



第12回
IEA Wind セミナー

2024年2月28日



Task 25:

変動電源大量導入時の エネルギーシステムの設計と運用



京都大学大学院 経済学研究科
再生可能エネルギー経済学講座 特任教授

安田 陽



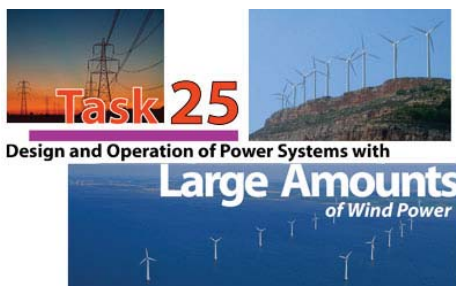
Task 25 の紹介

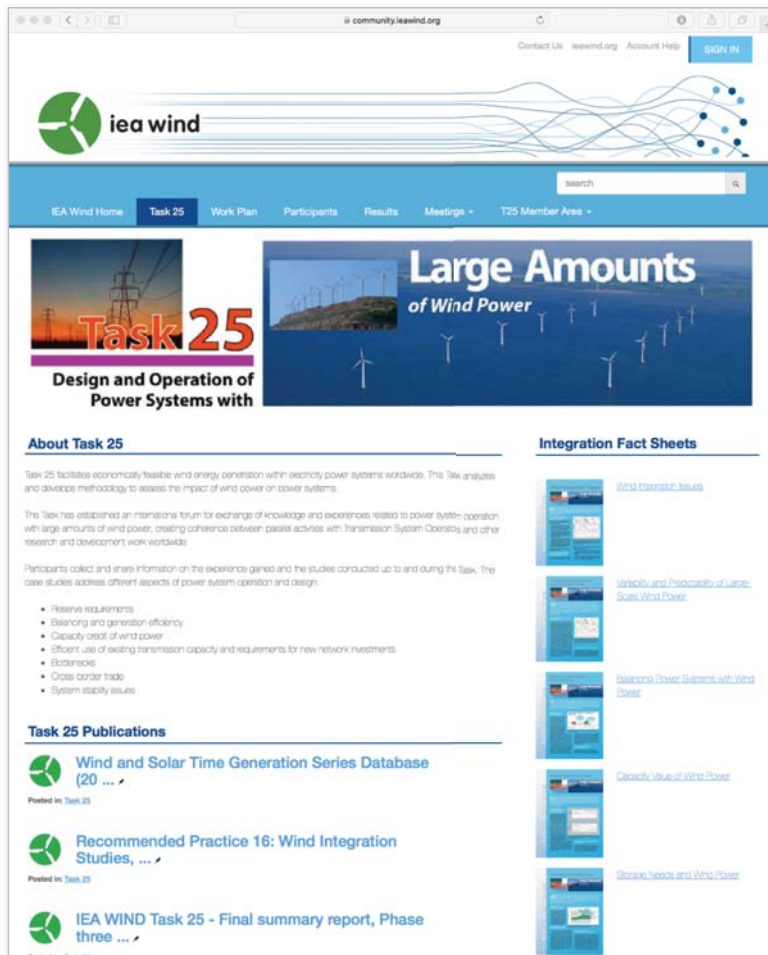
■ 名称

- 変動電源大量導入時のエネルギーシステムの設計と運用

■ 目的

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





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



これまでの活動経緯



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

+ Task25の構成

■ 構成メンバー

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

女性率も高い
(ジェンダーバランス)



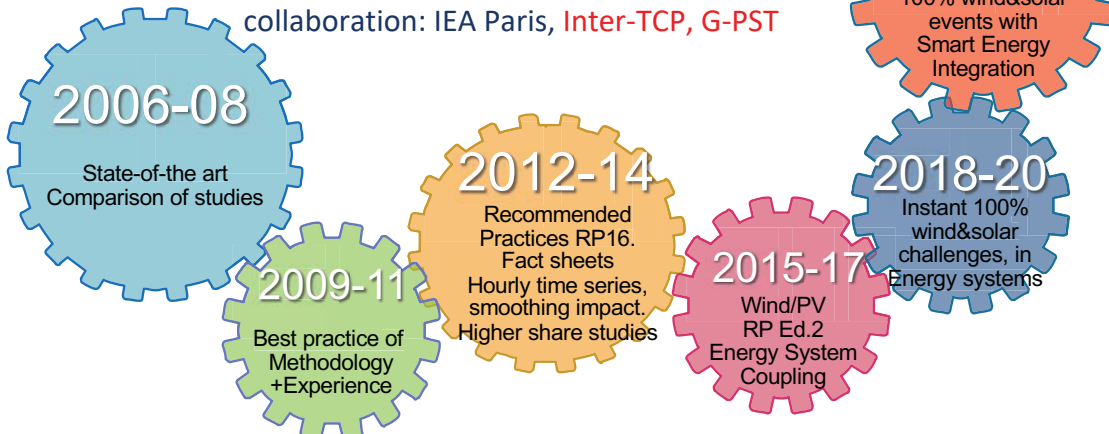
■ 日本からは、以下の専門委員が参加

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

+ これまでの活動経緯

Task Objectives & Expected Results

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



+ ワークプラン



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

+ 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)

