

NEDO再生可能エネルギー分野成果報告会2025 プログラムNo.2-1

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)

発表： 2025年7月15日

STREAM : Future-generation power network **S**tabilization **T**echnology development for utilization of **R**enewable **E**nergy
As the **M**ajor power sourceの略

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

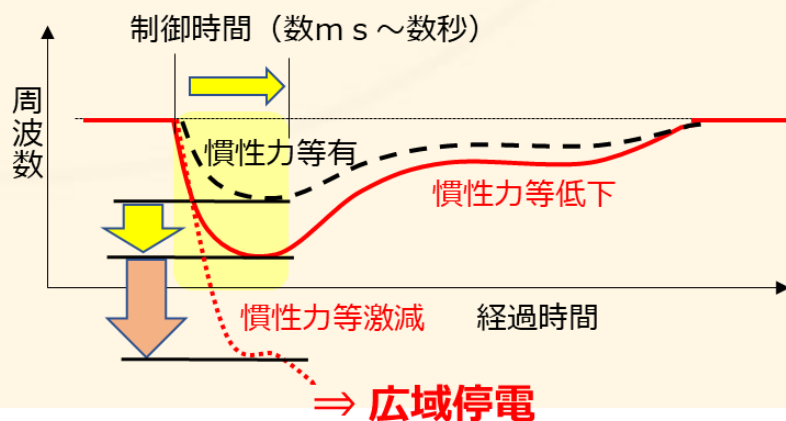
再生可能エネルギー部 系統連系ユニット 主査 吉田 拓未

問い合わせ先 E-mail: powergrid[@]nedo.go.jp TEL:044-520-5270

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。

再エネ比率増大時の周波数制御に与える影響



事業の目的

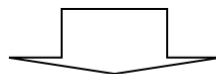
前事業「再生可能エネルギーの大量導入に向けた次世代電力ネットワーク安定化技術開発」で得られた成果を踏まえ、最新の技術動向及び政策動向を把握し、将来の電力系統の技術的な課題及び制度的な課題までを見据えた上で、慣性力低下対策の実用化及び新たな課題である 短絡容量の低下に関する技術開発を行う。

● 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略

2020年12月に策定された「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」において、「再エネについては、最大限の導入を図る。しかしながら、調整力の確保、送電容量の確保、慣性力の確保、自然条件や社会制約への対応、コスト低減といった課題に直面する」とあり、これらの課題の解決が求められている。

● エネルギー基本計画における再エネの主力電源化

2021年10月閣議決定の第6次エネルギー基本計画において、2030年再エネ比率36～38%程度の実現が示され、再エネを主力電源にすることを明記。「再生可能エネルギーの主力電源化」に向けた「系統制約の克服」が求められている。

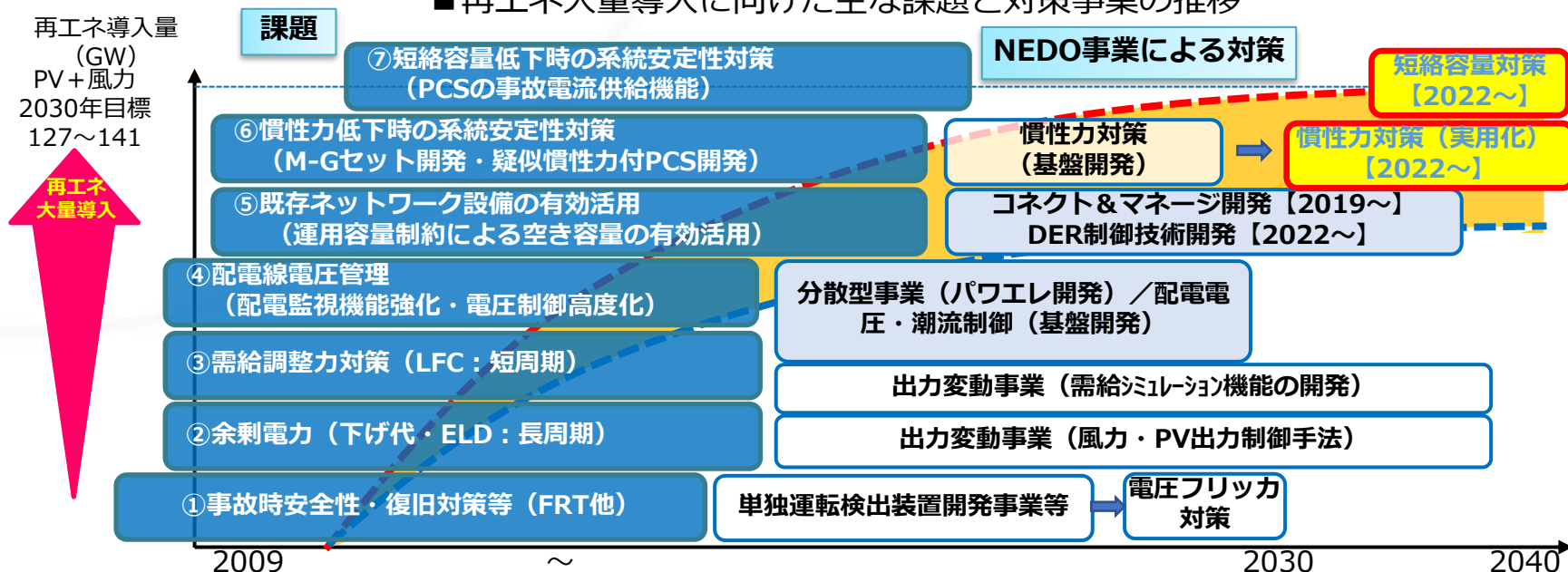


エネルギー政策の原則であるS + 3 Eを大前提に、電力部門の脱炭素化に向け、再エネの主力電源化を徹底し、再エネ最優先の原則で取り組み、国民負担の抑制と地域との共生を図りながら最大限の導入を促し、コスト低減、系統制約の克服などを着実に進めていく必要がある。

