

「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／①-2, ②-1, ②-2」
(事後評価)

プロジェクト概要 (分科会資料抜粋)

評価分科会開催：2022年9月27日 (火)

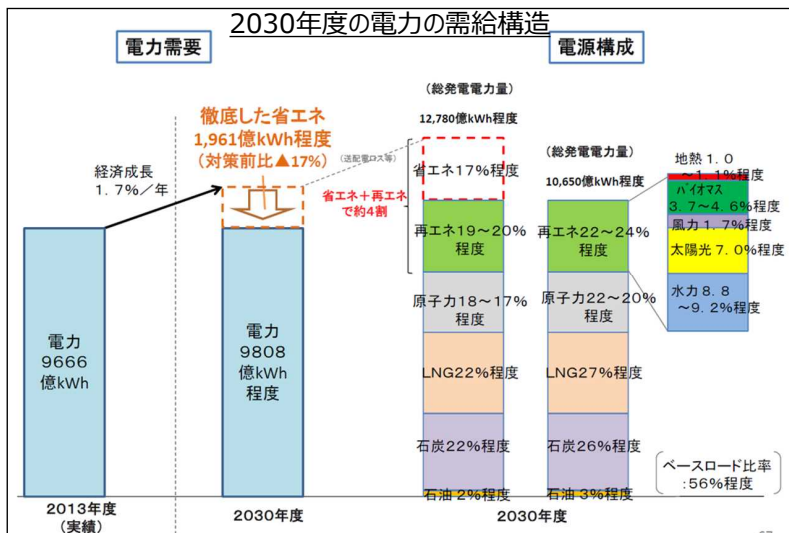
NEDO スマートコミュニティ・エネルギーシステム部

公開

I. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆事業実施の背景と事業の目的

- 2018年7月に閣議決定された第5次エネルギー基本計画では、エネルギーの安定的な確保と温室効果ガス削減に向けて、再生可能エネルギーの導入拡大は重要だが、**系統制約が顕在化しつつある。**
- **系統制約の克服、調整力の確保、低コスト化等の研究開発、次世代型の送配電ネットワークに転換等**が示されている。



出典：「長期エネルギー需給見通し」、経済産業省、2015年7月

◆政策的位置付け

第6次エネルギー基本計画 (2021年10月22日に閣議決定)

