

EAJプロジェクト「社会、産業、人々の生活の変容を支える電力システムの在り方」
中間シンポジウム「電力システム移行期におけるキー技術と人材を考える」

再エネ電源分野のキー技術とキーシステム技術

風力事業開発部

紺谷 怜央

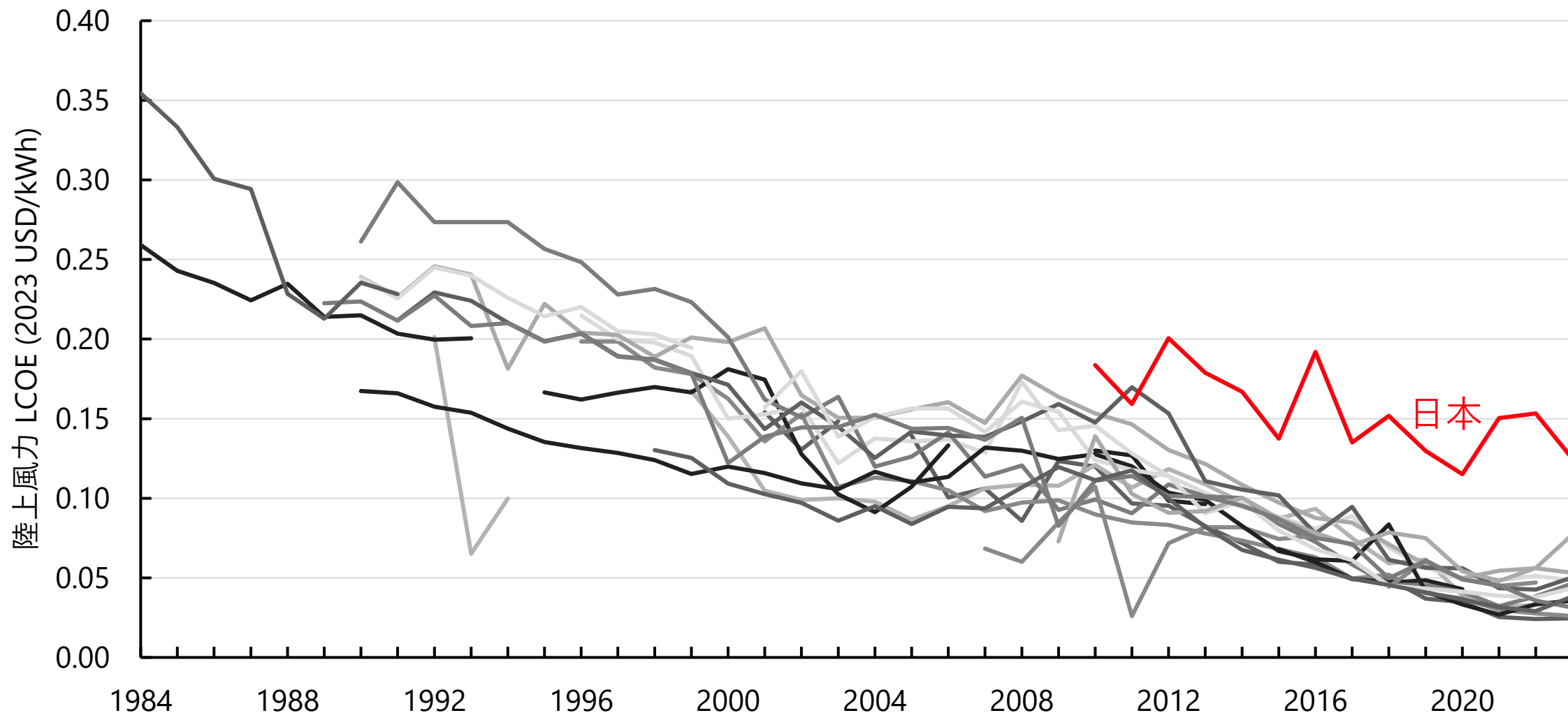
2025/4/15

①再エネ発電コストの低減

②VREを前提とした電力システム

③技術開発にかかる国産化率

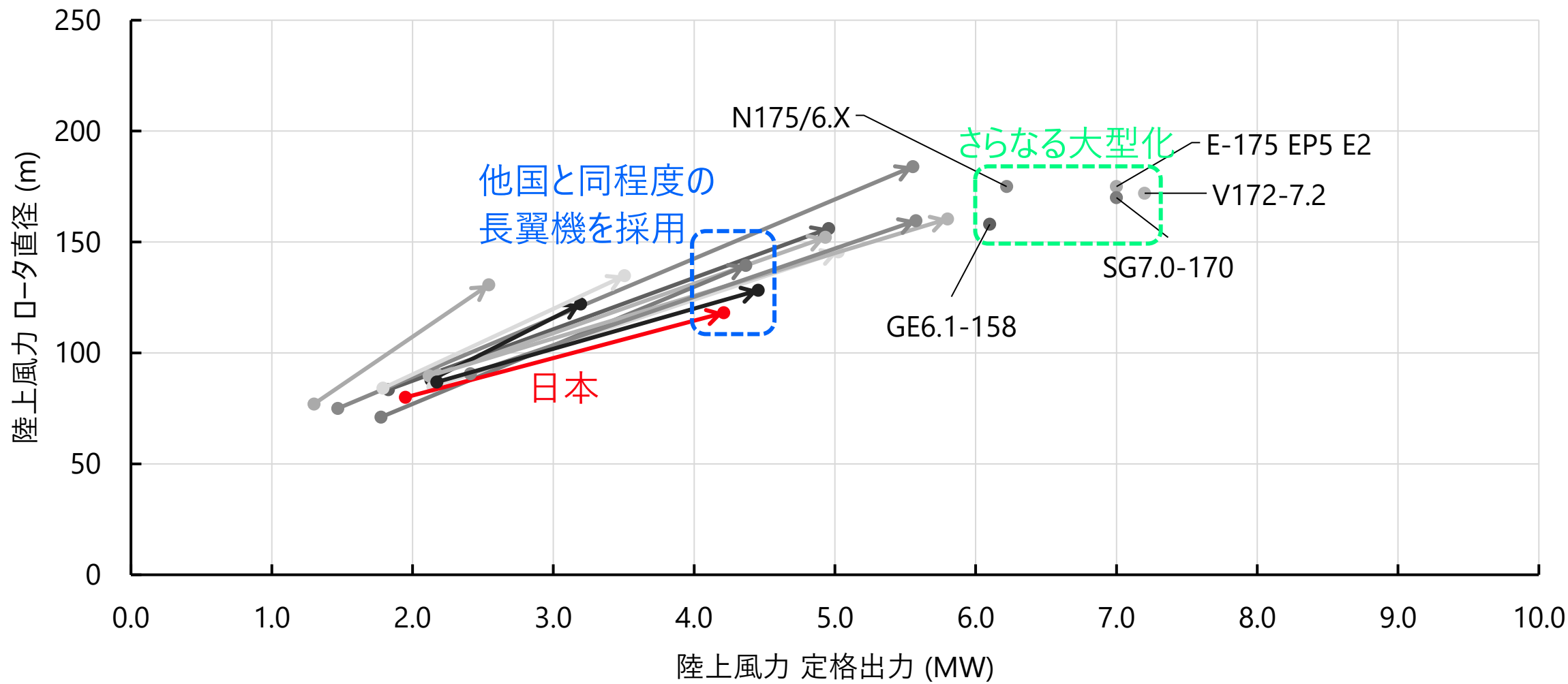
陸上風力発電のLCOEは他国と比較して高止まり



黒線は、ブラジル、カナダ、中国、デンマーク、フランス、ドイツ、インド、イタリア、メキシコ、スペイン、スウェーデン、トルコ、英国、米国、のいずれか

IRENA: Renewable Power Generation Costs in 2023: Figure 2.12

設備費の低減：長翼機や大型機の採用



黒線は、ブラジル、カナダ、中国、フランス、ドイツ、インド、アイルランド、スウェーデン、トルコ、英国、米国のいずれか。

IRENA: Renewable Power Generation Costs in 2022: Figure 2.2

各社HPより。日本では運用されていない機種も含む。

設備費の低減：日本は山岳地に適地が多く、長翼化には輸送の工夫が必要

- 分割を前提とした設計：ブレード分割^{*1}、タワー分割^{*2}、発電機分割^{*3}
- タワークレーン：移動式大型クレーンなしで施工^{*4}
- 転倒工法：撤去時、大型クレーン関連の費用を削減^{*5}
- 起立台車：ブレードを立てて運搬^{*5-7}

*1 GE Vernova. (n.d.). GE Vernova's 6 MW wind turbines.

*2 Lagerway. (n.d.). Lagerway tower solutions. 多数の鉄板を組み合わせてタワーにするModular Steel Towerが提案されている.