技術戦略上の位置づけ

- NEDOでは、以前から「単独運転検出装置開発」、「出力変動事業」、「分散型事業」等により、再エネ大量導入に向けた技術開発を実施しており、2018年に、第5次エネルギー基本計画において再エネ主力電源化に向けた系統制約の克服が掲げられてからは、「コネクト&マネージ開発」、「慣性力低下対策」や「配電系統における電圧・潮流最適制御方式の開発」に取組み、一定の成果を得てきた。これらの技術開発は、NEDO「超分散エネルギーシステム分野の技術戦略」で整理した方向性を踏まえて取組を行っている。
- 2021年度に「慣性力低下対策」及び「配電電圧・潮流制御の開発」の基盤的な開発を終えたことから、新たにこれらの実用化に向けた開発を行うとともに、再エネ100%を見据えて「短絡容量の低下対策」の取組を開始している。

■ 再エネ大量導入に向けた主な課題と対策事業の推移



外部環境の状況（技術、市場、制度、政策動向など）



国内

- ・NEDO事業において、電圧・周波数の瞬間的な変動を調整する慣性力の低下対策（疑似慣性機能付きのPCS開発）や配電系統の潮流・電圧制御技術について、2021年度までに基礎的な研究開発を終了している。
- ・慣性力について実用化を見据えた研究開発は未実施。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行われていない。
- ・グリッドコード^{（注）}検討会において、慣性力低下対策のグリッドコード要件化のスケジュールが計画されている。
- ・調整力及び需給バランス評価等に関する委員会において、将来断面の慣性力確保状況の試算について議論されている。

（注）グリッドコード：系統に接続される電源が従うべきルール

海外

- ・欧州では、Horizon 2020 のMIGRATE プロジェクトで、慣性力関連の研究開発プロジェクトが実施されている。
- ・欧州大ではGFMに特化した要件/適合性評価項目を作成し、GFMの接続に際し求めていく方針であり、豪州ではGFMに対しても、他の発電機と同じ要件/適合性評価の項目を求めていく方針である。
- ・米国においてもエネルギー省が主導するGrid Modernization Initiative では慣性力を含めて、将来の電力ネットワーク構築に関する包括的な技術開発が行われている。慣性力低下対策として、周波数維持限度の基準となる Critical Inertia の管理が行われており、2022年よりFFRの市場調達を開始されている。

本事業における研究開発項目の位置づけ



再エネ主力電源化時における系統技術上の課題に対し、対象系統別に研究開発を実施

対象系統	研究開発項目	WG
配電系統	I：疑似慣性PCSの実用化開発 ①高圧連系用慣性低下対策PCSの実用化開発	WG1
地域グリッド系統	I：疑似慣性PCSの実用化開発 ②再エネ導入地域グリッドの実現に向けた課題解決に関する研究開発	WG2
基幹系統	II：M-Gセットの実用化開発	WG3