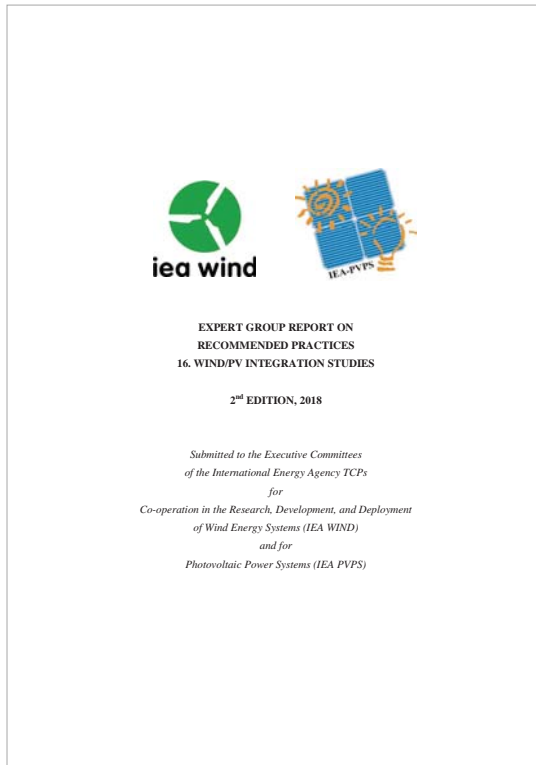
+ Task25成果物の翻訳

- 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

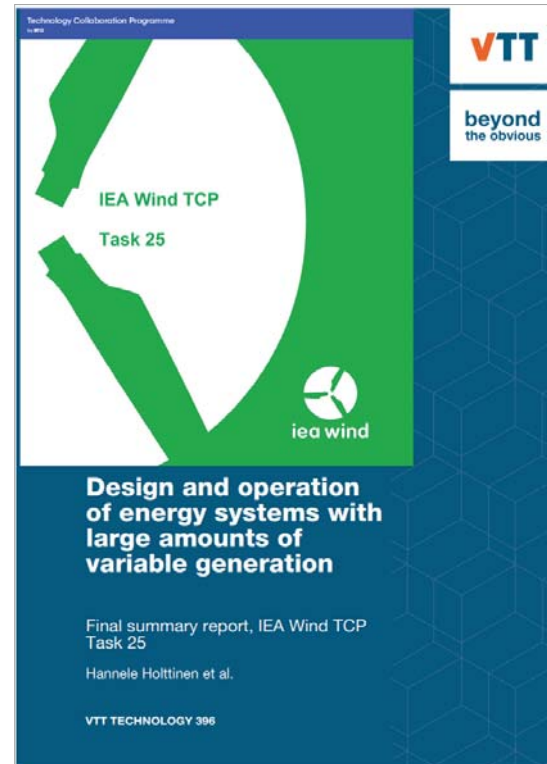


+ Task25成果物の翻訳

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)