*3 ENERCON. (n.d.). Concentrated power for new performance levels.

*4 大林組. (n.d.). 風力発電／リフトアップで風車を組み立て: ウインドリフト®.

*5 田中ほか. (2023). 事業開発・計画から運用・保守までワンストップで対応する風力発電ソリューション. 日立評論.

*6 梶原. (2021). ブレード起立装置と自走式台車による風力発電用ブレード輸送. 建築機械施工.

*7 中瀬. (2021). 大型風車建設時の最新輸送車両とロジ計画. 風力エネルギー..

O&M費の低減：リモート点検(遠隔監視)・省人化・無人化

- ドローン：タワーやブレードの点検(下図)*1-2
- ひずみセンサ：ボルト軸力のモニタリング*3
- ローカル5G：高精細画像をリアルタイム伝送*4
- SCADAデータ分析：故障予知診断*5

*1 日立パワーソリューションズ & センシンロボティクス. (2023). ドローンの自動飛行機能を備えた風力発電設備のタワー点検システムを共同開発.

*2 NTT. (2023). 世界初、風力発電の風車を無停止点検可能とする技術の実証実験を開始.

*3 Glosel. (2024). 洋上風力発電設備の大型ボルトメンテナンス容易化.

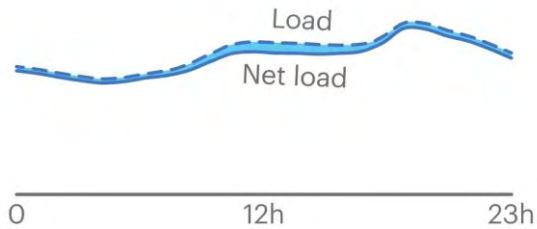
*4 総務省東北総合通信局. (2022). 株式会社秋田ケーブルテレビのローカル5G用実験試験局に免許.

*5 SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition 監視制御とデータ収集システム.

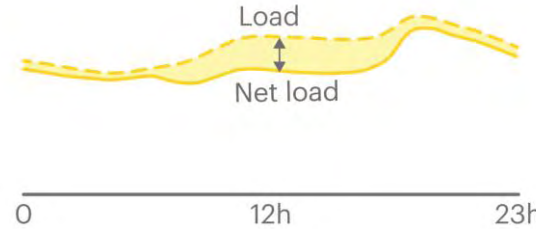
NEDO. (2024). 風力発電等技術研究開発／洋上風力発電等技術研究開発／次世代浮体式洋上風力発電システム実証研究（バージ型）

