

NEDO再生可能エネルギー分野成果報告会2026

プログラムNo. A1-3-08

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/

M-Gセットの実用化開発

発表：2026年07月23日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

発表者名（一財）電力中央研究所 永田 真幸、父母 靖二

団体名（一財）電力中央研究所、（国）東京科学大学

問い合わせ先 （一財）電力中央研究所 <https://criepi.denken.or.jp/>

本NEDO事業の背景と目的

背景

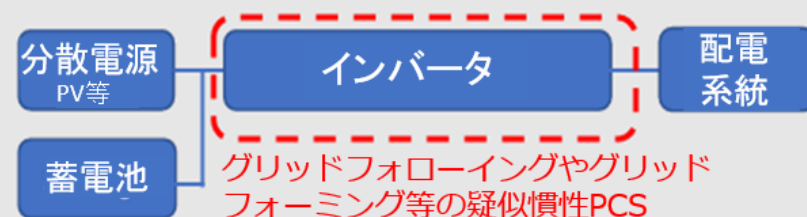
- ・再生可能エネルギー（再エネ）の大量導入に伴って、回転系の発電設備が減少すると電力系統は瞬間的な大きな変動に耐えられず大停電に至るおそれがあることから、慣性力を確保する技術の重要性が高まっている。
- ・電力広域的運営推進機関の勉強会や送配電網協議会のロードマップにおいて、再エネ主力電源化に向けた今後の技術的課題として、短絡容量の低下が示されているが、具体的な研究開発はまだ行われていない状況にある。

目的

前事業「再生可能エネルギーの大量導入に向けた次世代電力ネットワーク安定化技術開発」で得られた成果を踏まえ、最新の技術動向及び政策動向を把握し、将来の電力系統の技術的な課題及び制度的な課題までを見据えた上で、慣性力低下対策の実用化及び新たな課題である短絡容量の低下に関する技術開発を行う。

1. 疑似慣性PCSの実用化開発

単独運転検出機能と周波数制御機能の両立



東京電力HD、東京電力PG、電力中央研究所、産業技術総合研究所、広島大学、北海道大学、東京大学、環境エネルギー技術研究所、三菱電機、沖縄電力、ネクステムズ

2. M-Gセットの実用化開発

系統事故発生時、同期発電機のように振る舞う分散電源と蓄電池を伴うM-Gセット



電力中央研究所、東京科学大学

本プレゼンでの報告内容

研究開発項目 2 における開発目標

【中間目標】（2024年度末）

再エネと蓄電池を伴うM-Gセットを開発し、GFMインバータ、系統安定化機能付きGFLインバータや同期調相機等とともに基幹系統等での連系運転及び系統事故時に適切な動作を行うことを検証する。

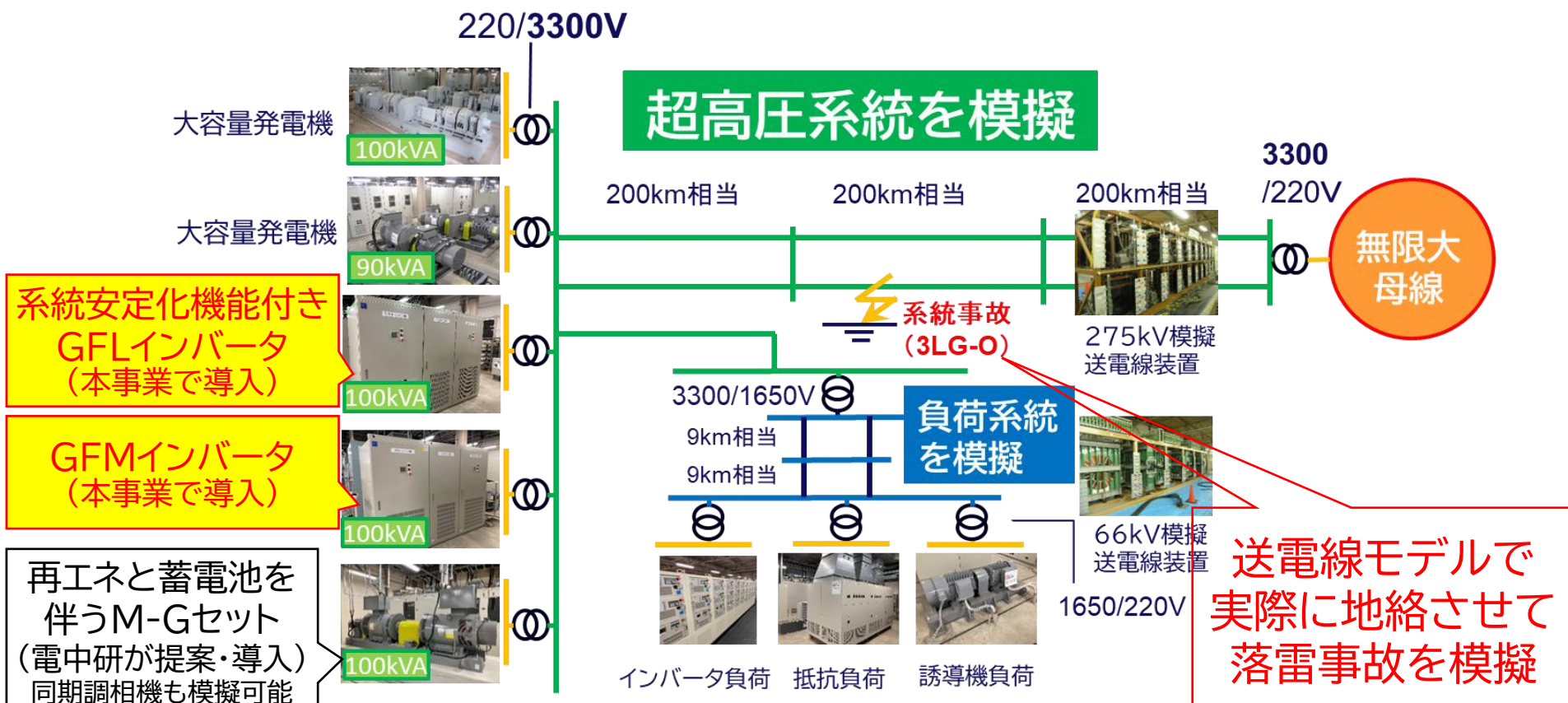
【最終目標】（2026年度末）

M-Gセット（または同期調相機）、GFMインバータ、系統安定化機能付きGFLインバータを組み合わせて連系した系統で、系統事故時に適切な動作を行うことを検証する。

研究開発項目 2 における開発項目

(研究開発項目 2 M-Gセットの実用化開発)

