

イベリア半島における大規模停電の 要因と示唆

電力中央研究所 首席研究員

永田 真幸

2025年11月14日

 電力中央研究所

停電の概要

- 発生日時：
2025年4月28日（月）
12:33（中央ヨーロッパ時間）
- 停電の規模：
スペインおよびポルトガルの全域停電
（停電前の需要は31GW程度）
フランス一部地域の短時間の停電
- 復旧：
スペインでは29日朝の時点でほぼ復旧
ポルトガルでは28日深夜までに
全変電所が復旧



イベリア半島停電に関する調査と報告書

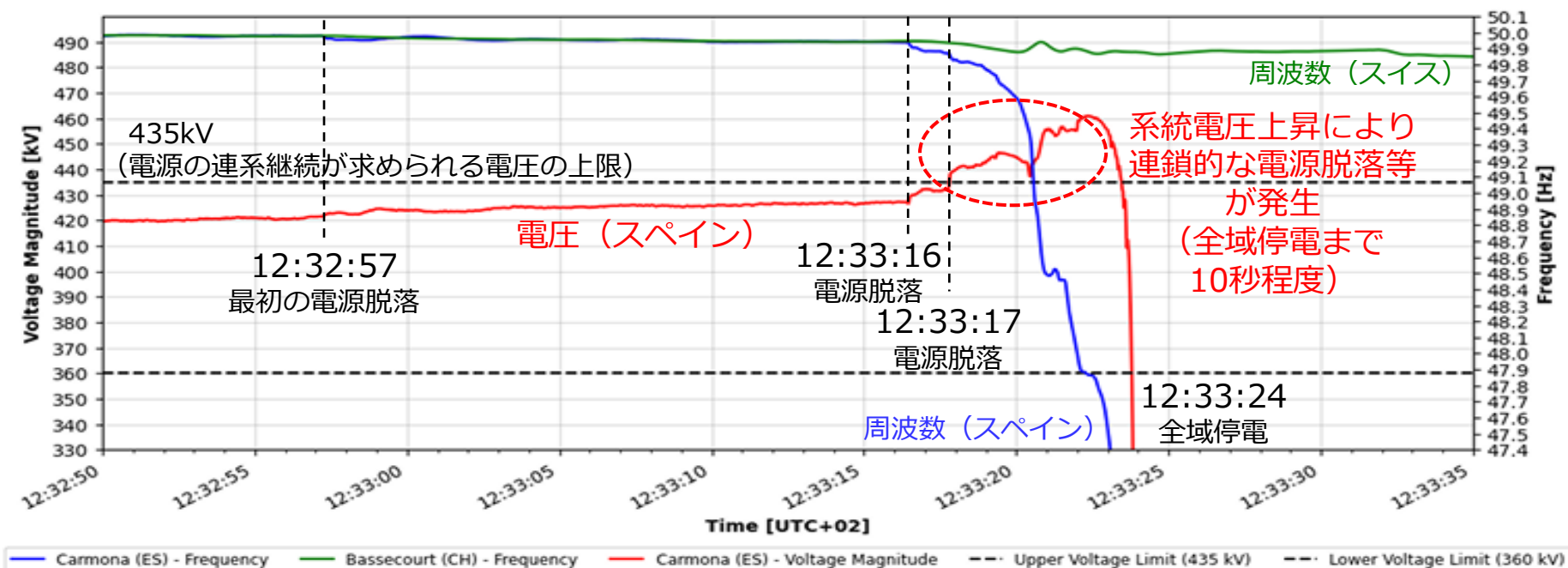
- 5/1 ENTSO-E^{*1)}が専門家パネルを立ち上げ，調査を開始することを公表
 - この専門家パネルが本停電に関する技術的な調査を実施
- 6/17 **スペイン政府による報告書**
- 6/18 スペインの送電系統運用者^{*2)}**REEによる報告書**
- 10/3 **ENTSO-Eによる中間報告書 (Factual Report)**
 - 停電に関わる様々なデータ・情報を整理したもので，原因等に関する評価は示されていない。
- 2026年第1四半期 ENTSO-Eによる最終報告書 (Final Report)
 - 根本原因等の分析や調査結果に基づく勧告が示される予定