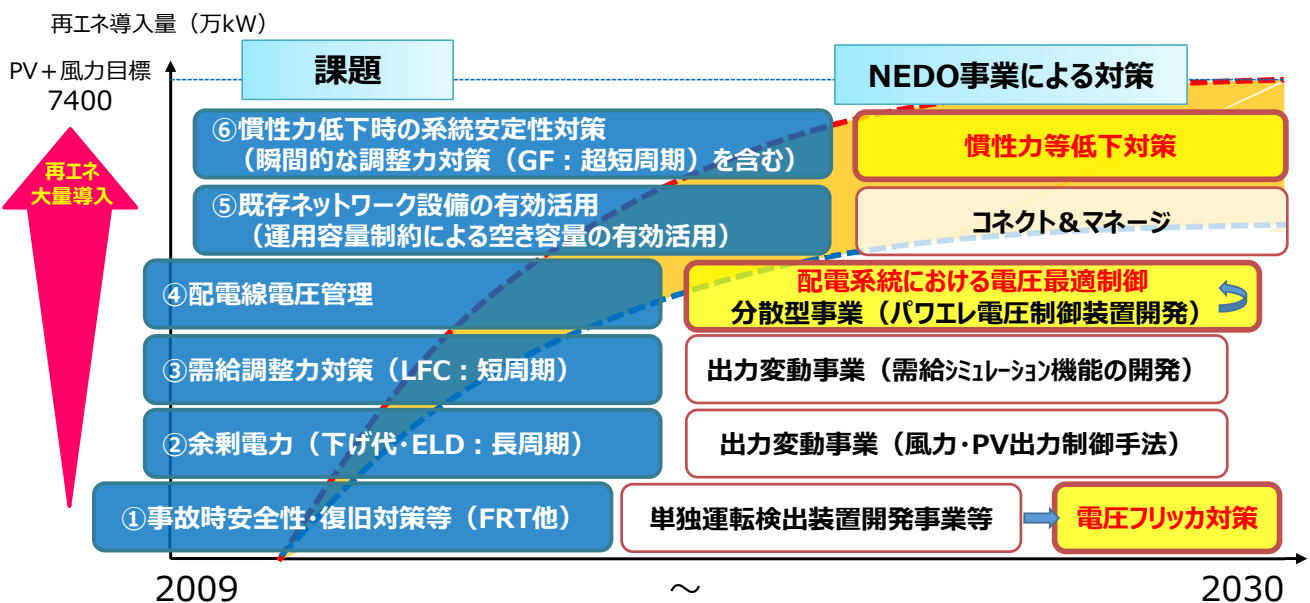
- 2030年度の総発電電力量のうち**再生可能エネルギーの割合は36～38%程度**。
- 再生可能エネルギーの最大限の導入に向けて、再生可能エネルギーのポテンシャルの大きい地域と大規模消費地を結ぶ系統容量の確保や、太陽光や風力といった自然変動電源の出力変動への対応、電源脱落等の緊急時における系統の安定性の維持といった**系統制約の克服も非常に重要であり、最大限取り組んでいく**。
- 今後、直流で発電される自然変動電源の導入拡大に伴い、電子機器であるインバータによって直流の波形で発電された電気を交流の波形に形成する非同期電源（太陽光・風力・蓄電池等）の系統に占める割合が高まる中、足下から系統の安定性を確保するためのデジタル技術等を活用した系統運用高度化に向けた取組を進める必要がある。具体的には、当面は同期電源の運転によって安定性を維持しつつ、同期調相機等の設置や**疑似慣性機能等を具備したインバータの導入などのための技術開発や制度的な検討を進める**ことで、同期発電機の減少に伴う**慣性力不足等の技術的な要因により、系統の突発的なトラブル時に生じる広範囲の停電リスク等の低減**を図る。

⇒**疑似慣性機能等を具備したインバータの導入などのための技術を推進**。

◆技術戦略上の位置付け・他事業との関係

NEDOでは、これまで再エネ比率が増えることにより現れる様々な課題について、顕在化する前に適切に対応してきた。本事業では、**慣性力等低下対策、配電系統における電圧最適制御、電圧フリッカ対策技術を開発**。

■再エネ大量導入に向けた主な課題と対策事業の推移



◆技術戦略上の位置付け・他事業との関係

- 2018年度に終了した「電力系統出力変動対応技術研究開発事業」の後継として①-2慣性力テーマを、「分散型エネルギー次世代電力網構築実証事業」の後継として②-1配電制御、②-2高圧フリッカのテーマを実施。
- ①-2慣性力と②-1配電制御の成果を踏まえて、2022年度から「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」を実施。

H26fy (2014)	H27fy (2015)	H28fy (2016)	H29fy (2017)	H30fy (2018)	H31fy (2019)	R2fy (2020)	R3y (2021)	R4fy (2022)	R5fy (2023)	~R8fy (2026)		
電力系統出力変動対応技術研究開発事業 (2014~2018)					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事業 (2019~2023)							
分散型エネルギー次世代電力網構築実証事業 (2014~2018)					【送電系統】 ①-1 日本版コネクト&マネージを実現する制御システムの開発 ①-2 慣性力等の低下に対応するための基盤技術の開発 【配電系統】 ②-1 配電系統における電圧・潮流の最適な制御方式の開発 ②-2 高圧連系PCSにおける電圧フリッカ対策のための最適な単独運転検出方式の開発						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)	
次世代洋上直流送電システム開発事業 (2015~2019)						多用途多端子直流送電システムの基盤技術開発 (2020~2023)				電力系統の混雑緩和のための分散型エネルギーリソース制御技術開発 (2022~2026)		