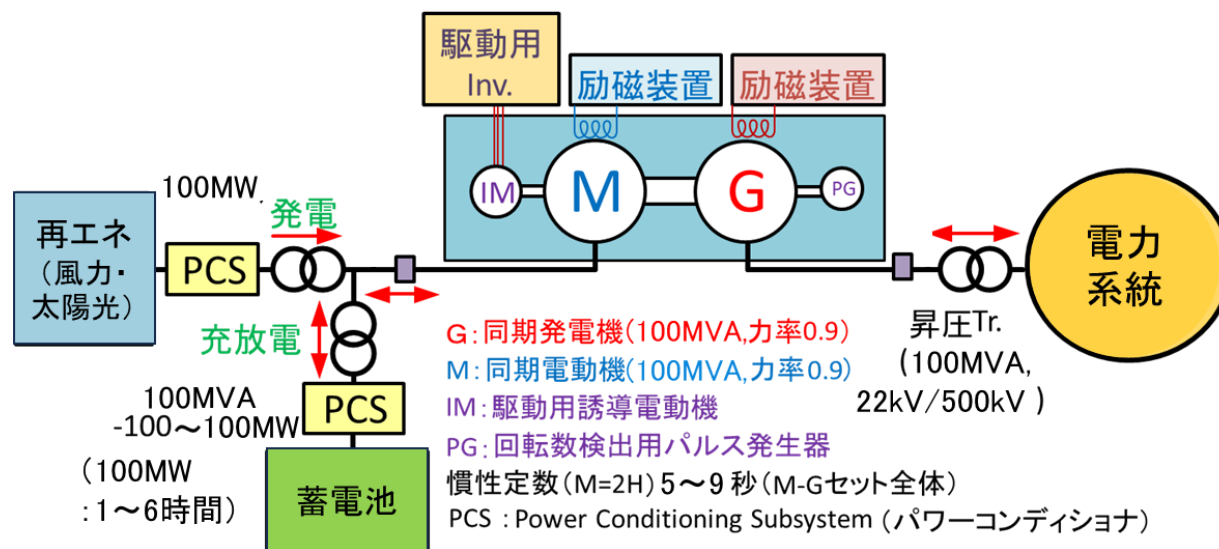
基幹系統を模擬したアナログ電力系統シミュレータ（下図）を用いて、再エネと蓄電池を接続したM-Gセットの技術的成立性の検証、および、M-Gセットをはじめとする各種系統安定化対策の系統安定性維持機能の検証を行う



再エネと蓄電池を伴うM-Gセットについて

再エネ導入拡大を進めるための方策の一つとして電中研はM-Gセットを提案している

- 電力系統側から見れば同期発電機が並列されているのと等価
 - ✓ 同期発電機が持つ性質・系統安定化能力をすべて保有
(慣性・同期化力・基幹系統の電圧維持能力など)
 - ✓ 系統事故時にも同期発電機として振る舞う
(再エネ直接連系時に要する事故電流等への配慮不要)
 - ✓ 系統に必要な同期機比率の確保に寄与
- 再エネ側から見れば系統事故の影響を緩和

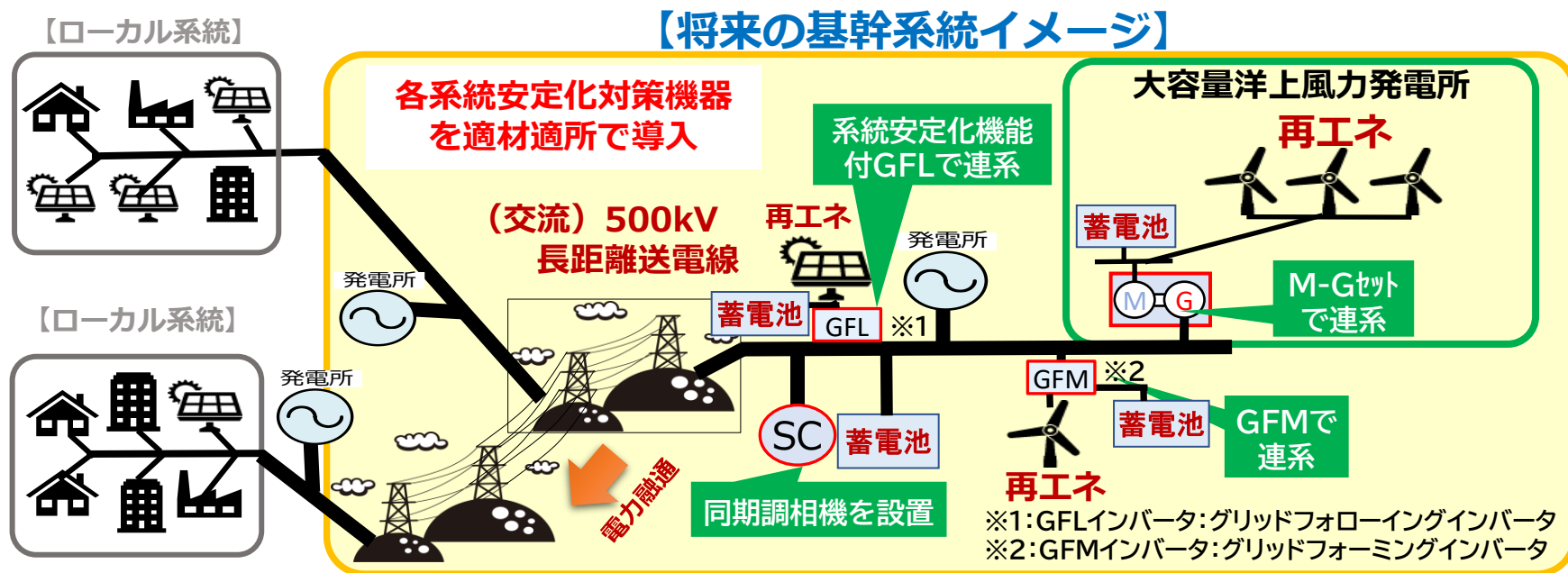


—— 実系統への導入を想定した再エネと蓄電池を伴うM-Gセット

—— M-Gセット実証設備

本事業での取り組み

- ✓ 電中研狛江地区のアナログ型電力系統シミュレータを活用し、M-Gセット、同期調相機、系統安定化機能付きGFL/GFMインバータの実験環境を構築する
- ✓ これら系統安定化機器の有する能力は必ずしも同一ではないことから、系統事故時を模擬した実験的検証により系統安定性維持の観点から比較評価し、導入時の留意点や得失を明らかにする
- ✓ これらにより、効果的な系統安定性維持対策を評価することが可能となる