停電の要因

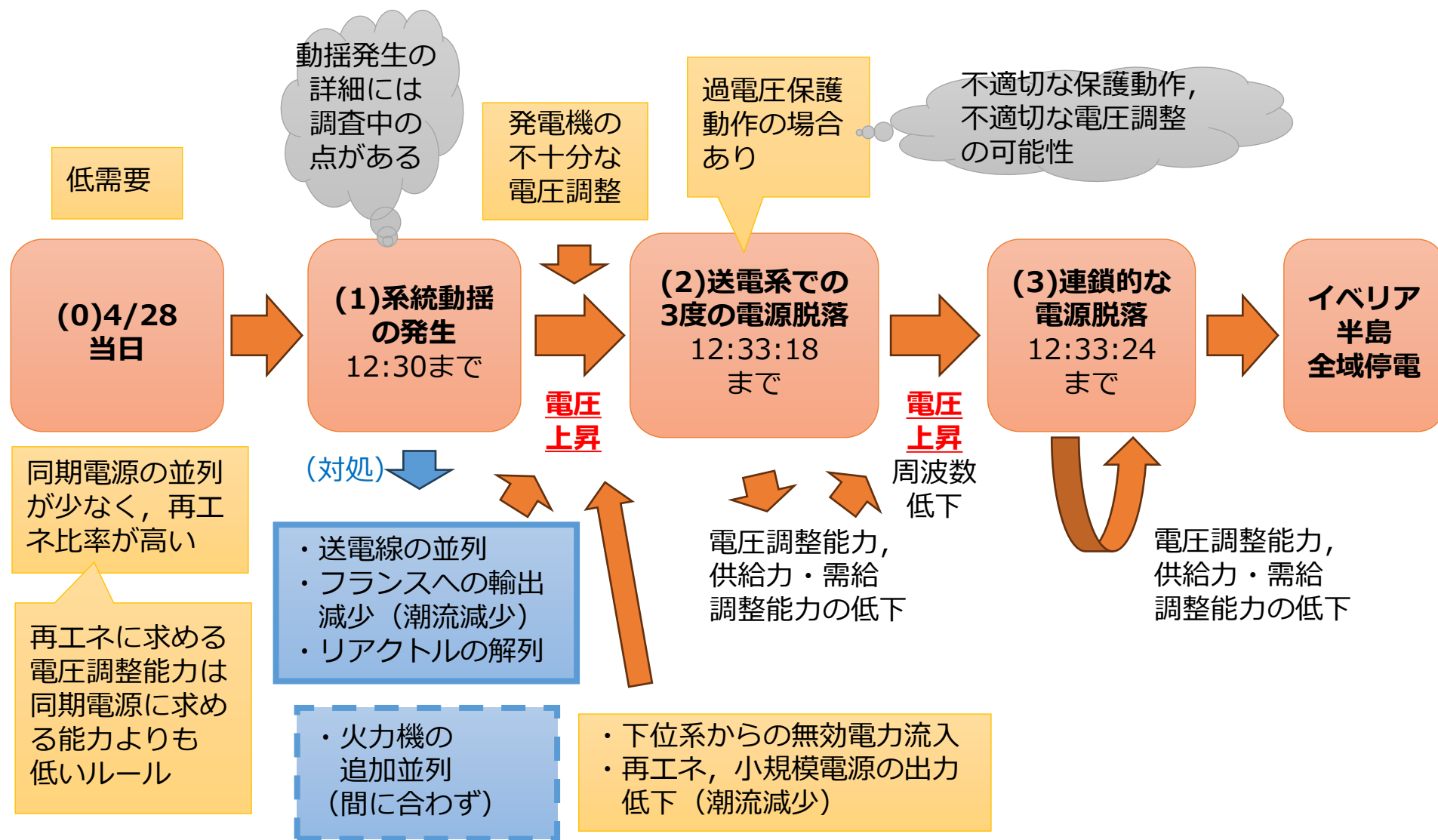
停電の第一の要因

■ 報告書では「**系統電圧の上昇**とこれによる**連鎖的な電源等の停止**」とされた。

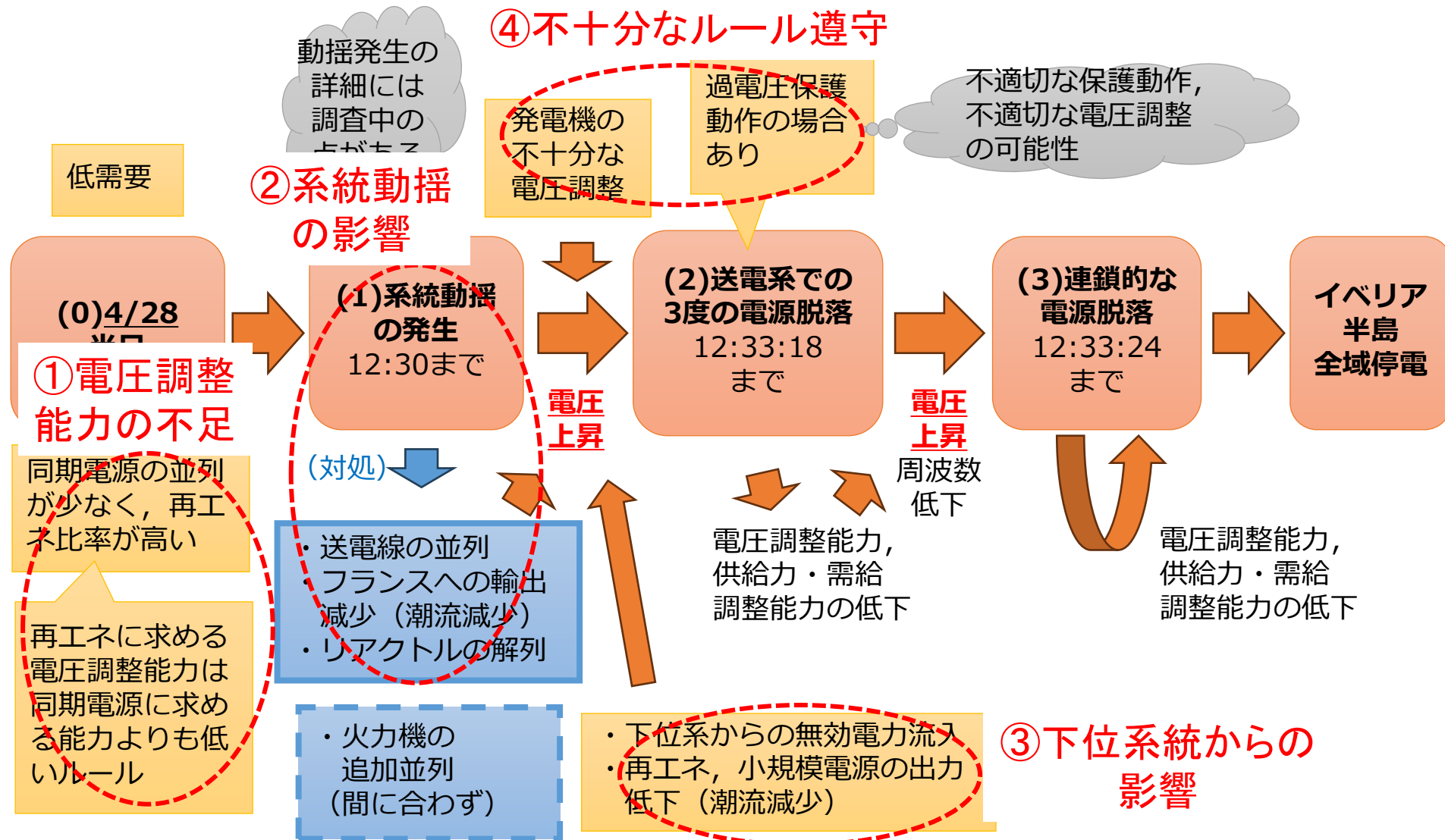
- 電圧上昇は，電力系統での**無効電力のアンバランス**によるもの。
- 電圧上昇により大停電が生じたことは**本停電の特異な点**。



イベリア半島停電に至るまでの流れ

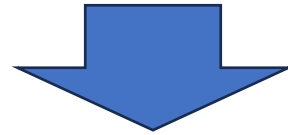


電圧上昇の要因



①電圧調整能力の不足

- 電力系統の電圧調整能力の多くは、大容量電源が担っている。
- 停電当日の火力等の高い電圧調整能力を持つ電源の並列台数は今年最小だった（12:30時点の火力の連系は11）
 - 前日のコンバインドサイクル（CCGT）電源トラブルで減ったが、REEは問題はないと判断していた。
- 一方で再エネは定力率運用であり、電圧調整能力は限定的



- 結果として、系統動揺への対応等に伴う電圧状況の悪化に対し、電圧調整能力が不足となった。
 - 電源の追加並列を決定したが（12:22）、間に合わなかった。

スペインでの電源による電圧・無効電力調整

■ 同期電源は「電圧を一定に保つ制御」

- 動的電圧制御（電圧一定制御（AVR）と考えられる）
- 発電機端子の電圧が一定となるよう、無効電力の供給・吸収を調整

■ 非同期電源（再エネ）は「有効電力出力見合いでの無効電力の調整」

- 力率一定制御（APFR）
- 電源出力が一定力率となるよう、有効電力出力に対して一定比率で無効電力を供給・吸収
- 系統電圧に応じた無効電力の調整がなされないため、電圧の変動を抑制する能力はAVRに比べて低い。
- 基幹系統でも下位系統でも同じ扱い（連系する電圧による違いはない）

