



# 【個別報告】 電力システムの新たな役割と価値（1） —再生可能エネルギー電源の導入拡大に伴う 広域システムの課題と当所の取り組み—

電力中央研究所 研究参事  
グリッドイノベーション研究本部  
ネットワーク技術研究部門長

永田 真幸

研究報告会2024

2024年11月7日

RI 電力中央研究所

© CRIEPI 2024



RI 電力中央研究所

## 本報告でお伝えしたいこと

- **再生可能エネルギー電源（再エネ電源）の導入拡大**に対して、**広域システム（基幹システム）**にはそれらの電力を**広域で効率的・安定的に活用する役割**が求められる。これを実現するために様々な検討・取り組みが進められており、**当所も技術的課題の解決に貢献している**
- 上記役割の実現には、**電力システムの安定性（系統安定性）の維持が重要**であるが、再エネ電源等の**非同期電源\***の**拡大に伴い、新しい系統安定性の課題も生じている**。将来の系統安定性を維持する**技術の開発の重要性が増している**

## 報告内容

1. 再生可能エネルギー電源の導入拡大での  
広域系統での課題
2. 当所の取り組み例（1）：  
次期中給システムに関する技術開発
3. 当所の取り組み例（2）：  
各種系統安定性維持方策の検証
4. 系統安定性に関する新たな課題

## 報告内容

1. 再生可能エネルギー電源の導入拡大での  
広域系統での課題
2. 当所の取り組み例（1）：  
次期中給システムに関する技術開発
3. 当所の取り組み例（2）：  
各種系統安定性維持方策の検証
4. 系統安定性に関する新たな課題

## 再エネ電源拡大時の電力系統の課題

■ 再エネ電源の導入拡大に伴い、広域系統（基幹系統）と地域グリッドの両方で対応すべき課題がある

### 基幹系統

- ◆ 需給バランスの維持
  - ✓ 系統全体の発電と需要をバランスさせ、周波数を維持
- ◆ 系統安定性の確保
  - ✓ 再エネ（インバータ型電源）が主体となる系統における系統安定性の確保

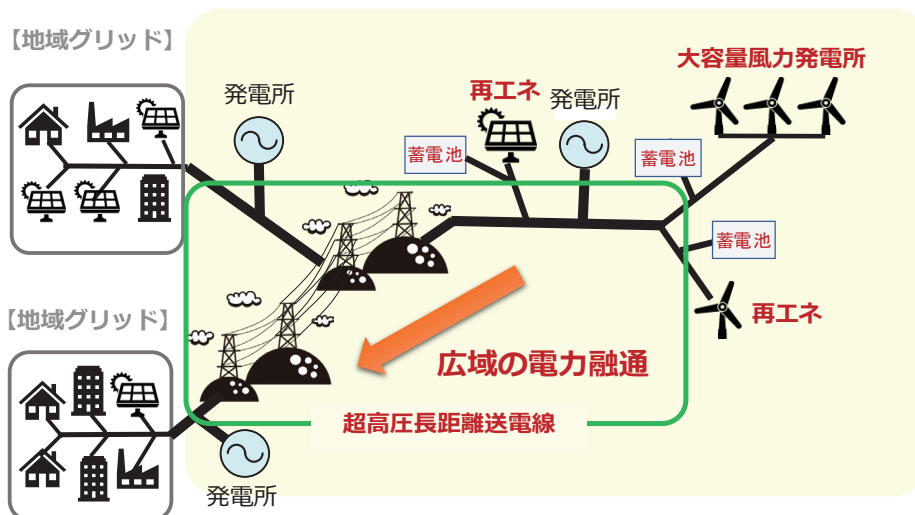
### 地域グリッド

- ◆ 電圧の適正化
  - ✓ 再エネ導入時の電圧適正化
- ◆ 電圧安定性の確保
  - ✓ 配電線末端付近への再エネ導入時の電圧安定性確保
- ◆ 過負荷の防止
  - ✓ 送配電線の混雑緩和と過負荷の防止
- ◆ 安定供給の確保
  - ✓ DERによる需給バランス等、小規模系統の安定供給確保

本報告では、過去の研究報告会以降の進展も含めて、広域系統について報告

## 再エネ電源拡大時の広域系統の役割

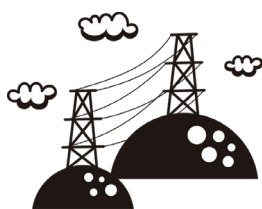
■ 広域系統には、太陽光発電や風力発電の拡大に対し、その電力を**広域で効率的・安定的に活用**する役割が求められる



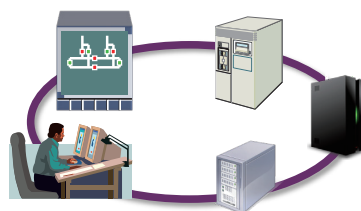
## 再エネ電源拡大時の広域系統での課題

■ 大きくは3つの課題がある

①再エネ電源の電力を  
広域で活用するための  
**広域系統の整備**



②自然変動電源の  
拡大に対応した  
**広域系統の運用**



③インバータで連系する非同期電源の  
拡大の下での**系統安定性の維持**

## 広域系統での課題の解決への取り組み（例）

■ 3つの課題に関する様々な議論・検討に、当所も参加・貢献している。本報告ではその一部を紹介する

	取り組み・課題解決が期待される時期	
	2020年代（まで）	2030年代（以降）
①広域系統の整備	マスタープラン策定 広域系統整備計画の策定（マスタープランの具体化）	検討委員会に参画 検討に用いる解析技術の提供
②広域系統の運用	次期中給システムに関する検討、開発 同時市場に関わる検討	技術的課題の解決に貢献 技術的検証を実施
③系統安定性の維持	グリッドコードの策定（事故時の安定性については主に2030以降） 技術的な支援を実施	システム開発(NEDO事業)に参画 系統安定性維持方策の明確化 NEDO事業ほかを実施中 新たな安定性の課題への対応 海外で課題顕在化、取り組みを進めていく