実施体制



【PL】電力中央研究所 上村研究参事
【SPL】 東京大学 馬場教授

指示
協議

N E D O

委託

委託

研究開発項目 1 疑似慣性PCSの実用化開発

東京電力ホールディングス株式会社

WG1, WG2

東京電力パワーグリッド株式会社

WG1, WG2

一般財団法人電力中央研究所

WG1, WG2

国立研究開発法人産業技術総合研究所

WG1

国立大学法人広島大学

WG1

国立大学法人北海道大学

WG1

国立大学法人東京大学

WG1

環境エネルギー技術研究所株式会社

WG1

再委託

再委託

再委託

三菱電機株式会社

WG2

沖縄電力株式会社

WG2

株式会社ネクstemズ

WG2

国立大学法人香川大学

WG2

学校法人早稲田大学

WG1

一般財団法人電気安全環境研究所

WG1

独立行政法人国立高等専門学校機構
呉工業高等専門学校

WG1

研究開発項目 2 M-G セットの実用化開発

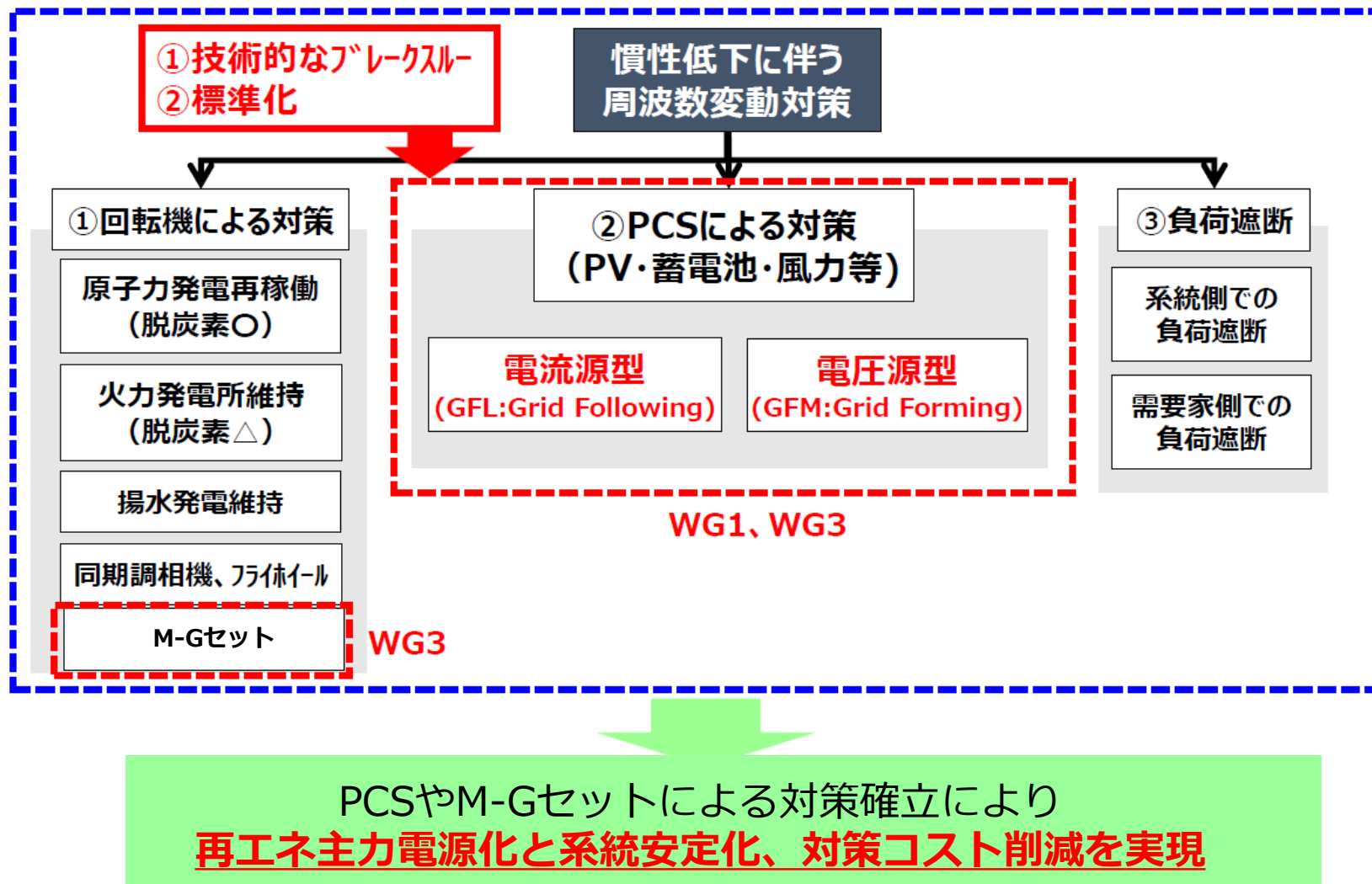
一般財団法人電力中央研究所

WG3

国立大学法人東京工業大学