◆NEDOが関与する意義

- 本事業の開発技術（慣性力、配電制御、高圧フリッカ）は、第5次及び第6次エネルギー基本計画に明記された「系統制約の克服」に関するものであり、2030年での再生可能エネルギー導入率36~38%（第5次エネルギー基本計画では22~24%程度）の達成に向けて必要不可欠の基礎技術である。（社会的必要性：大）
- 電力制度改革及び系統増強計画等と歩調を合わせてシステムや機器開発を行う必要があり、民間だけの対応では、実現が難しい。
- 実施事業者のみでなく、全国の一般送配電事業者や発電事業者にも裨益する。
- 産学連携体制で本事業を確実に遂行するため、NEDOが課題解決に向けてプロジェクトをマネジメントすることが必要。



系統制約の克服に関する取り組みは我が国共通の喫緊の課題であり、NEDOが関与し、解決を主導する必要性の高い事業である。

◆研究開発目標と根拠

	研究開発目標	根拠
<p>研究開発項目① – 2 慣性力等の低下に対応するための基盤技術の開発</p>	<p>(1) 慣性力等が把握可能な常時監視システムの基盤技術開発 ・PMUを用いた電力会社間でデータ比較・検証が可能な常時監視システムの開発に必要なデータが取得及び分析ができていないこと。また開発時に必要となる要求仕様がまとめられていること ・2つ以上のアプローチを検証した上で、電力系統の慣性力等を把握するための基盤的な手法が開発されていること</p> <p>(2) 慣性力等を備えた制御装置の基盤技術開発 ・慣性力等を備えた制御装置について、従来の電力システムと接続可能な機能を有し、必要な慣性力等低下対策機能を備えている基盤的な手法が開発されていること。また開発時に必要となる基本的な要求仕様がまとめられていること</p>	<p>3年間で実現可能であり、本基盤技術開発において最低限実現すべき中核的な部分として、系統の慣性力等を把握するための(1)常時監視システムと、慣性力を提供するための(2)制御装置に分けて、左記目標を設定した。</p>

◆研究開発目標と根拠

	研究開発目標	根拠
<p>研究開発項目② – 1 配電系統における電圧・潮流の最適な制御方式の開発</p>	<p>・需要能動化及び自家消費進展後の状況において、配電線全体の電圧・潮流の適正化を図ることを目的に、需要家側リソースも制御対象に取り入れ、配電線全体で需要家側リソースと系統側の電圧調整機器(SVR、TVR、SVC等)の制御量を適切に分担する2つの制御方式(ローカル制御方式及び集中制御方式)を開発すること ・開発する制御方式は配電系統の電圧・潮流を適正(101V±6V以内、過負荷無し)に維持可能であること</p>	<p>日本の配電系統において、将来を見据え、最小限のコストで効果的な配電系統を実現するために最低限必要な部分として、左記目標を設定した。</p>
<p>研究開発項目② – 2 高圧連系PCSにおける電圧フリッカ対策のための最適な単独運転検出方式の開発</p>	<p>・インバータによる高圧連系の単独運転検出に関して、系統の電力品質を確保しつつ、求められる時限(3s程度)以内に検出できる方式について、実験環境での検証を行い、系統連系規程への反映に必要なデータを取得できていること</p>	<p>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。</p>