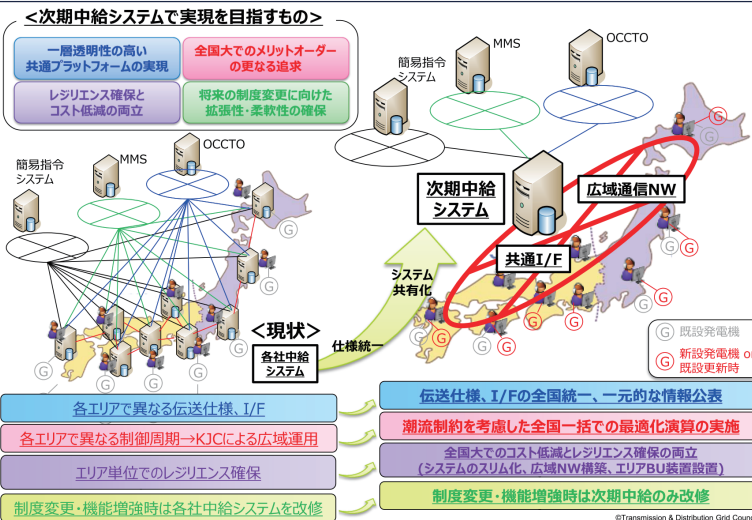
# 報告内容

1. 再生可能エネルギー電源の導入拡大での  
広域系統での課題
2. 当所の取り組み例（1）：  
次期中給システムに関する技術開発
3. 当所の取り組み例（2）：  
各種系統安定性維持方策の検証
4. 系統安定性に関する新たな課題

## 2. 当所の取り組み例（1）：次期中給システムに関する技術開発

# 次期中央給電指令所（中給）システム

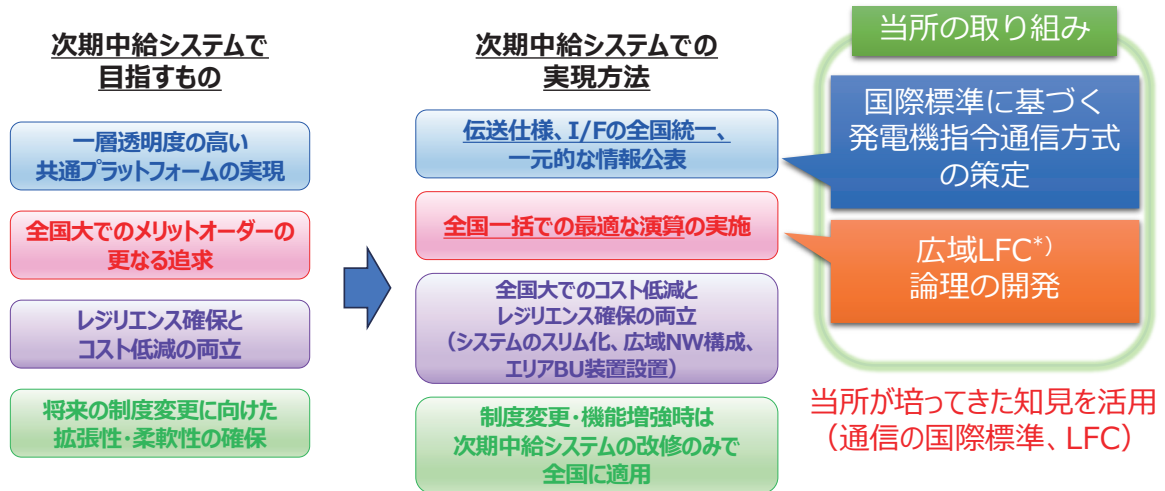
- 中給システムは、需給バランスや周波数の適正維持のための最重要システムである
- 全国9エリアでのシステムの仕様の統一、共有化など、機能の大幅な向上を目指して開発が進められている



(出典)：第33回需給調整市場  
検討小委員会 資料4 (2022)

## 次期中給システムの狙いと当所の取り組み

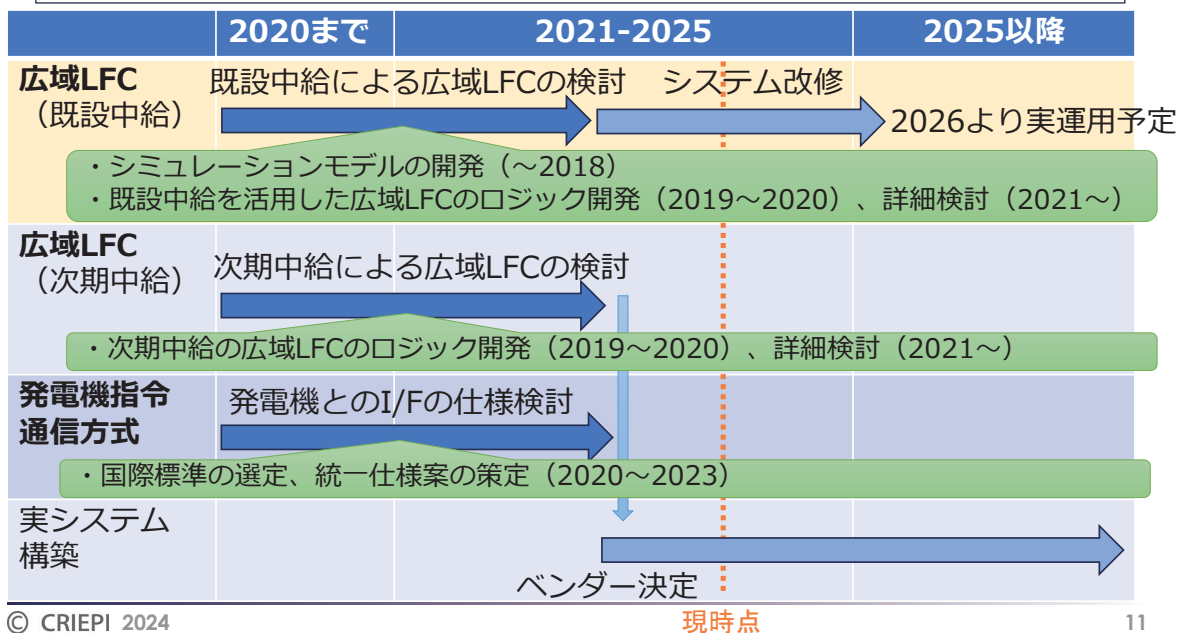
■ 次期中給システムで目指すものを実現するために必要な、**技術的課題の解決に貢献した**



