

第12回 IEA Wind セミナー

IEA Wind国内委員会委員長
東京大学 石原孟

2024年2月28日

第12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102名、オンライン参加申込者数は555名、合計657名の方が参加される予定です。

世界風力会議GWEC(Global Wind Energy Council)が昨年3月に風力発電の2022年の年間報告書 Global Wind Report 2023 を発表した。

- **世界新規導入量**は77.6GW、うち洋上風力は8.8GW。洋上風力の1位は中国(57.6%)、2位英国(13.4%)、3位台湾(13.4%)、4位フランス(5.5%)、5位オランダ(4.2%、37万kW)
- 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US(17%)、3位ドイツ(7%)、4位インド(5%)、5位スペイン(4%)
- 洋上風力発電の**累積導入**のTop 5の国は、1位は中国(48.9%)、2位UK(21.6%)、3位ドイツ(12.5%)、4位オランダ(4.4%)、5位デンマーク(3.6%、231万kW)



現在世界最大のWF Hornsea Project 2

Hornsea Project 2の設備容量は139万kW、風車は165基

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ている、2030年までに1000万kW、2040年までに最大4500万kWの導入目標を確実に実現するため、**昨年**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開始され、さらに洋上風力のEEZ展開へ向けた論点と対応の方向性がまとめられた。洋上風力は領海内だけではなく、今後EEZにも展開される予定。
- **2050年カーボンニュートラル**の目標を実現するため、10年間約1200億円を投じ、技術開発を行っている。**現在フェーズ1**で実施されている18の研究開発が来月末に完了し、**今月9日フェーズ2の公募**が開始され、2024年度から2030年度まで実施される予定。
- **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。昨年陸上風力は、入札された設備は141万kW、風力発電事業者が決定された。洋上風力は、4海域の入札(180万kW規模)が実施された。現在落札者が決まったのは3海域、港湾利用で調整を要する「秋田県八峰町・能代市沖」は今年3月までに決定される予定。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、これまで参加されているTask、**昨年開始した3つのTask(44、46、54)**に加え、**今年から新たに参加したTask49**をご紹介します。

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)
10:55-11:15	Task11:活動紹介	小垣 哲也(産総研)
11:15-11:50	Task49:浮体式風力発電所の統合設計	山口 敦(足利大学)
11:50-12:25	Task44:ウインドファームの流れ場制御	内田 孝紀(九州大学)
12:25-13:30	休憩	
13:30-14:05	Task52:風ライダーの大規模展開	種本 純(清水建設)
14:05-14:40	Task46:風車ブレードのエロージョン	田中 元史(産総研)
14:40-15:15	Task54:寒冷地における風力発電	岩井 憲一(駒井ハルテック)
15:15-15:30	休憩	
15:30-16:05	Task53:風力発電の経済性	菊地 由佳(東京大学)
16:05-16:40	Task28:風力発電における社会受容性の社会科学	丸山 康司(名古屋大学)
16:40-17:15	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)
17:15-16:20	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様のご講演は、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

2024年2月28日

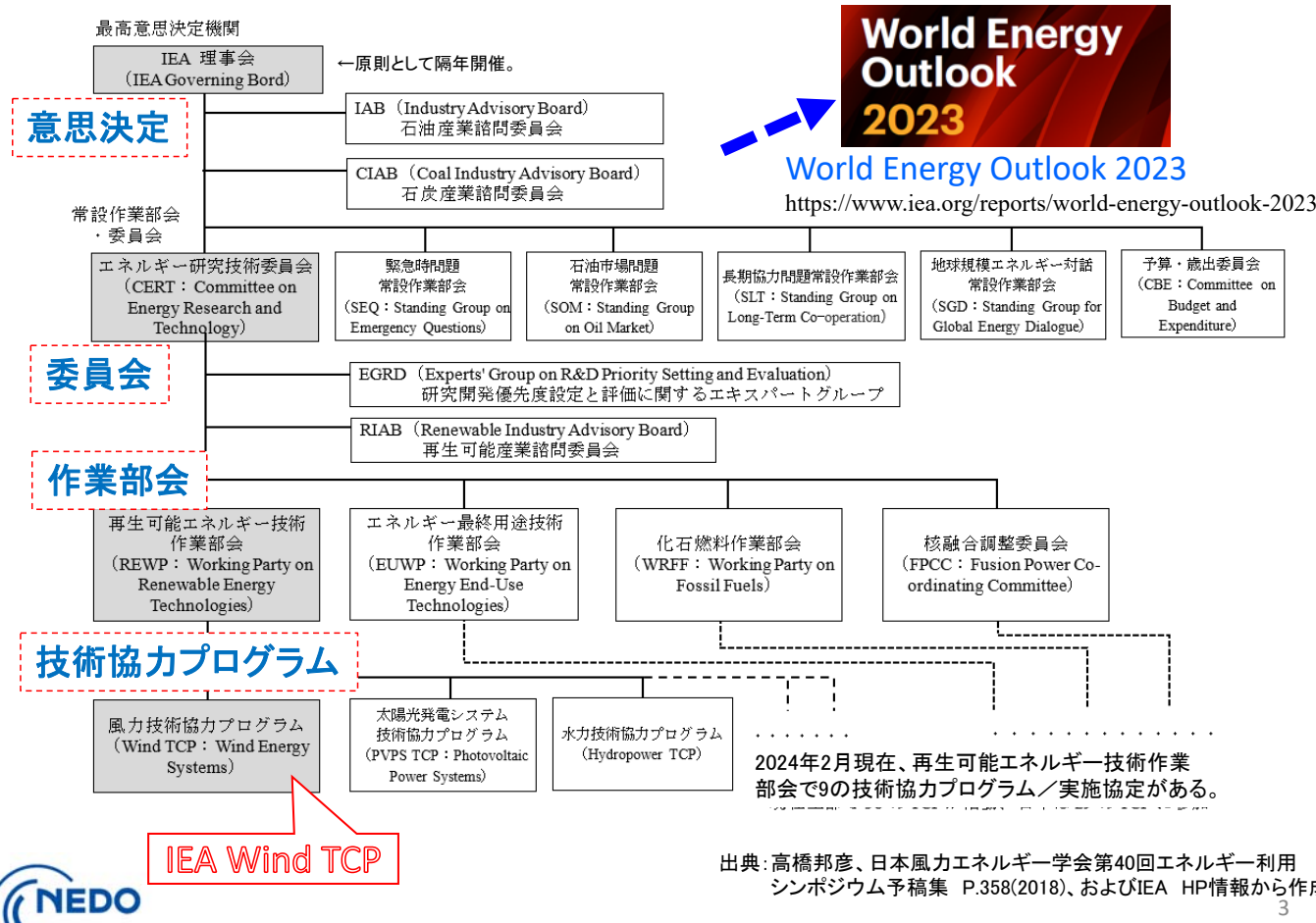
国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)
新エネルギー部 風力・海洋グループ
渡部 良朋

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 국무長官(当時)の提唱を受けて、OECDの枠内における自律的な機関として設立。日本を始めとする31カ国が加盟(2023年8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、2024年1月時点で23Taskが実施中。日本は、11のTaskに参加中。このうち、2024年1月から開始のTaskは2件である。

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で開催され、盛況であった。
ExCo92(秋季分)も、In Personでドイツにて開催され、正常運営が軌道に乗った。
- 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。



In Personで開催された
ExCo91における参加者
集合写真
(写真:IEA Wind事務局へNEDOより提供)



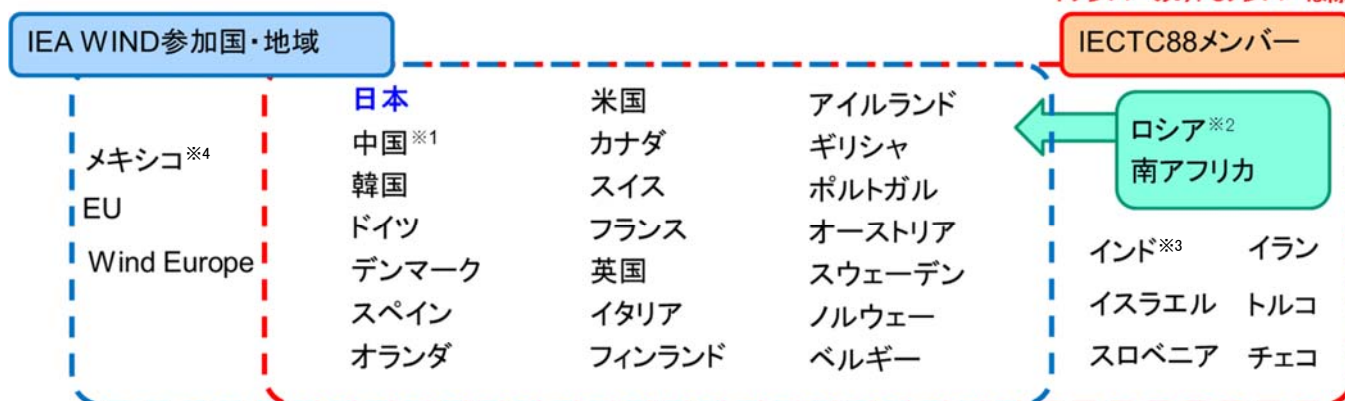
5

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(CWFA)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 ※4) 2022年に脱退



6

IEA Wind 加盟国の風力導入実績

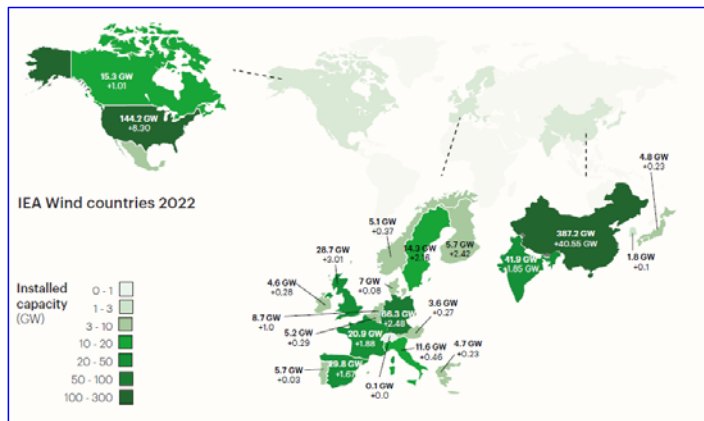


図1 風力発電の総導入量・新規導入量(2022暦年)

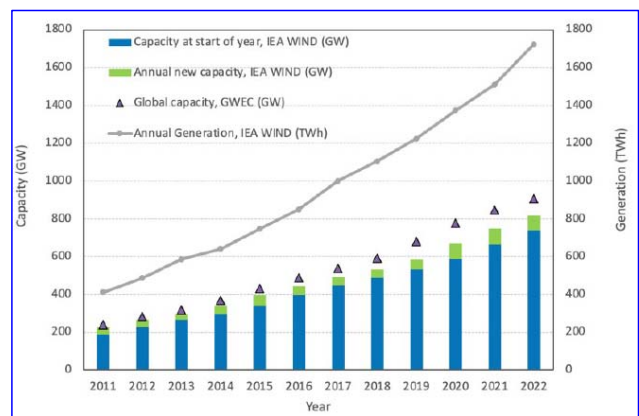


図2 2011～2022暦年の風力発電の導入トレンド

- 世界の風力発電産業の設備容量は1 TW (1000 GW) に近づいている。
- IEA Wind TCP参加国の風力発電量は1700TWhを越える。
- 欧州・米国の導入量が多いが、中国はそれを越える状況。

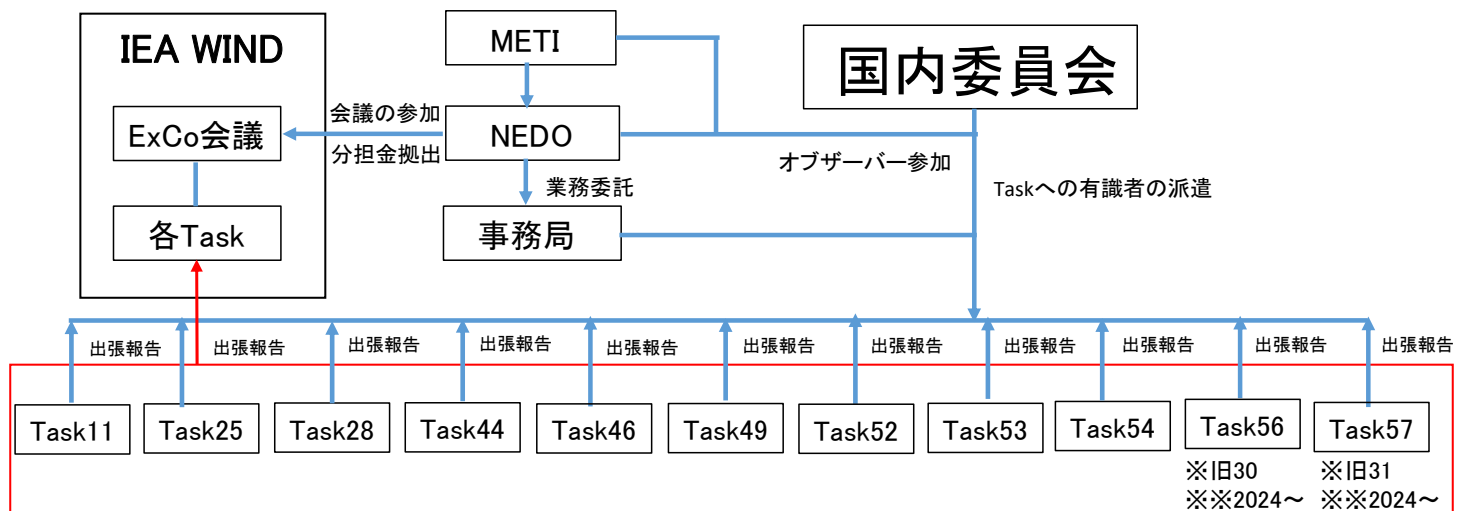
出典: IEA Wind Technology Collaboration Programme 2022 Annual Report (2023)



7

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) Taskは2024年1月時点



8

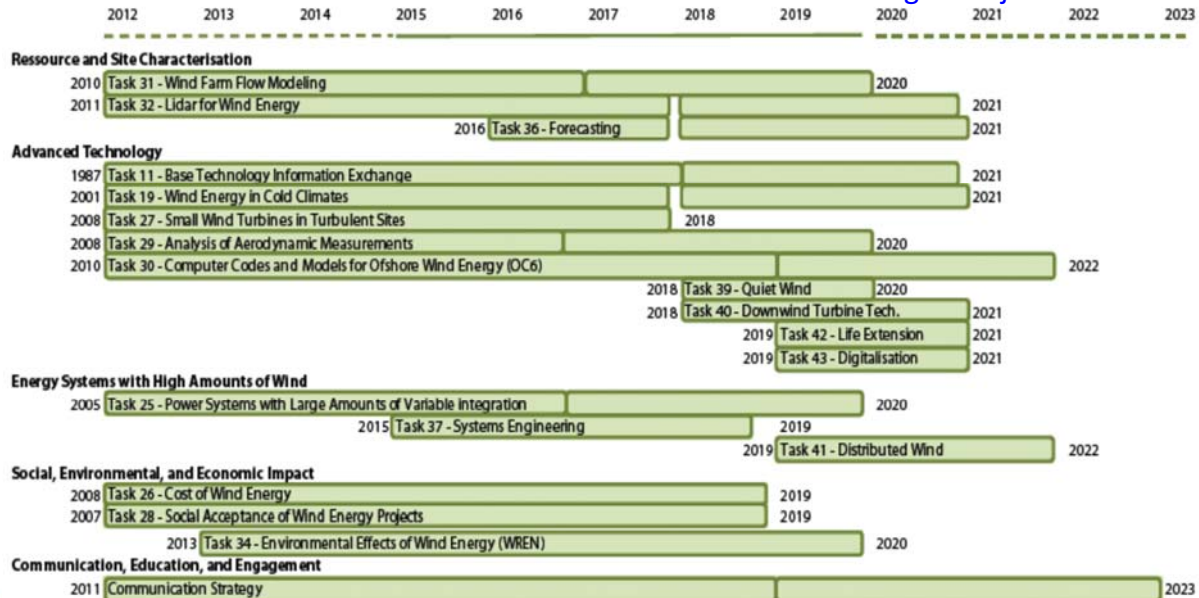
各タスクのカテゴリーとスケジュール

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、教育と取り組み (Communication, Education, and Engagement)

2015-2020 STRATEGIC PRIORITY AREAS AND TASKS

IEA Wind TCP Strategic Objectives 2019-2024



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

9

各タスク*の概要-類型(1)の1

* 2024年1月時点のTask

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

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



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

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

※日本参加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。

Task51 気象駆動型エネルギーシステムの予測 (Forecasting for the Weather-Driven Energy System)



- 気候駆動型エネルギーシステムのフォーマンスの予測を、分スケールから季節スケールまで、得られる値を増やす。



各タスク*の概要-類型(1)の2

*2024年1月時点のTask

(1) 資源とサイト特徴化 (Resource and Site Characterization) の2

Task52 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する。

Task54 寒冷地における風力発電 (Cold Climate Wind Power)

※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。

Task57 (旧31よりフェーズアップ) モデルの共同評価(JAM) (Joint Assessment of Models for Wind Energy (JAM))

※日本参加Task(2024年1月開始)

- 風の流れ、風力タービン、風力発電所シミュレーションの分野における国際研究を実施する。風力エネルギー分野で使用されるモデルのアプリケーションを、リソースから、評価、設計、制御、研究まで体系的に実施する。



11

図、写真: IEA Wind TCP Annual report 2022(2023)より

各タスクの概要-類型(2)の1

*2024年1月時点のTask

(2) 先進技術 (Advanced Technology) の1

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。

Task46 風車ブレードのエロージョン (Erosion of Wind Turbin Blade)

※日本参加Task



- 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。

Task47 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。



12

図、写真: IEA Wind TCP Annual report 2022(2023)より

各タスクの概要-類型(2)の2 *2024年1月時点のTask

(2) 先進技術(Advanced Technology)の2

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。風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。

Task56(旧30よりフェーズアップ) 洋上風車動的解析コードの検証(Offshore Code Comparison Collaboration, Continuation, with Correlation and uncertainty(OC7)) ※日本参加Task(2024年1月開始)



(図はIEA Wind TCP Annual report 2021のTask30より)

- 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。

Task55 風車と施設のリファレンス(REFerence Wind Turines and Plants(REFWIND))

- 風車と施設の参考事例の整理と体系化。



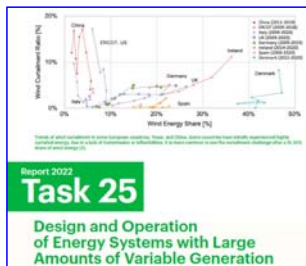
13

図、写真:IEA Wind TCP Annual report 2022(2023)より

各タスクの概要-類型(3)の1 *2024年1月時点のTask

(3) 高風力量でのエネルギーシステム(Energy Systems with High Amounts of Wind)の1

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。



14

図、写真:IEA Wind TCP Annual report 2022(2023)より

(3) 高風力量でのエネルギーシステム(Energy Systems with High Amounts of Wind)の2

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系統の革新、もしくは次世代電力系統形成とその適正制御。

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。



(4) 社会、環境および経済影響(Social, Environmental, and Economic Impact)の1

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的方法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。

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。



(4) 社会、環境および経済影響 (Social, Environmental, and Economic Impact) の2

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。

(図はIEA Wind TCP Annual report 2021のTask30より)

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。

Task53 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。

17

図、写真: IEA Wind TCP Annual report 2022(2023)より

各タスクの概要-類型+1

* 2024年1月時点のTask

+1 (戦略)コミュニケーション、教育と取り決め (Communication, Education, and Engagement)

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。

18

図、写真: IEA Wind TCP Annual report 2022(2023)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。



19

IEA Windの活動報告:各種出版物

活動報告書はIEA Windのホームページから自由にダウンロードが可能です

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



Technical Report

図は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2023年出版の2022年(暦年)版の例。



20

ご清聴ありがとうございました

IEA Wind Task 11

基礎技術情報交換 (Base Technology Information Exchange) の活動紹介

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
エネルギー・環境領域 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

小垣 哲也

本日の報告内容

1. IEA Wind Task 11の概要

- 専門家会議 (TEM、Topical Expert Meeting)
- 推奨基準 (RP、Recommended Practice)

2. 最近の活動の紹介

- 最近のTEM開催、参画状況
 - TEM #106 (再生可能エネルギー水素)
 - 横浜国立大学相原先生・松澤先生、熊本県産業技術センター大城様ご参加 (オンライン)
 - 2024年以降のTEMテーマ
- 最近発行のRP – 近年、新規発行なし。

3. まとめ

Task 11のポイント

- 歴史： Task 11は、IEA Wind発足（1978）当時から、IEA Windの取り組みの一環として、**IEA Windメンバー国のほぼ全てが参画する基礎的なTask**。
- 参加国： 16の国・地域※（日本、中国、ヨーロッパ（デンマーク、ドイツ、スペイン）、英国、米国等）。
※：ベルギー、カナダ、中国、CWEA、デンマーク、スペイン、フィンランド、ドイツ、アイルランド、イタリア、日本、韓国、オランダ、ノルウェー、スウェーデン、英国、米国
- Task 11の目的： Task 11に参加する各国メンバーが重要と認識する共通の研究開発トピックに関して、**専門家間の技術情報交換を通じて風車技術を振興**すること。
- 主な活動： **TEM**（Topical Expert Meeting、専門家会議）を通じた風力研究開発の最新状況の情報交換と、**RP**（Recommended Practice、推奨基準）の策定。
- TEM： 年4回程度開催。
メンバー国からのニーズが高い研究開発トピックについて、専門家を招集し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。
- RP： Task 11 TEM、IEA Wind内の他のTask活動の成果を**推奨基準**として発行。
- その他： Task 11のTEMとして議論された研究開発テーマが**新たなTaskとして発展**するケースが多く、**IEA Windの中でも最も基本的なTask**。
IEA Windが発行した推奨基準が原案となり、**IEC 61400シリーズ**が策定されるケースも多く、**風力発電技術の国際標準化に対して大きく貢献**。

Task 11の概要

Task 11の目的：

- Task 11に参加する各国メンバーが重要と認識する共通の研究開発トピックに関して、専門家間の技術情報交換を通じて風車技術を振興すること

OA（Operating Agent）：

- ～2008年 スウェーデン、FFA（航空研究所）、Sven Erik Thor
- 2009～2015年 スペイン、CENER（国立再生可能エネルギーセンター）、Felix Avia Aranda
- 2015～2016年 スペイン、CENER、Xabier Munduate
- 2017年～ スイス、Planair SA

【補足】これまで国立研究機関の研究マネージャークラスの方がTask 11 OAを務めてこられたが、TEM等のイベント企画・運営を効率的・効果的に実施する観点から、公募により、再生可能エネルギー関連の技術コンサルティング会社であるPlanair SAが2017年からOAとして対応することとなった。

参加国：16の国・地域

- ベルギー、カナダ、中国、CWEA、デンマーク、スペイン、フィンランド、ドイツ、アイルランド、イタリア、日本、韓国、オランダ、ノルウェー、スウェーデン、英国、米国

Task 11の主な活動内容

(1) TEM (Topical Expert Meeting) を通じた風力研究開発の最新状況の情報交換

- 年4回程度開催。
- その時点での各国からのニーズが最も高い研究開発トピックについての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。
- Task 11のTEMとして議論された研究開発テーマが**新たなTaskとして発展するケースが多く、IEA Windの中でも最も基本的なTask。**

(2) RP (Recommended Practice、推奨基準) の策定

- 風車の各種試験方法等、国際的に統一したルールが必要であると考えられる風力関連の推奨基準について、各国からのエキスパートが参加して策定する。
- **この各種推奨技術基準が、IEC 61400シリーズの原案となり、風力技術の国際標準化に対して大きな貢献を果たしている。**
- IEA Windのホームページから自由にダウンロード可能。
➢ <https://iea-wind.org/recommended-practices/>



TEM #83 on "Mitigation of Wind Turbine Impacts on Radar" (2015/10、ドイツ) 開催を記念した集合写真

TEMから新Taskへの発展

TEM #86 – Downwind Turbines,
2016/11、Tokyo、Japan

Task 40 – Downwind Turbines (ダウンウィンド風車)、**日本が初めてTask設置提案を行い承認され、OAを務める。**

TEM #97 on Wind Farm Controls,
2019/09、Amsterdam、The Netherlands

Task 44 – Farm Flow Controls (ウィンドファーム流れ制御)、**ExCo86 (2020.11) にて承認、2021.1から開始。**

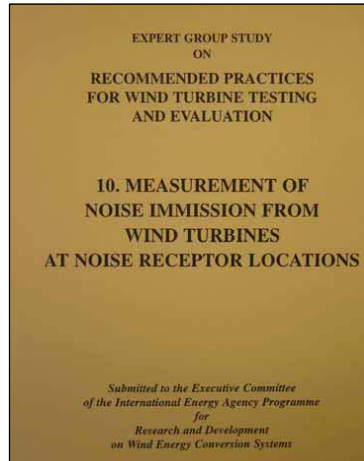
TEM #98 – Erosion of WT Blades,
2020/02、Roskilde、Denmark

Task 46 – Erosion of WT Blades (風車ブレードのエロージョン)、**ExCo86 (2020.11) にて承認、2021.1から開始。**

- 2020年に開催された、TEM#99 (Floating Offshore Wind Arrays)、TEM#101 (Hybrid Power Plants)、TEM#102 (Airborne Wind) についても、新Task提案が検討、調整が進められている。

IEA Wind RP ⇒ IEC 61400シリーズ

- IECにおける国際規格文書の策定には、時間を要する（通常5年以上）。
- IEA Wind Task 11において策定される推奨基準（RP、Recommended Practice）は、より短い期間（通常、1～3年程度）で策定され、このRPがIEC 61400シリーズの原案となるケースが多く、風力技術の国際標準化に対して大きな貢献を果たしている。



IEA Wind Recommended Practice 10 (RP10), Measurement of Noise Immission from Wind Turbines at Noise Receptor Location



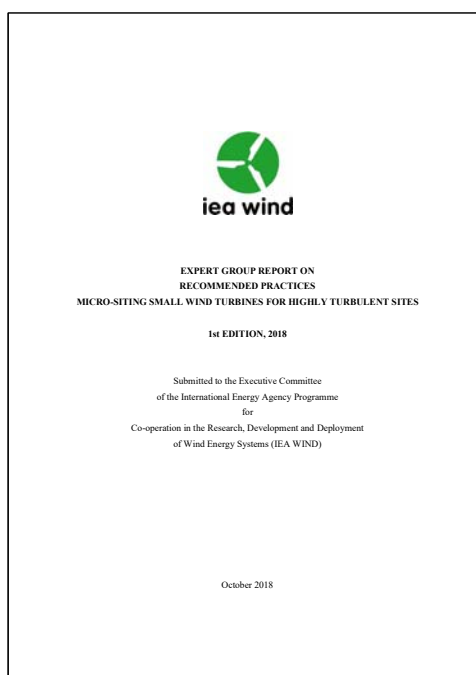
IEC 61400-11
Acoustic noise measurement Techniques

RP, Recommended Practice

No.	タイトル	タイトル(邦訳案)	1版	2版	3版
1	Power Performance Testing	風車性能試験方法	1982	1990	
2	Estimation of Cost of Energy from Wind Energy Conversion Systems	風力変換システムのエネルギーコストの推定方法	1983	1994	
3	Fatigue Loads	疲労荷重	1984	1990	
4	Acoustics Measurement of Noise Emission from Wind Turbines	風車の騒音計測方法	1984	1988	1994
5	Electromagnetic Interference)	電磁波障害	1986		
6	Structural Safety	構造の安全性	1988		
7	Quality of Power, Single Grid-Connected WECS	系統連系・単一風車の電力品質	1984		
8	Glossary of Terms	用語	1987	1993	
9	Lighning Protection	落雷保護	1997		
10	Measurement of Noise Immission from Wind Turbines at Receptor Locations	風車の環境騒音測定方法	1997		
11	Wind Speed Measurements and Use of Cup Anemometry	風速計測とカップ式風速計の利用	1999		
12	Consumer Labelling of Small Wind Turbines	小形風車の消費者ラベリング	2011		
13	Wind Projects in Cold Climates	寒冷地の風力発電プロジェクト	2012	2017	
14	Social Acceptance of Wind Energy Projects	風力発電プロジェクトの社会受容性	2013		
15	Ground-Based Vertically-Profiling Remote Sensing for Wind Resource Assessment	風力資源量評価のための地上設置型垂直プロファイリングリモートセンシング	2013		
16	Wind Integration Studies	風力発電の系統連系に関する調査	2013	2018	
17	Wind Farm Data and Reliability Assessment for O&M Optimization	O&M最適化のためのウィンドファームデータ収集及び信頼性評価	2017		
18	Floating Lidar Systems	浮体式ライダーシステム	2017		
19	Micro-Siting Small Wind Turbines for Highly Turbulent Sites	高乱流サイトにおける小形風車のマイクロサイティング	2018		
20	Selecting Renewable Power Forecasting Solutions	再生可能エネルギー発電電力量予報	2018		

- <https://iea-wind.org/recommended-practices/> から、自由にダウンロード可能。

RP, Recommended Practiceの例



IEA Wind Recommended Practice 19 (RP), 1st Edition (2018),
Micro-Siting Small Wind Turbines for Highly Turbulent Sites

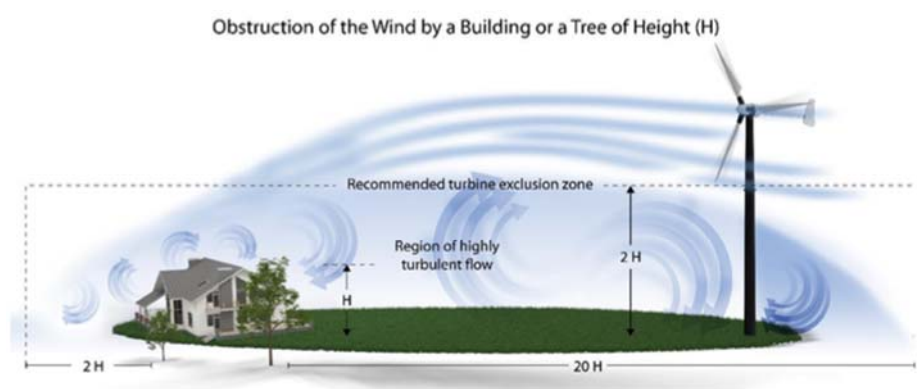


Figure 1. Zone of disturbed flow over a small building [1]

最近のTEM (2020-2023)

Year	TEM #	トピック	日程	開催国	日本からの参加者(敬称略)
2023	110	Instrumentation Development(計測機器開発)	2023.11.2	米国	-
	109	Grand Challenges in Wind Energy Follow-on(風力のグランドチャレンジ)	2023.2.28-3.1	米国	-
	108	Technology Transfer(技術移転)	2023.2.22-23	オンライン開催	-
	107	Wind Energy Research Needs in Emerging Wind Energy Markets (新興市場における風力研究の必要性)	未定		
	106	Renewable Hydrogen in 100% Renewable Energy Systems (再生可能エネルギー水素)	2023.9.5-6	米国 & オンライン	横浜国立大相原・松澤 熊本県産業技術センター大城
	105	Sustainability / Harmonized Life Cycle Analysis (持続可能性/ハーモナイズドLCA)	2023.9.21-22	スイス	-
2022	104	Wind Farm Asset Management(風力発電所の資産管理)	未定		
	103	Offshore Wind Licensing and Consenting(洋上風力発電の許可)	2022.2.8-11	オンライン開催	-
2021	開催なし				
2020	102	Airborne Wind Energy(エアボーン風力)	2020.9.23-24	オンライン開催	東京都立大藤井、九大吉田・Mostafa Rushdi、前田建設 工業丸山、神奈川工科大大久保、福井大高橋、トヨタ板倉 (JWEA空中風力発電研究会)
	101	Hybrid Power Plants Challenges and Opportunities(ハイブリッド発電)	2020.8.24-26	オンライン開催	日立パワーソリューションズ紺谷・寺山・林
	100	Aviation System Cohabitation(航空システムとの両立)	2020.12.8-9	オンライン開催	
	99	Floating Offshore Wind Arrays(浮体式洋上風車の配列効果)	2020.7.15&17&20	オンライン開催	清水建設嶋田
	98	Erosion of Wind Turbine Blades(風車翼のエロージョン)	2020.2.6-7	デンマーク	産総研田中 (JWEAブレード技術研究会)

- 年4回のTEMの開催が基本。
➢ 2022年は1回、2023年は5回の開催
- 2020年はオンライン開催がメインとなり、このため、毎回の参加者が100名（以前は20名程度）程度に増えるケースも。
- 派遣する専門家は、IEA Wind国内委員会における委員からのご意見を踏まえ、Task 11担当委員小垣及び事務局（WEIT様）が検討・調整の上、国内委員会及びNEDO様に了承いただくという形で選任する。

TEM開催状況

2023年には、トータル5回のTEMが開催された。

- TEM #105 on LCA
 - 提案：スイス
 - 開催日程：2022年9月21～22日
 - 開催地：スイス、ヴェーデンスヴィル
 - 参加者：33名
- TEM #106 on Renewable Hydrogen
 - 提案：アイルランド、米国
 - 開催日程：2023年9月5～6日
 - 開催地：米国、コロラド州ボルダー + オンライン
 - 参加者：88名（日本から3名参加）
- TEM #108 on Technology Transfer
 - 提案：ドイツ
 - 開催日程：2023年2月22～23日
 - 開催地：オンライン
 - 参加者：32名
- TEM #109 on Grand Challenges
 - 提案：米国
 - 開催日程：2023年2月28日～3月1日
 - 開催地：米国、コロラド州ボルダー
 - 参加者：126名

Technical Results / Deliverables

- 4 TEM realized, 1 TEM coming soon

No.	TEM #	New TEM Title	Proposed by (Lead Member)	Core Team Lead	Date TEM Approved	Target Date for TEM (Qtr/Yr)	Location	Status	# of participants
1	105	Sustainability / Harmonized Life Cycle Analysis	Switzerland	Matthias Stucki, Silvan Wanner	01.mars.22	Sept 21-22	Wädenswil (Switzerland)	Made	33
2	106	Renewable Hydrogen in 100% renewable energy systems	Ireland - New lead by US	Genevieve Starke, Shane McDonagh, Stephan Barth, Ignacio Marti (Wind), Daniel Mugnier, Gaetan Masson (PVPS), Paul Lucchese, Marina Holgado (H2)	01.mars.22	September 5-6th 2023	Boulder (US)	Made	88
4	108	Technology Transfer	Germany	Andy Clifton, Ines Wirth, Stephen Wyatt	oct.22	March 22nd and 23rd 2023	Online (2-5PM CET)	Made	32
6	109	Grand Challenges in Wind Energy Follow-on	USA (Jim Ahlgrim)	Paul Veers, Katherine Dykes, Mike Robinson	01.mars.22	February 28th, March 1st	Boulder (US)	Made	126
7	110	Wind Instrumentation Development	USA (Jim Ahlgrim)	Tommy Herges, Pat Moriarty, David Maniadis	01.mars.22	November 2nd (Wind Science Conference side)	Denver (US) - Omni Interlocken Hotel	Registration closing	24 participants registered

第92回ExCo会議（2023年10月）におけるTask 11報告資料（抜粋）

- TEM #110 on Instrumentation Development
 - 提案：米国
 - 開催日程：2023年11月2日（NAWEA WindTech 2023 Conference併催）
 - 開催地：米国、コロラド州・デンバー
 - 参加者：24名（ExCo92報告時の登録者数）

TEM #106 on Renewable Hydrogen

- 提案：アイルランド、米国
- 開催日程：2023年9月5～6日
- 開催地：米国、コロラド州ボルダー + オンライン
- 参加者：88名
 - 日本からの参加者：
 - 横浜国立大学 相原雅彦講師、松澤幸一准教授
 - 熊本県産業技術センター 大城善郎研究主任

統合提言（大城様報告書抜粋）：

2日間にわたる議論を統合すると、グリーン水素プラントのシステムデザインと運用に関連する研究開発は、技術革新のみならず、社会的受容性、政策、市場戦略の改革を含めた複合的なアプローチが必要である。特に、消費者のニーズとインセンティブのシステムを考慮に入れた、効率的でコスト効果の高いプラントデザインの開発が求められる。また、標準化、データ共有、ユースケースの明確化といった分野で国際的な協力が不可欠である。これらの取り組みを通じて、テクノロジーの進化だけでなく、水素エネルギーシステムの社会経済的な導入を加速させる必要がある。

スケジュール：

Day 1: September 6, 2023

- 09:00 Opening Remarks
- 09:10 Workshop Objectives and Expectations
- 09:15 International Energy Agency (IEA) Wind, Hydrogen, and Photovoltaic Power Systems
- 10:45 Networking Break
- 11:00 Participant Lightning Round
- 12:00 Networking Lunch
- 13:00 Breakout Group Objectives and Expectations
- 13:15 Breakout 1: Infrastructure and Grid Integration of Clean Hydrogen
- 14:15 Breakout 2: Policy and Market of Clean Hydrogen
- 15:15 Networking Break
- 15:30 Topic 1-2 Group Report and Discussion
- 16:15 Wrap-Up and Adjourn

Day 2: September 7, 2023

- 09:00 Breakout 3: Systems Design and Operations of Clean Hydrogen Plants
- 10:15 Topic 3 Group Report and Discussion
- 10:45 Networking Break
- 11:00 Group Discussion
- 12:15 Networking Lunch
- 13:15 Group Discussion
- 14:30 Networking Break
- 14:45 Group Discussion
- 16:00 Wrap-up, Next Steps, Q&A.

今後のTEM開催予定

1つのTEMが2024年に開催予定（TEM #104）、
1つのTEMがペンディング状態（TEM #107）。

- TEM #107 on Research Needs
 - 提案：アイルランド
 - 開催日程：未定
 - 開催地：未定
- TEM #104 on Wind Farm Asset Management
 - 提案：アイルランド
 - 開催日程：2024年（詳細未定）
 - 開催地：未定

Technical Results / Deliverables



- 1 additional planned TEM

No.	TEM #	New TEM Title	Proposed by (Lead Member)	Core Team Lead	Date TEM Approved	Target Date for TEM (Qtr/Yr)	Location	Status	# of participants
3	107	Wind Energy Research Needs in Emerging Wind energy markets	Ireland	John McCann, Jan Baring-Gould, Mark Leybourne, Alastair Dutton, Jose Rodrigo Rojas Morales	oct. 22	Not defined		Need of a new host to consider in top-down	
5	104	Wind Farm Asset Management	Ireland,	Thomas Knowl, John McCann	mars.21	2024			

17

第92回ExCo会議（2023年10月）におけるTask 11報告資料（抜粋）

TEM トピック選定最新状況

7つのトピック候補から、ExCoメンバーによる投票により、4つが選定（**TEM#太字**）され、TEM#111～114として承認された（ExCo92）。

- **Net Zero Electricity System Studies (ネットゼロシステム) – TEM#113**
- **Use of reanalysis data in the wind energy context (再解析データ) – TEM#111**
- **Artificial Intelligence for Wind Energy (人工知能) – TEM#114**
- Grid Integration Study of Type-5 Wind Turbines: Recommended Practices for Modeling and Validation (系統連系)
- Floating Vertical-Axis Wind Turbines (浮体式垂直軸風車)
- **Impact of Extreme Weather on Offshore Wind Energy Systems (洋上極値気象) – TEM#112**
- Internal Need: TCP Int & Ext Communication (内部ニーズ)

Vote results



Topic	Host	Target date	Proposal for ballot
7: Impact of Extreme Weather on Offshore Wind Energy Systems	USA	S2 2024	Approved and prioritized by majority
2: Use of reanalysis data in the wind energy context	Denmark	S1 2024	Approved and prioritized by majority
1 : Net zero Electricity Studies	Ireland	S1 2024	Approved by majority, prioritized if host and location are confirmed within 2 months
3: Artificial Intelligence for Wind Energy	USA	S1 2025	Approved by majority, host has a target date in 2025 – approved for 25 ?

