

IEA Task53（風力発電の経済性）

活動成果と今後の活動計画

2025年9月24日

東京大学大学院工学系研究科
社会基盤学専攻
菊地由佳

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、**2025年4月15-17日に東京でIn-person meeting**が開催された。

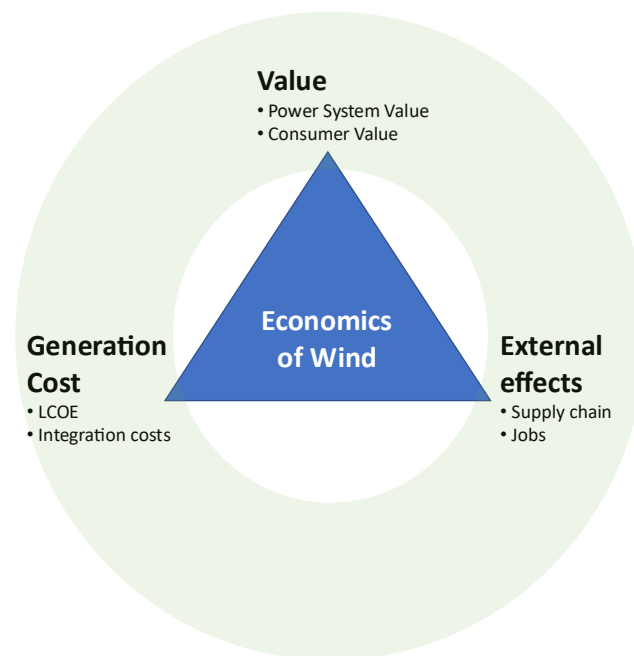
活動期間: 2021年12月1日～**2025年11月30日**

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): Tyler Stehly、Philipp Beiter (NREL)

委員: ○菊地由佳(東京大学)、木村啓二(大阪産業大学)

- 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。



Power Sector Trends

- Deep de-carbonization
- Siting constraints
- Use of hydrogen

Emerging Wind Technologies and Solutions

- Integrated transmission
- Larger turbines
- Integrated and industrialized supply chains

Performance Metrics

- Holistic cost and value metrics
- Metrics for new wind applications (e.g., in consideration of hydrogen and storage)
- Uncertainty

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？”	NREL (USA)
	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。	
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？”	UTokyo (JPN)
	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。	
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？”	NREL (USA)
	現在進んでいる金融コストにたいする専門家への調査の結果を分析することにより、不確かさやリスクが実際に及ぼす影響について調査する。次に、これらの不確かさがLCOEに与える影響を明らかにする。 最後に、シナリオベースの風力の 金融コストの予測モデル を構築する。	
WP4	“どのようなデータと分析手法が、 現在と過去の風力発電コスト をより良く理解するためにふさわしいか？”	NREL (USA)
	毎年の各国の風力発電に関する技術・経済に関する データの調査 を行うとともに、発電コスト等による経済性評価手法の提案と検証を行う。	
WP5	“ 新しい送電網と水素 はコストと価値にどのように影響を与えるか？”	EA (DNK)
	シナリオ研究により、 参加国が保有しているモデル を用いて、水素と送電線がコストと価値に与える影響を評価する。	
WP6	“成熟した将来の市場において サプライチェーン はどのように発展し変化するか？”	JRC (EU)
	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。	