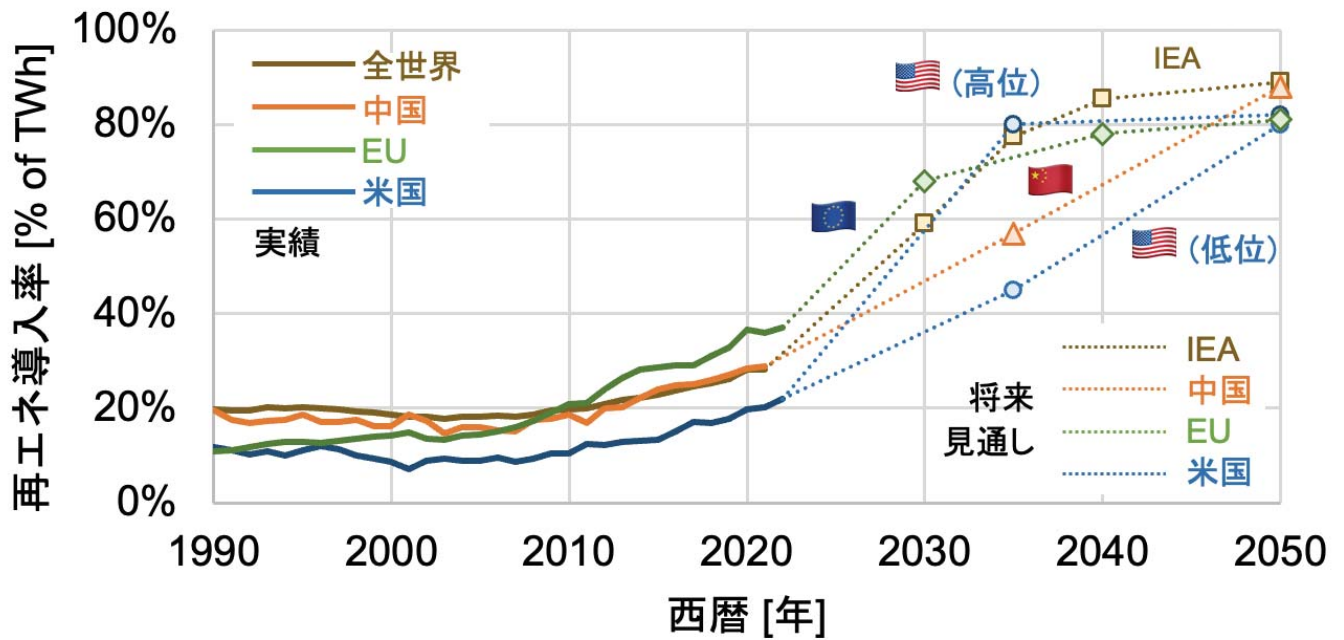
12



- 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



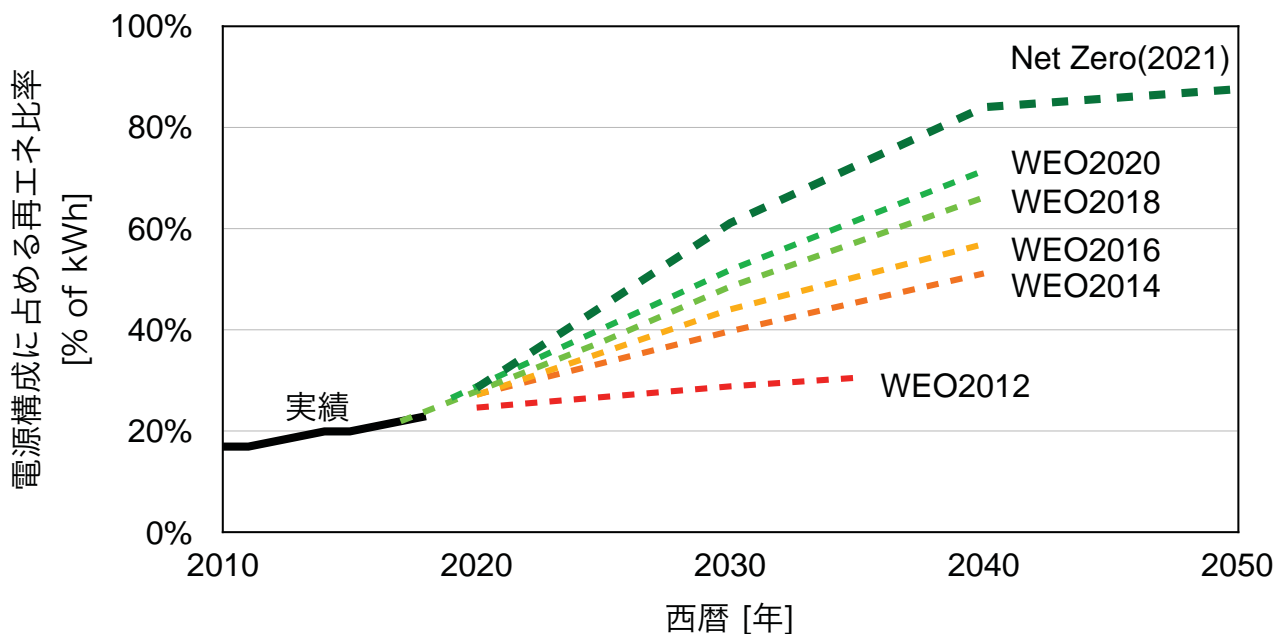
【参考】欧米中再エネ導入率推移 および将来見通し比較



(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)