◆プロジェクト費用

- 3年間のプロジェクト費用は約42億円

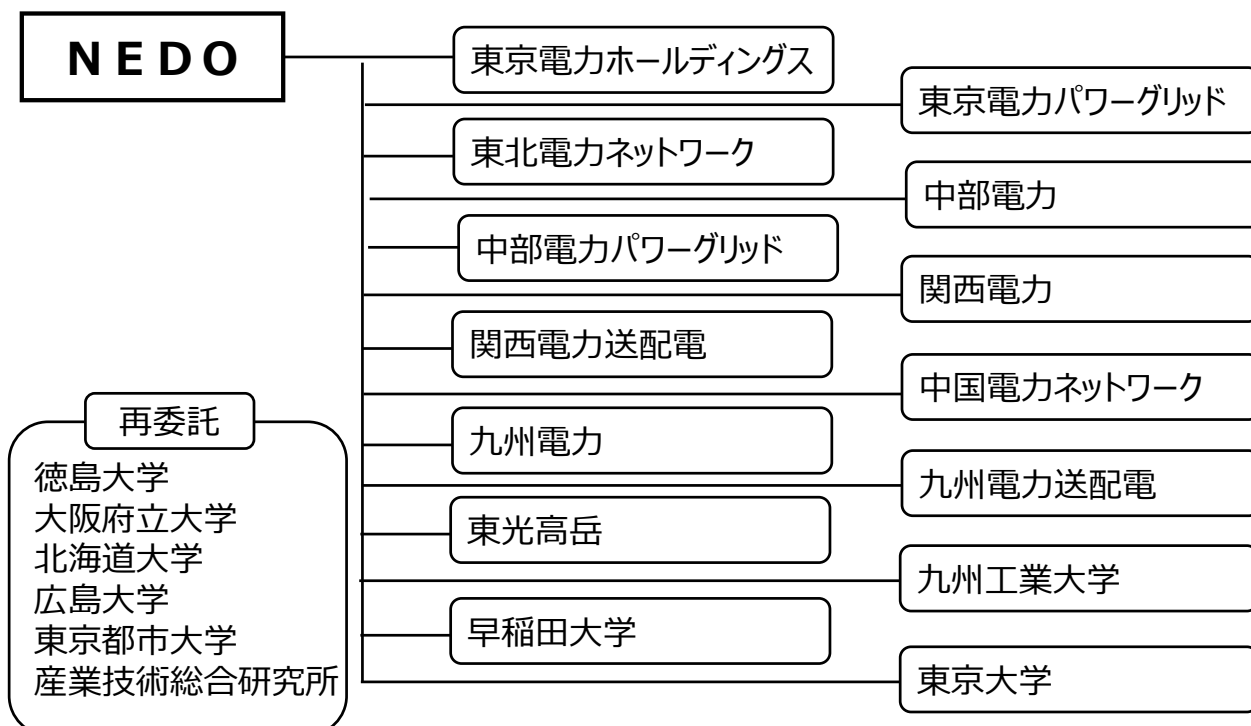
研究開発項目ごとの費用

単位：百万円

年度	2019	2020	2021	合計
①－2 慣性力	942	704	1,257	2,903
②－1 配電制御	289	560	258	1,107
②－2 高圧フリッカ ※1/2助成のため NEDO負担額は1/2	49	79	67	195
合計	1,280	1,344	1,583	4,207