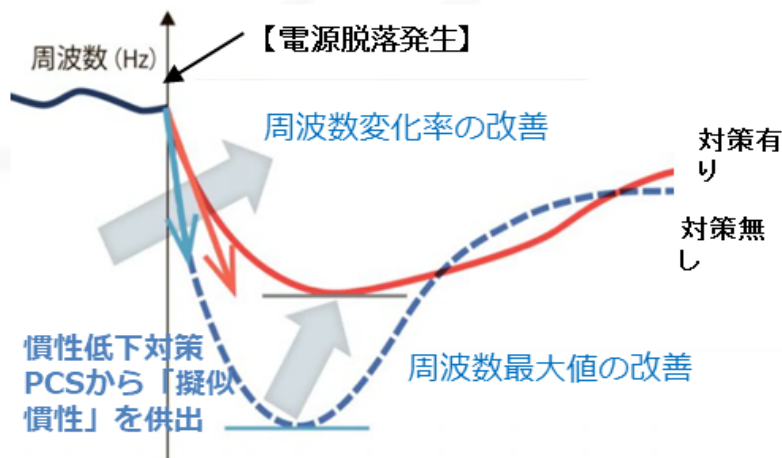
WG3

WG1:高圧連系用慣性低下対策PCSの実用化開発
WG2:再エネ導入地域グリッドの実現に向けた課題解決に関する研究開発
WG3:M-Gセットの実用化開発



PCS開発・各種評価

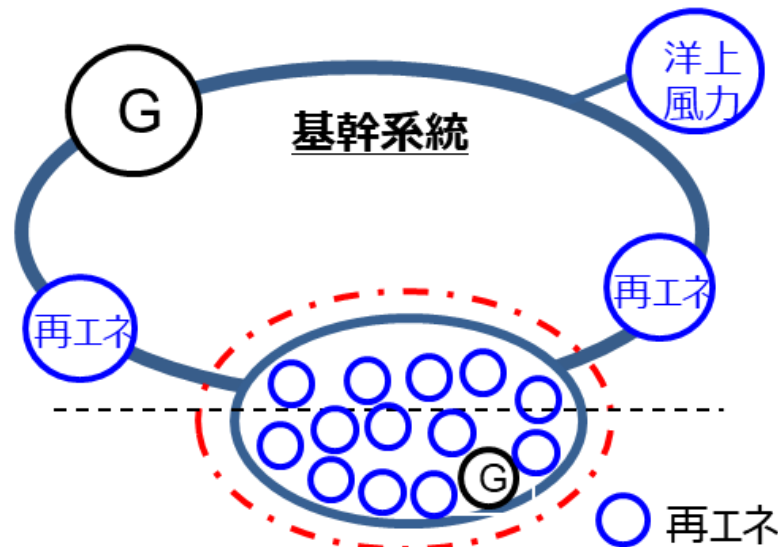
①慣性低下対策PCSの開発



- ・標準機器仕様
- ・規定等への反映に必要なデータ

課題抽出・対策案評価

②再エネ導入地域グリッド実現に向けた開発



- ・対策手法の提言
- ・規定等への反映に必要なデータ

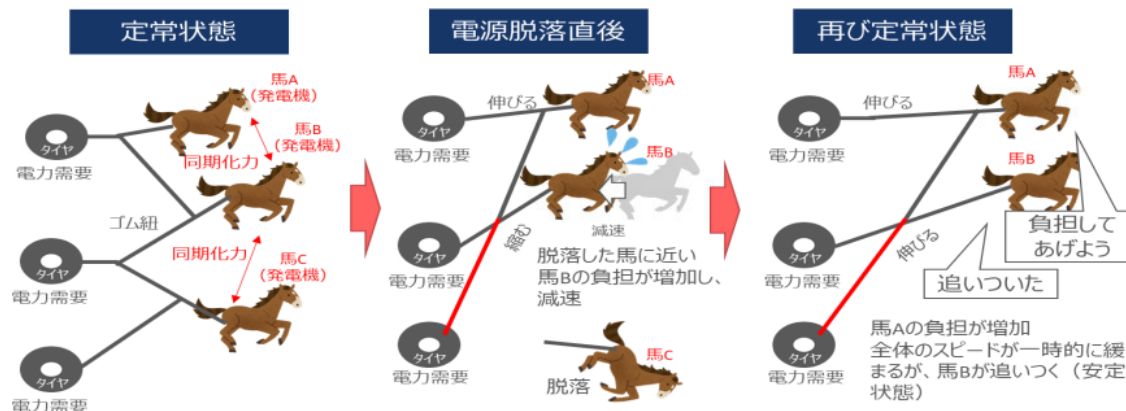
再エネ主力電源化を実現する技術の確立

(参考) 慣性力・同期化力のイメージ

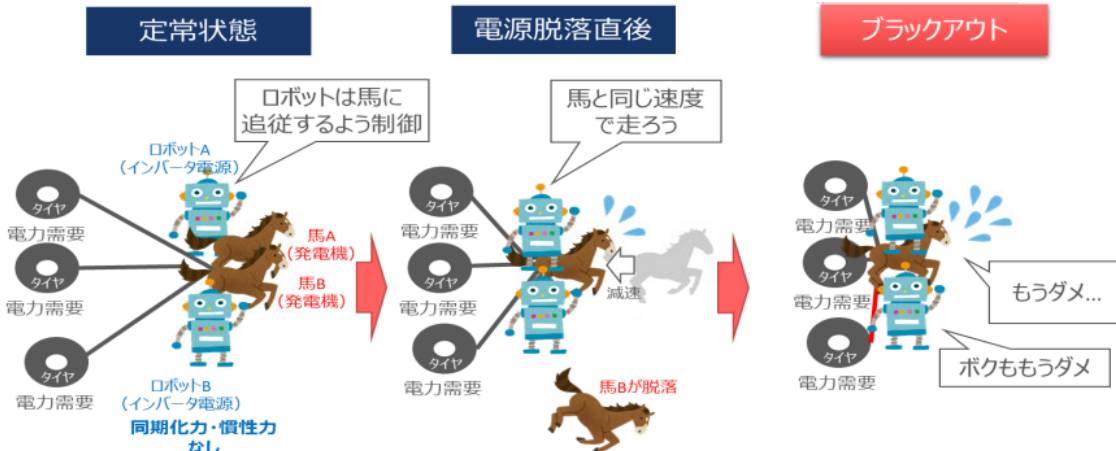
(参考) 別のモノで例えるとこんなイメージ！？

- 複数の送電線が同時に停止するような場合等に、大規模な電源が脱落することがあります。
- その際、インバータ電源比率が高いと、電源が連鎖的に脱落する可能性があります。