38

第92回ExCo会議（2023年10月）におけるTask 11報告資料（抜粋）

まとめ – IEA Wind Task 11

- IEA Wind Task 11は、年4回程度開催されるTEM（Topical Expert Meeting）を通じ、**風力関連ホットピックの情報共有を行う、国際的にも価値の高い場を提供。**
 - TEMに参加し各テーマに関する他国の専門家と議論する事により、国内の関連技術レベル向上が期待される。
- IEA Wind Task 11のTEMが、IEA Windにおける**新Taskへ発展**するケースが多く、技術の確立に関してイニシアチブを取る一つの有力な手段である。
 - Task 11が、IEA Windの中で最も**基礎となるTask活動**。
- 今後のTEMトピック
 - 新興市場での研究ニーズ
 - 資産管理
 - ネットゼロシステム
 - 再解析データ
 - 人工知能
 - 洋上極値気象

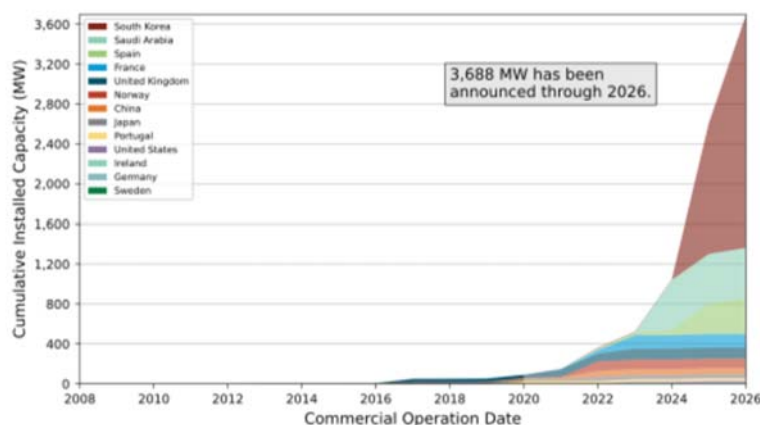
Task49 浮体式洋上風力発電所の統合設計 Integrated Design on Floating wind Arrays (IDeA)

Atsushi Yamaguchi
yamaguchi.atsushi@g.ashikaga.ac.jp



Task49 の目的

- 浮体式洋上風力発電所は2020年現在、世界で79MWが運転しているに過ぎないが、今後10年間で飛躍的な増大が期待されている。



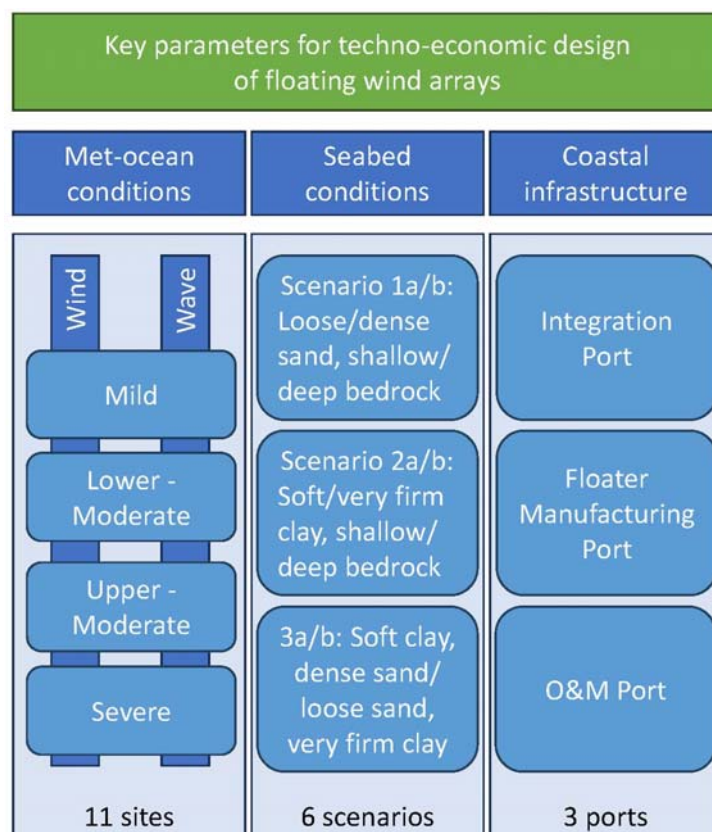
Musiel et al., (2021)

- Task49は、世界各国における浮体式洋上風力発電所の最適設計に資するため、標準的な浮体式洋上風力発電所を定義し、標準的な設計手法の枠組および設計ツールを開発する。

- WP1:標準設計条件の定義
世界各国の観測データ、シミュレーションデータを元に、いくつかの標準設計条件を定義する。(極値風速、極値波高、風速と波高の結合確率分布等)
- WP2:標準発電所(Array)の定義
風車配置、ユニット(風車-浮体)、係留方法、送電ケーブル、変電所、等を含む標準浮体式風力発電所を定義する。
- WP3:発電所レベルでの損傷リスクと低減
発電所レベルでの損傷モードを明らかにし、その影響を明らかにする。
- WP4:問題点の明確化
各ワークパッケージにおける問題点を明らかにし、今後の研究課題を明らかにする。

WP1 標準設計条件の定義

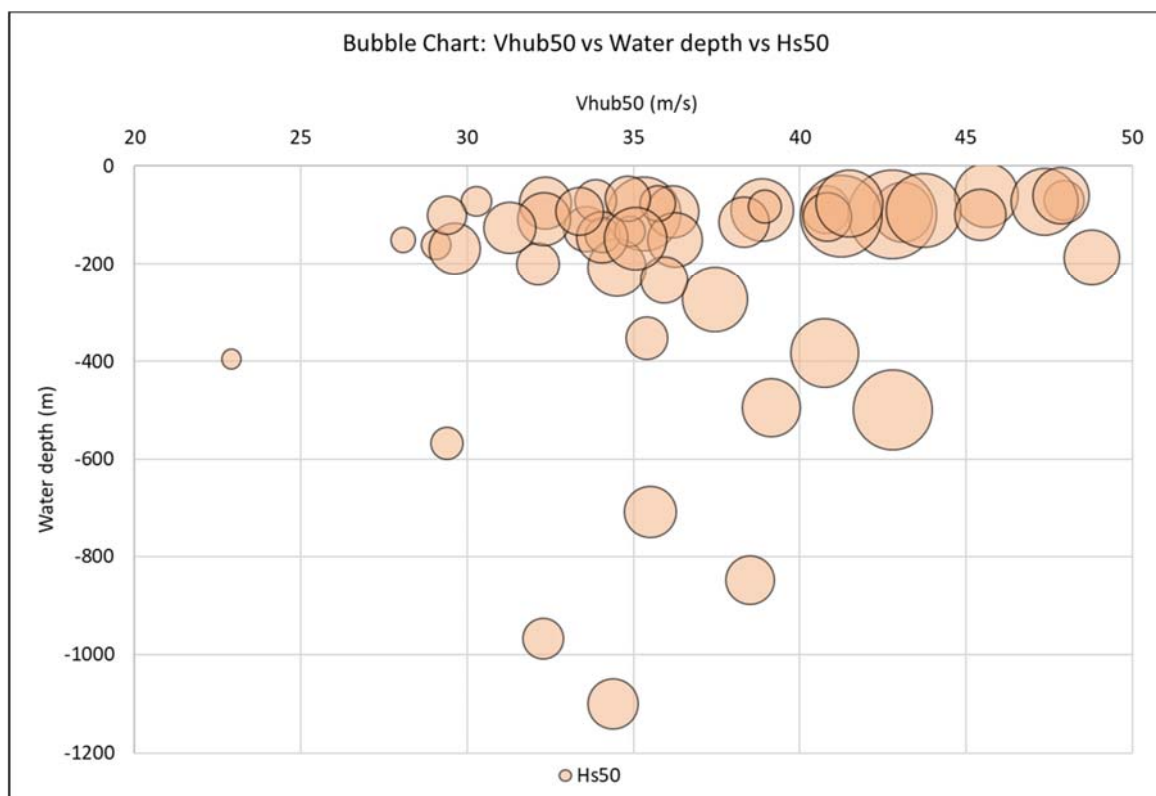
- 気象海象条件
- 海底地盤条件
- 沿岸インフラ
- 環境影響
- 社会・経済影響
- 規制と許認可

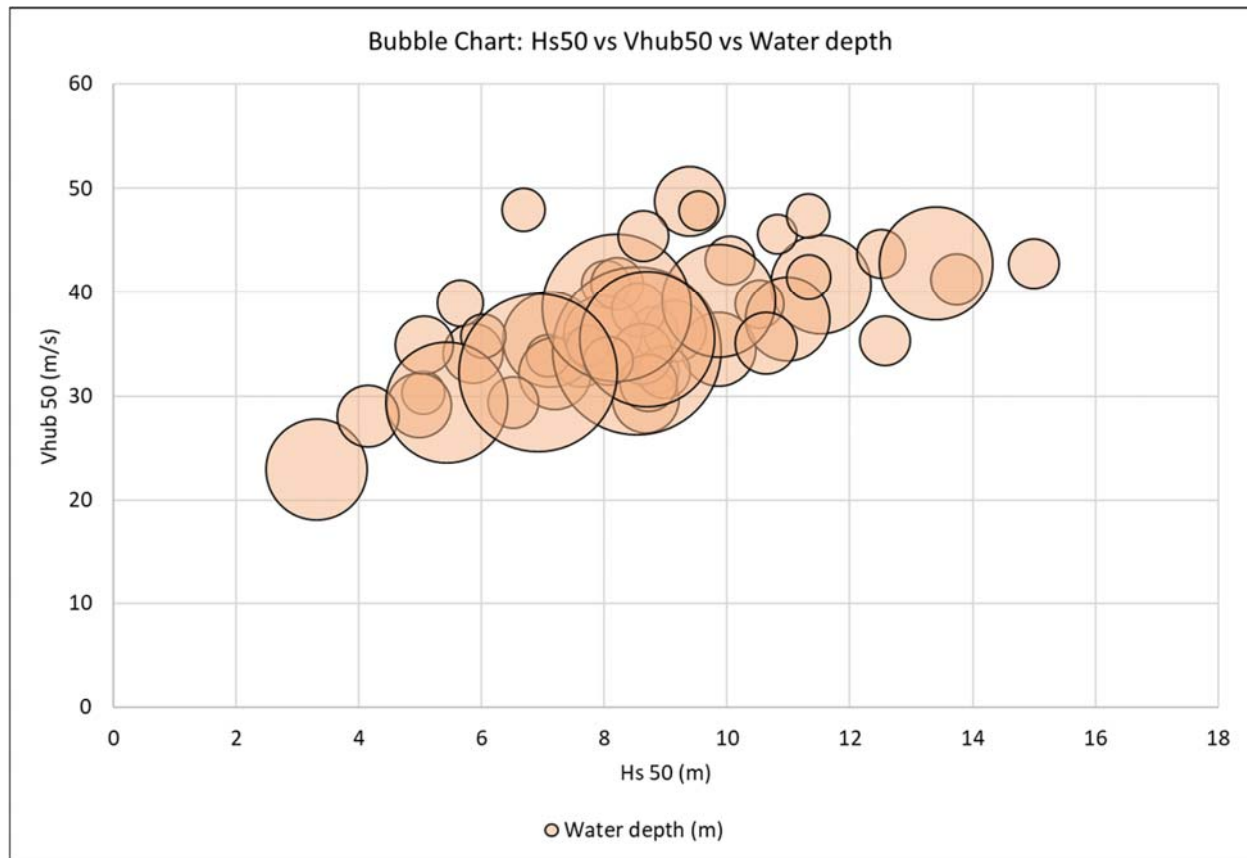


気象・海象条件の分類

- 全世界69サイトにおいて、ERA5再解析データ(気象:0.25度解像度;海象0.5度解像度)の生データを用いて、風速と波浪の極値を推定した。
- 各サイトの水深をGEBCO(GEneal Bathymetric Chart of the Oceans)データから抽出。

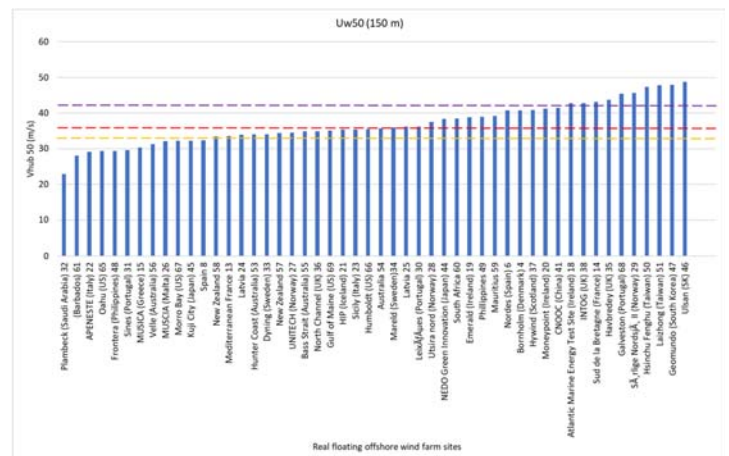
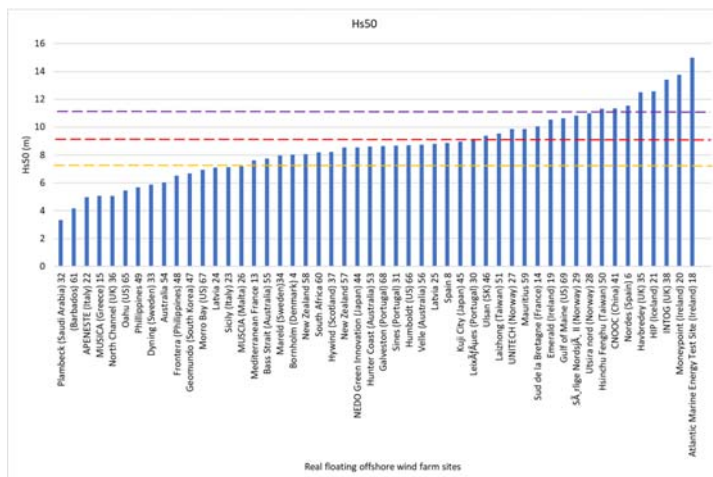
水深と極値の関係



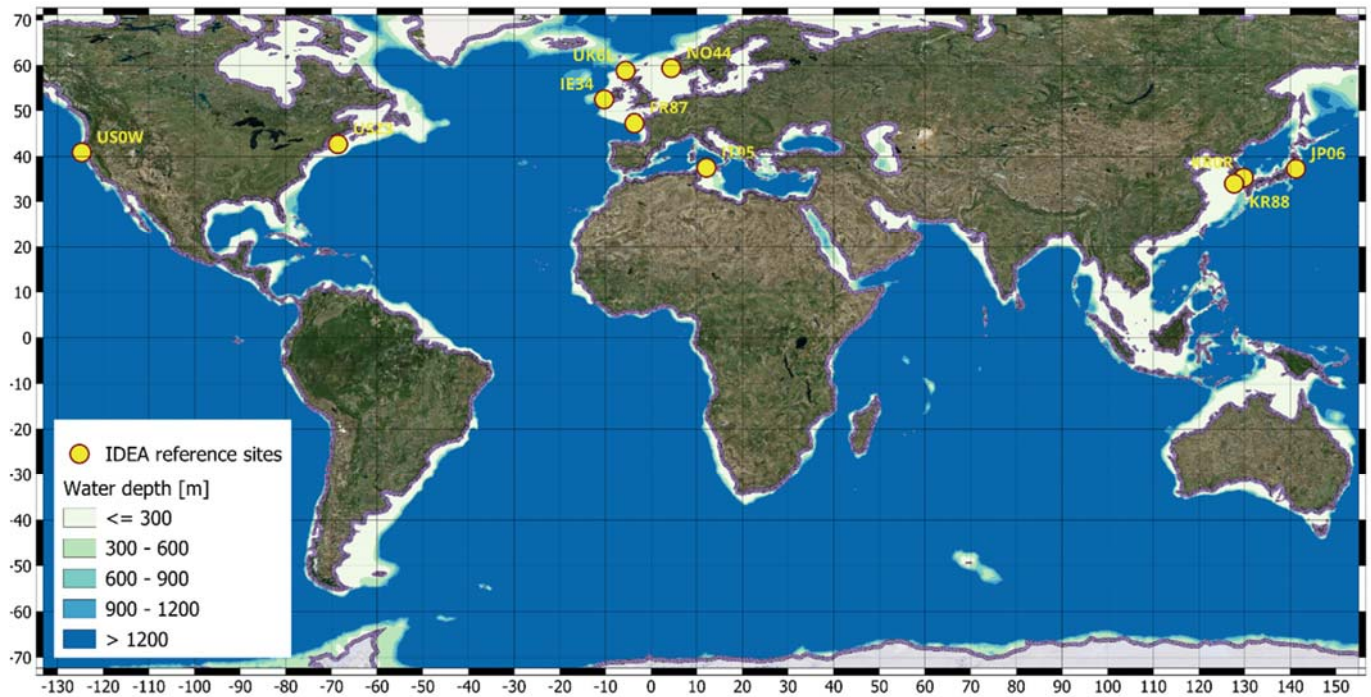


49サイトの極値の分類

8



Severity	Wind threshold (m/s)	Wave threshold (m)
Mild	< 33	< 7.5
Lower Moderate	33 < 36	7.5 < 9
Upper-Moderate	36 < 42	9 < 11
Severe	> 42	> 11



ID*	Name	Latitude [deg]	Longitude [deg]	Water depth [m]	Distance from shore [km]
IT95	Hannibal	37.536	12.12	-353	35
US0W	Humboldt	40.928	-124.708	-707	43.8
KR0R	Ulsan	35.344722	129.841389	-188	32
IE34	MoneyPoint One	52.519	-10.276	-102	23.4
UK6L	Havbredey	58.84328	-5.580929	-91	41.6
JP06	Fukushima	37.311	141.251	90	19.4
NO44	Utsira Nord	59.411	4.433	-273	42.4
USZ3	Gulf of Maine	42.755	-68.583	-148	138
KR88	Geomundo	34.026	127.7	-70	47
FR87	Sud de la Bretagne II	47.325	-3.659	-94	30.7

海底地盤条件(例)

・ シナリオ1a

Soil	Depth of top of the strata (mbgl)	Bulk Density (kN/m ³)	Permeability (m/s)	Undrained Shear Strength (kPa)	Friction Angle (°)	Elastic Modulus (MPa)	Poisson Ratio
Loose SAND	0	16	10 ⁻⁴	-	30	5	0.30
Shallow BEDROCK	10	20	10 ⁻⁸	10,000	30	50	0.35

・ シナリオ2b

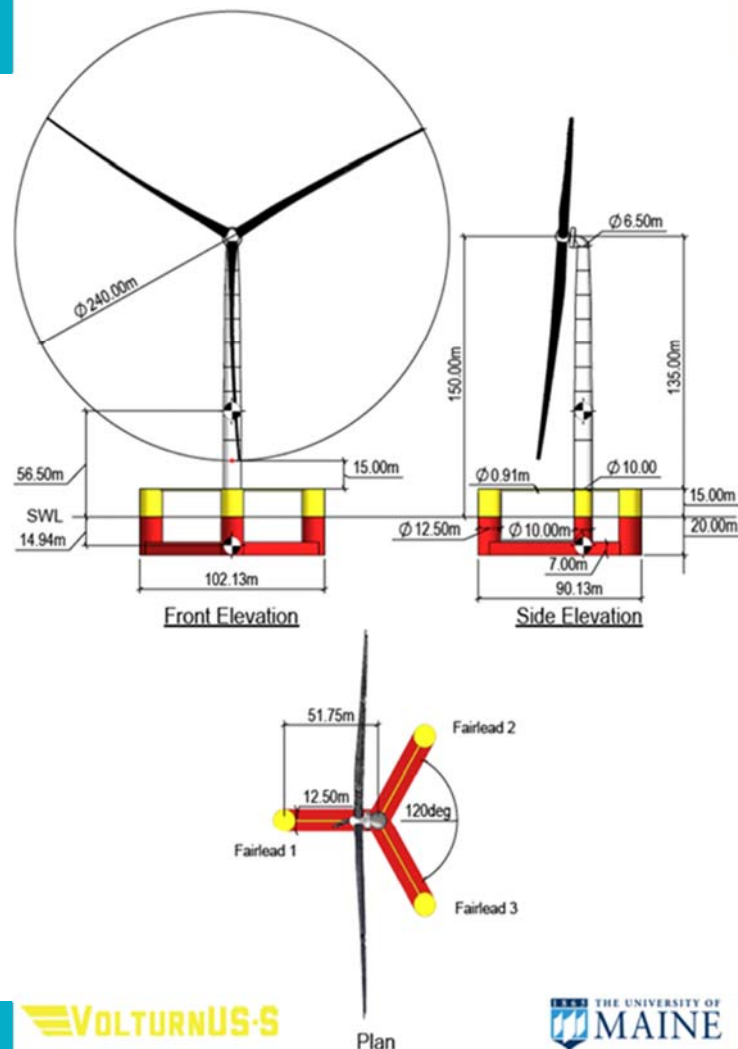
Soil	Depth of top of the strata (mbgl)	Bulk Density (kN/m ³)	Permeability (m/s)	Undrained Shear Strength (kPa)	Friction Angle (°)	Elastic Modulus (MPa)	Poisson Ratio
Very firm CLAY	0	20	10 ⁻⁸	250	-	15	0.30
Deep BEDROCK	70	24	10 ⁻⁹	15,000	35	200	0.25

WP2: 標準風力発電所の考え方

Feature	Greatest Interest	Secondary Interest
Layout	Regular rectangular	Triangular, irregular, optimized
Turbine size	15 MW	~20 MW or a range of sizes (12, 15, 18)
Turbine number	Multiple array sizes in the range of 20-100 turbines	As few as 7-10 turbines
Platform type	Steel semisubmersible	Spars, TLPs, barges, concrete construction
Mooring configuration	All basic types (cat-TLP)	Different rope materials, shared configurations, load reducers, multiple anchor types, seabed dependence
Dynamic Cable Configuration	Lazy wave	Catenary free-hanging, suspended W, etc.
Intra-array cable rating	66 kv and 132 kV	
Depth	Shallow, medium, and deep options	
Misc	Seabed changes and anchor/mooring implications	Substation, cable connections, and export cable

ユニットの一例

- IEA 15MW (Task37) 風車
- メイン大学VoluturnUS-S セミサブ浮体



IEA Wind セミナー 2024

VOLTURNUS-S

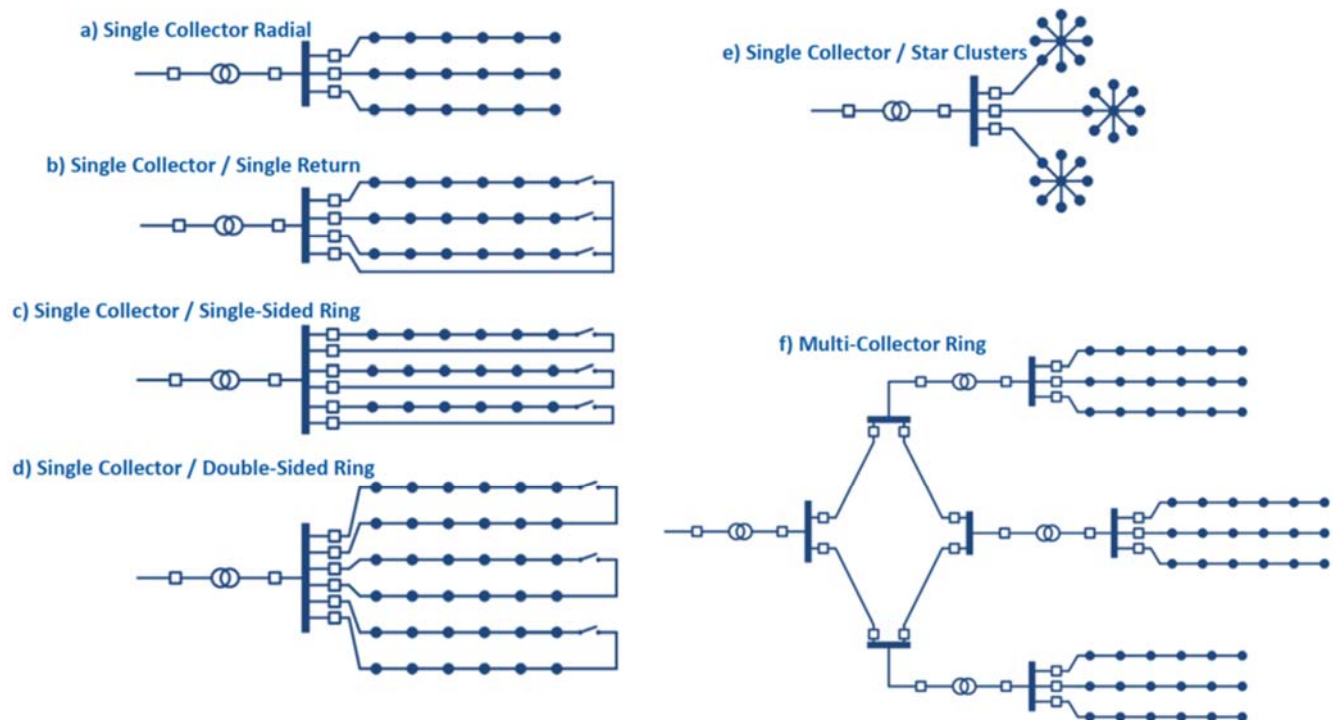
THE UNIVERSITY OF
MAINE

WP2:係留設計－既存の係留のレビュー

Type	Water depth (m)	Turbine size (MW)	Diameter (mm)	Mass density (kg/m)	Total length (m)	Anchor Spacing (m)	Source
Pure chain	200	15	185	685	850	838	VoluturnUs-S reference design
Pure chain	50	15	185	685	381	431	NREL
Pure chain	200	15	216	286.56	832		COREWIND
Chain and Clump Weights	150	15	185	597	835	837.6	HYPERWIND
Chain nylon	100	15	Asymmetric mooring design more detailed design in COREWIND D2.2				COREWIND
Chain polyester	870	15	Asymmetric mooring design more detailed design in COREWIND D2.2				COREWIND
Polyester	600	10	175	24	1374	1300	NREL
Nylon	36	2	216	30.5			Pham et al. (2019)

IEA Wind セミナー 2024

AUG
ASHIKAGA UNIVERSITY GROUP



スケジュール

- WP1: 2021～2023
- WP2: 2021～2025
- WP3: 2022～2025 (?)
- WP4: 2021～2025 (?)

年2回程度の対面会議、都度オンライン会議

第12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

■ Operating Agents

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/再生可能流体エネルギー研究センター/
洋上風力エネルギー高度利用分野/教授

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/部門長



九州大学
KYUSHU UNIVERSITY

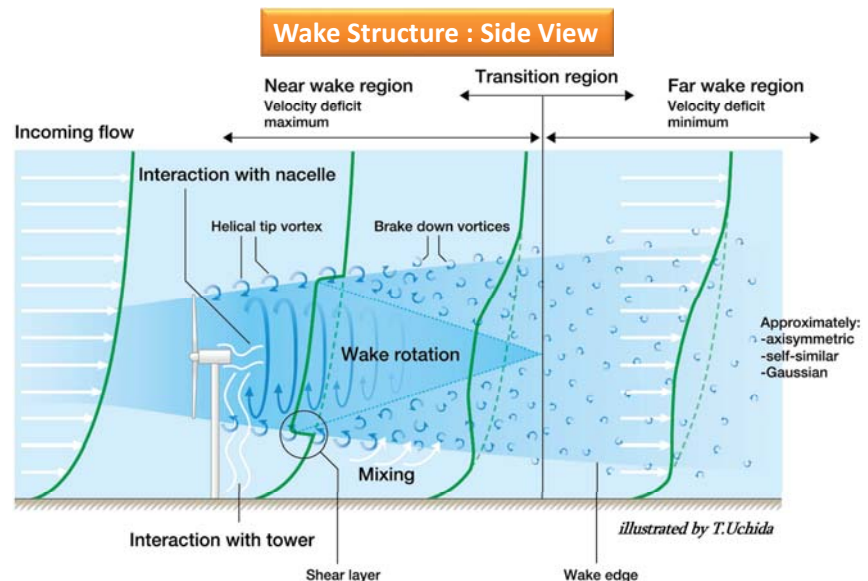


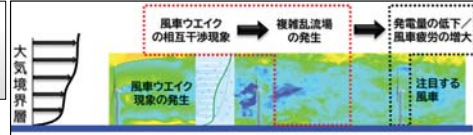
IEA Wind TCP Task44



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

What is the wind turbine wake phenomenon ?





A turbine, standing in the wake of another turbine, will experience a higher structural loading due to a higher turbulence intensity, and will not extract the same amount of energy as a turbine standing in the free wake.



- Photograph taken by Christian Steinus in 2008, photo taken on the special atmospheric conditions.
- And what we nicely can see in this photograph is that there is interaction between turbines, so wake interaction.



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。

- 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。
- IEA Wind国内委員会(締約機関:NEDO)からの推薦・審議を経て、IEA Windの国際共同研究活動(Task 44)に参画している(2021年12月15日～)。

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、ベストプラクティス・データ交換の促進

IEA Wind TCP Task44



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



国立再生可能エネルギー研究所(NREL)
アメリカ



CENER

NATIONAL RENEWABLE
ENERGY CENTRE

国立再生可能エネルギーセンター(CENER)
スペイン



TU Delft WIND

デルフト工科大学(TUD)
オランダ



デンマーク工科大学
デンマーク

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



日本の体制

- 九州大学/内田 孝紀 (代表者)
- 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



Task44 ワークパッケージ(WP)

Work Package 1

Track the evolving state of the art in wind farm control through collection of research results and expert elicitations

Develop set of recommendations and best practices

研究成果の収集

Work Package 2

Characterize and quantify sources of uncertainties

Develop methods for estimating AEP/loads with overall uncertainty

Develop set of recommendations and best practices



Work Package 3

Characterize the building blocks which define wind farm control

Build an overview of available options, specifications and assess TRL of each

Give a full landscape of the solution space

技術・アルゴリズムの開発

Work Package 4

Collaborate and coordinate with other IEA Tasks and other wind farm control R&D activities

Based on tasks 1-3 and external projects, identify research gaps

Develop research roadmap

他のプロジェクトとの連携

メインにWP2へ参加

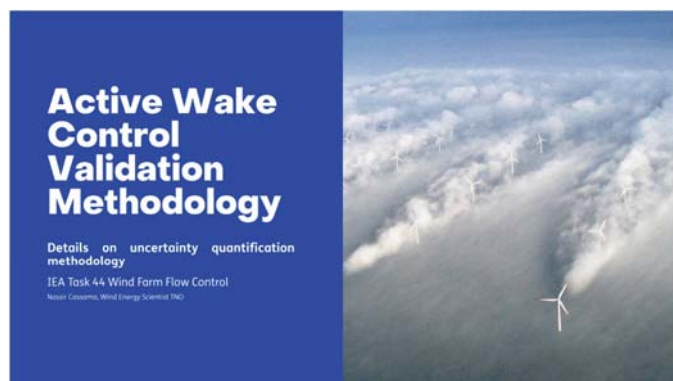
Uncertainty Quantification / 不確実性の定量化

WP2 活動状況

- Monthly meetings
- “Review and Best Practices” papers

Review and best practices for wind farm control field validation

- Presenting at a monthly meeting!



- MTG_20220523
- MTG_20220531
- MTG_20220615
- MTG_20221208
- MTG_20230201
- MTG_20230301
- MTG_20230425
- MTG_20230627
- MTG_20230725
- MTG_20230926
- MTG_20231024
- MTG_20231113_GeneralMTG
- MTG_20231129

IEA Task44 WP2 Monthly Meeting 議事録	
2023/7/25	
プロジェクト	IEA Task44
開催日時	2023年7月25日(火) 23:00-24:00
場所	Microsoft Teams
出席者(順不同/敬称略)	東京ガス 村上 東芝 ESS 深谷
議題	1. discussing and coordinating work on the paper "Review and best practices for wind farm control field validation." 2.

■議事項目

1. discussing and coordinating work on the paper "Review and best practices for wind farm control field validation."

発表者: Eric Sinley@NREL

➢ Task44 メンバーで執筆中の論文の構成や、各章の担当者などに関する議論。

➢ 論文の構成は以下:

タイトル: Review and Best Practice for Wind Farm Flow Control Filed Assessment

- 1章: Introduction
- 2章: Overview of Field Validation Method for Wind Energy Application
- 3章: Review of Wind Farm Control Field Validation Experiment
- 4章: Recommendation for Filed Validation of Wind Farm Flow Control
- 5章: Demonstration of Filed Validation for Example Wind Plants
- 6章: Conclusion

➢ IEA Wind Task 44 Wiki のリンクが以下に変更
<https://seawindtask44.nrel.gov/>

以上



Monday, November 13, 2023 11:00 PM (JST)

IEA Task 44 General Meeting - Fall 2023

Paul Fleming, Task 44 Operating Agent
(paul.fleming@nrel.gov)



IEA Wind Task 44 Talks ①

@ieawindtask44talks21 チャンネル登録者数 141人・13本の動画

このチャンネルの詳細

ホーム 動画 コミュニティ

新しい動画 人気のある動画 古い動画

Reinforcement Learning - offline
The use of model actions and actions from policy is...
1:49 視聴数・1年前

Christian Adrock - Differentiable Predictive Control for Dynamic Wake Steering
1:49 視聴数・1年前

Aufle Henry - A Robust Auto-Tuning Procedure for Wind Turbine Individual Pbc...
1:74 視聴数・1年前

Johan Meyers - Towards LES-based optimal control of wind farms
2:11 視聴数・1年前

Daniel van den Berg - How dancing floating wind turbines can alleviate turbine wake...
2:10 視聴数・1年前

Adam Stock - StrathFarms: A Demonstration of the University of Strathclyde Wind Farm...
1:48 視聴数・1年前

Eric Simley - Results from a Wake Steering Experiment at a Commercial Wind Plant
1:48 視聴数・1年前

Robert Brunsden - Wind farm as a sensor: Improving FLORIS predictions with...
1:74 視聴数・1年前

Christopher Ray - FLORIS v3.0: Speed-ups and the new Cumulative-Curl model
4:14 視聴数・1年前

Sebastian Mulders - The limitations of state-of-the-art torque control strategies to...
1:17 視聴数・1年前

Michael Howland - Wind farm wake steering control under transient atmospheric...
7:41 視聴数・1年前

Adrien Guilford - The development of load surrogates models for wind farm control...
2:41 視聴数・1年前

Niklas Abbas - ROSCO: A reference controller for fixed and floating wind...
1:16 視聴数・1年前

Competition
1:20 視聴数・1年前

Marcus Becker - FLORIS: Development of a fast-running dynamic wind farm model fo...
4:46 視聴数・1年前

<https://www.youtube.com/@ieawindtask44talks21>

IEA Wind Task 44 Wiki ②

Database of Field Experiment Research Results

Wind Farm Information

Article	Publication Year	Field Name	Number of Turbines	Turbine Technology	Turbine Type	Location
Reinforcement Learning - offline	2023	FLORIS	5	2.0-2.5 MW	Fixed	Strathclyde
Christian Adrock - Differentiable Predictive Control for Dynamic Wake Steering	2023	FLORIS	20	2.0-2.5 MW	Fixed	Strathclyde
Aufle Henry - A Robust Auto-Tuning Procedure for Wind Turbine Individual Pbc...	2023	FLORIS	5	2.0-2.5 MW	Fixed	Strathclyde
Johan Meyers - Towards LES-based optimal control of wind farms	2023	FLORIS	5	2.0-2.5 MW	Fixed	Strathclyde
Daniel van den Berg - How dancing floating wind turbines can alleviate turbine wake...	2023	FLORIS	5	2.0-2.5 MW	Fixed	Strathclyde
Adam Stock - StrathFarms: A Demonstration of the University of Strathclyde Wind Farm...	2023	FLORIS	5	2.0-2.5 MW	Fixed	Strathclyde
Eric Simley - Results from a Wake Steering Experiment at a Commercial Wind Plant	2023	FLORIS	5	2.0-2.5 MW	Fixed	Strathclyde
Robert Brunsden - Wind farm as a sensor: Improving FLORIS predictions with...	2023	FLORIS	5	2.0-2.5 MW	Fixed	Strathclyde
Christopher Ray - FLORIS v3.0: Speed-ups and the new Cumulative-Curl model	2023	FLORIS	5	2.0-2.5 MW	Fixed	Strathclyde
Sebastian Mulders - The limitations of state-of-the-art torque control strategies to...	2023	FLORIS	5	2.0-2.5 MW	Fixed	Strathclyde
Michael Howland - Wind farm wake steering control under transient atmospheric...	2023	FLORIS	5	2.0-2.5 MW	Fixed	Strathclyde
Adrien Guilford - The development of load surrogates models for wind farm control...	2023	FLORIS	5	2.0-2.5 MW	Fixed	Strathclyde
Niklas Abbas - ROSCO: A reference controller for fixed and floating wind...	2023	FLORIS	5	2.0-2.5 MW	Fixed	Strathclyde

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

IEA Wind Task 44 - Wind Farm Flow Control ③

Coordinating international research in the fields of wind farm flow control.

1,314メンバー・104人のフォロー・51~200人の従業員

フォロー フォロワー アクセシビリティ

ホーム 概要 投稿 求人 従業員

今後のイベント

水 (2024年5月29日) 4:00
Task 44 General Meeting
参加者3人

<https://www.linkedin.com/company/iea-wind-task-44-wind-farm-flow-control/>

NEXT GENERAL MEETING

Planning to meet Tuesday, May 28th before the start of Torque



TORQUE 2024

Florence - Italy

May 29th - 31st, 2024

166 : 22 : 12 : 2

DAYS HOURS MINUTES SECONDS

風車ウエイク研究会：2021.4～2023.3



IEA Wind TCP Task44 との連携

ウィンドファームの流れ場制御研究会：2023.4～2025.3

活動内容(2か月に1度をめどに開催)：■海外の動向調査 ■国内の情報共有 / 情報発信

研究会名称	ウィンドファームの流れ場制御研究会	
研究の目的, 期待される成果	IEA task 44 のウィンドファームの流れ場制御(Flow Farm Control)では、風力発電所の制御アルゴリズムと性能向上への貢献を目的とし、風車ウェイクステアリング手法等が議論されている。日本からも内田が代表者となり、数名の委員登録の下、task 44 に参加している。今後、国内の洋上風力発電分野においても task 44 で議論されている研究開発が重要になってくる。そのため、本研究では IEA task 44 の国内チームと連携を図りつつ、最新の風車ウェイク研究について調査を行う。また同時に国内の風車ウェイク研究についても情報交換を行う。	
体制		
主査/副主査	会員氏名	所属
主査	内田孝紀	九州大学応用力学研究所
副主査	鈴木章弘／谷垣洋一郎	(株) 風力エネルギー研究所
年月	内容	費目・予算
2023 年 3 月	メンバー公募	
2023 年 4 月	研究会発足	
2025 年 3 月	学会誌特集号投稿	

海外の最新動向

Wednesday July 7th 2021



Smart wind farms

Jan-Willem van Wingerden
※ Task44 の Operating Agent

TWIND, Delft, The Netherlands

Full professor TU Delft, DCSC,
Data Driven Control, Wind Turbine
and Wind Farm Control
(Lab HP) <https://www.janwillemvanwingerden.nl/>






Wind farms that can reduce the effect of wakes

- The main objective is to get more energy out of the wind farm, but also taking into account that we don't want to increase the loading too much on the individual turbines.
- We typically build a first principles model. But the first principle model doesn't capture all the dynamics of a real wind farm or a real wind turbine.
- So what we believe is that we always have to augment our model with measurements. And again, we use here the data driven control approach.

Quote source: TWIND Summer School - Session_Morning_07_07
More info: <https://twindproject.eu/>

TWIND aims to create a network of excellence that will dynamize a pool of specialized research professionals and trainers in the domain of offshore wind energy.

Lidar (sensors)



Reconstruction wind field



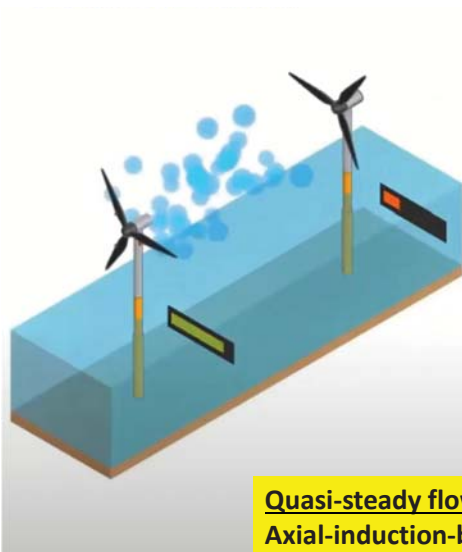
Prediction wind field



Real-time optimization

- In reality, we don't have access to the flow information. So the only thing that we have is measurements. So we only have measurements on a turbine level.
- So what we have to do if we want to do wind farm control and maybe this repositioning (floating). And we have to reconstruct the wind field.
- Then if we have the wind field we have to predict what's going on.
- And then we have to optimize. And then we can do a repositioning (floating). But we can also use already existing control technology on a turbine to maximize the energy capture and or to reduce the structural loading in the wind.