- 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。
- ヒアリングが完了し、現在、論文投稿中。

■ 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

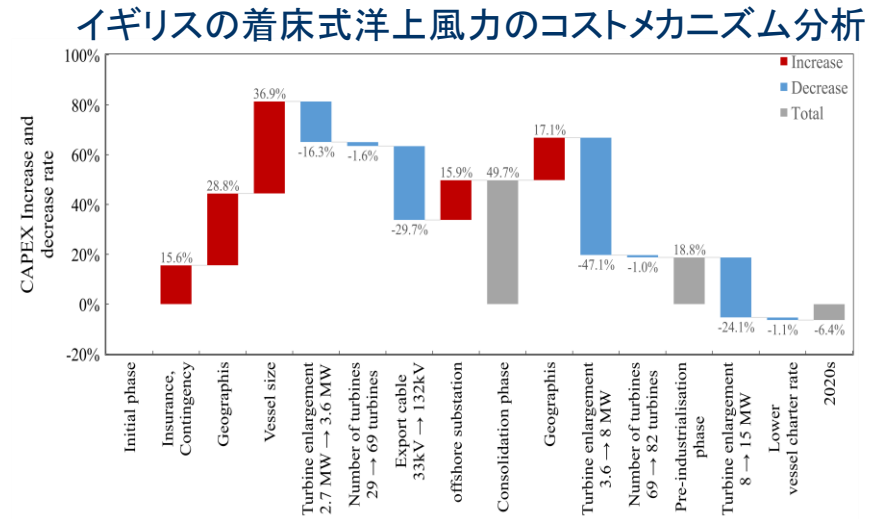
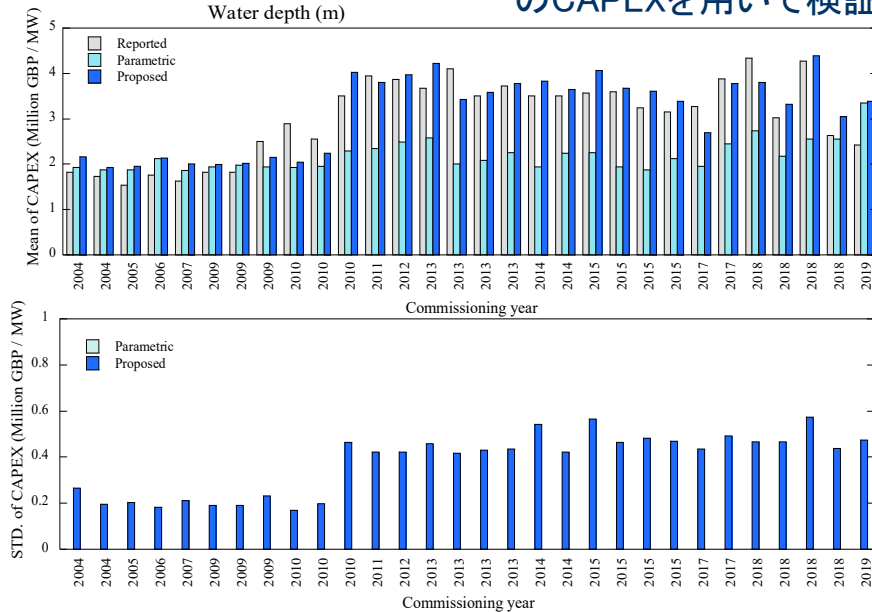
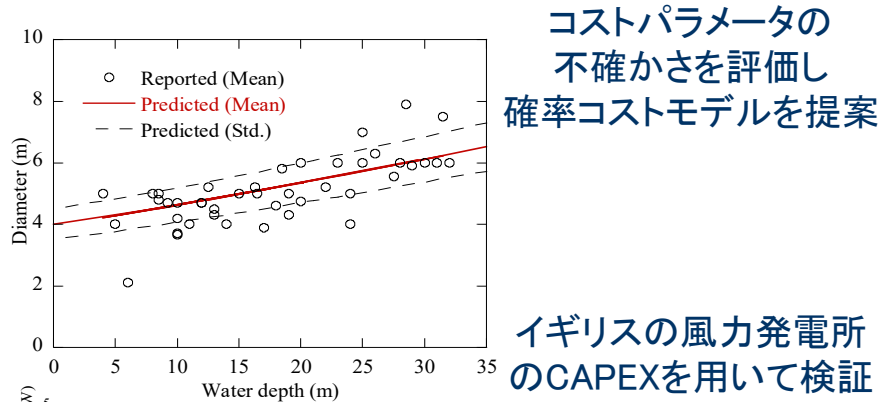
- 製造拡大に必要な技術(風車の大きさ、自動化、グローバルサプライチェーンの構築、輸送技術 etc.)

■ 価値について

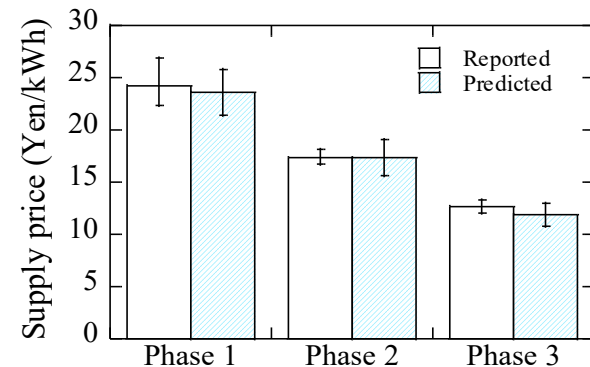
- 風力発電の価値向上に必要な技術(低出力比の風車、データ分析技術、蓄電池併用、水素併用等)