同期電源 のみの イメージ



インバータ電源 比率が高い イメージ



研究開発項目 I：疑似慣性PCSの実用化開発

慣性力低下対策の実用化を目指し、

① 高圧連系用慣性低下対策PCSの実用化開発 を実施 **【WG1】**

①-(1) 慣性低下対策PCSの開発

慣性低下対策PCSの開発

- 設計・仕様検討
- 試作機製作



蓄電池向けPCS

- メーカー3社程度が参画予定
- 東京電力HDより外注

太陽光向けPCS

- 実用化に向けて難易度が高い。
- 蓄電池向けと並行して検討を実施。

ラボ試験

- 認証等を想定したラボ試験
- HILを活用した仮想実証試験



模擬系統試験

- 実規模の配電系統における試験
- ラボ試験では困難な試験を実施



①-(2) 慣性低下対策PCSの評価試験



アウトプット

- 標準機器仕様
- 系統連系規程等への反映に必要なデータ
- 試験法の作成

試作機改良

- 系統連系試験・要件への適合
- 標準機器要求仕様へ反映



①-(3) 慣性低下対策PCSの導入効果、影響評価検討

将来シナリオの検討・策定

IBRsの導入を踏まえた
需給シナリオ策定

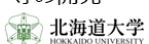


シナリオに基づく
次世代IBRの効果検証



系統解析技術開発・検証

系統縮約技術
等の開発



実効値解析モデルの開発
・系統安定性評価



基礎特性解析

瞬時値解析による特性評価



研究開発項目 I：疑似慣性PCSの実用化開発

再エネ主力電源化に向けた設備形態の変化により、短絡容量低下を含め、これまで解決してきた課題が再度顕在化

⇒再エネ主力電源化に伴う課題の網羅的な洗い出しと課題解決が必要

②再エネ導入地域グリッド実現に向けた課題解決に関する研究開発 を実施【WG2】

再エネ主電源
地域グリッド(地産地消)、離島



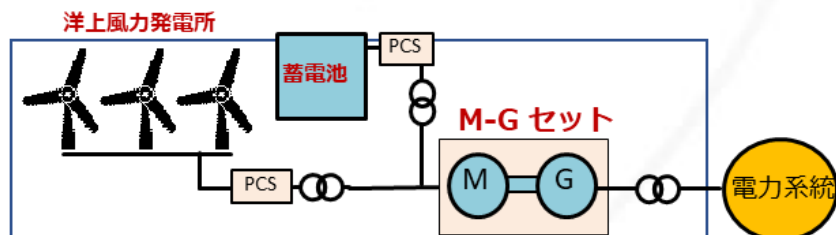
技術課題 (例)

- ・短絡容量低下
- ・系統慣性低下
- ・短周期変動
- ・長周期変動
- ・電圧フリッカ
- ・配電線の電圧変動

研究開発項目Ⅱ：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【WG3】

【M-Gセット適用例】

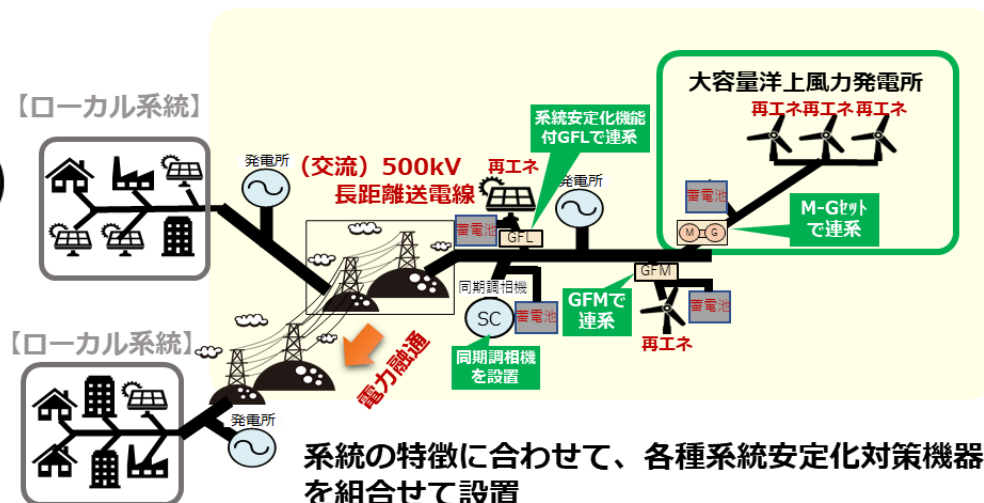


■ 電力系統側から見れば発電機のみが並列

➤ 系統事故時に電力系統側における特段の配慮が不要

**再エネ大量導入時の諸課題
を克服できる一つの方策**

再エネが主力電源化したときの基幹系統のイメージ



系統の特徴に合わせて、各種系統安定化対策機器を組合せて設置

研究開発のスケジュール



研究開発項目		2022	2023	2024	2025	2026	2027
疑似慣性PCSの実用化開発 ①高圧連系用慣性低下対策 PCSの実用化開発			設計・試作	試験・検証	改良	試験・検証	
疑似慣性PCSの実用化開発 ②再エネ導入地域グリッドの実現 に向けた課題解決に関する研究 開発		課題抽出	対策検討・検証	中間目標		最終目標	
M-Gセットの実用化開発			(インバータ) 試験準備 (M-Gセット) 試験		(インバータ) 試験	組合せ試験	
評価時期				中間評価			終了時評価
予算 (億円)	項目Ⅰ①：委託 項目Ⅰ②：委託 項目Ⅱ：委託	15.8 4.5	24.3 5.6	25.4 7.6	23.6 2.9	13.4 2.2	