Control Technologies



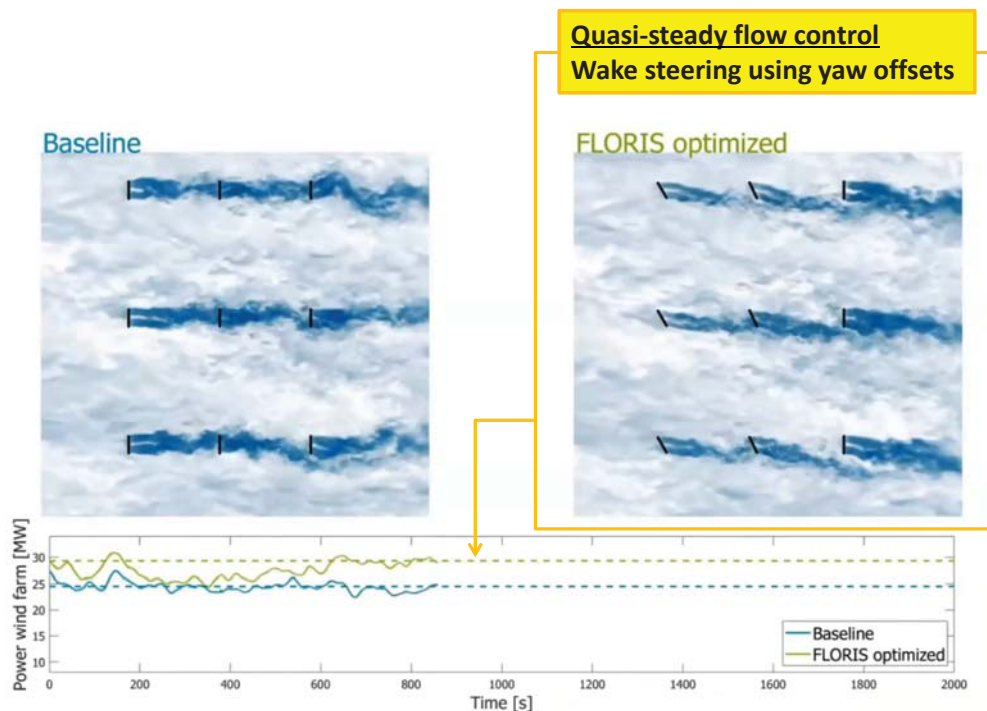
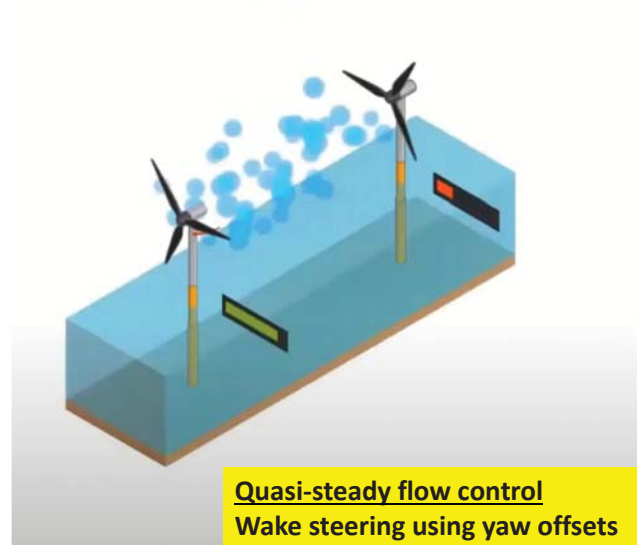
Static wake control concepts rely on affecting the wake through relatively slow changes of the control degrees of freedom of the turbine in a way that affect the time-averaged properties of the wake.

- Induction control (誘導制御) is basically derating (負荷低減).
- If we derate the first turbine, then it will let energy go. And then we hope that the energy that we let go will be picked up by the turbines in the wake.
- We hope that the sum of the energies will be bigger than the greedy approach.
- Now recent results basically show that actual induction control doesn't work. So the energy that we let go is not picked up by all the other turbines.
- High-fidelity wind tunnel and field tests have shown that the benefits of induction control are very limited.

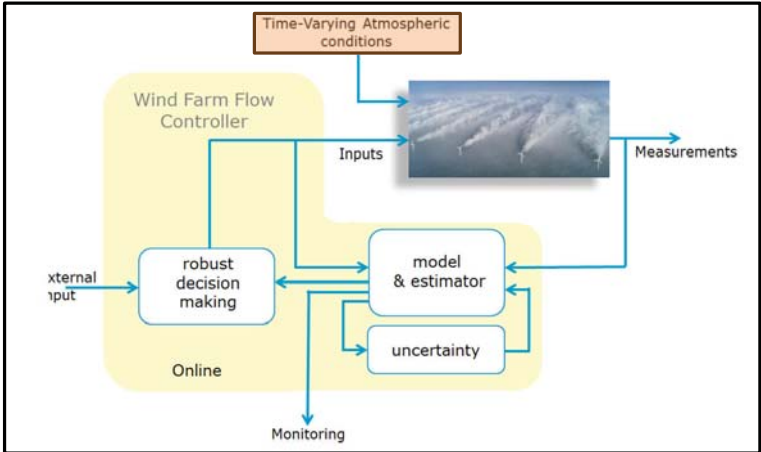
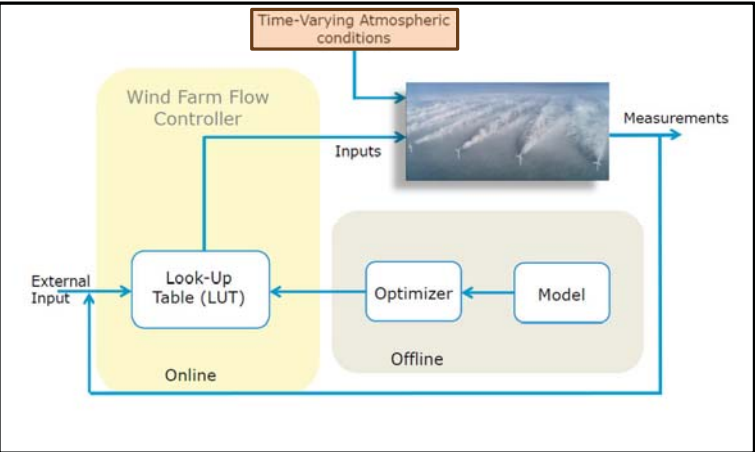
Control Technologies

- On the other side, there is another existing control technology which is called wake steering.
- We misalign the first turbine with the main wind direction.
- If we misalign the turbine, we can redirect the wake. So what we try to do is that the wake doesn't hit the turbines downstream.
- This technology seems to have a lot of potential in wind tunnel experiments, high fidelity simulations, and field experiments.

Static wake control concepts rely on affecting the wake through relatively slow changes of the control degrees of freedom of the turbine in a way that affect the time-averaged properties of the wake.

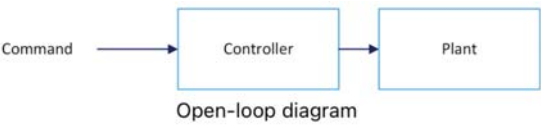


- At the left, we see the baseline. And at the right, we see the optimized setting.
- The optimized setting meaning that we had a first principles model, in this case the FLORIS.
- Then we optimized the optimal YAW settings. And what we nicely see is that we can do wake steering.
- Now in the graph, we can also see the potential and the amount of energy that we can now extract out of a wind farm (Of course, this is a high fidelity simulation).
- The wind conditions are more or less steady. It's the same inflow direction and also the turbulence intensity is more or less the same.
- So we believe that also if we really want to apply wake steering in a wind farm, we also have to make it more robust with respect to time varying conditions.



Key words : data driven approach,
MPC (モデル予測制御) principle

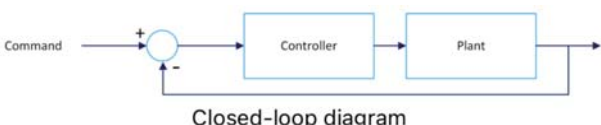
補足



Open-loop diagram

指令だけをしてフィードバックを取らない制御

(例)シーケンス制御：あらかじめ定められた順序に従って制御の各段階を逐次進めていく制御]

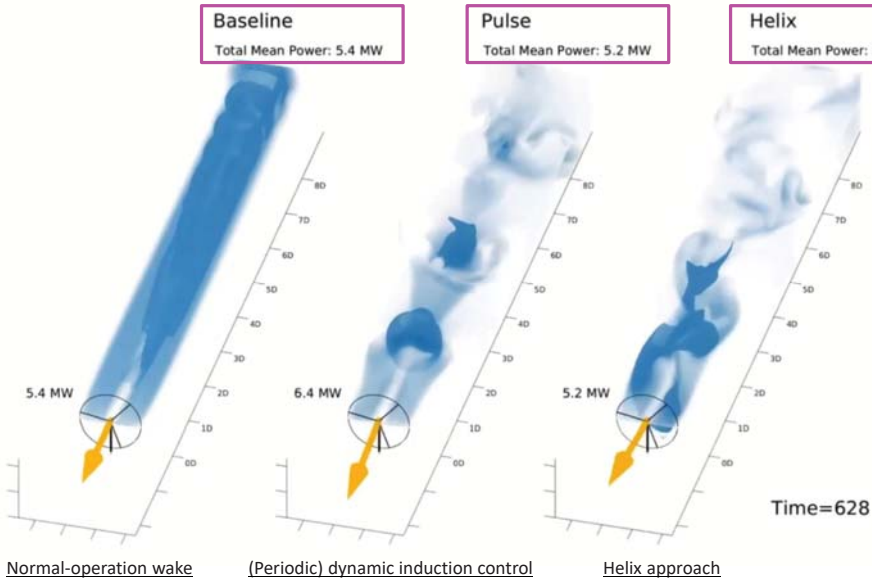


Closed-loop diagram

プラントの出力値(測定値)を出力し、それをフィードバックさせ、入力値と出力値を常に比較して両者を一致させるように全体の操作量を調整する制御

<https://www.altexpco.co.jp/controlsystem/wocontrolsystem01-0-1-0>

Wake-Mixing

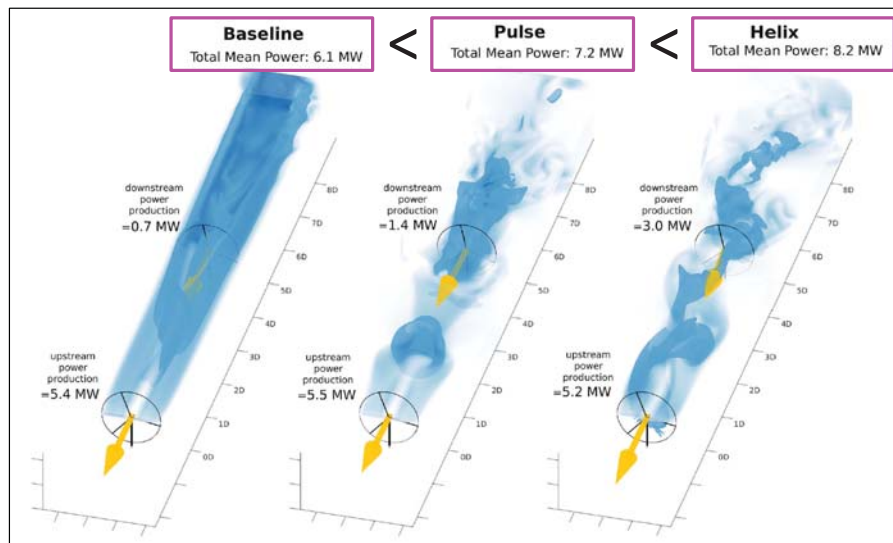


- Here, we focus on the challenges related to triggering and interacting dynamically with wakes and turbulence as a means to control wind farm flow and to speed up wake breakup or to increase mixing and entrainment into the wakes.
- Recently, some first studies suggest that this effect may be leveraged to significantly increase the energy extraction of wind farms.

Illustration from an LES study (SOWFA), 10MW Wind Turbine

Dark blue shading corresponds to an isosurface of the velocity;
light blue shading in the horizontal plane corresponds to velocity magnitude.

Wake-Mixing

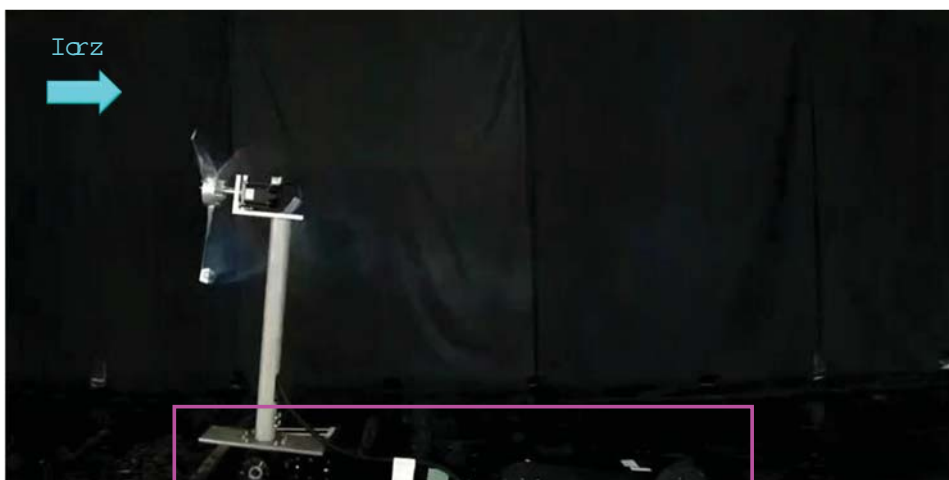


- However, then still you have to do all the safety checks and look at all the loads.
- So implementation wise, on paper it seems easy, but for industry it's quite a big step.

Wake-Mixing

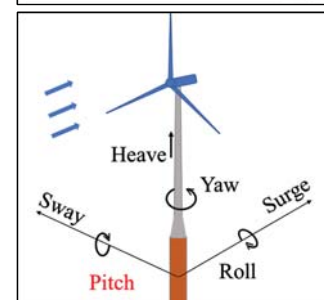
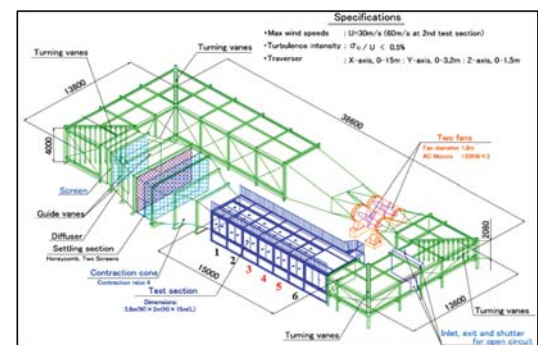
20

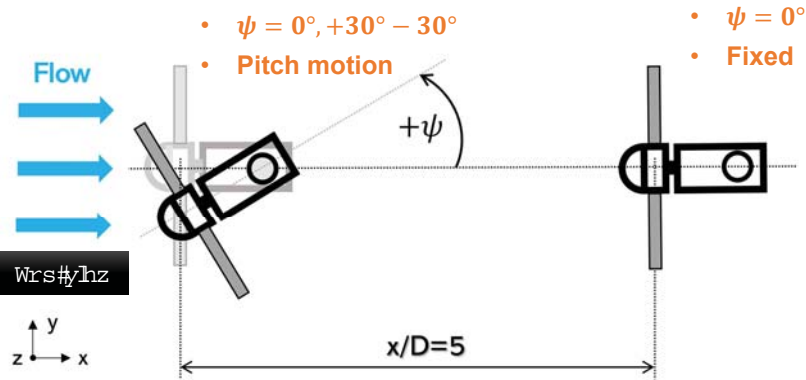
九州大学・内田研究室での取組



加振装置製作し、浮体の動揺(ピッチ運動)を再現

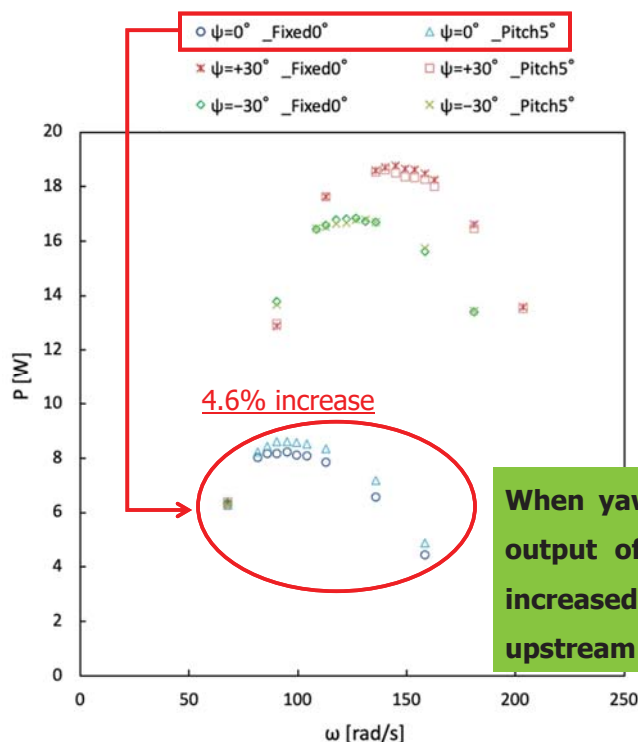
- Pitch motion amplitude: ± 5 [deg]
- Pitch motion period: 0.8 [s]





Parameter	Value
Inflow wind speed [m/s]	10
Rotor diameter [m]	0.442
Tip speed ratio of the upstream wind turbine [-]	3.6
Rotor speed of the upstream wind turbine [rpm]	1556
Sampling frequency [Hz]	1000
Sampling time [s]	60
Pitch motion amplitude [deg]	± 5
Pitch motion period [s]	0.8

The power generation performance of the wind turbine was evaluated by varying the blade rotation speed.



- The power generation performance of the wind turbine was evaluated by varying the blade rotation speed.
- Torque was measured and power output was computed.

P [W] : Power
 Tr [Nm] : Torque
 ω [rad/s] : Angular velocity

When yaw angle is 0° , the power output of the downstream WT is increased by pitch motion of the upstream WT.

2022年

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



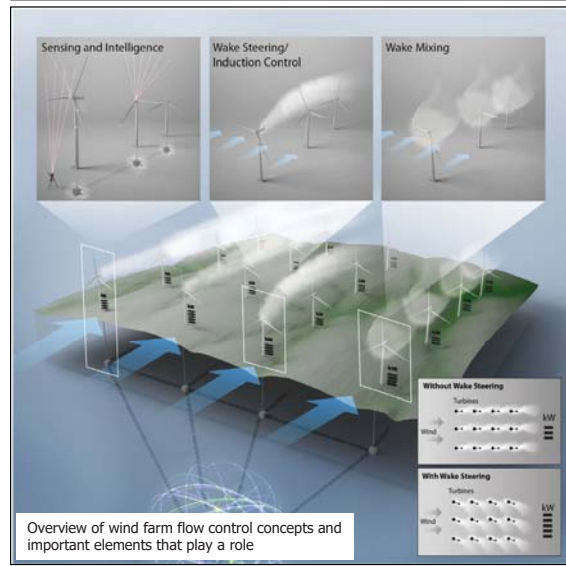


WIND ENERGY SCIENCE DISCUSSIONS

Wind farm flow control: prospects and challenges

Johan Meyers¹, Carlo Bottasso², Katherine Dykes³, Paul Fleming⁴, Pieter Gebraad⁵, Gregor Giebel¹, Tuhfe Goçmen¹, and Jan-Willem van Wingerden⁶

¹KU Leuven, Mechanical Engineering, Celestijnenlaan 300A, B-3001 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, Tomsbukken 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.

風力エネルギー科学における壮大な課題の中核要素として特定されている。

-
-
-
-

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.

※学際的な課題

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

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 TCP 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
- OA (オペレーティングエージェント)
 - Julia Gottschall (Fraunhofer IWES) [75%]
 - David Schlipf (Flensburg University of Applied Sciences) [25%]
- 目的
 - 風力発電用途に最適で推奨される風観測ツールにするための共同研究に取り組む (Mission)
 - 将来的に風力ライダーの使用が簡単になり、風力発電の導入を可能にする利点と機会をもたらす (Value)
 - 革新、受容性、多様性、協力、透明性 (Value)
- 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) ←2022年5月キックオフ会議 (2024年2月現在2年目)

Task 52の特徴

・オープンなグループ

- 2023年6月に開催されたGeneral Meeting（オンライン）には、2日間で計108名が参加
- LinkedInのフォロワー数は1782人（2024年2月現在。昨年同時期より約200人増）

Join our Task 52 community ...



Our website:
<https://iea-wind.org/task52/>



Zenodo community
(<https://zenodo.org/communities/ieawindtask52/>)
for published documents



Public events with
typically 100+
participants
+ "private" workshops

1,731 (Stand: June 2023)
followers on LinkedIn
(<https://www.linkedin.com/showcase/4037465/>)



Mailing list for regular newsletter (every six months) and
event invitations – to be added (and for all further requests)
send e-mail to IEAWind_Task52@ives.fraunhofer.de

Task 52 General Meeting資料 (2023)
より引用

13



3

Task 52の加盟国と主な参加機関

・加盟国（2023年5月現在調印済み）

- アメリカ、イギリス、インド、オーストリア、カナダ、韓国、スイス、中国、ドイツ、日本

黒字：Task 32からの継続
青字：Task 52で新規加盟



Task 52 General Meeting資料 (2023)より引用

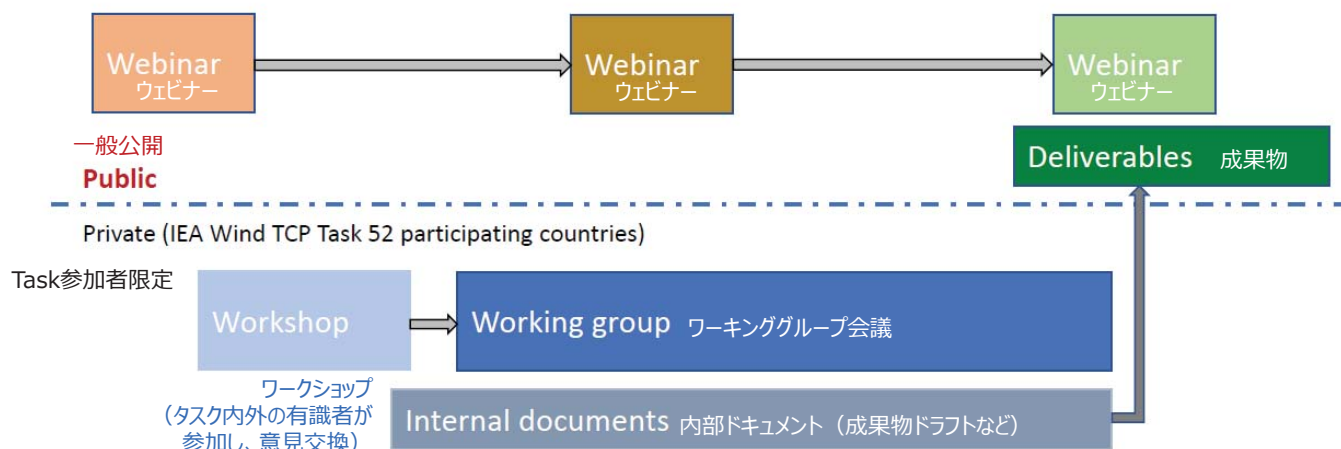
・主な参加機関

- 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。

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

Taskの進め方

2023年2月：ランチセミナー
2024年2月～3月：ランチセミナー
(誰でも聴講可能。Task 52のLinkedInフォローなどで開催情報入手)

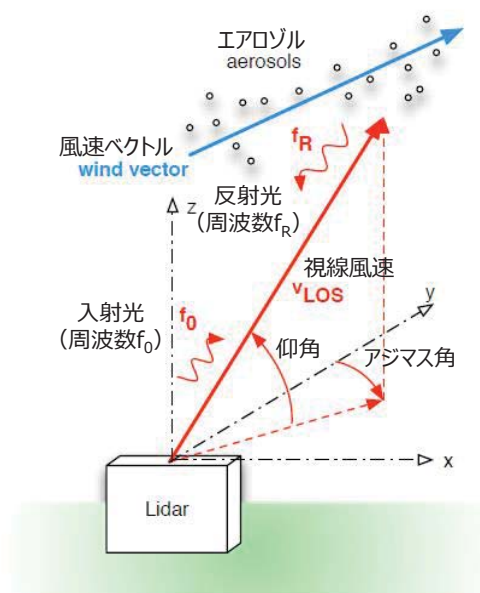


Task 52 Lunch seminar資料 (2023)より引用

5

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)

6

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

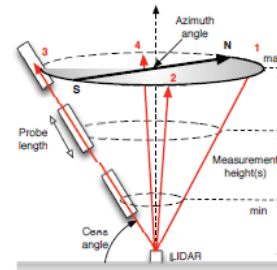


地上設置型

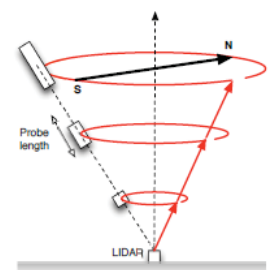


フローティングライダー

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）

7

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

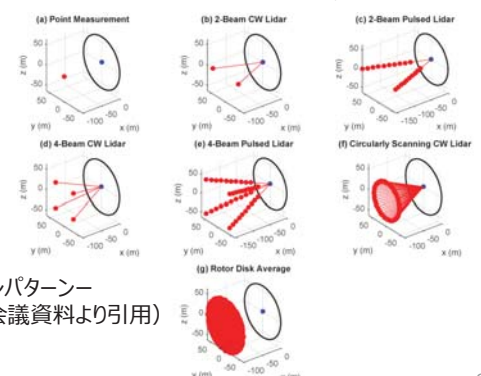
- ナセルに搭載して風車の上流の複数点を照射し、風車への流入風を計測する。

• 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
- エンジニアや作業者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）

8

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

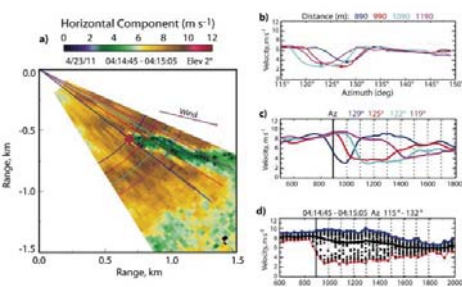
- 3次元回転する光学ヘッドを有し、様々なスキャン方法で観測が可能。
- 日本では離岸距離が近い洋上の観測実績が複数ある。

• 課題

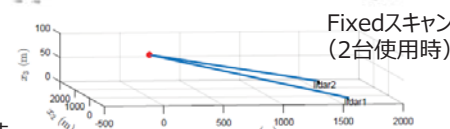
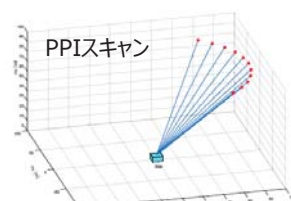
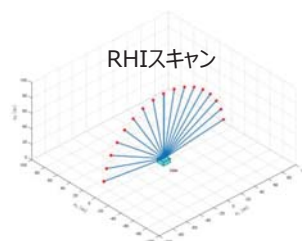
- 計測精度はいくらかの論文で確認されているが、RPやガイドラインなどがない（日本では、NEDO「洋上風況観測ガイドブック」にまとめられている）。



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)

9

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

[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



日本から
亀山様（三菱電機）、
早崎様（CTC）が貢献

[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

10

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

Technical Reports



[Calibrating Nacelle Lidar](#)

M. Courtney



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

A. Clifton, M. Boquet, E. Burin, M. Hofsaß, T. Klees, K. Vogstad, P. Olive, M. Harris, S. Wylie, E. Oser, R. Banta, A. Choukulkar, J. Lundquist and M. Aitken

ライダー観測値による乱流強度とパラメータの推定

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

風ライダーによる複雑地形の流れの計測

11

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. Kaifel



[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. Furst, F. Halzmann, D. Schlipf



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

A. Clifton, P. Olive, 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. Wagner, B. Cañadillas, A. Clifton, S. Feeney, N. Nygaard, M. Poort, 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-Gellego, 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

12

Task 52で取組中のテーマ

	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))
#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 WG2: ライダーアシスト制御 (LAC) 川端 (産総研)
#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) WG4: 寒冷地 New: ナセル搭載ライダー (2024年1月発足)
#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) WG7: ライダーオントロジ
#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: 洋上スキャニングライダー 植田 (WINC)、嶋田 (産総研)、 種本 (清水建設)、吉村 (GPI)、渡邊 (JRE) フローティングライダーのWG発足予定 (時期未定)

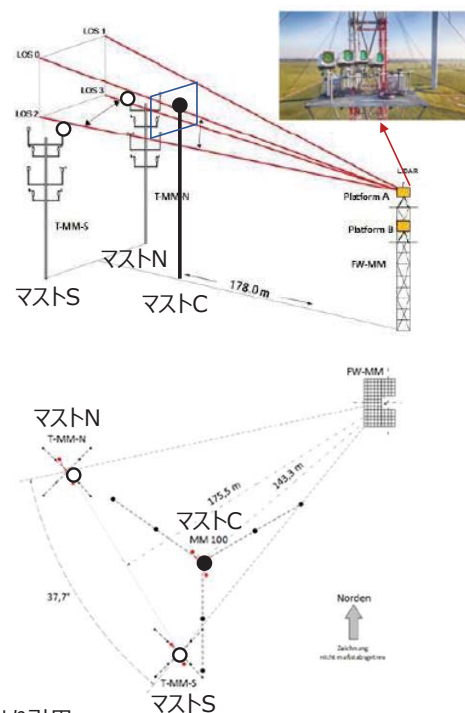
*FAIR (Findable (見つけられる)、Accessible (アクセスできる)、Interoperable (相互運用できる)、Reusable (再利用できる))。

様々なテーマが並列に動いているのが特徴

13

WG1: 乱流強度

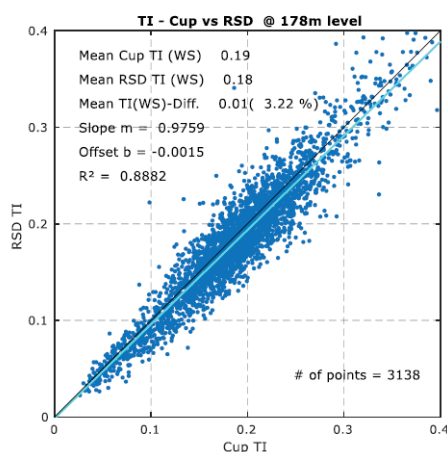
- 目的
 - 様々なライダーの乱流強度推定手法の改善
- 予定成果物
 - エキスパートレポートの更新とナセル搭載ライダーの公開データの整備
- これまでの成果
 - ナセル搭載ライダーの乱流強度に関する検証を実施中
 - 視線風速レベルの乱流強度の検証 (ホワイトボックス)
 - ✓ 視線風速の乱流強度をマストS、マストNと比較 (右図○)
 - 風車の流入風としての乱流強度の検証 (ブラックボックス)
 - ✓ 4点の観測値から再構築した乱流強度をマストCの観測値と比較 (右図●)



WESC 2023 Mini symposium資料より引用

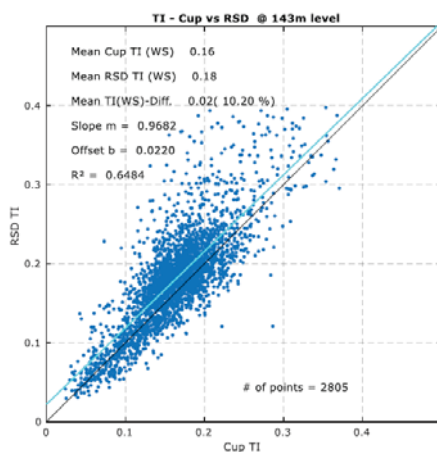
14

WG1 : 乱流強度（続き）



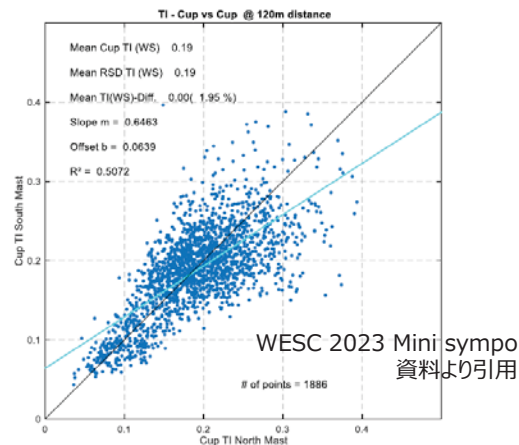
視線風速の乱流強度の検証結果

若干過小評価するが、高い相関
→個々の視線風速の精度は良い。



風車流入風としての乱流強度の検証

風速を構築すると、精度低下



マストNとマストSで観測された乱流強度の比較

理由は、そもそもスキャン範囲内で
大きく乱流強度が異なるため。
(マスト間の距離120m)

風車ロータ面への流入風の評価が本来必要なのに、
定点で計測するマスト観測値の乱流強度に合うようなアルゴリズムを開発して良いものか？

15

WG2 : ライダーアシスト制御（LAC）

・目的

➢ オープンソースツールと透明性によるLAC技術の推進

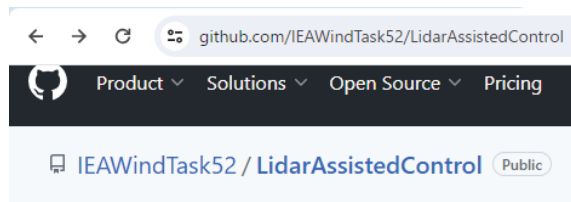
・予定成果物

➢ LACに関するRecommended Practiceの作成

・これまでの成果

- オープンなコントローラーと代表的なナセルライダーを用いたLACをOpenFAST※に実装
- IEA 15MW風車を題材としたチュートリアルケースを作成し、githubで公開

※NRELが開発したオープンソースの風車荷重解析ツール



Task 52 githubページより引用

Examples

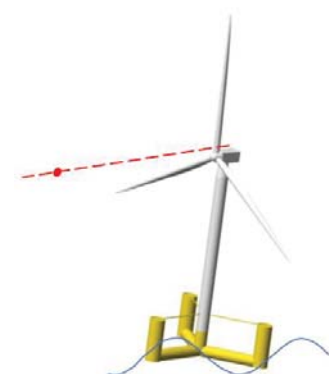
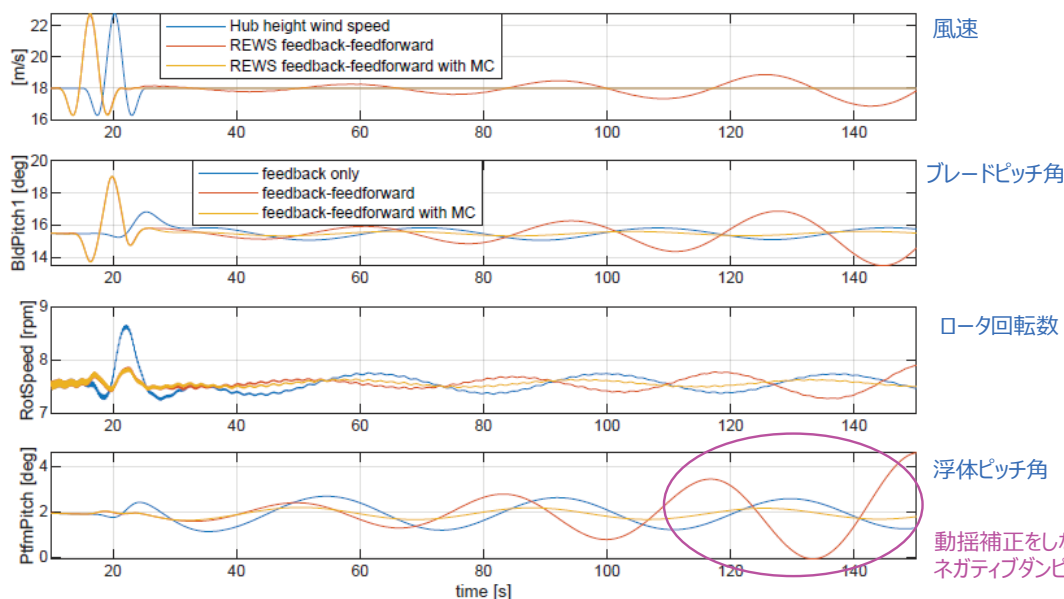
We added the following examples:

- モノパイル、浮体の両ケース
- 1点の視線風速 + EOG流入風のシンプルなケースと
複数点の視線風速 + 乱流流入風の現実に近いケース

- IEA15MW_01: IEA 15 MW monopile + perfect wind preview from a single point lidar system.
- IEA15MW_02: IEA 15 MW floating + perfect wind preview from a single point lidar system.
- IEA15MW_03: IEA 15 MW monopile + realistic wind preview from a nacelle-based lidar system, single wind speed.
- IEA15MW_04: IEA 15 MW floating + realistic wind preview from a nacelle-based lidar system, single wind speed.