実施内容

◆ 本事業での主な実施項目と内容

各種系統安定化対策の実験環境構築（電力中央研究所）

- ・アナログ電力系統シミュレータに、供試機として系統安定化機能付GFLインバータ（以降、S-GFLインバータ）、GFMインバータを各 1 台導入

各種系統安定化対策の実験的検証（電力中央研究所）

- ・系統事故時を模擬した実験的検証により系統安定性維持の観点から比較評価し、導入時の留意点や得失を整理

各種系統安定化対策の電力系統への導入に関わる解析的検討（東京科学大学）

- ・蓄電池を伴う設備はコスト増となるため、GFMの高い制御性を活用した蓄電池を有しない新たな制御方策として、再エネ連系のGFMインバータについて蓄電池がない構成を考慮

各種系統安定化対策に関する海外調査（電力中央研究所）

- ・諸外国の動向として、特に基幹系統の安定性の課題・諸制度や取り組み状況、研究開発の状況等について調査を実施

研究スケジュール

事業項目	2022 年度				2023 年度				2024 年度				2025 年度				2026 年度			
M-G セットをはじめとする各種系統安定化対策の実験環境構築																				
S-GFL インバータの導入			仕様検討			装置製作・設置														
GFM インバータの導入			仕様検討			装置製作・設置														
M-G セット/S-GFL/GFM 用計測制御 IF および検証環境の製作																				
各種系統安定化対策の実験的検証																				
M-G セット、同期調相機による系統安定化対策の実験的検証						単体装置での連系試験														
GFM インバータ、S-GFL インバータによる系統安定化対策の実験的検証																				
各種系統安定化対策の電力系統への導入に関わる解析的検討																				
電源脱落時における再エネ用 GFM の制御法開発																				
電源脱落時における再エネ用 GFM と背後リソースの協調制御法の開発																				
地絡事故時における再エネ用 GFM の制御法開発																				
M-G セットをはじめとする各種系統安定化対策に関する海外調査																				
実系統への導入に向けた仕様検討と試験環境の開発																				

各種系統安定化対策の実験的検証の成果

(M-Gセットの技術的成立性の検証)

(M-Gセットの特長の一つ)

M側背後に接続する蓄電池出力の高速な制御により、系統事故時の電源制限的な制御が可能

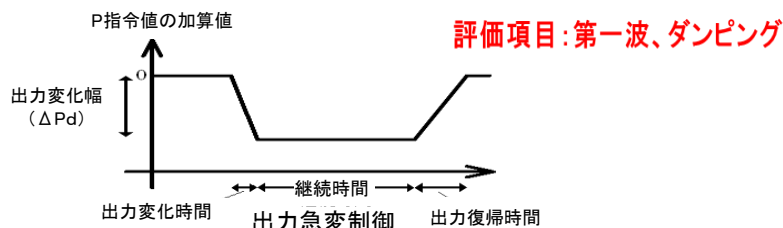
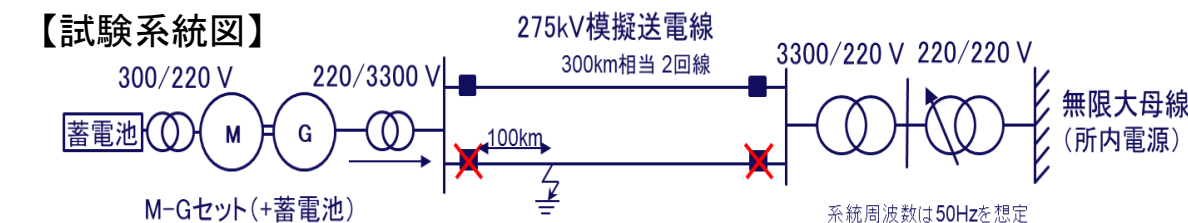
	M-Gセット	通常の火力発電機
電源制御の方法	M側の蓄電池出力を急峻に低下させる。発電機解列はしない	系統から解列
特徴	発電機解列が不要 → 発電機を解列しないため、その後の周波数回復に寄与。慣性・短絡容量等の減少がない	左の特徴はなく、周波数低下の拡大、慣性・短絡容量減少のリスクあり
イメージ図		

各種系統安定化対策の実験的検証の成果

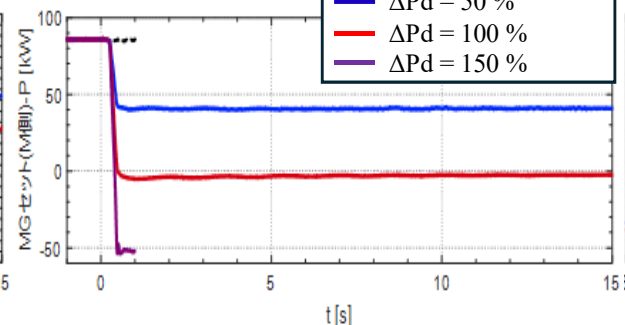
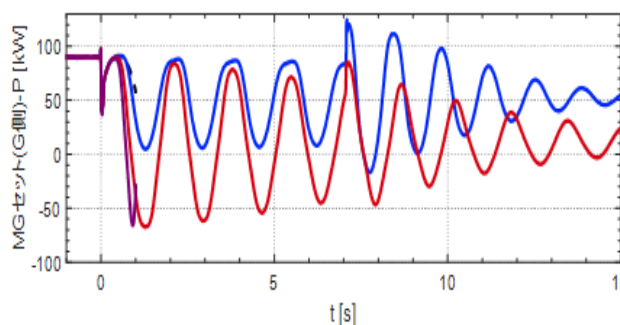
(M-Gセットの技術的成立性の検証)

M-Gセット (M側背後に蓄電池接続を模擬) が連系時、出力急変制御を適用することで自身の脱調防止が可能であることを確認

【試験系統図】



蓄電池模擬PCSのP出力指令値に上記信号を加算することで、M-GセットにおけるP出力を急変させる



..... 出力急変制御なし
— $\Delta P_d = 50\%$
— $\Delta P_d = 100\%$
— $\Delta P_d = 150\%$