(出典) : 第33回需給調整市場検討小委員会 資料4 (2022) を基に作成

## 【参考】次期中給システムの開発と当所の取り組み

■ 次期中給システムの開発スケジュールに合わせて、**短期間での検討・開発を実施した**

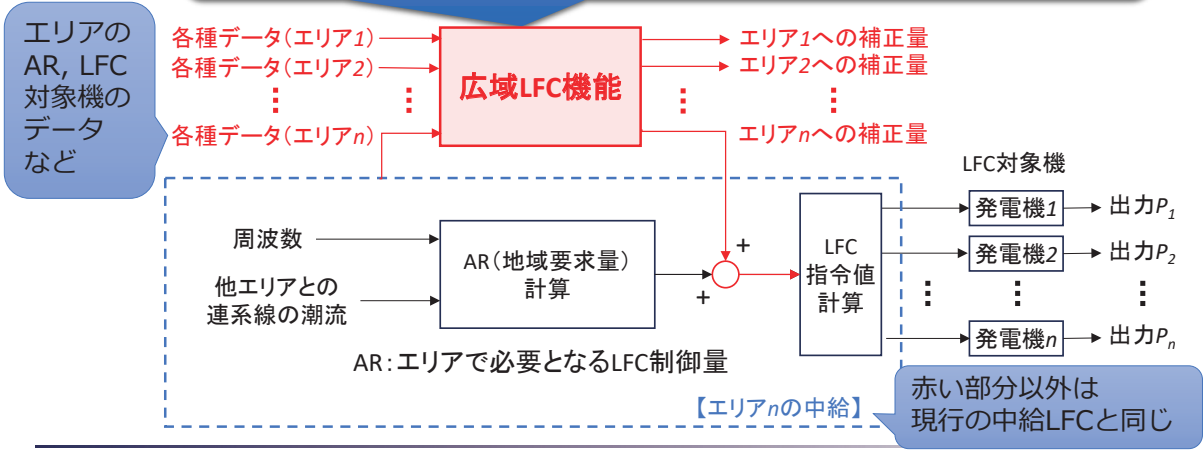




## 広域LFC論理の開発(1/2)

- 周波数の品質を損なうことなく、広域的な運用による経済性の追求を可能とするLFC論理を開発した

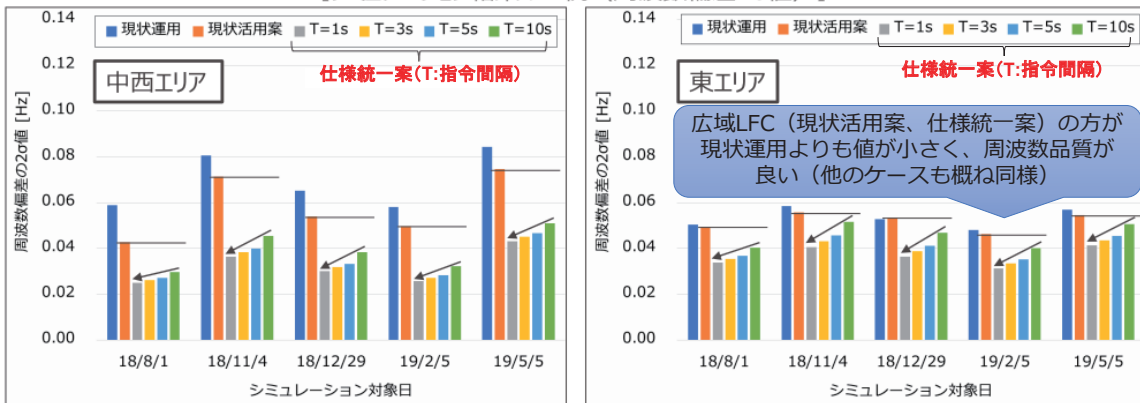
以下により周波数品質の向上と運用コスト低減を両立  
 ①各エリアのAR (地域要求量) と既LFC動作量を広域大で合算し、  
 ②LFC対象機の出力量変化速度とメリットオーダーを考慮して配分する



## 広域LFC論理の開発(2/2)

- 広域系統大のシミュレーションにより、開発論理の有効性を検証
- 周波数品質の向上、LFC動作量の低減効果および kWhコスト低減効果が期待できることを確認

【シミュレーション結果の一例 (周波数偏差2σ値)】

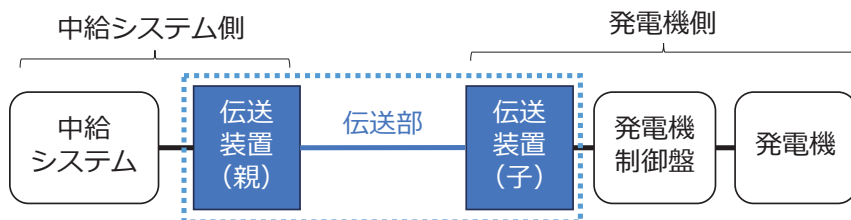


※ある一定条件でのシミュレーション結果であり、条件の設定次第で異なる結果が出る可能性があります。

©Transmission & Distribution Grid Council

## 発電機指令通信方式(1/2)

■ 現在エリア毎に異なる中給システムと発電機等との通信の統一化で、効率的な広域的運用を実現



仕様統一の検討が必要となる項目 (例)

- 中給システム内
  - ・演算(ソフトウェア)周期
  - ・制御(配分)周期
  - ・配分方法
  - ・指令方法
  - ・AR算出方法
  - ・LFC、EDC出力方法 (一括/個別)
- 伝送部
  - ・伝送遅延時間
  - ・伝送方式
  - ・伝送装置(親)の接続最大数
- 発電機側
  - ・信号種別およびインターフェース
  - ・受信周期
  - ・制御(配分)周期
  - ・発電機制御盤の接続最大数

