の観測が可能。
 - マストで届かない高さの観測に使用される。
- 課題
 - 乱流強度の計測の信頼性
 - 複雑地形での計測精度
 - 浮体式プラットフォームでの使用

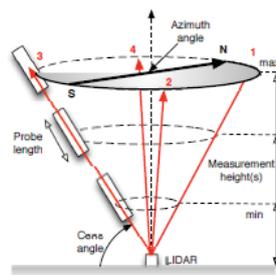


地上設置型

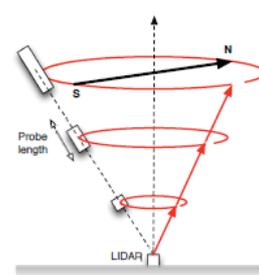


フローティングライダー

鉛直ライダー (Task 32 2021年会議資料より引用)



DBSスキャン



VADスキャン

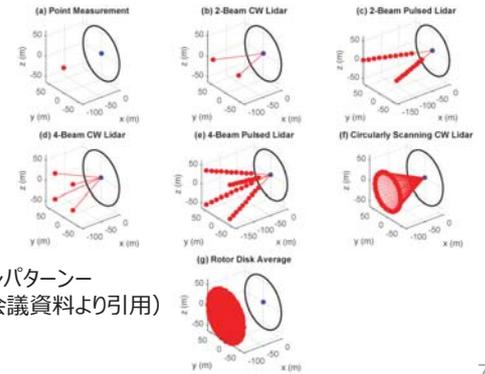
鉛直ライダーのスキャン方法の代表例 (IEA Wind RP15より引用)

ナセル搭載ライダー

- 用途
 - 性能計測（特に複雑地形）
 - 風車のリアルタイム制御による出力最大化、疲労荷重低減（LAC ; Lidar Assisted Control）
- 計測方法、特徴
 - ナセルに搭載して風車の上流の複数点を照射し、風車への流入風を計測する。
- 課題
 - ローター面に有意な風速や制御に有効な情報の推定方法
 - 乱流強度の計測
 - データ取得率による品質への対処
 - エンジニアや作業員間のコミュニケーション
 - ✓ 風車制御設計者⇔ライダーアルゴリズム設計者
 - ✓ ライダーのメンテナンスは風車のメンテナンス業者では難しい



ナセル搭載ライダー
(Task 32 2020年会議資料より引用)



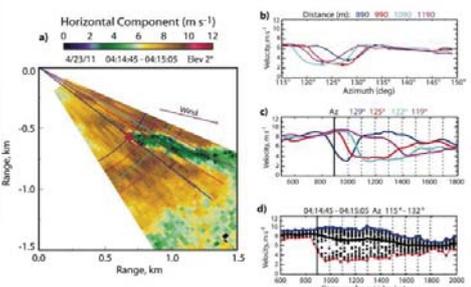
様々なスキャンパターン
(Task 32 2020年会議資料より引用)

スキャニングライダー

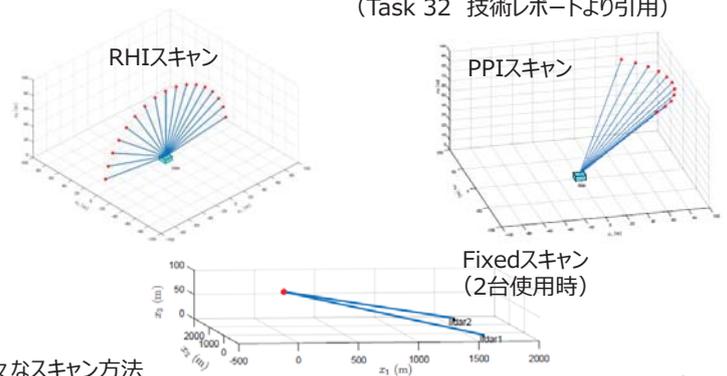
- 用途
 - 風資源、設計条件評価
 - 性能計測
 - 風車のウェイク等の空間分布の計測
- 計測方法、特徴
 - 3次元回転する光学ヘッドを有し、様々なスキャン方法で観測が可能。
 - 日本では離岸距離が近い洋上の観測実績が複数ある。
- 課題
 - 計測精度はいくらかの論文で確認されているが、RPやガイドラインなどが無い（日本では、NEDO「洋上風況観測ガイドブック」にまとめられている）。



スキャニングライダー
(Task 52 紹介ポスターより引用)



PPIスキャンによる観測例
(Task 32 技術レポートより引用)



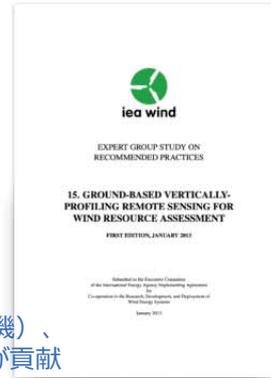
様々なスキャン方法
(Task 32 エキスパートレポートより引用)

Lidar Taskの業界への貢献（Task 32時代の成果物等）

Recommended Practices（Task 32ホームページより引用）



日本から
亀山様（三菱電機）が貢献



日本から
亀山様（三菱電機）、
早崎様（CTC）が貢献

[Recommended Practice 18: Floating Lidar Systems](#)

O. Bischoff, I. Würth, J. Gottschall, B. Gribben, J. Hughes, D. Stein, H. Verhoef.

RP18：フローティングライダーシステム
→IEC/TS 61400-50-4（策定中）、
Carbon Trust ロードマップ

[Recommended Practice 15: Ground-Based Vertically-Profiling Remote Sensing For Wind Resource Assessment](#)

A. Clifton, D. Elliott, and M. Courtney.

RP15：地上設置型の鉛直照射RSDによる風資源調査
→IEC 61400-12-1 ed.2、MEASNET Ver.2に
ライダーに関する事項の追加

9

Lidar Taskの業界への貢献（Task 32時代の成果物等）

Expert Reports



[Estimating Turbulence Statistics and Parameters from Ground- and Nacelle-Based Lidar Measurements](#)

A. Sathé, R. Banta, L. Pauscher, K. Vogstad, D. Schlipf, S. Wylie.

ライダー観測値による乱流強度と
パラメータの推定

Technical Reports



[Calibrating Nacelle Lidar](#)

M. Courtney

ナセルライダーのキャリブレーション
→IEC 61400-50-3:2022の
策定に貢献

（Task 32ホームページより引用）



[Remote Sensing of Complex Flows by Doppler Wind Lidar. Issues and Preliminary Recommendations](#)

A. Clifton, M. Boquet, E. Burin, M. Hofsåß, T. Klaas, K. Vogstad, P. Clive, M. Harris, S. Wylie, E. Osler, R. Banta, A. Choukulkar, J. Lundquist and M. Aitken

風ライダーによる複雑地形の流れの計測

Lidar Taskの業界への貢献（Task 32時代の成果物等）

Journal Papers（Task 32ホームページより引用）



[Minute-Scale Forecasting of Wind Power—Results from the Collaborative Workshop of IFA Wind Task 32 and 36](#)

I. Würth, L. Valdecabres, E. Simon, C. Möhrlen, B. Uzunoğlu, C. Gilbert, G. Giebel, D. Schlipf, A. Kaifei



[IFA Wind Task 32: Best Practices for the Certification of Lidar-Assisted Control Applications](#)

D. Schlipf, N. Hille, S. Raach, A. Scholbrock, E. Simley



[Optimizing Lidars for Wind Turbine Control Applications—Results from the IFA Wind Task 32 Workshop](#)

E. Simley, H. Fürst, F. Haizmann, D. Schlipf



[IFA Wind Task 32: Wind Lidar Identifying and Mitigating Barriers to the Adoption of Wind Lidar](#)

A. Clifton, P. Clive, J. Gottschall, D. Schlipf, E. Simley, L. Simmons, D. Stein, D. Trabucchi, N. Vasiljevic, I. Würth



[Rotor equivalent wind speed for power curve measurement—comparative exercise for IFA Wind Annex 32](#)

R. Wegner, B. Cañadillas, A. Clifton, S. Feeney, N. Nygaard, M. Poodt, C. S. Martin, E. Tuxen, and J.W. Wagenaar



[Power curve measurement uncertainty—follow up comparative exercise for IFA Task 32](#)

L. Simmons, K. Franke, C. Tsouknidas, J. Seez-Gallego, E. Weyer, & P. Gómez

ライダーによる風車制御に関する多数の論文

性能計測に関する論文

Task 52で取組むテーマ

| テーマ | 役割 | ワーキンググループ (日本からの参加者（50音順敬称略）) | 予定成果物 |
|---|---|--|----------------------------------|
| #1 ユニバーサル流入風特性 Universal inflow characterization | 風車への流入条件に関する最良の情報を取得して使用するためのツールと方法論への取り組み。 | WG1：乱流強度 | ラウンドロビン検証作業／エキスパートレポート |
| | | WG2：ライダーアシスト制御（LAC） 川端（産総研） | Recommended Practice |
| #2 風況観測マストの代替 Replacing met masts | サイト評価用のさまざまなタイプの風ライダーとソフトウェアの選択と使用に関するガイドラインの作成。 | WG3：複雑地形 吉村（GPI） | 補正方法の概要まとめ／エキスパートレポート |
| | | WG4：寒冷地 | Task 32の作業の継続／未定 |
| #3 風ライダーの繋がり Connecting wind lidar | LIDAR データをFAIRにすることで、ユーザーの観測精度改善の支援と、LIDAR とデータの価値の創出 | WG5：デジタル化 今城（三菱電機） | レポジトリと出版物 |
| | | WG7：ライダーオントロジ | レポジトリと出版物 |
| #4 洋上風力の展開促進 Accelerating offshore wind deployment | 洋上風力プロジェクトのライフサイクル全体における主要技術としてのライダーの推進。 | WG6：洋上スキミングライダー 植田（WINC）、種本（清水建設）、吉村（GPI）、渡邊（JRE） | Recommended Practice |
| | | フローティングライダーのWG発足予定（時期未定） | IEC/TS 61400-50-3の内容を参照したラウンドロビン |

*FAIR（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））。

様々なテーマが並列に動いているのが特徴

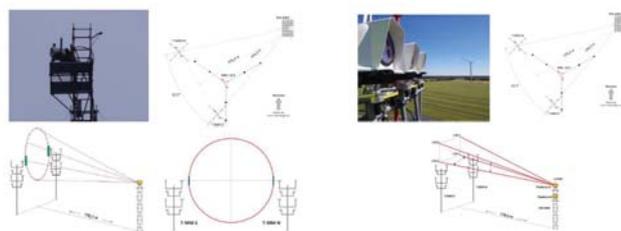
Task 52の2022年のできごと

- 2022/02
 - Task 52の提案書承認
- 2022/05/23、24
 - キックオフ会議（オンライン会議）
 - ✓ 吉村様（GPI）が参加。スキャニングライダーに関するプレゼ
- 2022/10/13
 - WG6関係者とスキャニングライダーに関する情報交換（非公式会議）@JEMA、日本
 - ✓ 植田様（WINC）、吉村様（GPI）、渡邊様（JRE）、種本（清水建設）、他NEDO、JEMAご関係者様、JEMA委員が参加
 - ✓ 植田様（WINC）、渡邊様（JRE）がスキャニングライダーの研究に関するプレゼ
- 2022/10/18~20
 - Task 41（分散型風力）、Task54（寒冷地における風力発電）との合同ミーティング@ウィーン、オーストリア
 - WG3：複雑地形（ハイブリッド会議、吉村様（GPI）参加）、WG4：寒冷地（対面会議）のグループ会議
- 2022/10/23
 - 日本の加盟手続きが完了。順次WGに参加。
- 2022/02/13~17
 - ランチミーティング開催（日本時間21:00~22:00）。連日100名程度の参加者。
 - ✓ 植田様（WINC）がNEDO事業のデュアルスキャニングライダーの観測結果（Shimada et.al.(2022)の論文）について発表。

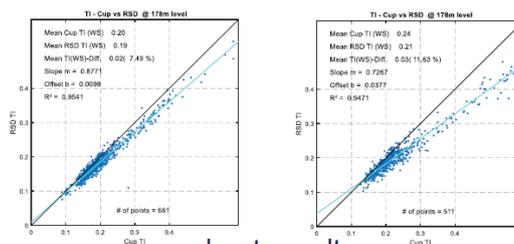
13

WGの活動紹介

- WG1：乱流強度
 - 目的：
 - ✓ 様々なライダーに関する乱流強度の推定手法の改善
 - Task 32で実施したナセル搭載ライダーによる乱流強度推定手法検証のラウンドロビンの継続
 - ✓ 機械学習に使うにはデータ短い
 - ✓ 乱流強度に大きな水平シアがある場合のデータが含まれていない
 - これまでより多くのデータを使用して再度ラウンドロビンを実施中
- WG2：ライダーアシスト制御（LAC）
 - 目的：
 - ✓ LACの経験と議論を交換するためのコミュニティの提供
 - ✓ LACの利用の促進、ベンチマーク用のオープンソースツールの作成
 - Task 32で実施したワークショップた研究成果を基に、LACのRPの作成に取り組む。



ナセル搭載ライダーの乱流強度検証ケースの例
(Task 52 キックオフ会議資料より引用)



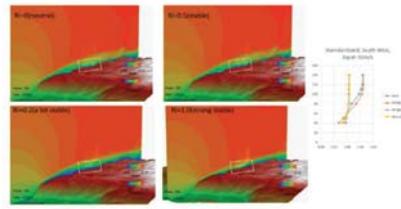
第1回目のラウンドロビンの検証の例
(Task 52 キックオフ会議資料より引用)

14

WGの活動紹介

WG3：複雑地形

- 目的：
 - ✓ 複雑地形上でライダーの展開と補正方法の適用性、その限界を明らかにする。
- Task 32時代に、オーストリア5サイトで4社がCFD等を使った補正方法の検証を実施。その成果をレポートとしてまとめた。
 - ✓ 日本からは吉村様（GPI）が著者として貢献。



REPORT

IEA Wind TCP Task 32: Comparative Exercise on Ground Based Lidar in Complex Terrain

Authors: Alexander Stökl (Energiewerkstatt e.V.)
 Sara Koller (Metecotest AG)
 Johannes Cordes (Deutsche WindGuard Consulting GmbH)
 Oliver Grüning (Ramboll Deutschland GmbH)
 Andrew Black (Vaisala France)
 Atsushi Yoshimura (Green Power Investment)

Revision 0
 December 2022

WG4：寒冷地

- 目的：
 - ✓ マストとの比較によるデータ有効率の影響や気象要素による影響の評価
 - ✓ 着氷への対処と検出手法の確立
- Task 32で寒冷地のライダーとマストの環境要因別の比較を実施。新たな観測データを取得して分析予定。

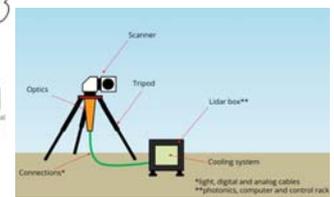
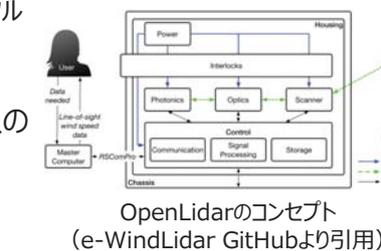
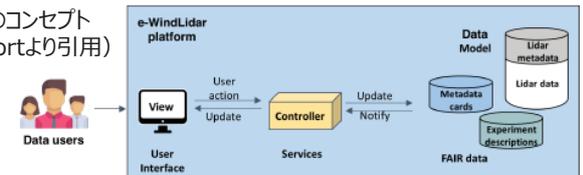
Task 32報告書：複雑地形における地上設置型ライダーの比較 (Task 52 Zenodoより閲覧可能)

WGの紹介

WG5：デジタル化

- 目的：
 - ✓ ライダーとウィンドファームのライフサイクルのデジタル化とビジネススペースの特定
 - ✓ オープンソースツールを使用したデータ処理などによるデジタル化の実証
- e-WindLidar：ツールとデータ形式の標準化
- OpenLidar：オープンソースによるライダーデバイス設計、構築、操作

e-WindLidarのコンセプト (IRP Wind Reportより引用)



WG7：ライダーオンロジー

- 目的：
 - ✓ Lidarに関する用語集の開発
 - ✓ Lidar知識のFAIR化
- Task 32で作成した用語集の更新へ取組む

Ontology viewer

ライダー用語集 (Wind Lidar Ontologyホームページより引用)

WGの活動紹介

WG6：洋上スキャニングライダー

- 目的：
 - ✓ ユーザーの経験と推奨事項から、ベストプラクティスを作成し、その他のライダー技術と同様に、より多くのスキャニングライダーの利用を実現する。
- スキャニングライダーに関するRPの作成に取り組む。
- スキャニングライダーの導入量が多い日本が注目されており、NEDO「洋上風況観測ガイドブック」が重要参考文献となっている。
 - ✓ 吉村様（GPI）がキックオフ会議でキーノートスピーチ
 - ✓ 植田様（WINC）がランチミーティングでプレゼ

フローティングライダー（WG未発足）

- 2023年2月開催のランチミーティングで今後の方針についてアンケートを取った。



吉村様（GPI）プレゼ資料
(Task 52キックオフ会議資料より引用)

その他情報共有

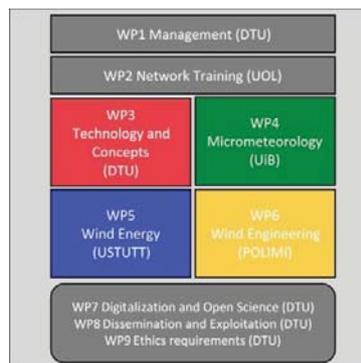
LIKEプロジェクト（Lidar Knowledge Europe）

- 風ライダーの計測技術と産業界の応用のための、若い研究者の育成プロジェクト
- 2019/10/01～2023/09/30（4年間）。
- Horizon Europeが出資、DTUが主導
- 2023年2月に開催されたランチミーティングで関連する博士論文のプレゼがあった。



LIKE ホームページ

(LIKEホームページより引用)



LIKE ワークパッケージ

ESR projects

| ESR Projects | PI/D | Supervisor | Host | Secondment academic | Secondment non-academic | WP |
|--|---------------------------------|---------------|--------|---------------------|-------------------------|----|
| 1 Lidar in wind tunnels | Shahbaz Pathan | M. Sjöholm | DTU | POLIMI | FORCE | 3 |
| 2 Wind lidar for wind energy | Lipin Jin | J. Mann | DTU | NGAR | METEK | 3 |
| 3 Model wind lidar design | Francisco Costa | P.W. Cheng | USTUTT | NREL/DTU | Wood | 3 |
| 4 Floating lidar | Hugo Rubio Hurtado | J. Orosco | IMES | UOL/DTU/UIS | | 4 |
| 5 CFD and lidar | Isadora Lima Coimbra | J. Palma | UPORTO | DTU | RESNP | 4 |
| 6 Aeolus satellite lidar | Haichen Zuo | C. Hasager | DTU | IMM/IMES | | 4 |
| 7 Lidar for Klamath | Jan Markus Diesel | J. Rauder | US | DTU | Klamath | 4 |
| 8 Wind turbine wake and lidar | Priscilla Muzambi Suarez Orrego | J. Trujillo | UL | UOL/UIS | | 5 |
| 9 Lidar in a wind farm wake | Ajun Anantharaman | M. Ghin | UOL | TNO | SGRE | 5 |
| 10 Power performance in a wind farm | Alessandro Sebastiani | A. Palla | DTU | | RES | 5 |
| 11 Adaptive lidar control | Feng Qiu | D. Sclaf | FUAS | DTU | Soventro/Leosphere | 5 |
| 12 Turbulence analysis using nacelle lidar | Wei Fu | A. Palla | DTU | FUAS | RES | 5 |
| 13 Lidar for long-span bridges | Muhammad Nafisfar | J.B. Jakobsen | US | DTU/POLIMI | KV7 | 5 |
| 14 Lidar-assisted wind farm control | Zhenyu Zhang | A. Zasso | POLIMI | US/FUAS/UIS | | 6 |
| 15 Turbulence at exposed airports | Sai Wang | J. Rauder | US | NREL | Leosphere | 6 |

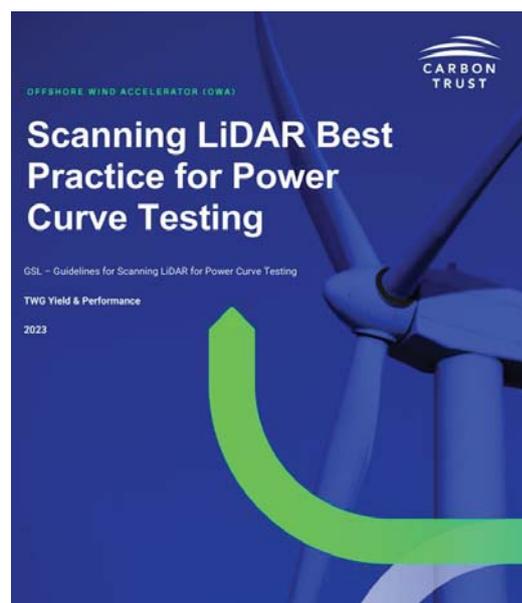
LIKE プロジェクト

その他情報共有

- Carbon Trustによるスキャニングライダーによる性能計測のガイドライン
 - TP（トランジションピース）搭載のスキャンライダーによる洋上での性能計測
 - 従来ナセル搭載ライダーが使われていたが、風車の大型化に伴い照射距離が不足する。
 - 遠距離の計測が可能なスキャニングライダーが使えるが、ガイドラインがなかったため、作成した。
 - 2023年2月に開催されたランチミーティングで共有があった。



TP搭載スキャニングライダー
(Carbon Trust ガイドラインより引用)



ガイドライン表紙
(Carbon Trust ガイドラインより引用)

19

まとめと今後の見通し

- Task 32からTask 52へ移行。引続き、風ライダーの利用を加速させる。
- Task 52は4つのテーマ、7つのWG（2023年2月現在）から構成される。

| | テーマ | ワーキンググループ |
|----|--|--------------------------|
| #1 | ユニバーサル流入風特性 Universal inflow characterization | WG1：乱流強度 |
| | | WG2：ライダーアシスト制御（LAC） |
| #2 | 風況観測マストの代替 Replacing met masts | WG3：複雑地形 |
| | | WG4：寒冷地 |
| #3 | 風ライダーの繋がり Connecting wind lidar | WG5：デジタル化 |
| | | WG7：ライダーオントロジ |
| #4 | 洋上風力の展開促進 Accelerating offshore wind deployment | WG6：洋上スキャニングライダー |
| | | フローティングライダーのWG発足予定（時期未定） |

- 2023/05
 - スキャニングライダーワークショップの開催を日本ホストで計画中
 - WESC2023@グラスゴー、イギリス（5/23～26）にて、WG3+4+6、WG1+2+5の2つのテーマでミニシンポジウムを開催予定