M-Gセットの有効電力 (G側・M側)、G無限大母線の相差角

出力制御がなければ脱調する

出力急変制御により、脱調を回避した

出力を充電方向にまで抑制したケースでは脱調した

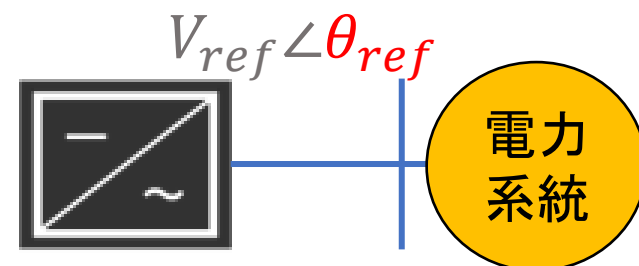
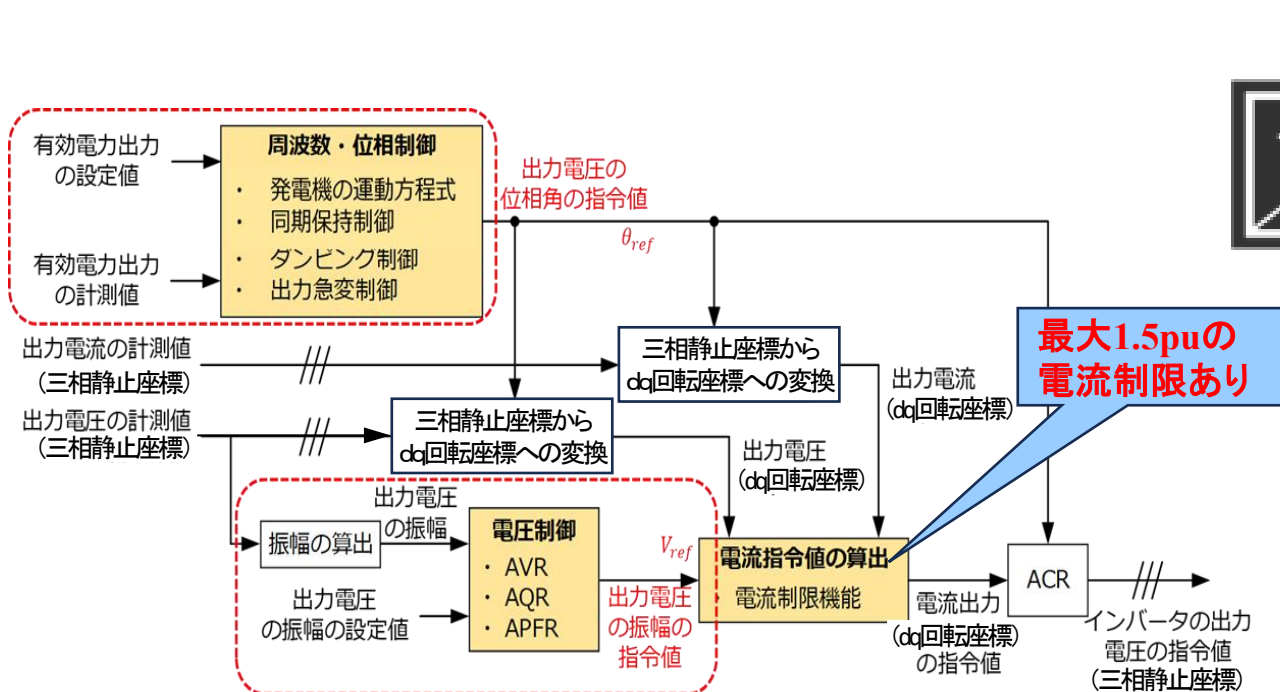
	試験条件
初期出力等	- 初期出力 (90kW) - 出力急変幅 $\Delta P_d = 50\%$※、100%、150% (※$90\text{kW} \times 50\% = 45\text{kW}$) - 出力変化時間: 0.2秒 - 出力復帰時間: 今回検討対象外 (低速で実施) - ガバナ無、ΔP形PSS無
事故条件	3LG-O (4サイクル) - C (7秒) (0s: 故障発生、4cyc: 故障除去、7s: 再閉路)

各種系統安定化対策の実験環境構築の成果 (導入したGFMインバータについて)