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

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



日本の洋上風力発電の供給価格分析



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

スパー型浮体施工の 従来手法と提案手法

Table 3 Description of conventional and advanced technologies

	Conventional	Advanced
Floater	Cylinder ²⁹⁾ 	Flat panel ²⁰⁾ 
Mooring line	Steel ²⁴⁾ 	Hybrid ²⁰⁾ 
Wind turbine Installation	Floating-to-floating ²⁹⁾ 	Floating-to-fixed ³⁰⁾ 
Mooring line installation	Barge type vessel ³¹⁾ 	AHTS ³²⁾ 

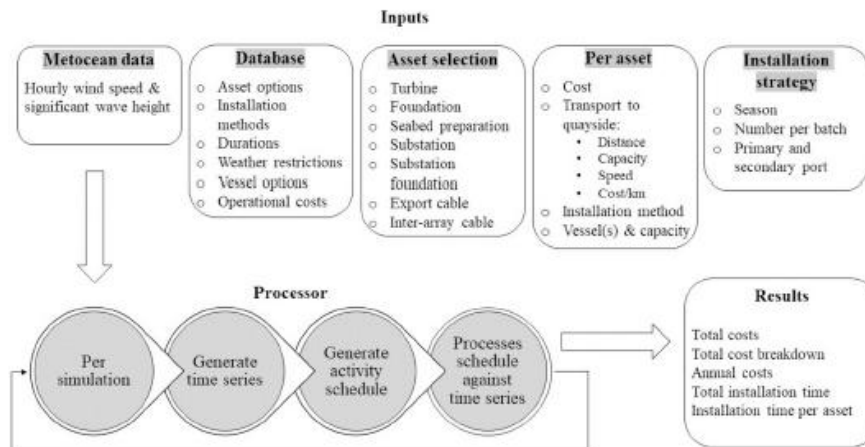
エンジニアリングモデルを用いた 提案手法による建設コストの低減量評価

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

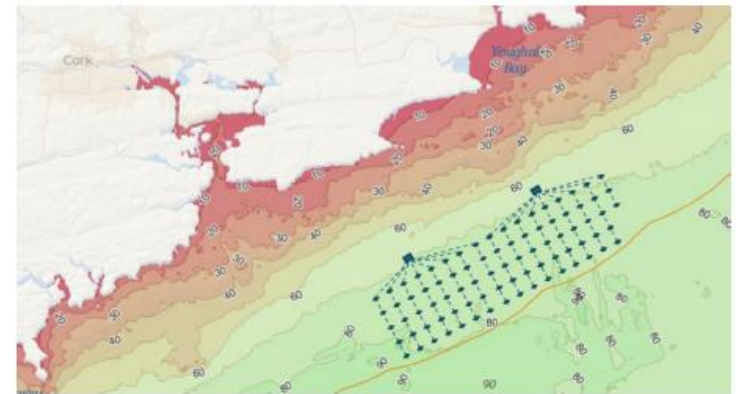
Item	Baseline	Advanced	Reduction rate (%)
DEVEX	2.3	2.3	-
Turbine	13.9	13.9	-
BOP			
Floater	13.4	11.4	15
Mooring and anchor	6.8	4.3	37
PTS	3.1	3.1	-
Installation			
Turbine	6.0	3.1	48
Mooring and anchor	2.5	2.1	16
Floater	1.1	1.1	-
PTS	5.3	5.3	-
Port	0.1	0.1	-
Others	6.0	4.7	22
Total	60.6	51.5	15

Devoy McAuliffe F. et al., Modelling the installation of next generation floating offshore wind farms, Applied Energy, 2024.

浮体式洋上風力発電所の施工モデル



仮想的発電所の設定



Hywindを用いた検証

	Installation model results	Published Hywind data
Dry CAPEX¹	€109 m	
Anchor installation	€4 m	
Turbine assembly, towing & hook-up	€8.6 m	
Cabling	€12 m	Breakdown unavailable
Additional installation costs	€52 m	
Project management, construction insurance & contingency	€19 m	
Total installation costs	€95.6 m	
Total CAPEX	€204.6 m	€200 m

¹ Includes development and asset costs on and offshore.