16

WG2 : ライダーアシスト制御 (LAC) (続き)



D. Schlipf et al. (2023)より引用
(Task 52 Zenodoで閲覧可)

動揺補正をしないままの風速を使うと、
ネガティブダンピングを引き起こすなど逆効果

ロータ回転数を維持するために、ブレードピッチ角を制御

Feedback : ロータ回転数の情報を基に制御

+ Feedforward : ナセル搭載ライダーによる流入風観測値を基にロータ回転数を予測し、それを基に制御

+ MC : 浮体の動揺によるナセル搭載ライダー視線風速の補正を考慮

17

WG3 : 複雑地形

・ 目的

- ライダーが適用できる地形複雑さの閾値、補正方法が適用できる地形複雑さの閾値を明らかにする。

・ 予定成果物

- 複雑地形における地上設置型ライダーのRecommended Practice作成

・ これまでの成果

- Task 32時代に実施した、複雑地形上のライダー観測値の補正手法と検証結果をレポートとしてまとめた。(2022年12月Task 52のZenodoで公開)。
- ✓ 地形の曲率による流れの不均一性は理論上補正可能
- ✓ 4機関がCFD等による各社独自の手法で補正
- ✓ オーストリアの5サイトで検証
- ✓ 日本から吉村様 (GPI) が著者として貢献

energie
werkstatt^o
CONSULTING ENGINEERS FOR RENEWABLE ENERGY

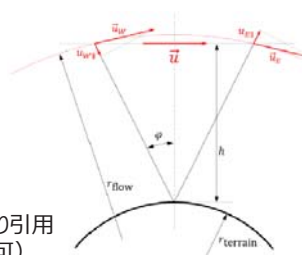
REPORT

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

Authors: Alexander Stöckl (Energiewerkstatt e.V.)
Sara Köller (Metecost AG)
Johannes Cordes (Deutsche WindGuard Consulting GmbH)
Oliver Gröning (Ramboll Deutschland GmbH)
Andrew Black (Vaisala France)
Atsushi Yoshimura (Green Power Investments)

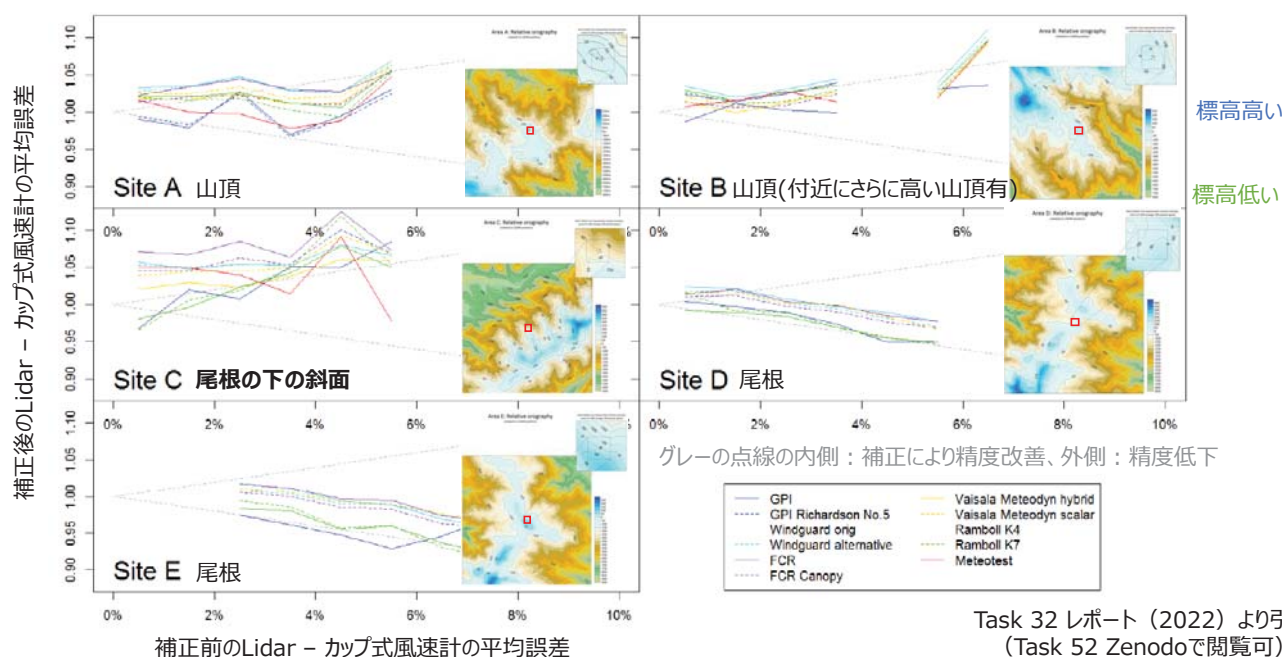
Revision 0
December 2022

Task 32 レポート (2022) より引用
(Task 52 Zenodoで閲覧可)



18

WG3：複雑地形（続き）



- 様々な地形複雑度判定指標と上記誤差は相関はあるが、結論を出すにはもう少しサンプル数が必要
- Site Cは、地形の曲率で見ると他の地点と変わらないが、山頂より下にあり、流れパターンが複雑

19

WG4：寒冷地

• 目的

- 寒冷地でライダーのデータ有効率が低下する原因と改善
- ライダーで着氷検出が可能か、着氷クラスを推定できるか

• 予定成果物

- 技術ノートまたはプレゼ資料

• これまでの成果

- Task 32で実施した調査結果をレポートにまとめた（ドイツ語）
 - ✓ オーストリア10サイトのデータ有効率の調査
 - ✓ 山岳地帯では、平地と比べて冬場に著しくデータ有効率が低下（<50%）
 - ✓ 降水量、積雪、湿度などの気象学的要因別に調査したが、平地と比較して山岳地帯特有の要因が見られない。
 - ✓ 人間活動（交通、農業、工業など）が少ないため、エアロゾルが少なく、境界層より上であるため空気の鉛直混合も少ないことが要因と推定。
- CNRによる着氷検出の検討と学会発表

energie
werkstatt

ライダー観測キャンペーンにおける
データ有効率の比較

Bericht

Vergleichende Datenverfügbarkeit
von LiDAR-Messkampagnen

Analyse und Bewertung im Rahmen der
IEA Wind Task 32 Forschungskooperation

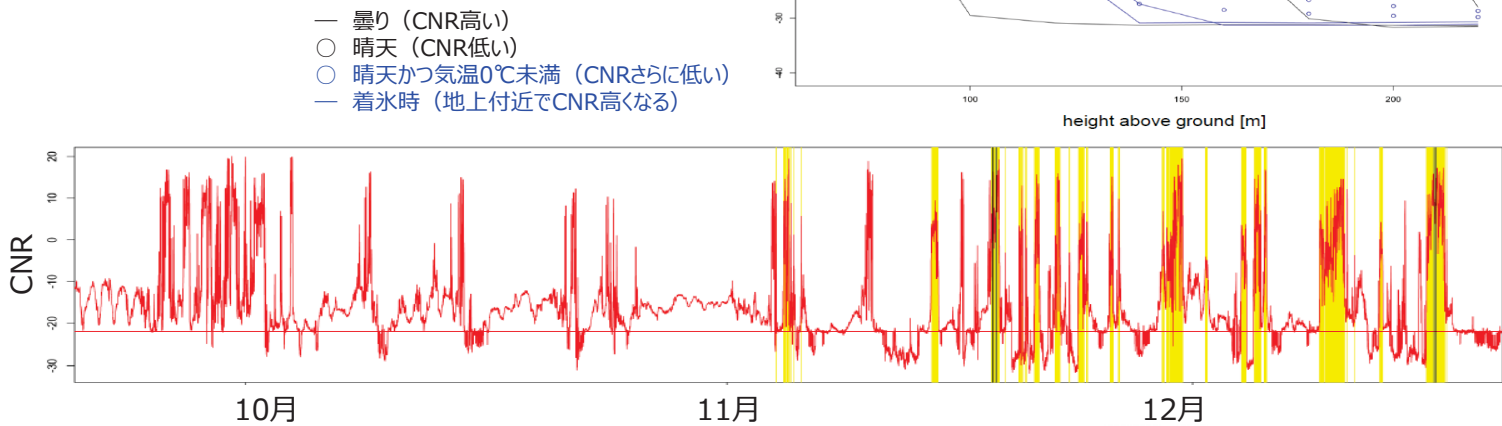


energiwerkstattホームページより引用
<https://energiwerkstatt.org/wp-content/uploads/2023/04/IEA-Wind-Task-32-Vergleichende-Datenverfuegbarkeit-LiDAR.pdf>

20

WG4 : 寒冷地（続き）

- 着氷時に地上付近でCNR値が高くなることに着目して検出を試み
- ライダーからは6.86%検出したが、実際の着氷期間は僅か0.41%だった

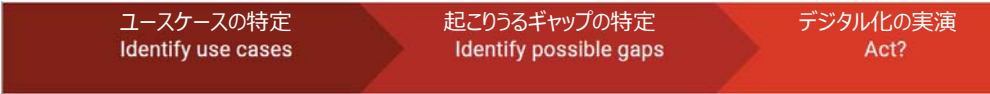


S. Koller(2023)より引用
https://windren.se/WW2023/4_3_19_Koller_Icing_detection_with_LiDAR_Pub_v2.pdf

赤：ライダーのCNR値
黄色：CNR-5以上且つ気温0℃未満
黒：実際の着氷期間

WG5 : デジタル化

- 目的
 - ライダーとwindファームのライフサイクルにおけるデジタル化のビジネスケース(ユースケース)の特定
 - 既存の解決策と起こりうるギャップの特定
 - オープンソースツールに基づくデジタル化の実演
- 予定成果物
 - WG7のWind Lidar Ontology（用語集）の作成サポート
 - e-Windライダー形式などのオープンソースによるデータ処理の実演
- これまでの成果



風況解析する人が、新しいタイプのライダーデータを処理するための準備をした
い。

サンプルデータを見つけるのが
難しい

githubにサンプル
データ集を作った

Task 52 General Meeting 資料(2023)より引用

Task 52 githubページより引用

Data samples						
ID	Device	Operating mode	Format	Source	Link to data	Description
0	ZK300	VAD	Manufacturer's own	Data provided by ZK Lidar	drive.apple.com	Data are direct from the wind lidar and have not been modified.
1	WindCube V1	DBS	Manufacturer's own	Data provided by CU Boulder through A2e	a2e.amazonaws.com	According to the metadata, data files are direct from the wind lidar and have not been modified.
2	WindCube V2.1	DBS	Manufacturer's own	Data provided by NREL through A2e	a2e.amazonaws.com	According to the metadata, data files are direct from the wind lidar and have not been modified.

WG7 : オントロジー

• 目的

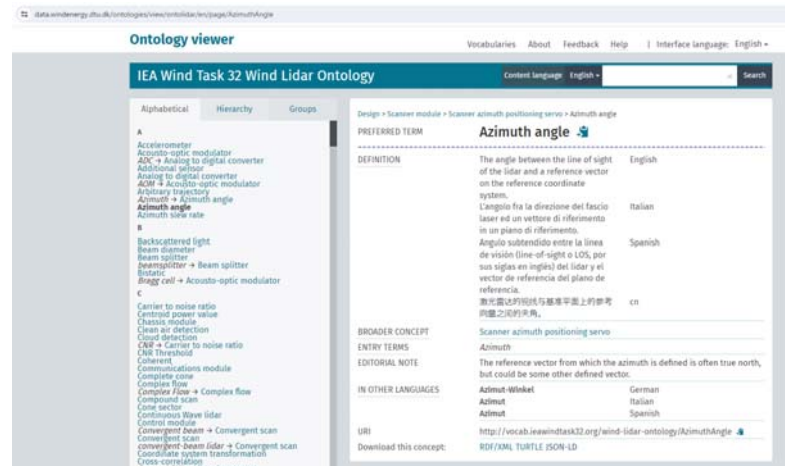
- ライダーに関する明確な用語集の作成
- ライダー知識のFAIR化

• 予定成果物

- ライダーオントロジーに関するジャーナル論文

• これまでの成果

- Task32時代に開発したOntology Viewer (用語集) をXMLやJSON形式でダウンロードできる機能を追加
- Jupiter notebookを使用してyaml形式のファイルをアップロードできるスクリプトを開発。

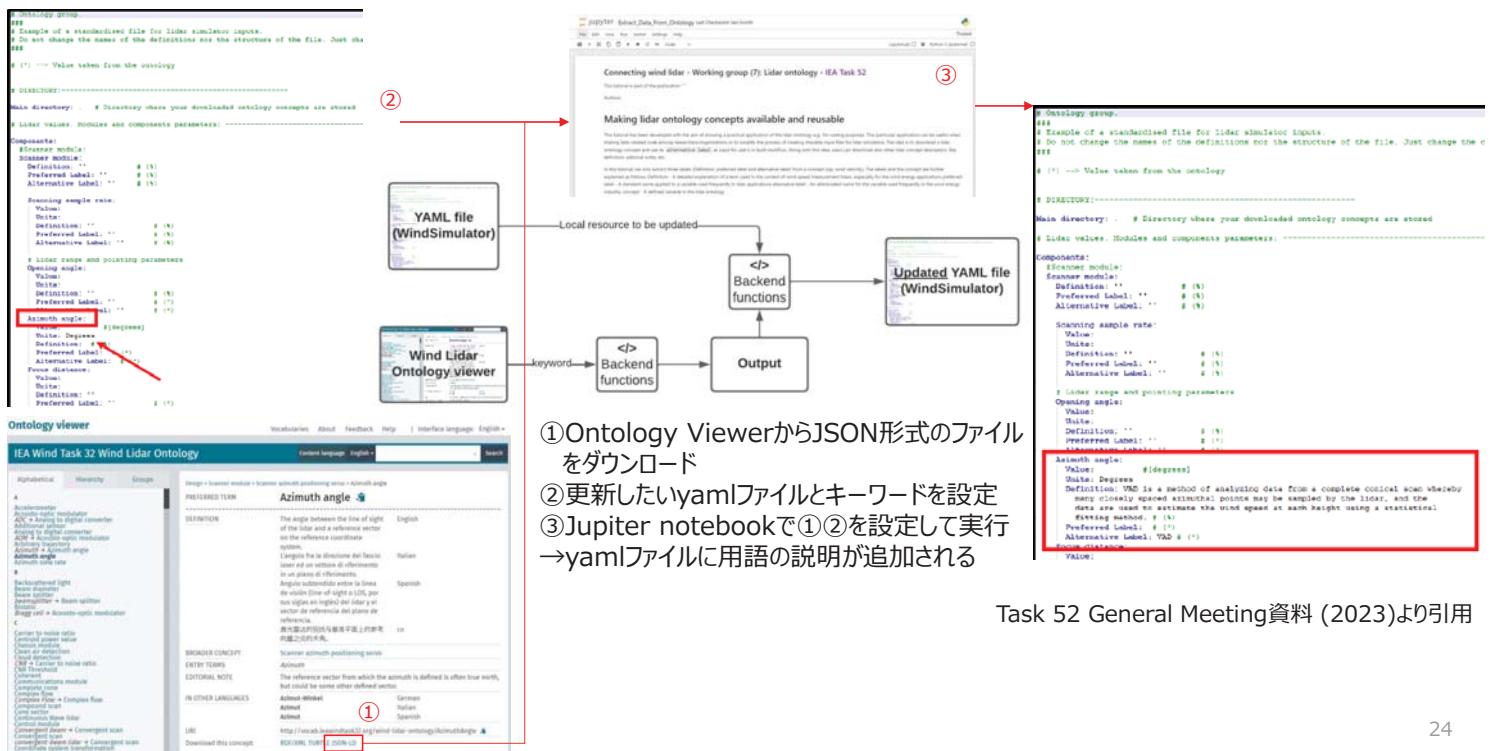


Ontology Viewerホームページより引用

Task 52 githubページより引用

23

WG7 : オントロジー (続き)



24

WG6：洋上スキャンングライダー

・ 目的

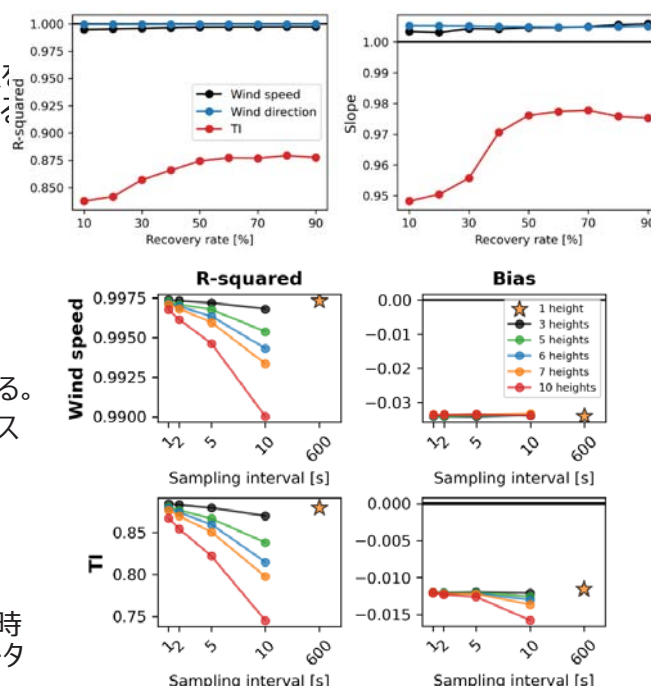
- ユーザーの経験と推奨事項に基づく、ベストプラクティスを作成し、より多くのスキャンングライダーの利用を実現する。

・ 予定成果物

- スキャンングライダーに関するRecommended Practice (RP)

・ これまでの成果

- 日本でワークショップを開催（2023年5月）
 - ✓ 日本の導入量は世界一、実案件で利用した実績もある。
 - ✓ 「NEDO洋上風況観測ガイドブック」が、世界で唯一のスキャンングライダーに関するガイドブック。
- 日本のユーザー経験を学ぶ
- RPの目次案を作成
- Datathonを実施中
 - ✓ データ有効率や複数高さ観測時を想定した連続観測時間の違いによる感度分析を、WGメンバーが各自のデータで分析し、取りまとめる。



WESC 2023 Mini symposium 資料より引用

25

WG6：洋上スキャンングライダー（続き）

・ スキャンングライダーワークショップ（2023年5月8、9日@東京、JEMA）

➢ 開催目的

- ✓ スキャンングライダーの導入が進んでいる日本のユーザー経験から学び、RPの題材にする。
- ✓ 日本としては、スキャンングライダーに関する技術仕様（TS）作成を当時IEC/TC88に国際提案中（2023年3月提案、同6月承認）であったため、そのロビー活動も兼ねてJEMAがホスト・スポンサーになり、日本開催が実現した。その結果、この国際提案が承認され、プロジェクトチーム（PT61400-50-5）が発足し、日本主導でのTS制定を開始した。

➢ 内容

✓ 1日目：日本からの研究紹介（7名）

- 山口先生（足利大、JEMA委員、PT61400-50プロジェクトリーダー）：PT61400-50-5の紹介
- 吉村様（GPI）：石狩湾新港のシングルスキャンングライダー観測、乱流強度の重要性について
- 渡邊様（JRE）：デュアルスキャンングライダーの観測
- 種本（清水建設）：ランダム風速場を用いた乱流強度の補正
- 平方様（英弘精機、JEMA委員）：ライダーの設置とハードターゲット設定
- 高祖様（日本気象、JEMA委員）：ドローンを使用したハードターゲット設定
- 植田様（WINC）：NEDO洋上風況観測ガイドブックの紹介

✓ 2日目：WG6のRPの目次案のディスカッション

【結果】

- ・ Taks52/WG6としては、良い議論ができた。
- ・ PT61400-50-5では、セクレタリにTask 52 OAのJulia Gottschall氏を選任、WG6のリーダーAndy Oldroyd氏他数名がプロジェクトチームに加わるなど、協力体制が築けた。

Task 52 LinkedInより引用

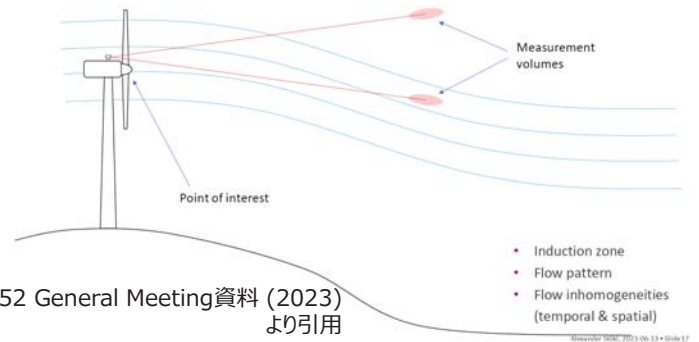


26

その他WG

・ナセル搭載ライダー

- 2024年1月に新規発足
- 「ナセルライダーのための、数値サイトキャリブレーション手法の検証」を実施予定。
- 今後の国際規格（IEC 61400-50-3）改定などの題材にする。



・浮体式ライダー

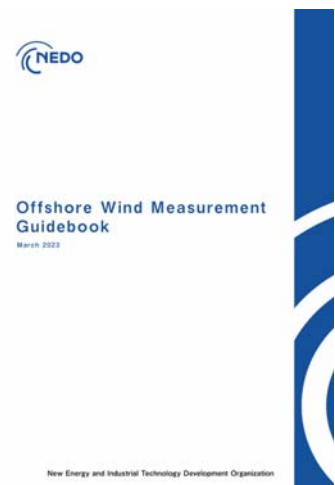
- WG発足の構想はあるが、時期未定
- IEC/TS 61400-50-4（浮体式ライダーに関する技術仕様書、2024年2月現在審議中）の内容を参照したラウンドロビンの実施などの案あり。

27

その他ライダー関連の情報共有

・NEDO洋上風況観測ガイドブック

- 2022年3月発刊
- 鉛直ライダー、浮体式ライダー、スキャニングライダー（シングル、デュアル）などの計測方法、データ処理などの推奨事項が包括的にまとめている。
- 2023年に英語版を公開



NEDOホームページより引用

28

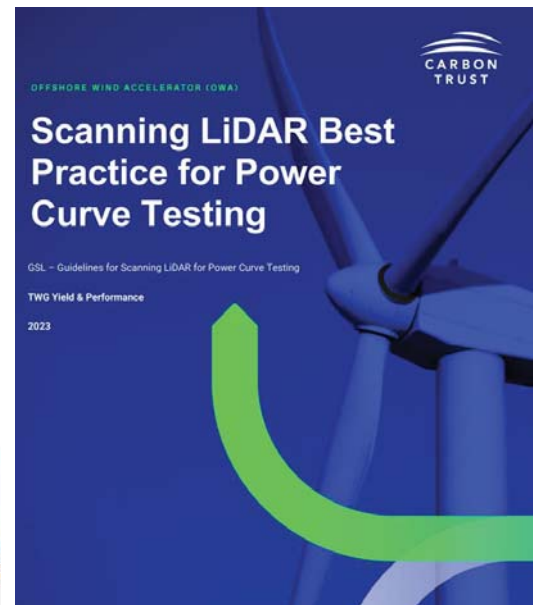
その他ライダー関連の情報共有

- 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

- 2023年1月発刊
- 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。
- 着床式洋上風車のTP（トランジションピース）に搭載したスキャンライダーによる性能計測。
- シングルスキャニングライダーによるPPIスキャンに焦点。



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)



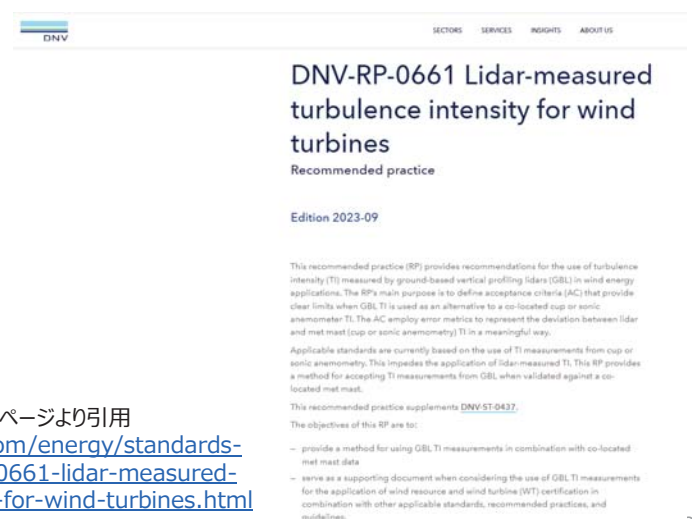
ガイドライン表紙
(Carbon Trust ガイドラインより引用)

29

その他ライダー関連の情報共有

- DNV-RP-0661

- 2023年9月発刊
- 地上設置型の鉛直ライダーによる乱流観測値の評価、補正方法など
- 平坦地形（洋上含む）に限定
- 発電量評価、サイト条件評価、荷重の検証など、ユースケースごとに利用可能な精度基準を設けている。



DNVホームページより引用
<https://www.dnv.com/energy/standards-guidelines/dnv-rp-0661-lidar-measured-turbulence-intensity-for-wind-turbines.html>

30

まとめと今後の見通し

- Task 52は4つのテーマ、8つのWG（2024年2月現在）から構成される。
- 引続き、風ライダーの利用を加速させるための共同研究を続ける。

	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
		New：ナセル搭載ライダー
#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）

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>
- NEDO洋上風況観測ガイドブック：<https://www.nedo.go.jp/content/100948288.pdf>
- NEDO洋上風況観測ガイドブック（英語版）：<https://www.nedo.go.jp/content/100962731.pdf>
- Ontology Viewerホームページ：<http://data.windenergy.dtu.dk/ontologies/view/ontolidar/en/index/>
- 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 GitHub：<https://github.com/IEAWindTask52>
- Task 52 LinkedIn：<https://de.linkedin.com/showcase/iea-wind-task-52>
- Task 52 Zenodo：<https://zenodo.org/communities/ieawindtask52> ← General Meeting, Lunch Semminer, WESC 2023 mini sympo資料など

第1回 IEA Wind セミナー
2024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

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

・事業予見性への影響

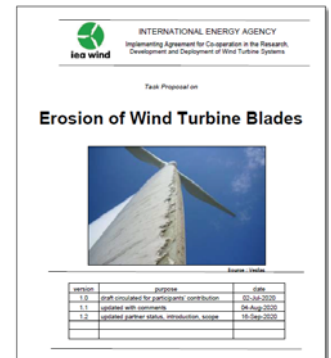
- ・洋上での高周速化や高雨量地域への市場移行でリスクが顕在化
- ・各国での大規模研究開発を経て国際連携の機運が高まりTask立ち上げ

●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

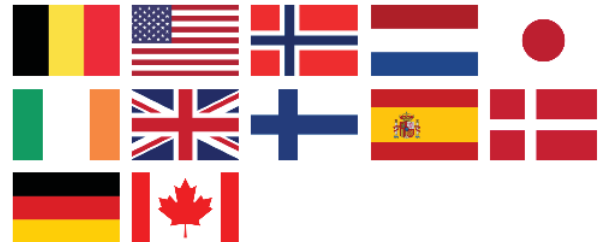
●IEA Wind Task11:TEM#98 (2020/2/6-7)



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



WP2:
エロージョン要因
となる気象因子

Climatic conditions
driving erosion (wp2)

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

WP3:
エロージョンと
風車オペレーション

Wind turbine
operations with
erosion (wp3)

David C. Maniaci
(Sandia National
Laboratory)

WP4:
エロージョンの
地上試験

Laboratory testing of
erosion (wp4)

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

WP5:
エロージョンの
力学と材料特性

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)

・参画機関

(2023年10月)

Country	Contracting Party	Task Participant
Belgium	Belgian Ministry of Economy	Engie
Canada	Natural Resources Canada	WEICan
Denmark	Danish Energy Agency	DTU
		Hempel
		Ørsted A/S
Finland	Business Finland	VTT
Germany	Federal Ministry for Economic Affairs and Energy	Covestro
		RWE
		DNV
		Emil Frei
		Fraunhofer IWES
		Nordex Energy
Ireland	Sustainable Energy Authority of Ireland	Mankiewicz
		IT Carlow
		NUI Galway
Japan	New Energy and Industrial Technology Development Organization	University of Limerick
		AIST
		Asahi Rubber Inc.
		Osaka University
Netherlands	RVO	Tokyo Gas Co.
		Eneco
		Suzlon
		TU Delft
Norway	NVE	TNO
		Equinor
		University of Bergen
Spain	CIEMAT	Aerox
		CENER
		Nordex Energy Spain
		Siemens Gamesa Renewable Energy
United Kingdom	ORE Catapult	Universidad Cardenal Herrera – CEU
		Lancaster University
		ORE Catapult
		Imperial College London
US	US DoE	University of Bristol
		ILOSTA
		Vestas
		Cornell University
		Sandia National Laboratories
		3M

・プレナリ会議

2021年 3/15, 9/15, 2022年 2/2, 9/22

2023年 9/21

・ワークショップ

2023年 2/10, 2024年 2/9

・ウェビナー

2022年 5/31, 2023年 12/4

・報告書

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

WP4: Erosion failure modes in leading-edge systems



TEM#98@DTU



第4回プレナリ会議@Ørsted



ワークショップ@DTU



第5回プレナリ会議@CEU

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:

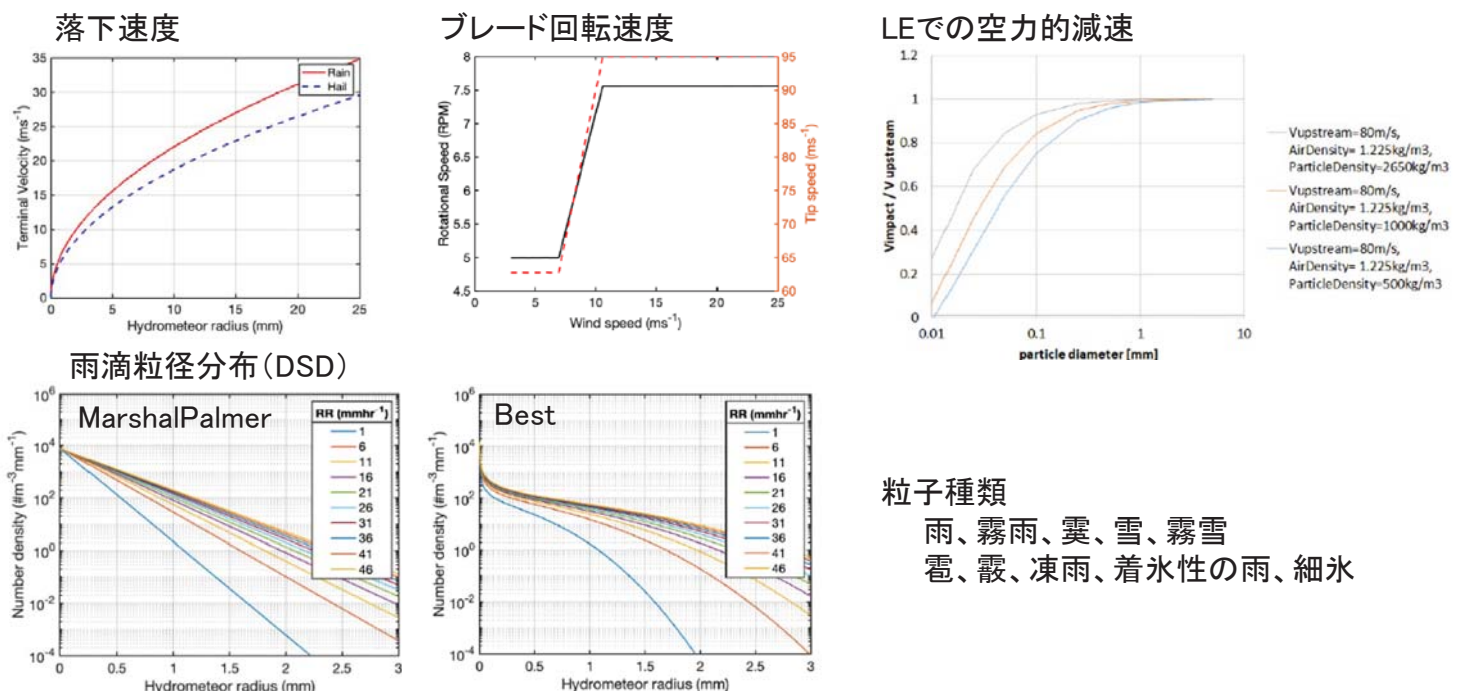
- WP2.1:エロージョンポテンシャルマッピングのための優先研究エリアの設定(降水粒子に焦点)
- WP2.2:エロージョンに影響する追加的な気象学的因子の同定
- WP2.3:雹、雨、粉塵頻度の文献調査
- WP2.4:雨滴粒径分布の気候依存の文献調査
- WP2.5:気象因子データの可用性と質
- WP2.6:気象因子データによるエロージョンクラス同定に関するRPを含むエロージョンアトラスのロードマップ
- WP2.7:エロージョン影響因子の計測に関するRPと計測器の開発・試験・モデルV&Vのための「スーパーサイト」設立の検討。
- WP2.8:エロージョンに関するモデルV&Vの手法と、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



・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



○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

○ODoE ARM(アメリカ)

- ・放射計
- ・RADARS
- ・ライダー
- ・ディストロメータ

○ODiVen、NOAH、Levenmouth(イギリス)

- ・Theis LPM
- ・Campbell PWS100

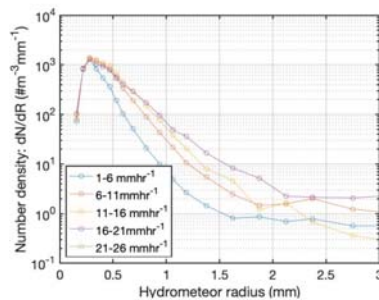
○ODTU(デンマーク)

- ・OTT-Parsivel2

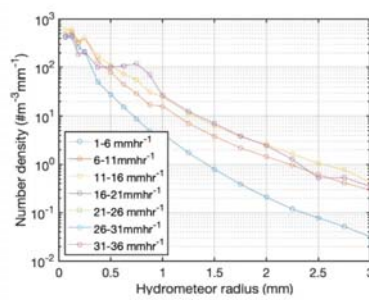
○Orstedサイト(Hoirns Rev2、台湾、米国)

- ・OTT-Parsivel2

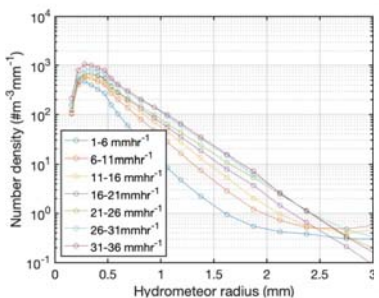
・雨滴粒径分布の地域間比較:



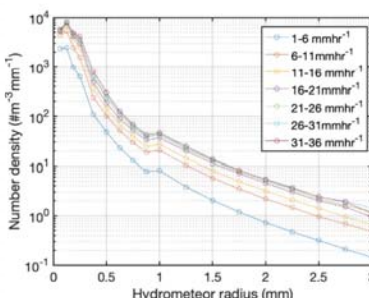
Rosekilde, Denmark



Weybourne, England



Lamont, USA



Cairngorm, Scotland

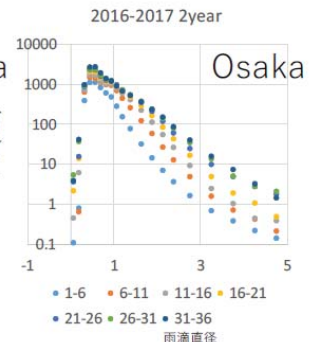
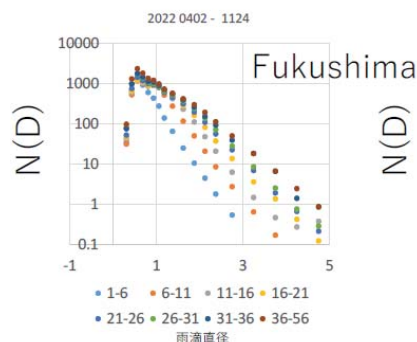
- ・地域間に差あり
- ・イベント間、季節間でも差が見られた。

●日本の参画内容(福島県補助事業)

・FREAと阪大における降雨計測



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



- ・日本での降雨計測データを提供し
アジア地域での対策につき問題提起

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、栗飯原あや、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－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

Organisation Type		RTO	Owner/Operator	University	Turbine OEM	RTO	University	RTO	Owner/Operator	Turbine OEM	Median	Variance
Image 1	Visual data definition	2	1		2	0	2.5	2	2	3	2	0.85
	Mass-loss or Depth	1	1		2	2	1		1	4	1	1.47
	Aerodynamics/Performance	2	1	5	2.5	2	2		2	1	2	1.44
	Structural	1	1		0	2.5		2	2	3	2	1.06
Image 2	Visual data definition	4	4		4	3	4	5	4	4	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	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	0.27
	Mass-loss or Depth	1	1		0	1			1	1	1	0.17
	Aerodynamics/Performance	1	1		2	1	2		2	1	3	1.5
	Structural	2	1		0	2		3	1	2	2	0.95
Image 4 - Part 1	Visual data definition	3	1		2	1	2		2	1	2	0.50
	Mass-loss or Depth	2	1		1	1			1	4	1	1.47
	Aerodynamics/Performance	3	1	3	2	1	1.5		2	1	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	0.38
	Mass-loss or Depth	1	2		1	1.5			1	1	1	0.18
	Aerodynamics/Performance	2	1	2	1	1	1.5		2	1	2	1.5
	Structural	2	1		0	2		3	2	1	2	0.95
Image 5	Visual data definition	1	1		1	0	0.5		2	1	0	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	0.32
	Structural	1	1		0	1			1	0	1	0.27
Image 6	Visual data definition	1	1		1	1	1.5		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	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	3	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	0.98
	Structural	1	1		0	1		2	1	1	1	0.33

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

13

・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。

	Severity Level					
Evaluation Criteria	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

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

14

●日本の参画内容(福島県補助事業)

・AeroBenchmarkへの参画

最終目標: エロージョン損傷による風車AEPロスを予測できる空力モデルの確立

参画機関: SNL, CENER, DTU, Nordex, LU, Vestas, 産総研

2023年度実施内容:

- ・エロージョン損傷を模擬した表面粗さのある2次元のCFD解析を実施中
- ・Texas A&M Universityの風洞試験データとの比較
- ・揚力、抗力、表面圧力分布、遷移位置
- ・これまでに結果の突き合わせを2回実施し、
乱流強度、表面粗さなど計算に使用する適切な値の検討を行っている。
- ・来年2月のエロージョンシンポジウムでCENERが結果を発表する予定

2024年度計画:

- ・DTUが実施中の、実際のエロージョンパターンを再現した翼型での風洞試験(LerCat project)のデータを用いCFD解析のブラインドテストを行う

解析条件

- ・レイノルズ数: 3.2×10^6
- ・翼型: S814とNACA63-418の2種類
- ・前縁での表面粗さ: 100~200um(翼の上面2%、下面13%の領域に粗さがあると想定)

空力ベンチマークへの参画により、エロージョンのAEP影響評価技術の向上をはかる

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. Cardenal
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

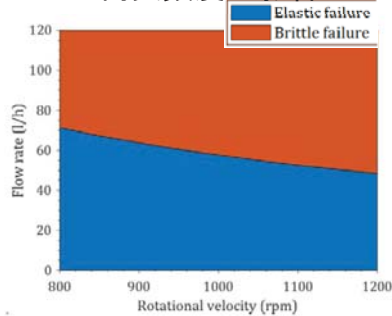
・衝撃試験と疲労試験

- ・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

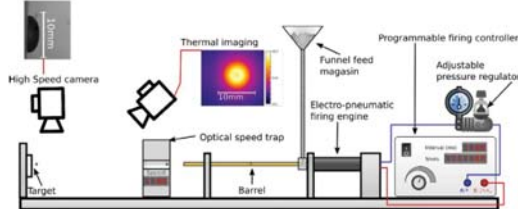
・粘弾性試験

- ・引張試験
- ・DMTA試験
- ・音速試験

回転試験における 衝突頻度の影響



SPIFT試験



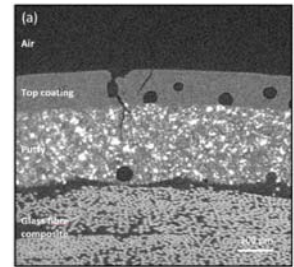
・層状構造の破壊試験

- ・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

・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

エロージョンブレードの X線CT画像



ブレードの テラヘルツスキャン検査



●技術レポート

Erosion failure modes in leading-edge systems

<https://usercontent.one/wp/iea-wind.org/wp-content/uploads/2023/06/IEA-WT46-WP4.2-Erosion-failure-modes-in-leading-edge-systems.pdf>

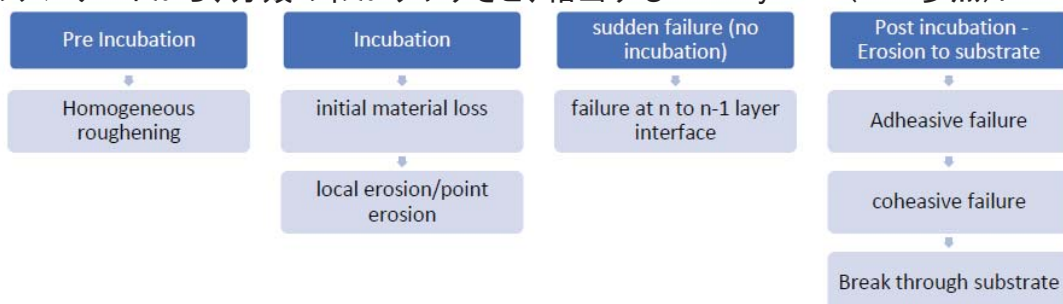
・RET(エロージョン試験装置)での浸食を目視で評価する共通指標の創出が目的

1. 初生評価の方法の例

- ・DNV-RP-0171: 液滴衝突速度Vと、損傷発生(初生)時の衝撃回数NをプロットしたV-N曲線で耐久性評価
- ・WP4参加者の経験では、初生の判定は以下のように行われている。
 - ・0.1-4mm²の損傷を目視特定
 - ・1mmより薄い塗膜の場合は異なる色の層が見えたところ
 - ・1mmより厚い厚いシェル等は0.1-4mm²の同じ大きさの穴を使うが色が似ていると目視検出は難しい。
 - ・判定した損傷の間隔は最低2dあいているもの、つながっていないものを選ぶ。

2. RETで発生する損傷形態の例

- ・RETで発生する損傷形態を分類し、イラストと写真を添えて一覧を作成した。
- ・参加者へのアンケートから、分類のわかりやすさと、相当するseverity level(WP3参照)についても数値化。



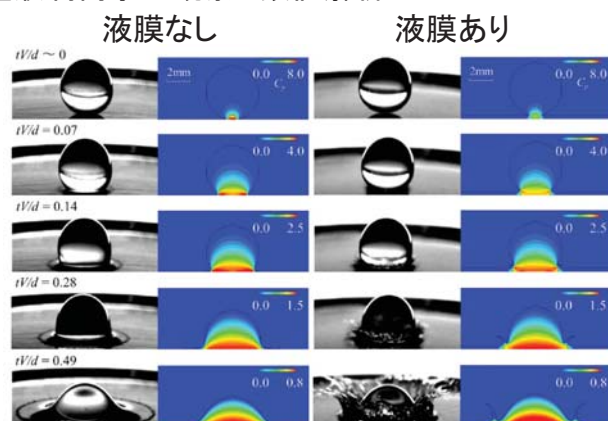
Pre incubation - Homogeneous roughening	End of Incubation - Initial material removal	Incubation - Point erosion	Failure before incubation - failure at n to n-1 layer interface	Breakthrough to substrate - cohesive failure	Breakthrough to substrate - adhesive failure	Breakthrough of substrate
- 欠損がなく、微細クラックでマットに見える状態。 - 金属では光沢の変化、塗料では微細クラックが見える。	- 局所的な材料欠損が最外層のみに、単独で発生。 - 大きさは層の厚み程度。	- 局所的な材料欠損が下層が見えるレベルまで、単独で発生。 - 大きさは層の厚み以上。下層が見えるのでわかりやすい。	- 層間の接着不良。 - 下層は影響を受けていない状態。 - ポイントエロージョンがこの損傷による場合もある。	- コーティングと充填剤が基材表面とともに損傷。 - 樹脂では最外層の繊維の方向に沿った損傷、ガラス層では45度の縞模様が見える。	- コーティングと基材の界面が剥離して基材は損傷を受けていない状態。 - つながった剥離領域ができ、放射状に進展する傾向がある。	- 基材が貫通し背後の空が見える状態。 - 基材の穴が見える。
- わかりやすさ 3.79 ± 1.47 - エロージョンレベル 1.74 ± 1.34	- わかりやすさ 3.79 ± 1.60 - エロージョンレベル 1.58 ± 1.48	- わかりやすさ 3.74 ± 1.39 - エロージョンレベル 1.79 ± 1.37	- わかりやすさ 4.00 ± 1.15 - エロージョンレベル 3.10 ± 1.10	- わかりやすさ 4.61 ± 0.71 - エロージョンレベル 4.00 ± 0.77	- わかりやすさ 4.21 ± 0.95 - エロージョンレベル 4.11 ± 0.83	- わかりやすさ 4.68 ± 0.56 - エロージョンレベル 4.89 ± 0.32