同期機の運動方程式に基づく慣性応答等を模擬可能

運動方程式の適用より、同期機と同様に脱調や電力動揺を引き起こす恐れがあるため、GFMインバータ実証設備では、これらへの対策制御機能として、

- ✓ 位相角・電力動揺を抑制する**ダンピング制御**
 - ✓ 過電流抑制制御に起因した脱調を防止する**同期保持制御**
- などの制御機能も具備



GFMインバータ実証設備

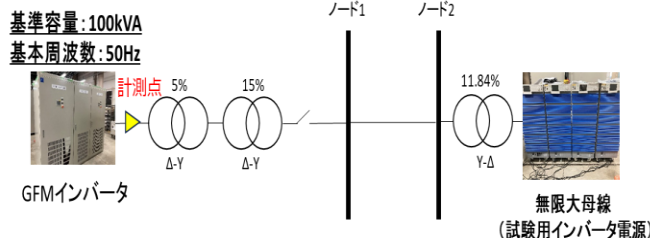
導入したGFMインバータの制御ロジックの概略

各種系統安定化対策の実験的検証の成果

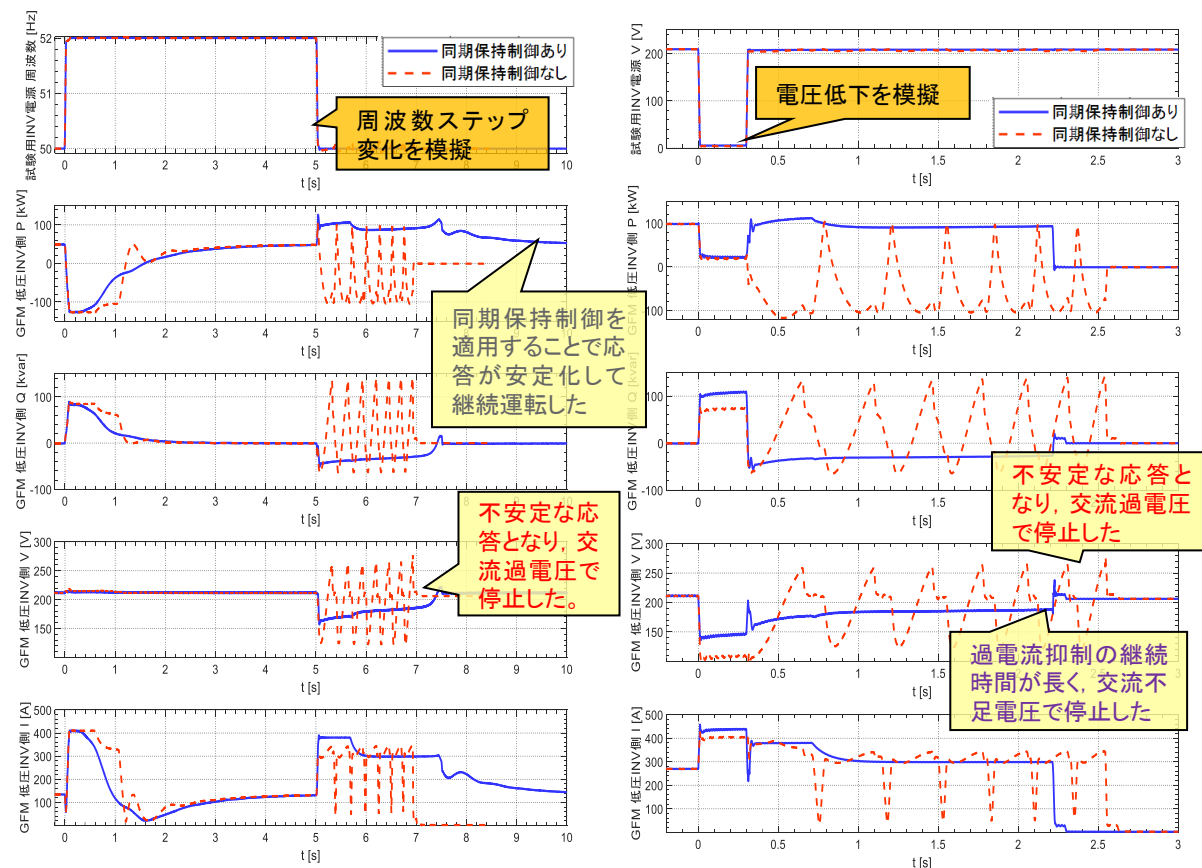
(GFMインバータに関する試験)

FRT試験（周波数変動試験・電圧低下試験）において、過電流抑制制御に起因する脱調を防止するために具備した同期保持制御が運転継続に寄与することを確認

【試験系統図】



	試験条件
初期出力等	- 出力: 0.50pu (もしくは1.00pu), 自端電圧(低圧端): 1.0pu - いずれのケースも, 同期保持制御の適用有無以外はすべて共通(適用する制御やパラメータ)
FRT試験条件	周波数ステップ上昇試験 +2Hz → (52Hz, 5秒間) → -2Hz 電圧ステップ低下試験 残電圧0%, 継続時間0.3秒



周波数上昇試験時の応動例

電圧低下試験時の応動例

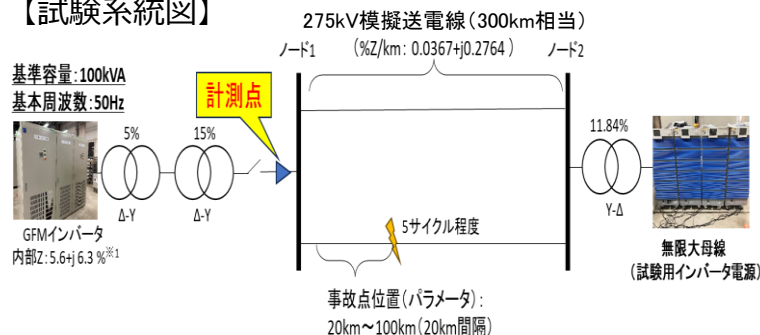
有効電力・無効電力・電圧・電流の実効値波形

各種系統安定化対策の実験的検証の成果

(GFMインバータに関する試験)

三相地絡事故試験において、同期保持制御を使用した場合、事故中、保護リレーがみる実効値の電圧が低下・上昇することや実効値の電流が振動することを確認。これにより、保護リレーが誤動作・誤不動作となる可能性がある。FRTに関して、**多面的な評価試験の必要性を示唆**

【試験系統図】

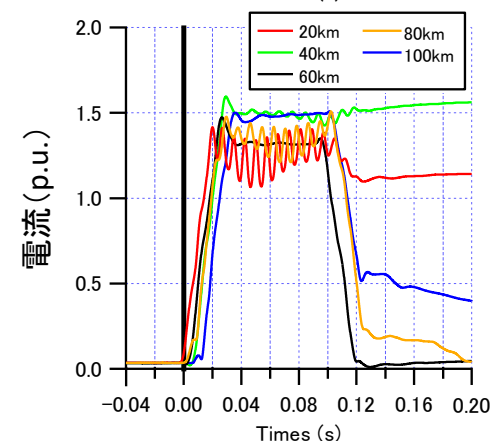
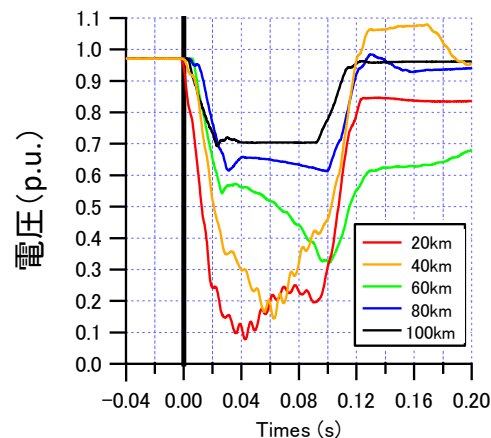


試験条件	
初期出力等	出力: 0.0 p.u, 自端電圧(低圧端): 1.0 p.u, AVR使用
事故条件	事故点: ノード1からの距離: 20km, 40km, 60km, 80km, 100km 事故様相: 3LG 事故除去: 5cycle