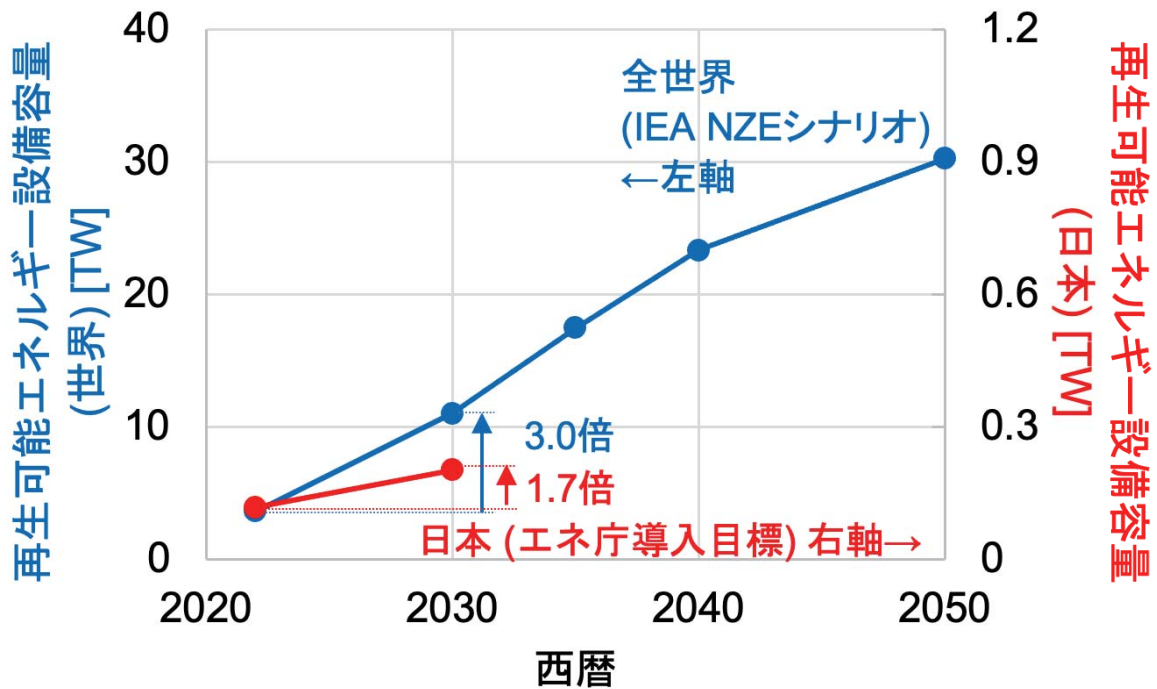


【参考】 IEA再エネ導入率見通しの推移



(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 再生エネルギー比率長期見通し

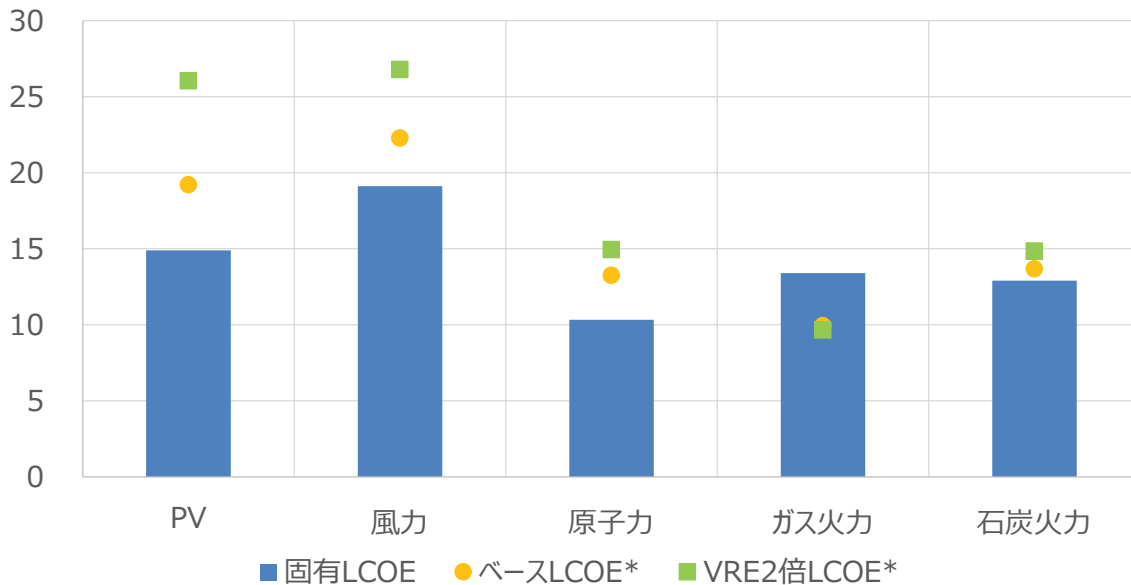


(データソース) IEA: Net Zero Roadmap – A Global Pathway to keep the 1.5°C Goal in Reach (2023)
経済産業省: 第6次エネルギー基本計画 (2021.10)

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)