IEAはVREが電力システム運用パターンに与える影響を6段階に分類

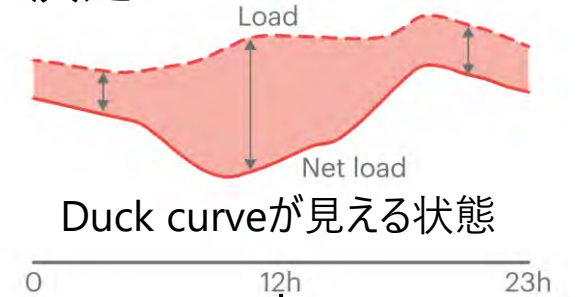
フェーズ1：VREは電力システムにほぼ影響なし



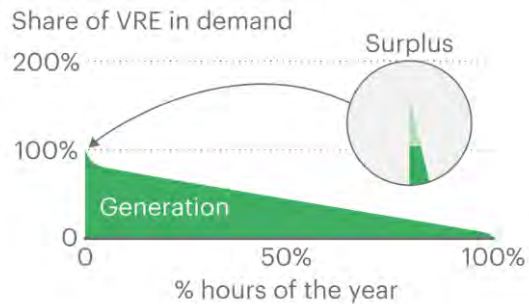
フェーズ2：VREは電力システムに軽度から中程度の影響



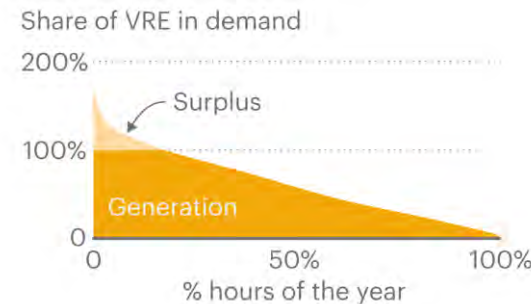
フェーズ3：VREが電力システムの運用パターンを決定



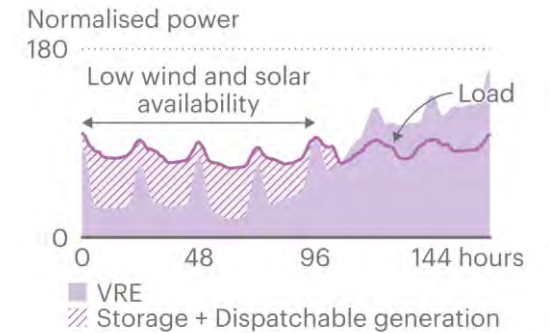
Duck curveが見える状態



フェーズ4：VREが需要のほぼ全てを満たす時間帯がある

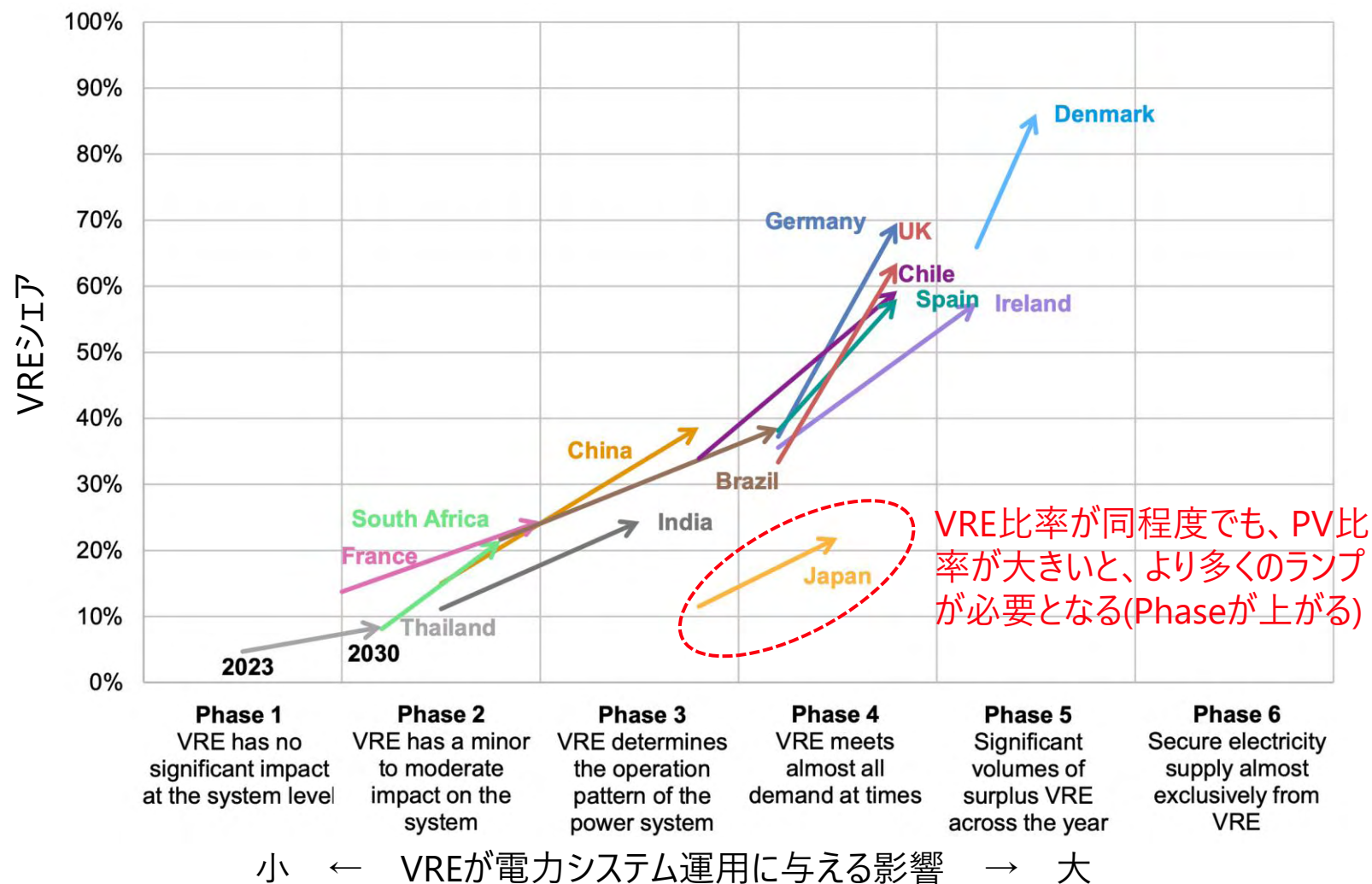


フェーズ5：年間を通じて余剰VREが発生