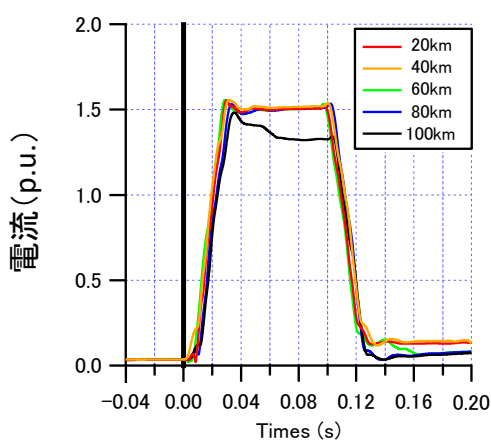
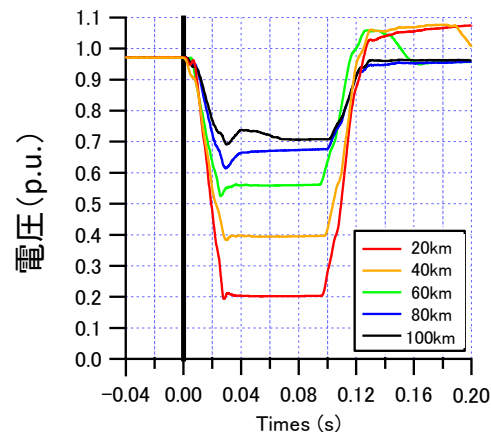
(実効値演算)

リレーアルゴリズムの演算として活用され基本波の特徴を利用した演算原理を用いて算出。

また、デジタルフィルタ演算処理(直流・2倍調波, 3倍調波・5倍調波の除去フィルタ)後に実効値を演算。



同期保持制御あり

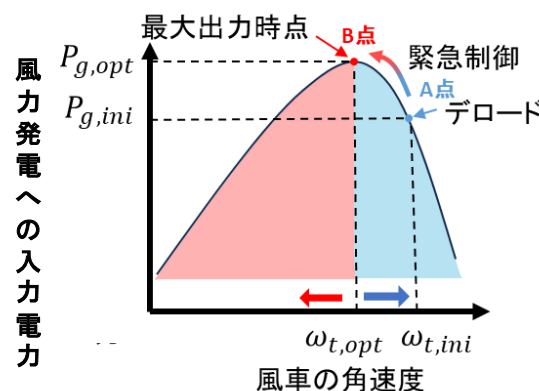
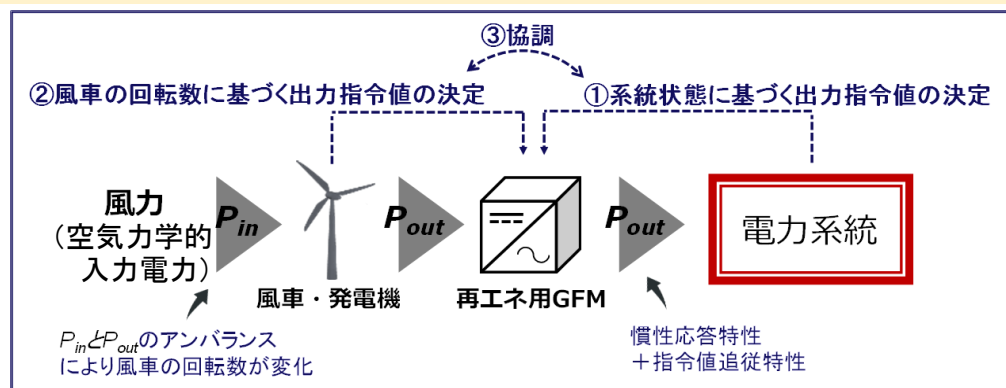


同期保持制御なし

三相地絡時に保護リレーのみる電圧・電流の実効値波形

各種系統安定化対策の電力系統への導入に関わる解析的検討成果

再エネ用GFMモデル（慣性応答特性と出力指令値追従特性を具備）を開発
蓄電池を有しないGFM型Type 4 風力発電システムの構築のため、再エネ用GFMモデルを用いた電力系統の周波数安定化制御と風車の回転数制御の協調制御手法を開発中



風車の回転数の変化や、それに伴う風力発電への入力電力の変化を考慮

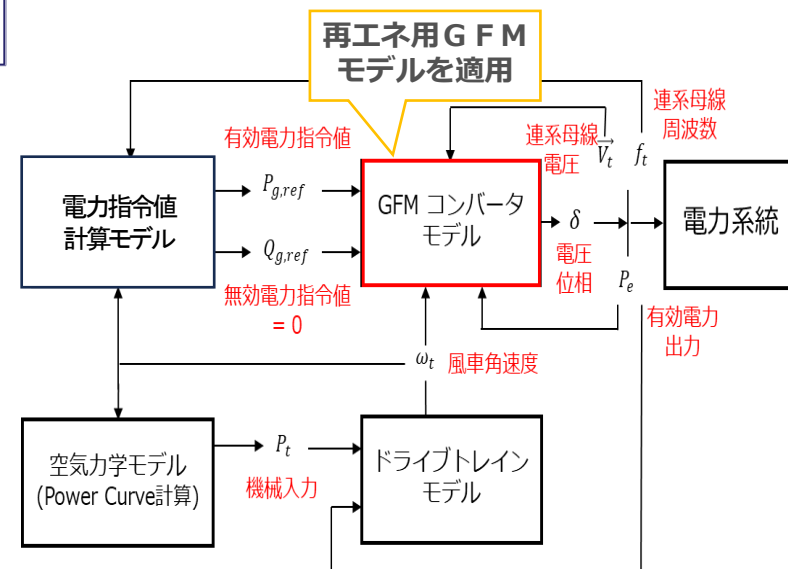
風車の角速度と入力電力の関係

- 平常時は出力制御 (de-loading control) によりA点で運転することを想定
- 緊急時にA点からB点に移行させることで、慣性エネルギーの放出と入力電力の増加が見込まれる。(風速・ピッチ角は一定)