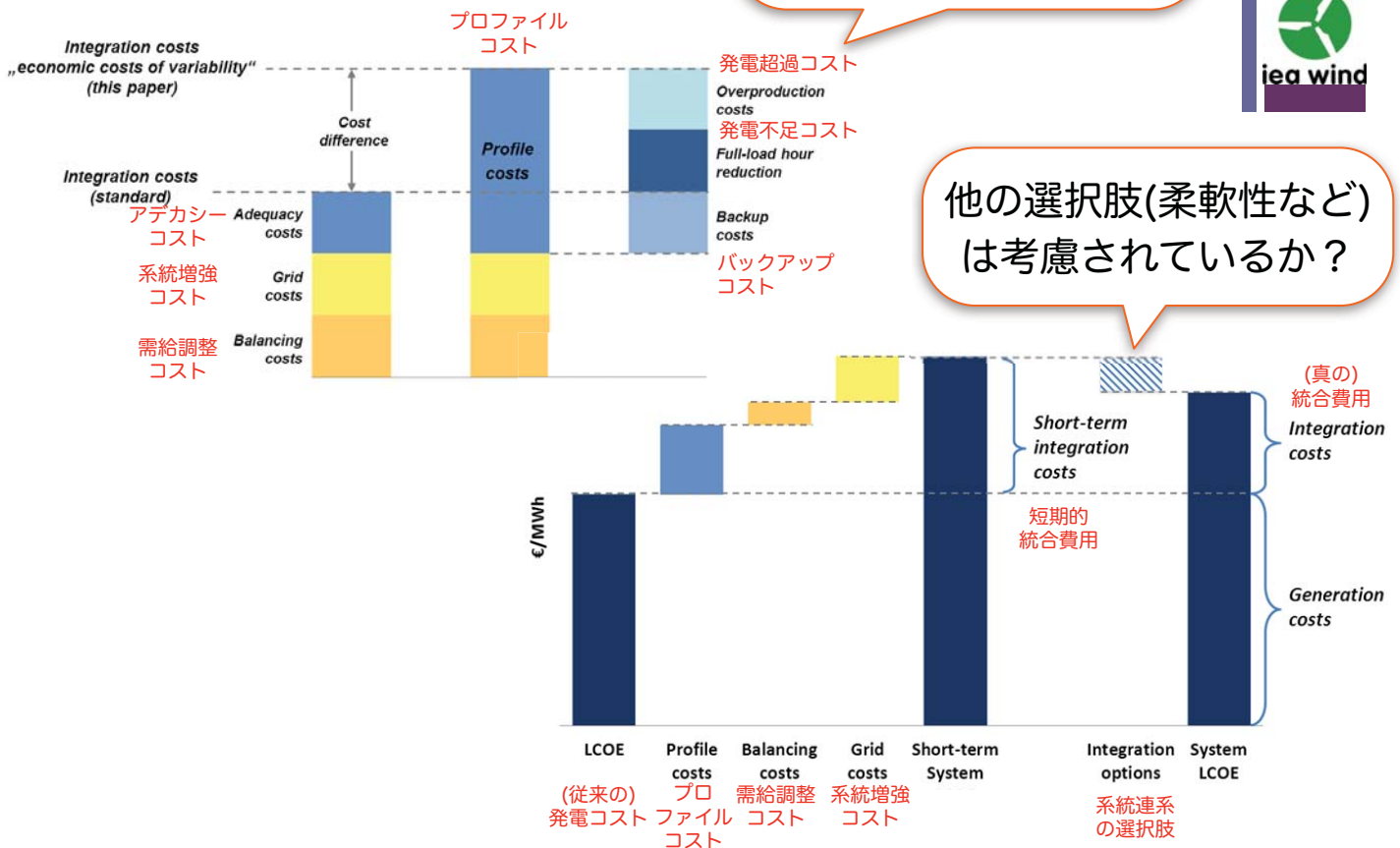
固有LCOEとシステム統合を反映したLCOE* (円/kWh)



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)

過剰評価はないか?
二重形上はないか?

(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

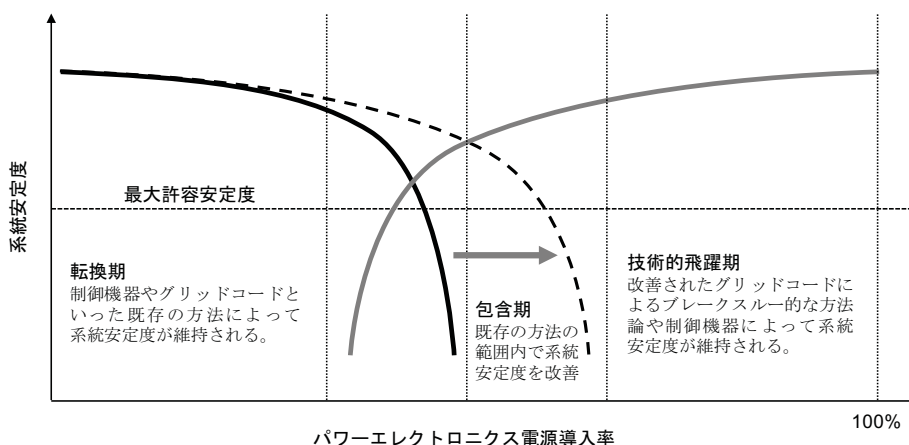
- 従来型電源がなくても電力システムの強度を維持する、つまりシステム安定度を確保するための技術的なソリューションが、いくつかの場合で存在することは、一般的な科学的コンセンサスとなっている。分散型太陽光発電の比率が大きい電力システムの場合、特定の困難が予想される。分散型太陽光発電が配電網やセキュリティに与える影響について、さらなる評価が必要である。(p.116)
- 風力や太陽光などの変動性電源が中心のシステムでも、デマンドレスポンス、大規模エネルギー貯蔵、ピーク電源、整備された送電網や連系線などの柔軟性があれば、システムアデカシー(電力システムがつねに負荷に対処する能力)を確保することができる。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