(参考)アウトプット目標の設定及び根拠

研究開発項目	中間目標（2025年3月）	最終目標（2027年3月）	根拠
疑似慣性PCSの実用化開発	・疑似慣性PCSの試作を通じ、単独運転検出機能や事故電流供給機能の実現方法を確認し、要求仕様としてとりまとめる。 ・各電圧階級において、無効電力注入機能の必要性について整理する。	・とりまとめた要求仕様を踏まえ、単独運転を求められる時限（低圧1秒以内・高圧3秒程度以内）で遮断できること、事故電流を検出できること、系統電圧を維持できることを検証し、系統連系規程への反映に必要なデータを取得する。 ・必要に応じて、系統連系規程等の反映案を作成する。	本事業終了後、速やかに社会実装できるように、実効的な影響力を持つ系統連系規程への反映を念頭に、左記目標を設定した。
再エネ導入地域グリッドの実現に向けた課題解決に関する研究開発	・地域グリッドの実現に必要な机上検討や計算機シミュレーション、検証試験などに必要な課題を整理する。 ・机上検討や検証試験、実測データの調査等により、対策方式・対策ツールを開発する。 ・地域グリッドに関する課題抽出、個々の対策技術（機器、システム、手法）の開発を完了する。	・2025年度以降、新たに必要な課題が見つかった場合はその課題を整理し、検討手法やツールを開発する。 ・技術的な要件を整理するとともに、推奨されるマイクログリッドの構成や運用方法を示し、それらをガイドラインや法規類に反映するための検討を行う。	本事業終了後、速やかにガイドラインや関連法規類に反映することを念頭に、左記目標を設定した。
M-Gセットの実用化開発	・再エネと蓄電池を伴うM-Gセットシステムを開発し、仮想同期機(VSG)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。	・M-Gセット、VSG、同期調相機に、複数の疑似慣性PCSを連系した際にも、系統事故時に適切な動作を行うことを検証する。 ・必要に応じて、系統連系規程等の反映案を作成する。	慣性低下対策が必要な系統が抱える安定性課題に対し、最適な機器を選定し、速やかに対策機器を導入できるよう、左記目標を設定した。

アウトプット目標の達成状況

研究開発項目 I – ①疑似慣性PSCの実用化開発

蓄電池向けPCSについて、ユースケースを作成し、要求仕様案をとりまとめた。

【蓄電池向けPCS】

GFM) 海外事例等や委員会における専門家のご意見を参考にGFMのユースケース、要求仕様案を整理。

S-GFL) 前NEDO事業にて系統連系試験を概ねクリアしており、海外要件を参考にFFR要件を整理。

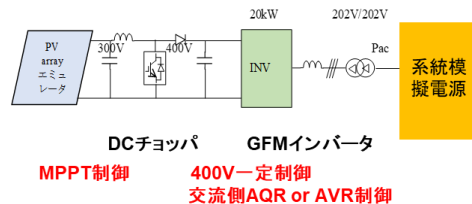
(ユースケース) → (要求仕様案)

ユースケース	分類案	個別要求仕様案
1. 一般要件	電源の動作領域内での定常運転状態（非擾乱系統状態）および系統擾乱（電圧振幅、電圧位相角、周波数の擾乱を含む）の発生時に、個々のユニット端子において、物理的なアクタンスの背後で電圧源として動作すること。指定した有効電力及び無効電力（もしくは力率一定制御）により連続運転可能なこと。	
2. 同調発電機減少に伴い、系統の慣性が低下し、周波数維持が困難となる	同調発電機減少に伴い、系統の慣性が低下し、周波数維持が困難となる	ユニットの電流制限を超えない限り、ユニット端子における過渡的な周波数偏差を低減させる能力があること。低減させる能力とは、同期機と同等の慣性応答を模擬することで系統擾乱時には瞬時に有効電力を提供すること。また、系統擾乱後に有効電力が適切に減衰するように設計すること。
3. 電圧位相維持能力	同期発電機（電圧源）減少に伴い、電圧維持が困難となる	ユニットの電流制限を超えない限り、ユニット端子における過渡的な正相電圧位相角および電圧振幅が変化する場合、内部電圧源の電圧位相角及び振幅を維持する能力があること。その維持能力とは、同期機と同等の電圧制御を模倣することで系統擾乱時には瞬時に有効電力および無効電力を提供すること。また、上記に加えて定常的には力率一定制御が可能となること。ただし、将来に備えて力率一定制御は無効化できること。
4. インバータ起因による高調波出力電流、高調波耐量、電圧フリッカ対策	高調波出力電流、高調波耐量、電圧フリッカ対策	ユニットの高調波出力電流を総電流定率5%、各次電流定率3%以下とすること。 継続協議 ユニットの電圧フリッカレベル（ΔV10）を0.23V以下に維持すること。