国内だけでなく海外の発電機・DR等の伝送装置にも対応できるように、国際標準の利用を指向

現状は演算・制御周期や指令方法、伝送方式等がエリアにより異なる

## 発電機指令通信方式(2/2)

■ 適用する国際標準としてIEC 61850を選定し、次期中給システムで扱う通信の要件を充足するよう、統一通信仕様案を作成した

### ①適用する国際標準の選定

通信方式	リアルタイム通信	IP通信の利用
IEC 60870-5-101	適合	不可
IEC 60870-5-104	適合	可能
TASE.2 (IEC 60870-6)	適合	可能
IEC 61850	適合	可能
Modbus	不向き	可能
OpenADR 2.0b	不向き	可能

### ②IEC 61850に基づく制御用・状態監視用・計測用の各通信の仕様作成

制御用通信で用いられる論理ノード・データオブジェクトの例

大項目	項目	データタイプ	論理ノード	データオブジェクト	伝送周期
LFC 指令	指令値	数値	AROP	WSpt	3秒周期
	達成目標時刻	時刻	AROP	TmTgt	
	指令時刻	時刻	n/a	n/a	
	拠点箇所名	識別子	n/a	n/a	
EDC 指令	指令値	数値	AROP	WSpt	5分周期及び必要時
	達成目標時刻	時刻	AROP	TmTgt	
	指令時刻	時刻	n/a	n/a	
	拠点箇所名	識別子	n/a	n/a	
発電機一般	商品種別設定	識別子	AROP	RsvTyp	必要時
	並列指令	二値	ACDG	ConnGn	
	解列指令	二値	ACDG	DsconGn	5分周期及び必要時
	並解列時刻	時刻	ACDG	DateTgt	

送配協が統一通信仕様案に関する意見募集を実施、次期中給システムで採用の方向に

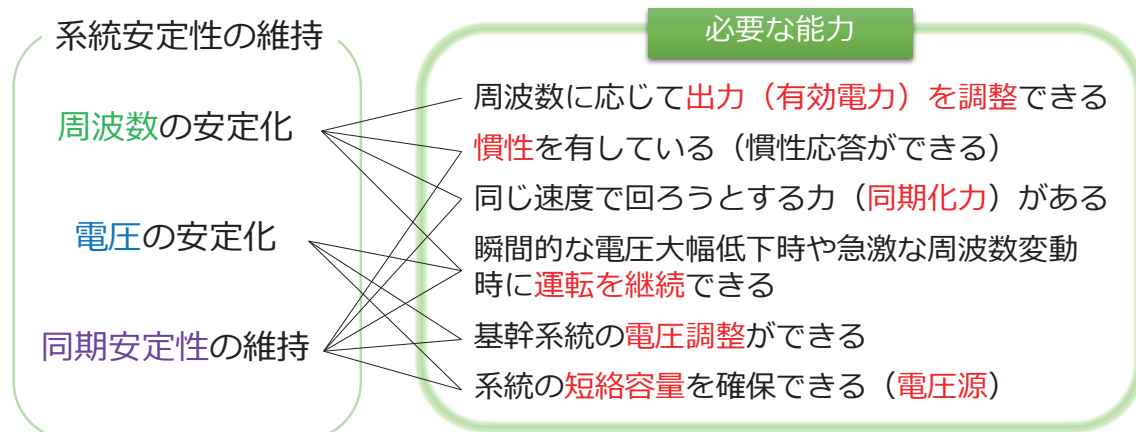


## 報告内容

1. 再生可能エネルギー電源の導入拡大での  
広域系統での課題
2. 当所の取り組み例（1）：  
次期中給システムに関する技術開発
3. 当所の取り組み例（2）：  
各種系統安定性維持方策の検証
4. 系統安定性に関する新たな課題

## 系統安定性維持に関する課題

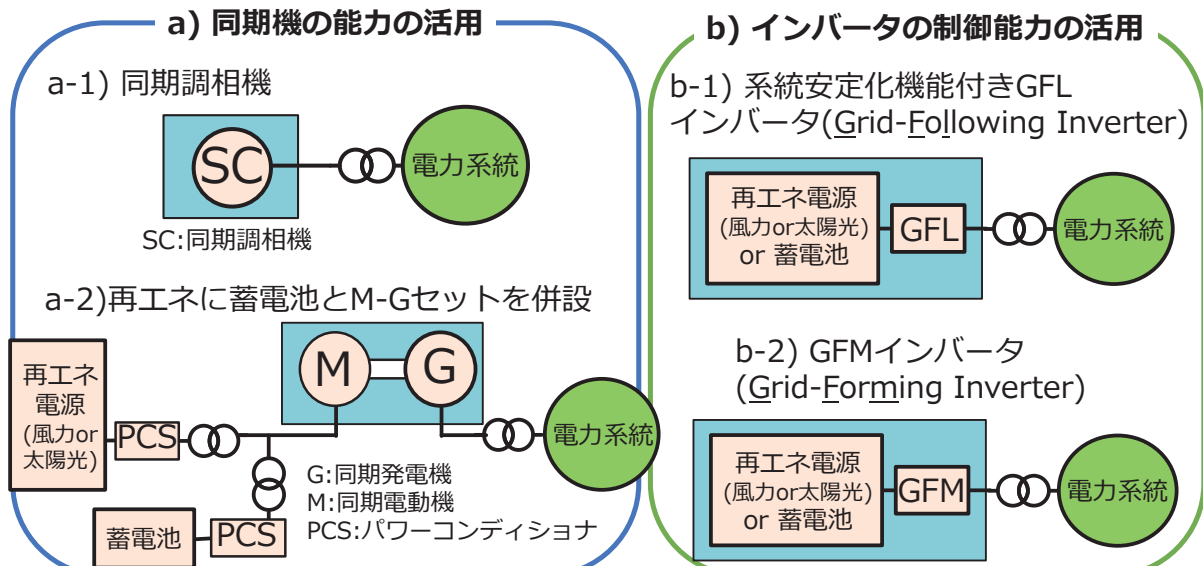
- 現状の系統安定性には、従来の同期発電機的能力が貢献
- 非同期電源が拡大していく中で、必要な能力をどのように確保・活用するかが課題