ELSEVIER

Renewable and Sustainable Energy Reviews

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

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

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

^a Kyoto University, Yoshida Honmachi, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8601, Japan
^b FERNA, Rete Italia, Viale Edgardo Galbani, 70-00156, Rome, Italy
^c ENEG, Aviação do Luminoso 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 Reconis, c/o Oy Active Ab, Jämsilänkatu 18, 04250, Kerava, Finland
ⁱ University of Castilla-La Mancha, 02071, Albacete, Spain
^j Hydro Québec, Varennes, QC J3R 1S1, Canada
^k Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO), the Netherlands
^l Forschungszentrum für Energiewirtschaft e.V., Germany
^m Instituto de Investigación Tecnológica, Comillas University, Spain
ⁿ ESKG, P.O. Box 2787, Reston, VA, 20195, USA
^o SINTEF Energi, Sem Saaland vei 11, 7034, Trondheim, Norway

ARTICLE INFO

ABSTRACT

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

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

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,

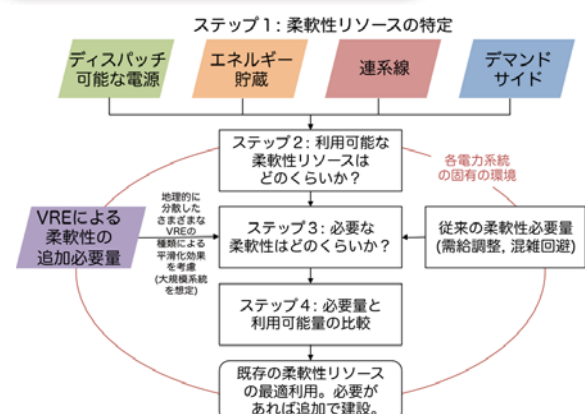
(source) IRENA: Power System Flexibility for the Energy Transition, Part II: IRENA Flextool Methodology (2018)

【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)

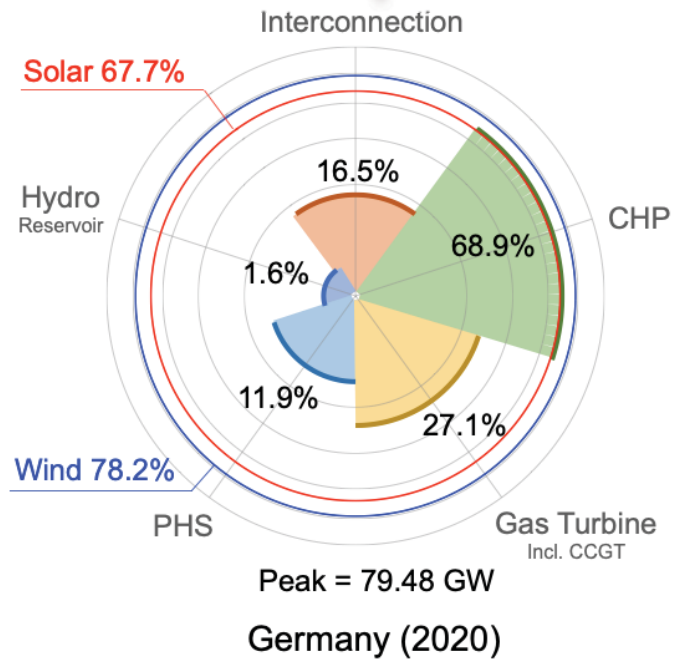
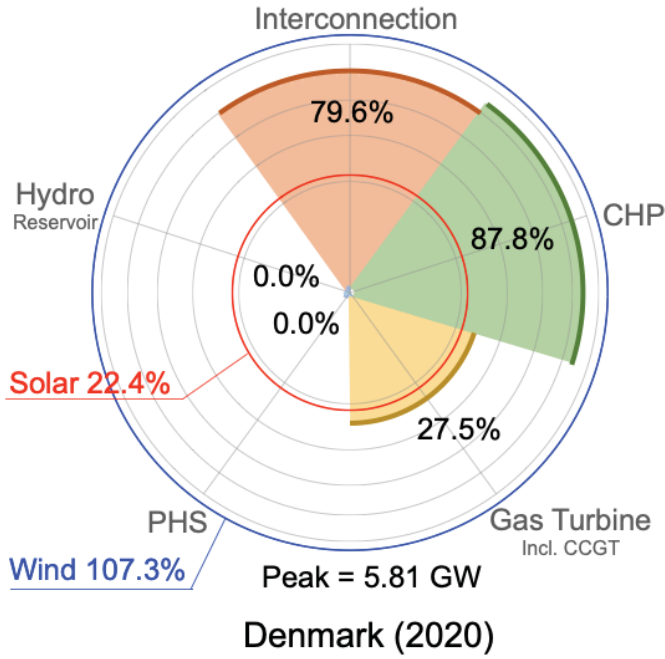
再エネを調整するのは
火力だけではない!