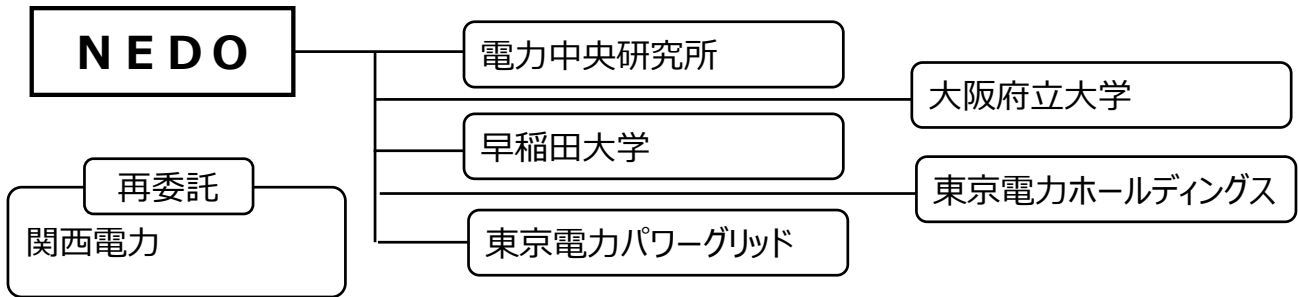
◆研究開発の実施体制

①－2 慣性力等の低下に対応するための基盤技術の開発

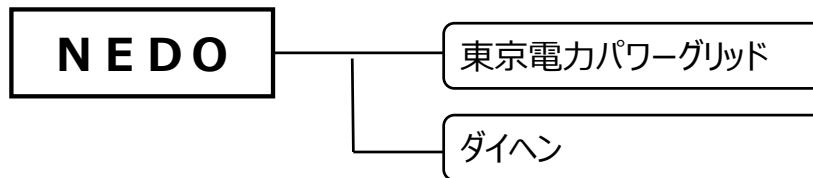


◆研究開発の実施体制

②-1 配電系統における電圧・潮流の最適な制御方式の開発



②-2 高圧連系PCSにおける電圧フリッカ対策のための最適な単独運転検出方式の開発



◆研究開発の進捗管理

- NEDOはPL及びSPLとともに、テーマごとに設置された検討委員会及びWGに参加して進捗を確認。これらの委員会等では、これまでの成果と今後の計画を紹介し、内容に対応した外部有識者による質疑応答を実施し、必要に応じて軌道修正を図りつつ推進。
- また、事業終了後に速やかに社会実装することを念頭に関連する団体にオブザーバー参加を依頼。例えば、①-2 慣性力では、事業に参加していない4電力会社（一般送配電事業者）がオブザーバー参加することで、全10電力会社+電事連・送配協にタイムリーに情報が共有されるようになっている。

項目	名称	回数	主なオブザーバー等
①-2 慣性力	検討委員会	6回	経済産業省、電気事業連合会、送配電網協議会、北海道電力送配電、北陸電力送配電、四国電力送配電、沖縄電力、日本電機工業会、太陽光発電協会
	推定手法WG (WG1)	6回	経済産業省
	評価・対策装置WG (WG2)	6回	経済産業省、日本電機工業会
②-1 配電制御	検討委員会	6回	経済産業省
②-2 高圧フリッカ	検討委員会	6回	経済産業省、日本電機工業会、電気安全環境研究所、電力中央研究所、九州電力送配電

◆ 動向・情勢の把握と対応

経済産業省やOCCTOの各種委員会における再エネ大量導入に対応する系統連系ルールの見直し等に関する動向と情勢を把握し、以下の対応を実施。

情勢	対応
グリッドコード検討会の設置と議論への貢献 (2020年9月) OCCTOに、再エネ大量導入に必要となるグリッドコードを検討する「グリッドコード検討会」が設置された。	・②-1の事業者がグリッドコード検討会に事業成果を提供し、系統連系技術要件が改定されることになった。 ・NEDOとしても、国際ワークショップ「NEDO/IEA PVPS Task14 Grid Code and RfG Workshop」を開催し、我が国のグリッドコードの議論の活性化に貢献(2019年11月)
第6次エネルギー基本計画の策定 (2021年10月) 「系統制約の克服も非常に重要であり、最大限取り組んでいく。」と記載。 「疑似慣性機能等を具備したインバータの導入などのための技術開発」が明記。	・②-1で取得した需要家データ(150世帯)について、事業終了後に統計処理して公開。これにより、当該分野の研究の活性化に貢献。 ・①-2の事業について、2022電気学会全国大会において、慣性力に関するシンポジウムを開催し、我が国の議論の活性化に貢献。

◆ 知的財産権等に関する戦略、知的財産管理

✓ オープン/クローズ戦略の考え方

	非競争域	競争域
公開	①-2慣性力(常時監視システムの要求仕様・疑似慣性PCSの基盤技術) ②-1配電制御(系統連系要件) ②-2高圧フリッカ(系統連系要件)	②-2高圧フリッカ(単独運転検出方式)
非公開	②-1配電制御(需要家データの生データ)	②-2高圧フリッカ(単独運転検出装置)