蓄電池を有しない風力発電へのGFMの適用

GFMの出力制御に際して、風車の回転数の変化の考慮が必要

- 風車の回転数が運転可能範囲を逸脱すれば、風力発電システムは停止
- 風車や発電機の運動エネルギーの利用により、蓄電池の併設なしで慣性応答実現の可能性



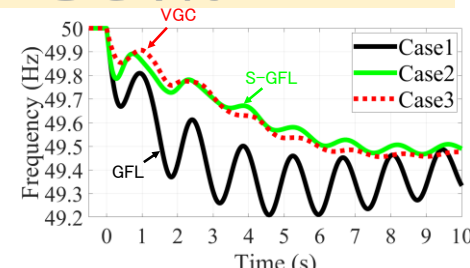
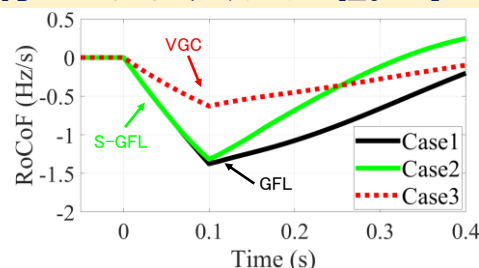
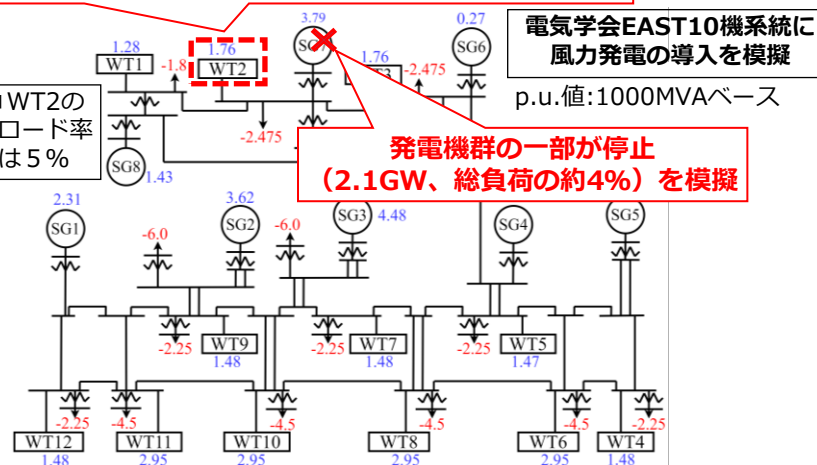
構築中のGFM型Type4風力発電システムの概要

各種系統安定化対策の電力系統への導入に関わる解析的検討成果

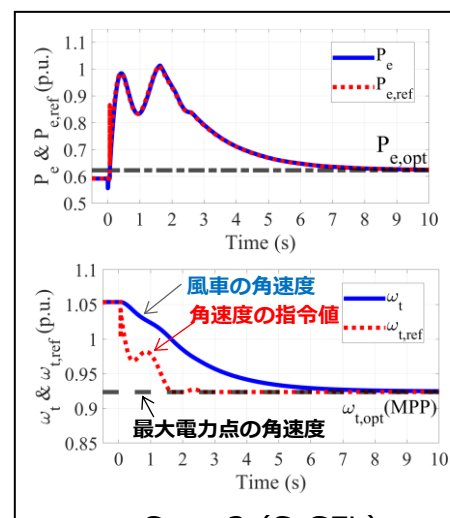
再エネ用GFMでは、慣性応答によりRoCoFが改善されることを確認（S-GFLでは改善効果は確認できない）

なお、S-GFLと同様に有効電力を指令値に追従させられるため、風車の角速度が最大電力点の角速度を下回らない（運転停止のリスクが低い）ことを確認

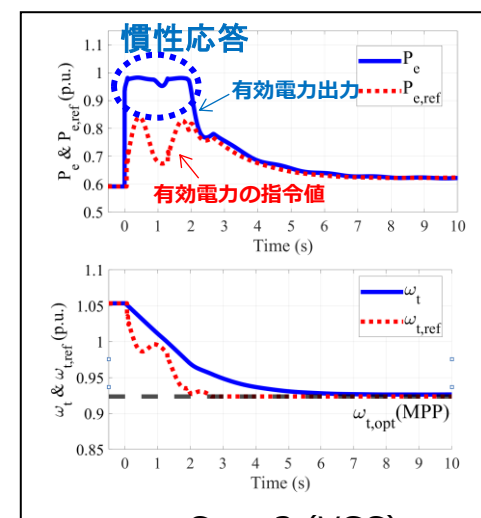
停止電源近傍の風力発電の制御手法の違いによる風力発電の挙動の違いを評価



停止電源近傍の発電機のRoCoF(左図)と周波数(右図)



Case 2 (S-GFL)



Case 3 (VGC)

WT2の風車の有効電力(上図)と角速度(下図)

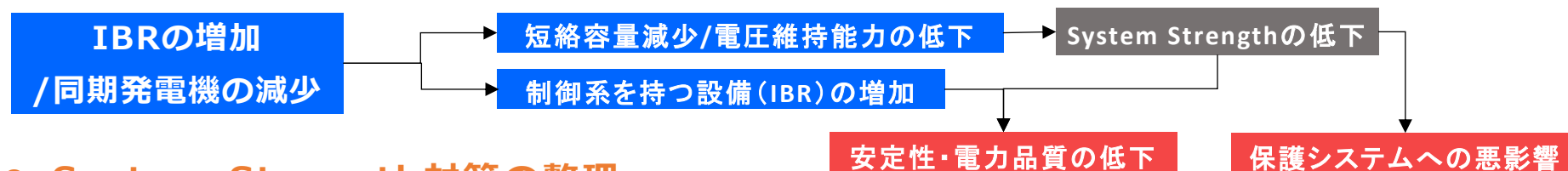
ケース	WT2のコンバータ制御手法	緊急制御
Case1	GFL	×
Case2	S-GFL	○
Case3	再エネ用GFM(VGC*)	○

*Variable Gain Control : 可変ゲイン制御手法 (提案法)