平常時のみならず、事故時も含めて必要

### 同期電源\*)の代替が期待される系統安定性維持方策(1/2)

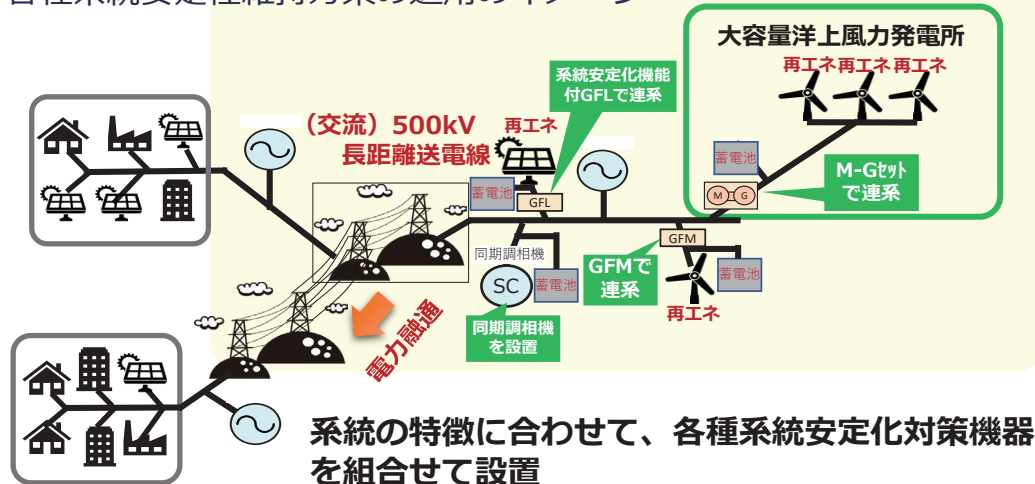
■ 同期機の能力やインバータの制御能力を活用する  
 幾つかの方策が提案・開発されている



### 同期電源の代替が期待される系統安定性維持方策(2/2)

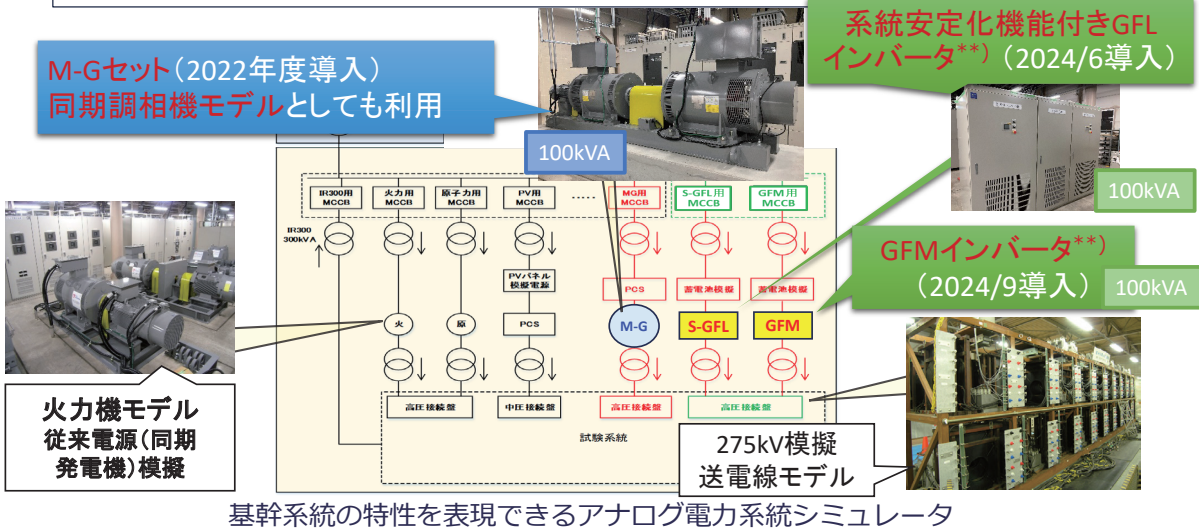
■ 種々の方策の特長を明らかにし、適用する系統の課題・特性に合わせて適材適所で用いることが重要

各種系統安定性維持方策の適用のイメージ



## 各種系統安定性維持方策の実験的検証

■ NEDO事業\*)にて、当所のアナログ電力系統シミュレータを用いて、各種の系統安定性維持方策のハードウェアモデルに基づく検証を実施している



基幹系統の特性を表現できるアナログ電力系統シミュレータ

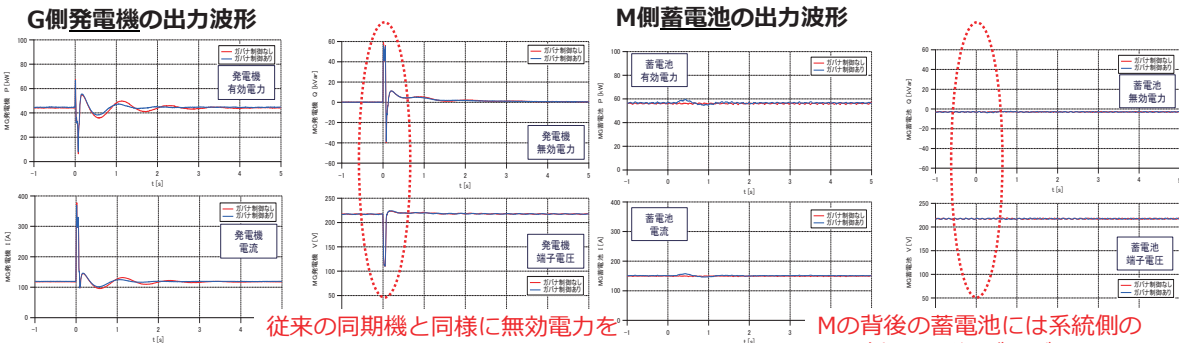
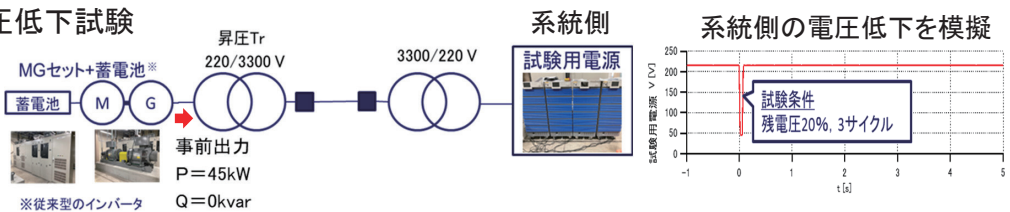
© CRIEPI 2024