電圧以外の系統安定性に関わる調整能力

- 周波数：需給調整力，慣性
 - 不足はなかったとの評価。
 - 送電系統での電源脱落が生じる前に需給・周波数面の大きな問題は生じていなかった。
- 同期安定性：同期化力（系統動揺対策）
 - 系統動揺が発生し，動揺への対応が電圧に影響を及ぼした。（次ページ）
 - 系統動揺対策に関する事前の評価・対応については明らかになっていない。

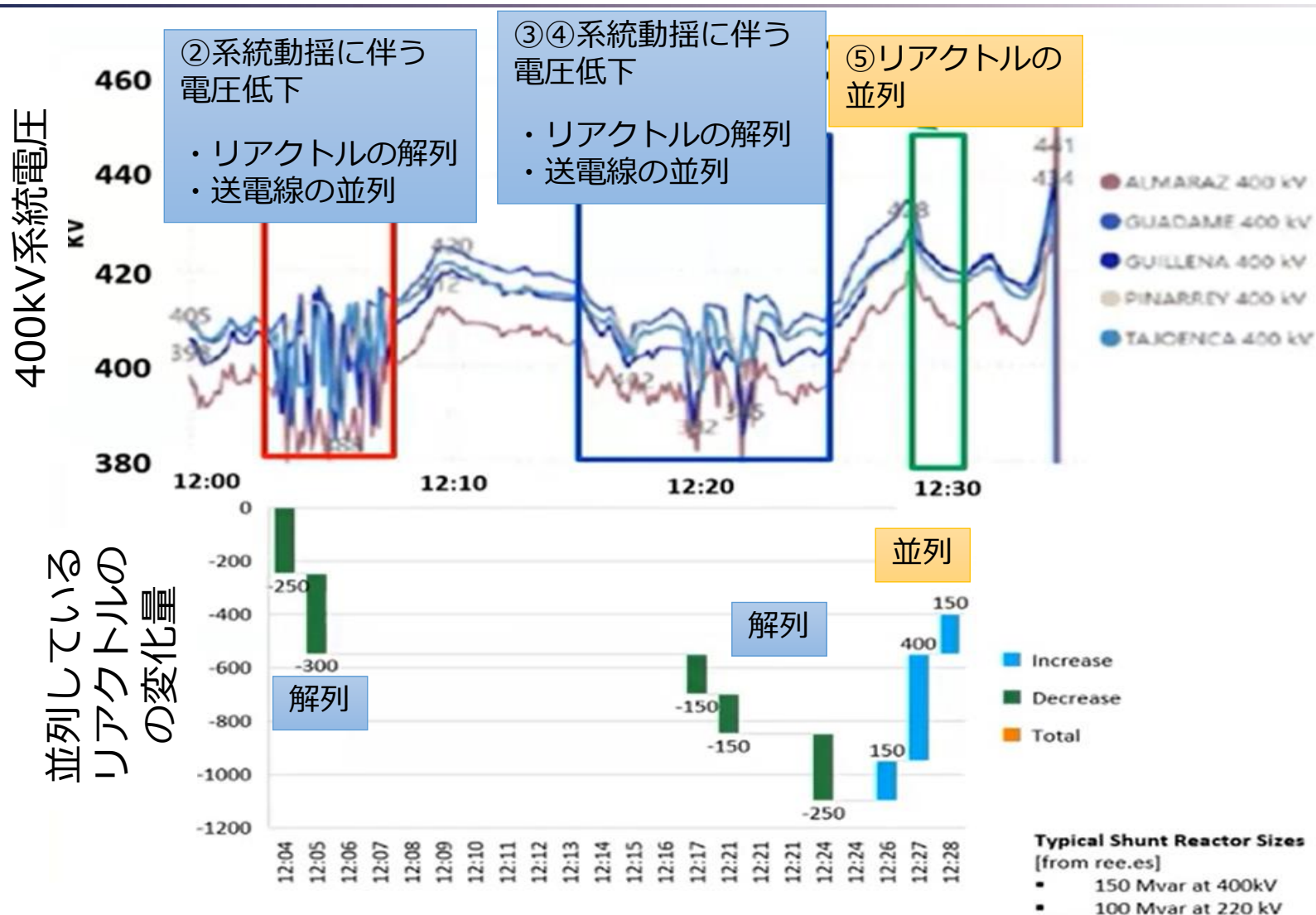
②系統動揺の影響

- 12:30までに**広域的な系統動揺が複数回発生**した。
 - 特に大きな系統動揺は12:03からと12:19からの2回
- これらに対し、**予め定められた手順**に従って以下を含む対応がなされた。
 - **送電線の並列**
 - **リアクトルの解列**（動揺発生時の電圧低下への対応）