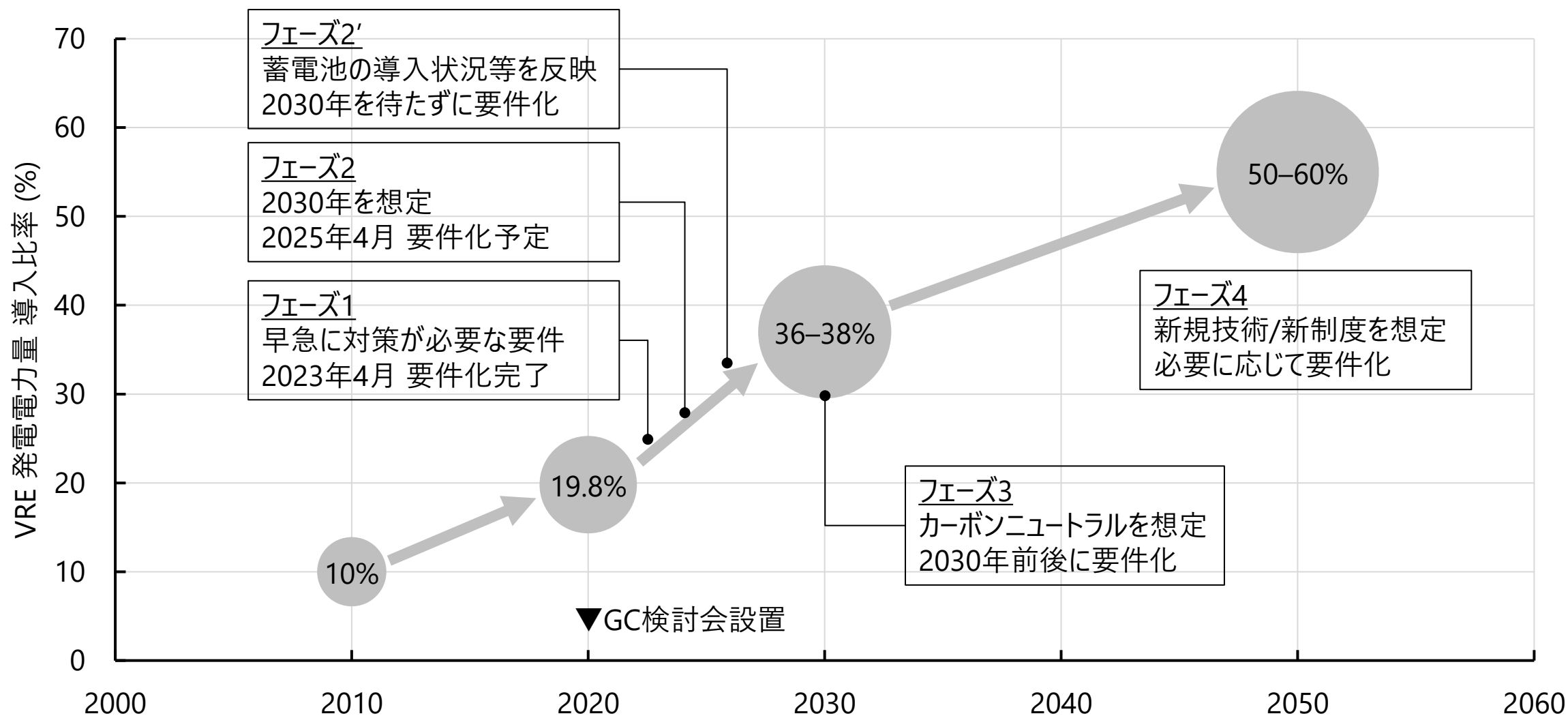


フェーズ6：VREによる安定供給を実現

VRE増に伴い、電力システム運用に与える影響が大きくなりつつある



グリッドコード(1/2)：新規に系統に接続される電源が遵守すべき技術要件



グリッドコード(2/2)：制定された後も、定量評価を通じた検証に期待

要件化されたグリッドコード

有効電力の増加速度の上限*1

- 対象：風力(特高)
- 時期：2020/4
- 要件：10%/5分

制御機能ON 2,300kW機の通常起動特性 時間幅＝360秒



出力変化率制限制御の例*3

*1 例えば東電PGは「発電に必要な自然エネルギーが得られる状況において、連系点での5分間の最大変動幅が発電所設備容量の10%以下」と規定

*2 OCCTOグリッドコード検討会. (2023). 第13回.