20

参考ページ

- CarbonTrust スキャニングライダーによる性能計測ガイドライン : <https://www.carbontrust.com/our-work-and-impact/guides-reports-and-tools/guidelines-for-scanning-lidars-for-power-curve-testing>
- Carbon Trust フローティングライダーの商用利用のロードマップ : <https://www.carbontrust.com/our-work-and-impact/guides-reports-and-tools/roadmap-for-commercial-acceptance-of-floating-lidar>
- e-WindLidar GitHub : <https://github.com/e-WindLidar>
- Lidar Knowledge Europe (LIKE) ホームページ : <https://www.msca-like.eu/>
- NEDO洋上風況観測ガイドブック : <https://www.nedo.go.jp/content/100948288.pdf>
- OpenLidarホームページ : <https://www.openlidar.net/>
- Task 32ホームページ : <https://iea-wind.org/task32/>
- Task 32 Zenodo : <https://zenodo.org/communities/ieawindtask32>
- Task 32 GitHub : <https://github.com/IEA-Wind-Task-32>
- Task 52ホームページ : <https://iea-wind.org/task52/>
- Task 52 LinkedIn : <https://www.linkedin.com/showcase/4037465>
- Task 52 Zenodo : <https://zenodo.org/communities/ieawindtask52>
- Wind Lidar Ontologyホームページ : <http://data.windenergy.dtu.dk/ontologies/view/ontolidar/en/index>

最終アクセス日 : 2023年2月15日

第11回 IEA Wind セミナー
2023年2月28日

IEA Wind TCP Task46 Erosion of Wind Turbine Blades 活動状況

国立研究開発法人産業技術総合研究所
再生可能エネルギー研究センター
風力エネルギーチーム
田中 元史



0. エロージョンとは

出典: <https://iea-wind.org/task46/>



高速で回転するブレード前縁に雨滴等が衝突する際に
発生する繰り返し衝撃力によってブレード材料の疲労破壊が進行する現象

1. 背景

●洋上での大規模エロージョン事例



出典: <https://renews.biz/110279/anholt-grapples-with-blade-fix/>

●エロージョンのコスト影響

- ・パワーカブへの影響
- ・補修によるダウンタイム
- ・点検や監視のコスト
- ・補修やメンテナンスのコスト

・事業予見性への影響

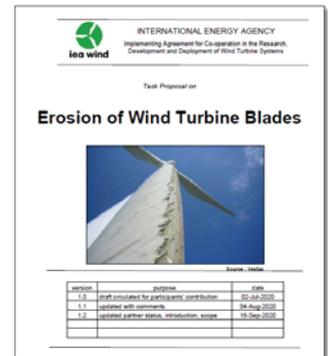
- ・洋上での高周速化や高雨量地域への市場移行でリスクが顕在化
- ・各国での大規模研究開発を経て国際連携の機運が高まりTask立ち上げ

●国際シンポジウム

International Symposium on Leading Edge Erosion of Wind Turbine Blades

- 1st : 2020/2/3-6 @DTU
- 2nd : 2021/2/2-4 @DTU

●IEA Wind Task11:TEM#98(2020/2/6-7)



IEA Wind Task 46 Erosion of WT Blades 提案書

2. Task概要

- ・名称: 風車ブレードのエロージョン
- ・期間: 2021年4月~2025年3月
- ・OA: VTT,DTU
- ・目的: エロージョン要因の理解を深め、エロージョン予測のためのデータセットとモデルツールを開発し、可能な限り早い段階での損傷特定法と、対策手法を開発すること。
- ・参画機関: 14か国39機関(日本は2022年6月から参画)



WP2:
エロージョン要因
となる気象因子

WP3:
エロージョンと
風車オペレーション

WP4:
エロージョンの
地上試験

WP5:
エロージョンの
力学と材料特性

Climatic conditions driving erosion (wp2)

Sara C. Pryor (Cornell University) & Marijn Veraart (Ørsted)

Wind turbine operations with erosion (wp3)

David C. Maniaci (Sandia National Laboratory)

Laboratory testing of erosion (wp4)

Jakob I. Bech (DTU) & Maral Rahimi (Hempel)

Erosion mechanics & material properties (wp5)

Fernando Sánchez López (Univ. Cardenal Herrera CEU) & Bodil Holst (Univ. Bergen)

WP1: マネジメント Management (wp1) - Raul Prieto (VTT) & Charlotte Hasager (DTU)

- ・プレナリ会議
2021年 ①3/15 ②9/15
2022年 ③2/2 ④9/22
- ・ワークショップ
2023年 2/10
- ・ウェビナー
2022年 5/31
- ・報告書



第4回プレナリ会議@Orsted

WP2: Atmospheric drivers of wind turbine blade leading edge erosion: Hydrometeors.

WP3: Leading Edge Erosion Classification System

WP4: Review on available technologies for laboratory erosion testing



TEM#98@DTU



ワークショップ@DTU

3. 1. 活動内容 WP2: エロージョンの要因となる気象因子

- 目的:
サイトのエロージョンリスクに関する評価手法と、ブレード寿命を最適化するためのウィンドファーム運用情報の提供。長期的にはエロージョンアトラスの実現を目指す。

- 参画機関:
Engie, WEICan, DTU, Ørsted A/S, VTT, AIST, Osaka Univ., Fraunhofer IWES, TU Delft, TNO, ENECO, Univ. of Bergen, CHU, ORE Catapult, Cornell Univ.

- 日本からの参加メンバ:
大阪大学 牛尾知雄教授
産総研 田中

- 研究項目:

WP2.1: エロージョンポテンシャルマッピングのための優先研究エリアの設定(降水粒子に焦点)

WP2.2: エロージョンに影響する追加的な気象学的因子の同定

WP2.3: 雹、雨、粉塵頻度の文献調査

WP2.4: 雨滴粒径分布の気候依存の文献調査

WP2.5: 気象因子データの可用性と質

WP2.6: 気象因子データによるエロージョンクラス同定に関するRPを含むエロージョンアトラスのロードマップ

WP2.7: エロージョン影響因子の計測に関するRPと計測器の開発・試験・モデルV&Vのための「スーパーサイト」設立の検討。

WP2.8: エロージョンに関するモデルV&Vの手法と、主要気象因子のモデリングツールの改善

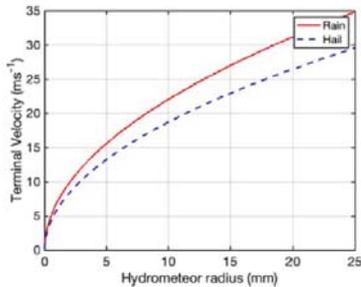
●技術レポート

Atmospheric drivers of wind turbine blade leading edge erosion: Hydrometeors

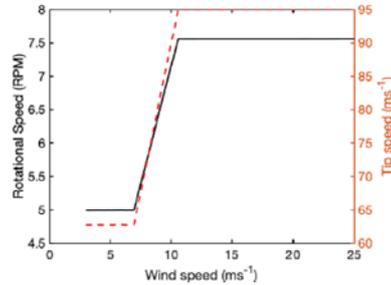
https://usercontent.one/wp/iea-wind.org/wp-content/uploads/2022/08/IEA_Wind_Task_46_WP2_Deliverable1_5Nov2021_approved.pdf

・エロージョンに影響する気象因子

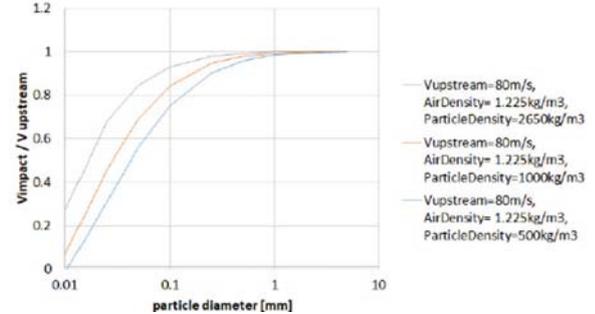
落下速度



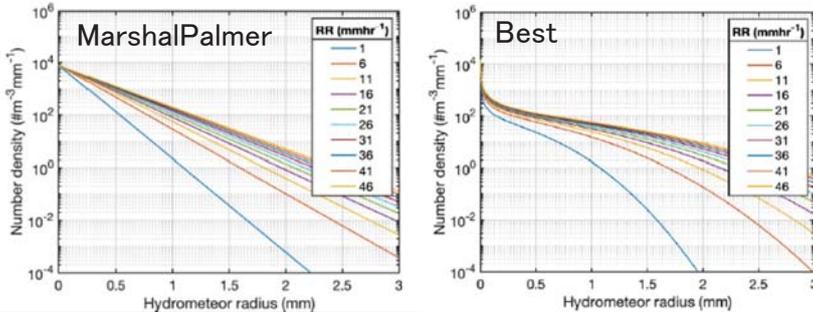
ブレード回転速度



LEでの空力的減速



雨滴粒径分布 (DSD)



粒子種類

雨、霧雨、霰、雪、霧雪
雹、霰、凍雨、着氷性の雨、細氷

・計測／解析手法

○現場での測定

転倒ます式雨量計 ディストロメータ



電センサー



○リモートセンシング

- ・単偏波走査型レーダ
- ・二重偏波レーダ
- ・マイクロレインレーダ(MRR)

○その他

- ・衛星観測 (GPV等)
- ・再解析 (ERA5等)
- ・数値気象予報 (NWP) モデル

・利用可能なデータ(メタデータ有)

○ベルゲン大学(ノルウェー)

- ・MRR
- ・OTT-Parsivel

○WEICan(カナダ)

- ・Campbell PWS100

○DoE ARM(アメリカ)

- ・放射計
- ・RADARS
- ・ライダー
- ・ディストロメータ

○DiVen、NOAH、Levenmouth(イギリス)

- ・Theis LPM
- ・Campbell PWS100

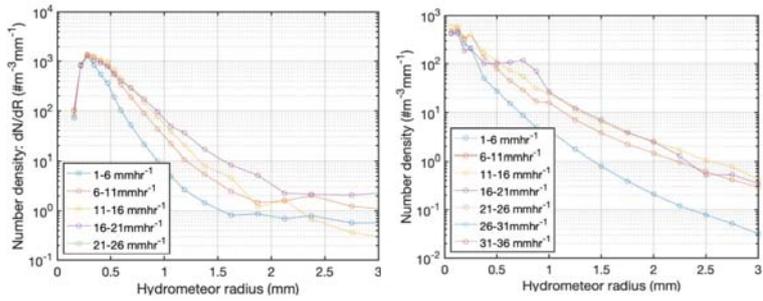
○DTU(デンマーク)

- ・OTT-Parsivel2

○Orstedサイト(Hoirns Rev2、台湾、米国)

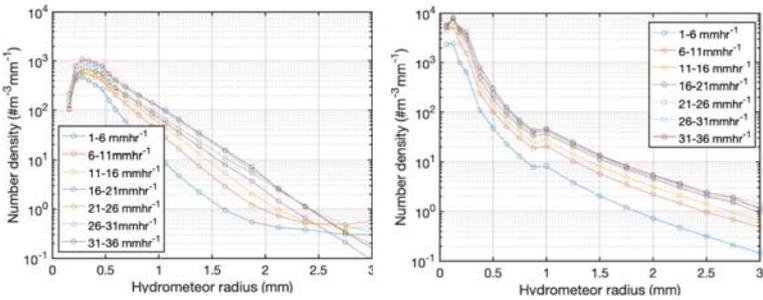
- ・OTT-Parsivel2

● 雨滴粒径分布の地域間比較:



Rosekilde, Denmark

Weybourne, England



Lamont, USA

Cairngorm, Scotland

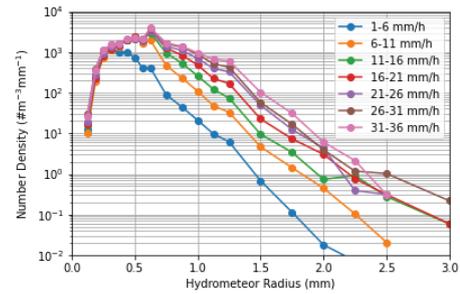
- 地域間に差あり
- イベント間、季節間でも差が見られた。

● 日本の参画検討(福島県補助事業)

● FREAにおける降雨計測(ORE Catapultとの連携)



| Site | Annual Precipitation (mm) |
|--------------------------|---------------------------|
| DNVGL-RP-0573 | 1000 |
| Seattle | 890 |
| Washington Pacific Coast | 2670 |
| Miami | 1300 |
| Hilo, Hawaii | 3160 |
| NOAH | 566 |
| Levenmouth | 625 |
| Koriyama | 1751 |



- FREAでの降雨計測データを提供し
- アジア地域での対策の重要性を周知

3. 2. 活動内容 WP3: エロージョンと風車オペレーション

● 目的:

エロージョンにおける液滴衝突現象と、表面形状変化の空力影響を理解し、風車制御(エロージョンセーフモード)によるブレード保護効果を評価する

● 参画機関:

Engie, WEICan, METEK Nordic, Vestas, VTT, AIST, Cener, Nordex Energy Spain, DNV Iberica, ORE Catapult, Univ. Bristol, Lancaster Univ., Sandia National Laboratories

● 日本からの参加メンバ:

産総研 川端浩和、粟飯原あや、田中

● 研究項目:

- WP3.1: ブレードエロージョンクラスに基づく AEP 損失の予測モデル
- WP3.2: エロージョン観察結果に基づく 損傷報告書の標準化(レポート)
- WP3.3: 疲労解析に使用する液滴衝突モデル
- WP3.4: エロージョンセーフモードの可能性
- WP3.5: フィールド観察に基づく 性能損失モデルの精度検証

● 技術レポート

Leading Edge Erosion Classification System

<https://usercontent.one/wp/iea-wind.org/wp-content/uploads/2023/02/IEA-Wind-Task-46-Erosion-Classification-System-report.pdf>

・エロージョンダメージ分類の現状調査

DNV-RP-0573における評価項目

| Result Parameter | Unit | Nominal Condition |
|----------------------------|---------|---|
| Mass Loss | [grams] | Optional |
| Failure Modes | [-] | Optional |
| Stages of Erosion Progress | [-] | Reference point in time |
| End of Incubation Period* | [min] | document time of initial surface damage for each location |
| Breakthrough† | [min] | document time of breakthrough for each location |

Gaudernらによるパターン分類

| Erosion Description | Erosion Depth [mm] | Average Feature Diameter [mm] | Approximate chord coverage | Erosion Pattern |
|---|--------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------|
| Small pinholes of missing paint distributed across LE with some grouping. | 0.1-0.2 | 2 | 3% | |
| Pinholes have coalesced into larger eroded patches. | 0.1-0.2 | 15 | 3% | |
| Affected area has increased, with isolated larger patches with a greater depth. | 0.3-0.5 | 20/40 | 5% | |
| Patches have coalesced further, and depth has increased. | 0.5-0.8 | 40 | 5% | |
| Large areas of LE laminate exposed. | 0.8-1.2 | >500 | 8% | |

Sareenらによるステージ分類

| Stages | Type A Pits (P) | Type B Pits & Gouges (G) | Type C Pits, Gouges & Delamination |
|----------|-----------------|--------------------------|------------------------------------|
| Stage 1 | 100P (1) | - | - |
| Stage 2 | 200P (2) | 200P/100G (4) | - |
| Stage 3 | 400P (3) | 400P/200G (5) | 400P/200G/DL (7) |
| Stage 4† | - | 800P/400G (6) | 800P/400G/DL+ (8) |
| Stage 5‡ | - | - | 1600P/800G/DL++ (9) |

Maniaciらによる分類

| Damage category | Airfoil Maximum lift coefficient | Airfoil Lift/ Drag ratio | Modeled AEP loss of rotor at 6 m/s mean wind speed (%) |
|-----------------|----------------------------------|--------------------------|--|
| 0 | 1.54 (0%) | 114 (0%) | 0 |
| 1 | 1.46 (-5%) | 91 (-20%) | (not modeled) |
| 2 | 1.39 (-10%) | 75 (-34%) | 0.9 |
| 3 | 1.34 (-15%) | 63 (-45%) | 1.6 |
| 4 | 1.29 (-16%) | 53 (-53%) | 2.6 |

・新しい分類表の項目決定のためのワークショップ

- ・“損傷具合ー深刻度(0~5)の対応表”をつくるために、実際のエロージョン写真を使って、クラス分けのテスト
- ・評価者によるばらつきが大きいものについては、評価基準見直しの議論を実施

| Image | Organisation Type | Organisation | | | | | | | | | Median | Variance | |
|----------------|--------------------------|--------------|----------------|------------|-------------|------------|-----|----------------|------------|-------------|--------|----------|------|
| | | RTO | Owner/Operator | University | Turbine OEM | University | RTO | Owner/Operator | University | Turbine OEM | | | |
| Image 1 | Visual data definition | 2 | 1 | | 2 | 0 | 2.5 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0.85 |
| | Mass-loss or Depth | 1 | 1 | | | 2 | 1 | | 1 | 4 | | 1 | 1.47 |
| | Aerodynamics/Performance | 2 | 1 | 5 | 2.5 | 2 | 2 | | 2 | 1 | 3 | 2 | 1.44 |
| | Structural | 1 | 1 | | 0 | 2.5 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1.06 |
| Image 2 | Visual data definition | 4 | 4 | | 4 | 3 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 0.36 |
| | Mass-loss or Depth | 4 | 4 | | | 3 | 3 | | 3 | 5 | | 3.5 | 0.67 |
| | Aerodynamics/Performance | 4 | 4 | 5 | 4.5 | 3 | 3.5 | | 4 | 3 | 5 | 4 | 0.56 |
| | Structural | 4 | 3 | | 0 | 4 | | 3 | 4 | 5 | | 4 | 2.57 |
| Image 3 | Visual data definition | 1 | 2 | | 2 | 1 | 2 | | 2 | 1 | 2 | 2 | 0.27 |
| | Mass-loss or Depth | 1 | 1 | | 0 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 0.17 |
| | Aerodynamics/Performance | 1 | 1 | | 2 | 1 | 2 | | 2 | 1 | 3 | 1.5 | 0.55 |
| | Structural | 2 | 1 | | 0 | 2 | | 3 | 1 | 2 | | 2 | 0.95 |
| Image 4-Part 1 | Visual data definition | 3 | 1 | | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 0.50 |
| | Mass-loss or Depth | 2 | 1 | | | 1 | 1 | | 1 | 4 | | 2 | 1.47 |
| | Aerodynamics/Performance | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 | 1.5 | | 2 | 1 | 2 | 2 | 0.63 |
| | Structural | 2 | 1 | | 0 | 2 | | 3 | 2 | 3 | | 2 | 1.14 |
| Image 4-Part 2 | Visual data definition | 2 | 2 | | 1 | 1 | 2.5 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0.38 |
| | Mass-loss or Depth | 1 | 2 | | 1 | 1 | 1.5 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.18 |
| | Aerodynamics/Performance | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1.5 | | 2 | 1 | 2 | 1.5 | 0.25 |
| | Structural | 2 | 1 | | 0 | 2 | | 3 | 2 | 1 | | 2 | 0.95 |
| Image 5 | Visual data definition | 1 | 1 | | 1 | 0 | 0.5 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0.42 |
| | Mass-loss or Depth | 1 | 1 | | | 0 | 0 | | 1 | 1 | | 1 | 0.27 |
| | Aerodynamics/Performance | 2 | 1 | 2 | 2.5 | 2 | 1 | | 1 | 2 | 2 | 2 | 0.32 |
| | Structural | 1 | 1 | | 0 | 1 | | 1 | 1 | 0 | | 1 | 0.27 |
| Image 6 | Visual data definition | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1.5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.03 |
| | Mass-loss or Depth | 1 | 1 | | | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 0.00 |
| | Aerodynamics/Performance | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 0 | 1 | 0.13 |
| | Structural | 2 | 1 | | 0 | 2 | | 2 | 1 | 1 | | 1 | 0.57 |
| Image 7 | Visual data definition | 2 | 1 | | 1.5 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 0.69 |
| | Mass-loss or Depth | 1 | 1 | | | 1 | 0 | | 1 | 2 | | 1 | 0.40 |
| | Aerodynamics/Performance | 2 | 1 | | 3 | 2 | 1 | | 2 | 2 | 4 | 2 | 0.98 |
| | Structural | 1 | 1 | | 0 | 1 | | 2 | 1 | 1 | | 1 | 0.33 |

・提案されたエロージョン分類システム

- ・Visual Condition(見た目)、Mass loss(質量損失)、Aerodynamic Performance(空力性能)、Blade Integrity(完全性)の観点での分類。LEPも考慮。
- ・総合評価を出すことが目的ではない。観点毎に評価して、個別の状況を分析することを意図している。

| Evaluation Criteria | Severity Level | | | | | |
|---------------------------|---------------------------|--|--|--|---|--|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Visual Condition (LEP) | Initial factory condition | Lightly worn external coating/LEP Instances of reduced LEP adhesion | Notable areas of localized damage on external coating/LEP Individual Instances of LEP adhesive failure. | LEP is largely compromised over a large area and no longer providing protection to underlying layers | Delamination of topcoat with immediate layer underneath clearly visible and exposed | Notable damage to substrate |
| Visual Condition (No LEP) | | Erosion barely visible or pinholes | Localized pitting | Widespread or coherent pits, some gouges | | |
| Mass-loss | | Coating <10% Laminate 0% | Coating 10-50%, Laminate 0% | Coating 50-100%, Laminate <10% | Coating 100% Laminate 10-100% | Coating 100%, Laminate 100% |
| Aerodynamic Performance | | Normal surface roughness Region 2 Power loss 0-1% | Region 2 Power loss 1%-2% | Region 2 Power Loss 2%-3% | Region 2 Power loss 3-4% | Region 2 Power loss >4% |
| Blade Integrity | | Initial erosion of topcoat | Erosion through topcoat | Initial exposure of immediate laminate layers | Erosion through immediate laminate layers | Exposure of structural laminate layers |

●日本の参画方法の検討(福島県補助事業、シーズ支援事業)

・AeroBenchmarkへの参画

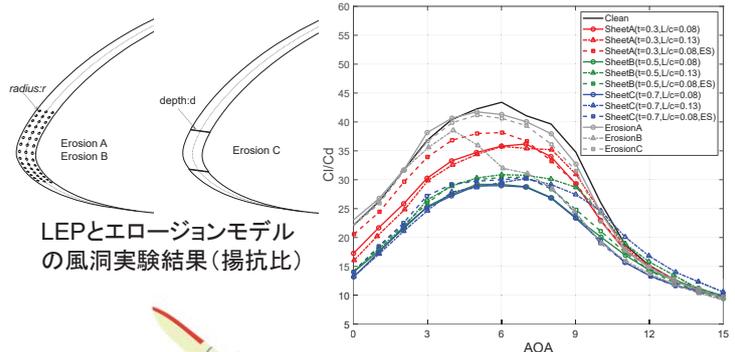
目的

- ・風車ブレードエロージョンに関する数値解析モデルを標準化
- ・エロージョン効果を解析する推奨指針を定義
→ 学術論文などで発表

ベンチマーク項目

1. ブレード表面粗さのモデル化
エロージョンや保護材料の損傷により変化する翼表面粗さの空力特性への影響についての検証
2. ブレードエロージョン
各エロージョン進行度における空力特性についての検証
3. 年間発電電力量への影響
ブレードがエロージョンした場合の年間発電電力量の損失についての検証