積極的に権利化

ノウハウとして秘匿

標準化を推進

- ①-2慣性力(常時監視システムの要求仕様・疑似慣性PCSの基盤技術)、②-1配電制御(系統連系要件・需要家データ)、②-2高圧フリッカ(系統連系要件)は非競争領域であり、系統連系規程への反映などの標準化を推進
- ②-2高圧フリッカ(単独運転検出方式)は権利化
- ②-2高圧フリッカ(単独運転検出装置)はノウハウとして秘匿。

✓ 知的財産管理

「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」に基づき

- 知財合意書を再委託先を含む全事業者間にて取り交わし、特許を受ける権利の帰属、大学等と企業の共有特許、事業内での実施許諾、等を規定
- 知財運営委員会を組織し、特許申請について審議・認定を実施

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

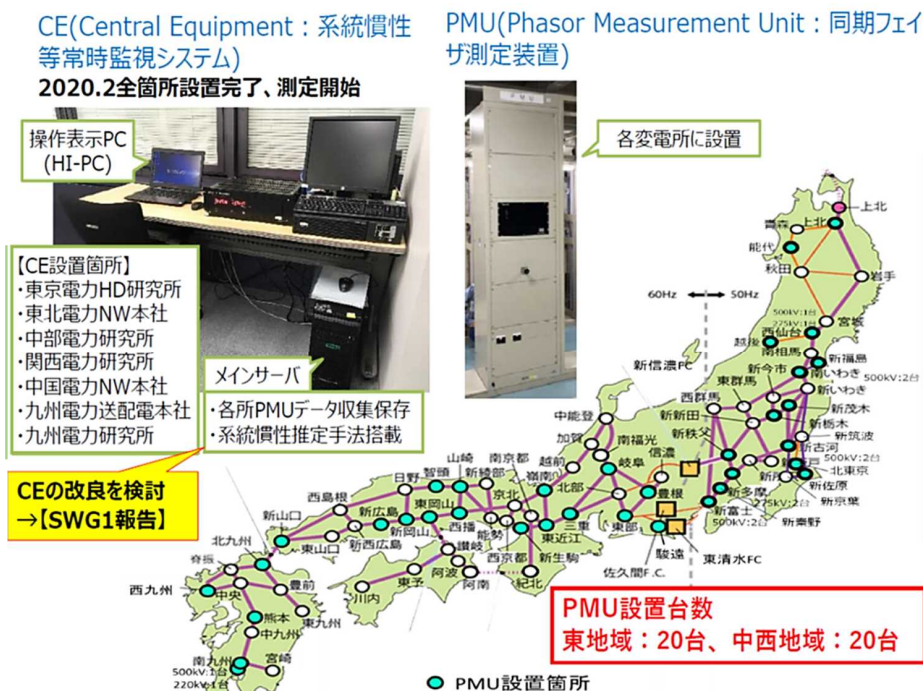
開発成果と達成度			
主な内容	目標	成果	達成度
①-2 慣性力等の低下に対応するための基盤技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> PMUを用いた電力会社間でデータ比較・検証が可能な常時監視システムの開発に必要なデータが取得及び分析ができていること。また開発時に必要となる要求仕様がまとめられていること 2つ以上のアプローチを検証した上で、電力システムの慣性力等を把握するための基盤的な手法が開発されていること 慣性力等を備えた制御装置について、従来の電力システムと接続可能な機能を有し、必要な慣性力等低下対策機能を備えている基盤的な手法が開発されていること。また開発時に必要となる基本的な要求仕様がまとめられていること 	<ul style="list-style-type: none"> 各電力会社に設置したPMUデータはほぼ欠落なく取得でき、搭載した系統慣性等推定手法により30分毎に慣性、安定度推定を実施することができた。構築したシステムをもとに開発時に必要となる要求仕様をまとめ、更には要件定義（業務要件、機能要件、非機能要件）と、システムを構築するために必要な機能仕様についても整理した。 基盤的な手法として高速フーリエ変換（FFT）手法を選定。さらに異なるアプローチとしてクープマンモード分解（KMD）手法と、電源脱落時のRoCoFから算出した慣性推定値とも比較検証を実施。FFT手法、KMD手法、RoCoFから推定の3手法について検証し、いずれも慣性推定値が慣性積上げ値より大きな値で同様に推移することから慣性積上げ値以外の系統への寄与分が一定程度存在する可能性が示唆された。 慣性低下対策PCSの開発に取り組み、プロトタイプを製作・評価し、基盤的な手法開発を完了した。また、製作・評価を通じて得られた知見をもとに、慣性低下対策PCSの標準的な機器仕様、試験法をとりまとめた。電流制御方式（GFL）の基盤的开发完了に加え、電圧制御方式（GFM）についてもGFLに比べ良い対策効果を確認するとともに今後の実用化に向けた課題を整理した。 	◎