*3 鈴木. (2018). 第3回 ESIシンポジウム 風力発電の実力：風力発電の制御機能の特性と効果

定量評価の必要性

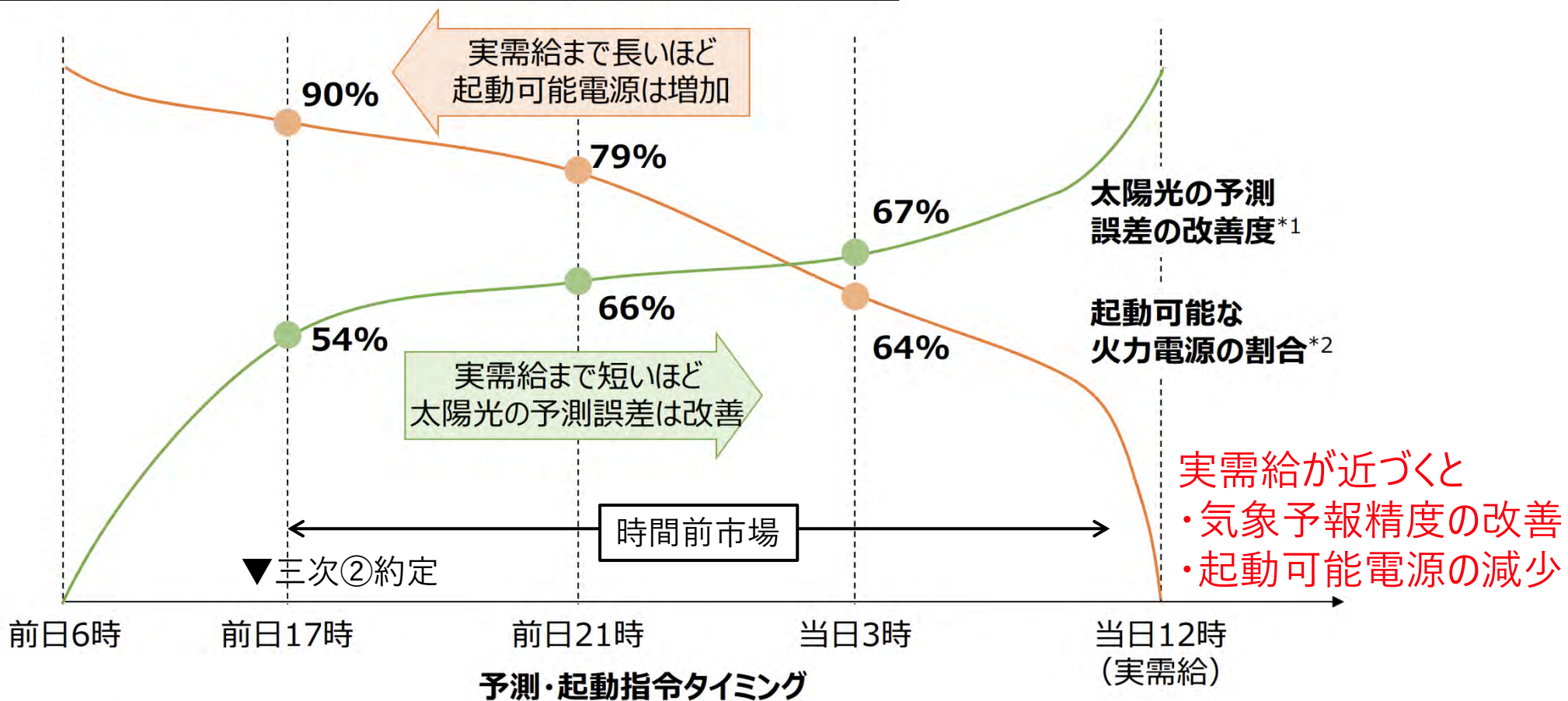
要否に関してグリッドコード検討会より指摘あり*2

- 大型機/洋上風力を考慮したデータを収集/定量評価できるか
- PV同様に風力でも広域ならし効果(半径100km)を確認できるか
- 制御/アグリゲーションにより連系点ではなく広域で10%/5分を担保できるか

指摘(↑)を解消できる場合、グリッドコード(←)を見直す議論に期待

実需給までの時間に対して、起動可能電源と予測誤差はトレードオフ

起動可能電源・太陽光の予測誤差改善度の推移（イメージ図）



*1：予測誤差の改善度合いは全国での最大予測誤差平均値を記載。

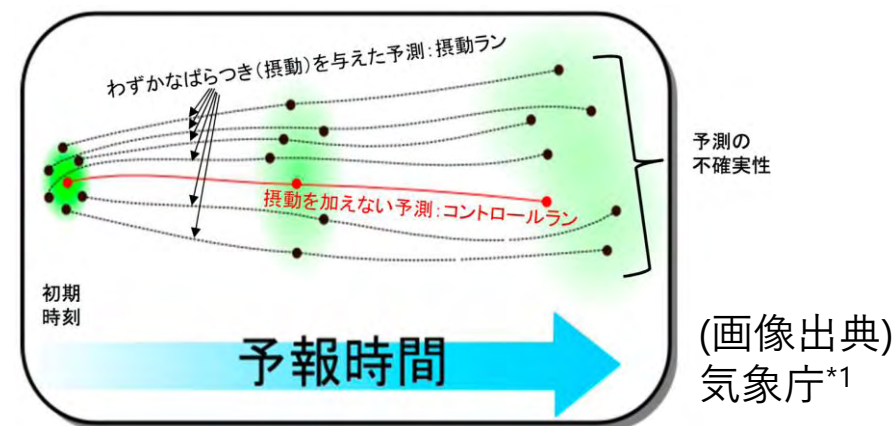
*2：ガス・石油火力の総容量に対する起動割合。平均起動可能容量として、各停止モードの起動可能容量の平均値を計算。

需給調整力の必要量を削減(1/2)：気象予報の不確実性を考慮

分類

取組

- 初期値にゆらぎを与えて複数の気象予報を生成
- 複数の気象予報を処理して区間幅(信頼度)を予測

アンサンブル予報^{*1}気象予報の不
確実性を考慮信頼度に応じた需給調整
力の必要量を算出^{*2}

- 三次②(再エネ予測誤差対応)調達量を低減

気象予報自体
の高精度化

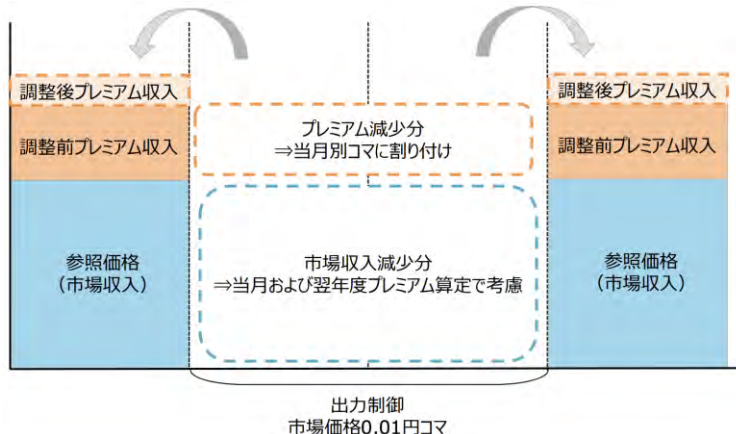
- 衛星画像やIoTデバイス活用^{*3}

*1 気象庁. (2016). メソアンサンブル予報の紹介; 産総研. (n.d.). 太陽光発電の長期安定電源化技術

*2 OCCTO 調整力及び需給バランス評価等に関する委員会. (2024). 資料1再エネ予測精度向上に向けた取り組みについて.

*3 電中研/スカパーJSAT/パニヤンズによる日射量予測システムSolar Meilleur (そらみえーる). 令和7年電気学会全国大会304-C3.