・FREAにおける風洞/実機実験と解析



LEPとエロージョンモデルの風洞実験結果(揚抗比)

センサー搭載ブレード

1. 液滴の可視化
2. カセンサ
3. 翼面圧力計測
4. ピトー管

今年度開発中の技術

1. 音カメラによる騒音計測
2. 赤外線カメラによる乱流遷移位置の可視化



数値解析、風洞実験、風車実証により、エロージョンのAEP影響評価への参画をはかる

3. 3. 活動内容 WP4:エロージョンの地上試験

●目的:

実機を再現できる忠実度の高い地上試験手法を構築するために地上試験事例を集積し試験準備、試験方法、データ解析の不確定性を低減する。

●参画機関:

Engie, DTU, Hempel, Covestro, Emil Frei, Mankiewicz, Institute of Technology Carlow, NUI Galway, Univ. of Limerick, AIST, TU Delft, Univ. of Bergen, Univ. Cardinal Herrera-CEU, DNV Iberica, ORE Catapult, Univ. Bristol

●日本からの参加メンバー:

産総研 藤澤延行、田中

●研究項目:

- WP4.1: ラボ試験で利用可能な技術調査
- WP4.2: 前縁システムにおけるエロージョン損傷モードの文献調査
- WP4.3: 試験用基材の規格化 (RP)
- WP4.4: 試験片の事前評価 (RP)
- WP4.5: 試験データの解析、損傷蓄積とVN曲線 (RP)
- WP4.6: パラメータスクリーニングのための簡単な機械的試験に関する報告書
- WP4.7: RETデータとフィールド寿命との相関 (報告書およびモデル)
- WP4.8: 無負荷時および試験時の経年劣化 (文献調査およびRP)

●技術レポート

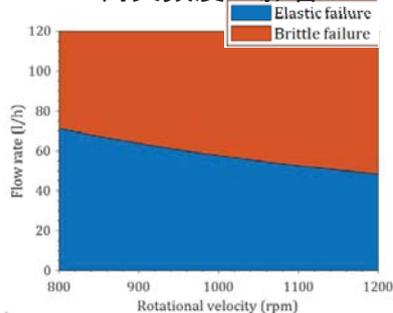
technologies for laboratory erosion testing

<https://usercontent.one/wp/iea-wind.org/wp-content/uploads/2022/12/IEA-WT46-WP4.1-report-Review-on-available-technologies-for-laboratory-erosion-testing.pdf>

・レインエロージョン試験

- ・回転アーム試験
- 関連規格:
ASTM G73-10
DNVGL-RP-0171
- ・パルス噴流試験
- ・連続噴流試験
- ・風洞試験

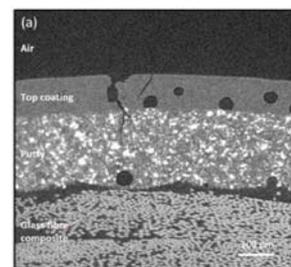
回転試験における
衝突頻度の影響



・層状構造の破壊試験

- ・引張試験
- ・Xカット付着性試験
- ・引張プルオフ試験
- ・ひずみ速度依存界面試験
- ・二重カンチレバービーム試験
- ・引張疲労試験
- ・単体衝撃試験

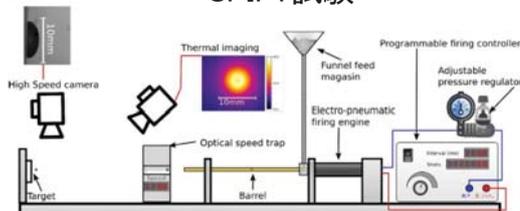
エロージョンブレードの
X線CT画像



・衝撃試験と疲労試験

- ・SPIFT試験
- ・ナノインデンテーション
- ・おもり落下試験
- ・振子式衝撃試験

SPIFT試験



・微細構造特性評価と非破壊検査

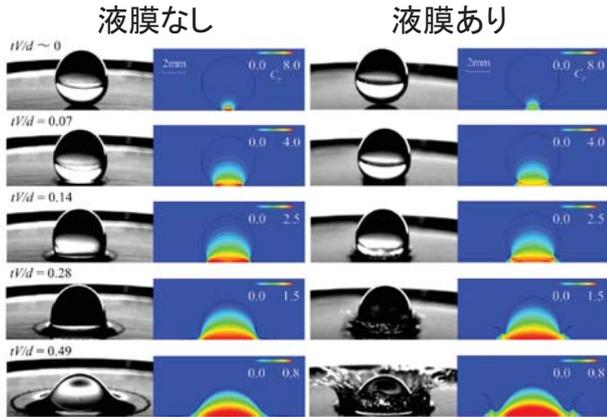
- ・顕微鏡とAFM
- ・光沢と目視検査
- ・分光分析
- ・顕微鏡断面観察
- ・X線CT
- ・顕微鏡発光観察
- ・SEMとEDX
- ・NMR
- ・超音波Cスキャン
- ・テラヘルツ波スキャン
- ・光コヒーレンス・トモグラフィーOCT

ブレードの
テラヘルツスキャン検査

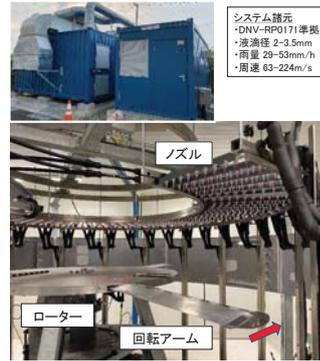


●日本の参画方法の検討(福島県補助事業、NEDO新革新事業)

・低速液滴衝撃の観察と数値解析



・回転式エロージョン試験装置の導入

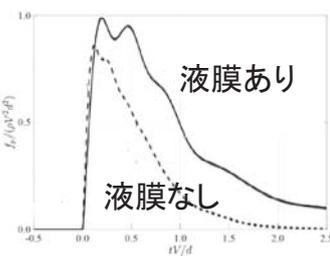


アルミ試験片の損傷状況(10h)

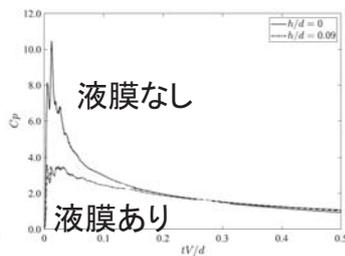


・地上試験装置間の比較と次世代試験法の提案

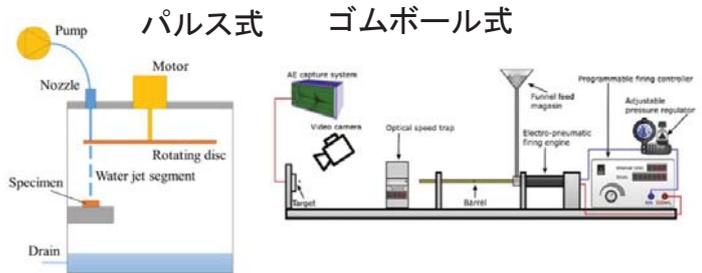
・衝撃力(実測)



・中心部圧力(解析)



回転式



実験と数値解析による試験法比較から日本の環境に適した試験法を検討・提案を狙う

3. 4. 活動内容 WP5:エロージョン力学と材料特性

●目的:

LEP技術のエロージョン力学を理解し性能への影響を評価するために、適切なモデリング技術と材料特性評価方法を定義する。

●参画機関:

DTU, Hempel, Covestro, Emil Frei, Mankiewicz, NUI Galway, Univ. of Limerick, AIST, TOKYO Gas Co., Asahi Rubber Inc., TU Delft, Equinor, Univ. of Bergen, Univ. Cardenal Herrera-CEU, ORE Catapult, Imperial College

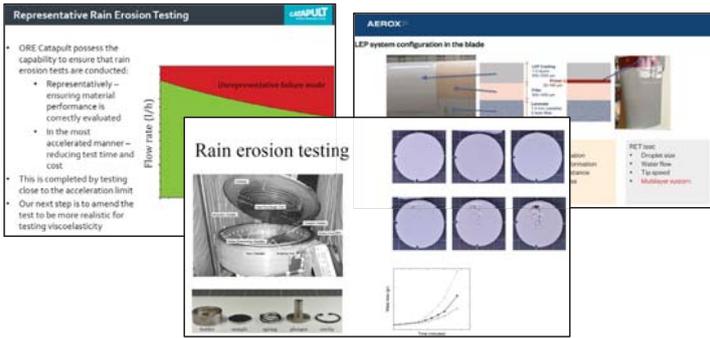
●日本からの参加メンバ:

東京ガス(株) 西田蓉子様
 (株)朝日ラバー 渡辺延由様、峰岸聖様
 産総研 田中

●研究項目:

- WP5.1: 基礎的材料特性に基づく損傷モデル
- WP5.2: 多層システム
- WP5.3: 微細構造と巨視的材料特性

●これまでの活動事例:



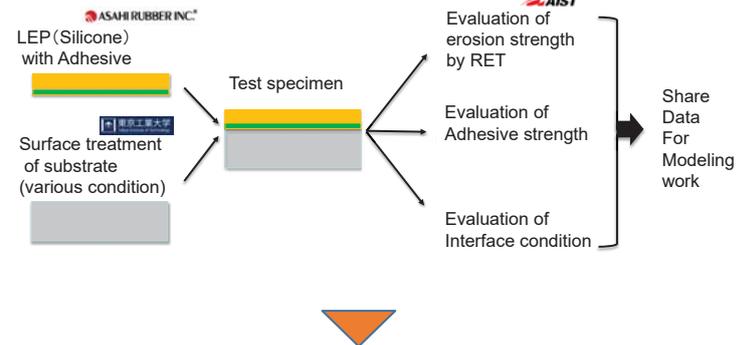
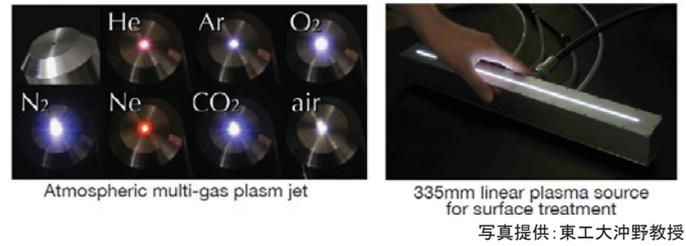
●各機関における研究内容の紹介

| パラメータ | 試験内容 | スタンダード |
|---------------------------------------|--|---|
| 密度 | 水中置換法による測定 | ASTM D792-00 |
| 弾性率、ポアソン比、降伏応力、破壊応力、破壊ひずみ、完全な応力-ひずみ曲線 | 引張試験 圧縮試験 せん断試験 | ASTM D882-18 ASTM D695-15 ASTM D732-17 |
| 破壊靱性 | Mode I: CT [®] やSENB [®] 試料 Mode II: TAST [®] 試料 | CT SENB specimen TAST [®] specimen ASTM D5656-10 |
| 界面の破壊靱性 | Mode I: 剥離試験 Mode II: TAST [®] 試料 Mixed mode: ドリーを用いたテスト | Peel test TAST [®] specimen Daily test ASTM D1876-01 ASTM D5656-10 |
| 疲労亀裂進展速度 | コンパクトテンソル試料 | CT specimen ASTM E647-15e1 |
| 粘弾性特性 | 動的粘弾性熱分析 | DMTA Dynamic mechanical thermal analysis ASTM D5026-15 |
| 高速度試験 | 数種類の高速度下の試験を与える | 各種 |
| 環境試験 | 数種類の環境試験を与える | 各種 |
| 線膨張係数 | -30°C ~ 30°Cにおいて溶融石英径を使用 | ASTM D696-16 |
| 拡散係数 | 重量測定法 | Gravimetric measurements ISO 62:2008 |

●多層LEPの材料と損傷モデルに関するレビュー論文を投稿

●日本の参画方法の検討

- ・非平衡プラズマによる接着性制御技術を活用し保護シート耐久性の接着力依存性を評価



●接着力のエロージョン影響の実験データをモデリングに提供

4. 活動状況のまとめと所感

- ・各WPで知見や解析手法の共有が進展。WP間連携シナジーにも期待。
- ・日本は1年遅れで参画開始。国内研究成果をもとに貢献方法を検討中。
- ・エロージョン対策品は、依然として決め手はなく、各機関で模索中。
- ・今後拡大する国内洋上での対策検討や、優れた素材技術をもつ国内メーカーの市場参入には、欧米技術のキャッチアップとともに、国内の降雨やエロージョン実態に関する情報を共有できるしくみが必要。

2022/9 プレナリ会議参加の西田様所感

- ・実際のブレードに生じたエロージョン形状をCAD図に落とし込んでシミュレーションを行ったり、風雨の実測データの解析を行ったりと、**実環境のデータを用いた研究発表が多い印象**であった。
- ・エロージョンは、自然環境因子の観測、空力性能評価、材料評価、風車制御など様々な要因を組み合わせる必要がある複雑な劣化であるので、エロージョン対策の研究を進めるにあたっては**企業や専門性を超えた情報共有や議論が大事**であると感じた。
- ・会議に出席していたメンバーは、それぞれの業務を通じて実際に風力発電を動かし、エロージョンの影響を実感しているようで、ディスカッション中も**実感のこもった意見が多かった**。欧州と日本の経験の差が大きいと感じた。

2023/2 ワークショップ参加の栗飯原所感

- ・実機風車のエロージョン対策法やエロージョン予測手法についてまだ十分に確立できていない段階であるが、多くの企業や大学が精力的に様々な方法を検証している印象
- ・実機ブレード表面のスキャンや画像解析についての報告がいくつかあり、エロージョン検知方法を発展させる傾向に
- ・特に今回は LEP コーティング塗装自動化ロボットの発表が多く、普及されればより簡易的に LEP 適用が可能に
- ・DNVGL 規格について更なる改善が必要とのコメントが多く、エロージョン試験法や VN 曲線の定義方法においてまだ課題が多い印象

Task54 : 寒冷地における風力発電

第11回 IEA Wind セミナー No.7

2023年2月28日

株式会社 駒井ハルテック

岩井 憲一

Task54について

- 目的：
 - 寒冷気候市場への全体論的アプローチを促進
 - 寒冷気候の風をより安全に
 - リスクと不確実性を軽減
 - 標準化
- 言語と手法の標準化
 - 相互に比較可能な研究結果
 - 適切に評価できる製品やプロジェクト
 - IEA Wind Task 19 から継承

Task54の範囲

- Task 54 の範囲
寒冷地 (CC) の風力エネルギー
- Task 54の使命
「安全かつ経済的に実行可能な方法で寒冷地風力発電の大規模展開を改善する」
- Task 54の仕事
寒冷地における風力エネルギーに関する標準化と情報の収集と普及

アプローチと方法論

- Task54の作業
 - 主題に基づいてサブタスクに分割
 - 各成果物には配信する担当を配置
 - 外部コミュニティとの交流
- Task54の成果物
 - 一連のテクニカルレポート
 - ガイドラインドキュメント
 - カンファレンスプレゼンテーション
 - ソフトウェア

Task19について

- 2002 年Task 19 ‘Wind Power in Cold Climates’ 設立
- 2022年1QまでTask19を継続
- 寒冷地の風力に関連する一般的な慣行と用語を推進
- 多くのTask 19 の取り組みは、業界標準として採用

Task19の成果

- IEA Wind 氷分類：
着氷気候条件に基づくサイトの分類
アイシングの重症度を示すために広く使用
- IceLossMethod:
着氷による生産損失を推定するソフトウェア
着氷イベントの定義
- 着氷および着氷リスク評価ガイドライン：
着氷状態に関連するリスクを評価
- その他、風力タービンを管理する IEC 規格に寒冷気候の懸念を導入

Task19のこれまでの活動状況

- IEA Wind の出版物や会議で共有
- ワークショップを開催
- 公開ウェビナーを開催
- 成果物を発表（Webサイトで公開）

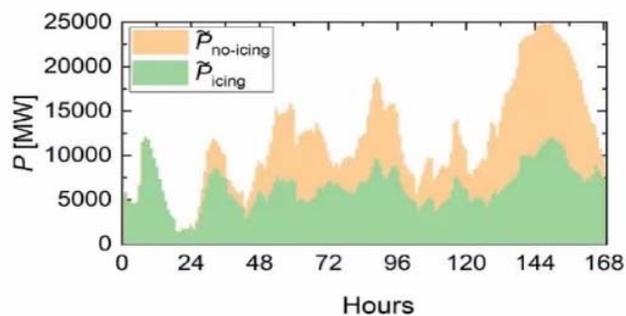
Task54の参加国

| No | 国 | 機関 | 概要 |
|----|--------|-----------------------------------|---------------------------|
| 1 | オーストリア | Energiewerkstatt Verein | 再生可能エネルギーの利用を研究 |
| 2 | カナダ | Nergica | 再生可能エネルギー産業の応用研究 |
| 3 | デンマーク | DTU Wind Energy | 風力発電技術の研究と開発 |
| 4 | フィンランド | VTT | 研究・技術の商業・社会への活用を促進する研究機関 |
| 5 | ドイツ | Fraunhofer IFAM Fraunhofer IEE | 材料技術研究機関 エネルギーシステム研究機関 |
| 6 | ノルウェー | Kjeller Vindteknikk | 風力発電コンサルタント |
| 7 | スウェーデン | WindREN Vattenfall | 風力発電コンサルタント 電力会社 |
| 8 | スイス | Meteotest | 気象・気候・環境の調査・分析 |
| 9 | UK | DNV | 第三者認証機関 |
| 10 | 日本 | NEDO 駒井ハルテック | 国立研究開発法人 鉄構・橋梁メーカー |
| 11 | US | Colorado Univ. | 州立総合大学 |

Task54のサブタスク (1)

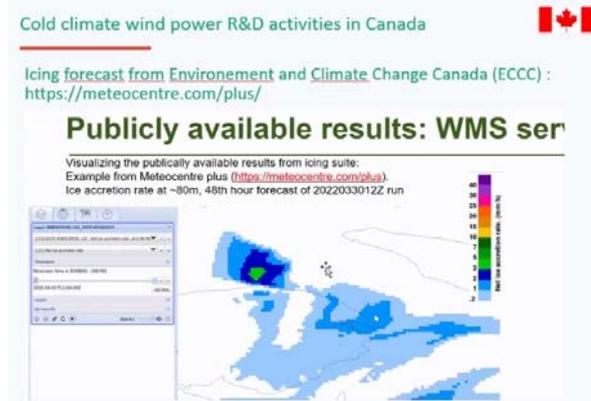
不確かさの定量化:

- 風車運転中の着氷による出力損失を定量化 (フィンランド・オーストリア)



着氷経過時間とパワー損失の関係

- 風車建設前の着氷測定と長期補正 (フィンランド・カナダ)



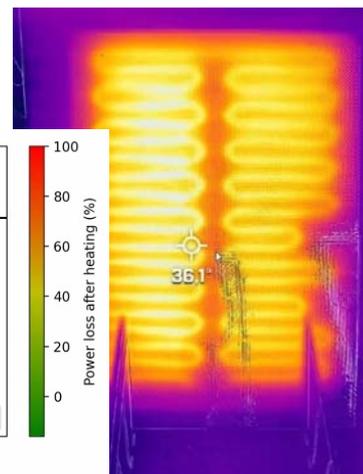
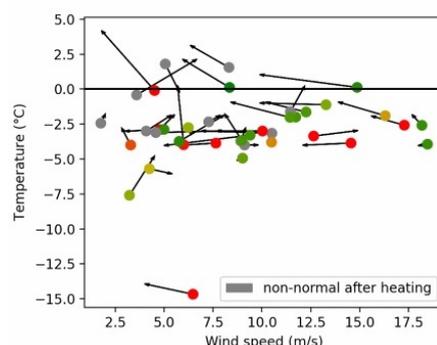
長期的着氷環境予測

Task54のサブタスク (2)

寒冷地仕様風車制御:

- ブレード加熱システムの性能エンベロップ計算 (カナダ・スイス・ドイツ・スウェーデン・フィンランド・デンマーク・オーストリア)

着氷防止ブレード・ヒーティングと風速・外気温の関係



- 寒冷地仕様風車の運転制御戦略 (カナダ・日本)



低温時の出力制御戦略

Task54のサブタスク (3)

安全性と許容:

- シンプルなアイススロー参照ツール (デンマーク)



- 着氷が与える風車騒音の影響 (タスク開始)
着氷によるブレード表面の粗さから生じる騒音の研究
→騒音の伝搬による風車設備の安全範囲を変更
→ガイドラインの策定

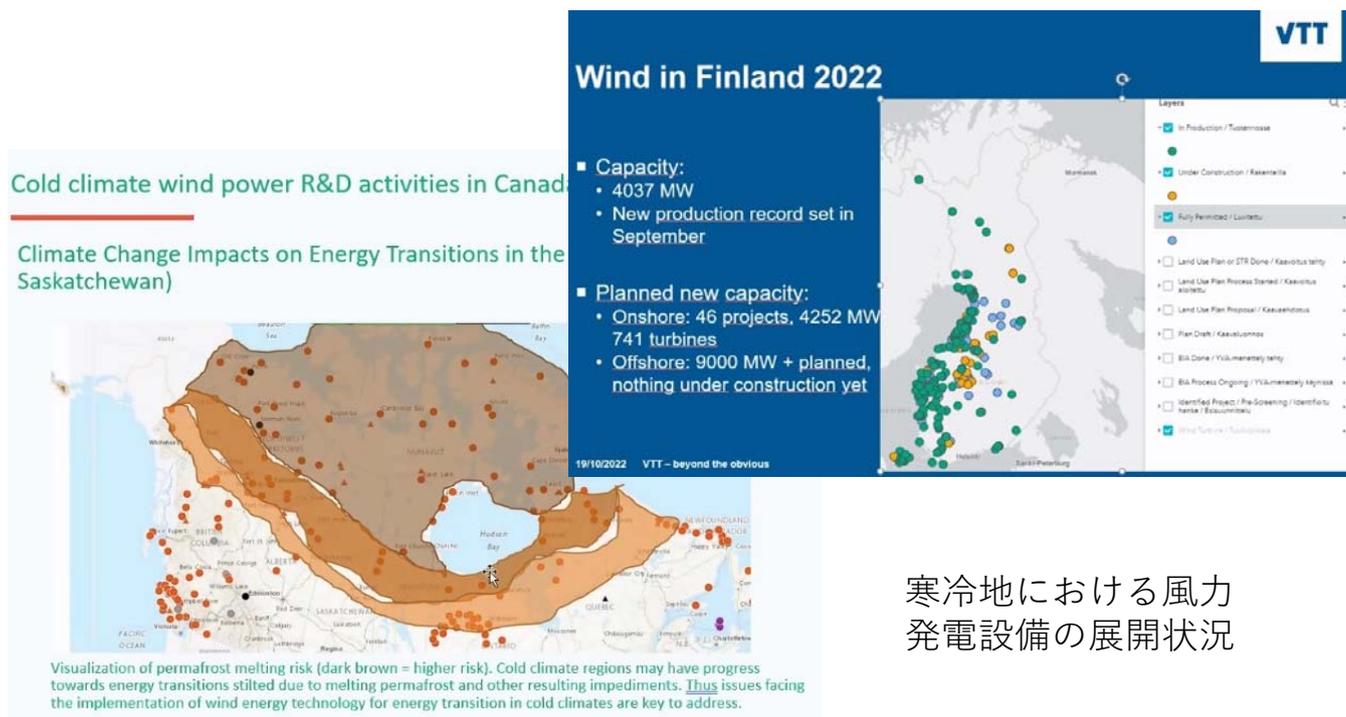
Task54のサブタスク (4)

テストとモデリング

- 着氷風洞でのラウンドロビン・ベンチマークテスト
(デンマーク・フィンランド・ドイツ)
第1段階: シリンダー着氷試験の条件設定
現在、4つの着氷風洞試験施設を確保
他の施設も随時募集するが、第1段階試験を実施できることが参加条件となる
- 氷の成長モデルの比較とガイドラインの作成
(デンマーク)
複数パターンのCFDコードやソフトウェア・パッケージを用いて一連のテストケースを実行し、上記風洞試験の結果と比較検証
特に以下の2点に留意
 - 同じ環境条件下で異なるコードによって生成された氷の形状を比較
 - 氷の形状と環境パラメータの関係を理解

Task54のサブタスク（5）

- 着氷による市場およびシステムへの影響調査



寒冷地における風力発電設備の展開状況

Task54のスケジュール

- 風力発電に関する寒冷地問題への取り組みは、学期が終わっても終わりません。計画は、作業計画の完了とともに、現場の問題をしっかりと理解することです。将来的には、個々の課題を解決することに重点を置いた新しいタスクが検討される可能性があります。

| Project month -> | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | | | | |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|--|--|
| Project Subtask | Activity | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| management | Reporting to IEA Exco | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Project meeting | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Uncertainty quantification | Uncertainty of icing loss in operation | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Uncertainty of pre-construction measurement / Long-term correction of icing measurement | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Control of iced wind turbines | Performance envelope calculation | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Control strategies for cold climate wind | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Safety and acceptance | Simple reference ice throw tool | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Distributed wind and icing | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Modeling and testing | Icing impact on wind turbine noise | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | CFD code best practices/Intercode comparison | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Market and energy system level impacts | Icing wind tunnel round robin benchmark test | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Market and energy system level impacts | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

2022年の活動

- Task54オンラインMTG（2022年5月31日）
- IEA合同カンファレンス（2022年10月18日-20日）

- 風洞試験WPの進捗報告
- 着氷定義WPの進捗報告
- 着氷騒音WPの立上げ
- 着氷損失WPの準備
- ウェブサイトの準備



IEA – Joint Task Conference Vienna 2022
Tasks 41, 52, and 54
Date: 18. October 2022 – 20. October 2022

Program:
18. October: Wind Industry Conference
Conference session at the Austrian wind power stakeholder meeting. Presentations of the IEA Wind TCP Tasks with Austrian participation (Tasks 41, 51, 52 and 54).
14:00 – 17:00: Presentations
17:00 – 18:30: Discussion & Networking
See separate program for details.
Limited number of places, first come, first served.