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

19

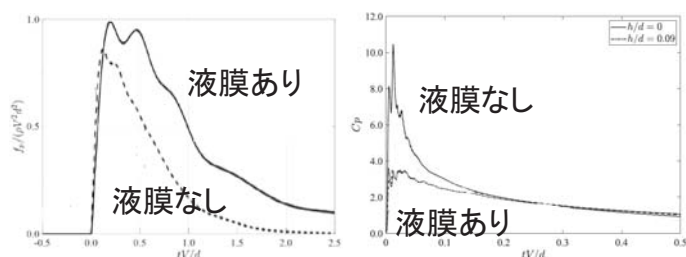
●日本の参画方法の検討(福島県補助事業、NEDO新革新事業)

・低速液滴衝撃の観察と数値解析

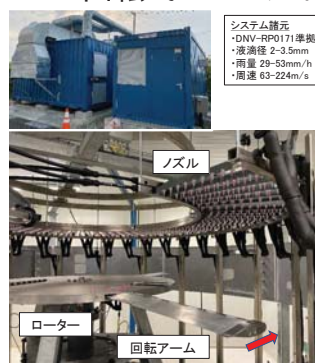


・衝撃力(実測)

・中心部圧力(解析)



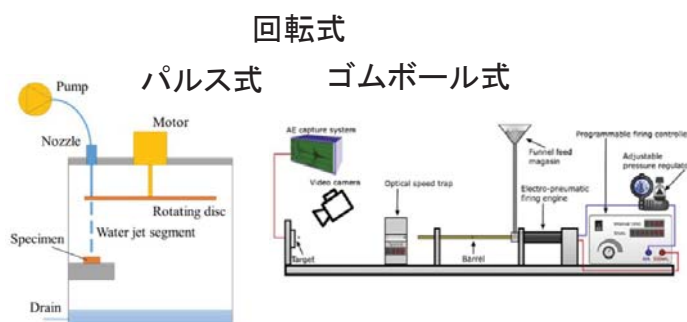
・回転式エロージョン試験装置の導入



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



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

●2023年9月のプレナリ会議ブレイクアウトセッションでの様々な意見

VNカーブの課題

- ・本来の疲労試験は時間軸が独立変数だがRET試験はそうでない。
- ・スプリングモデルはVNカーブを直線としているが曲線を想定すべきかも。

寿命予測の課題

- ・現場の補修はブレークスルータイミングで決めるので、現状の初生だけの議論では不足。ブレークスルーの重要性をDNV-RPに記述するべきでは。
- ・初生とブレークスルーの関係は一定でない。VNカーブはBTを特徴付けるには不適当なのではないか。
- ・RET試験の限界
 - ・初生の定量的判断が困難。
 - ・画像／目視判定が不安定。
 - ・実機との整合性が不明。
 - ・実機相当の低速試験は時間がかかる

RETから求める
寿命推定の精
度を向上したい

データ不足

現場の重要データは、実質的にOEMだけが保有している。

液滴径や衝突角度について

- ・現行試験片は揚力を発生しない空力的にニュートラルな形状で実機とは異なる。
- ・エロージョン進行速度は雨滴径やジグ周辺の気流、衝突角度により、変化する。
- ・液滴径よりも、衝突する水の量が支配的という例もある。
- ・120m/s付近以上では小粒雨による進行が速い。

多層システムの課題

- ・各層の単独RETだけでは、全体の寿命は計算できない。
- ・FRPが露出した時点で、即修理する必要がある。
- ・初生前に剥離する損傷はV-Nカーブでの評価の対象としていない。

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

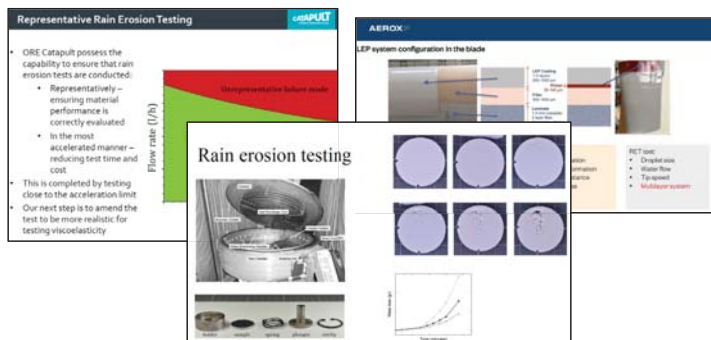
●研究項目:

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
→「モデル妥当性検証のための試験データ収集」

●これまでの活動事例：



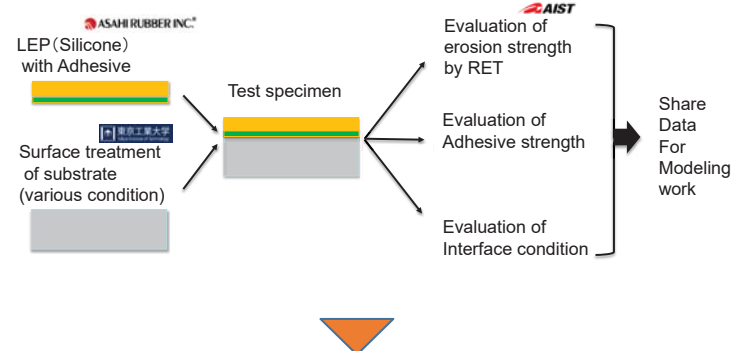
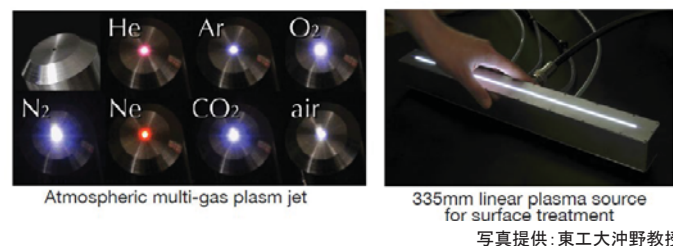
●各機関における研究内容の紹介

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 Mode III: 剥離試験 Mixed mode: ドリリーを用いたテスト	ISO 13586 ASTM D5656-10 ASTM D1876-01 ASTM D5656-10
界面の破壊靱性	Mode II: TAST [®] 試料 Mixed mode: ドリリーを用いたテスト	ASTM D5656-10 ASTM D5656-10
疲労亀裂進展速度	コンパクトテンソル試料	ASTM E647-15e1
粘弾性特性	動的粘弾性熱分析	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℃ ~ 30℃において溶融石英径を使用	ASTM D696-16
拡散係数	重量測定法	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

●2023年9月のプレナリ会議ブレイクアウトセッションでの様々な意見

エロージョンデータの収集における課題

- ・実際のブレードにおけるダメージ成長を写真データなどから採取して初生を分析したところ、シミュレーションよりずっと長持ちしていることが確認された。
- ・現場の雨量や雨滴径分布も考慮したシミュレーションが必要なのではないか。
- ・初生だけではなくブレイクスルーも評価すべきではないか

多層システムにおける課題

- ・多層塗装においてプライマの有無でエロージョン結果が異なる。
- ・プライマはパテとほぼ同じ物性なので、界面の接着品質が異なる耐久性を生じることが、判明している。
- ・同様に、サンディングの有無もVNカーブにも影響を与えることがわかっている。
- ・CEU, ORE等のチームに加え、日本チームが調査に取り組んでいる。他の参加者を募集中

モデル改良へのフィードバックが必要

4. 活動状況のまとめと所感

- ・各WPでクローズした議論から、WP間連携での議論に展開。
- ・日本国内でも少しずつ研究が進展しつつあり貢献方法を模索中。
- ・国内のエロージョン実態調査が実施できていないことが課題。

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**と肌で感じた。

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

2023/9 ワークショップ参加の峰岸様所感

- ・エロージョンによる年間発電電力量(AEP)影響については諸説あるが、Task46WP4がまとめた技術報告書の中ではAEPを～3%程度低下させるという数値を引用している。これは電力価格に換算すると全世界で年間数千億円相当の機会損失、さらにメンテナンスが加わる。将来の風車の大型化、洋上化、風力基地の増加に伴いこれらコストは膨れ上がるので、エロージョン問題の克服は、経済的側面にも支えられた重要な共通課題となっている。
- ・会議では、風車メーカー、発電事業者から気象、検査装置、認証の専門家まで顔を揃えて、最新の知見や課題に関する情報交換、連携呼び掛けが熱心に交わされていた。規模、蓄積データ量などで日本との違いを改めて認識する一方で、敵は気まぐれな自然であり、十分信頼できる理論や技術基盤、解決策の確立には長い時間を要することも認識、この分野で日本が世界へ貢献できるチャンスが多く残されていると感じた。

2024/2 ワークショップ参加の藤澤様所感

回転式エロージョン装置(RET)はあくまで実機風車の代替装置である。RETは、ヨーロッパを中心に8-9台ほど存在すると知られているが、今月から使用可能となるDTUのRETは、これまでのRETより一回り大きく、世界標準となる回転式エロージョン装置として相応しいと思えた。そこでは、ヒートポンプを活用した温度調整も可能なこと、北欧でしばしば問題となる氷の衝撃実験も可能であること、液滴用ニードル数は1800とかなり多いと聞いている。今後、各国に1台程度設置されている通常サイズのRETとの実験データの相関を通して、エロージョン装置の標準化が進むものと考えられる。



Task54

寒冷地における風力発電

2023年度 第12回 IEA Wind セミナー

プログラム No.8

TASK54の動向

エネルギーシステムとして風力発電量の割合が増えるにつれて、着氷による不確実性がエネルギーバランスを損なう要因となる

寒冷地において安定した電力供給のために

- ・着氷気象の予測
- ・着氷時の電力損失計算の精度向上と
- ・着氷を回避／除去する技術の開発を目指す

IEA Wind Task54会議は、2023年10月26日～27日にカルガリー大学にて開催

#	参加国	機関
1	オーストリア	Energieverkstatt Verein
2	カナダ	Nergica
3	デンマーク	DTU Wind Energy
4	フィンランド	VTT
5	ドイツ	Frauenhofer IFAM（生産・材料） Frauenhofer IEE（エネルギー）
6	ノルウェー	Kjeller Vindteknikk
7	スウェーデン	WindREN Vattenfall
8	スイス	Meteotest
9	イギリス	DNV
10	日本	NEDO、駒井ハルテック
11	アメリカ	コロラド大学

Task54のスケジュール

プロジェクト月->		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	
プロジェクト・サブタスク	内容																																					
進捗管理	IEA Exco への報告					x													x												x						x	
	プロジェクト会議	x				x						x							x						x						x						x	
	定例進捗会議																																					
不確実性の定量化	風車建設前の着氷気象測定の定量化 および 着氷の測定の長期補正																																					
	運転中の着氷による電力損失の定量化																																					
着氷した風車の制御	ブレード加熱システムの性能範囲の測定																																					
	寒冷地風車の制御戦略																																					
安全性と許容性	シンプルなアイススロー参照ツール																																					
	分散型風車の着氷対策																																					
	着氷による風車騒音の影響評価																																					
モデリングとテスト	着氷風洞ラウンドロビンベンチマークテスト																																					
	CFDコードの最適解																																					
	CFD内部コード比較																																					
市場やエネルギーシステムへの影響	着氷が市場やシステムに与えるレベルを定義																																					
寒冷地風車に求められる推奨事項	関連する出版物とソフトウェアの収集																																					

3

サブタスクの進捗状況（不確実性の定量化）

不確実性の定量化

デンマーク（DTU）とフィンランド（VTT）が協力して、不確かな事象を定量化するための研究を継続

- ✓ 着氷の発生条件
- ✓ ブレード上への着氷形成
- ✓ 着氷が与える発電ロス、風車への荷重
- ✓ アイススローの発生条件

着氷時間には多くの不確実性があり、方法の設定が非常に重要であり、方法について検証中

着氷による生産損失を推定するため
IceLossMethod（VTT）の感度分析を実施

電力損失の定量化

iceBlade（DTU）は、メソスケールの数値気象予測モデル内で、風力タービンブレード上の氷の付着（成長）と除去（損失）をシミュレート

WRF、MPAS、Harmonie-Arome気象モデルにおけるiceBladeのシミュレーション結果を比較

フィンランドは、推定総発電量を提供する風力発電予測システムを開発中

個別には、風車建設前の風況観測で着氷の可能性を調査し、長期に渡る着氷の可能性を予測し、より精度の高い事業性を算出

4

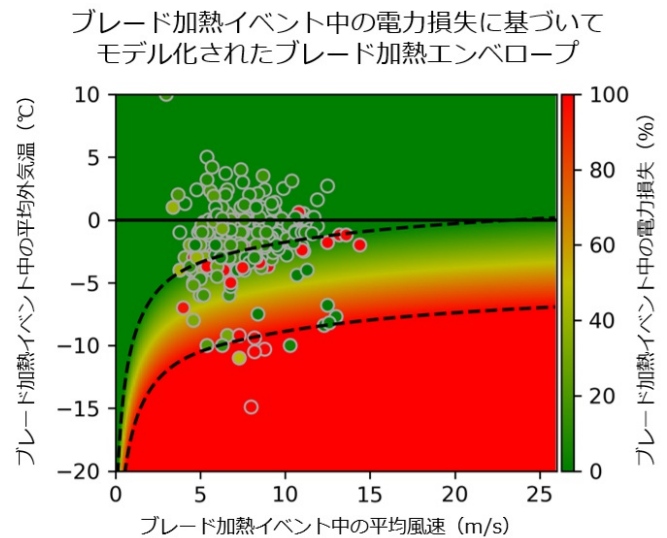
サブタスクの進捗状況（着氷した風車の制御）

ブレード加熱システム

IPS（Ice Protection System）はブレードをヒーターで加熱することにより着氷を防ぐシステム
ここでは性能評価の概念と方法論について議論される

検証のための方法は今後の研究によって、技術的検証や熱画像処理による比較手法を確立させていく必要がある

右図はスイスの検証報告より抜粋

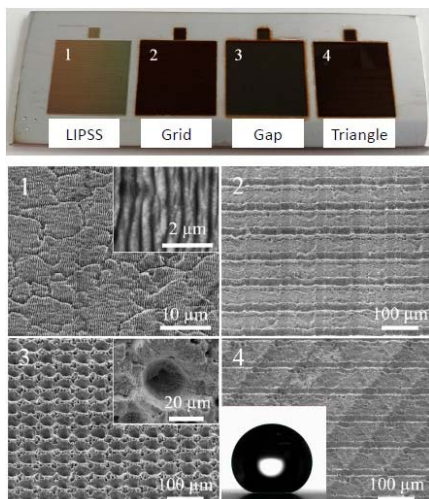


5

サブタスクの進捗状況（ブレード着氷の低減）

ブレード表面加工

オーストリア
NICE - 超短パルスレーザーによる表面のナノ構造化による氷形成の低減



疎水性コーティング

デンマーク
ブレードへの氷の蓄積を避けるためのナノコーティング材料を開発



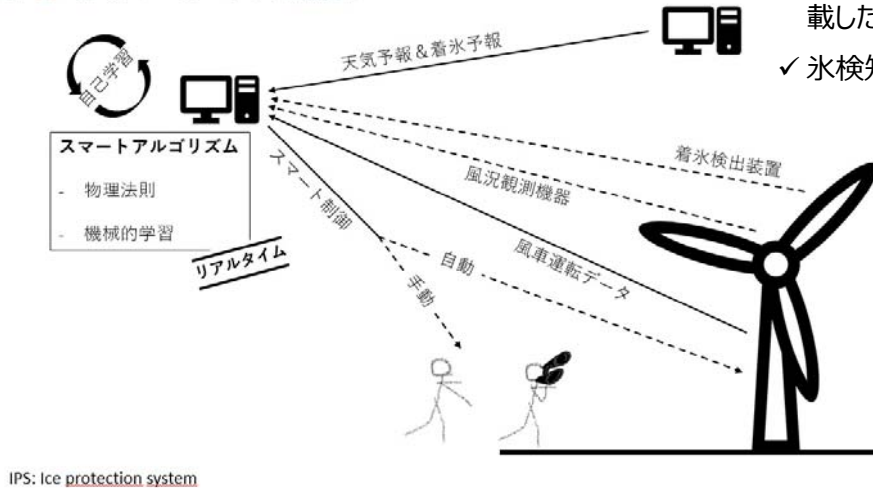
カナダでも事業者による改造氷保護システムと疎水性コーティングのテストを実施

6

サブタスクの進捗状況（寒冷地風車の制御戦略）

ブレード加熱システム制御（スイス）

IPS リアルタイム制御



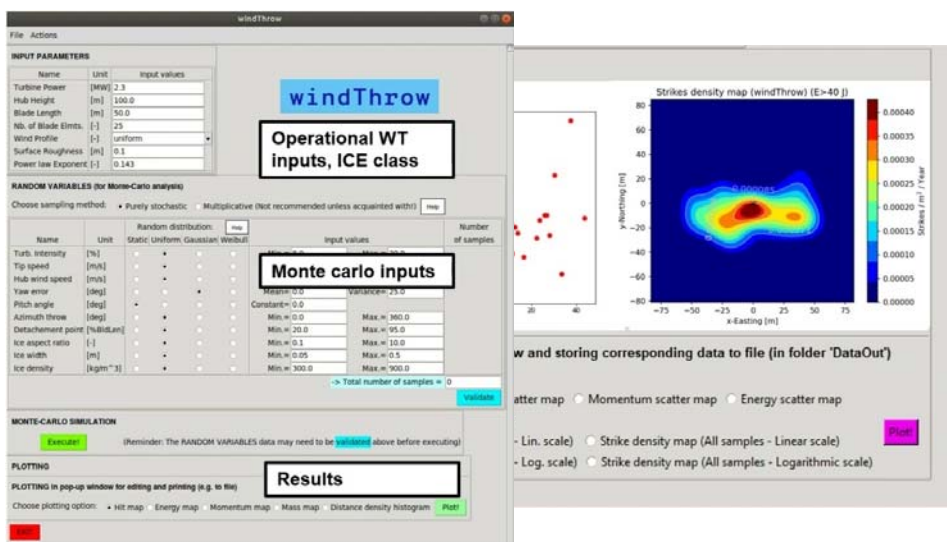
着氷予測と着氷検知（カナダ）

- ✓ 着氷予測と着氷検知を活用した防氷システムを搭載した風車の最適制御
- ✓ 氷検知システム性能評価

7

サブタスクの進捗状況（安全性と許容性）

アイススローツール（DTU）



各国による検証

ノルウェーは、フィールド測定データを使用してコードを検証

スイスは、元々ブレードスロー用に開発された、より複雑な空力コード、詳細な空力モデルを使用して検証

フィンランドは、氷の成長速度を風洞で測定し、物体の氷が危険なレベルに達するまでにかかる時間を把握

8

サブタスクの進捗状況（安全性と許容性）

安全性と許容性

ノルウェー

研究プロジェクトSVIV（2023年秋+3年間）

冬季気候における風力発電所の安全な運転

H1 リスクの監視（例：ナセル屋根上のカメラ）

H2 リスク軽減策

H3 着氷予報

H4 サービス担当者のリスク評価のモデリング

H5 コミュニケーションとリスク管理

H6 国際連携タスク54参加

IEC 61400-31 ed.1

2023年11月にed.1として発行されました
風力発電サイトのリスク評価ガイドラインを示します

この文書は、技術的故障、人的ミス、極端な風況、**着氷**、落雷、地震、洪水、地滑り、火災などの内部または外部の原因によるリスクをカバーしていますが、水平軸と垂直軸を備えた陸上風力タービンのみが対象



PT 61400-31

Wind energy generation systems - Part 31: Siting Risk Assessment

The Technical Specification will lay out the process and methods for the creation of a turbine siting risk assessment and will address:

9

サブタスクの進捗状況（モデリングとテスト）

着氷風洞ラウンドロビンベンチマークテスト

測定方法や測定装置の信頼性を検証するために、複数の試験機関に同一試料を回して測定を行う。



ドイツの着氷風洞施設

→試験計画についてはDTUを中心に調整中

→将来的には、大規模な実験的検証キャンペーンを実施する可能性あり



デンマークの着氷風洞施設

10

サブタスクの進捗状況（モデリングとテスト）

CFD比較

WISE（性能評価付き風車着氷シミュレーションコード）

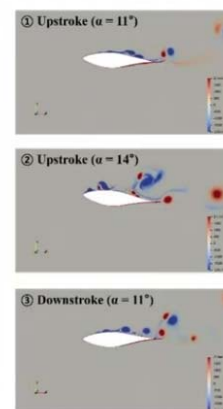
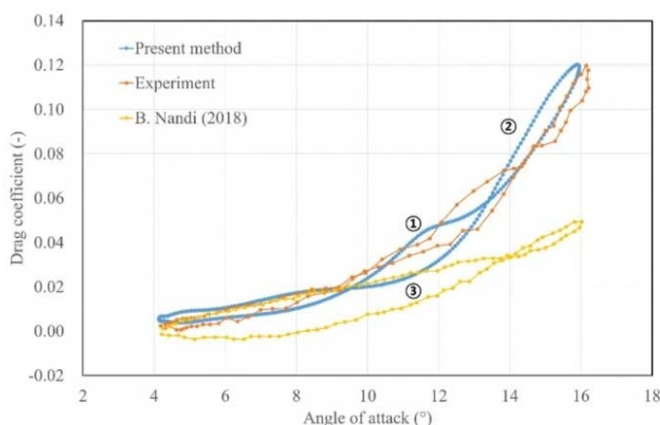
- オープンソース CFD コードベース (OpenFOAM)、氷の形状およびパフォーマンス予測コード

- 着氷コードの一般的な構成に従います: (1) 空気力学、(2) 液滴場、(3) 熱力学、(4) 氷の成長

- 進行中の研究: 着氷の粗さ等

CFDツールにはほぼすべての側面で違いがあるため、実際の測定結果との比較を行う

→結果は次期に続く予定



11

サブタスクの進捗状況（市場への影響）

着氷が市場に与える影響

着氷対策費用と着氷による損失は相反するので、バランス調整が必要

予測に重点を置き、解決策を提案

・ ICEクラスに名前を追加

IEA Ice Class	着氷気候名称	年間の気象学的着氷率[%]	着氷による年間発電量損失[%]
5	Severe	>10	>20
4	Heavy	5-10	10-25
3	Moderate	3-5	3-12
2	Light	0.5-3	0.5-5
1	Minor	0-0.5	0-0.5

着氷がシステムに与える影響

着氷が影響を与える事象ごとにさまざまなレベルを定義を行う

- ✓ 風力資源、着氷イベントによる着氷予測
- ✓ 予測の不確実性
- ✓ リアルタイムの風車応答の複雑さ
- ✓ 風車制御戦略
- ✓ ブレード加熱システム性能
- ✓ 運転可能条件の範囲
- ✓ 風力発電所が与える地域への影響レベル

12

日本の取り組み（寒冷地風車の制御戦略）

寒冷地風車開発の経緯

2011年	インフラ・システム輸出促進調査等委託事業として、独立系統地域における風力発電を利用したスマートマイクログリッドシステムの導入可能性を調査
2016年	国際エネルギー消費効率化等技術・システム実証事業として、独立電力系統地域における寒冷地気候に対応した風力発電システムを実証
2017年	エネルギーの消費効率化等に資する我が国技術の国際実証事業として、風力発電システムを含むエネルギーインフラ実証事業可能性を調査
2021年	エネルギー消費の効率化等に資する我が国技術の国際実証事業として、風力発電システムを含むエネルギーインフラ実証事業を実施
2022年	IEA Wind Task54開始

寒冷地仕様風車の設計は、IEC61400-1第4版附属書L（委員会草案：2014年）およびGLテクニカルノート「寒冷地における極度の温度に対する風力タービンの認証 Rev.4（2013年）」を参照して開発された

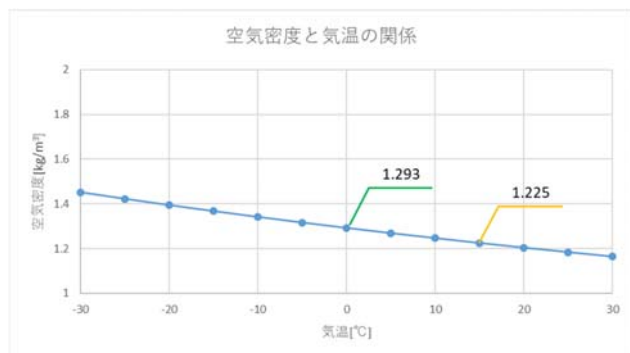
日本の取り組み（寒冷地風車の仕様比較）

項 目		標準仕様	寒冷地仕様	極寒冷地仕様
設計条件（外気温）		15℃	0℃	
風速条件	カットイン	3.0m/s		
	カットアウト	25m/s		22m/s
停止時ピッチ角		88°		85°
温度仕様	運転温度	-15℃～+45℃	-30℃～+30℃	-35℃～+30℃
	停止温度	-20℃～+55℃	-40℃～+40℃	-50℃～+40℃
低温時出力制御		なし	-15℃以下	-30℃以下
センサー	風向風速計	風速計：カップ式×2 風向計：矢羽根式×2	超音波風向風速計の併用	
	気象センサー	なし	温湿度計、感雨計	温湿度計、感雨計
	着氷センサー	なし	あり(着氷予測)	あり(着氷検出)
材料	タワー	-20℃ (Charpy=27J)	-40℃ (Charpy=27J)	-50℃ (Charpy=27J)
	ブレード	普通コーティング	着氷防止コーティング	
ヒーティング		なし	FANヒータ 低温停止時のヒータON/OFFの切替え可能	FANヒータ 低温時は常にON
断熱材（ナセルカバー）		なし	5cm	8cm
その他		---	---	非常用発電機 (電源喪失時対策)

日本の取り組み（寒冷地風車の設計）

風車設計要件（荷重）

- 風車に作用する風荷重は、温度で変化する空気密度に依存する



風車設計要件（温度）

- 風車に使用する機械部品のほとんどの温度保証は -30℃であるため、機器の保護のため室内にヒーターや断熱材を設置（図は冷凍庫試験の様子）



15

日本の取り組み（寒冷地風車の気象観測）

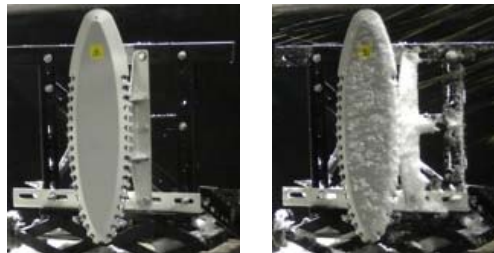
気象観測機器

- カップ式や矢羽根式の風況観測機器は凍結する可能性があるため、超音波風速計を使用
- 積雪と風速の関係を確認した（図は着氷風洞試験の様子）



着氷検出機器

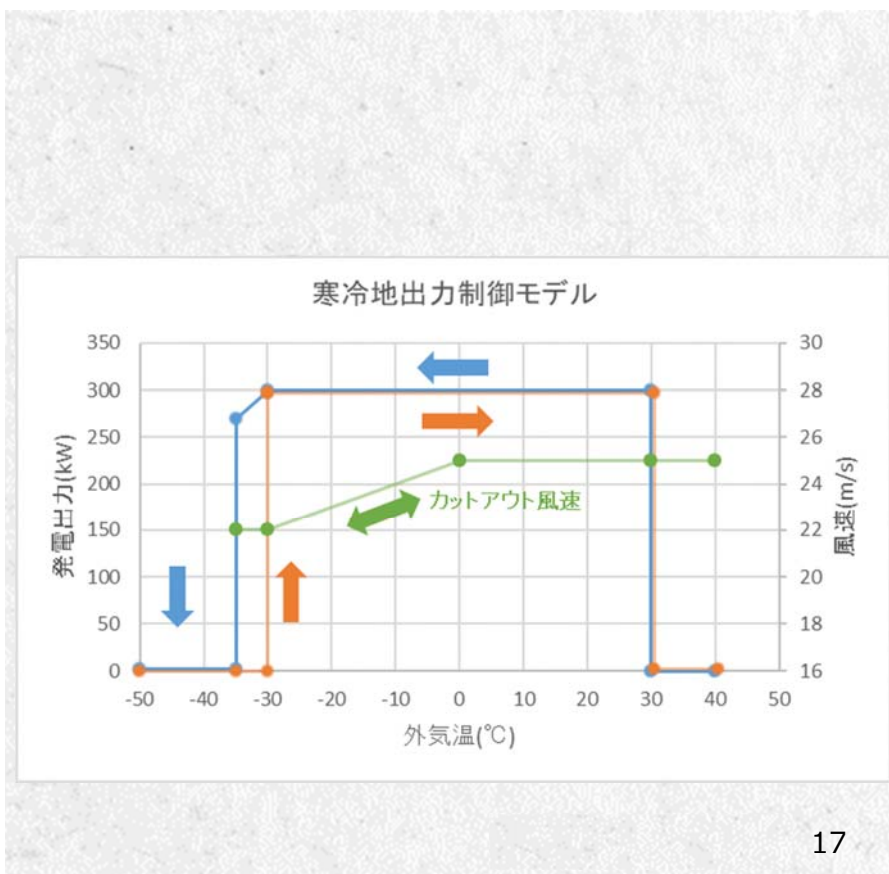
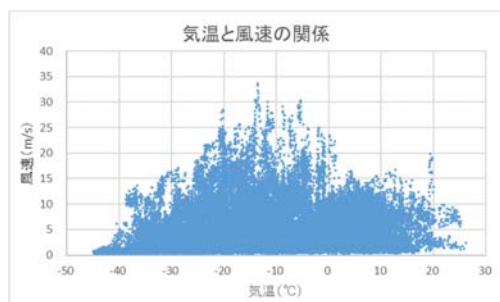
- 着氷の可能性を判断するための気象観測機器として、温湿度計や感雨計を追加
- 着氷センサーを追加し、着氷環境を判断（図は着氷風洞試験の様子）



16

日本の取り組み (寒冷地風車の 運転制御)

風車の荷重設計計算は、気温0℃を基準として計算されているが、0℃以下で風車を運転する場合、カットアウト風速の判定基準を下げることで、風車にかかる荷重を低減する。また、-30℃を下回る環境では、定格出力を下げることで風車荷重を低減する

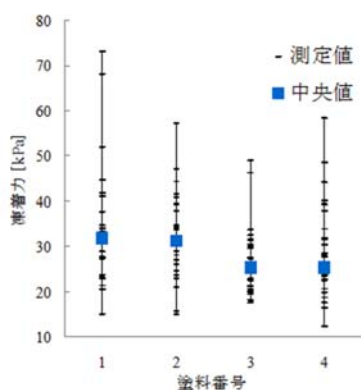


17

日本の取り組み (ブレード塗料試験)

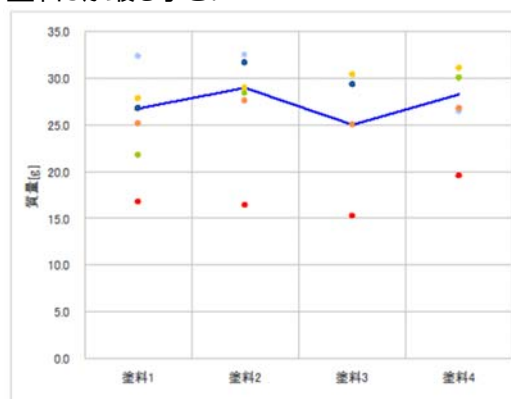
親水性試験

- 予め選定した4種の塗料より、親水性および撥水性の試験を実施
- 凍着力は、付着力試験装置で計測したせん断応力
- 塗料3、4が塗料1、2に比して20%低い



撥水性試験

- 縦軸は試験体に付着した氷の質量。着氷質量は、塗料3が最も小さい

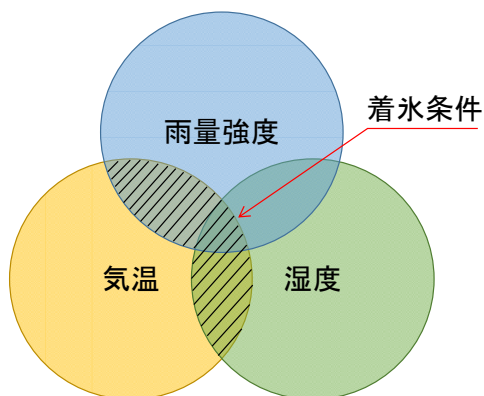


18

日本の取り組み（寒冷地風車の着氷対策）

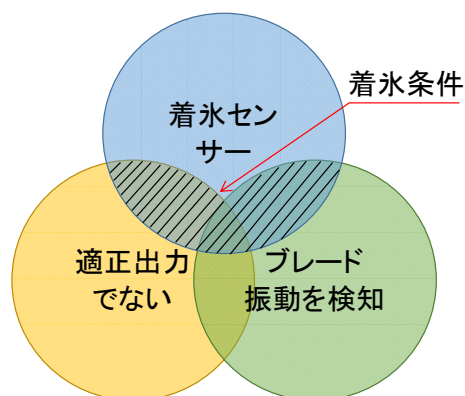
着氷予測

- 温湿度計と感雨計を用いて、着氷環境を判断し、運転を停止する



着氷検出

- 着氷センサーと風速に対する発電出力値およびナセル内の加速度計で運転状況を判断する



19

今後の予定

- ◆ Winterwind 2024.3 Sweden
- ◆ WindEurope 2024.3 Spain
- ◆ IWAIS 2024.6 Norway

より一般的な会議で寒冷気候に関する一般的なプレゼンテーションを計画

- Wesc in 2025 France
- WindEurope 2025 Denmark

2024年6月の総会で、成果物を共有する方法についての計画を発表



20



**ありがとう
ございました**

株式会社駒井ハルテック

IEA Task53 (風力発電の経済性) 活動成果と今後の活動計画

2024年2月28日

東京大学大学院工学系研究科
菊地由佳



THE UNIVERSITY OF TOKYO

Task53の概要

2/19

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 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In-person meeting、毎月のWeb meeting等を通じてディスカッション。
直近では、2023年11月14-16日にドイツ・カッセルでIn-person meetingが開催された。

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

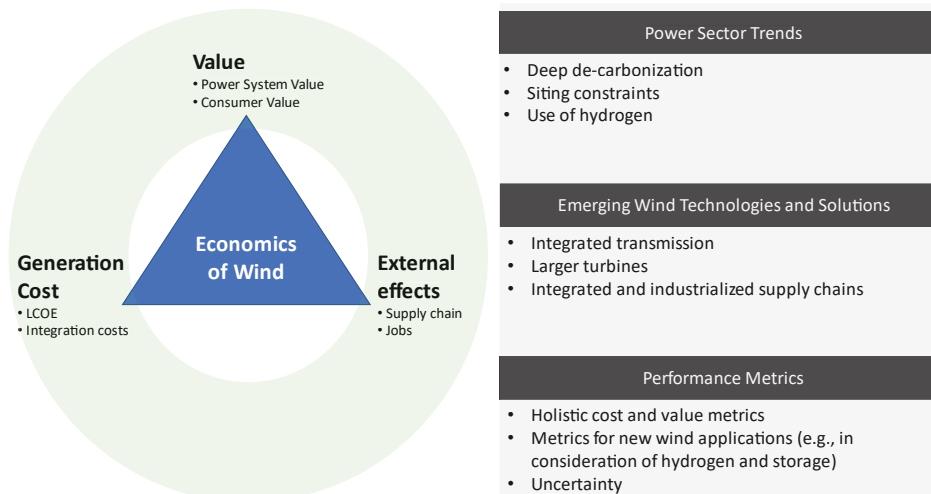
Operating Agent(OA): Beiter Philipp (NREL)

委員: ○菊地由佳(東京大学)、木村啓二(大阪産業大学)



THE UNIVERSITY OF TOKYO

- 高い普及率下での未来における風力エネルギーの設計、運用等の傾向を予測し、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性を分析する。
 - ・ 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。
 - ・ 脱炭素化が進んだ未来における技術進化、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。



Task53: 活動内容

WP	題目と内容	担当者
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 (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。	NREL (USA)
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。地域と送電線のタイプに対して比較のケーススタディを実施する。	UTokyo (JPN)
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。	NREL (USA)
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。	NREL (USA)
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。	EA (DNK)
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。	JRC (EU)



- ・ 脱炭素化する電力部門における将来の**陸上風力**に関する技術、立地選択、製造、価値について、専門家へのヒアリングにより予測する。
- ・ ヒアリングシートが最終決定し、12月上旬にインタビューを開始し、来年に論文にまとめる予定。

■ 立地選択について

- ・ 立地選択の要因(農業、野生動物、航空レーダ、社会基盤、景観、複雑地形等)/共同立地について
- ・ 大型風車(5MW)が望ましいか、小さい風車(2.5MW)が望ましいか
- ・ 陸上風力の発展に寄与する技術開発(市民風車、水素、蓄電池、PV、政策等)
- ・ 今後10年間の陸上風力発電の成長の阻害要因

■ 製造について

- ・ 製造拡大に必要な技術(風車の大きさ、自動化、グローバルサプライチェーンの構築、輸送技術 etc.)

■ 価値について

- ・ 風力発電の価値向上に必要な技術(低出力比の風車、データ分析技術、蓄電池併用、水素併用等)



WP2: 技術革新によるコスト低減・価値向上 (UTokyo)

- ・ 発表者が提案するエンジニアリングコストモデルの論文を出版した。
- ・ 今後、エンジニアリングコストモデルを用いた技術革新によるコスト低減量の評価を実施し、共同論文を2025年末までに出版予定。

Y. Kikuchi, T. Ishihara, Assessment of capital expenditure for fixed-bottom offshore wind farms using probabilistic engineering cost model, Applied Energy, 341, 120912, 2023

共同論文の計画

- ・ エンジニアリングコストモデルのより包括的なレビュー
- ・ イギリス以外の国での検証
- ・ 最新技術によるコスト低減分析



- Task26における調査のまとめとして、CfD制度 (Contracts for Difference: 差額決済契約) におけるリスクマネジメントに関する論文が2023年12月に出版された。
- エンジニアリングモデルを用いた不確かさ評価を行うことが検討されている。

Beiter, P., Guillet, J., Jansen, M. et al. The enduring role of contracts for difference in risk management and market creation for renewables. Nat Energy 9, 20–26 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41560-023-01401-w>

nature energy

Perspective

<https://doi.org/10.1038/s41560-023-01401-w>

The enduring role of contracts for difference in risk management and market creation for renewables

Received: 21 February 2023

Accepted: 11 October 2023

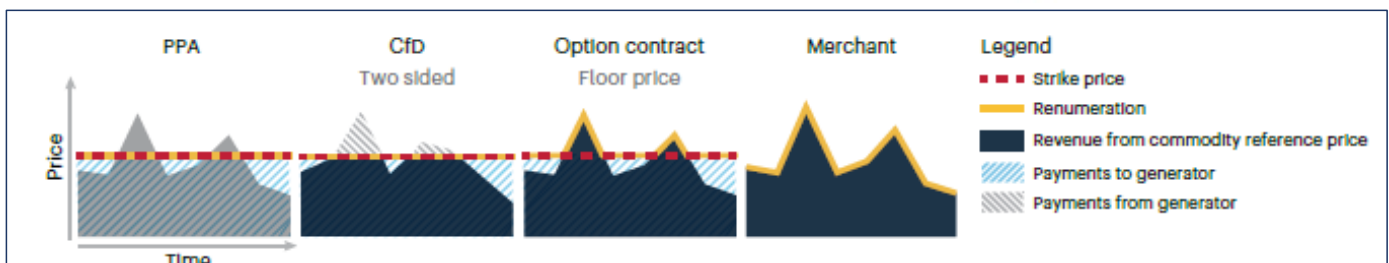
Published online: 05 December 2023

Check for updates

Philip Beiter¹, Jérôme Guillet², Malte Jansen³, Elizabeth Wilson⁴ & Lena Kitzing⁵

Governments procure renewables through a variety of mechanisms. Contracts for difference (CfDs) have been used for more than 50% of the global offshore wind supply. The payments awarded through CfDs are sometimes labelled subsidies, suggesting that they support uneconomic activity. Here, we argue that the primary role of CfDs is rather risk management by creating a market for electricity supply at stable long-term prices. Similar to its use in other sectors of the economy, this contract type transforms a variable to a fixed price to reallocate volatility risks. Such long-term contracts are often necessary for renewables financing due to limited hedging options in existing markets. Our perspective could imply a shift in perception towards CfDs as a fundamental and lasting market feature. We hope to stimulate a timely discussion about the impact of greater CfD diffusion on electricity market mechanisms, risk allocation and the potential for combining fragmented streams of energy finance, market and policy research.