\*) 「再生可能エネルギーの主力電源化に向けた次々世代電力ネットワーク安定化技術開発」(2022-2026)  
 \*\*) NEDO (国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構) の委託業務 (JPNP22003) で構築し、検証に用いている設備

## 実験的検証の結果の例

■ 「再エネに蓄電池とM-Gセットを併設」の方策について、電圧低下等の事象に対して適切な挙動を示すことを確認

### ● 電圧低下試験



従来の同期機と同様に無効電力を供給し、電圧維持に貢献

Mの背後の蓄電池には系統側の電圧低下の影響が及ばない

© CRIEPI 2024

\*) 本成果は、NEDO (国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構) の委託業務 (JPNP22003) において得られたもの

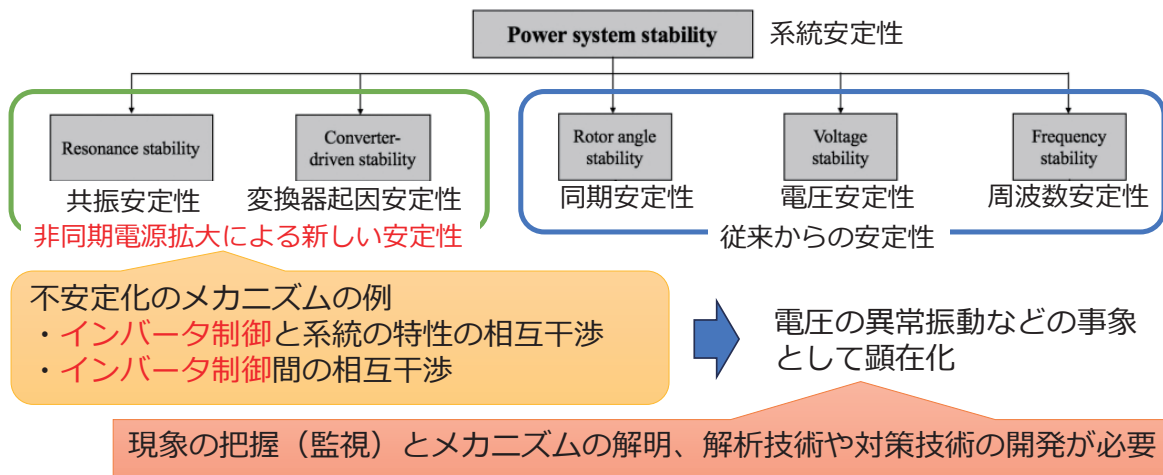
# 報告内容

1. 再生可能エネルギー電源の導入拡大での広域系統での課題
2. 当所の取り組み例（1）：  
次期中給システムに関わる技術開発
3. 当所の取り組み例（2）：  
各種系統安定性維持方策の検証
4. 系統安定性に関する新たな課題

## 4. 系統安定性に関する新たな課題

### 非同期電源拡大に伴う新しい系統安定性の課題

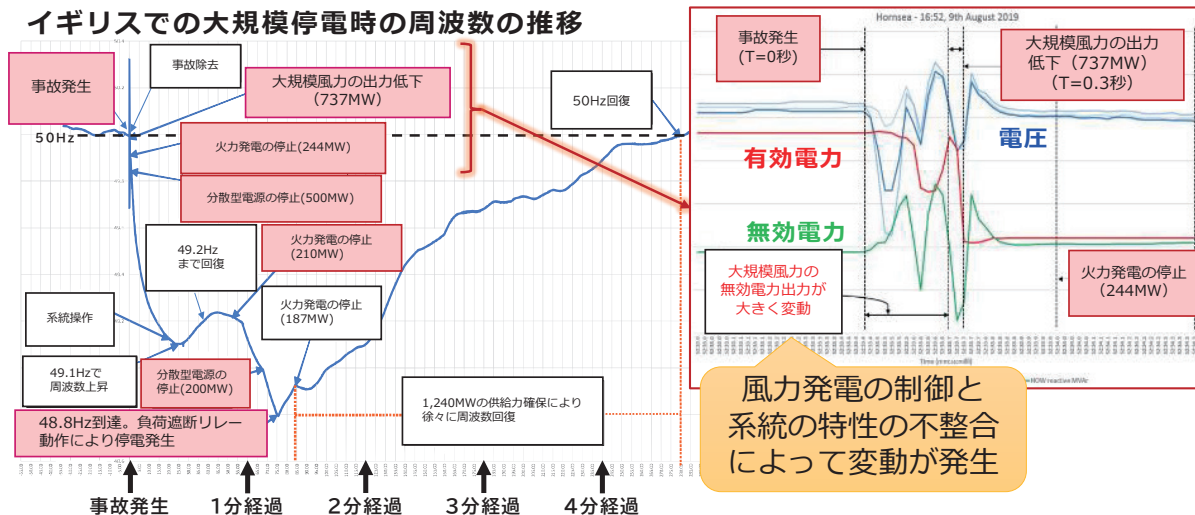
- 海外では再エネ電源等の非同期電源の拡大に伴い、電圧の異常振動等が生じ、再エネ電源の停止やこれを一因とする大規模停電が発生
- 新しい系統安定性の課題として認識されている