Location:

[Riverbox-google-place](#)
Address:
Johann-Böhm-Platz 1, 1020 Vienna
Transportation:
Use metro line U2 to Donaumarina

19. October: IEA Task meetings
09:00 – 12:00: Meetings
12:00 – 14:00: Lunch (Catering at Techbase)
14:00 – 17:30: Meetings
From 19:00: Dinner (Restaurant tba)


[ENERGYbase-google-place](#)

20. October: IEA Task meetings
09:00 – 12:00: Meetings
12:00 – 14:00: Lunch (Catering at Techbase)
14:00 – 16:00: Student Symposium
(Organized by Task 41)
Address:
Giefingasse 6, 1210 Vienna
Transportation:
Use the train from Praterstern to Siemensstraße or metro line U1 to Kagraner Platz and proceed with the bus line 31A to Giefingasse.

タスク間ワークショップ

- タスク 52: 寒冷地および着氷環境でのライダーの使用、展開と信頼性の問題、ライダーによる氷の検出
- タスク 41: 遠隔地のオフグリッドコミュニティでの風力発電の使用
 - IECのサイドガイドライン（技術仕様）はまもなく登場し、IEAの推奨事項を補完
 - アイススローシミュレーション用のDTU OpenSourceコードは、Task54からリリースされる予定
 - ライダーによる雲の検出についての議論（雲高計の代替となるか）

日本の活動報告（1）

・北東アジアにおいて分散型小規模風力発電プロジェクトの参照サイトを2つ持っています

・1つ目のサイトは年平均気温0°C

・もう一つは、年平均気温が-10°C

これらのサイトでの風力発電所構築ノウハウをもとにガイドラインを提案します



寒冷地仕様風車の制御戦略

- ① 安全性: 着氷を早期に検出し、人員の安全上のリスクを最小限に抑える
- ② 寿命を維持: 追加の負荷と振動を減らして疲労負荷を最小限に抑える
- ③ 生産の最大化: タービンの動作領域を拡張し、着氷によって空力損失が発生した場合でも動作できるようにして、疲労負荷を最小限に抑える
- ④ 着氷タービンの始動と停止: 寒冷地で問題になることが多い、着氷による過度の運転停止をタービン制御を変更することで軽減する

日本の活動報告（2）

1. 風車翼の着氷を防ぐ特殊塗料

凍結試験プラントで4種類の特殊塗料から選ばれた塗料を使用



2. 超音波式風向風速速計と着氷センサーを採用

-12°Cの冷蔵室において、風速1m/s、6m/sの着氷・着雪風洞による性能確認を実施



3. 低温下での運転制御システム

-最低温度で安全に自動シャットダウン

-低温下での空気密度増加による負荷軽減のための発電電力制御

日本の活動報告（3）三重大学



解析手法（疲労解析）

17

■ 寒冷地風車における運転方法の提案目標

着氷環境下でも風車寿命20年間を確保可能な運転方法の考案

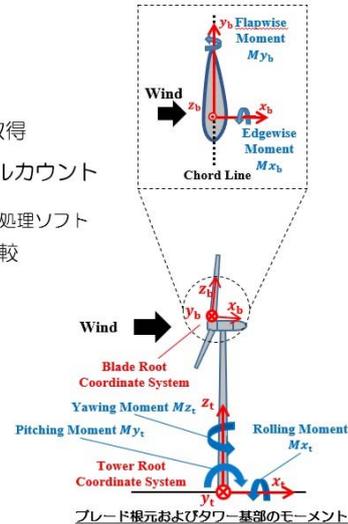
■ 解析手順

1. 乱流風生成ツール（TurbSim）を用いて、乱流風データを作成
 使用風速：11.5 ≤ U ≤ 24.5 [m/s] (BIN幅1.0m/s) …各風速6つの乱流風を作成
 乱流強度：Category C (I_{ref} = 0.12)
2. OpenFASTを用いて、各風速BINに対する荷重の時系列データを取得
3. Crunchを用いて、Rainflow法に基づき荷重時系列データをサイクルカウント
 ⇒サイクルカウントは想定期間における風速出現頻度を用いて重みづけ
 ※Crunch・FASTの出力ファイルの統計処理ソフト
4. 20年間の等価疲労荷重（DEL）を算出し、非着氷時と着氷時を比較

- 解析項目
- ・ブレード根元エッジ方向モーメント
 - ・ブレード根元フラップ方向モーメント
 - ・タワー基部ローリングモーメント
 - ・タワー基部ピッチングモーメント
 - ・タワー基部ヨーイングモーメント

$$DEL = \sqrt[m]{\frac{\sum_i F_i^m n_i}{N}}$$

m：ウェーラー指数（FRP：10、鉄鋼：4）
 F：荷重振幅
 n：対象期間におけるサイクル数
 N：20年間における運転期間の総ロータ回転数
 i：荷重BIN



日本の活動報告（4）神奈川工科大学

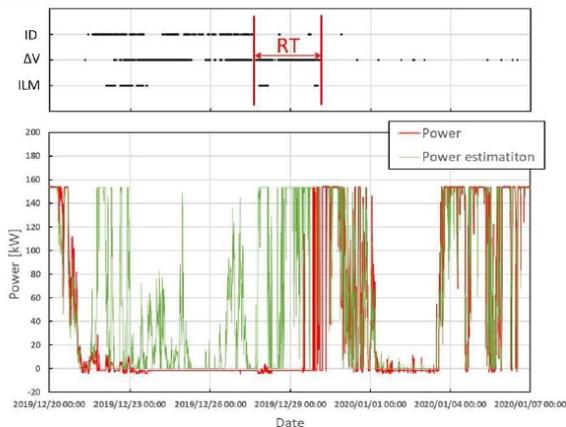
着氷による発電電力量への影響

11

年間着氷時間と発電電力損失

| | 着氷時間 [hrs] | 発電損失量 [kWh] | 発電損失率 [%] |
|-----|---------------|----------------|--------------|
| ID | 494 | 12526 | 2.3 |
| ΔV | 419 | 28544 | 5.2 |
| ILM | 165 | 10814 | 2.0 |

2019/Apr - 2020/Mar



着氷期間での発電損失がどの程度なのか確認

Tiksiでは

→ Ice Loss Methodは過小評価

→ 発電電力損失量は風速の出現に依存

2023年の活動計画

- 春の定例会議（2023年3月30日）於スウェーデン
- Winter Wind 2023年3月27日-29日の翌日に設定
- 秋の定例会議（2023年10月頃）於カナダ



ご清聴ありがとうございました

▶参照Webサイト

Task19 : finished
<https://iea-wind.org/task19/>

Task54 : empty now
<https://iea-wind.org/task54/>

IEA Task53 風力発電の経済性

2023年2月28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



THE UNIVERSITY OF TOKYO

Task53の概要

2

名称: Wind Energy Economics

目標: 脱炭素社会における風力発電のコストと価値を分析する

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。6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。

活動期間: 2021年12月1日～2025年11月30日

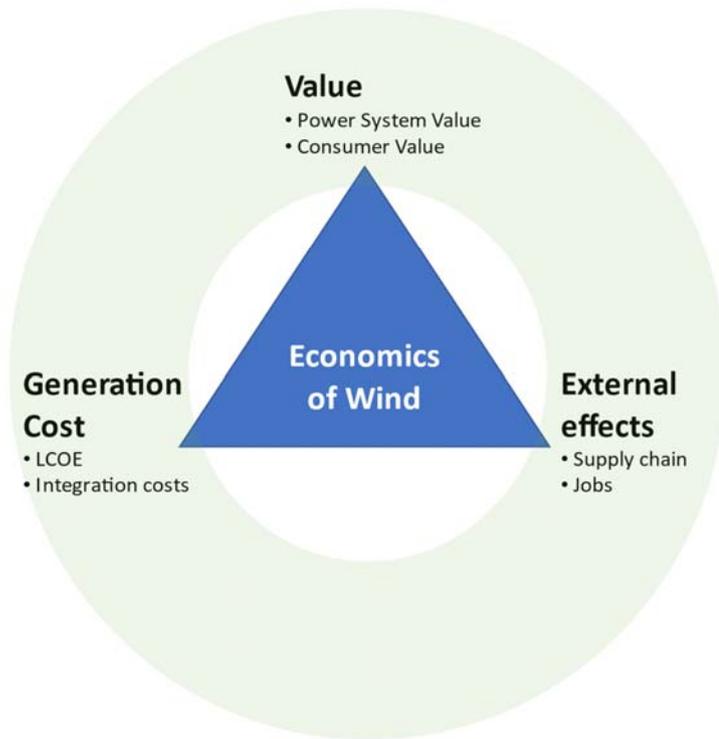
参加国: 米国、英国、デンマーク、ドイツ、ノルウェー、スウェーデン、
EC (European Commission)、日本、アイルランド、オランダ

Operating Agent(OA): Eric Lantz (NREL)

ホームページ: <https://iea-wind.org/task53/>



THE UNIVERSITY OF TOKYO



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



- 高い普及率とより進んだ脱炭素化の未来における風力エネルギーの設計、運用、所有モデルの傾向を予測し、コストと価値を含む風力エネルギーの経済的提供への影響を理解する。
 - 国際的な協力と協調によって得られた最先端の手法で、進化する風力エネルギーの経済的提供を特徴づける。
 - 様々なステークホルダーにコストと価値を伝えるためのデータを提供する。
 - 深い脱炭素化の未来における技術の進化、研究開発の必要性、コストと価値の傾向を明らかにする。
 - 技術報告書や雑誌記事、その他の普及手段で研究成果を発表する。



| WP名 | 題目と内容 |
|-----|---|
| WP1 | “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？” |
| | 専門家へのインタビューによる方法 (Expert elicitation) 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。 |
| WP2 | “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？” |
| | 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。 |
| WP3 | “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？” |
| | 現在進んでいる 金融コスト にたいする専門家への調査の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。 |
| WP4 | “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？” |
| | 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。 |
| WP5 | “ 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？” |
| | 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。 |
| WP6 | “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？” |
| | 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、その地域で作り出される価値について評価する。 |

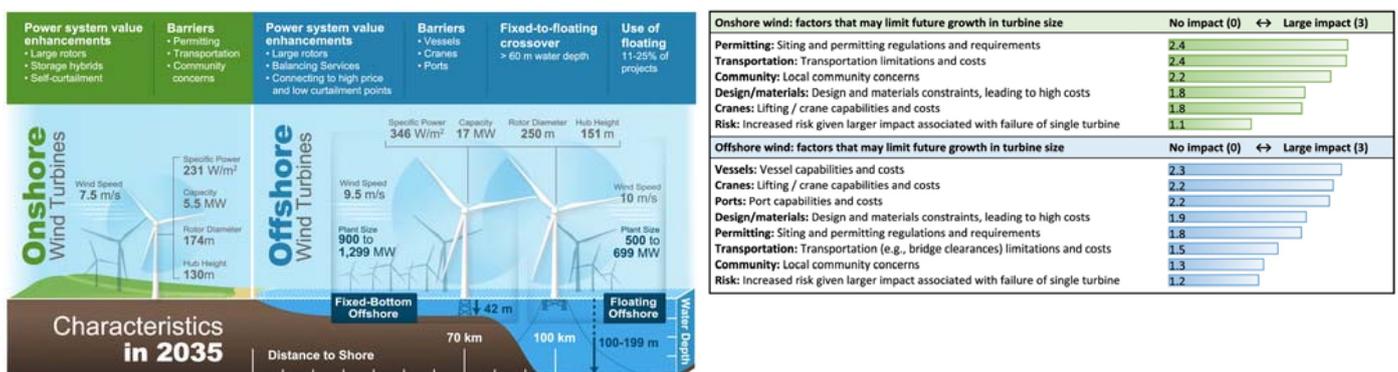
WP1 (NREL, LBLN): 技術革新の調査

- 専門家へのインタビュー (Expert elicitation) の手法を用いて、全世界の専門家に対して、風力発電所の技術、設計、運転維持管理に対して現在検討されている**技術革新**に関するインタビューが実施する
- 2023年夏ごろに実施予定で、前回に比べて多地域を調査することを目指している。

Task26での成果

Wiser, R., Rand, J., Seel, J., Beiter, P., Baker, E., Lantz, E., and Gilman, P. 2021. "Expert elicitation survey predicts 37% to 49% declines in wind energy costs by 2050." Nature Energy volume 6, pages 555–565.

Beiter, P., Rand, J. T., Seel, J., Lantz, E., Gilman, P., and Wiser, R., 2022. "Expert perspective on the wind plant of the future, Wind Energy, volume 25, Issue 8, pages 1368-1378.



- エンジニアリングコストモデルの手法を用いて、新しい技術が洋上風力発電所のコスト低減に与える影響を評価する
- 日本が主導して、今年度、エンジニアリングコストモデルのレビューを実施する計画

Catapult, Floating Offshore Wind: Cost Reduction Pathways to Subsidy Free, 2021.

<https://ore.catapult.org.uk/wp-content/uploads/2021/01/FOW-Cost-Reduction-Pathways-to-Subsidy-Free-report.pdf>

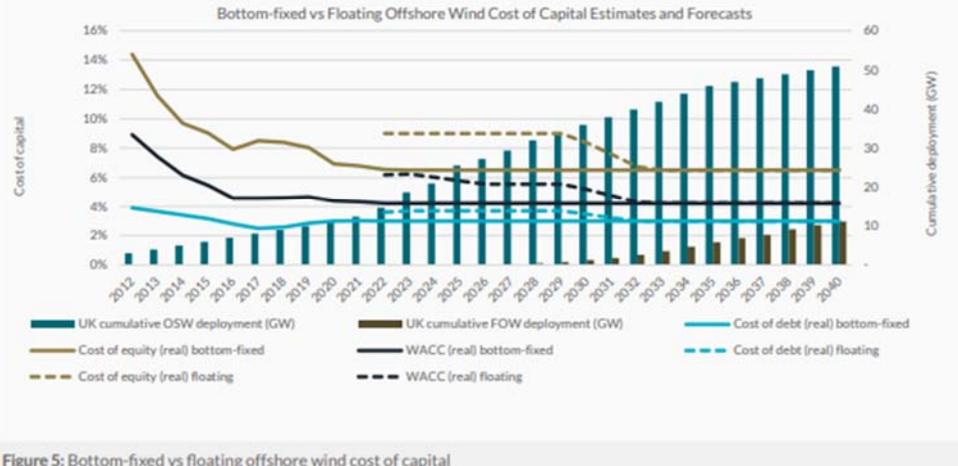
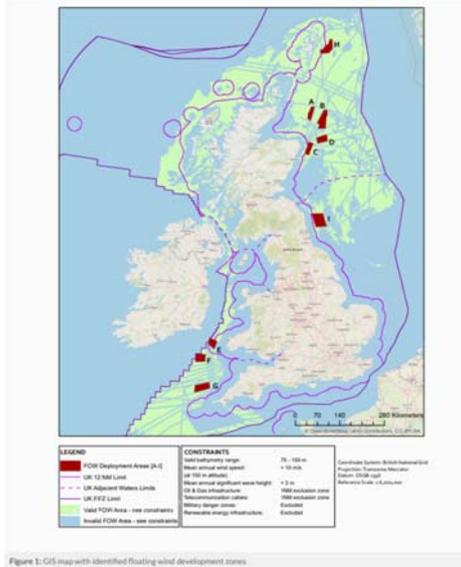
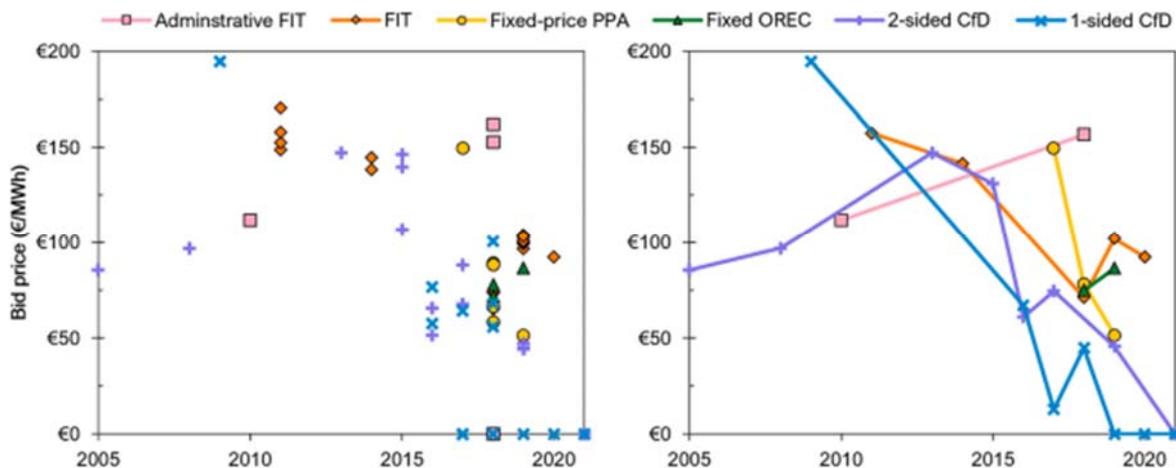


Figure 5: Bottom-fixed vs floating offshore wind cost of capital

WP3 (DTU, NREL): 政策・金融に関する研究

- オークション制度や金融コストに着目し、不確かさがコスト・価格に与える影響を評価する

Jansen, M., Beiter, P., Riepin, I., Musgens, F., Guajardo-Fajardo, V. J., Staffell, I., Bulder, B., & Kitzing, L. (2022). Policy choices and outcomes for offshore wind auctions globally. Energy Policy, 167, [113000]. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113000>



The Grand Challenges of Offshore Wind Financing in the U.S.

<https://orbit.dtu.dk/en/publications/the-grand-challenges-of-offshore-wind-financing-in-the-us>

- 参加国の陸上風力発電所の技術やコストに関する情報を収集・比較を行うことにより、共通したコストの評価手法を構築する。

Dalla Riva, A.; Hethey, J.; Børre Eriksen, P.; Lüers, S.; Mak, F.; Kalash, S.; Wold, M.; Bjørnstedt, J.; Palmblad, L.; Telsnig, T.; Stehly, T.; Rand, J.; Wisner, R.; Kikuchi, Y. February 2023. "Wind Technology, Cost, and Performance Trends for Denmark, Germany, Ireland, Japan, Norway, Sweden, the European Union, and the United States 2016-2019."