需給調整力の必要量を削減(2/2)：供給と需要を合わせる動機付け

分類	取組
供給側	- FIPでは0.01円コマのプレミアムは他コマに配分される^{*1} - 昼に充電して昼以外に放電する蓄電池が登場 
供給/需要の双方向的	- エリア別時刻別CO₂排出量の可視化^{*2} - 供給/需要の時間帯を変えるだけでもCO₂削減し得る - 理想的には24/7 Carbon-free Energy^{*3} - 毎時でゼロカーボン電力100%で供給

*1 再エネ大量導入小委. (2024). 第66回 資料3 再生可能エネルギーの導入に関する諸論点.

*2 関西電力送配電, Pacific power, Electricity Mapsなど

*3 Googleが2018年に提唱. Moving toward 24x7 Carbon-Free Energy at Google Data Centers: Progress and Insights.

国内でもGPI&京セラ, JERA Cross, ENECHANGE, 大阪ガス, ENERES, 関西電力&JR西日本などが相次いで開発.

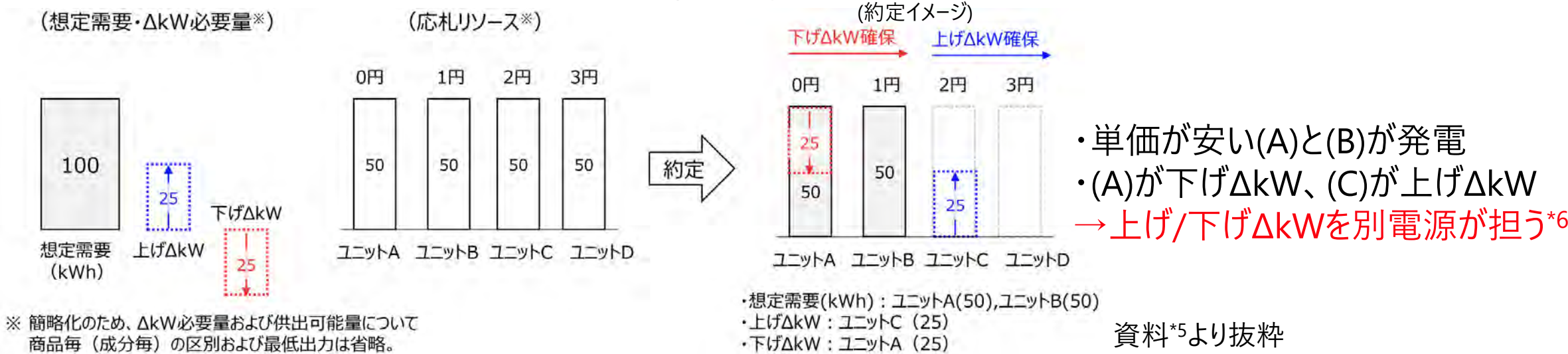
現在、GHGプロトコルScope2ガイダンスでHourly Matchingが検討されている段階

将来的には再エネの需給調整力も活用できる市場設計に期待

需給調整市場は再エネ調整力と相性が悪い

調整力ΔkW市場*1	• 下げΔkWは非対象
調整力kWh市場*2-3	• 下げkWhは余力活用契約/優先給電ルールで賄える想定 • 仮に参加できても現状ネガティブプライス不可のため0円/kWh(無報酬)

同時市場では市場メカニズムによる下げΔkW確保も議論*4-5



*1 需給調整市場検討小委(第9回)資料2

*3 需給調整市場検討小委(第41回)資料3, (第43回)資料3

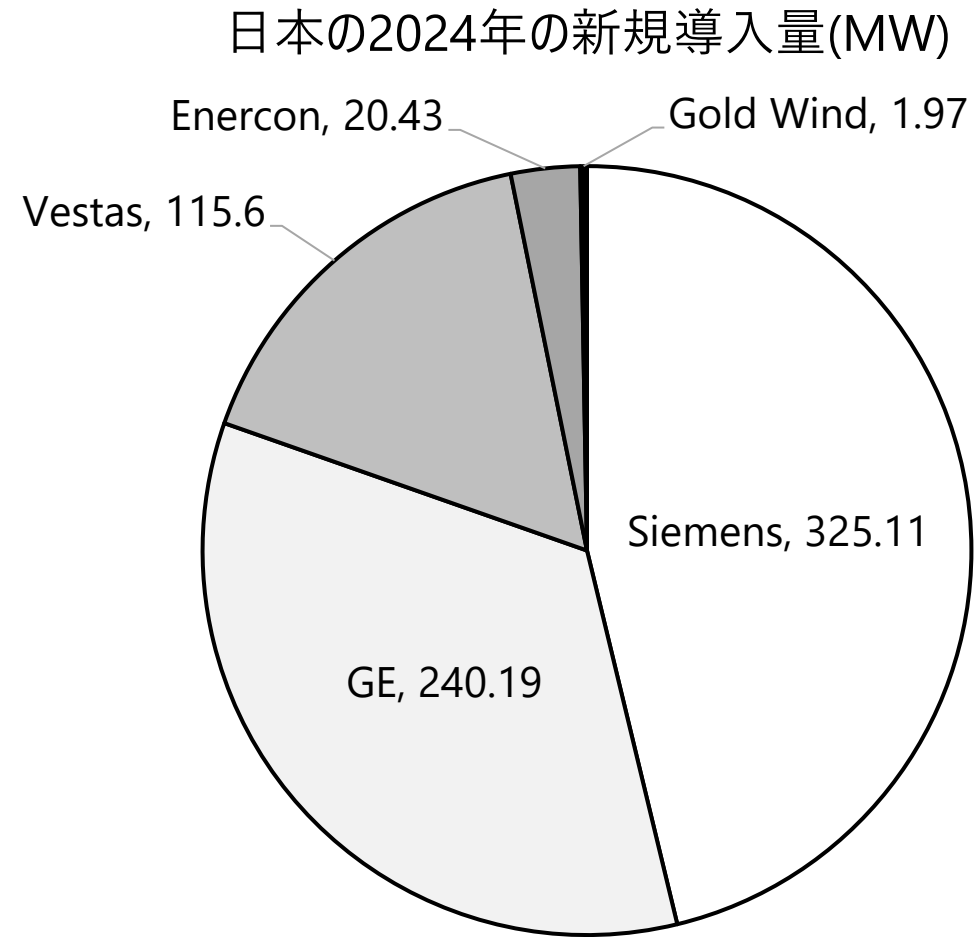
*5 調整力の細分化及び広域調達の技術的検討に関する作業会(第58回)資料3 p.25