(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)

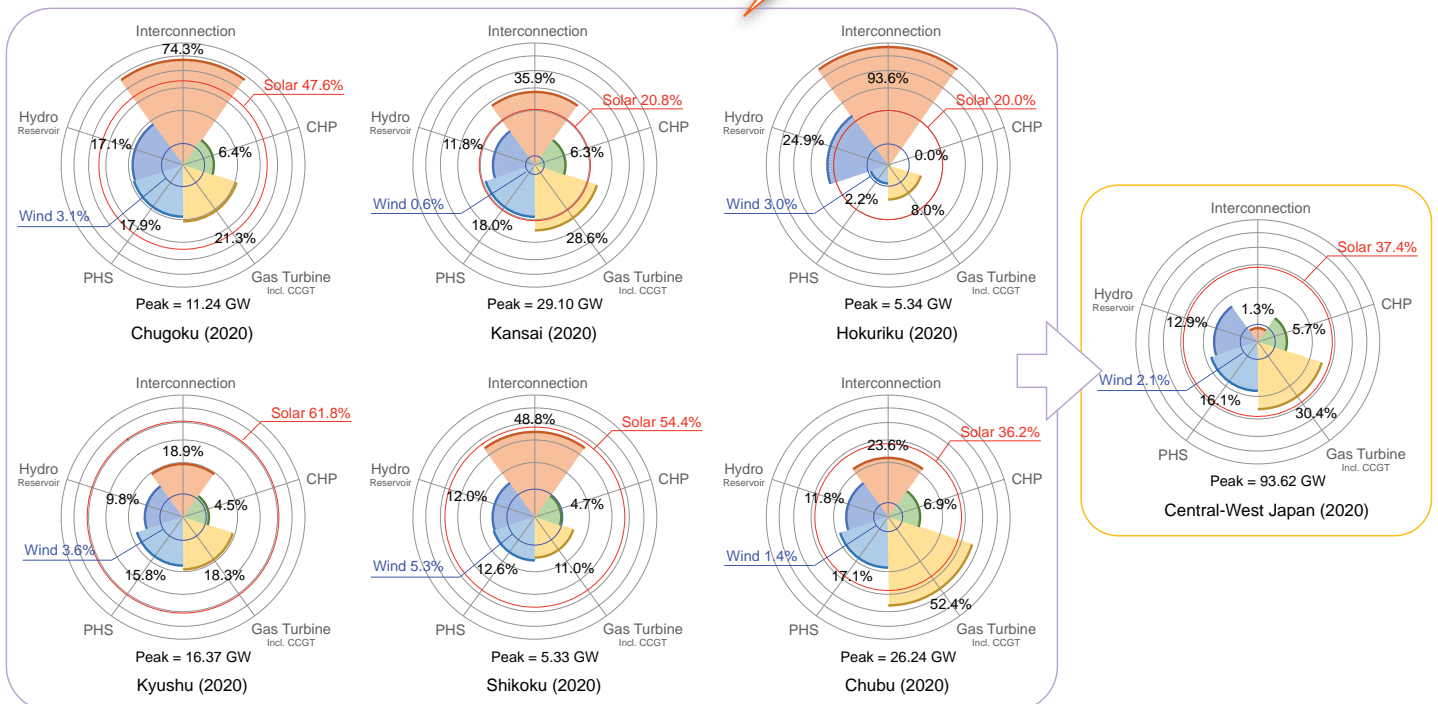
ドイツは意外に
連系線容量が少ない



(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)