## 非同期電源の制御が関わる異常現象の例

- 北米、欧州、中国、オーストラリアなど非同期電源の導入が進む地域で、異常現象が顕在化
- イギリスでは、これを一因とする大規模停電も発生

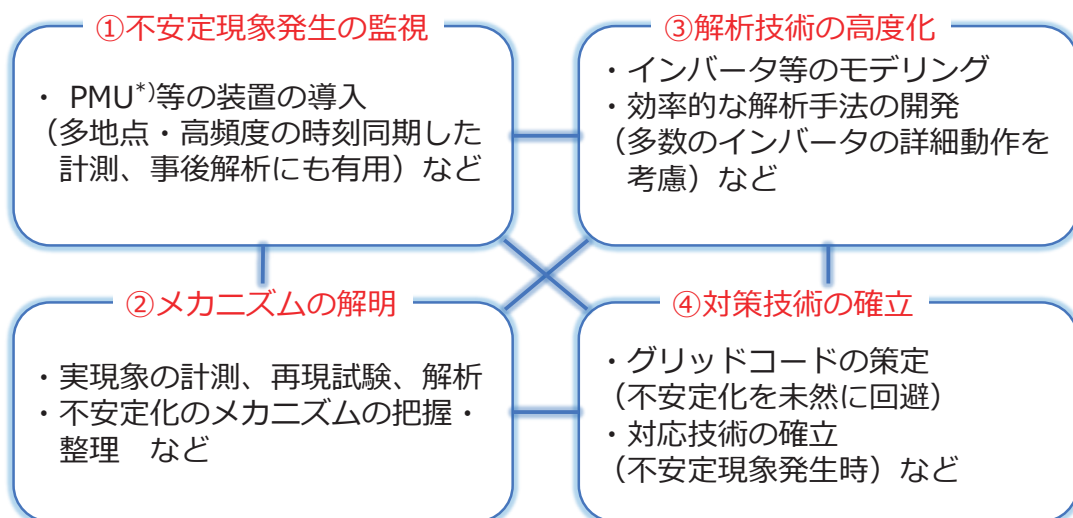
イギリスでの大規模停電時の周波数の推移



© CRIEPI 2024 (出典) : National Grid ESO "Appendices to the Technical Report on the events of 9 August 2019" (2019) を基に作成 24

## 新しい系統安定性の課題への対応

- 下記の4項目の全てで、取り組みが必要



© CRIEPI 2024 \*) PMU (Phase Measurement Unit) : 位相情報計測装置

25



## まとめ

- 再エネ電源拡大での広域系統の役割：  
再エネの電力を広域で効率的・安定的に活用すること
- 役割実現の課題と取り組み：  
①広域系統の整備、②広域系統の運用、③系統安定性の維持 の3つの課題の解決が必要であり、当所も貢献
- より一層の取り組みの必要性：  
一方で、新たな系統安定性の課題が顕在化するなど、解決すべき課題はまだ多く、一層の取り組みが必要。当所でも引き続き、技術的課題の解決への取り組みを進めていく

ご清聴ありがとうございました

**R 電力中央研究所**

Central Research Institute of Electric Power Industry



## 参考文献(1/2)

1. 八太啓行：分散型エネルギー資源を活用する需要地系統の実現に向けた取り組み、電力中央研究所 研究報告会2022 個別報告（3）（2022）.
2. 送配電網協議会：中給システムの仕様統一および次期中給システム開発に関する検討状況、第33回需給調整市場検討小委員会・第43回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 資料4（2022）.  
[https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/jukyuchousei/2022/files/jukyu\\_shijyo\\_33\\_04.pdf](https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/jukyuchousei/2022/files/jukyu_shijyo_33_04.pdf)
3. 徳光啓太 他：LFCの仕様統一における二次調整力①の広域運用に関するシミュレーション検討、電力中央研究報告 R20003（2021）.  
<https://criepi.denken.or.jp/hokokusho/pb/reportDetail?reportNoUkCode=R20003>
4. 送配電網協議会：中給システム仕様統一の検討状況について、第31回需給調整市場検討小委員会 資料3（2022）.  
[https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/jukyuchousei/2022/files/jukyu\\_shijyo\\_31\\_03.pdf](https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/jukyuchousei/2022/files/jukyu_shijyo_31_03.pdf)
5. 北海道電力株式会社他：中給システムの抜本的な改修に関する検討状況について、第7回需給調整市場検討小委員会 資料4（2018）.  
[https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/jukyuchousei/2018/files/jukyu\\_shijyo\\_07\\_04.pdf](https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/jukyuchousei/2018/files/jukyu_shijyo_07_04.pdf)
6. 大谷哲夫 他：次期中給システムと発電機側伝送装置間の統一通信仕様案、電気学会 令和6年電力・エネルギー部門大会（2024）.

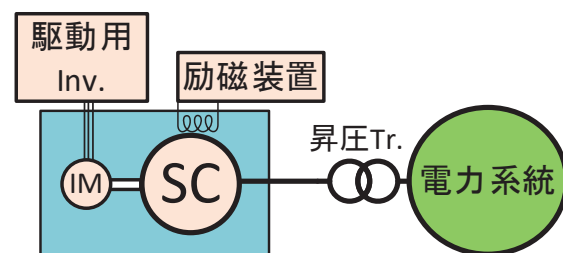
## 参考文献(2/2)

7. NEDO：再生可能エネルギーの主力電源化に向けた次々世代電力ネットワーク安定化技術開発（STREAMプロジェクト）  
[https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP\\_100236.html](https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100236.html)
8. IEEE Power & Energy Society: Stability definitions and characterization of dynamic behavior in systems with high penetration of power electronic interfaced technologies, Technical Report TR-77（2020）.  
[https://resourcecenter.ieee-pes.org/publications/technical-reports/pes\\_tp\\_tr77\\_psdp\\_stability\\_051320](https://resourcecenter.ieee-pes.org/publications/technical-reports/pes_tp_tr77_psdp_stability_051320)
9. National Grid ESO: Appendices to the Technical Report on the events of 9 August 2019（2019）.  
<https://www.nationalgrideso.com/document/152351/download>