*6 上げ/下げ両方に対応できない電源は調整力にしづらい旨の指摘があったが、上げ/下げを別の電源が担う前提で議論した。系統WG(第50回)

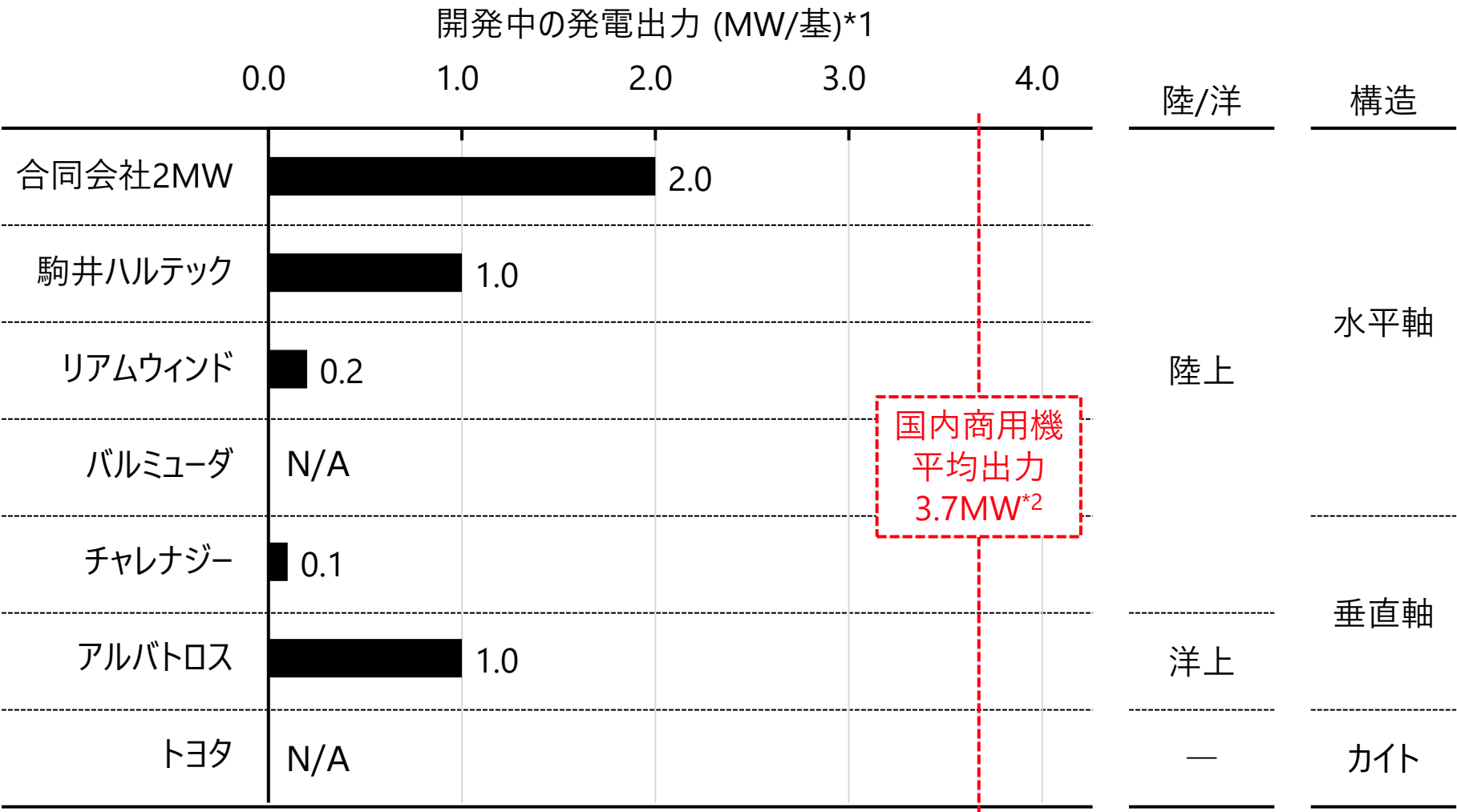
*2 再エネ大量小委(第24回)資料3; 再エネ大量小委(第52回)資料3 p.41

*4 同時市場の在り方等に関する検討会(第8回)資料4 p.91

直近で採用された風力発電機は全て輸入品



国内メーカーも存在するが、現状は小規模の機種のみ



*1 各社HPより.

*2 JWPA. (2025). 2024年12月末時点の新規導入量; 単純に線形回帰して2024年値を抜粋

規模に応じた取組が必要

規模	用途	方向性	
3~ MW	新設	海外 メーカ 向け	魅力的な市場規模を示す 日本では、強風(IA)や台風(T)への対応*1、山岳地における輸送性など、機種への制約が厳しい
		国内 メーカ 向け	基幹部品や施工法の技術開発 - 風車主軸の滑り軸受*2 - 浮体構造物・ブレード炭素繊維・係留索用合成繊維*3 - 海上施工*4、海底送電線*5
			現地調達計画の提出 英国では入札時に「サプライチェーン実施声明」義務*6
1-2 MW	リプレース 高圧	国内メーカに期待	

*1 IEC Class(風車クラス)は、風力発電機の風耐性を示す分類。風速(I, II, III)と乱流強度(A+, A, B, C)による分類のほか、2019年に日本発案で新設されたT、その他を表すSの分類がある。