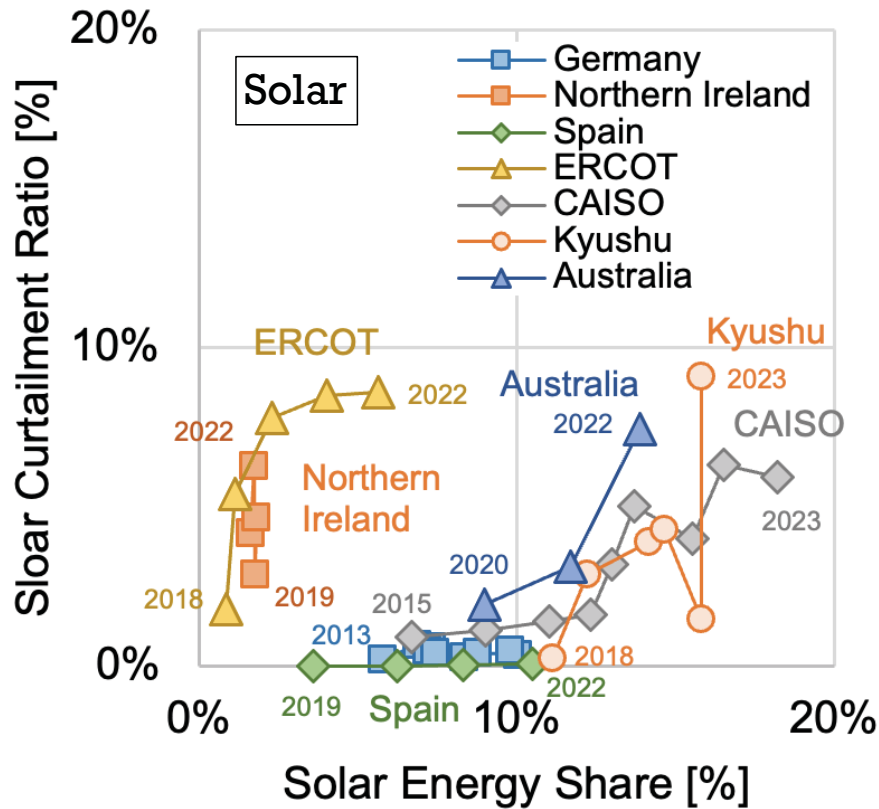
+ 柔軟性チャート (中西日本)

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



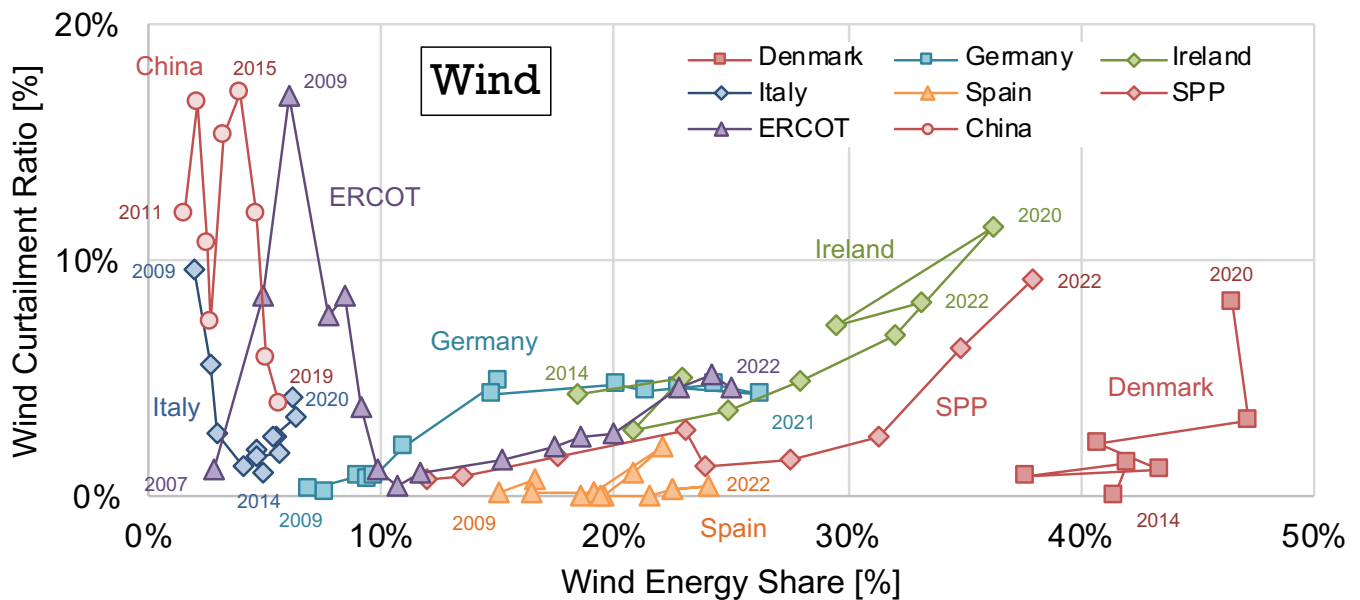
(source) Y. Yasuda et al.: Flexibility chart 2.0: An accessible visual tool to evaluate flexibility resources in power systems, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 174, 113116 (2023)

C-E マップ最新版 (太陽光)



(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)



(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

- 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