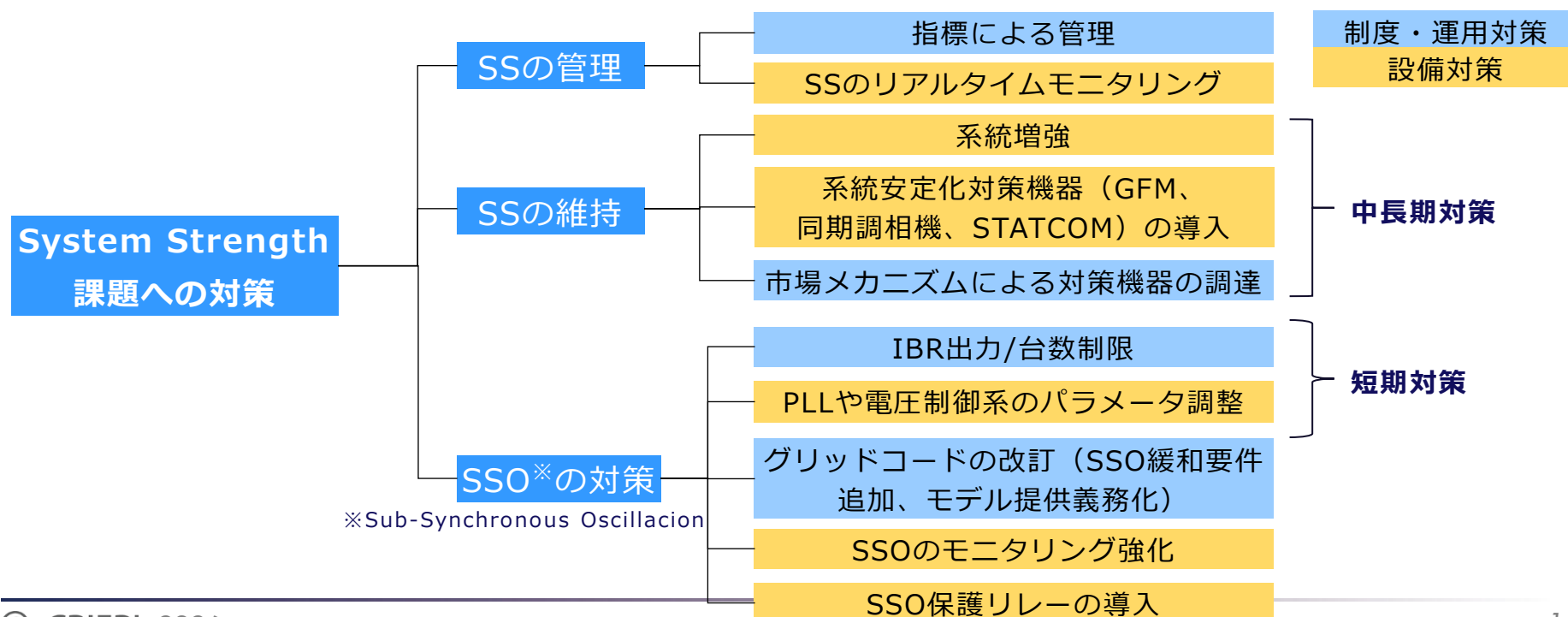
各種系統安定化対策に関する海外調査の成果

各国では、系統強度（System Strength、SS）の低下により安定性や保護システムへの影響等、様々な課題が生じることが懸念されており、各種対策が講じられている。

● System Strength低下要因とその発生課題



● System Strength対策の整理



各種系統安定化対策に関する海外調査の成果

諸外国でのSystem Strengthに関する検討状況一覧

		NESO 	Eirgrid 	Fingrid 
System Strengthの定義について		電圧擾乱に対する電力系統の本質的な強靱性を示す指標	短絡強度、安定性、電圧維持、その他の観点における電力系統の相対的な強度	電圧位相（大きさと角度）の系統内の状態変化（有効・無効電力）に対する感度
System Strengthへの課題認識		- 複数回のSSOを経験 - 特にスコットランドは系統が弱く、SSOが度々発生。	- 複数回のSSOを経験 - 高SCR下でもSSOの発生事例有り。SCRに代わる指標検討	- 複数回のSSOを確認 - Converter Driven Stabilityが新たな課題として認識
System Strength管理指標		- SCL、SCR - Imperial College Londonが新たな指標を研究中	運用/計画断面それぞれで複数指標の組合せで評価する予定	SCR、ESCR、VCSCR
主な対策	制度・運用	- 系統安定性サービスをStability Pathfinderにて調達。将来的に安定性市場へ移行予定 2028年以降新規IBRにGFM機能を要件化予定	選定された指標を基に、計画/運用断面でSSを管理予定	- グリッドコードにてSSOの緩和機能（ダンピング機能）の要件化 30MW以上の蓄電池にGFM機能の要件化を提案
	設備	<u>同期調相機・STATCOMの導入</u>（2022年度時点） - SSのリアルタイムモニタリングツールを開発中	- 慣性対策として<u>大規模な同期調相機は調達完了</u> - SS対策としての設備導入は現状具体的計画なし	<u>同期調相機、GFM型 BESS/STATCOMの導入</u> - SSO保護リレー設置 - PMU/WMUの設置
対策機器のコスト負担スキーム	ESO/TSO設置	TNUoS（Transmission Network Use of System、託送料金に相当）から回収	TUoS（Transmission Use of System、託送料金に相当）から回収	託送料金から回収
	第三者設置	全て事業者負担。<u>安定性サービスへの対価はBSUoS（バランシングサービス料金）から回収</u>	全て事業者負担。<u>安定性サービスへの対価はTUoSから回収</u>	全て事業者負担。<u>安定性サービスへの対価は託送料金から回収</u>

検討中の課題

◆ GFMインバータの過電流時等の応動

- ✓ 供試機として導入した各インバータの評価を継続実施。系統事故時におけるGFMインバータで課題となる過電流抑制に際し、自らの安定運転を継続しつつ系統安定性に寄与できるか
- ✓ M-Gセットをはじめとする各系統安定化対策機器を組み合わせて連系した系統で、系統事故時に適切な動作が可能かどうか など

◆ 基幹系統への各種安定化対策機器適用時の得失整理

- ✓ 下記の観点において、M-Gセットや同期調相機、GFMインバータ、S-GFLインバータなどの各種安定化対策機器にどのような相違があるか
 - ①同期安定性 ②事故時の電圧維持能力 ③周波数安定性
 - ④安定化対策機器に求められる事故時の運転継続性
 - ⑤低短絡容量条件下での制御安定性 など

◆ GFM型風力発電システムの系統安定化効果の整理

- ✓ 風力発電をGFM化することにより、GFM型蓄電池の代替効果は得られるか。平常時の風力発電の運転条件の違いは安定化効果に違いを生むか

まとめ

研究開発項目2（M-Gセットの実用化開発）の取り組み

- ◆ M-Gセットの技術的成立性を実証機を用いてアナログ電力系統シミュレータにて検証
- ◆ アナログ電力系統シミュレータに導入したGFMインバータについて、FRT試験および系統事故試験を実施、応答を確認
- ◆ 蓄電池を有しないType4風力発電に適用可能なGFMインバータの制御手法（再エネ用GFM）を開発し、シミュレーションによって慣性応答および有効電力指令値への追従を確認
- ◆ 再エネ導入が進む諸外国において、系統安定性維持の新たな課題となっている系統強度（System Strength）への制度・運用上の対応や費用回収等について調査