発電コストの評価

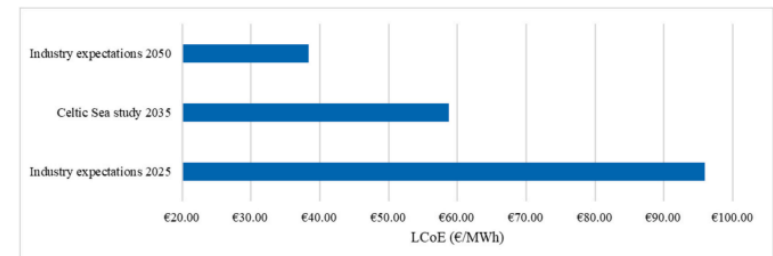
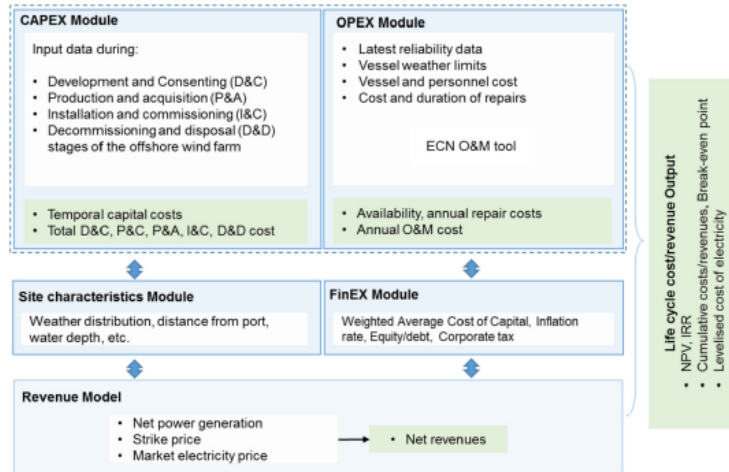


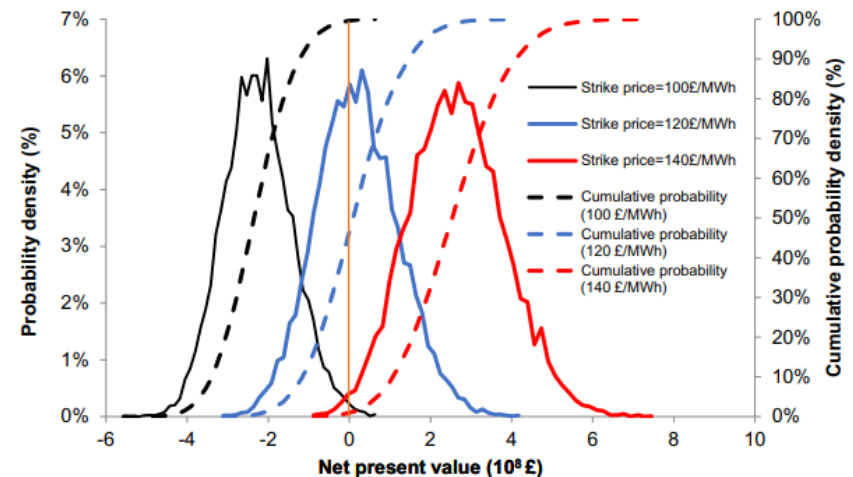
Fig. 7. LCoE estimate summary.

A. Ioannou et al., Stochastic financial appraisal of offshore wind farms, Renewable Energy, 2020.

提案エンジニアリングモデル



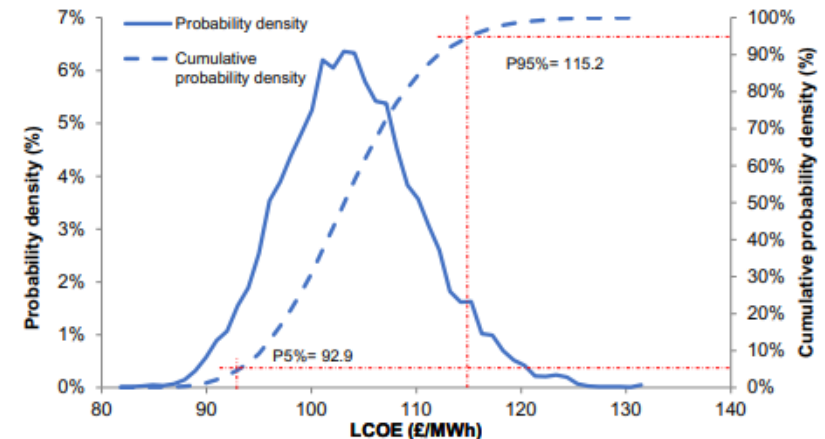
異なる基準価格でのNPV



電力価格の予測値の検証



LCOEの不確かさの評価



Wagner F, Malet J, Kitzing L, How do two-way contracts-for-difference affect futures markets? A novel modelling approach of future market liquidity, Preprint, Energy Economics, 2025.