*2 特許庁. (2023). 令和4年度 GXTI に基づく特許情報分析(要約). p.189. 苛酷な気象への適合やメンテナンス性が肝要とする。

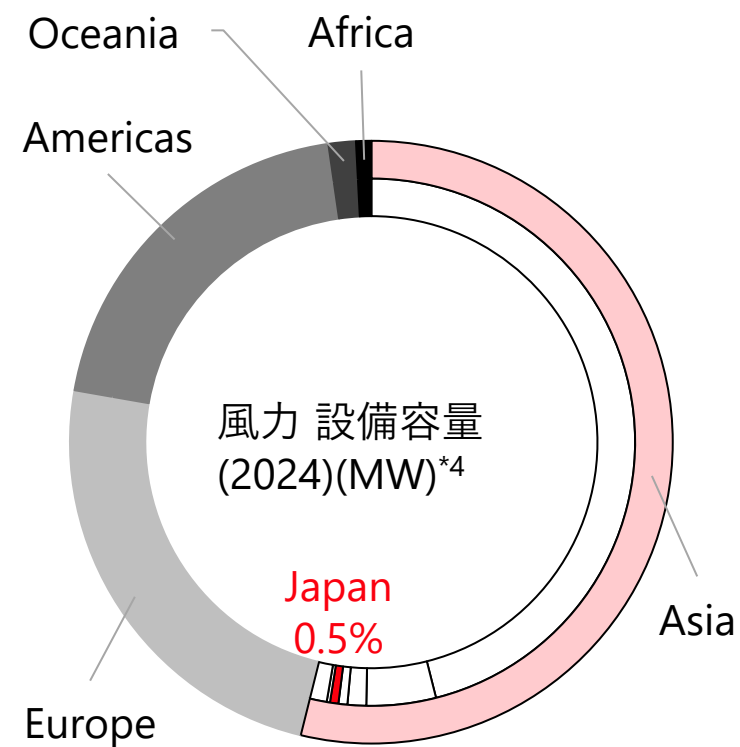
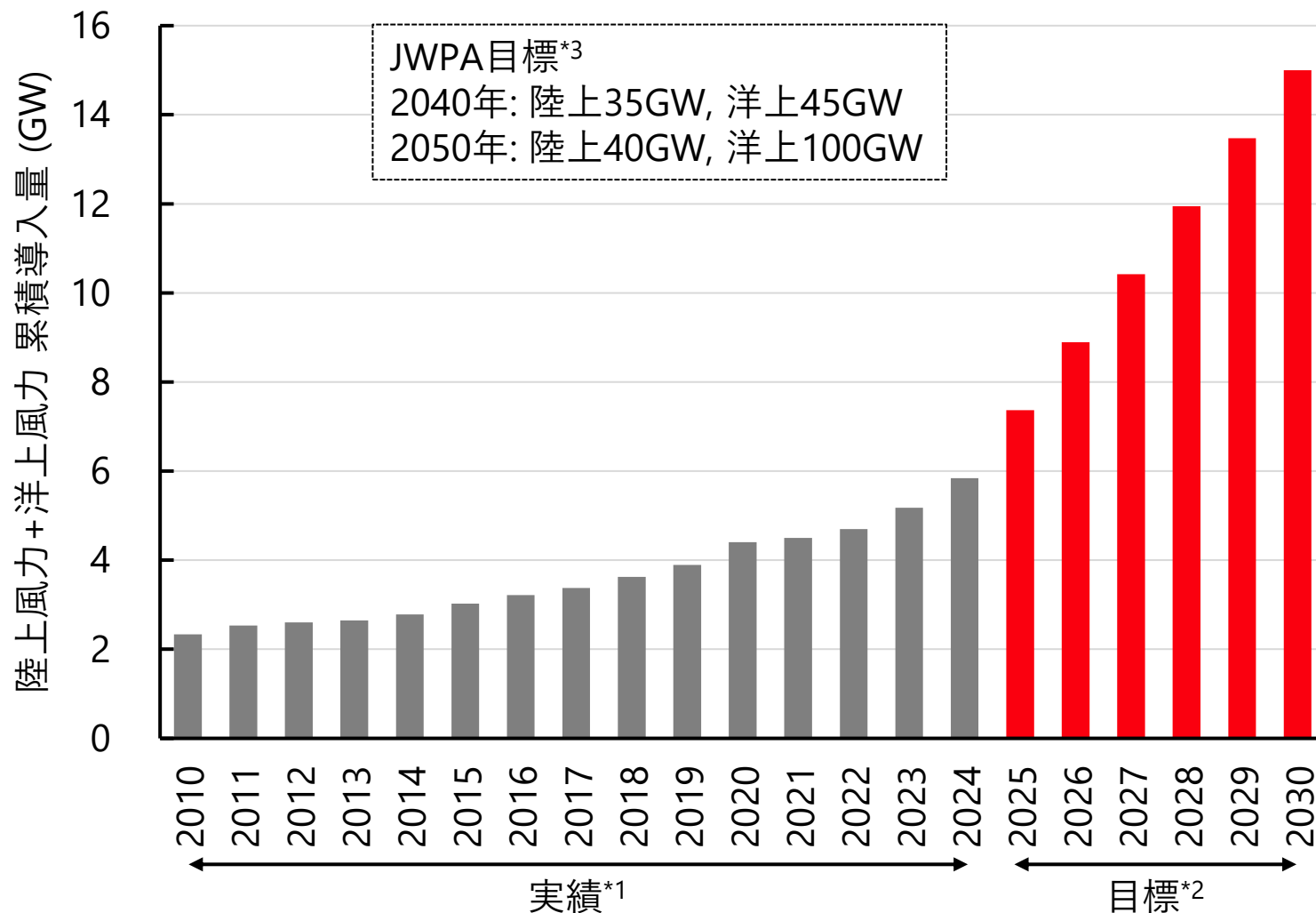
*3 日本エネルギー研究所. (2024). 産業政策としての洋上風力発電について

*4 浮体式洋上風力建設システム技術研究組合(FLOWCON)

*5 NEDO. (2025). 多用途多端子直流送電システムの基盤技術開発

*6 JETRO. (2023). 英国における洋上風力サプライチェーン動向に関する調査

海外メーカを誘引するためには、魅力的な市場規模を示す必要あり



*1 日本風力発電協会(JWEPA). (2025). 2024年12月末速報.

*3 JWEPA. (2025). 第7次エネルギー基本計画(案)に対する意見の提出について

*2 経済産業省. (2021). 第6次エネルギー基本計画; 努力継続ケース; 線形補間

*4 IRENA. (2025). Renewable capacity statistics 2025

HITACHI