<https://www.nrel.gov/docs/fy23osti/81246.pdf>

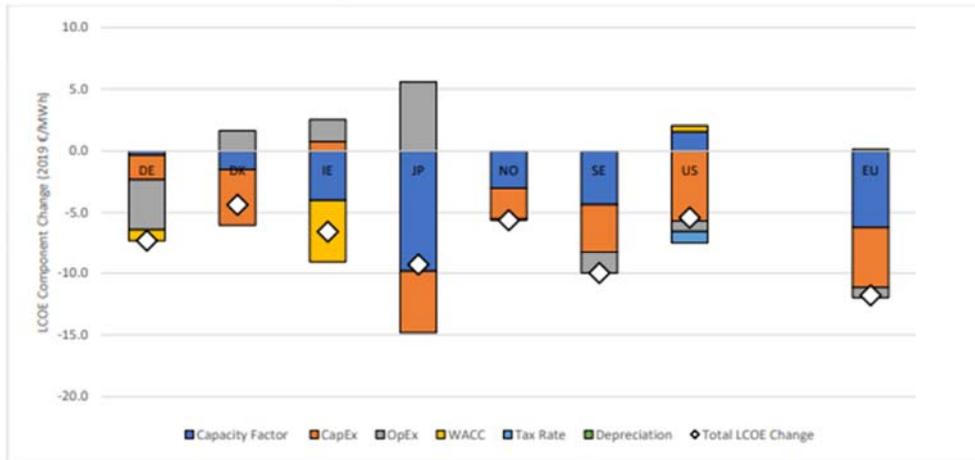


Figure 5. Contribution of input variables to changes in LCOE in 2016 and 2019

- 風力発電と水素を組み合わせたときの経済性についてシナリオ研究を行う。
- Task26では風力発電とバッテリーの組み合わせについて研究した。

Dalla Riva, A.; Haaskjold, K.; Hethey, J.; Aly, A. October 2022. "Market value of wind-battery hybrids in the future European power system." Denmark, Norway.

https://www.ea-energianalyse.dk/wp-content/uploads/2022/04/IEA-Wind-Task-26_Value-of-WindHybrids_Technical-Report.pdf

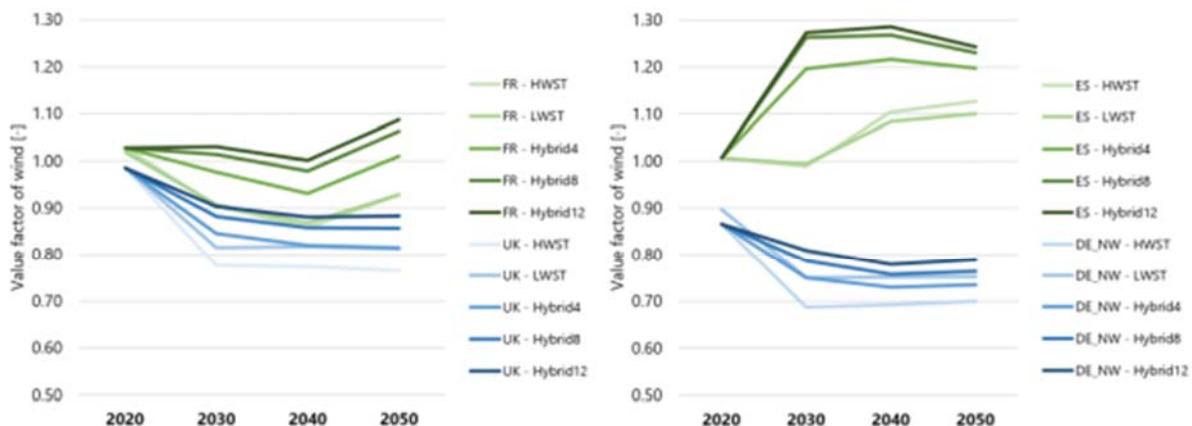
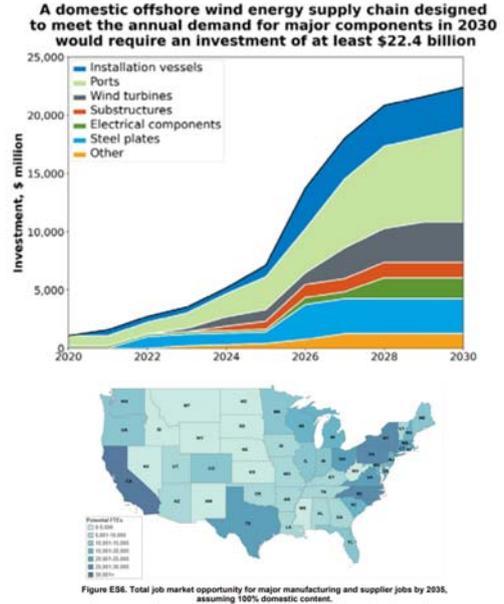
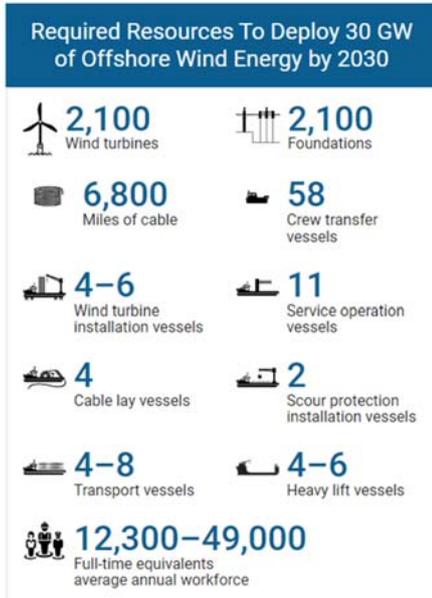


Figure 18. Value factor of HWST wind, LWST wind and hybrid with storage sizes (4h, 8h, 12h) in selected countries.

- アメリカにおいて、大規模なサプライチェーン構築に関する調査が実施された。
- EUにおいても同様の調査が実施されている。

The Demand for a Domestic Offshore Wind Energy Supply Chain, 2022
 A Supply Chain Road Map for Offshore Wind Energy in the United States, 2023
<https://www.nrel.gov/wind/offshore-supply-chain-road-map.html>



WP2におけるエンジニアリングモデルの概要

菊地由佳、石原孟: 確率エンジニアリングコストモデルを用いた着床式洋上ウインドファームの発電コスト評価、第44回風力エネルギー利用シンポジウム、2022

- 入力変数**
- 水深 h_w
 - 離岸距離 d_{shore}
 - 風車定格出力 P_{WT}
 - 風車基数 N_{WT}

出力変数



従来のエンジニアリングモデルに対して、
 不確かさを精度良く評価できるよう、送変電線設備モデルを更新した

平均値

$$\mu_{actual} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{data}} x_{actual,i}}{N_{data}}$$

標準偏差

$$\sigma_{actual} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_{data}} (x_{actual,i} - x_{model,i})^2}{N_{data}}}$$

変動係数

$$CoV = \frac{\sigma_{actual}}{\mu_{actual}}$$

| モデル変数 | CoV |
|---------------------|------|
| 風力発電機コスト | 0.11 |
| モノパイル直径 | 0.12 |
| モノパイル長さ | 0.21 |
| モノパイル厚さ | 0.27 |
| 鉄価格 | 0.14 |
| 銅価格 | 0.18 |
| 送電ケーブル長さ(連系点近) | 0.12 |
| 送電ケーブル長さ(連系点遠) | 0.23 |
| アレイケーブル長さ | 0.33 |
| 燃料費 | 0.18 |
| 風車船舶係数(3.6 MW以下) | 0.43 |
| 風車船舶係数(3.6 MW以上) | 0.23 |
| 支持構造物船舶係数(3.6 MW以下) | 0.38 |
| 支持構造物船舶係数(3.6 MW以上) | 0.25 |
| 風車設置日数 | 0.41 |
| 支持構造物設置日数 | 0.51 |
| 施工稼働率 | 0.03 |

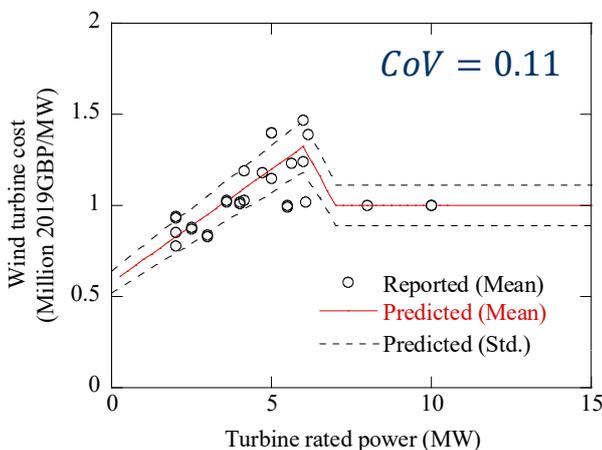
各コスト要素のモデルパラメータを正規分布と仮定してモデル化した。
 各パラメータの平均値, 標準偏差, 変動係数を欧州における実績値を用いて評価した。
 各パラメータにおける変動係数は一定と仮定する。

風車および支持構造物の設備費モデル

風力発電機コスト

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

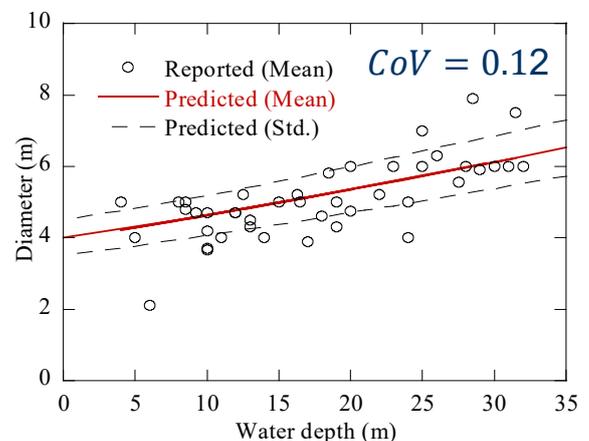
(Crown Estate 2010, 2015, NREL 2015-2020)



支持構造物コスト

$$\begin{aligned} C_{SS} &= \pi D_{SS} t_{SS} L_{SS} \times \rho_{steel} \times C_{steel} \times N_{WT} \\ D_{SS} &= \max(4, a_{SS} \times h_w^2 + b_{SS} \times h_w + c_{SS}) \\ t_{SS} &= d_{SS} \times h_w + e_{SS} \\ L_{SS} &= f_{SS} \times h_w + g_{SS} \end{aligned}$$

(Negro V et al. 2017)



風力発電機およびモノパイル支持構造物の直径・長さ・厚みについて
 文献データより実績値を参照し、変動係数を求めた

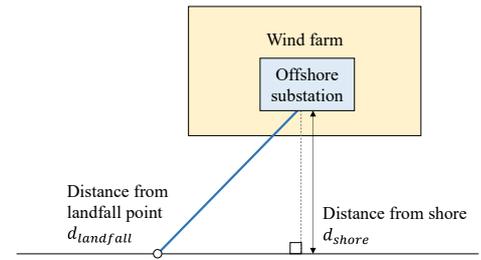
送電ケーブルコスト

$$C_{EC} = l_{EC} \times c_{EC} \times N_{EC}$$

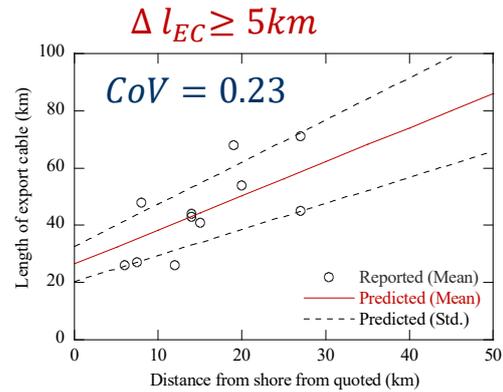
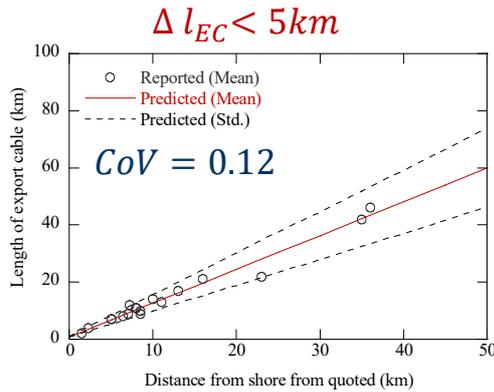
$$l_{EC} = \begin{cases} l_{EC, near} = a_{EC,1}d_{shore} + a_{EC,2} & \Delta l_{EC} < 5km \\ l_{EC, far} = a_{EC,1}d_{shore} + a_{EC,3} & \Delta l_{EC} \geq 5km \end{cases}$$

$$\Delta l_{EC} = d_{landfall} - d_{shore}$$

$$P(\Delta l_{EC} < 5km) = P_1, P(\Delta l_{EC} \geq 5km) = P_2$$



(4C Offshore database)



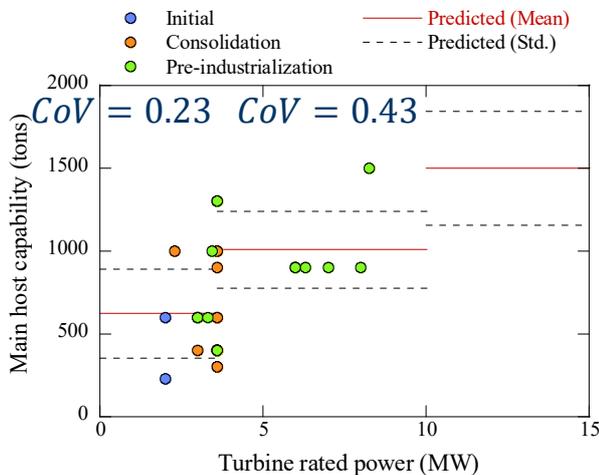
送電ケーブルについて、連系点が遠い場合と近い場合に場合分けをして、文献データより実績値を参照し、変動係数を求めた

設置費モデルにおける船舶係数と設置日数

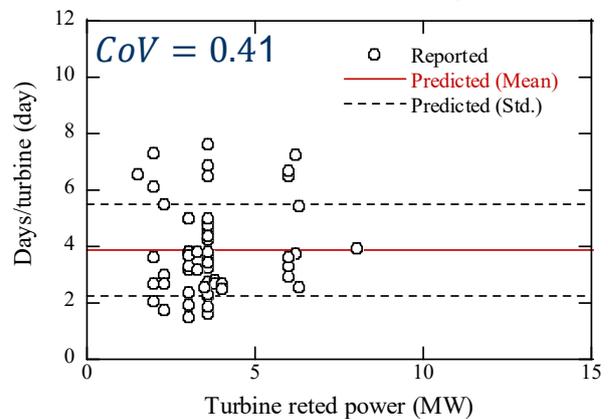
$$IC_{WT} = C_{vessel, fuel} \times N_{trip} + A_{ves}^{wt} \times C_{vessel, wt} \times \alpha_{wt} \times T_{install, wt}$$

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

(4C Offshore database)



(Lacal-Arántegui R et al.)

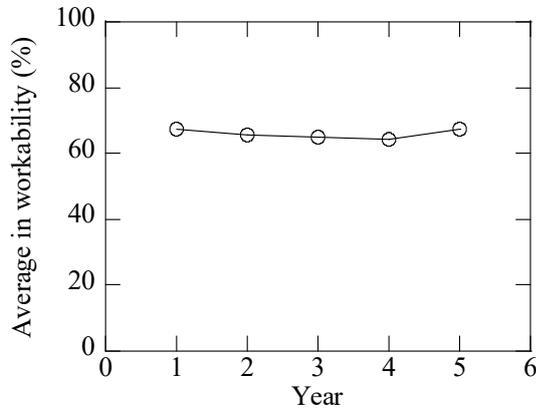


風車と支持構造物の設置船の大きさを表す船舶係数および施工日数について、文献データより実績値を参照し、変動係数を求めた

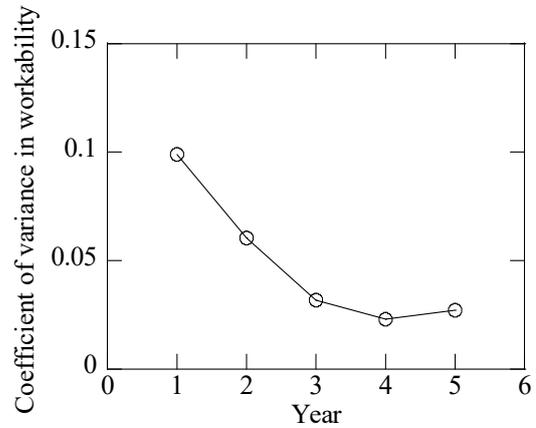
施工稼働率 α_{wt} は、離散事象シミュレーションを用いて、建設年数と施工稼働率の平均値と変動係数との関係を示す。

シミュレーションには欧州のBorssellにおける気象・海象データの予測値を用いた。

施工稼働率の平均値



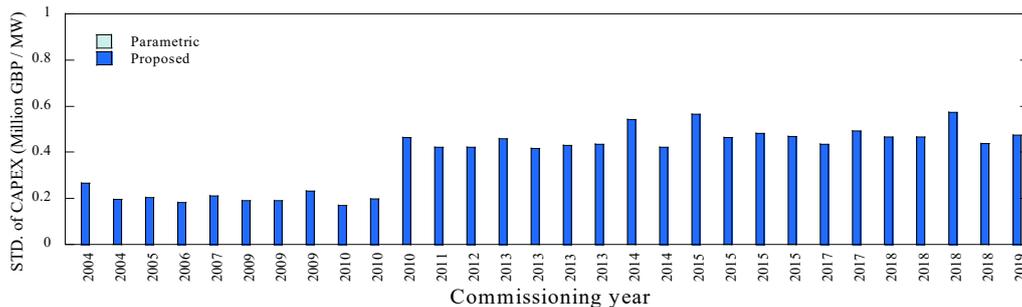
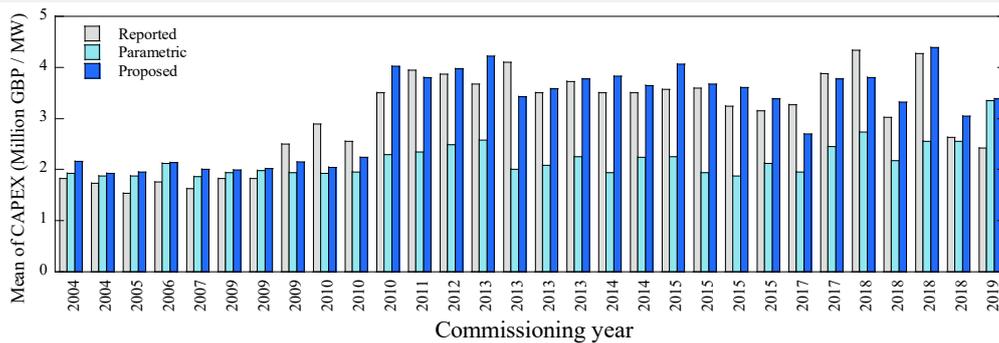
施工稼働率の標準偏差



平均値は変化しないが、変動係数は1年で建設する場合に対して、3年で建設する場合は4分の1程度まで減少した

構築したエンジニアリングモデルの検証

イギリスで既に運開されたモノパイル式洋上風力発電所の建設費を評価し、建設費の実績値と比較した。



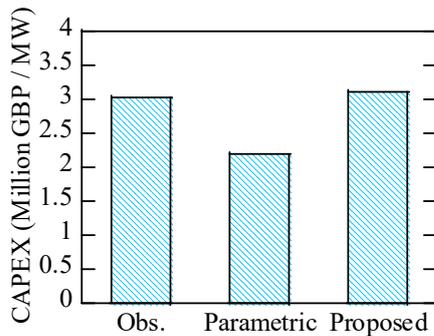
予測された平均値は実績値とよく合致し、予測された標準偏差は、変動係数一定の仮定のもと、平均値と同じ傾向を示す。

30個のイギリスの洋上風力発電所の建設費の実績値と予測値について平均値と標準偏差を示す。またモンテカルロシミュレーションを実施し、標準偏差のばらつきを示した。

30個の発電所の平均値

$$\mu_{actual} = \frac{\sum x_{actual,i}}{N_{farm}}$$

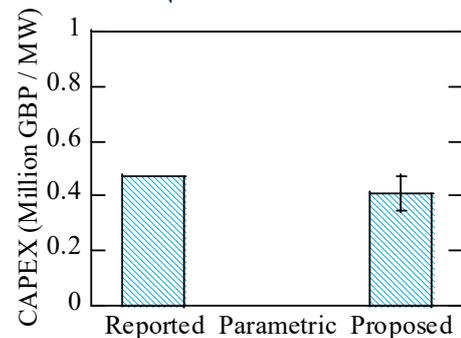
$$\mu_{model} = \frac{\sum x_{model,i}}{N_{farm}}$$



30個の発電所の標準偏差

$$\sigma_{actual} = \sqrt{\frac{\sum (x_{actual,i} - \bar{x}_{actual})^2}{N_{farm}}}$$

$$\sigma_{model} = \sqrt{\frac{\sum (x_{model,i} - \bar{x}_{model})^2}{N_{farm}}}$$



平均値についてパラメトリックモデルは実績値を過小評価している一方、提案モデルは実績値をよく評価した。

標準偏差について、従来手法は標準偏差を予測できない一方、提案モデルは実績値に近い標準偏差を示し、標準偏差の予測誤差は100%から13%に減少した。



発電コスト低減シナリオの評価

提案モデルを用い、既往研究に基づいて発電コスト低減シナリオを評価した。

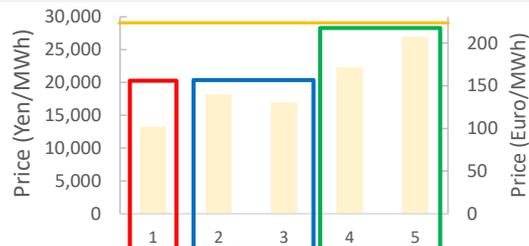
| フェーズ | | 現状 | フェーズ1 | フェーズ2 | フェーズ3 |
|--------|-----------|------|-----------------|-----------------------------|-------------------|
| | | | 施工の効率化 設置専用船 | 風車大型化 8~10MW→ 12~15MW | O&Mの効率化 陸上風力参照 |
| 建設費 | (万円) | 51.2 | 38.0 | 33.2 | 26.7 |
| 運転維持費 | (万円/kW/年) | 1.84 | 1.84 | 1.84 | 1.40 |
| 撤去費 | (万円) | 20.2 | 11.0 | 8.0 | 3.5 |
| 年経費率 | (%) | 6.12 | 6.12 | 6.12 | 6.12 |
| 運転年数 | (年) | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 利用可能率 | (%) | 95 | 95 | 95 | 97 |
| 設備利用率 | (%) | 33.2 | 33.2 | 33.2 | 39 |
| 発電コスト | (円/kWh) | 20 | 17.0±1.4 | 13.6±1.1 | 10.1±0.9 |
| コスト低減率 | (%) | — | 15.0±7 | 32.2±6 | 49.4±5 |

各フェーズにおける発電コストおよびベースラインからの低減率の平均値と標準偏差を提案したエンジニアリングモデルを用いて評価した。

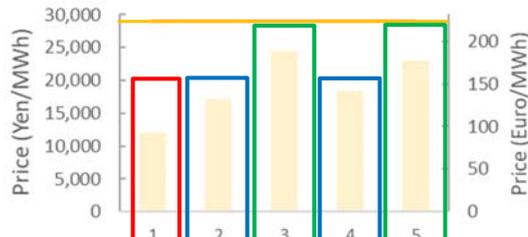


「秋田県能代市, 三種町及び男鹿市沖」「秋田県由利本荘市沖」における供給価格の入札結果を3つの価格区分に分類し, 各フェーズに対応させた.