直近の電力法市場に関する制度改革では、加盟国が新しい非化石燃料発電に対する直接価格支持制度を実施する場合、CfDの使用を義務付け

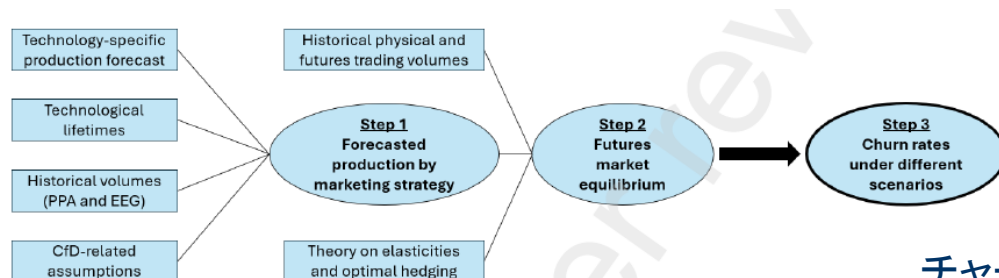


Figure 1: Overview of inputs and respective modelling steps.

市場予測均衡モデル

チャーンレートと発電量予測

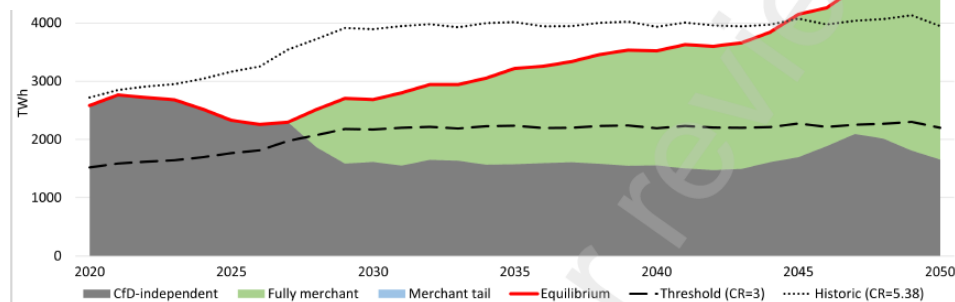


Figure 7: Volumes are calculated as laid out in section 2. The minimum and average churn rates are 3.49 and 4.68, respectively. 2027 is assumed to be the last year EEG installations come online. Afterwards, all additional RE volumes operate solely on market terms.

参考) 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).