- 対応は**系統動揺抑制には有効**だった一方で、**電圧の上昇の影響**も及ぼした。
 - このような電圧面への影響がどう評価されていたのかは明らかになっていない。

スペイン南部での400kV系統電圧の推移



③ 下位系統からの影響

- 12:22から送電系統での最初の電源脱落までの間に **小規模電源（自家消費含む）の出力低下・停止**などにより **需要が増加**し、フランスへの輸出が減少することで **潮流が減少**したことが指摘されている。
 - 約1300MW, うちREEの監視対象とならない1MW未満の電源や自家消費分で約1000MW
 - ただし, 出力低下・停止の原因は明らかになっていない。
- また, **下位系統からの無効電力の流入**も指摘されている。



- 潮流減少と無効電力流入により, **電圧上昇の影響**が生じた。

④不十分なルール遵守

- 送電系統での最初の電源脱落が生じる前に、**電源の無効電力吸収が十分でない**場合があったことが指摘されている。
- 12:32:57の送電系統での**最初の電源脱落**は、**400/220kV変圧器の二次側（電源側）での過電圧保護**の動作により生じた。以降の電源脱落も含めて：
 - **電圧が連系維持が求められる範囲を超過する前に脱落した可能性**がある。（**不適切な過電圧保護**）
 - 電圧上昇に対して**変圧器のタップ調整**が追いつかず、一次側（系統側）電圧が過高でないにも関わらず、**二次側（電源側）で過電圧が生じた可能性**がある。（**不適切な電圧調整**）
 - ただし、電源脱落の多くは原因が明らかになっていない。

停電の示唆

電力システムの視点からの示唆（1/2）

- **電圧の調整能力や同期安定性維持のための能力を確保することの重要性が示された。**
 - **必要な能力（量・速度など）を事前に的確に評価する。**
 - **系統の状況変化等のリスクも考慮して十分な能力を確保する。**
 - **確保した能力を実運用で確実に利用できるようにする。**
- **再エネ等も含めたリソースの能力を十分に活用できるルールが重要であることが示された。**
 - **調整能力の提供に関して、適切なグリッドコードを策定する。**
 - **基幹系から配電系までの電力システム全体で、必要な能力を活用できるようにする。**

電力システムの視点からの示唆（2/2）

- 下位系に連系する設備も含めて、**系統に連系する設備の挙動を正確に把握することの重要性**が示された。
 - **設備からの能力提供や事故時等の挙動の把握**
 - ✓ 連系要件の遵守は当然として、実態把握は系統安定性維持に**必要な能力を適切に確保するためにも有用**
 - **小規模電源やBehind the meterのリソースの挙動等の把握**
 - ✓ わが国では、まず必要性の確認が必要か。
 - **PMU^{*)}による計測などの時刻同期がとれた高頻度計測により系統各所の電圧・周波数等を（常時）把握することが有用**

(参考) 日本でのPMU導入と系統運用の高度化

- 現在，PMUの導入の検討が進められており，PMUを活用した ①**系統解析モデルの精度向上**，②**系統状況の把握**（**短絡容量や慣性の推定，不安定な系統現象の予兆の把握など**），③**事象が生じた場合の分析・対策検討** が期待されている。

PMUを活用した運用の高度化のイメージ

系統現象への 対応 望ましい 計測環境	発生リスクを低減させる ➢ 適切な事前評価を行うため、 系統解析モデルの精度を 高める	発生を防ぐ ➢ 不安定現象の発生の 予兆を捉え、運用等で 発生を極力回避する	再発を防止する ➢ 発生後の原因究明、 事後対策を速やかに 実施する
	必要な環境	必要な環境	必要な環境
高サンプリング化	・データ精度を高めることで系 統解析モデルの精度を向上	・発生の予兆を把握するための 十分な計測精度を確保	・現象を分析するための十分な 計測精度を確保
測定データへの 位相情報追加	・地点間のデータを精緻に比 較することで系統解析モデル の精度を向上	・短絡容量や慣性の推定等を 行うため、位相情報を取得	・地点間の精緻な比較により、 相互干渉の状況を把握し速 やかに分析・対策を検討
常時計測化	・平常時の応動等も分析可能 とすることで、系統解析モデル の精度を向上	・常時計測により、不安定な 系統現象等の予兆を確認	・過去の状況を遡って分析でき ることで対策を検討に寄与

電力中央研究所