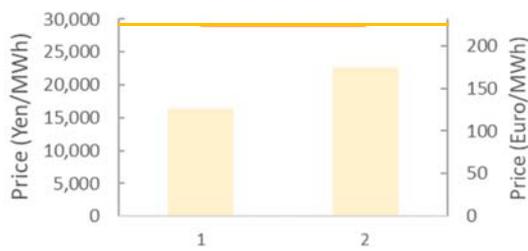
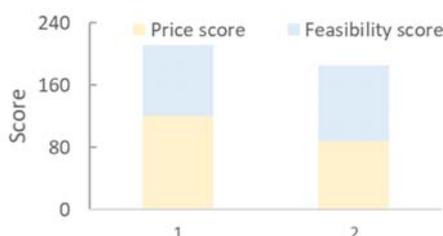
秋田県
能代市, 三種町
及び男鹿市沖



秋田県
由利本荘市沖



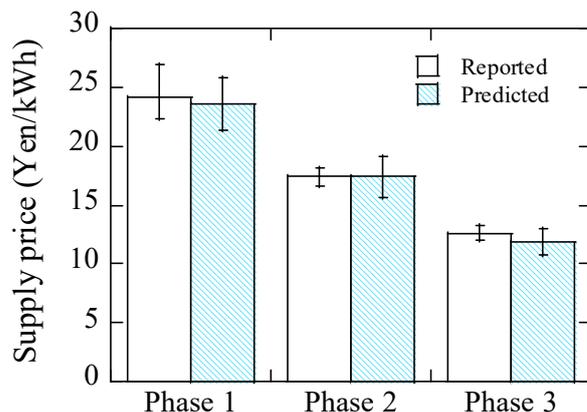
千葉県銚子沖



<https://www.meti.go.jp/press/2021/12/20211224006/20211224006.html>(In Japanese) Figures are made by presenter. 1 Euro = 130 Yen

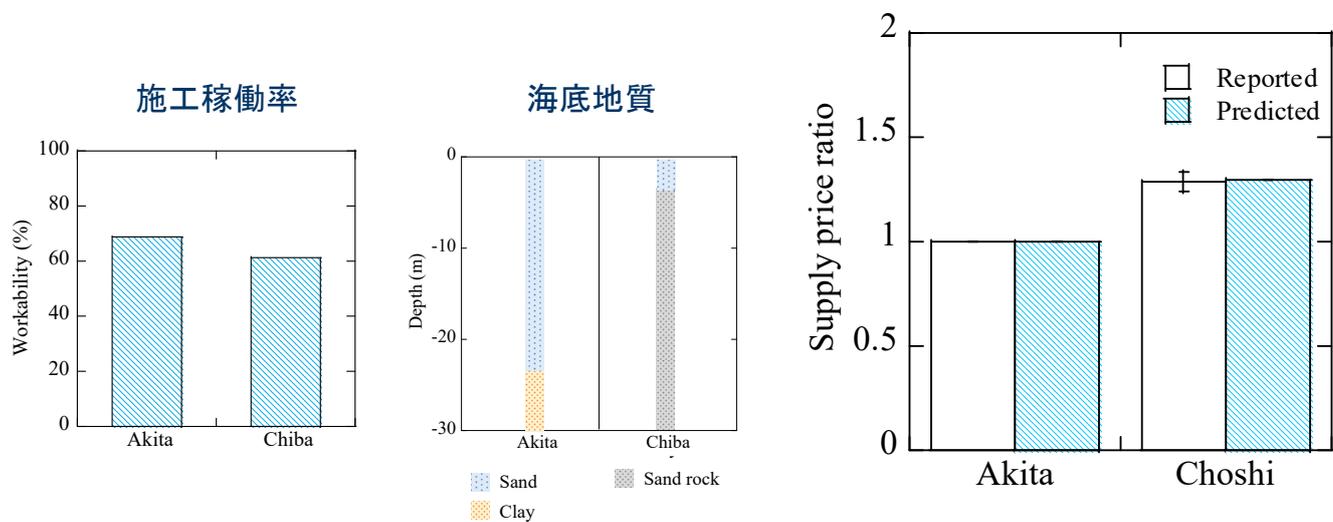
各フェーズにおけるIRRを仮定し, 提案モデルを用いて発電コストの平均値と標準偏差を評価した.

| | | Baseline | Phase 1 | Phase 2 | Phase 3 |
|----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| 運開年 | | 2020 | 2024-2026 | 2026-2028 | 2028-2030 |
| IRR | (%) | 10 % | 10 % | 8 % | 6 % |
| 供給価格の予測値 | (Yen/kWh) | 29.0 | 23.6±2.2 | 17.4±1.7 | 11.9±1.1 |



予測値の平均値および標準偏差は, 実績値と一致し, 提案モデルは入札結果の分析への有用性が示された.

地域性が建設費に及ぼす影響を分析するため、同じコンソーシアムが秋田県及び千葉県洋上ウインドファームの両方に入札した場合について、秋田県サイトの供給価格を1としたとき、千葉県サイトの供給価格との比率を評価した



太平洋側と日本海側における施工稼働率の差と両サイトの地盤の違いによる支持構造物の施工日数の差により、両サイトの供給価格の差を説明できることが示された。



- Task26を承継・拡大し、Task53として新しいタスクが立ち上がった。約4年間のプロジェクトであり、各WPについて計画を詰めている段階である。
- Task26のメンバーに加えて、新しくアイルランド・オランダから参加があり、大学からの参加も増えた。
- 日本は、WP2において主導し、エンジニアリングコストモデルのレビュー論文を書き、その後、新しい技術によるコスト低減効果をエンジニアリングコストモデルを用いて評価する予定である。
- 風力の価値・蓄電池との組み合わせにおける経済性評価といった欧州の最先端の研究に着目し、日本に紹介していく。



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



Germany



Canada

cbc.ca



Vermont, USA

wind-watch.org



Dublin, Ireland

Irishtimes.com



iea wind

再生可能エネルギーの（大量）導入に伴うローカルな課題

| | 自然環境 (生態系など) | 生活環境 | 利害調整 |
|-------|--|--|-------------------------------------|
| 太陽光 | 植生など 環境NGO 自然保護団体 自然愛好家 登山者 ... | 日照 景観 光害 [水源] [土砂流出](急峻地) 近隣住民 地域住民 ... | [農地] [観光] 地域住民 地場産業 ... |
| 中小水力 | 水生生物 | 騒音・振動 | 水利権 [漁業権] |
| 風力 | 植生など 鳥類の衝突死 | 電波障害 騒音・振動 景観 | [農地] [観光] [漁業権](洋上) |
| 地熱 | [植生など] | 景観 騒音・振動 臭気 | 温泉資源 [観光業] [自然公園] |
| バイオマス | [植生など] [森林生態系](木質、パーム油) | 騒音・振動 臭気 [温廃熱] | [食糧生産](燃料作物) [持続性](木質、パーム油) |

多様な課題と課題ごとに異なるステークホルダー

[]は特定の場合のみ問題化、()は課題が発生する条件
丸山康司『再生可能エネルギーの社会化』(有斐閣、2014年)をもとに改変

「科学だけでは答えられない問題」 (トランス・サイエンス問題)

- ◆ 科学に問うことはできるが、科学だけでは答えることができない（けれども意思決定しなければならない）問題群（Weinberg 1972）
- ◆ 環境アセスメントの場合
 - 科学が提供可能な知見
 - ◆ 環境影響の有無や程度に対する知見
 - ◆ 環境影響を軽減させるための方策の提示
 - ◆ 費用対効果や実現可能性の提示
 - 科学だけでは答えられない問題
 - ◆ 「深刻な環境影響」の定義 例) 鳥類、景観、騒音
 - ◆ 価値に関する問題

5

風力発電への不快感の国際比較（平均値） (0全く不快でない～4非常に不快)

| | 日本 | 米国 | 欧州 |
|------------------------------------|------------|-------------|-------------|
| 風車音の不快感 (0全く不快でない～4非常に不快) | 1.48(70) | 1.44(779) | 1.46(264) |
| フリッカーの不快感 (0全く不快でない～4非常に不快) | 1.30(30) | 1.25(454) | 1.98(46) |
| 景観の不快感 (0全く不快でない～4非常に不快) | 0.86(409) | 0.70(1,414) | 1.35(1,024) |
| 既存の風力発電所に対する賛否 (-2大いに反対～2大いに賛成) | 0.42(426) | 0.72(1,416) | 1.00(987) |
| 風車音の可聴（自宅の敷地内） | 58.3%(449) | 10.9%(1434) | 41.0%(671) |

本巢 芽美,丸山 康司,2020「風力発電所による近隣住民への影響に関する社会調査」『風力エネルギー』44-4:39-46
<https://ci.nii.ac.jp/naid/40022517718/>

6

風車音に対する不快感に相関する項目

| | 日本 | 米国 | 欧州 |
|----------------|---|--|---------------------------------------|
| | r (効果量, p値) | | |
| 既存の風力発電所に対する賛否 | -0.676 (相関あり, $p < 0.0001$) n=68 | -0.362 (低い相関, $p < 0.0001$) n=1294 | -0.620 (相関あり, $p < 0.0001$) n=644 |
| 過程の公正性 | -0.465 (相関あり, $p < 0.05$) n=25 | -0.395 (低い相関, $p < 0.0001$) n=639 | -0.397 (低い相関, $p < 0.0001$) n=565 |
| 建設過程における不快感 | 事業者に対する不快感 0.525 (相関あり, $p < 0.05$) n=21 | 0.490 (相関あり, $p < 0.0001$) n=709 | 0.467 (相関あり, $p < 0.0001$) n=620 |
| 聴覚の敏感さ | 0.340 (低い相関, $p < 0.01$) n=69 | 0.106 (ほとんど相関なし, $p < 0.001$) n=1004 | 0.209 (低い相関, $p < 0.0001$) n=336 |
| 距離 | -0.039 (有意差なし, $p < 0.750$) n=70 | 0.197 (ほとんど相関なし, $p < 0.0001$) n=779 | 0.057 (有意差なし, $p < 0.357$) n=261 |

本巢 芽美,丸山 康司,2020「風力発電所による近隣住民への影響に関する社会調査」『風力エネルギー』44-4:39-46
<https://ci.nii.ac.jp/naid/40022517718/>

物理的な要因 < 社会的な要因？

7

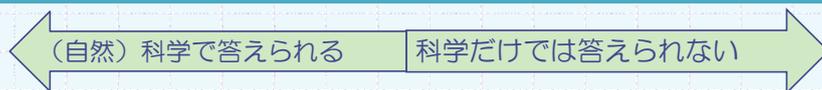
環境影響とリスクガバナンス

| | ← (自然) 科学で答えられる | | 科学だけでは答えられない → | |
|----------|-----------------|-------------------------|----------------------|------------------|
| 問題の性質 | 単純 | 複雑 | 不確実性 | 曖昧 |
| リスク管理の方法 | ルーティーン | 科学的リスク評価 | リスクバランス | リスクトレードオフの分析と熟議 |
| 関与する主体 | | | ステークホルダー | 一般市民 ステークホルダー |
| | | 外部の専門家 | 外部の専門家 | 外部の専門家 |
| | 行政 | 行政 | 行政 | 行政 |
| 対立のタイプ | | | 利害関心 | 規範 利害関心 |
| | | 認識枠組み | 認識枠組み | 認識枠組み |
| 再エネの環境影響 | 電波障害 | 生活環境 生態系影響 社会経済影響 | | 景観 地域脱炭素 |
| | 科学的予測がほぼ確実に機能する | 科学的予測がそれなりに機能する | 直接的な当事者の合意による意思決定が可能 | 間接的な当事者も含めた熟議が必要 |

(Klinke A, Renn 2002 “A new approach to risk evaluation and management: risk-based, precaution-based, and discourse-based strategies”) を元に加筆改変

8

リスクガバナンスとコミュニケーション



| 問題の性質 | 単純 | 複雑 | 不確実性 | 曖昧 |
|----------|--------|----------|----------|-----------------|
| リスク管理の方法 | ルーティーン | 科学的リスク評価 | リスクバランス | リスクトレードオフの分析と熟議 |
| 関与する主体 | | | ステークホルダー | 一般市民 |
| | | 外部の専門家 | 外部の専門家 | ステークホルダー |
| | 行政 | 行政 | 行政 | 外部の専門家 |
| 対立のタイプ | | | | 規範 |
| | | 認識枠組み | 利害関心 | 利害関心 |
| | | | 認識枠組み | 認識枠組み |

規制の妥当性や調査データに基づいた予測の説明

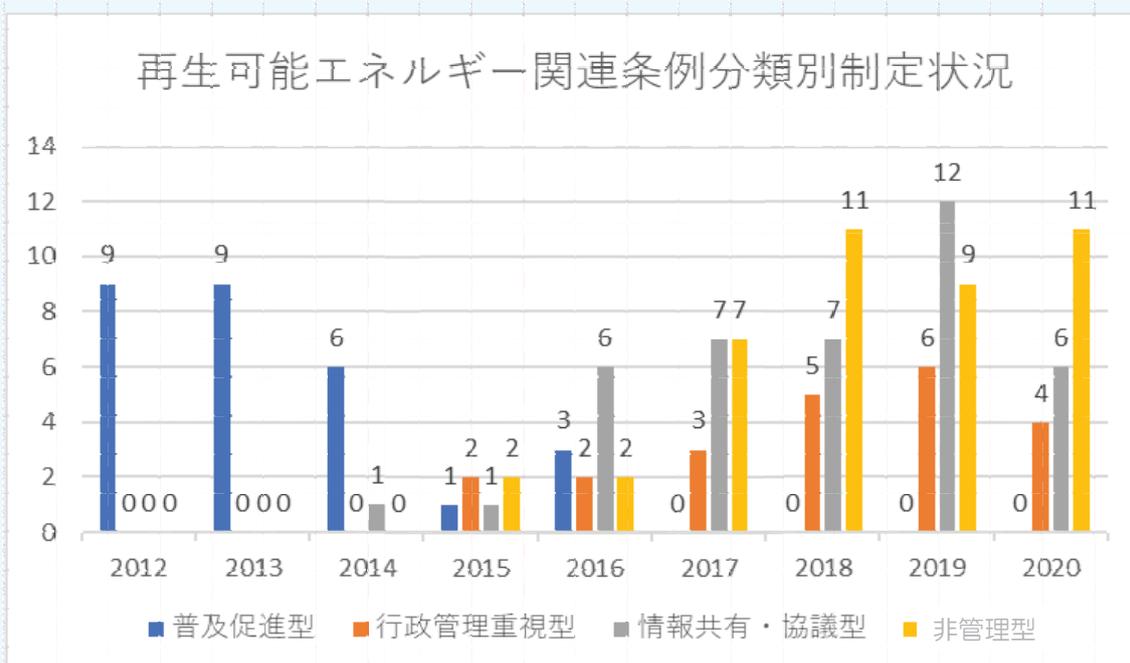
予測の妥当性と不確実性についての説明

原因者と(潜在的/顕在的)非影響者の合意

地域にとっての再エネの必要性等も含めた熟議

再生可能エネルギー条例の制定状況

再生可能エネルギー関連条例分類別制定状況



Task 28 Phase IV

- 2020年5月～2024年4月(4年間)
- 共同OA スザンネ・テーゲン(アメリカ)、ギャリー・キーガン(アイルランド)
- 会員増強(参加国8カ国から12カ国へ)
- 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



ワークパッケージ 1-5 (2020-2024)

トラック1: 研究の集約と分析

- 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
- 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
- ワークパッケージ3 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

- 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(バーチャル/オンライン、可能な場合は対面)
- 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



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

Initial Conversation: Jan Hildebrand – *in September 2021*

Participating countries: 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する

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



Initial Conversation: Joe Rand – *September 2021*

Participating countries: US, Japan, Ireland, Sweden, Switzerland, Finland

Deliverables

- 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 https://iea-wind.org/wp-content/uploads/2022/05/IEAWindTask28_Cost-of-Oppostion-Breifing-Doc.pdf



ワークパッケージ3: 風力エネルギー受け入れにおける新たな課題

Initial Conversation: Tom Cronin

Participating countries: Japan, Ireland, Germany, U.S.



作業パッケージが対象とする新たな問題(大型タービン、廃棄物/リサイクル、所有モデルなど)を研究するための外部資金を獲得した国もあるが、研究プロジェクトを統合する作業が必要である。新しいファクトシートと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の結果を統合する。



2022年12月 社会力学と将来の風力発電技術に関する考察に関する国際的な研究を統合した報告書とブリーフィング



2023年 – 研究費を獲得できれば事業完了後の実務と潜在的な技術革新に関連する選択肢とコストを確認するために、ウェブベースの国際会議を(業界と協力して)実施したい



iea wind

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

Initial Conversation: Started by Suzanne – early 2021, now Garry

Participating countries: All, Ireland with help from Wind Europe

Deliverable due June 2021 – Wind Energy Science Conference (<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。

Deliverable due December 2021

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。



iea wind

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

Initial Conversation: Garry Keegan – *first meeting October 2021*

Participating countries: Ireland, Canada, Japan, UK, Denmark, Norway, Netherlands, Germany, U.S.



Deliverable due March 2021

オフショア・ウインドファーム・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/>

Deliverable due June 2021

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促進する。



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。



現段階での主要な研究成果

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

風力発電の導入が学区の財政と生徒の学力に与える影響の調査

1995年から2016年までの米国における風力発電の設置時期、設置場所、容量に関するデータを用い、風力発電の導入は、学区の歳入を大幅に増加させ、資本支出を大きく増加させたが、学区の財政は小幅な増加にとどまった。

経常支出は小幅な増加にとどまり、学級規模や教師の給与にはほとんど変化がなかった。

学級規模や教師の給与にはほとんど変化がなかった。生徒のテストの点数への影響もゼロであった。

風力発電のトップメーカーであるテキサス州の行政データを使用したところ、風力発電の設置が高校卒業や大学入学に与える影響はゼロであった。

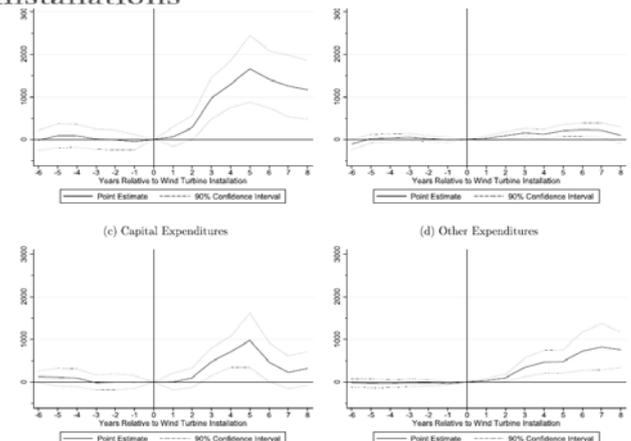


Journal of Public Economics

Volume 206, February 2022, 104586



School district revenue shocks, resource allocations, and student achievement: Evidence from the universe of U.S. wind energy installations



現段階での主要な研究成果

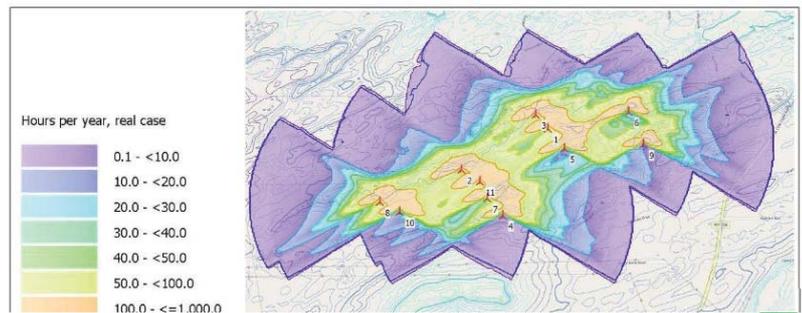
<https://iea-wind.org/task28/t28-publications/>

米国での風力発電所周辺の約35,000軒の住宅を対象に、シャドウフリッカー(SF)のモデル化を実施
近隣住民747軒を対象とした質問紙調査

モデル化したSF暴露量は、回答者が自宅でSFを知覚するかどうかと強く関連した

モデル化したSF暴露量が多くても、SFに対する自己申告の迷惑度は高くなかった。

自己報告されたSFの煩わしさは、プロジェクトの外観や一般的な煩わしさなどの主観的な要因と相関していた。



<https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102471>

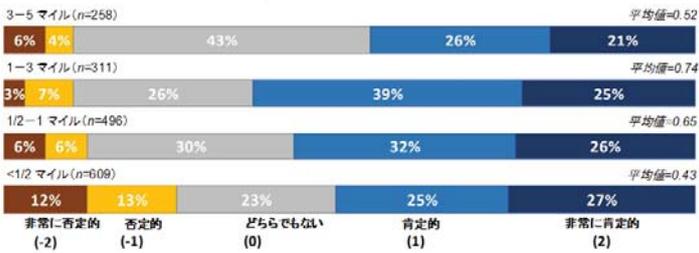


日本語版の作成

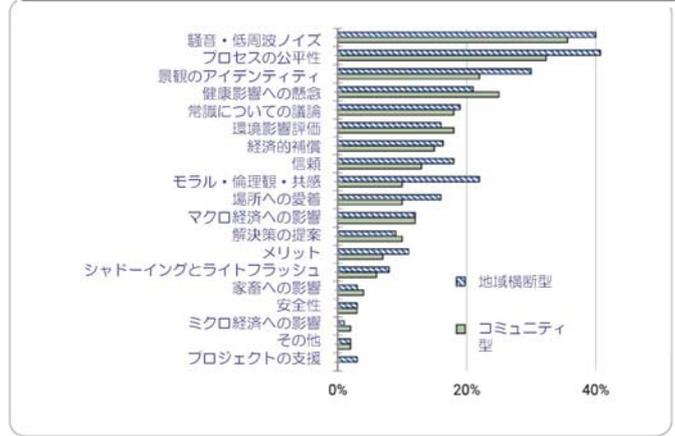
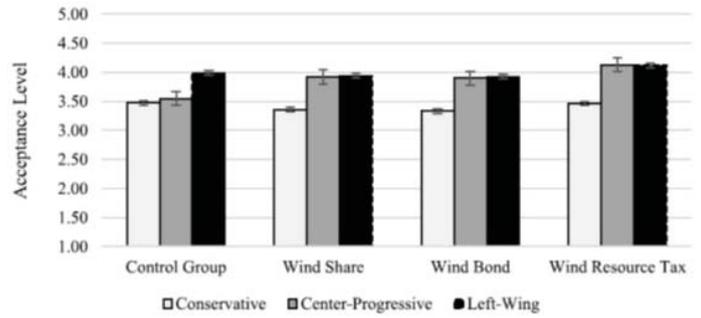
- 景観と視認性
- 健康と不快感
- エネルギー転換の歴史的コンテキスト
- 公正な風力発電プロジェクトへの真摯な取り組み
- 地域支援による大規模再生可能エネルギープロジェクトのための環境づくり
- デンマークのウィンドファーム建設に対する反対派の発生と拡がりにおけるFacebookグループの役割
- オランダの洋上風力発電所ウィンドファームの統合影響評価
- ウィックロー州の洋上風力発電による地域支援基金に対する沿岸地域住民の理解
- スイスにおけるコミュニティ投資、地方税、風力発電の社会的受容性
- 全米の風力発電プロジェクト 近隣住民全体の意識調査(集計結果)
- 洋上ウィンドファームと漁業共同体のコベネフィットモデル