- CfD制度は補助金と混同されることが多いが、補助金の役割は本質的ではなく、長期にわたって安定的な価格で電力を供給する市場を創出することによるリスクマネジメントの役割を果たしている。



THE UNIVERSITY OF TOKYO

WP4: 現在と過去の陸上風力発電のコスト分析 (NREL)

- Data Viewerが更新され、見やすさが改善された。
- Task26に引き続き、各国の陸上風力発電のコストを収集している。

日本の状況

- 導入量に関する公的資料が存在しないため、JWPAの報告値を基に、毎年建設された発電所のホームページを調査し、提出している。
- 発電所の風速はNeoWindsを用いて評価。
- CAPEX・OPEXは調達価格等算定委員会の資料を基に評価。最大値・最小値・中央値は不明。

<https://iea-wind.org/task53/task-53-data-viewer/>



THE UNIVERSITY OF TOKYO

- BALMOREモデルを用いて、水素の導入が風力発電と水素の価格に及ぼす影響を評価
- 来年の夏までに報告書をまとめる予定

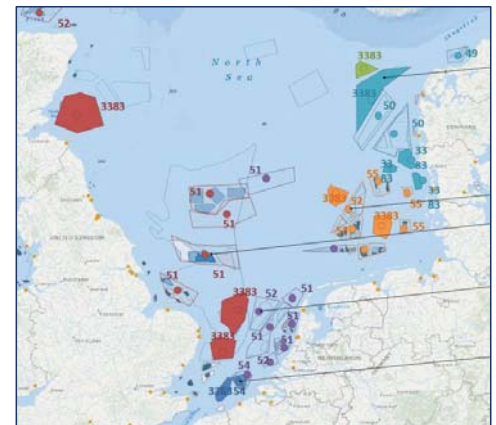
分析例:

- Case I: 100%を電力として送電
- Case II: 水素と電力に半分ずつに分けて送電
- Case III: 100%を水素として送電
- Case IV: 水素の最適な配分を評価するケース

DK, NL – 4 GW offshore wind in 2035, 10 GW in 2050

DE, GB – 6 GW offshore wind in 2035, 12 GW in 2050

BE – 6 GW in 2035



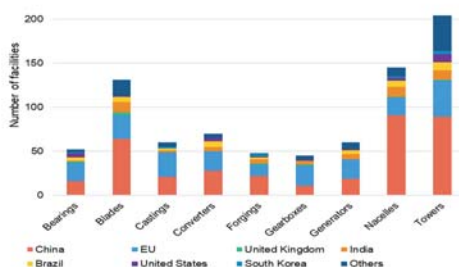
THE UNIVERSITY OF TOKYO

WP6: サプライチェーンの発展と需要分析 (JRC)

10/19

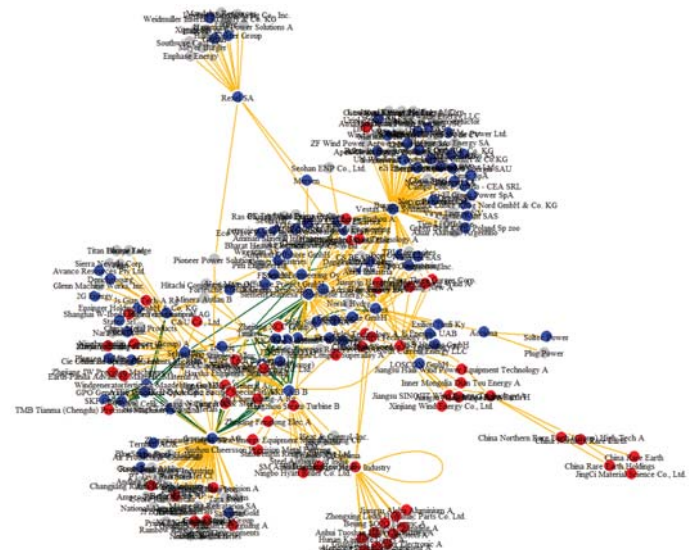
- サプライチェーンに関するデータベースを分析するとともに、補助金・製造拠点・雇用者数・レアアース有無等を考慮し、需要を満たす将来のサプライチェーンの発展に必要な投資額や障壁要因を分析する。来年末に報告書を完成する予定。

サプライチェーンにおける工場数



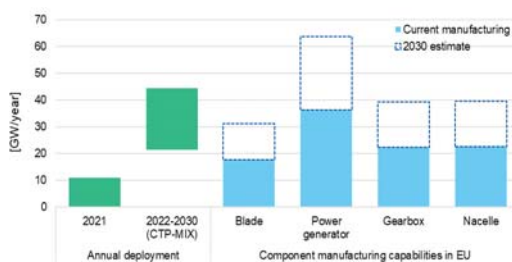
Source: JRC based on WindEurope/WoodMackenzie, 2021

データベースに基づくサプライチェーン分析例



Blue nodes EU, Red nodes China, Grey nodes RoW

サプライチェーンの将来需要



Source: JRC, 2022



THE UNIVERSITY OF TOKYO

- 2023年12月23日、海洋再生可能エネルギー発電設備整備促進区域である3海域における選定事業者を発表した。
- 2海域ではゼロプレミアム水準である3円/kWhで落札された。

	選定事業者の供給価格
秋田県男鹿市、潟上市及び秋田市沖	3円/kWh
新潟県村上市及び胎内市沖	3円/kWh
長崎県西海市江島沖	22.18円/kWh

<https://www.meti.go.jp/press/2023/12/20231213003/20231213003-1.pdf> より作成

	今回対象の促進区域 【モノパイル式】 ・秋田県八峰町・能代市沖 ・新潟県村上市・胎内市沖 ・秋田県男鹿市・潟上市・秋田市沖	今回対象の促進区域 【ジャケット式】 ・長崎県西海市江島沖	(参考) 前回公募の促進区域 【モノパイル式】 ・秋田県能代市・三種町・男鹿市沖 ・秋田県由利本荘市沖 ・千葉県銚子市沖
資本費 (接続費含む)	35.4万円/kW	67.2万円/kW	51.2万円/kW
運転維持費	1.26万円/kW/年	1.26万円/kW/年	1.84万円/kW/年
撤去費	4.8万円/kW	7.9万円/kW	10.7万円/kW
設備利用率	34.8%	37.0%	33.2%
IRR (税引前) (法人税等の税引前の 内部収益率)	10%	10%	10%
交付期間	20年間	20年間	20年間
供給価格上限額	19円/kWh	29円/kWh	29円/kWh 選定事業者の供給価格 13.26, 11.99, 16.49円/kWh

https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/080_b02_00.pdf



THE UNIVERSITY OF TOKYO

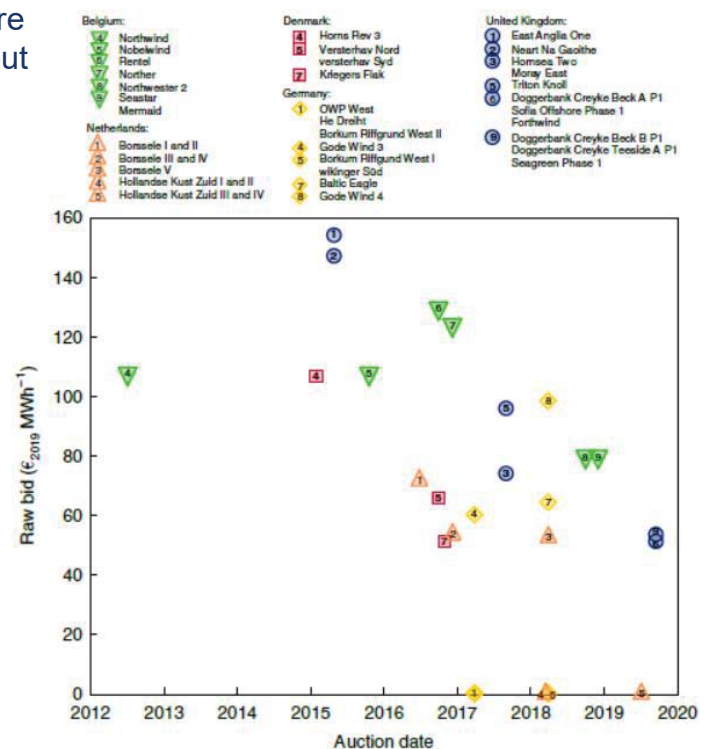
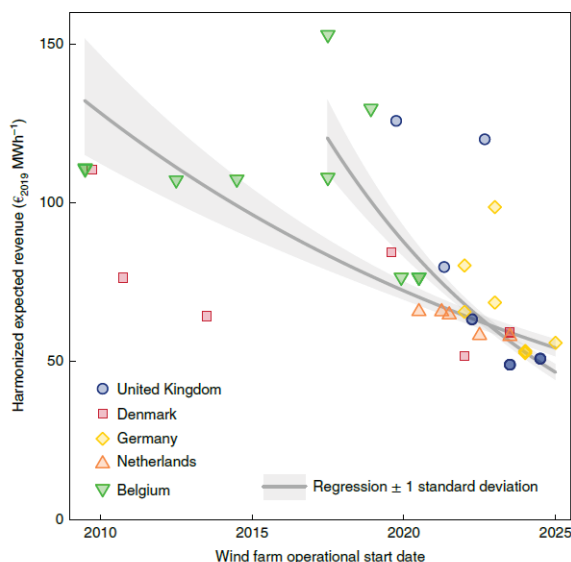
入札に関する欧州での議論：入札価格の分析方法

12/19

- 2020年に欧州での入札結果の比較に関する論文が出版された。
- 議論のために、期待される収益 (Revenue) の比較が行われた。

Jansen, M., Staffell, I., Kitzing, L. et al. Offshore wind competitiveness in mature markets without subsidy. Nat Energy 5, 614–622 (2020).

<https://doi.org/10.1038/s41560-020-0661-2>



THE UNIVERSITY OF TOKYO

Beiter, Philipp and Kitzing, Lena and Spitsen, Paul and Noonan, Miriam and Berkhout, Volker and Kikuchi, Yuka, Toward Global Comparability in Renewable Energy Procurement, 2021. Available at <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3770991>

Levelized Revenue and Value of Electricity

$$LROE + LTV + LIDV = LRVE \equiv LCOE_{eq}$$

- LROE** : Levelized revenue of energy
capture all possible revenue streams from energy production and capacity provision
- LTV** : Levelized tax value (米国の投資税控除ITC)
capture dedicated fiscal support received by a project in the form of preferential tax and depreciation rules
- LIDV** : Levelized infrastructure and development value (ドイツ、デンマークでの送電線に対する補助)
capture the value of broader infrastructure and development expenditures that benefit a project regardless of the paying entity



入札に関する欧州での議論：勝者の呪いに関する分析

S. Malleret, M. Jansen, A. S. Ladio, L. Kitzing, Winner's curse or blessing? The changing profitability of offshore wind from auction to final investment decision, Preprint in 2023. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4415948>

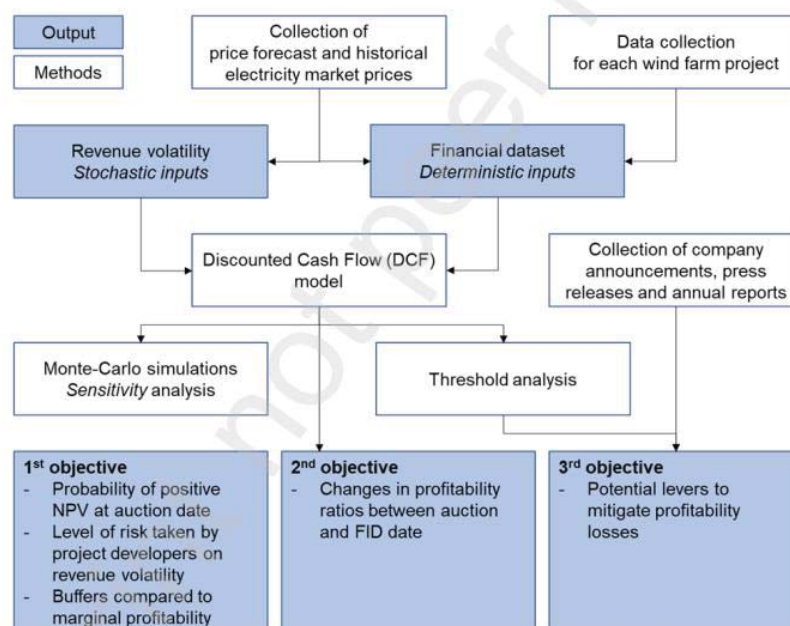


Figure 1: **Research design.** Research methods are presented with white boxes, intermediary and final outputs produced are presented with blue boxes. Our three research objectives are met by the three outputs displayed in the last row.



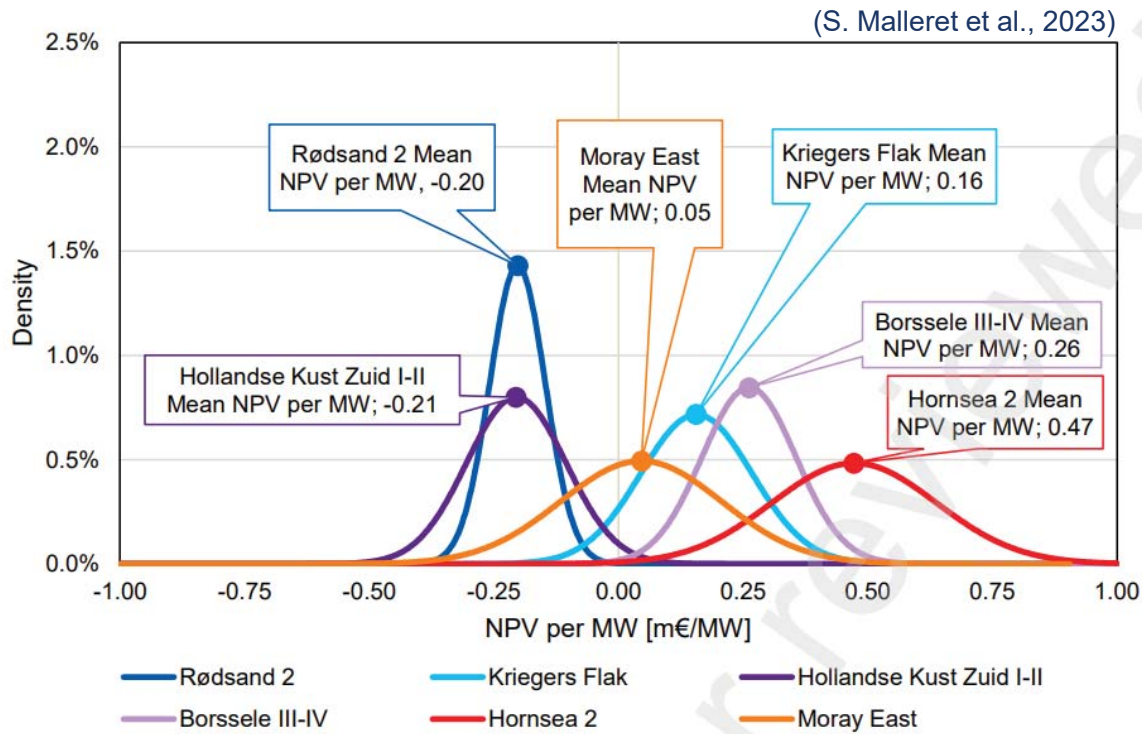


Figure 2: **Monte-Carlo simulation results - NPV per MW normal probability distribution curves.** Each curve represents the NPV per MW distribution of a project in the base case. It is a representation of the project uncertainty at the time of the auction about future revenues and the impact on project profitability.



- 電力市場価格の動向は、入札開催日から最終的な投資決定(FID)までの間に、収益性に大きなマイナスの影響を与える可能性がある。本論文では、プロジェクト開発者が近年の入札においてこのリスクを認識していた可能性を示唆するものを示した。
- コンティンジェンシー・バッファは、将来の市場価格の不利な展開の影響を緩和するために、近年増額されている可能性がある。主要な契約はFIDの数ヶ月前に確定しているようであるため、プロジェクト開発者が、落札後の電力市場価格予測の不利な展開を緩和するために、FID直前に予想される損失を設備供給業者や請負業者に転嫁したという兆候は見られなかった。
- デベロッパーは、期待投資収益率の低下を吸収する能力を反映して、プロジェクトの収益性を維持するために自己資本コストを調整した可能性がある。全体として、洋上風力オークション落札後のプロジェクト撤退を回避するためにリスク管理戦略が用いられたようであり、これは欧州の洋上風力産業にとって健全な兆候であると考えられる。
- 本論文は、最近の低入札価格でもプロジェクトが採算を取るには十分であることを示しており、既往文献で提起されたいくつかの懸念に答えるものである。さらに、我々の本論文は、洋上風力発電資産の収益の減少傾向がコストの減少を反映していることを示しており、これは最近の結論を支持している。



- 積極的な入札は、洋上風力発電プロジェクトにおける勝者の呪い(Winner's Curse)のリスクの増大、ひいては収益性の縮小に道を開く可能性がある。これは、投資家にとってこのセクターの魅力を低下させ、将来の成長に障害をもたらす可能性がある。
- この結果は、洋上風力発電所が建設される政策環境の重要性も強調している。我々のケーススタディは、市場価格へのエクスポージャーによる収益リスクが現実のものであることを示している。
- オランダやデンマークのウィンドファームと比較すると**英国のケーススタディは価格予測変動に対してより強固なビジネスケースを実証しており、収益性のぶれは他より小さい**。これは入札からFIDまでの期間が短いことや、**英国のCFD支援スキーム自体がリスク回避の性質を持っていることも一因と考えられる**。
- 補助金ゼロのウィンドファームは、支援スキームへの追加容量のコストを引き下げたが、政策立案者の中には、投資、収益、運用のリスクが高まるとWACCが上昇し、ひいては洋上風力発電のコストが上昇するため、ネットゼロを達成するために投資のリスク回避を継続することを選択する人もいるだろう。他の支援と並行して、政策立案者は入札からFIDまでの期間を短縮し、成熟したプロジェクトのみが入札に参加するようにすることで、リスク軽減ができる。

(S. Malleret et al., 2023)

よりよい入札制度設計に向けた議論が行われている



THE UNIVERSITY OF TOKYO

浮体式洋上風力発電に関するコストモデル

18/19

菊地由佳, 石原孟, 製造と施工方法を考慮したスパー型浮体式洋上洋上風力発電所の建設費評価, 日本風力エネルギー学会論文集, 2024

Table 3 Description of conventional and advanced technologies

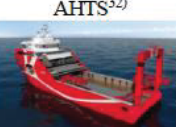
	Conventional	Advanced
Floater	Cylinder ²⁷⁾ 	Flat panel ²⁸⁾ 
Mooring line	Steel ²⁴⁾ 	Hybrid ²⁶⁾ 
Wind turbine Installation	Floating-to-floating ²⁹⁾ 	Floating-to-fixed ³⁰⁾ 
Mooring line installation	Barge type vessel ³¹⁾ 	AHTS ³²⁾ 

Table 15 Comparison of CAPEX between baseline and advanced models (10,000JPY/kW)

Item	Baseline	Advanced	Reduction rate (%)
DEVEX	2.3	2.3	-
Turbine	13.9	13.9	-
BOP			
Floater	13.4	11.4	15
Mooring and anchor	6.8	4.3	37
PTS	3.1	3.1	-
Installation			
Turbine	6.0	3.1	48
Mooring and anchor	2.5	2.1	16
Floater	1.1	1.1	-
PTS	5.3	5.3	-
Port	0.1	0.1	-
Others	6.0	4.7	22
Total	60.6	51.5	15



THE UNIVERSITY OF TOKYO

- 来年に成果が求められるWP1・WP5・WP6については、準備段階がほぼ完了し、調査やシミュレーションの実行段階に入っている
- WP2・WP3についても、計画をより詳細に詰めている段階である
- 日本は、WP2において、エンジニアリングコストモデルを更新し、新しい技術によるコスト低減効果を評価する予定
- 国内外の入札等に関する結果を随時共有し、欧州での議論の情報収集を行うとともに、国内の分析に反映していく



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

丸山康司(名古屋大学)

ym@nagoya-u.jp

Technology Collaboration Programme
by IEA



社会的受容性という課題の重要性



社会的受容性のための社会科学



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

4



社会的受容に関するIEA風力&タスク28



IEA Wind TCP

タスク28：風力エネルギー受容の社会科学：

- 風力発電プロジェクトの責任ある適切な展開に関心を持つ、より多くの国やさまざまな研究者、社会科学者の多様な参加
- エンドユーザーの関与と広範なシステム思考を通じて、タスクの成果物の価値を最大化する
- 新興経済国へのタスクのリーチを拡大し、世界的なエネルギー転換を支援することを模索する



4



Task 28 Phase IV

- 2020年5月～2024年4月
- OA スザンネ・テーゲン(アメリカ)
- 参加国: カナダ、デンマーク、ドイツ、スウェーデン、アメリカ、アイルランド、スイス、日本
- オブザーバー: オランダ、ノルウェー、Wind Europe、英国、フランス、フィンランド



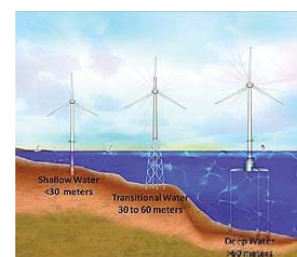
IEA Wind TCP

タスク28 トラック1: 研究の統合とギャップ分析

1. 風力プロジェクトによる付加価値と便益スキームのイノベーション
2. 地域社会の関与や反対に関連するコストの把握
3. 風力発電の受け入れにおける新しい課題（超大型タービン、空中風力、浮体式洋上風力など）

タスク28 トラック2: 研究の普及、促進、知識交換（研究が世界的に共有されるようにする）

4. 風力エネルギーに関する世界的な関与と知識交換の増加
社会受容性と社会科学
5. 社会科学と風力エネルギーに関する洋上風力ワーキンググループ
の受け入れ: 専門家の招集交流と情報発信



日本ミーティングの開催 (2024年5月8・9日)

- 次期タスクについての議論
- タスクメンバーとの研究交流会
- 公開セミナー
 - リモート含め130人あまりの参加
 - 環境影響についての知見共有
 - 騒音
 - シャドウフリッカー
 - 地価
 - 航空警告灯
 - その他
 - JWPA行動規範の公開と討論



第3フェーズ成果レポート日本語版の公開

https://www.nedo.go.jp/library/ZZFF_100048.html

- 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

景観と視認性

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



Devine-Wright, P. and S. Batel (2013). "Explaining public preferences for high voltage pylon designs: An empirical study of perceived fit in a rural landscape." *Land Use Policy* **31**: 640-649. 9

健康と不快感

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

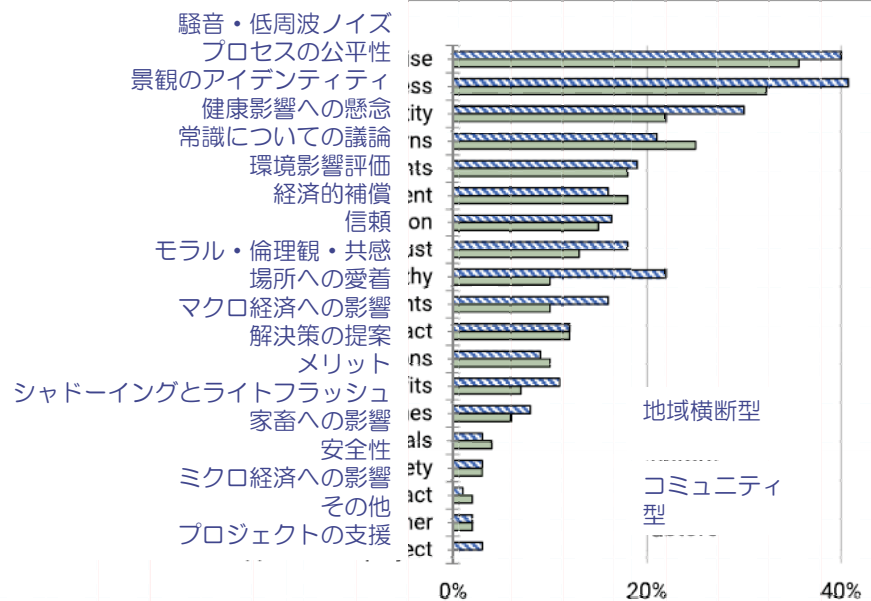
Michaud, D. S., et al. (2016)
DOI: 10.5665/sleep.5326.
Poulsen et al.(2018)
DOI: 10.1016/j.envint.2018.08.054
Pedersen, E. and Persson Waye, K.
(2004)DOI:10.1121/1.1815091
Pasqualetti, M. J. (2011)
DOI:10.1080/00045608.2011.568879
Fast, S., et al. (2016)
DOI:10.1038/nenergy.2015.28
Fast, S., et al. (2016)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



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

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

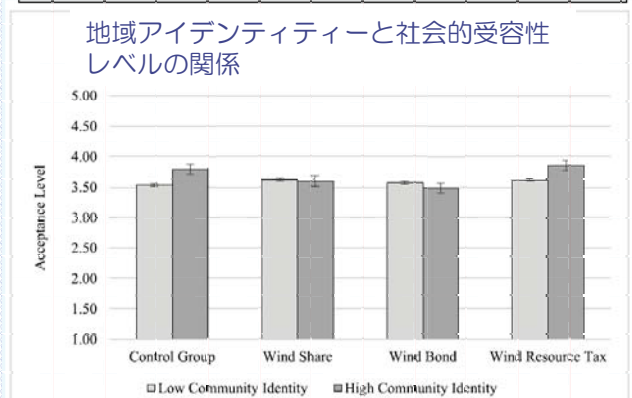
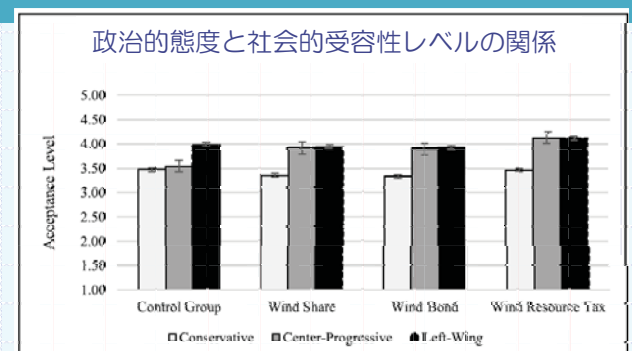
- ◆ デンマークにおけるSNSの分析（風力反対者のFacebookページとグループ）
- ◆ 主な問題関心の分布（右図）
- ◆ 地域横断型とコミュニティ型の違い



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

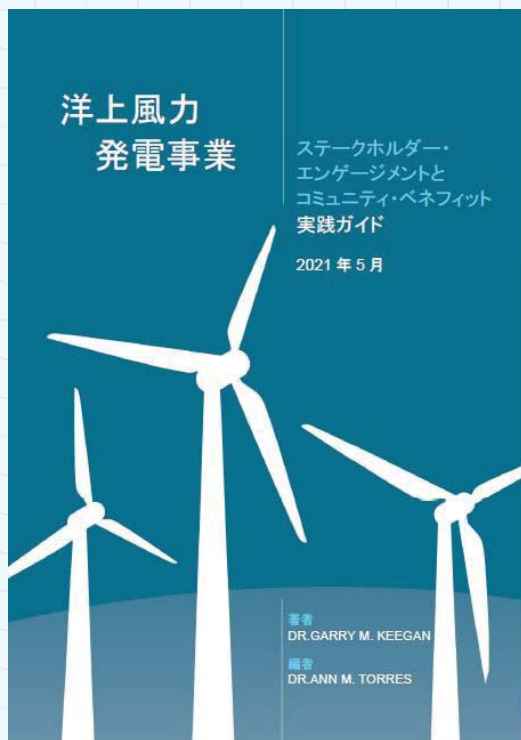
スイスにおけるコミュニティ投資

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



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

第3フェーズ成果レポート日本語版の公開



<https://www.nedo.go.jp/content/100959915.pdf>

13

立地地域であり得るリスク（潜在的可能性として）

認識されている不利益	コメント
自然環境	・魚種資源や海洋生物の減少 ・鳥個体群およびそれらの飛行路への懸念 ・自然の美しさや海岸線の質の変化 ・手付かすの自然の価値を損なうこと ・風量タービンの視界への侵入
生業	・漁業への影響（生計、スキル、生活様式） ・航路妨害や、衝突リスクの増加
文化	・地域の文化や価値（歴史的環境など）の損失 ・海岸の景色の特徴や価値との齟齬 ・地域に対する人々の愛着を損なう ・民主主義的文化の損失
生活環境	・景観への影響 ・不動産価値の低下 ・ボート、釣り、ヨットなどレクリエーション活動へのマイナス効果
ビジネス利益	・観光、伝統的遺産、漁業、レジャークラフティング、航空交通、および電気通信への影響
健康と安全	・電磁波への懸念 （ケーブル陸揚げ地点/陸上系統連系、ケーブルルート、および変電所）

14

洋上風力の潜在的ステークホルダー

地元のステークホルダー・グループ	例
居住者	- 沿岸および港湾コミュニティ - 居住者協同組合 - 住民組織 - 自警団
コミュニティのインフルエンサー（影響力を持つ人）	- 地域のオピニオン・リーダー - 大規模な雇用主 - 選ばれた市民の代表 - 地元、市、地域、州、国の放送メディアや活字メディア - ソーシャルメディアに関心のある人 - 有名人、セレブリティ
業界団体	- 地元の小売店 - 商工会議所 - サービス業および製造業 - 商業漁業者 - 輸送会社 - 労働組合 - 電気通信事業者 - 観光産業提供者 - 接客および宿泊施設提供者

15

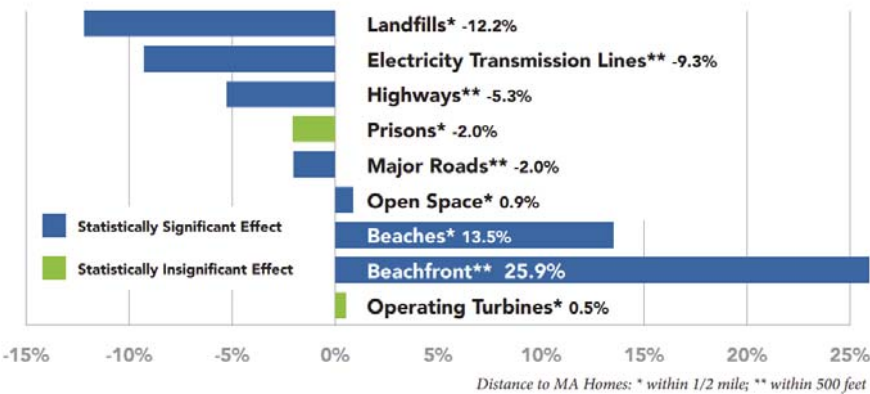
コミュニティエンゲージメントの指針

早期の関与	明確なコミュニティ・エンゲージメント・プランを早い段階で周知させる。
可視化	プロジェクトの初期段階や、調査段階で視覚的資料を作成する
コミュニティの関与	計画策定時のコミュニティ関与の価値および地域についての知識を認識すること。
コンサルテーション・プロセス	地域の計画策定当局およびステークホルダーとの計画および設計コンサルテーション・プロセス
包括的	全てのステークホルダー・グループを関与させ配慮するために、包括的アプローチを使う。
戦略的エンゲージメントのレベル	地域にふさわしい、コンサルテーション方法やテクニックを使う。戦略的エンゲージメントのレベルを決定する。
透明性	常に、また、情報を発信したり、フィードバックを受けたりしながらのエンゲージメント活動において、透明性がありアクセスしやすいこと。
柔軟性	計画はステークホルダーの見解を組み込めるよう、柔軟でなければならない。
対話	事業設計/計画の変更に関し、有意義で丁寧な対話を続け、それらは、計画策定レジームを認識して、タイムリーに伝えられ、議論される。
ネットワーク	社会的・非公式ネットワークの重要性を認識する。コミュニティと協力関係を築く。
地域資源	雇用や契約を満たすために地域の人材や資源を活用する。
ベネフィット・スキーム	地域コミュニティと、軽減、補償手段、およびベネフィット・スキームについて話し合う。 倫理的企業の社会的責任とガバナンスを認識する。

16

主要な研究成果：土地の資産価値への影響

Figure 1: Summary of Amenity, Disamenity and Turbine Home Price Impacts



Source: Hoen, B., & Atkinson-Palombo, C. (2016). Wind turbines, amenities and disamenities: a study of home value impacts in densely populated Massachusetts. *Journal of Real Estate Research*, 38(4), 473-504.



バークレー研究所が主導した先行研究（2008年～2016年）では、風力タービンと住宅地の資産価値との間に統計的に有意な関係は見られなかった

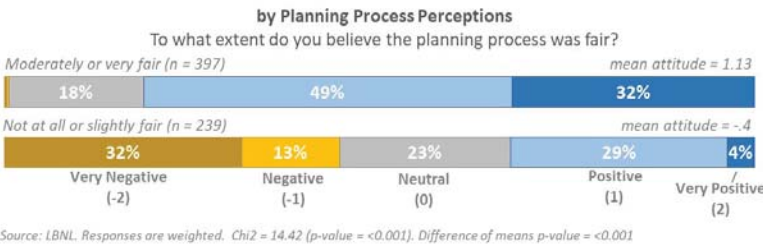
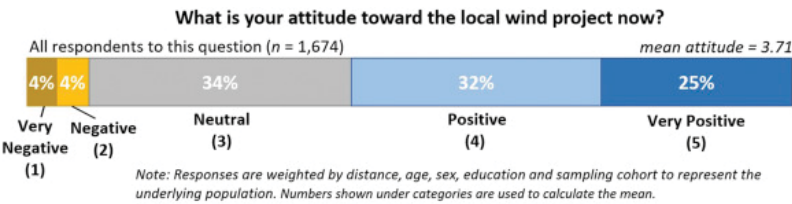
新たな不動産価値分析（2023年）を実施中；タービンから5マイル以内の50万件の取引を調査

最近（2023年）のバークレー研究所の調査では、特定の状況において、大規模太陽光発電所から0.5マイル以内の住宅に対する価格へのマイナスの影響は非常に小さいことが確認された。

その効果は、分析した6州のうち3州と、以前は農地であった場所に開発された大規模な太陽光発電プロジェクトにのみ見られた。

主要な研究成果：近隣住民によるプロジェクト評価

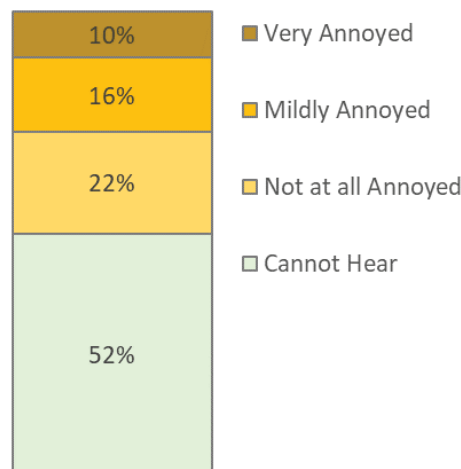
- 2016年米国風力プロジェクト近隣住民調査
 - ▣ n = タービンから8km以内の回答者1,705人
- 過半数（57%）が肯定的
- 風力プロジェクトへの評価に影響を与える要因
 - ▣ 計画プロセスの公正さ
 - ▣ 感覚的知覚
 - タービンがどのように見えるか、景観に合っているか
 - 音に対する迷惑度
 - ▣ コミュニティ・アイデンティティ／場所への愛着
 - ▣ その他
 - 風力開発全般に対する態度
 - 気候変動への懸念
 - 風力は気候変動の緩和に効果があるという信念
 - 資産価値への影響に対する認識



Hoen, B., Firestone, J., Rand, J., Elliot, D., Hübner, G., Pohl, J., ... & Kaliski, K. (2019). 米国の風力タービン近隣住民の態度：全国調査の分析。 *Energy Policy*, 134, 110981.

主要な成果：風車音に対する不快感に影響を与える要因

- 全体的に、風力タービンの音に「非常に迷惑」と答えた回答者は比較的少なかった(10%)。
 - ストレス症状を経験した人はさらに少ない(～1%)。
- モデル化されたタービン騒音レベルと地域のバックグラウンド騒音レベルによって、可聴の75%は説明可能だが、不快感の説明力は5%未満
- 騒音による不快感に強く影響を与える要因
 - 回答者が風力プロジェクトの外見を気に入ったかどうか
 - 騒音全般への敏感さ
 - 風力プロジェクトに対する元々の態度
 - ローター直径と騒音レベルもモデルにおいて有意であったが、主観的変数に比べ影響力は低かった。

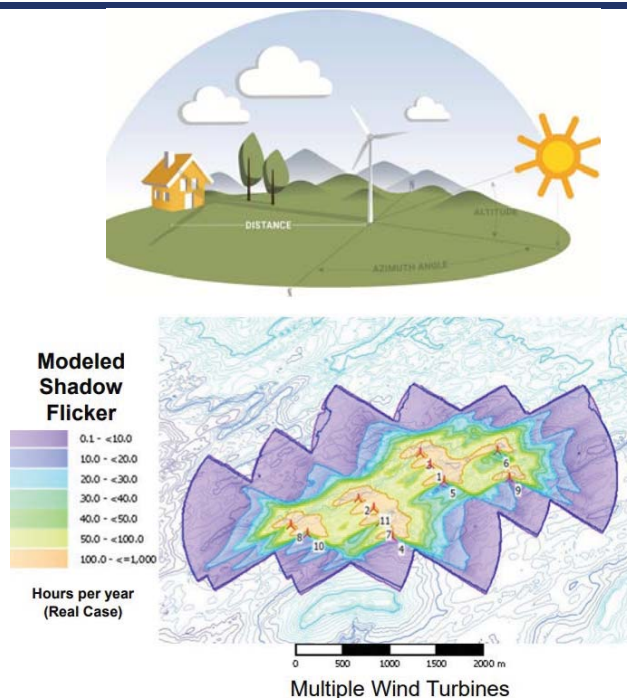


Haac, T. R., Kaliski, K., Landis, M., Hoen, B., Rand, J., Firestone, J., ... & Pohl, J. (2019). Wind turbine audibility and noise annoyance in a national US survey: Individual perception and influencing factors. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 146(2), 1124-1141.

19

主要な研究成果：シャドウフリッカー暴露の予測と迷惑度

- 米国の風力タービン周辺の約35,000世帯(うち747世帯にアンケート調査実施)を対象として、モデリングによりシャドウフリッカー(SF)への暴露を予測した
- 最も近いタービンから500m以内にある住宅の50%以上にSFがあった。
- モデル化したSFの暴露量は、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暴露レベルが高くても、SFに対する自己申告の迷惑度が高くなることはなかった。
- その代わりに、SFへの煩わしさは、主観的要因、例えばプロジェクトの外観や一般的な煩わしさと関連していた。

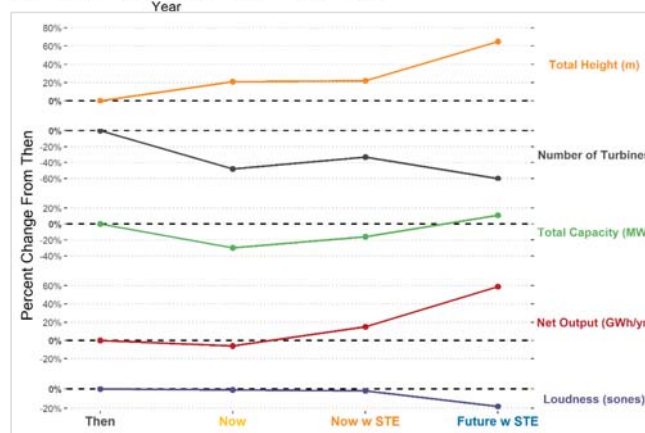
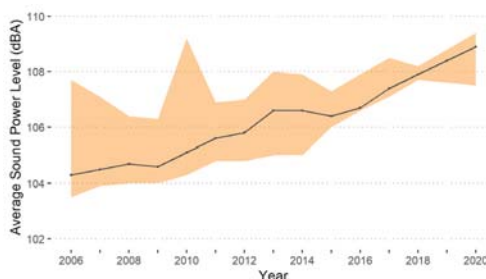


Haac, R., Darlow, R., Kaliski, K., Rand, J., & Hoen, B. (2022). In the shadow of wind energy: Predicting community exposure and annoyance to wind turbine shadow flicker in the United States. *Energy Research & Social Science*, 87, 102471.

20

主要な成果: 風車の大型化と風車音

- 風車の大型化に伴いブレードの先端速度も増加し、平均音響パワーレベルが増加している
- 2つの風力発電用プロトタイプ・サイトを開発し、11種類のタービン・モデル／スケールをモデル化した
- タービンの大型化により設置されるタービンの数が減少した。
- 大型のタービンは住宅から離れた場所に設置され、その結果、騒音レベルは低くなった。
- タービンの数が60%減少したにもかかわらず総出力は60%増加した



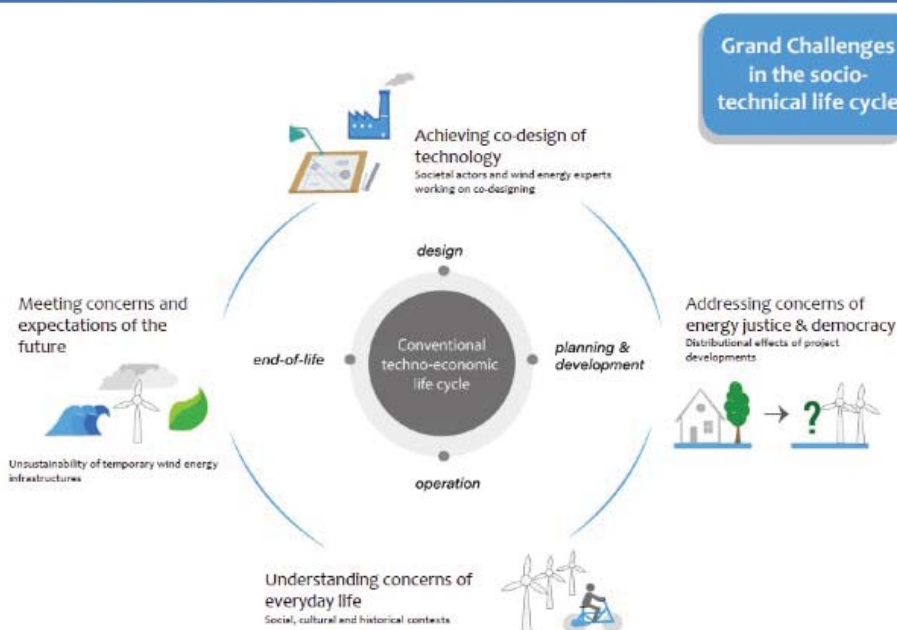
21

第5フェーズに向けた検討(?)