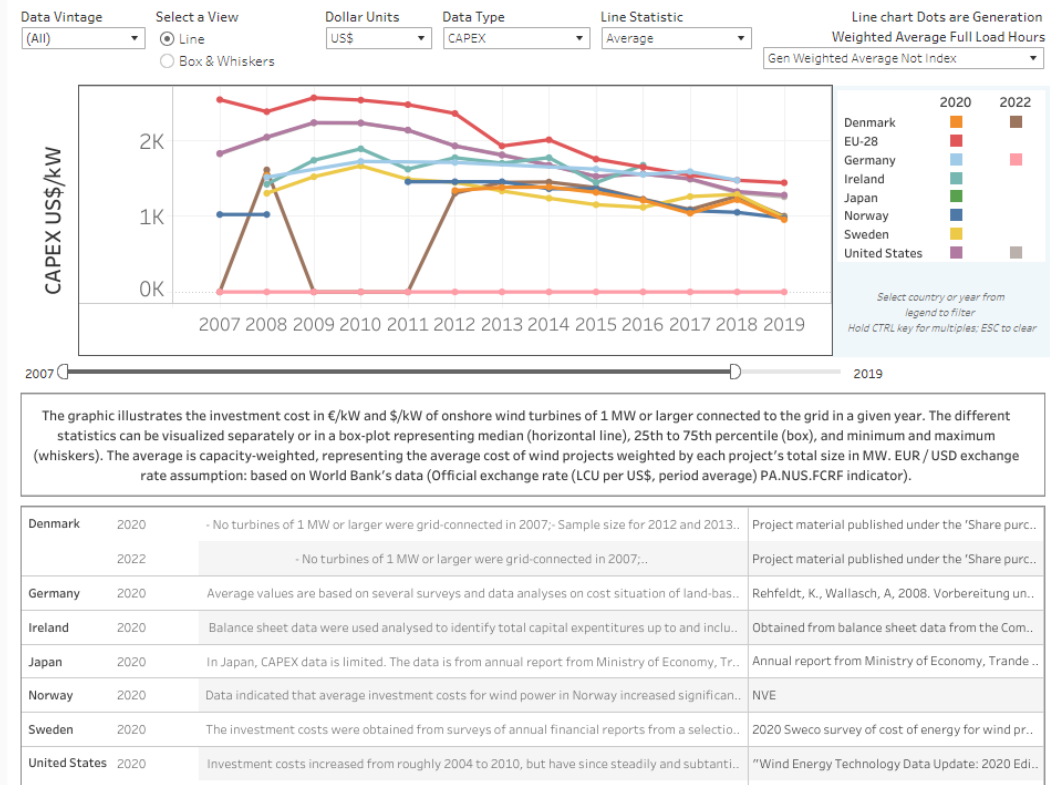
<https://doi.org/10.1038/s41560-023-01401-w>

- 各国の陸上風力発電のコストを収集し、Data viewerとしてIEA Task53のホームページにて公開している

日本の状況

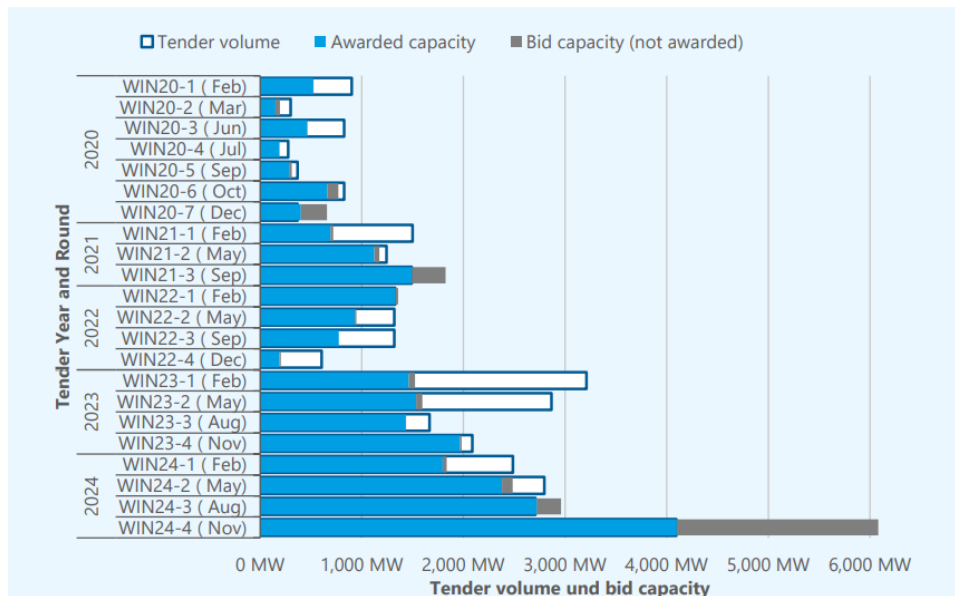
- 導入量に関する公的資料が存在しないため、JWPAの報告値を基に、毎年建設された発電所のホームページを調査し、提出している。
- 発電所の風速はNeoWindsを用いて評価。
- CAPEX・OPEXは調達価格等算定委員会の資料を基に評価。最大値・最小値・中央値は不明。