（注）インバータの出力電流が系統の電圧変動に対して十分な余裕を有すること。

【太陽光向けPCS】

電圧制御型で、周波数低下時に発電出力を増加させる機能を要求仕様とし、20kW試作機を作成し、力率運転、FRT対応等の基本動作について確認。



【評価試験】

ラボ試験) 基本試験とPHIL試験の2つの試験方法を検討。GFMの実用化に求められる要求仕様案から、ラボ試験項目案を策定し、1社目のラボ試験を開始。

模擬系統試験) 過去のNEDO事業の実証試験を参考に、ユースケース検討・機器仕様・ラボ試験項目を踏まえて試験項目の絞込、内容の具体化を検討。

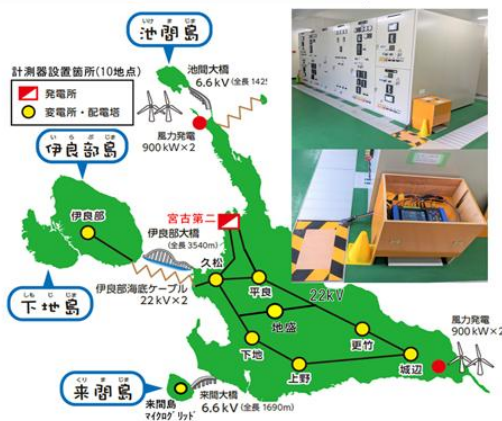
研究開発項目 I - ②

再エネ導入地域グリッドの実現に向けた課題解決に関する研究開発

机上検討や検証試験、実測データの調査等により、対策方式・対策ツールを検討した。

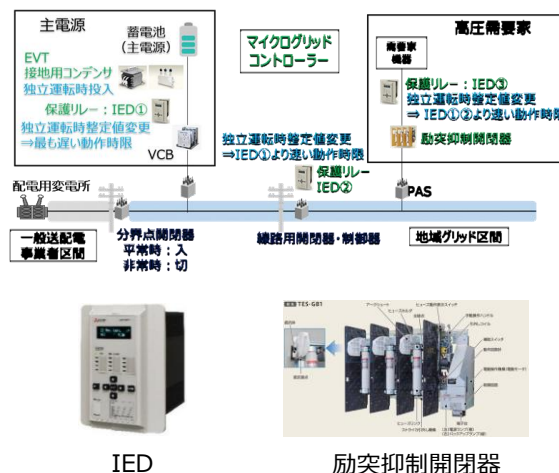
【再エネ導入地域グリッドの課題の整理】

地域グリッド系統での課題を整理するため、運開中の宮古島の地域グリッドにおける実測データ計測・分析を開始。また、送配電網協議会にて検討した課題とも整合をとり、一部確認検証試験やシミュレーションにより課題を確認。



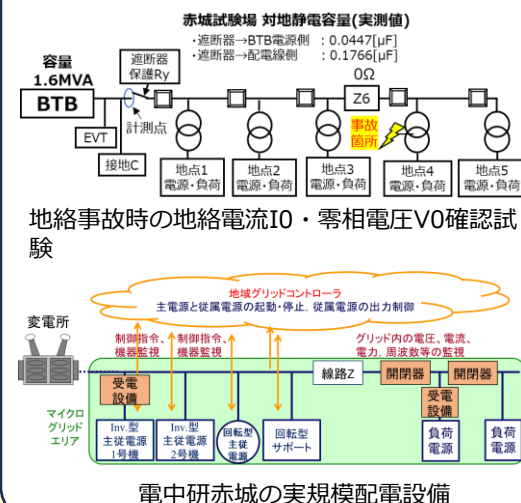
【再エネ導入地域グリッドの課題への対策方式の検討】

来間島と国内地域グリッドにおける系統構成、システム構成、運用方法等を調査。海外調査で確認した対策をまとめ、課題に対する対策方式を検討し、対策手法の妥当性確認のため、短絡・地絡事故シミュレーション等の検証試験を実施。



【再エネ導入地域グリッドの課題への対策案の検証・評価】

電中研赤城にて課題抽出試験を行い、一部対策方式の試験を実施。また、対策装置・対策システムを設計し、各種試験を行った。

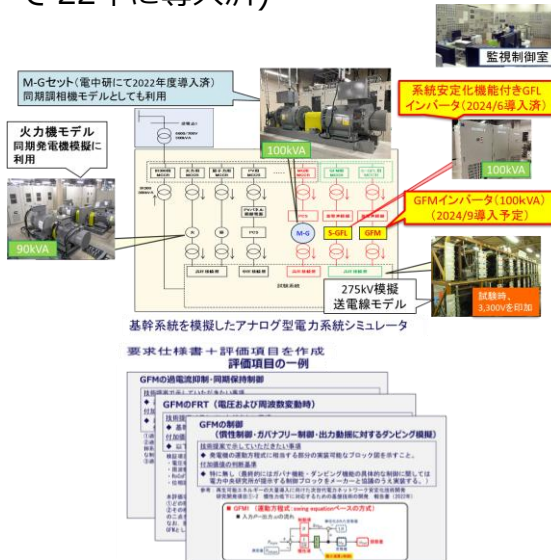


研究開発項目Ⅱ M-Gセットの実用化開発

実験環境構築を進めるとともに、単体試験実施により各機器の基本的特性を把握した。

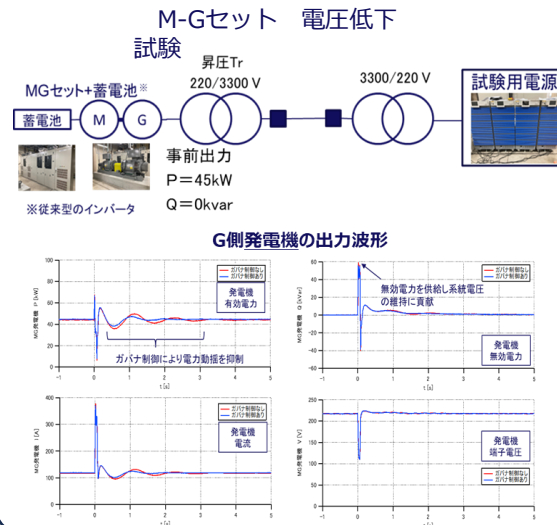
【各種系統安定化対策の実験環境構築】

S-GFL/GFMインバータは、メーカ技術提案内容をベースに試験や周辺装置を考慮し、機器仕様、制御ロジックを決定。S-GFLインバータは'24/6月に導入済。（M-Gセットは電中研にて'22年に導入済）