Wind TCP

Considering the Life Cycle from a Socio-Technical Perspective



第5フェーズに向けた検討（？）

1. 土地利用計画の文化 - 国による共通点と相違点
2. より大きな社会的文脈を踏まえた土地利用計画 - 再生可能エネルギーの地域計画（風力だけではない）
3. 許認可プロセス - 各国での共通点、相違点、教訓
4. 民主的な意思決定のための方法と支援 - 「エリート」の決定ではなく民主主義を促進する。開発者と地域社会の相互理解
5. 視覚化およびその他のツール
6. 財政面での住民参加や住民所有モデル

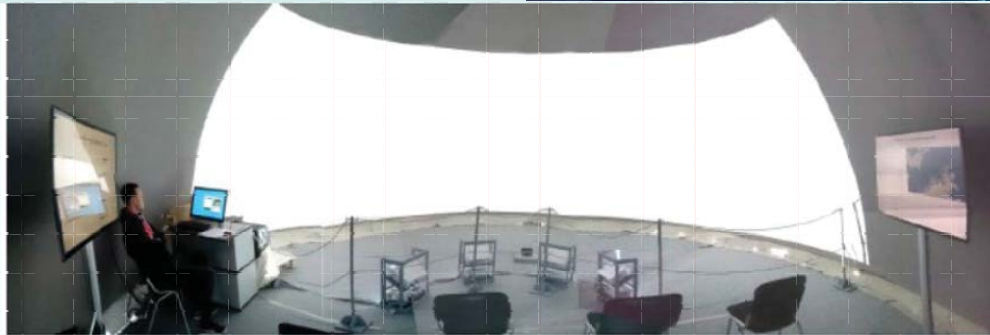
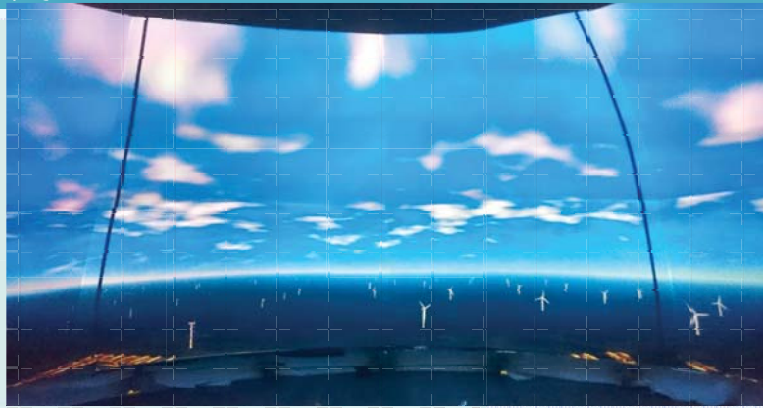
24

第5フェーズに向けた検討（？）

1. 土地利用計画の文化 - 国による共通点と相違点
2. より大きな社会的文脈を踏まえた土地利用計画 - 再生可能エネルギーの地域計画（風力だけではない）
3. 許認可プロセス - 各国での共通点、相違点、教訓
4. 民主的な意思決定のための方法と支援 - 「エリート」の決定ではなく民主主義を促進する。開発者と地域社会の相互理解
5. 視覚化およびその他のツール
6. 財政面での住民参加や住民所有モデル

25

コミュニケーション手法の開発



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

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

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



第12回 IEA Wind セミナー



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

2024年2月28日



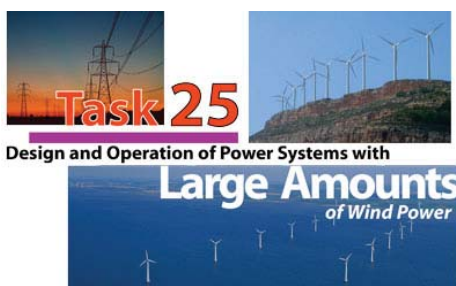
Task 25 の紹介

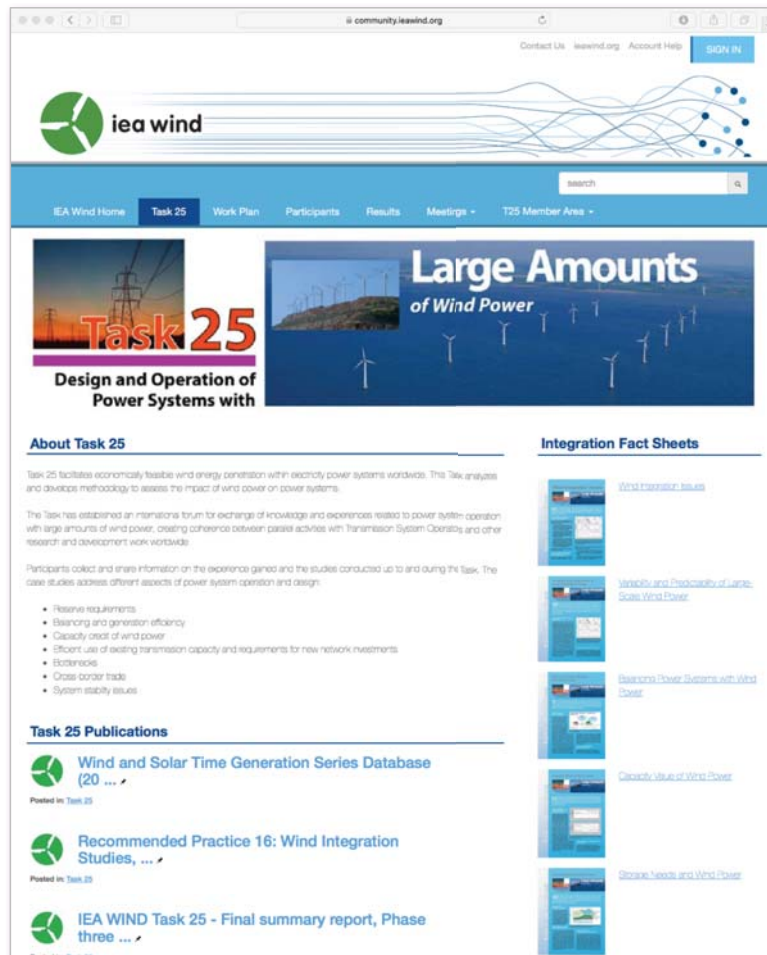
■ 名称

- 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





3



<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)

4



+ Task25の構成

5



■ 構成メンバー

女性率も高い
(ジェンダーバランス)

■ TSOなど実務者も多い

- Hydro Québec(CA)
- Energinet.dk (DK)
- TenneT (DE)
- RTE (FR)
- Terna (IT)



■ 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～

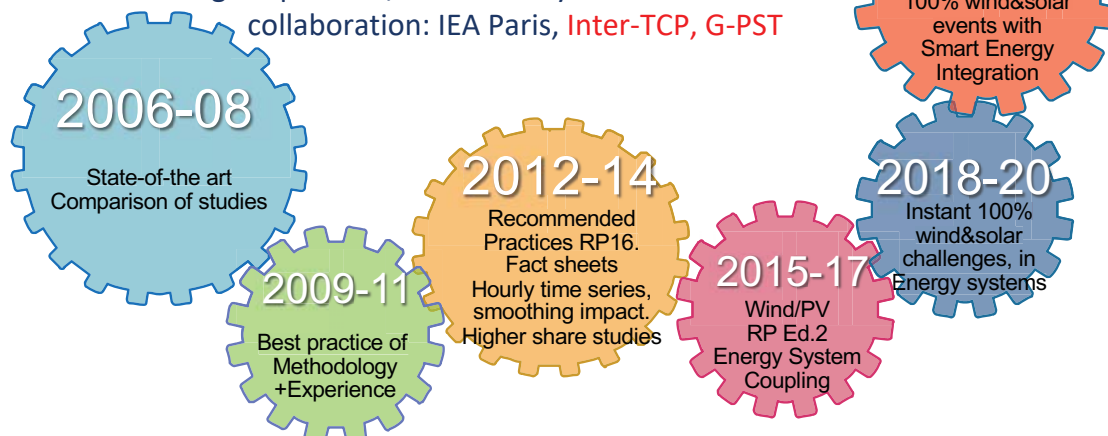
+ これまでの活動経緯

6



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.

+ 2023年度の活動



- 春季京都会議
 - 京都大学にて開催
(+リモート)
 - 5月8～9日
 - 参加者: 20名
 - オブザーバー参加
 - 京都大学 (京大再エネ講座の活動, 電力市場経済分析)
 - 東京大学 (IEA PVPS Task14)
 - など

+ 2023年度の活動

- 秋季ローマ会議
 - 10月31日～11月2日
 - Terna Academiaにて開催 (+リモート)
 - 参加者: 21名
 - 日本からの参加者
 - 安田(現地出席)
 - 田辺(リモート出席)

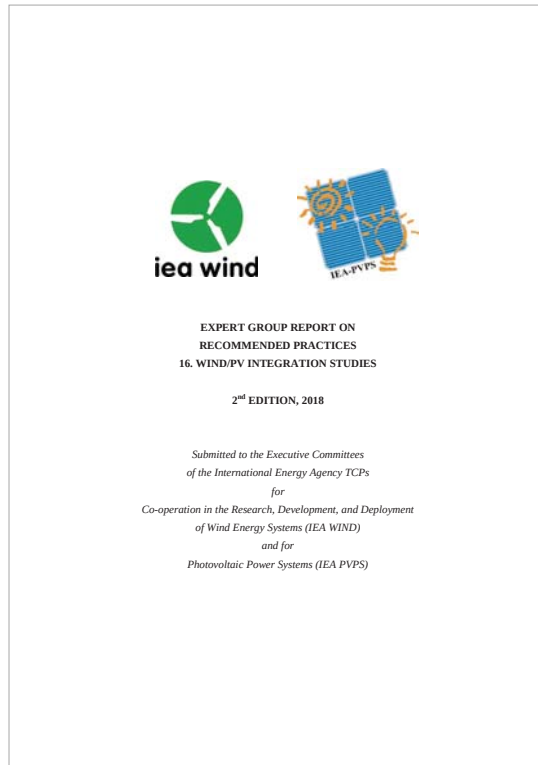
+ Task25成果物の翻訳

- 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

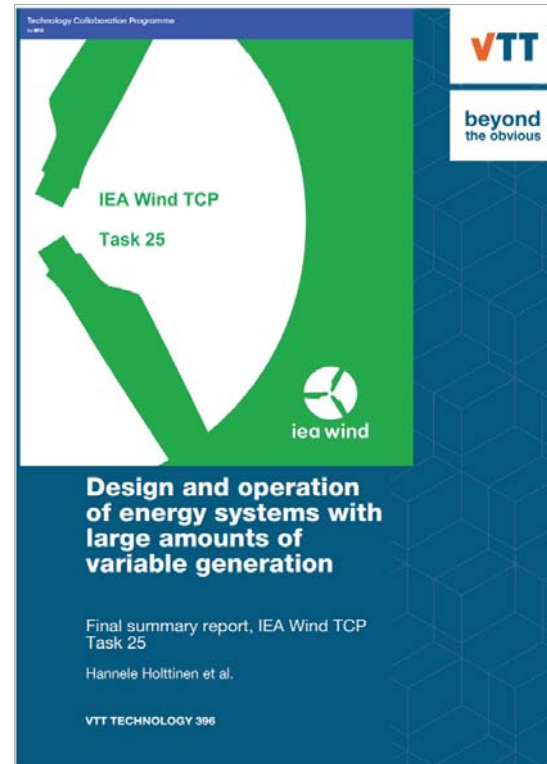


+ Task25成果物の翻訳

11



RP16(2018)(PVPS Task14と共同)



第5期報告書(2021)

+ 第5期最終報告書 (目次より)

12



- 1. はじめに
- 2. 電力システム全体にわたる
風力・太陽光発電の**変動性と不確実性**
- 3. 送電計画
- 4. 長期的**供給信頼度**と電力の安定供給の確保
- 5. 短期的**システム信頼度**の確保
- 6. 運用中の**風力発電の価値**を最大化する
- 7. 現状を打破する：
再生可能エネルギー100%シェアに向けて

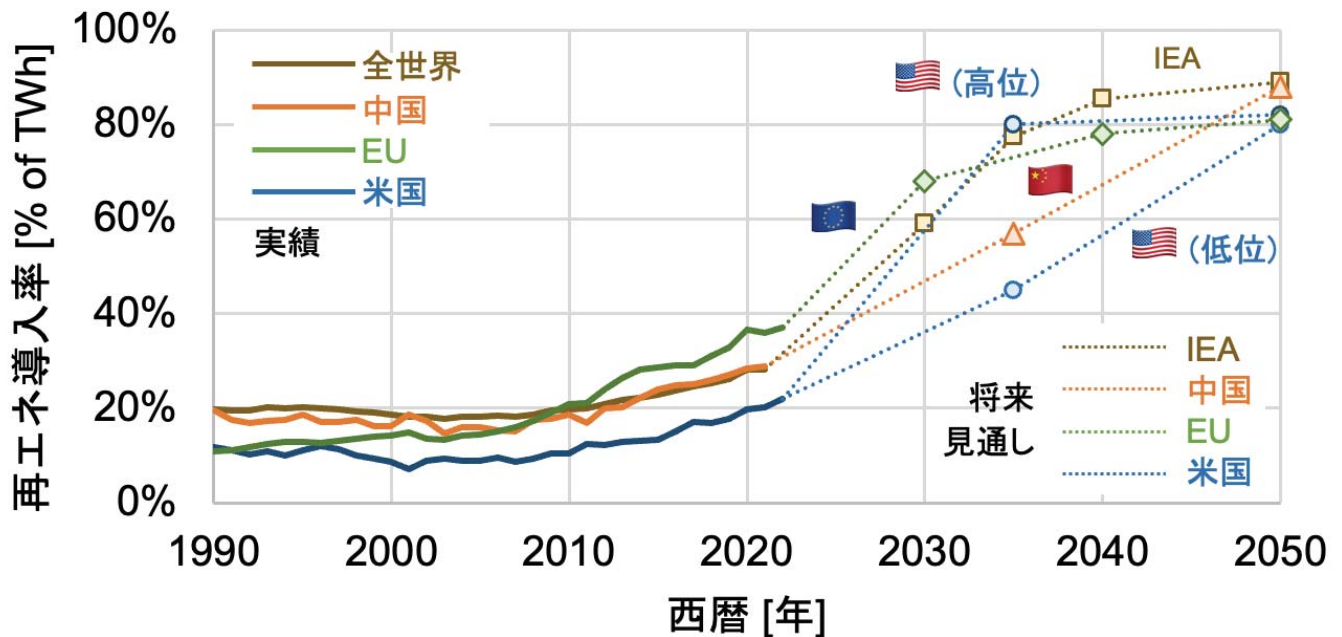


【参考】欧米中再エネ導入率推移 および将来見通し比較

13



iea wind



(data source) IEA, Energy Statistics Data Browser

IEA: Net Zero Roadmap – A Global Pathway to keep the 1.5°C Goal in Reach (2023)

NREL: 2012 Standard Scenarios Report: A U.S. Electricity Sector Outlook (2021)

ETIPWind, Getting fit for 55 and set for 2050 – Electrifying Europe with wind energy (2023)

China Energy Research Institute: China Renewable Energy Outlook 2020, Executive Summary (2020)

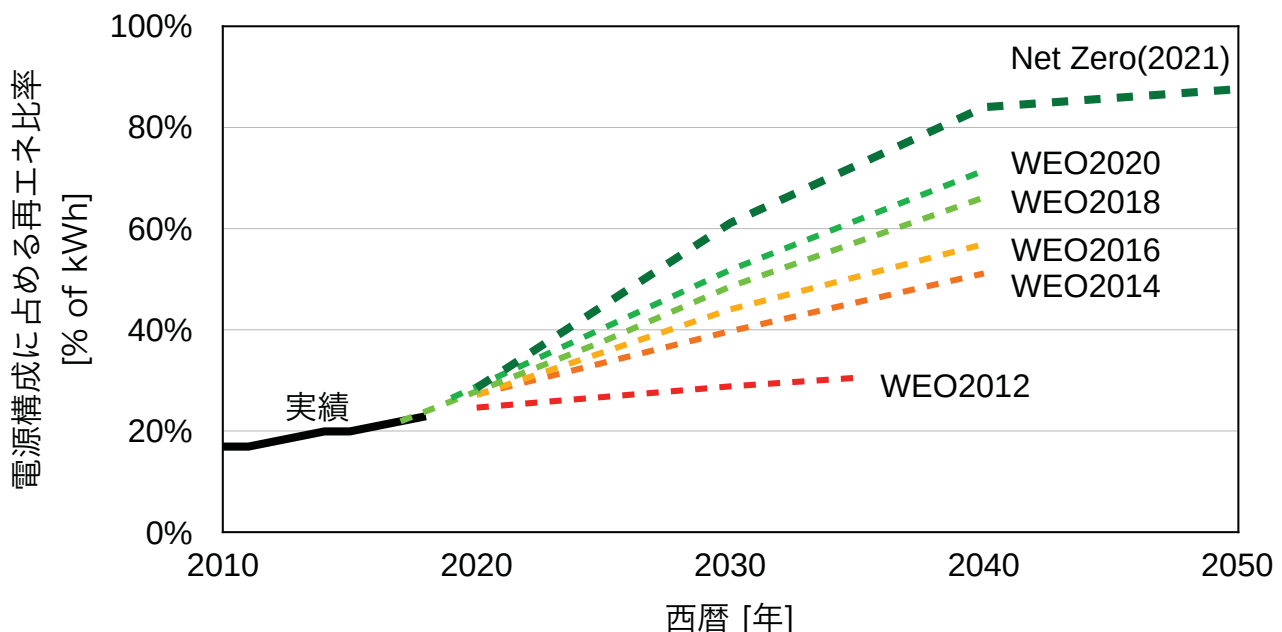


【参考】 IEA再エネ導入率見通しの推移

14



iea wind

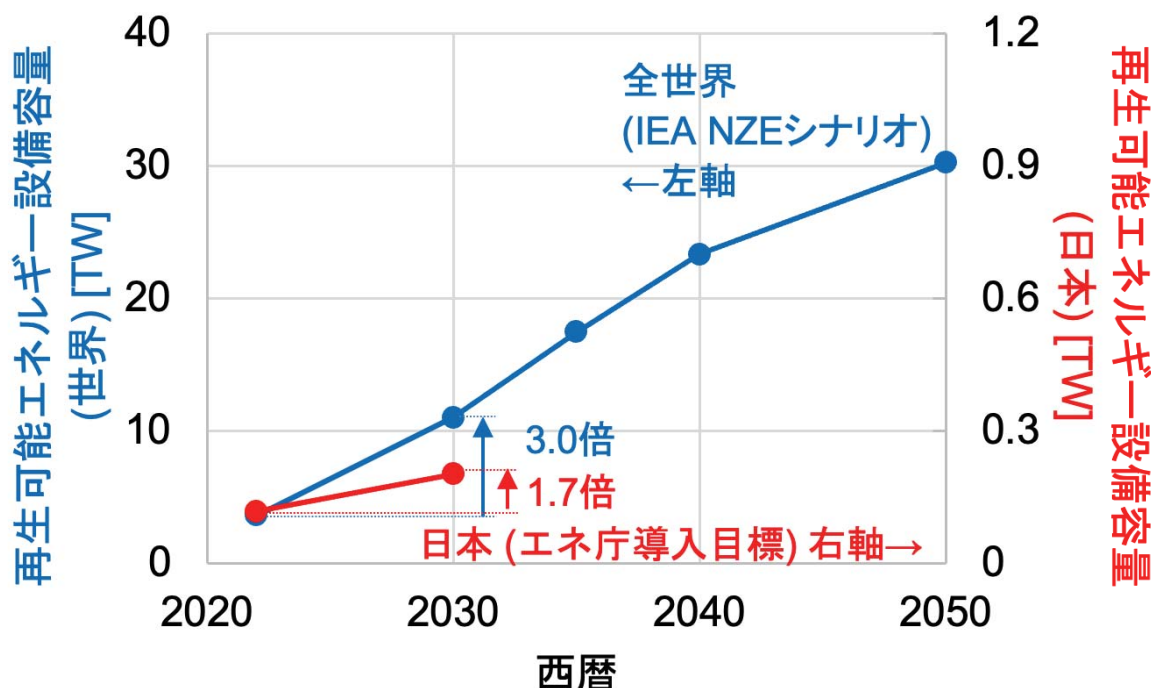


(データソース) IEA: Net Zero by 2050 (2021), IEA: World Energy Outlook 2020 (2020),

World Energy Outlook 2018 (2018), World Energy Outlook 2016 (2016),

World Energy Outlook 2014 (2014), World Energy Outlook 2012 (2012),

【参考】電源構成に占める 再生エネ比率長期見通し

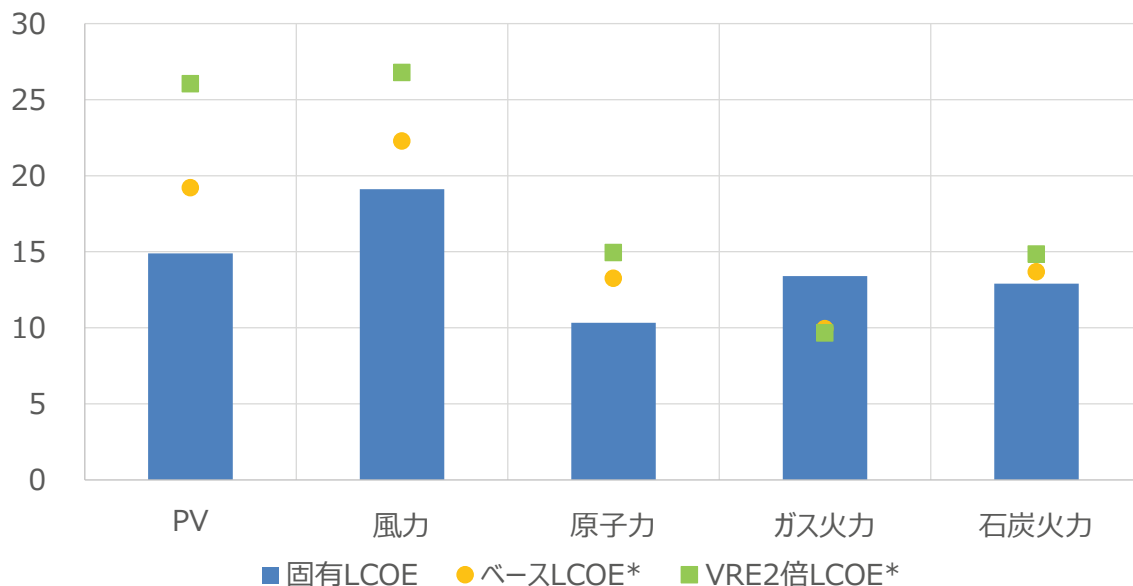


(データソース) IEA: Net Zero Roadmap – A Global Pathway to keep the 1.5°C Goal in Reach (2023)
経済産業省: 第6次エネルギー基本計画 (2021.10)

統合コストについて

- 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 (p.15)
- 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 (p.73)
- 政策立案者やその他の利害関係者は、発電コスト (LCOE) にシステム統合コストを加えようとするのではなく、異なるシナリオについて電力システム全体のコストと便益を評価することが望ましい。(p.73)

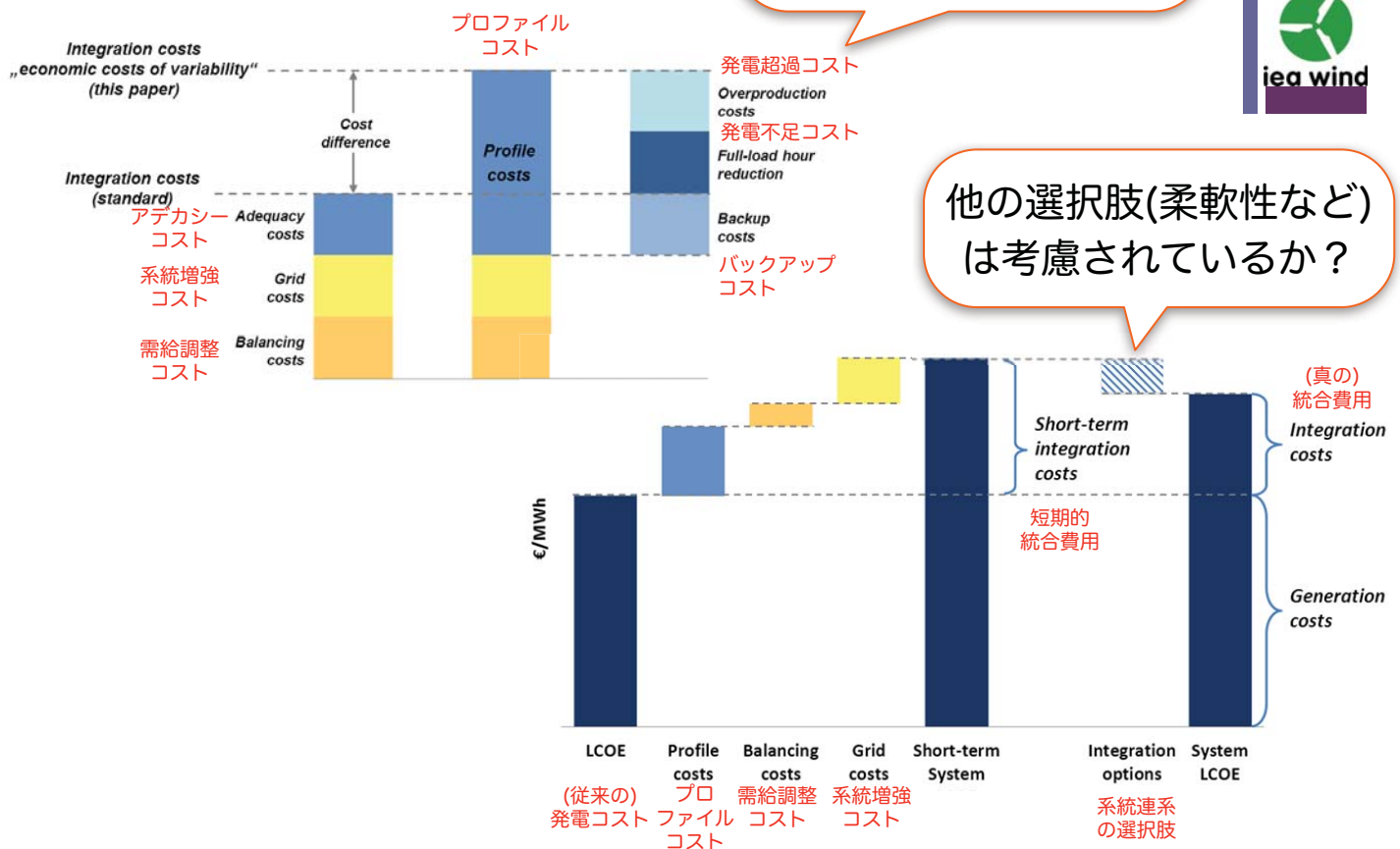
固有LCOEとシステム統合を反映したLCOE* (円/kWh)



ベース:前回2030年ミックス(2015年試算)、VRE2倍:PV・風力2倍

(出典) 荻本和彦, 松尾雄二: システム統合を反映した限界費用の試算,
発電コスト検証ワーキンググループ(第5回)資料2 (2021.4.26)

統合費用の考え方



(source) F. Ueckerdt et al.: System LCOE: What are the costs of variable renewables?, *Energy*, Vol.63, pp.61-75 (2013)

再生可能エネルギー100%に近いシステム運用のための課題

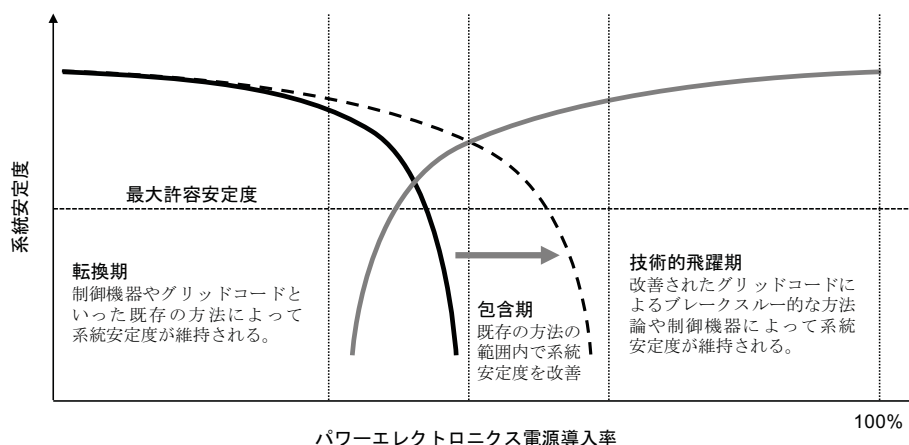
- 従来型電源がなくても電力システムの強度を維持する、つまりシステム安定度を確保するための技術的なソリューションが、いくつかの場合で存在することは、一般的な科学的コンセンサスとなっている。分散型太陽光発電の比率が大きい電力システムの場合、特定の困難が予想される。分散型太陽光発電が配電網やセキュリティに与える影響について、さらなる評価が必要である。(p.116)
- 風力や太陽光などの変動性電源が中心のシステムでも、デマンドレスポンス、大規模エネルギー貯蔵、ピーク電源、整備された送電網や連系線などの柔軟性があれば、システムアデカシー(電力システムがつねに負荷に対処する能力)を確保することができる。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。(p.117)
- 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。(p.117)

(出典) IEA Wind TCP Task25: 変動性電源大量導入時のエネルギーシステムの設計と運用 最終報告書, NEDO (2023)
<https://www.nedo.go.jp/content/100959887.pdf>

【参考】慣性問題について

- 再エネ超大量導入による慣性問題
 - こちらも従来型大規模電源に頼らないさまざまな解決策 (例: グリッドフォーミングインバータ) が国際的に議論中
 - 既に実用化・実装している技術 (例: 擬似慣性) も。

日本では「慣性問題のため火力が必要」と言われるが…。



詳細は下記解説論文を参照

安田陽: 再生可能エネルギー大量導入による慣性問題, エネルギーと動力, 2022年春季号, pp.21-31 (2022)



(参考) MIGRATE – Massive Integration of Power Electronic Devices (2019)

https://www.h2020-migrate.eu/Resources/Persistent/b955edde3162c8c5bf6696a9a936ad06e3b485db/19109_MIGRATE-Broschuere_DIN-A4_Doppelseiten_V8_online.pdf を元に筆者作成



日本からの貢献

21



- 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

22



- 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

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 Børre Eriksen^d, Damian Flynn^e, Lars Finn Herre^f, Bri-Mathias Hodge^g, Hannele Holttinen^h, Matti Juhani Koivistoⁱ, Emilio Gómez-Lózar^j, Sergio Martín Martínez^k, Nickie Menemenlis^l, Germán Morales-España^k, Christoph Pellinger^l, Andrés Ramos^m, Charlie Smithⁿ, Til Kristian Vrana^o

^a Kyoto University, Yoshida Honmachi, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8601, Japan
^b TERNA, Rete Italia, Viale Edgardo Galvani, 70-00156, Rome, Italy
^c ENEC, Aviação das Luminas 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, Jusselankatu 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 Forschungsinstitut für Energiewirtschaft e.V., Germany
^m Instituto de Investigación Tecnológica, Comillas University, Spain
ⁿ ESK, P.O. Box 2787, Reston, VA, 20195, USA
^o SINTEF Energi, Sem Sælands vei 11, 7034, Trondheim, Norway

ARTICLE INFO

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

ABSTRACT

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" tool to assess the overall flexibility resources in a power system.

国際再生可能エネルギー機関(IRENA)での引用



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)

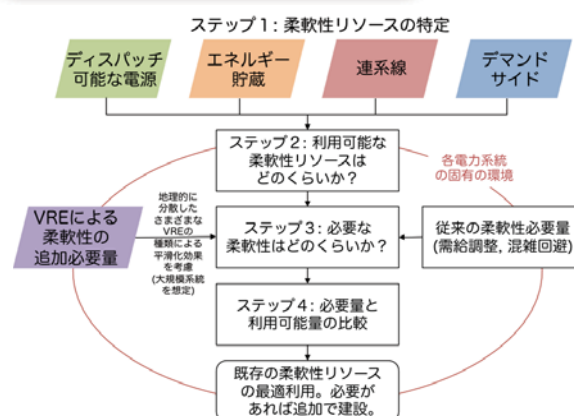
【参考】 系統柔軟性 flexibility



世界で活発に議論
(日本ではまだまだ?)

- 再エネ大量導入のための重要な指標
- 系統の変動に対応し需給バランスを維持するための能力。
 - ディスパッチ(調整)可能な電源
 - 貯水池式水力発電
 - コージェネレーション(熱電併給)
 - コンバインドサイクルガス発電 (CCGT)
 - エネルギー貯蔵装置
 - 温水貯蔵, 揚水発電, 蓄電池, 水素
 - 連系線
 - デマンドレスポンス (EVなど)

再エネを調整するのは
火力だけではない!



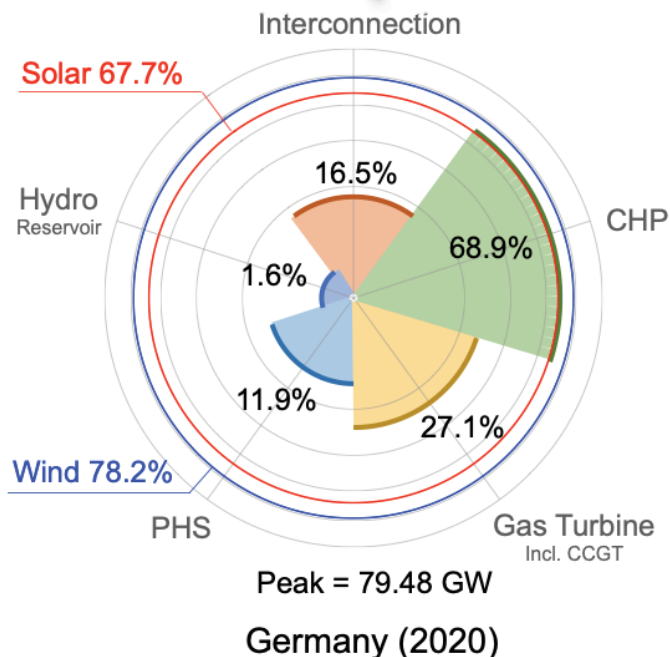
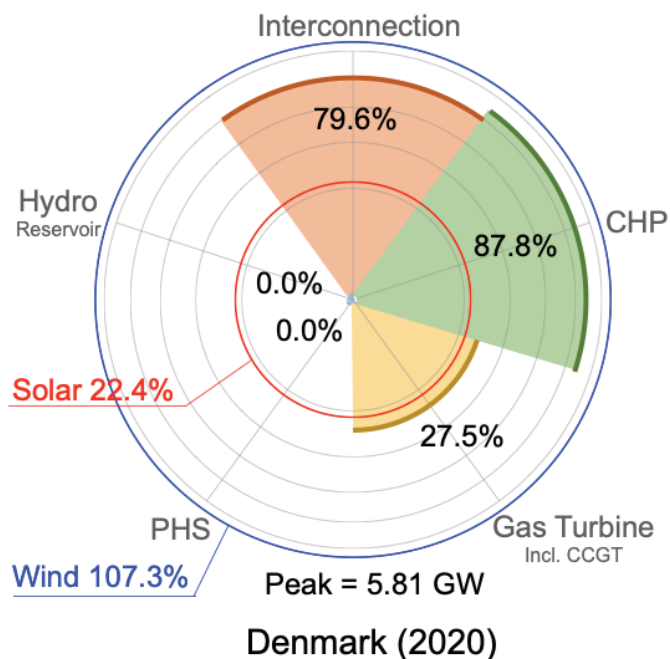
(source) IEA: Harnessing Variable Renewables (2011)の図を安田翻訳



柔軟性チャート (デンマーク・ドイツ)

ドイツは意外に
連系線容量が少ない

25



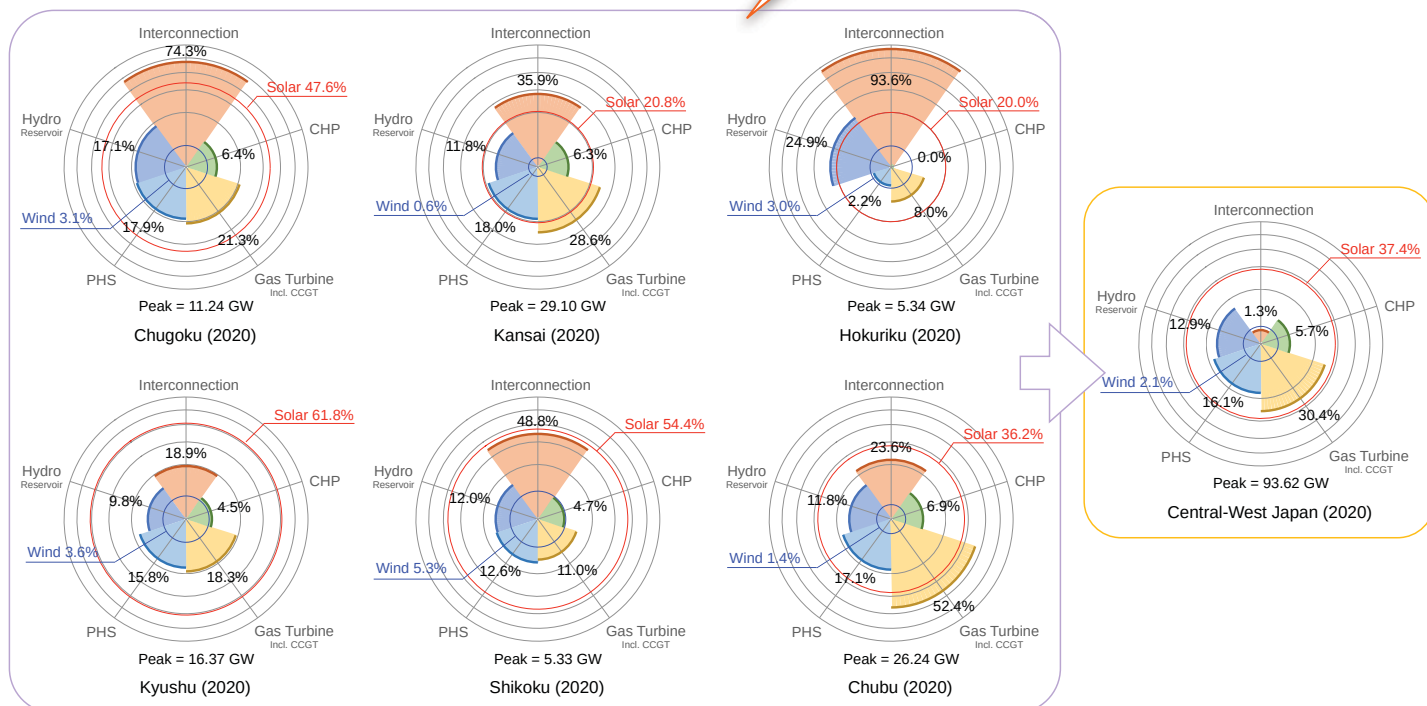
(source) Y. Yasuda et al.: Flexibility chart 2.0: An accessible visual tool to evaluate flexibility resources in power systems, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 174, 113116 (2023)



柔軟性チャート (中西日本)