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

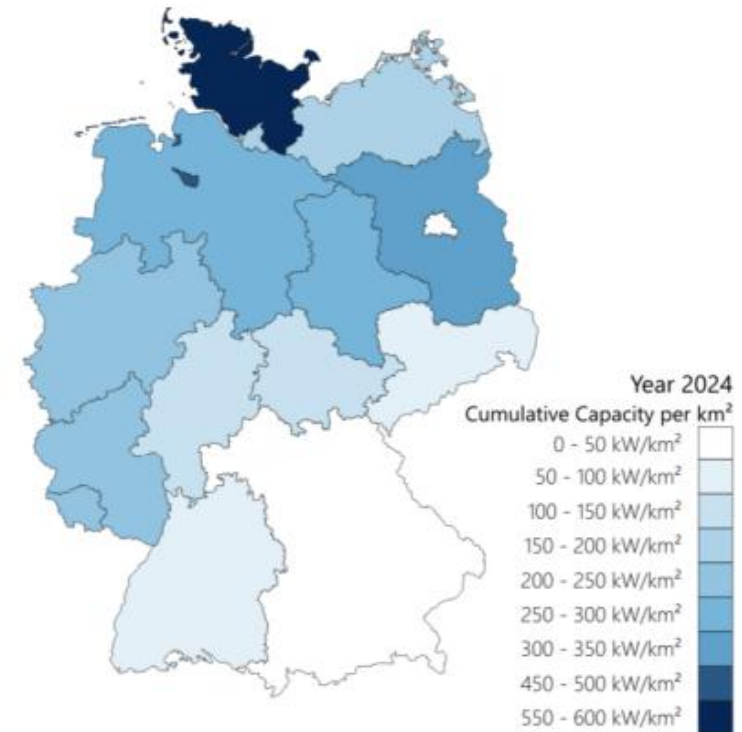


- ドイツの統計資料が最も体系的で明瞭である
- <https://www.windguard.com/publications-wind-energy-statistics.html>

Wind Guard, Status of onshore wind energy development in Germany, 2024.



(Wind Guard, 2024)



Base map: © GeoBasis-DE / BKG 2022 | Database: MaStR with own modifications
Source: Deutsche WindGuard

Regional distribution of cumulative capacity

(Wind Guard, 2024)

- 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
- 年末までに報告書をまとめる予定

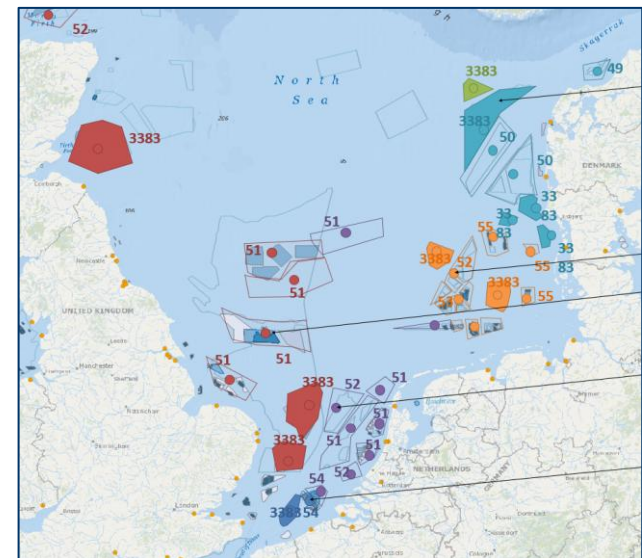
分析例:

- 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

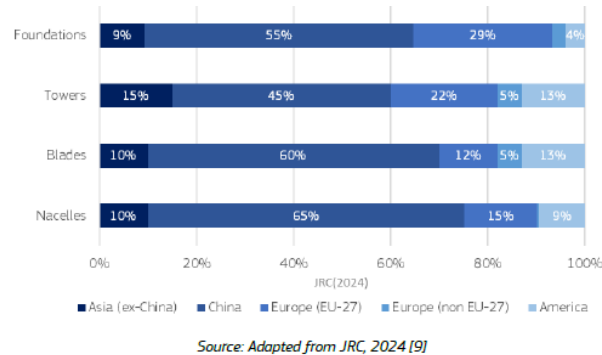
BE – 6 GW in 2035



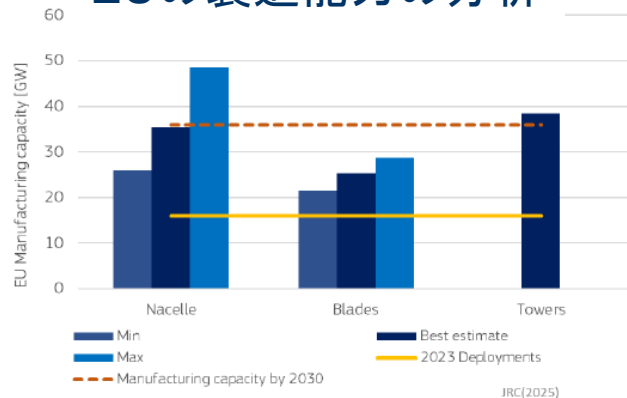
Tapoglou E et al., Knowledge gaps in the wind energy technology supply chain, 2025.