## 参考資料： 同期電源の代替が期待される 系統安定性維持方策

### a-1) 同期調相機

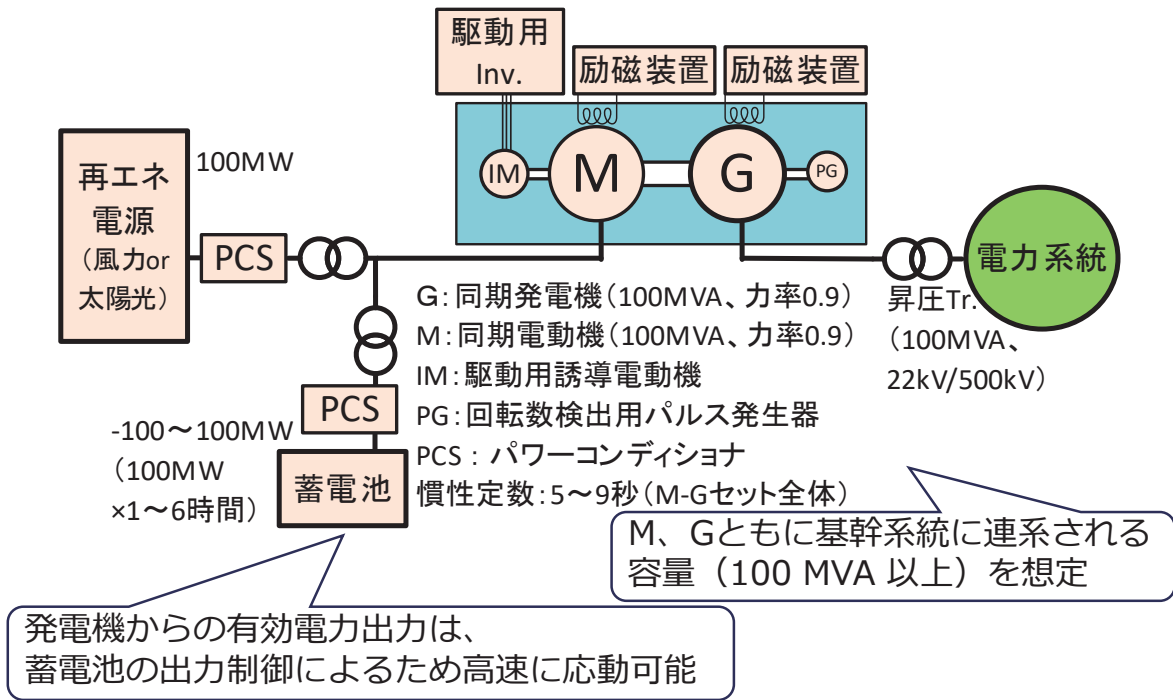
- 電力系統の電圧を維持・調整するための同期電動機（空回しするモーター）
- すでに古くから確立されている技術であり、大容量化も容易であるため、基幹系統の電圧維持に貢献できる
- **再エネのインバータの安定運転に不可欠な電力系統の短絡容量の維持に貢献。** 系統事故時に地絡・短絡電流を供給可能
- 周波数の調整はできないが、大電源脱落時に慣性エネルギーを供給し、電力系統の**周波数変化率（RoCoF）**の抑制は可能。ただし、フライホイールを装備しない場合、その慣性は発電機に比べて小さい
- 海外では廃止された発電所を転用して同期調相機とするケースもある



SC: 同期調相機

IM: 駆動用誘導電動機

## a-2)再エネに蓄電池とM-Gセットを併設



## 再エネに蓄電池とM-Gセットを併設した場合の特長

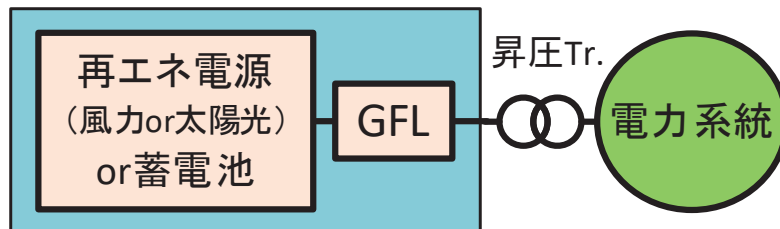
### ■ 電力系統側から見れば発電機のみが並列

- 系統事故時に電力系統側における特段の配慮が不要
  - 系統側の保護リレーなども変更不要
- 電圧
- 系統連系点の電圧を維持可能
  - 再エネの安定運転のために必要な短絡容量を確保
- 周波数
- 大規模電源脱落時に同期化力により慣性エネルギーを有効電力に変換して放出 (周波数変化率を抑制)
  - 有効電力出力 0 MWでガバナフリー運転が可能
- 系統安定度
- 系統事故時に高速に有効電力を制御し、系統安定度の向上に寄与
  - ブラックアウト後の試送電発電機として利用可能

再エネ大量導入時の諸課題を克服できる一つの方策

## b-1) 系統安定化制御機能付きGFLインバータ

- 現在、導入されている再エネと蓄電池のPCSはGFLインバータであり、「電流源」として振る舞う**電流制御型**（系統の電圧を基に電流を制御し、出力を調整する）である  
この電流制御型のPCSに**系統安定化制御機能を付加**したもの
- 既設の電力制御機器や他のインバータとの**制御協調が必要**である
- PCSの安定運転のために電力系統の短絡容量が必要な点など、適用には注意が必要な点がある
- 製作可能容量から、現状では、主に地域グリッドにおける活用が期待されている



## b-2) GFMインバータ

- **電圧制御型**（自ら電圧を確立し、制御することができる）のインバータで、同期発電機と同様に「電圧源」として振る舞うことができる
- 系統事故時などに過電流が生じやすいため、その対策が必要となる。また、同期発電機に比べ、系統事故時に供給できる電流は小さい
- 製作可能容量等の制約から、現状では、主に地域グリッドにおける活用が期待されている
- 技術的には未確立で国内では未適用だが、海外では実系統に連系され、運用されている設備がある