現在、地域の風力発電プロジェクトに対してどう感じていますか？



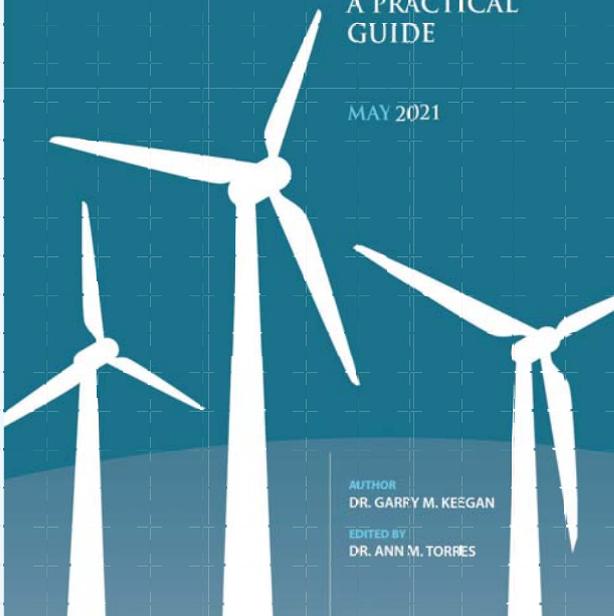
政治的態度と社会的受容性レベルの関係



OFFSHORE WIND FARM PROJECTS

STAKEHOLDER ENGAGEMENT & COMMUNITY BENEFITS A PRACTICAL GUIDE

MAY 2021



AUTHOR
DR. GARY M. KEEGAN
EDITED BY
DR. ANN M. TORRES

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

◆2023年後半に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予定。国内向けのセミナーを実施したい



第11回
IEA Wind セミナー

2023年2月28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



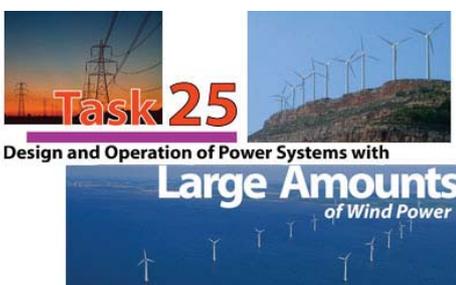
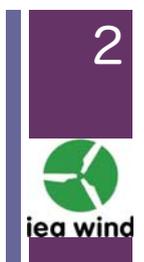
Task 25 の紹介

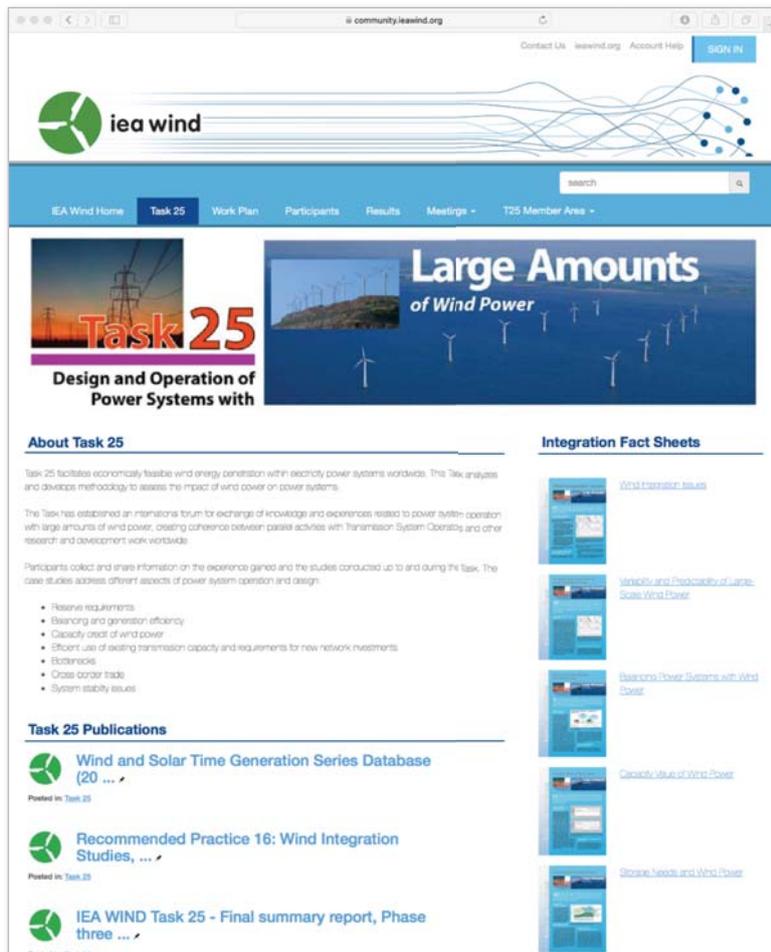
■ 名称

- 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)



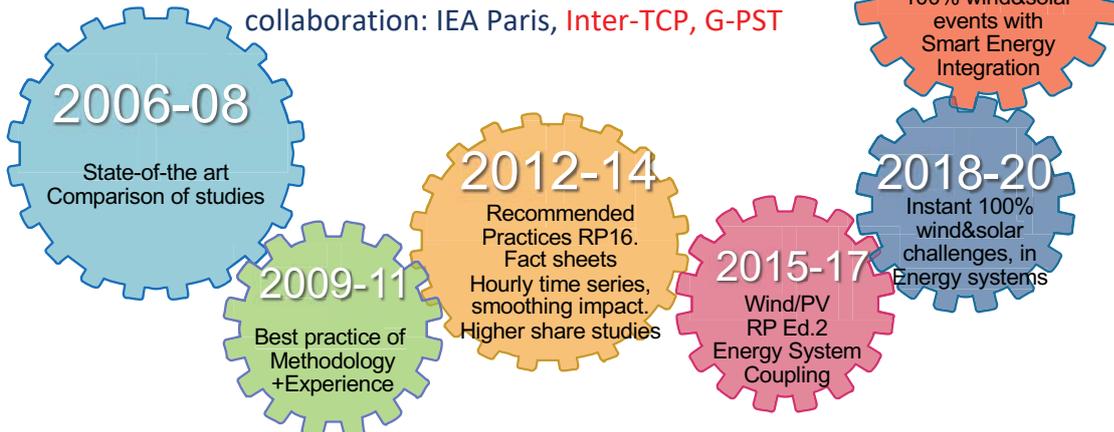
■ 日本からは、以下の専門委員が参加

- 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～

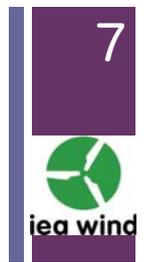
+ これまでの活動経緯

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

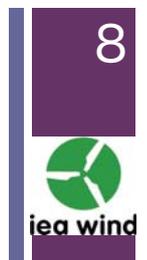


+ ワークプラン



- **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.

+ 2022年度の活動



- 春季会合
 - 5月3～5日
 - フィンランド・エスプー(ヘルシンキ郊外)にて + オンライン
 - 参加者: 約40名
- 秋季会合
 - 11月7日～12月9日
 - 英国・ロンドンにて リアル開催 + オンライン
 - 参加者: 約40名

欧州ではCOVID-19の行動制限も解除されリアル会合が復活。ただし、リモート参加も多い。

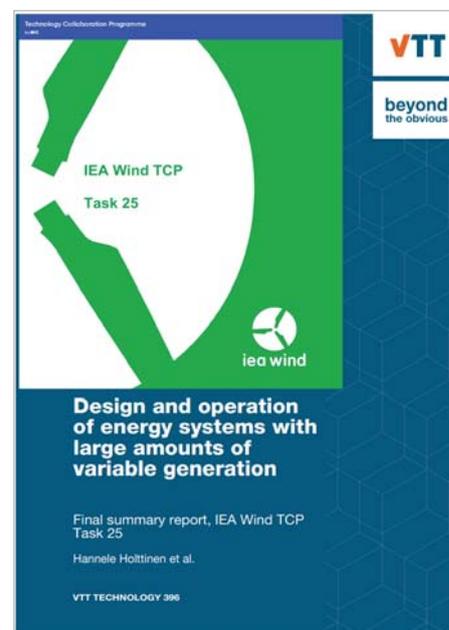
2023年度春季は5月に京都開催で調整中

+ 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

- 将来の電力システムにおける風力エネルギーの価値を見積もることは、統合コストを見積もるという古い取り組みに取って代わるものである(システム統合コストという考え方は、用いられている方法に対して完全な合意に至らず、その有用性は失われてしまった)。
- 従来は、風力発電のいわゆる統合コストを試算するのが一般的だった。いずれの方式も重大な欠点があることがわかっている。主な注意点は、ベンチマーク技術の利用(コストの違いを求めるには参照シミュレーションが必要)と、風力発電へのコスト配分方法(例えば、送電を追加すると、風力発電の接続と輸送だけでなく、信頼度において他の便益が生じる)である。
- 電力システム全体の費用便益方式は、風力または太陽光に固有のシステム統合コストを切り離して定量化するという困難な作業を回避し、ベンチマーク技術を定義する必要がない。

- 従来型電源がなくても電力システムの強度を維持する、つまりシステム安定度を確保するための技術的なソリューションが、いくつかの場合で存在することは、一般的な科学的コンセンサスとなっている。分散型太陽光発電の比率が大きい電力システムの場合、特定の困難が予想される。分散型太陽光発電が配電網やセキュリティに与える影響について、さらなる評価が必要である。
- 風力や太陽光などの変動性電源が中心のシステムでも、デマンドレスポンス、大規模エネルギー貯蔵、ピーク電源、整備された送電網や連系線などの柔軟性があれば、システムアデカシー(電力システムがつねに負荷に対処する能力)を確保することができる。これらの柔軟性電源の成熟度、利用可能性、コストについて検討する必要がある。
- 運転予備力の規模や、需給責任と調達に関する規制の枠組みを大幅に見直す必要があり、変動性再生可能エネルギーの予測方法も継続的に改善する必要がある。

+ 日本からの貢献

13



- 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 (Volume 160, May 2022, 112212)
 - 柔軟性チャート
 - Renewable and Sustainable Energy Review に掲載 (Volume 174, March 2023, 113116)

+ 柔軟性チャート

14



- 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, 日本, 豪州の柔軟性評価
 - 制御エリア/同期エリア等の比較を視覚化
 - 歴史的推移を視覚化



Renewable and Sustainable Energy Reviews 174 (2023) 113116

Contents lists available at ScienceDirect

ELSEVIER

Renewable and Sustainable Energy Reviews

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

Flexibility chart 2.0: An accessible visual tool to evaluate flexibility resources in power systems

Yoh Yasuda^{a,*}, Enrico Maria Carlini^b, Ana Estanqueiro^c, Peter Borre Eriksen^d, Damian Flynn^e, Lars Finn Herre^f, Bri-Mathias Hodge^g, Hannele Holttinen^h, Matti Juhani Koivistoⁱ, Emilio Gómez-Lózaró^j, Sergio Martín Martínez^k, Nickie Menemenlis^l, Germán Morales-España^k, Christoph Pellinger^l, Andrés Ramos^m, Charlie Smithⁿ, Tii Kristian Vrana^o

^a Kyoto University, Yoshida Honmachi, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8601, Japan
^b FERNA, Rete Italia, Viale Edgardo Galbani, 70-00156, Rome, Italy
^c ENEG, Aviação da Luminosa e Estrada do Paço do Lumiar, 22, 1649-038, Lisboa, Portugal
^d Ea Energy Analytics, Copenhagen, Denmark
^e University College Dublin, Belfield, Dublin 4, Ireland
^f Denmark Technical University, Denmark
^g University of Colorado Boulder, 425 UCB, ECOT 342, Boulder, CO, 80309, USA
^h Recogitis, c/o Oy Active Ab, Jämsilänkatu 18, 04250, Kerava, Finland
ⁱ University of Castilla-La Mancha, 02071, Albacete, Spain
^j Hydro Québec, Varennes, QC J3R 1S1, Canada
^k Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO), the Netherlands
^l Forschungszentrum für Energiewirtschaft e.V., Germany
^m Instituto de Investigación Tecnológica, Comillas University, Spain
ⁿ ESKG, P.O. Box 2787, Reston, VA, 20195, USA
^o SINTEF Energi, Sem Saaland vei 11, 7034, Trondheim, Norway

ARTICLE INFO

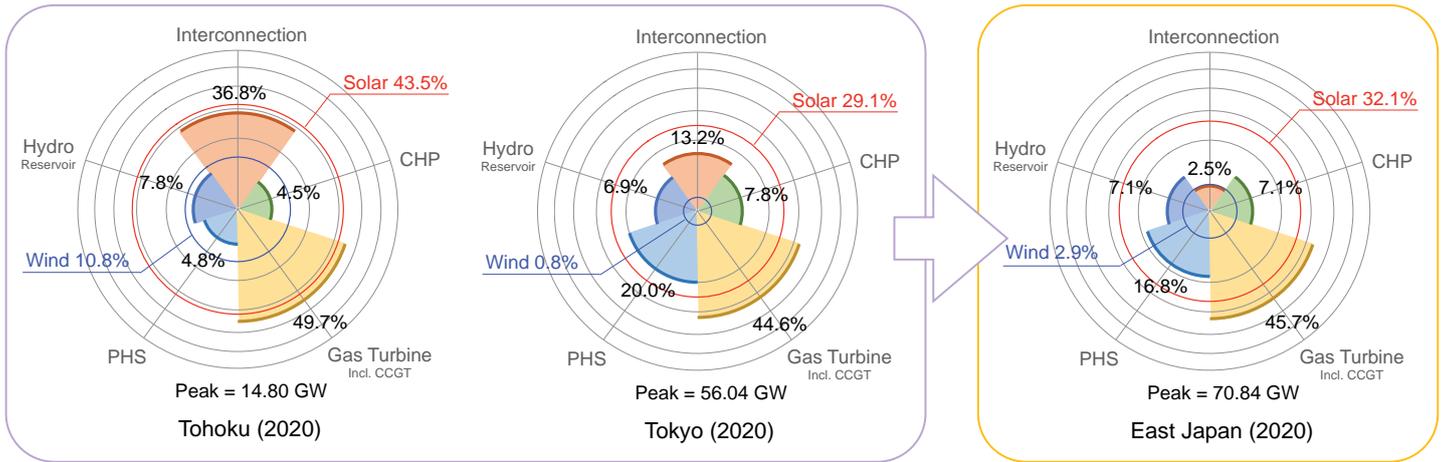
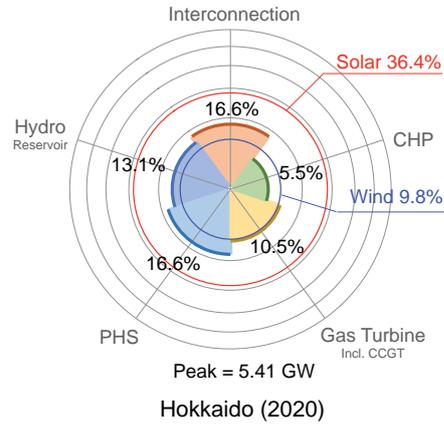
ABSTRACT

Keywords:
Variable generation
Wind energy
Solar energy
System flexibility
Interconnection
PHS (Pumped hydro storage)
CHP (Combined heat and power)

Various aspects of power system flexibility are evaluated within the multi-country study framework of IEA Wind Task 25. Grid components and actions which have been adopted for enhancing flexibility in different areas, countries, regions are addressed, as well as how Transmission System Operators, Independent System Operators, Utilities intend to manage variable generation in their operating strategies. A visual assessment to evaluate the diversity of flexibility sources, called a "flexibility chart", is further developed to illustrate several flexibility parameters (e.g., hydropower, pumped hydro, gas turbine, combined heat and power, interconnection and battery) in a polygonal radar (fan-shaped) chart. This enhanced version of the Flexibility Chart is an "at-a-glance" view of the flexibility resources in power systems.

+ Hokkaido and East Japan

15



+ 国際再生可能エネルギー機関(IRENA)での引用

16



Table 2: The sources and availability of existing flexibility assessment approaches

| Tier | Tool | Report / paper | Owner | Public availability ¹ |
|--------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| Tier 1 | NREL System Evaluation Tool | Milligan <i>et al.</i> , 2009 | NREL | Contact the author |
| | GIVAR | IEA, 2014 | IEA | Not available |
| | Flexibility Charts | Yasuda <i>et al.</i> , n.d. | Yasuda <i>et al.</i> | Contact the author |
| Tier 2 | FAST2 | IEA, 2014 | IEA | Contact the IEA |
| | IRRE | Lannoye <i>et al.</i> , 2012 | Lannoye <i>et al.</i> | Not available |
| | InFLEXion | Tuohy, 2016 | EPRI | EPRI (commercial) |
| | REFLEX | Hargreaves <i>et al.</i> , 2015 | E3 | E3 (not for sale) |
| | Flex Assessment | Silva <i>et al.</i> , n.d. | EDF | Not available |
| Tier 3 | FESTIV | Ela <i>et al.</i> , 2011 | NREL | Contact the author |
| | REFlex | Denholm and Margolis, 2007 | NREL | Proprietary |
| | RESOLVE | CAISO, 2016 | E3 | E3 (not for sale) |
| | IRENA FlexTool | This report | IRENA | IRENA (free) |

Tier 1: Tools with light data requirements,

Tier 2: Tools that calculate sufficiency of flexibility based on time series and more detailed unit data or based on a separate dispatch from an external tool,

Tier 3: Tools based on dispatch models,

(source) IRENA: Power System Flexibility for the Energy Transition, Part II: IRENA Flextool Methodology (2018)

+ Task25成果物の翻訳

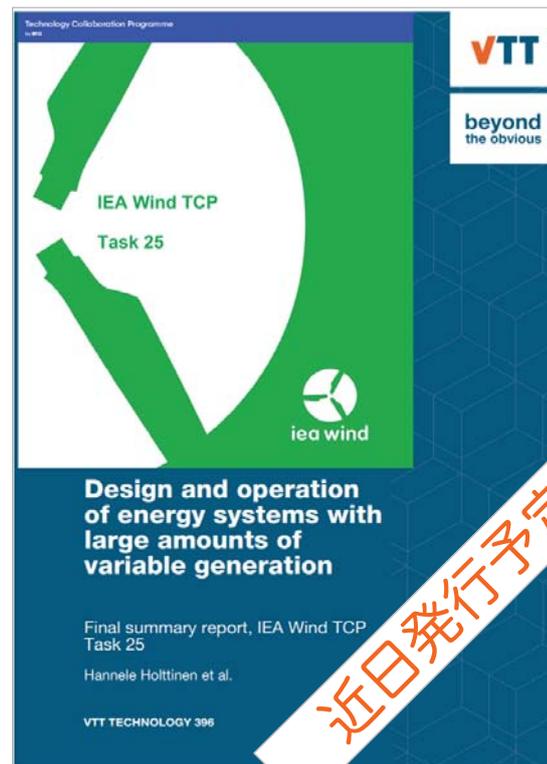
- 2020年10月: 日本語訳を公開
 - ファクトシート
https://www.nedo.go.jp/library/ZZFF_100033.html
 - 第3期最終報告書
https://www.nedo.go.jp/library/ZZFF_100035.html



+ 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

- 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11回
IEA Wind
セミナー



第 11 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

「Task30 洋上風車解析コードの検証(OC6)」へのご質問と回答

| # | ご質問 | 回答 |
|---|--|---|
| 1 | 計算の pitch が実験より過小になる件ですが、計算では粘性抵抗はいれていないのでしょうか？ | 二次の粘性抵抗は入れています、入れ方が合っているかどうかというのは、別の話になります。粘性が入っていないと応答が小さくなるということにはならないと思います(Task30 山口氏回答)。 |
| 2 | pitch の粘性抵抗が実際より大き過ぎるのではないのでしょうか？粘性抵抗はレイノルズ数で変わると思いますが、それが過小評価の原因ではないのでしょうか。 | 粘性抵抗は重心の試験でテストをしています。重心のテストで合っているということは、粘性抵抗は問題ないということになります。粘性抵抗はレイノルズ数やその他のパラメータで大きく変わりますが、この結果は実験機で行ったもので、浮体の実機にそのまま使えるものではないため、レイノルズ数の効果は問題は無いと思います。浮体の自由震度をそのまま浮体に使っているだけですので、レイノルズ数は問題ないと思います(Task30 山口氏回答)。 |
| 3 | 浮体式のモデルには様々あると思いますが、他の浮体のモデルが検討されていない場合、今後 RP を作成する段階で、他のモデルはどの様な扱いになりますか。合わせたグラフではないということでしょうか。 | モデルの選択には、データ提供の有無が一番重要な要素でそこがクライテリアとなります。RP では、実施したモデルは記載されるが、実施していないモデルは不明ということになると思います(Task30 山口氏回答)。 |
| 4 | 現推力の同定のスライド 19 で、Heave 以外は合っていない様にみえます。右のグラフも合っているように見えるが、実験の減衰が早くて追い越しているようにみえます。これは何をやっているものなのでしょうか？ズれることについて議論はされているのでしょうか？ | 合わせたグラフではなくて、●の時の数字の結果で、計算値と実験値がズれることを示しています。ズれることの議論はされていますが、右のグラフが合っていないとみるのは、少し酷かなと思います。固有周期のズレで言うとおそらく5%以下だと思いますので、シミュレーション結果から言うとむしろ合っている方だと思います。電水の方も合っている方だと思います(Task30 山口氏回答)。 |

「Task44:ウインドファームの流れ場制御」へのご質問と回答

| # | ご質問 | 回答 |
|---|--|---|
| 1 | ご紹介の論文でシーメンスガメサの方が共著で入っていますが、他の風車メーカーも同じように参加されていますか？また、日本ではどのような形で風車メーカーが関心をもたれて研究されているのか教えてください。 | 数年前にシーメンスガメサがウェイクアダプト(ウェイクステアリング)を打ち出して風車制御による発電性能向上に積極的にいち早く取り組んでるので大変強い関心があるという認識です。他の風車メーカーについての情報は、入っていません。日本では、東芝さんが GE と連携しており、この Task44 のメンバーにも東芝さんに入っただいただいていますので、GE も当然同じようなことを考えているという認識でいます (Task44 内田氏回答)。 |
| 2 | オペレーション段階の発電量制御の施策は色々あると思いますが、例えば 1 列目の風車の発電量を落とすことで、2 列目、3 列目の風車の発電量をあげて、ファーム全体の発電量をあげる、というような施策でしょうか。またその他どのような施策がありますか。 | 今のご指摘の点は最もポピュラーな制御で、上流側の受風面をヨー制御で少し傾けて、荷重はその分かかりますが、発電量を下げることによって 2 列目、3 列目の発電量を稼ぐというやり方です。その制御の他にも、もっとダイナミックに制御していこうとか、時間的、空間的に変化が激しいところではさらに違う方法があるとか、つまり様々な気象条件に合わせて積極的に制御する様々な方法が複数提案されています (Task44 内田氏回答)。 |
| 3 | ブレードチップのヘリカルフローが自身の風車にも、後流風車にも影響がある様に拝聴しましたが、それを緩和する思索はありますか？ | 自身の風車に影響があるというのは、ウェイク内の風の流れを特徴づける現象がチップボルテックスで重要な役割です。風車と近いところでは、外部の運動量の流れを遮断していますし、一旦それがブレイクダウンすると外部の運動量との交換の流れが促進されます。そのチップボルテックスを緩和するというのは、空力音の研究と相まって、ブレードの先端を少し曲げて縦渦の発生を抑えるというものがあります。それがウェイクコントロールにどう影響するかについてはまだ議論がありません (Task44 内田氏回答)。 |