日本の多くのエリア
では、実は連系線が
主要柔軟性供給源

26

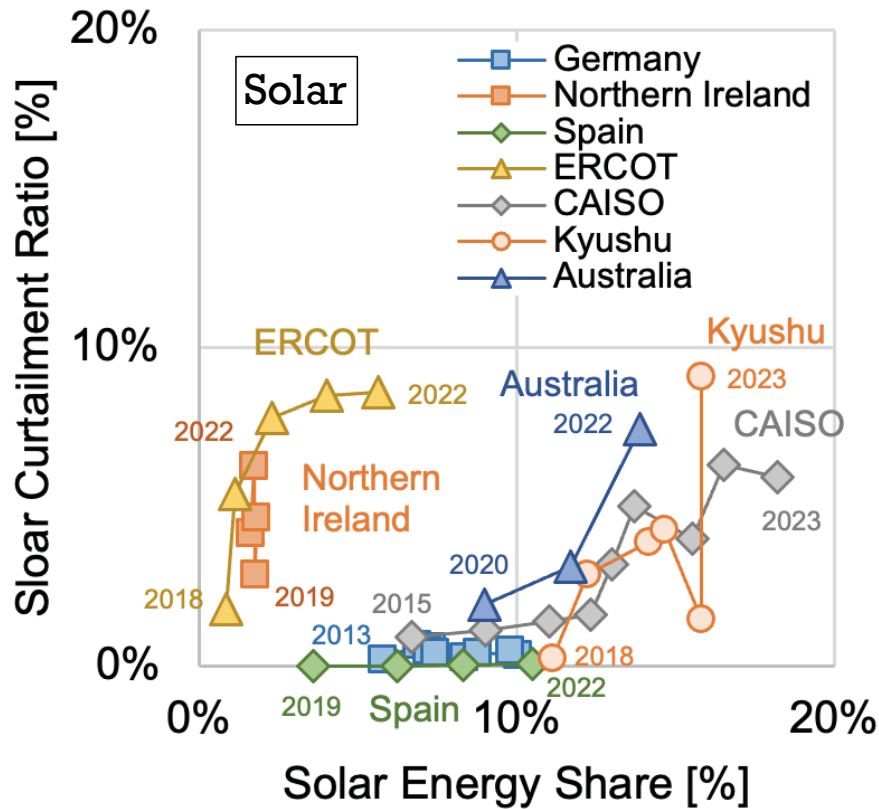


(source) Y. Yasuda et al.: Flexibility chart 2.0: An accessible visual tool to evaluate flexibility resources in power systems, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 174, 113116 (2023)



C-E マップ最新版 (太陽光)

27

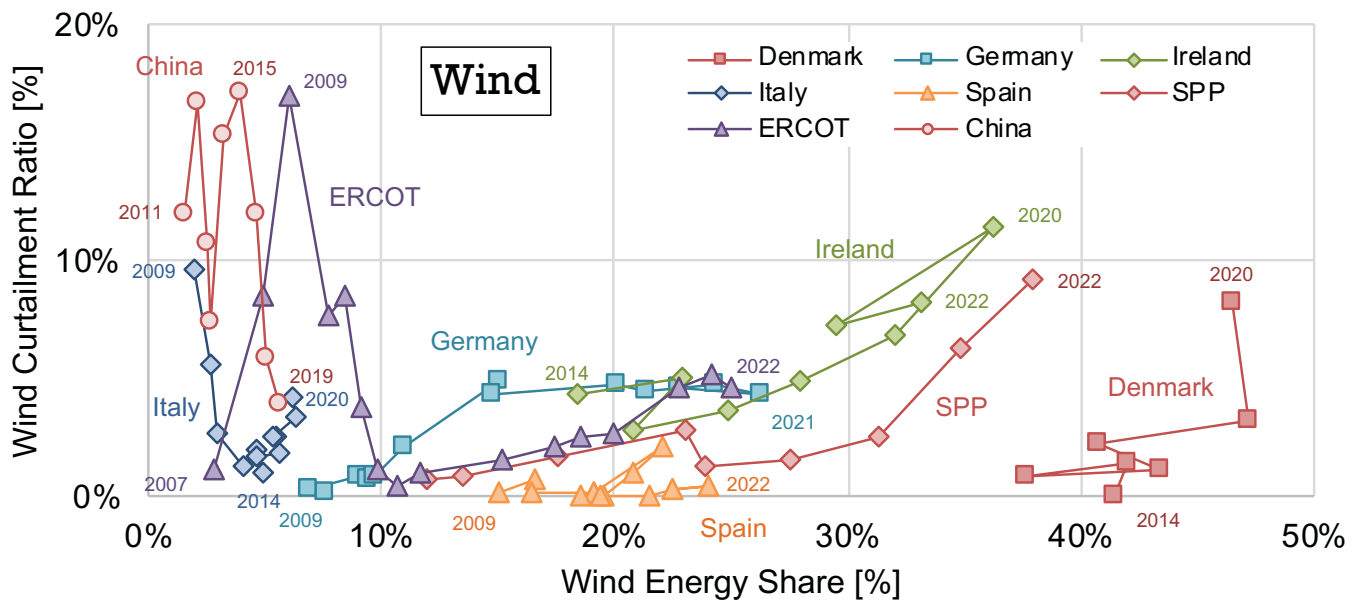


(source) Y. Yasuda et al.: Latest Wind and Solar Curtailment Information: statistics and future estimations in various countries/areas, 22nd Wind & Solar Integration Workshop, WISO23-143 (Sep. 2023) に最新データを加筆して修正



C-E マップ最新版 (太陽光)

28



(source) Y. Yasuda et al.: Latest Wind and Solar Curtailment Information: statistics and future estimations in various countries/areas, 22nd Wind & Solar Integration Workshop, WISO23-143 (Sep. 2023)



まとめと今後の方針

29



- 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。

第12回
IEA Wind
セミナー



第 12 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

「Task11 活動紹介」へのご質問と回答

#	ご質問	回答
1	再エネ水素に関して、洋上風力の浮体の上面や TP 上への水素製造機を設置する場合、現状、国からの補助金等のスキームは存在していますでしょうか？	申し訳ありませんが、ご指摘のような設置に対する補助スキームについて、当方では正確な情報は持ち合わせておりませんが、当方が知る範囲でそのような直接的な補助スキームはないかと思います。ただし、NEDO グリーイノベーション基金 (https://green-innovation.nedo.go.jp) による補助対象として、洋上風力発電の低コスト化、大規模水素サプライチェーンの構築、再エネ等由来の電力を活用した水電解による水素製造などがうたわれていますので、開発&実証を目的とした設置であれば、公募&採択により補助金を受けられる可能性があるのではないかと思います (Task11 小垣氏回答)。

「Task49 浮体式風力発電所の統合設計」へのご質問と回答

#	ご質問	回答
1	日本の沖合の水深は比較的深いと思います。現時点で、最も深い水深の事例などの程度でしょうか。	浮体式をやる海域という意味では日本が特段深いということはないと思う。現状でカテナリの形状でできるのは大陸棚の上 200m で、それよりも深い事例というのは今のところ想定されていない (Task49 山口氏回答)。
2	海域で想定される有義波高や最大風速については、実測データに基づくべきですが、浮体式が想定される大水深海域では、実測データがまだまだ少ないものだと理解しています。従って現時点での海域分類は、あくまでも暫定的なものにならざるを得ないと思います。今後、外洋の海象観測データの蓄積の重要性を、さまざまな機会に議論していただければありがたいと思います。	ありがとうございます。私も ERA5 再解析データのみに基づく分類はあまりに乱暴だと思い、実測に近い値を使うことを提案しています。観測データの重要性はその通りだと思いますので、その旨伝えていきたいと思います (Task49 山口氏回答)。

#	ご質問	回答
3	先程の「クラス分けの話が進んでいる」というのは非常に危険な話で、日本が浮体式をやるんだったら、日本が設置しようとしている海域のデータをちゃんとプロットして、日本にとって極端に不利にならない、というか、日本だけ標準から外れた形にされないような手を打たないと、1年とか2年以内にやらないと間に合わなくなったりしないでしょうか。その辺り、雰囲気としては日本の事情をくんでくれるのにはどれ位、時間の猶予がありそうですか。	1 つには、台風についてもう少し考えないといけないという議論が常にあります。台風、サイクロン、ハリケーンが来るところは、もっとこれよりも上だという話はみんな認識としてやはり分かっております。なので、それをこのどこにクラス分けに配するかという事は、もしかしたらこの1個上に、もう少しもっとシビアみたいなのを作って、台風はこんなだ というような感じの議論になるかもしれません。しかし、現状として、各国の色々なプロジェクトのデータをみて、ありうるサイトの絵を並べたのはこれなのですが、やはり日本の様にすごく風速が高くて波高が高いところでないところでも、かなり多くプロジェクトは計画されているので、このような分類になっているのかという気はいたします(Task49 山口氏回答)。
4	IEA の分類に、1, 2, 3 しかないところに S ではないのかといわれましたが、クラス S というのはユーザ等と相談して決めるということなので、量産に全然ならなかった。クラス T ができて初めて GE, Vestas, Siemens がクラス T 向けの風車を作ってくれたという経緯があるので、早い時点で具体的な数字の入っている日本が属せるようなクラスをつくっておかないと、日本向けだけ量産設計ができない状態がもう1度でくるのではないかと懸念します。	どのようにここにインプットしていくかはいろんな方と相談して進めていこうと思います(Task49 山口氏回答)。
5	私が理解できないのは IEC の風速スレッシュホールドというのは、IEC というのはクラスがあるのに、なぜそれに合わせないのかというのを非常に不思議に思います。IEC の分類と異なりますよね。洋上についても IEC の 33m というのはなんですかという話になる。ヨーロッパでは、50m ですよ、あのクラス、要するに風車というと、クラス 1,2,3 それに合わせて、T クラスというのはあわせたほうが現実に近い。このグループの人は余り分かっていない。本当は風車だっ	ご指摘の通りだと思いますので、その旨インプットしていきたいと思います(Task49 山口氏回答)。

#	ご質問	回答
	たら 50m というのがクラス 1 ですから、それはシビアじゃなくて普通を 50 ですよ。その上に T クラスあって、42m がクラス 2 ですね、その次は 37m とかそういう話になってこの分類が全然合わない。洋上どころか、陸上すら合っていない。是非日本からも直して下さいと良く言った方がいいです。	
6	Task25 の電力系統の観点から補足する。電力関係でも浮体式だけでなく、着床式でも欧州の方では進んでいる。聴衆の方に向けては、オーム社から出版されているアッカーマンさんが書いた、「風力発電導入のための電力系統工学」、および鹿島出版の「洋上風力発電」が良い。	ありがとうございます。参考にさせていただきます (Task49 山口氏回答)。
7	ファーム内の電力ケーブルの配置は検討されているようですが、ファームと地上の海底送電線 (インターアレイケーブル) やファーム間 (風車間) のアレイケーブルの配置について、配布資料 WP2: 電力ケーブルの配置のところでは何パターンか案が出されていますが、リファレンスファームを設定し、どのタイプが送電ロスが少ないか、ケーブルの長さ短くなるか等の比較はしているのでしょうか？	送電ロスの比較まではプロジェクトではないと思う。但し、具体的な想定をして、今レビューしているが、このぐらいの太さのケーブルをここに使つてと、具体的想定をして例をだすというところまではこのタスクの目的になっている。実際ケーブルの専門家も多く来ている (Task49 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	データ駆動型の制御を実際に行っていくには、それを可能にするインフラ (計算資源等) も重要なように感じますが、いかがでしょうか？	まさにおっしゃる通り、産業界の協力が不可欠で、日本で洋上風力はこれからですけど、陸上にもニアショアで洋上風力に近い環境で運用しているところがありますので、今御指摘されたところがどのぐらい大事なのか国プロ、NEDO 含めた国のプロジェクトの中できっちり実証していくのが重要だと思う。ヨーロッパも、国プロとか検証しはじめている状況なので、日本も同じようなことを日本の風車をつかってやる必要があると思う。(Task44 内田氏回答)。

#	ご質問	回答
2	最後の浮体を想定した前の風車が揺れている場合に後ろの風車の発電量が 4.6%増加されたとのことですが、前の風車は揺らさない場合と比べてそれ以上の発電量の減少はありませんでしたでしょうか？	はい。特にそういった現象は確認できませんでした。(Task44 内田氏回答)。
3	浮体式で前の風車の首が振れれば、後ろの風車も同じように首が振られるため、wake の動きの恩恵で発電量は本当にふえるのでしょうか？	これは今後のさらなる実験による検証が必要だと思っています(Task44 内田氏回答)。
4	事前配布資料の p16 の図を見ると、卓越方向に 5D 程度、卓越方向の直角方向には 7D 程度と読み取れる。最適な間隔はどの程度でしょうか。	難しい質問ですが、現状の個人的な感覚にはなりますが、6D 程度かなと思っています。(Task44 内田氏回答)。
5	風車の配置で、整列された配置と前列の間に配置する前後をずらした配置ではどちらが最適なのでしょうか。	現在はずらした配置が有効との研究成果が多いですね。(Task44 内田氏回答)。
6	事前配布資料の p20 の図を見ると、前列の出力と 2 列目の出力を見ると、2 列目は前列の 3 割～6 割程度の出力に低下しています。極端な話になりますが、風車の単基出力を全て同じにする必要はないように思います。例えば、前列が 10MW 風車であれば 2 列目は 6MW 風車でよいように思えます。実際には、6MW 風車を設置して定格出力することはないかと思いますが、極端な話として全て同じ出力の風車を設置する必要はないように思います。内田先生のご意見はいかがでしょうか。	非常に興味深いご意見ですね。維持管理費などの問題を考えなければ一つの選択肢かなと思います(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	複雑地形の補正のところに疑問がある。これは今は国内の認証で使っている方法です。上手くいっていないのは、山の下の方では wake になるので、そういう所はそもそも CFD の使っている高度によって wake が全然正しくシミュレーションがうまくいかず結果的にだめだと思う。	解析手法としては、LES、k- ϵ モデルなど様々な方法でやられているが、補正パターンが多様になるので方位別の解析などの補正ではうまくいかない可能性があると考えています。補正がうまくいかなかったサイトは、「実務上はそのような場所で風況観測をすることはない」と思われるような場所で観測しています。

#	ご質問	回答
	CFD の結果は、山の上の 1 番高いところで使用するのが普通で、精度もそれなりに良くでるし、補正もうまくいく。 風力業界では風車のための計測ですから、山の上のところではなく山のふもとでやって、これを説明されて悪くなるといわれると、地形の影響を受けて、LES 使っても上手くいかないと、不安に感じる。ウィンドファーム予測する時には、1 番高い所でやるのが普通なのに、それを排除して山のふもとで計算をして合うわけがない。	【後日追記】 また、補正により精度が悪化したサイトでは、ライダーとマストの距離が 42m であり、他のサイト（ライダーとマストの距離 23～31m）と比べて離れていたことが 1 つの原因である可能性があるが、数値サイトキャリブレーションも試みたが、精度は改善できなかったと報告書に記載があります (Task52 種本氏回答)。
2	浮体の動揺の影響を少なくするために、浮体のピッチ角を物理的に制御する方法はあるのでしょうか。	物理的に平均的な傾斜角を調整する方法としてはアクティブバラストの使用、動揺の抑制方法としては減衰フィンや風車の制御方法の工夫などの技術が挙げられます (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	IEA Wind では珍しく日本からアグレッシブに攻められてて良いと思う。ただ、ブレードエロージョンというのはヨーロッパでは 5 年以上前から問題になって、洋上になって回転速度が上がってから、多くのトラブルが出ている。ジョイントインベストメントで投資して対策していたと思う。今までヨーロッパが研究してきたところの中で、どこの部分が抜け、それに対して日本ではこういう切り口で研究して上手くいっているというのがあれば教えてほしい。	やる気はあるのですが、成果がまだこれからというのが実情で、皆研究者なので、アカデミックな面で見ると分かっている箇所が数多くある。これから基礎的なところを確実に積み上げていく。ヨーロッパの方がやっている事が少し大雑把な気がする。だから、日本としては、データ取りを緻密にしていくところが出来るとは思えない。また、例えば、雨の量等の環境が全然ちがう。実際のファームでのエロージョンの様相は、ヨーロッパで予測されていないものが日本で出てくることも想定される。ヨーロッパで築いたことが日本で出来るかというところ。事業者様にも協力していただいて、洋上風車でのエロージョンはどうなのかというところまで上手く切り込んでいければと考えている (Task46 田中氏回答)。

#	ご質問	回答
2	エロージョンの問題は着床式を始めて、上田さん、橋本さんで三菱風車を設置したとき、3種類のシートをはって、3年しかもたないペンキを塗った。ヨーロッパでは、設計に対する考え方が結構アバウトなところがあるが、それを思い込んでそのまま実行してしまう。日本では真面目にしてるけど、ヨーロッパのやり方はたまに抜けているところがある気がする。なぜ何百本も修理するような事態になるのかヨーロッパの人に聞いてほしい。	まだそこまで仲良くできてないので深くまでつっこめないのですが、日本から持って行ったものが面白いと思ってもらえると、いろいろ内情も聞き出せるかと思う(Task46 田中氏回答)。
3	保護シートですと数年ぐらいで張替えされるのが一般的と聞いておりますが、海外の会社ですと、DNVの劣化の寿命計算を適用して、それに対応した保護テープを提供する会社があるそうなのですが、そのテープを貼ると20年もつと聞いているが、そういった情報はTaskの中で、保護テープの情報の共有化はされているのでしょうか。	研究者同士の集まりでして、企業の方の、特定の企業のPRになるような研究はしていない。実際のウインドファームでの運用事例はいくつか情報共有はしているが、まだ10年20年レベルの耐久性があるものが開発されているというのは、共通認識としては持っていない(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	ブレードの加熱システムがあるといわれていますが、これは産業規模で使われているのか。使われているとしたらブレードに電熱線を入れる方式ですか？ もし電熱線をいれているとしたら、雷が落ちた時に、ブレードが丸焼けになるような事象がある気がするが大丈夫か。	具体的な市場として把握できていません。Taskとして、研究評価の対象として運用しています。実際問題として、加熱システムを入れる事自体、ブレードの製造にかかわる問題なので、巨大ウインドファームでしか対応できないようなシステムでないかと予測している。 Taskにおいては、ブレード加熱システムがどの程度効果があり、電熱線をどのように展開すれば効率が良いかという試験を行って評価している段階となります。 Task内で落雷との関係についての言及は未だないので、今後議題にあげていきたいと思えます(Task54 岩井氏回答)。

#	ご質問	回答
2	産業化まではしていないということですか？	産業化について把握できていません。(スイスの報告によると)遠隔監視を含めたシステムとして報告されていることから、販売されていると思うが、シェアが幾らで、どの程度効果があるというようなところまで把握できていません(Task54 岩井氏回答)。
3	すでに開発・運用されている氷着防止システム(加熱式)を用いている風車において、特に起こりうる不具合事象についての情報収集をされておりましたら、具体的な不具合事象をいくつかご教示いただけないでしょうか。ソフトウェアまたは計装に多く見られるなど、統計的な情報もあればご教示ください。	Task の内部で具体例というのはまだ言及されていません。現時点では、その性能がどのようなものか、それをいかに評価するかという試験方法、評価方法の研究が主なものとなっています(Task54 岩井氏回答)。
4	寒冷地仕様風車は国内ですと北日本での活用が期待されますが具体的な事例を紹介頂けないでしょうか？	弊社の寒冷地仕様風車については未だ国内での設置事例はないが、ただ今後、近々計画に入ってくる可能性はあります。ただ、日本国内の気象条件に合わせて部分的に寒冷地仕様を採用することになります(Task54 岩井氏回答)。
5	着氷は、ブレードのどの位置で起こり易いのでしょうか。例えば、回転速度の速い先端部で、着氷が起こり易いのでしょうか。	着氷は、リーディングエッジ部でよく見られます。リーディングエッジは、ブレードの前縁部分のことで、風を一番最初に受ける部分を指します。これは、先端部から根元部分までありますが、ご指摘のように回転速度の早い部分に多く着氷する傾向にあることから、着氷はリーディングエッジの先端に近い部分に多く見られると言えます(Task54 岩井氏回答)。
6	着氷対策(着氷した時の対策)として、ブレード加熱システムを採用しているケースが多いように思いますが、駒井ハルテック様はこのような対策は取られておらず、塗料によるのみということになりますでしょうか。また着氷した際の対策は、どのように対応されているのでしょうか。カットアウトを低減することで対応しているということになりますか？ この対策は、着氷対策と着	駒井ハルテックの中型風車はブレードに電力を伝える機構を持っていないので、ブレード加熱システムを実装できません。着氷対策は着氷予測と着氷検知の2種類を検証しており、着氷後の対策は運転停止となります。カットアウト風速の低減は低温時の空気密度増加による疲労荷重対策になります。他の海外の取り組みを集めて比較・紹介することが Task の課題の一つ

#	ご質問	回答
	氷後対策の両方を兼ねた対策ということになりますでしょうか。 このような対策は、駒井ハルテック様独自の対策でしょうか。他の海外の取組と大きく異なる点でしょうか。	となっています。2025 年の Task の総括で紹介できると思います (Task54 岩井氏回答)。

「Task53: 風力発電の経済性」へのご質問と回答

#	ご質問	回答
1	WP1 について、今後 10 年間の陸上風力発電の成長の阻害要因 とは具体的にどのようなことが想定されているのでしょうか。輸送の問題、景観の問題、騒音の問題などのことを想定されているのでしょうか。	WP1 において、輸送、景観、騒音、規制等の観点からアンケートの質問項目が設定されています。「その他」の項目も設定されており、アンケートで専門家が何を阻害要因と考えているのかが収集される予定です (Task53 菊地氏回答)。
2	WP5 について、風力発電から水素へ変換する過程で約 3 割程度のエネルギー損失が発生するため、採算が合わないと言われています。そのため、コストは CASE1 に比べ、コストがかなり高くなるかと思います。国からの補助金・助成金がないと事業として、採算がとれないと思われます。海外は、どのような施策・対策が取られているのでしょうか。	WP5 を担当しているデンマークの Ea Analysis が、来年度レポートを出す予定ということで分析を進めており、セミナーでは途中経過を共有いたしました。最終成果が出るにあたり、分析においてエネルギー損失の仮定、国からの補助金・助成金がどのように考えられているのか、情報収集をしセミナーの場でお伝えするように致します (Task53 菊地氏回答)。
3	発電事業の収益分析では、C-PPA での販売も考慮されるのでしょうか。また、今後、非化石証書(脱炭素価値)としての価値が高まると考えますが、これは、経済性評価で考慮されるのでしょうか。	現状の Task53 メンバー内での研究では、C-PPA での販売および非化石証書の価値までを含んだ分析までには至っておりません。良い評価事例が Task53 内で議論されましたら、セミナーの場で共有するように致します (Task53 菊地氏回答)。

「Task28: 風力発電における社会的受容性の社会科学」へのご質問と回答

#	ご質問	回答
1	社会受容性の問題を取り扱う場合、当該者から提訴される場合もあるかも知れません。気を付ける事項や前もって対応しておくべき必要な事柄などありますか？恐らく、デンマークにおける SNS の分析結果に挙げられる上位項目、立地地域であり得るリスクの挙げられる項目が提訴対象の項目になると思いますが、丸山先生のご意見をお聞かせください。	何かを説明する際の根拠は十分意識しておく必要があると思います。根拠が曖昧であったり不確実性がある場合には、その旨を十分意識した説明をしておくことがトラブルの回避につながると思います。必要に応じて協定書などの約束事として明文化しておくことも有効かもしれません。他の国でも健康被害や野生生物への影響は問題化しやすいというのは共通していますが、日本での低周波音やヨーロッパでの景観など国ごとの特徴や地域性もあるので、一般論に基づく想定は参考程度にするのが良いと思います(Task28 丸山氏回答)。
2	風力発電を対象とする日本の環境アセスメントにおいて最も欠けていること(最も留意すべきこと)は何でしょうか？	不確実性への対応も含めた科学的知見の使い方だと思います。わからないことはわからないなりに順応的管理や共同事実確認のような方法を提案することも可能だと思いますが、手持ちの調査結果だけで判断しようとして対話を難しくしてしまう例を目にします。一方で相当程度の科学的知見がある課題であっても明確に説明しきらない例もあります。環境アセスメントはステークホルダーとのコミュニケーションのための仕組みですが、許認可のようになっていることが全体的な問題だと思います(Task28 丸山氏回答)。
3	洋上風力では漁業者さんが最大のステークホルダーであるとの理解ですが、この漁業者さんの洋上風力発電事業に対する賛成 or 反対等の文責などは行われていないのでしょうか？また行われる計画はありますか？	個別の研究は蓄積されつつあり、今後一般的な知見としてまとめたいとは思っています。全般的には魚礁や藻場再生など漁業そのものへの効果への期待はあると思います。ただ、漁業のあり方や漁村の状況は多様なので平均に基づく予断には注意が必要だとは思っています。また漁業者だけがステークホルダーではないので地域全体での受け止めにも注意が必要です(Task28 丸山氏回答)。

#	ご質問	回答
4	スイスにおけるコミュニティ投資について、日本は、conservative に近い傾向を示すことになりますでしょうか。	日本で多数を占めるのは無党派層なので、中道層が近くなるのではないかと思います。ただ、行政への信頼や親和性がスイスの方が高いので、税金への支持は日本より高くなっている気がします。個人的には税金として一般財源に吸収されてしまうよりは基金として何の役に立ったかが可視化された方が受容性を高める上では有効だと考えてます (Task28 丸山氏回答)。
5	資本参加と社債を見ると、Low Community Identity が High より高くなるのは、関心を持つ者が、特定の事業者、特定の資本家となるからでしょうか。	資本参加や社債は資金提供した特定少数の人だけに利益が占有されてしまうのに対して、税金は全体の利益に資するように使われることへの期待があると解釈できます。地域への帰属意識が高い人は、地域全体の利益を重視し、そうではない人は個別の(あるいは自分への)利益を重視するということだと思います (Task28 丸山氏回答)。
6	立地地域であり得るリスクについて、この中で、リスクが高いのは、デンマークの傾向から、騒音が高いので、ここには記載がないが、健康と安全が一番リスクの高いものになるということになりますか？次に、景観の生活環境がリスクとして、挙げられることになりますか？	質問項目は具体的な問題で構成されていますが、ご指摘のように整理することは可能です。生活環境への影響は生命健康という、場合によっては不可逆的な影響に繋がりますことと、日常的な暴露に関係するので関心が高くなるということかと思います。生態系への影響は特定のステークホルダーの強い関心を呼びますが、多数の人に訴求しないこともあります。ただ、こうした全体的な理解によって扱うべき問題への優先順位や重要性を考えるのには注意が必要で、重要視されなかったという扱いそのものが強い反発を生むこともあります (Task28 丸山氏回答)。

「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	安田先生は「電力システム全体のコストと便益を評価することが望ましい。」とされていますが電力システム全体のコストと統合コストはどのように違うのでしょうか？ また風力発電を含む変動再エネの比率が高まるにつれて、調整力や送電線の費用は増加していくのではありませんか？	日本では、再エネや送電線に関して、コストの話ばかりが強調されますが、本来、便益(ベネフィット)あるいは価値(バリュー)の話をしなければなりません。この場合、便益とは、「恩恵」や「メリット」という抽象的なものではなく、技術的な計算によって、貨幣価値に換算できる定量的なものです。気候変動緩和や再エネ導入に対してコストの話しかしないと、これまでの化石燃料などの従来型エネルギー・電源によって引き起こされてきた外部不経済が無視されがちになってしまい、ますます市場が歪みます。再生可能エネルギーの大量導入や送電線の増強には社会的便益があり、その定量評価が必要で、社会科学も含めた総合的な社会設計の最適化が重要です。 日本でも議論のある統合コストに関しては、残念ながら便益や価値の議論が抜けています。送電線には確かにコストがかかりますが、便益が大きいと試算されています。例えば、欧州は費用便益分析によって2030年までに約150件の送電線の増強が進んでいます。日本の電力規模は欧州の1/3なので、日本で現在50件程度の送電線の増強・新設があったらどれだけ経済効果があるかを想像してみると、その規模がわかるでしょう。負担やコストの話ばかりで、便益の話をしないと、投資の機会を逃してデフレに戻ってしまいかねません。コストでなく便益の議論をするのが非常に重要で、これらの議論はTask53とも密接に関連しています。 コストと便益に関しては、下記の解説論文も併せてお読み下さい。 ・安田陽: 洋上風力発電の系統連系とコスト, 太陽エネルギー, Vo.49, No.5, pp.13-32

#	ご質問	回答
		(2023, 5) ・安田陽: 風力発電が社会にもたらす便益, 風力エネルギー, Vo.44, No.1, pp.32-35 (2020, 6). (Task25 安田氏回答)
2	ベネフィットとコストの話は非常に重要で、今送配電網を強力に進めないと、ベネフィットが、出力制御がかかってしまっていてえられない。事業やられている方も苦しい思いをする。コストではなくて、コストかける以上にベネフィットがあるという認識を国をあげて進めて頂きたいと思う。送配電網の整備がいかに社会的に重要であるかを改めて認識して頂ければと思う。	有難うございます。多くの人は、送配電のコストを考えると数億円規模、総額何千億というコストが高い印象をもつかもかもしれませんが、送電線の増強・新設には大きな便益があります。水素、蓄電池と他の技術と比較する場合でも、これらの費用便益分析を定量的に経済評価をすることが重要であり、業界間の綱引きで決めるものではありません、優先順位の決め方は、総社会コストの観点で考えなければならず、国際機関などでは科学的決定がなされています。日本では技術偏重で社会科学が軽視されることが多く、この点は改善すべき点かもしれません。 国際的には(特に国際機関では)、科学的根拠に基づいて意思決定や合意形成が行われるという考え方が主流になっており、従って送電線は便益があるというのが国際共通認識です。この考え方は、アメリカ合衆国や中国でも報告書が出ています。日本でも科学的な議論が望まれます(Task25 安田氏回答)。
3	柔軟性について、再エネ電力比率を60%に引き上げるうえで、ガスコンバインドサイクルに依存すると、再エネ比率を上げるのが難しいということはありませんか？ 他方、バイオマス発電活用を進めると、バイオマス燃料の価格高騰が進行するという面があり、ガスコンバインドから、バイオマス発電に移行することについて、どのように考えてよいのか、アドバイスをお願いします。	柔軟性はガスコンバインドサイクル(CCGT)やバイオマス発電だけでなく多様な柔軟性供給源の選択肢があるため(本講演資料 p.24 参照)、CCGT やバイオマスに限らず、特定の供給源のみに「依存」すると、再エネ比率を上げるのが難しくなる可能性はあります。柔軟性は多様な供給源を用意し、ポートフォリオを豊かにしてリスクヘッジするというのが、電力取引の基本となります。 「バイオマス発電活用を進めると、バイオマス

#	ご質問	回答
		燃料の価格高騰が進行する」というシナリオも十分ありえることですが、それはバイオマス資源の効率的・サステナブルな利用という点からは制度設計や政策の失敗であり、それ防止・緩和する方策(例えば皆伐や海外輸入材の規制、木質だけでなく農産廃棄物系バイオガス発電の推奨、発電だけでなく熱供給の推奨など)を国内で加速する必要があるでしょう(Task25 安田氏回答)。
4	現状、国内でコスト・ベネフィットの算出をするときに考慮に入れられてないものを考慮することで試算結果が変わるものと思いました。ベネフィットとして認識していただくにはどのようなアプローチが必要なのでしょうか。(お時間がありましたらお願いします)	ご質問有難うございます。送電線の便益の大きな部分は、兩岸の値差を解消することによって発生する「社会厚生」ですが、その他、再生可能エネルギー導入のさらなる向上、それによる二酸化炭素削減、柔軟性向上、供給信頼度や安定度の向上があげられます。前二者は既に脱炭素の便益として計上されているため二重計上を防ぐ観点から送電線の便益に計上されないことが多く、後二者は現在、正確に貨幣価値に換算することが難しいため定量的には計上されていません(便益がゼロとみなされやすい)。従って、今後、系統解析技術が進み、電力の安定供給に関する便益が定量化されれば、送電線増強の便益はさらに上昇することが予想されます。送電線の費用便益分析に関して日本語で読める資料としては、下記の論文が参考になります。 ・岡田, 丸山: 「欧州における発送電分離後の送電系統増強の仕組みとその課題」,電力中央研究所報告 Y14019 (2015) (Task25 安田氏回答)
5	電力系統に関する部分で日本の系統の現状とあわせてお聞きしたかったです。	本講演ではほんの少ししか触れる時間がありましたが、日本の系統という点では、国際比較の文脈で日本の系統の柔軟性ポテンシャルや出力抑制を分析した Task25 有

#	ご質問	回答
		志メンバーの成果物がありますので、こちらも合わせてご参考下さい(講演資料 p.22～23, 26～28) (Task25 安田氏回答)。
6	安田教授はごまかして、けむに巻いて逃げるだけで全く話にならない。1)アメリカでも中国でもやっている⇒何をどうやっている?? (2)コストばかりでなくベネフィットも考えないとだめ⇒それは、コストは政府が負担せよということですか?コストとベネフィットのバランスについて1mmも触れないのは卑怯者の論理です。	ご意見有難うございます。IEA Wind の講演では、全て国際エネルギー機関(IEA)や IEA 専門会合で調査した科学的論文・国際機関報告書に基づき客観情報をお伝えしておりますが、限られた時間枠のため、全てを網羅的に説明する時間がないという点は何卒ご海容下さい。米国や中国がどのような方法論に基づいて将来見通しを行なっているのかについては、講演資料 p.13 に紹介していますので、まずはそれらの報告書をお目通し下さい。 講演では十分触れる時間はありませんでしたが、ベネフィット(便益)の文脈では、まず、従来型発電方式(特に火力発電)に大きな外部不経済(隠れたコスト)があり、このため従来型発電の発電コストが単に見かけ上安く見えているだけであり、市場を大きく歪め資源の効率的配分を損ない、国民(特に経済弱者)に厚生損失を与えている、という事実を認識することが重要です。脱炭素や再生可能エネルギーはこのような外部不経済を内部化(是正)するための手段であり、それゆえ大きな便益があります(故に「国民負担」という解釈は誤りです)。 送電網に関するコストとベネフィットのバランスについては、IEA や IEA Wind Task25 の各種報告書、さらにはそれら報告書の参考文献(特に ENTSO-E の報告書)に詳しく書かれていますので、是非一度お目通し下さい。まず文献をじっくり読み、科学的根拠に基づく情報やデータ、基礎理論を元にご議論頂くと、日本や地球の将来に対して有益な議論になるでしょう。

#	ご質問	回答
		コストとベネフィット(便益)に関しては、下記の解説論文も併せてお読み下さい。 ・安田陽: 洋上風力発電の系統連系とコスト, 太陽エネルギー, Vo.49, No.5, pp.13-32 (2023, 5) ・安田陽: 風力発電が社会にもたらす便益, 風力エネルギー, Vo.44, No.1, pp.32-35 (2020, 6). (Task25 安田氏回答)
7	送電線の増強だけでは電力システム全体として時間帯によって需給に大きな差がある以上系統接続の問題を完全に解決することはできません。やはり再エネと調整力は車輪の両輪ですから調整力も増強しなければなりません。近く需給調整市場が開設するとの事ですが、無炭素の調整力はコストが高く稼働率が低く、貯蔵できる電力が限られている上に、停電になってから電力を売ったほうが収益が得られるので電力システムの安定化には貢献しないと考えます。揚水など無炭素の調整力を調達した企業にもっとお金が入る市場設計が必要かもしれませんが、そもそも価格が高くなっても供給量が増やせない再エネに見えざる神の手が働くのか 疑問に思っています。保存できない再エネと市場の需給調整能力は相性が悪いと考えます。	「調整力」というやや古い言葉を使う限り、そのようなお考えになってしまいがちですが、国際的には「柔軟性」という用語が用いられしており、議論が一段進んでいます。実際にスペインでは水力・揚水だけでなく、風力からの上方予備力・下方予備力が需給調整市場で取引されており、デンマークや北米の一部の市場でも同様の傾向が見られています。低炭素で安価な柔軟性によって系統の需給調整が実現されつつあり、逆に化石燃料による柔軟性は、燃料コストや炭素価格の上昇、設備利用率の低下によって高コストになりつつあります。また柔軟性は調整力市場だけで取引されるわけではなく、時間前市場でも取引されます。時間前市場が短時間化すれば、変動性再生可能エネルギー(VRE)も予測しやすくなり、結果的に需給コストを低減化できます。系統増強は長期の供給信頼度(アデカシー)にも貢献するというシミュレーション研究や実証分析も多く見られています。是非、IEA Wind Task25 の報告書など各種国際機関報告書をお読み頂き、世界の最先端の動向や基礎理論を少しずつでも学んで頂ければ、ご疑問やご懸念も氷解すると思います。 系統柔軟性に関しては、下記の解説論文も併せてお読み下さい。

#	ご質問	回答
		・安田陽: 再生可能エネルギー超大量導入を実現する系統柔軟性, エネルギー・資源, Vo.45, No.2, pp.104-111 (2024) (Task25 安田氏回答)
8	風力発電による電力消費モデル。出力制御がなされたのでは発電事業者は非常に困る。実態を知りたいです。	出力抑制(日本では「出力制御」が使われますが、誤訳です)は、国際的には「必ずしも悪ではない」と評価されており、年間抑制率が10%未満であれば、他の手段よりも低コストな手段として戦略的に使われる場合多いです。日本の発電事業者もそのことを認識した上で、事業計画にあらかじめ盛り込み、予測することが望まれます。例えば、2023年の九州エリアの抑制率は9.1%なので、やや多く今後注視が必要なものの、世界レベルで特段に劣悪な数字ではありません。また、九州以外の各エリアは国際レベルからするとかなり優秀で良好な状況です。重要なのは、将来どの程度になるかを予測し、政策や市場設計・運用に不透明性がないかをウォッチすることだと思います。 出力抑制に関しては、本講演資料でも短く触れましたが(p.27～28)、IEA Wind Task25 有志メンバーによる下記の論文および日本語訳も併せてお読み下さい。 ・Y. Yasuda et al.: C-E (curtailment - Energy share) map: An objective and quantitative measure to evaluate wind and solar curtailment. Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 160, May 2022, 112212 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032122001356 ・安田陽他: C-E(出力抑制—電力量シェア)マップ — 風力・太陽光発電の出力抑制を評価するための客観的・定量的手法, 京都

#	ご質問	回答
		大学再生可能エネルギー経済学講座, ディスカッションペーパーNo.46 (2023) https://www.econ.kyoto-u.ac.jp/renewable_energy/stage2/contents/dp046.html (Task25 安田氏回答)
9	洋上風力発電事業においては, 陸上の送電線(自営送電線)は全て事業者負担となっており, 事業費の増大につながっています。(40~50km の送電線建設はまれではない)このような現実の何等かの対応が必要であると思いますが, 如何でしょうか。	まず、新規の発電所建設のために必要となる「送電線」が物理的にどこに建設され、既存の電力系統とどのような電氣的トポロジーになっているかを確認することが必要です。一般に、陸上風力では、発電所から電力系統の共通受電点までは発電所所有者が建設・運用することになっており、これは「スーパーシャロー方式」を採っているデンマーク以外、世界ほぼ全ての国で共通です。ただし、日本では、系統接続協議の際に発電所から物理的に最短の地点ではなく、より遠い地点を受電点に指定されることもあり、発電コスト低減の観点からは、個別協議ではなくより合理的な統一ルールや規制、政策が必要です。 また、洋上では、ドイツやオランダ・ベルギーの直流送電や英国の Round 3 以降の長距離交流線において、送電事業者(TSO)や発電所所有者以外の第三者が送電線を所有・運用する事例も見られていますが、日本ではまだ長距離送電が必要なほど離岸距離が長い洋上風力発電所の計画はなく、制度設計は今後の課題だと考えられます(Task25 安田氏回答)。

#	ご質問	回答
10	発電コスト WG での統合費用試算のところで、固有 LCOE の費用が 19 円程度になっている。陸上風力発電の 2023 年度第 3 回入札価格が 14 年前後であったと思うが、これと比較すると高くなっているのはなぜか？採算性を考える発電コストの方が安くないといけないと思うのですが。	発電コスト WG の試算はあくまでモデルプラントであり、実際の個々の発電所の発電コストは立地条件や系統状況、部品・資材調達契約などによって大きく変動します。一方、入札価格は入札者の経営上の判断なので、当該発電所の発電コストとは異なる価格で入札される場合もあります(特に PPA など長期相対契約と組み合わせた場合など)。したがって、両者は一致しなくても不自然ではありません(Task25 安田氏回答)。
11	C-E マップ(風力)について、デンマークは風力のシェアが高く 2020 年の時に出力抑止が大きくなるところ、中国は逆にシェアが低いのに出力抑制が高いのは、どのような状況を現しているのでしょうか？中国の系統連系が整備されていなかったこと意味しているのでしょうか。	C-E マップについては講演中に十分な説明時間が取れませんでしたので、改めてご質問頂き有難うございます。ご指摘の通り、中国では主に内陸部に大量の建設された風力発電に対して送電線の建設が間に合わず、一時期大量の出力抑制が発生しましたが、送電線の建設により徐々に解消されつつある傾向が見られます。これは米国テキサスやイタリアでも同様の傾向が見られます。詳しくは、下記の論文および日本語訳をお読み下さい。 ・Y. Yasuda et al.: C-E (curtailment - Energy share) map: An objective and quantitative measure to evaluate wind and solar curtailment. Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 160, May 2022, 112212 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032122001356 ・安田陽他: C-E(出力抑制—電力量シェア)マップ — 風力・太陽光発電の出力抑制を評価するための客観的・定量的手法, 京都大学再生可能エネルギー経済学講座, ディスカッションペーパーNo.46 (2023) https://www.econ.kyoto-

#	ご質問	回答
		u.ac.jp/renewable_energy/stage2/contents/dp046.html (Task25 安田氏回答)