【各種系統安定化対策の実験的検証】

電力系統シミュレータ設備により、電圧低下試験、周波数低下試験（単体試験）を行い、各機器（M-Gセット、同期調相機、蓄電池）の基本的特性を把握。また、制御系を含めた動作確認により、M-Gセットの技術的成立性を検証した。

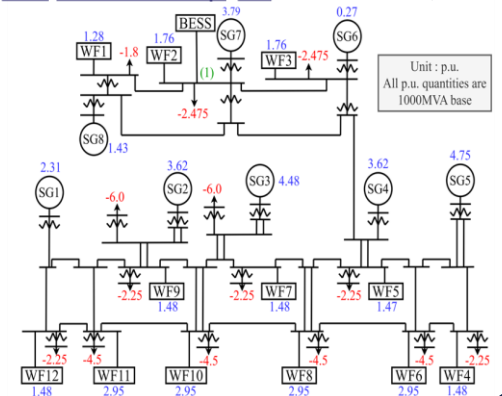


【各種系統安定化対策の電力系統への導入に関わる解析的検討】

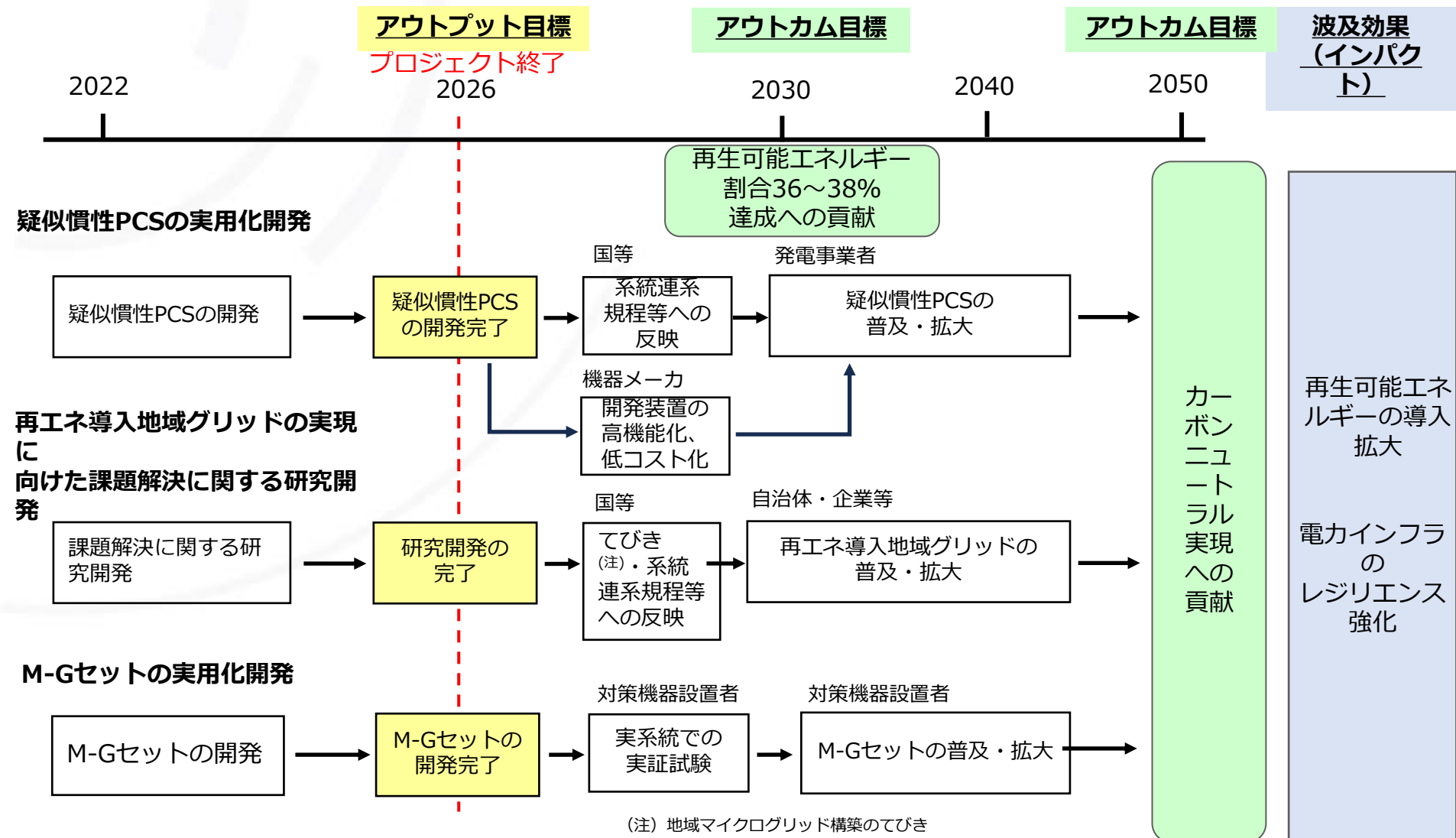
蓄電設備を持たない再エネ用GFMの制御法の基礎理論を構築し、シミュレーションにより、周波数安定化効果を確認した。

また、S-GFL・既存GFM（Droop制御・仮想同期発電機制御）を適用した蓄電池と比較を行い、再エネ用GFMの得失について明らかにした。

S-GFL・既存GFM (VSG, Droop) とVGCの比較:シミュレーション解析例



アウトカム達成までの道筋



END