「Task52 風ライダーの大規模展開」へのご質問と回答

| # | ご質問 | 回答 |
|---|---|--|
| 1 | 本タスクでは、デュアルスキャニングライダーとナセル搭載型ライダーの両方を検討するのでしょうか？ | 方針としては、風資源評価用の観測、サイト条件評価用の観測、性能計測用の観測の3つで進めていく予定です(Task52 種本氏回答)。 |
| 2 | これから、陸上でライダーによる計測を始める人に、特におすすめの資料はありますか。 | 初めは、スライド9にあるRP15が良いと思います。タスクの成果物ではありませんが、MEASNETやNKのウインドファーム認証のガイドラインなども参考になるとと思います(Task52 種本氏回答)。 |
| 3 | ライダーの需要は高まっているとお考えでしょうか？ 一部ヨーロッパでは大気が澄みすぎているためにライダーが使用できないケースがあると聞いたことがあります。 | 用途の多様化や検証実績が増えたことにより、ライダーの需要は高まっています。 大気が澄んでエアロゾルが少ないことによる欠測はありますので、そのような場所では風況観測塔の観測値などを使用した補完が必要です。特に寒冷地ではそのような問題が深刻で、寒冷地用にアルゴリズムを変えたりしてデータの取得率が上がらないかという検討がされています(Task52 種本氏回答)。 |
| 4 | スライド15の、WG4の寒冷地に「着氷への対処と検出手法の確立」について、この内容についてもう少し詳しく教えてください。(例えば、ライダーの上面への着氷があり、それが精度に影響を与える、ということでしょうか？) | ご理解の通りです。着氷がひどいとレーザー光を照射する窓が完全にふさがれてしまい、観測できないこともあります(Task52 種本氏回答)。 |
| 5 | 乱流強度を測定するにはどのような手法がありますか？ | 乱流強度を精度良く推定するには、一点をサンプリング周波数1Hzで観測する必要があります。鉛直ライダーやデュアルスキャニングライダーで観測できている事例が多数あります。ただし、ライダー内部の風速推定アルゴリズムや風の非一様性による部分があります(Task52 種本氏回答)。 |

| # | ご質問 | 回答 |
|---|-------------------------------------|--|
| 6 | なぜ風車の大型化で照射距離が不足するのですか？ | 性能計測を行う際に、風車のロータ直径の 2.5 倍風上側を計測することが推奨されています。風車が大型化すると、ロータ直径が大きくなるので、ナセル搭載ライダーの照射距離の限界を超えてしまいます(Task52 種本氏回答)。 |
| 7 | 飛行場や竜巻など、他の業界の LIDER 研究者との交流はありますか？ | ライダーメーカーは風力発電用の風観測以外の用途で使用するライダー製品も扱っており、そのような方が講演して下さったことはありました(Task52 種本氏回答)。 |

「Task46 風車ブレードのエロージョン」へのご質問と回答

| # | ご質問 | 回答 |
|---|---|---|
| 1 | <p>大型風車はロータ直径も大きくなり TIP 速度も新幹線速度以上に上がってきています。エロージョンにより性能ダウン、また下地 GFRP などでクラック進展の起点にもなる可能性があり耐エロージョン特性向上は必至と考えますが、ラボによエロージョン試験の結果と 風車実機での実機エロージョン特性はかなり異なるように思いますが、昨今の Leading Edge Protection の基材選定や評価は、ラボ試験で実施する際に、実機での比較評価も実施されていると考えてよろしいでしょうか。</p> <p>特に 日本サイトでは 雨量に関しても欧州よりも一般的に多く、また雪・霰、着氷も多いため 欧州での評価に 日本独自の追加考課すべき点はあるのではと考えます。</p> | <p>回転式エロージョン試験と実機との整合性がとれているかどうかについてはまだ議論の途上です。また、雨以外のラボ試験も必要だということは理解されていますが、まだまだ情報が足りておらず、まずは雨の評価から始めようという段階です。日本の環境に適した評価方法も必要と思います(Task46 田中氏回答)。</p> |
| 2 | 保護テープなどの対策がありますが、特に欧州でのエロージョン対策の検討の成果について教えてください。 | <p>保護テープを含む多くの対策品が開発されていますが、フィールドで 20 年持つ技術はまだないと思います。多くは数年で交換しながら使用されています(Task46 田中氏回答)。</p> |

| # | ご質問 | 回答 |
|---|--|---|
| 3 | 「風車ブレードのエロージョン」に関する研究に大変関心を持っている。特に洋上風力発電は過酷な環境にさらされるため、経済性を確保し、長期的な利用に向けて導入を促進するためには、浸食対策が重要なポイントになります。日本では洋上風力発電の導入に力を入れていますが、この分野では国際的な連携が重要であると思います。 | ご指摘のとおりです。今後も IEA Wind Task46 に継続的に参加して欧米の情報を収集しつつ、国内の優れた技術について発信していきたいと思います(Task46 田中氏回答)。 |
| 4 | 保護テープだけでなく、最初からコーティングや塗装によってエロージョンを起こさない材料研究は？ | 風車メーカーやブレードメーカーはその方向で検討していますが、万能のものはまだないと思います(Task46 田中氏回答)。 |
| 5 | 酸性雨などの影響は？ | 雨の酸性度もエロージョンに影響してくると思いますが具体的な評価はこれからです(Task46 田中氏回答)。 |

「Task54:寒冷地における風力発電」へのご質問と回答

| # | ご質問 | 回答 |
|---|---|---|
| 1 | スライド 9 の「不確かさの定量」とスライド 10 の「寒冷地仕様風車制御」に掲載している図表の説明をしてください。 | スライド 9 の不確かさの定量については、上図は着氷によってどれくらいエネルギーが損失したかを表しています。下図はカナダにおいて着氷によってどれだけエネルギーが損失するか予測したのになります。スライド 10 の上図は、ブレード加熱システムの性能エンベロップを示したもので、風速と温度でヒーティングの性能がどれほど変化するかを示しています。下図は、日本での寒冷地仕様風車の運転制御を示したグラフになっております(Task54 岩井氏回答)。 |
| 2 | ブレードへの特殊塗料については主に材質での検討となりますでしょうか。昔米国で寒冷地での黒色ブレードというのがありますが現在は景観上も難しいものなのでしょうか。 | 既存の塗料で検討しており、親水性、撥水性、それらを組み合わせたものから作成された4つのタイプで試験をおこない、その結果から1つを採用しています。新幹線と同じタイプの塗料と聞いています。黒色ブレードの効果や景観上の課題については現時点では明確ではありません(Task54 岩井氏回答)。 |

| # | ご質問 | 回答 |
|---|---|--|
| 3 | <p>寒冷地での風力発電に対するコメントです。長翼表面への着氷による性能低下、ロータ内アンバランスによる不回転、再起動不能となります。また融解後の着氷落下や 周囲へ回転により氷塊が飛散する事もありますので、サイト及び必要であれば近隣住民への安全ルール (Ice Rule)も 検討項目として含め安全を守るべきかと考えます。また、寒冷地では軸受け内部の摺動面での潤滑油粘土増による油膜特性の不適、またロータなどの鋳物材脆化もおきるため運転モードも検討必要でしょう。ご説明あったように寒冷地向けには総合的な安全ルールやガイドラインの整備が必要と考えますのでよろしく願います。</p> | <p>ありがとうございます。そのあたりも十分精査してガイドラインに反映したいと思います (Task54 岩井氏回答)。</p> |
| 4 | <p>日本での着氷でのトラブル事例はどの程度発生していますか？</p> | <p>この実証事業において国内の事例は含まれていません。最終的にこのタスクでの成果がどのように日本で反映されるかについては今後分析していきたいと考えています (Task54 岩井氏回答)。</p> |
| 5 | <p>Task54 の講義の質疑応答で、潤滑油剤についても検討しているとのことでしたので、もっと詳しくお聞きしたいです。また、Task53 の講義において WP2 のなかで影響を検討する運転維持管理の内容について詳しくお聞きしたいです。</p> | <p>Task54 で検討中であり、今後報告できる機会があると考えます (Task54 岩井氏回答)。</p> |

「Task53: 風力発電の経済性」へのご質問と回答

| # | ご質問 | 回答 |
|---|---|--|
| 1 | <p>二つの疑問質問がありまして、一つは送電ケーブルコストは全体の何割ぐらい占めるのかということです。送電ケーブルコストというのは、例えば自治体がここら辺にファームを作るって言ってあらかじめ送電線の経路を想定する場合とその一つ一つの風車まで引く場合とではものすごく違ってくると思うんですね。その辺はどのようにお考えでしょうか。</p> <p>もう一つはこの後の安田先生にも聞いた方がいいのかもしれませんが、インテグレーションコストというのは、私のイメージですと、今までも確かに送電ケーブルコストもそうなのですが、系統接続のための調整力にいくらかかるのかって入っているというイメージだったので、その点、先生が行われているエンジニアリングモデルの概要の方では出てこないのですが、その辺はいかがお考えでしょうか。</p> | <p>一点目のご質問について、Guide to offshore wind farm 2019 によると、ケーブルコストは施工費を含めて CAPEX の約 8% です。ご紹介した確率エンジニアリングコストモデルでは、欧州における発電所の実績値を基に連系点と発電所との距離のばらつきを評価しています。</p> <p>二点目のご質問について、調整力についてはエンジニアリングコストモデルでは評価しておりません (Task53 菊地氏回答)。</p> |
| 2 | <p>ヨーロッパの中でも国や自治体がここに海底ケーブルを作るとかここに洋上風力ファームを作るとかそういう計画をされたというところはないのでしょうか？</p> | <p>洋上風力発電所の設置位置については、大まかな位置を国が計画することがほとんどです。送電ケーブルの設置位置については、事業の中で関連するステークホルダーとの調整によって決められることがほとんどであると認識しております (Task53 菊地氏回答)。</p> |
| 3 | <p>個人的には、洋上風力がますます遠くに離れていくと海底ケーブルの送電線がおそらく 10% で効かなくなると思うんですね。。できるだけ国が音頭を取ってケーブル敷設計画を決めていただいた方が、効率が良いと思いますが。</p> | <p>海底ケーブルの重要性についてはご認識の通りと思います。</p> <p>新しい制度の中での取り組みであるため、各国の方法を参考にしながら、日本として良い制度を作り出していくことが重要だと思います (Task53 菊地氏回答)。</p> |

| # | ご質問 | 回答 |
|---|---|--|
| 4 | <p>風車を大形にするとコストが低減することを示されているところが非常に興味深く聴いていました。二点ほど教えてください。まず、不確かさの定義について教えてください。これは経済状況の不確かさなのかあるいは地球温暖化や気象変化によって発電量が変わる不確かさなのかと思っております、そこも考慮されているのでしょうか。もう一点は、このモデルは着床式ということですが、将来は浮体式も扱うのでしょうか。</p> | <p>一点目のご質問について、主に風車価格、モノパイル直径・長さ・厚み、送電線の単価・距離、施工船の単価、施工日数がもたらす不確かさを欧州の過去 20 年間の実績値を基に評価しています。よって、地質・気象海象条件といった物理的な不確かさおよび市場における風車・材料の価格変動を考慮しています。過去の実績値を基に評価しているため、将来の地球温暖化や気象変化の影響は評価していません。また、建設費の不確かさを評価しており、発電量の不確かさは評価していません。</p> <p>二点目のご質問について、浮体式のエンジニアリングコストモデルについても研究しております。実際に建設した例が少ないため、モデルの検証に課題がありますが、コスト低減に向けた分析に活用することを考えております (Task53 菊地氏回答)。</p> |
| 5 | <p>エンジニアリングモデルでコスト評価する際、欧州のエンジニアリングモデルには WACC が含まれており、METI/NEDO のコスト評価では 2021 年及び 2022 年のコスト評価では WACC が含まれていないと誤解し IRR がダブルカウントされているのではないのでしょうか？</p> | <p>METI/NEDO のコスト評価が指すところを正確に理解できていない状況です。報告者の研究におきましては、欧州と日本の発電コストを比較する際には、同じエンジニアリングコストモデルで評価を行い、ダブルカウントはしておりません (Task53 菊地氏回答)。</p> |
| 6 | <p>欧州での建設費と比較する場合、その建設費はどのような数字を用いる形になりますでしょうか。多くの場合、FID 時に事業費を発表する事業者は多いですが、実際に費やされた建設費とは異なる可能性があるのでは、と推察しております。</p> | <p>4C Offshore が発行している Global Offshore Wind Farm Database に掲載されている建設費の報告値を用いて評価を行っております。報告値と実績値の差異については入手困難ですが、確率エンジニアリングモデルによりばらつきを評価することを目指しております (Task53 菊地氏回答)。</p> |

| # | ご質問 | 回答 |
|---|---|---|
| 7 | <p>Task53 のスライド 22 枚目「入札結果の分析」で IRR を仮定した価格分析をしておられますが、風況等自然現象による発電量変動の不確実性、投資者の資本コストを考慮すると IRR 設定値が低いように思います。日本企業の資本コストは低いからこれで良いというお考えなのでしょうか、また欧州ではどうなのでしょう。そもそも論として風力発電は公益性の観点等から収益率は低くて当たり前の事業とお考えなのでしょうか。</p> | <p>ご報告した価格分析は、第 1 回入札の結果について、エンジニアリングコストモデルを用いて説明することを試みた内容となっております。欧州の事例について、ORE Catapult による 2021 年に発表されたイギリスの洋上風力発電の分析例においては、WACC が 4.5% で設定されております。ただし、この事例は、入札に対する分析ではありません。入札による価格の評価についても Task の中で研究が進められているところです。</p> <p>風力発電事業も他電源と同様に、公益性と経済性を両立すべきものと考えております (Task53 菊地氏回答)。</p> |
| 8 | <p>海底送電線の費用が浮体式洋上風力と共にどのように増加していくのか今後の研究に期待します。</p> | <p>浮体式洋上風力発電のコスト分析についても取り組んで参ります (Task53 菊地氏回答)。</p> |

「Task28: 風力発電における社会受容性の社会科学」へのご質問と回答

| # | ご質問 | 回答 |
|---|--|--|
| 1 | <p>スライド 6 ページの風力発電への不快感の国際比較の表について、4行目にある「既存の風力発電に対する賛否 (-2 大いに反対～2 大いに賛成)」のところで、日本(0.42)は米国(0.72)、欧州(1.00)と比べると少し異なる傾向がみられると思ったのですが、日本の 0.42 というのは、反対でも賛成でもなく、関心がないと思われるのか、どのように読み取ればよいでしょうか。</p> | <p>この違いをどのくらいで考えるのかというのは難しいところですが、ポジティブかネガティブかと言うとポジティブであるということは言えると思います。ヨーロッパと比べると受け入れの度合いは強くはないと思います。もう少し細かく分析しなければわかりませんが、近傍に風車がある人とない人で比較すると違いがあるかもしれません。日本は、風車が立っている自治体を対象にはしているのですが、実際には、風車から 10 キロ以上も離れていたり、既存の風力発電所をイメージ出来ない人もサンプルに含まれている可能性があって、そういう人たちだと良いとも悪いとも分からなくて、おそらく中立的な解答が増えたのだと思います。また「どちらでもない」という選択肢が含まれると日本ではその選択肢に寄りやすいというのはアンケート調査全体で共通する傾向として指摘されています(Task28 丸山氏回答)。</p> |
| 2 | <p>地域で地産地消が出来て、災害時に地元の役に立つことが分かれば態度も変わると思います。</p> | <p>多様な便益が存在することによって、被害感情が軽減されたり、受容性が高まる例が多数存在します。個人的な利益よりはコミュニティー全体への便益の方が、効果が高いという調査結果もあり、地産地消や災害対応はそのための一手段になり得ると思います(Task28 丸山氏回答)。</p> |

「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」へのご質問と回答

| # | ご質問 | 回答 |
|---|--|---|
| 1 | <p>統合コストの説明が理解できなかったので、二点質問させていただきます。一つはシステム統合コストという考え方は、その有用性が失われてしまってその重大な欠点があることはわかってることなのですが、先ほどの Task53 の菊池先生の発表スライド 3 ページ目で説明されたところでは、ジェネレーションコストのところに LCOE と共にインテグレーションコストが書いてあります。Task53 では取り上げてるのにこちらの Task25 では有用性が失われてしまったという、そのギャップがわからないというのが1点目です。</p> <p>二点目は、もっと本質的な問題で、先生の話を聞いていると風力が増えていっても、系統接続のための、あるいは言葉を変えると、同時同量のための無炭素調整力は必要ないという風にも聞こえてきます。風力の系統接続が増えた場合に、無炭素の調整力は増えるのか増えないのかというところが一番興味があります。私の推測ですと、対数の法則によって多く出来ると全体的に平均化されるとお考えなのか、あるいは調整市場など完全市場を作れば同時同僚を達成してくれるとお考えなのか、アグリゲーターが調整力を作り出すので心配ないとお考えなのか、その辺のお考えを教えてください。</p> | <p>二点目のご質問から先にお伝えします。「調整力」という言葉が日本で一般的に使われていますが、これは正直に言いますとやや古い 20 世紀の用語です。もちろん英語でも regulating power という表記は(主に北欧で)使われていますが、今では柔軟性(flexibility)という言葉で盛んに議論されています。柔軟性は調整力の上位概念であり、それによって風力、太陽光だけではなくて需要の変動性など様々な変動性を管理する能力のことを指します。それは講演中にも述べたように、風力、太陽光を含む再エネが電源構成で占める割合が 90%程度になったとしてもそれは可能なように国際的に研究開発が進められています。様々な柔軟性の供給源があり、場合によっては、風力、太陽光も柔軟性を供給することも出来ます。そのような多数の多様な柔軟性供給源を上手に運用するのが国際的な研究者のコンセンサスになっています。残念ながら日本はそれから乖離している状態です。</p> <p>一つ目の質問ですが、確かに他のタスクあるいは IEA 本部の報告書でも統合コストが言及されています。タスク 25 の調査によると、そういった問題は費用便益分析や他のもっと大きな社会システム全体で考えるということが各国の研究者の論文から明らかになっておりますので、おそらく近い将来、IEA 全体の考え方も変わっていくと思います(Task25 安田氏回答)。</p> |
| 2 | <p>再エネ 100%近くで変動電源を運用している国はどこでしょうか？</p> | <p>現在のところ国単位ではありませんが、離島では再エネ 100%になりやすいです。特に NREL の論文報告書などが先行しており、世界中のいくつかの小さい離島では既に 100%あるいはそれにかなり近いものを達成しています。もう少し大きめの島、例えばハワイでも 2030 年 40 年ぐらいには再エネ 100%になるのではないかと、</p> |

| # | ご質問 | 回答 |
|---|--|---|
| | | あるいはなった場合にどう運用するのかというようなシミュレーションなどが議論されています (Task25 安田氏回答)。 |
| 3 | スライド 15 の柔軟性のところで、北海道に関しては柔軟性が高いとありましたが、逆に西日本では逆に柔軟性が悪いようなイメージになるのでしょうか | 中・西日本の評価をすると、実は連系線がかなり豊富にあります。日本は連系線がなくてヨーロッパには連系線があると噂レベルでは言われますが、日本の一般送配電事業者の規模は、フランスやドイツに比肩するようなヨーロッパ一國レベルにありますので、そういう点では隣のエリアとの連系線を上手く有効活用すると柔軟性が相当確保できます。むしろ柔軟性という点に関しては、日本の方がヨーロッパよりも再エネに向いている国であると解釈することも可能だと思います (Task25 安田氏回答)。 |
| 4 | 熱でエネルギーを保存の実績はどの程度でしょうか？ | 温熱貯蔵は主にデンマーク、ドイツ、オーストリアなどで実績があります (Task25 安田氏回答)。 |
| 5 | <p>フレキシビリティは電力システムが変化に対応する能力を示し、調整力は需給のバランスに着目していると理解しました。</p> <p>フレキシビリティは、電源多様性やスマートグリッド技術の導入、家庭・自動車での蓄電を含有したコンセプトと理解しております。</p> <p>島系統、くし系統、ヒエラルキーである日本の系統内で、フレキシビリティを検討するうえで、島、くし、ヒエラルキーは、除去していく対象なのでしょうか。インピーダンスなどはあまり関係しないのか。それとも、検討対象として包含していくべきなのか。ご意見お聞かせください。</p> <p>マイクログリッドと、特高電力系統を統合する考え方がない日本での苦勞をお察します</p> | <p>柔軟性(flexibility)は需給バランスの能力も含みます。日本は実は島系統 (island system) とは言えないほど巨大な電力系統です(北海道は本州と直流連系線でしか繋がっていない孤立系統なので island system と言えるかもしれません)。また、日本が串型系統であったのは 1990 年代までで、2000 年代以降は阿南紀北線や南福光 BTB などの建設により、少なくとも中西日本は串型とは呼べず、ループ型に変わりました。九州や東北エリア内は現在串型が残りますが、275kV 系統の 500kV 化が進めば近い将来ループ型になると期待できます。ヒエラルキーに関しても、中央給電司令所を頂点とした逆潮流を認めない潮流方向と指令体系は既に昔のものとなり、現在は分散型電源も含む匿名多数者の意思決定(市場取引)による需給管理に移りつつあります(需給調整市場が発展途上なのでまだ移行期ですが)。従いまして、ご</p> |

| # | ご質問 | 回答 |
|---|---|---|
| | | <p>質問の「島、くし、ヒエラルキー」は既に日本でも問題が解決されていると考えてよいでしょう。なお、「マイクログリッドと特高電力系統を統合する考え方」はむしろ TSO(送電系統運用者)と DSO(配電系統運用者)が分離している欧州でこそ意思疎通の悪さが課題となっており、両者が一体運用の TDSO(送配電系統運用者＝一般送配電事業者)の制度を取っている日本こそが「マイクログリッドと特高電力系統を統合する考え方」を推進しやすい環境にあると、国際比較の観点からは評価することができます (Task25 安田氏回答)。</p> |
| 6 | <p>Task25 の内容で既存電力と再生可能エネルギーの最適割合はどのくらいと考えられるか。</p> | <p>「最適割合」はその国やエリアの環境によって異なり一概には言えませんが、IEA が 2021 年に公表した “Net Zero by 2050” という報告書の中で提示された NZE シナリオの世界平均値が参考になるのではないかと思います。そこでは、2050 年の電源構成(kWh ベース)に占める再生可能エネルギーの比率は 87.6%、原子力 7.7%、火力 2.2%、水素 2.4%との見通しが試算されています。これが最新技術に基づく国際認識だと理解してよいでしょう (Task25 安田氏回答)。</p> |