The Net Zero Industry ActおよびThe Critical Raw Material Actを背景に、サプライチェーンに関するデータベースを統合、可視化、分析および検証

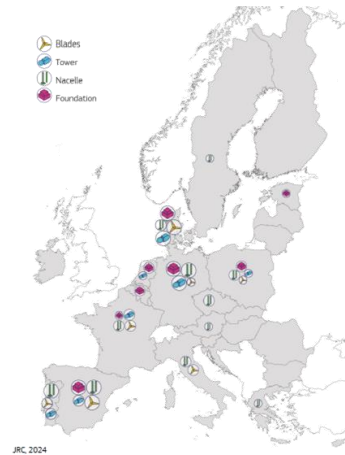
主要部品の地域別製造能力



EUの製造能力の分析

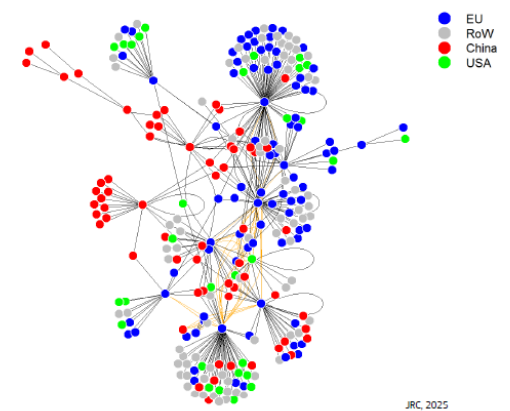


EUの製造拠点



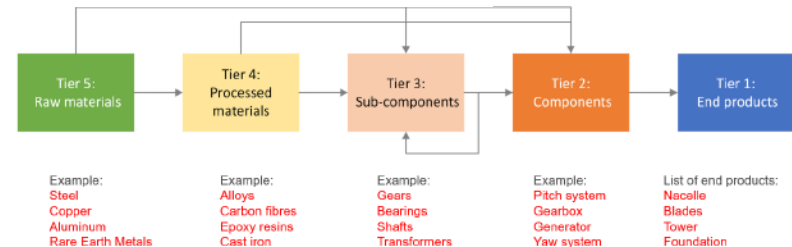
Source: Adapted from JRC, 2024 [29]

サプライヤーと顧客の関係



Source: JRC based on various sources, 2025

風力発電の階層化システム



JRC (2025)

研究のまとめ (Tapoglou E. et al., 2025)

- ❑ 業界レポート、企業の Web サイト、取引データベースなど、複数ソースを組み合わせ、風力発電のサプライチェーンに関する**包括的データベースを構築した**
- ❑ 企業間および部品間の重要な関係と依存関係が明らかとなるような**サプライチェーンを可視化した**
- ❑ 構築したサプライチェーンマップを用いて、**集中領域、ボトルネック、改善の余地などの主要な傾向、パターンを分析した**
- ❑ 業界の専門家のフィードバック、企業によるの検証、およびデータ検証手法を用いて、**構築したサプライチェーンマップの妥当性を検証した**

サプライチェーンマップの今後の活用方法 (Tapoglou E. et al., 2025)

- ❑ 国内サプライチェーンの発展を支援し、国際輸入への依存を減らし、地域経済の成長を促進するための戦略を策定
- ❑ 業界内の競争と革新を促進し、コストを削減し、効率を向上させる政策を策定
- ❑ 送電網インフラやエネルギー貯蔵を含む広範なエネルギーシステムへの風力エネルギーの統合を支援する政策の策定
- ❑ 既存の政策やプログラムの有効性を監視・評価し、データに基づいた意思決定およびその影響の評価

- すべてのWPについて計画された内容が完了し、報告書等にまとめている。成果はIEA Task53のホームページに掲載される予定
- 日本は、本フェーズにおいて、WP2におけるエンジニアリングコストモデルによるコスト評価を担当した
- 国外の風力発電の経済性に関する最先端の議論を学び、日本の風力発電の研究課題にフィードバックしていく



In-person meetingの様子
2025年4月15-17日東京