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、△ 一部達成、× 未達

◆研究開発の内容

①-2 慣性力等の低下に対応するための基盤技術の開発

- Phasor Measurement Unit (PMU)を全国40カ所に設置し、測定データを複数の手法で分析して慣性力を推定。得られた結果から、慣性力の常時監視システムを構築するための要求仕様をまとめて、全一般送配電事業者に共有。



◆研究開発項目毎の目標と達成状況

開発成果と達成度			
主な内容	目標	成果	達成度
②-1 配電系統における電圧・潮流の最適な制御方式の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・需要能動化及び自家消費進展後の状況において、配電線全体の電圧・潮流の適正化を図ることを目的に、需要家側リソースも制御対象に取り入れ、配電線全体で需要家側リソースと系統側の電圧調整機器 (SVR、TVR、SVC等) の制御量を適切に分担する2つの制御方式 (ローカル制御方式及び集中制御方式) を開発すること ・開発する制御方式は配電系統の電圧・潮流を適正 (101V±6V以内、過負荷無し) に維持可能であること 	<ul style="list-style-type: none"> ・自端制御方式、強化学習を用いた制御方式、ローカル自立制御方式、集中制御方式の4つの制御方式についてシミュレーションで基本的な特性を検証し、それぞれの効果を確認した。また、再エネ大量導入に伴い、需要の密度が高く、その変化も激しくなる将来において効果的と考えられるローカル自立制御方式について、通信の応答性や需要家側設備との制御干渉等のシミュレーションで検証が難しい事項についても問題が無いことを確認した。 ・現行の力率一定制御手法では、再エネ導入が進んだ場合に電圧逸脱発生の可能性があるが、状況に応じて力率一定値を変更することにより、再エネ大量導入下でも電圧を適正に維持できることを示した。本成果はグリッドコード検討会における根拠として活用され、今後グリッドコードに規定される高低圧 PCS の力率一定制御については、「力率設定値の変更を可能とする機能を有し一般送配電事業者の求めに応じて変更する」ことが定められることとなった。 	◎

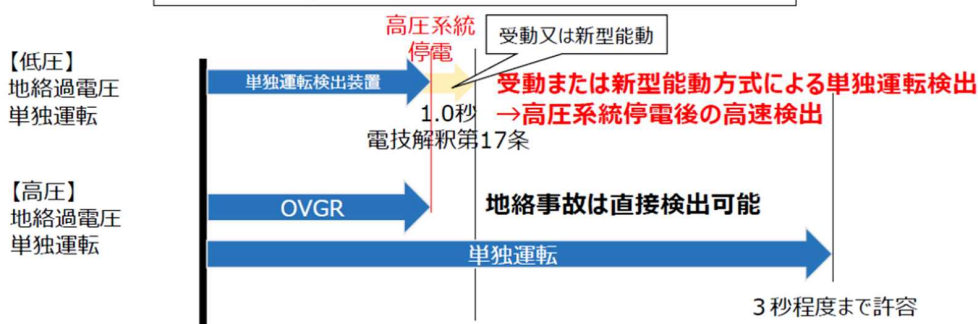
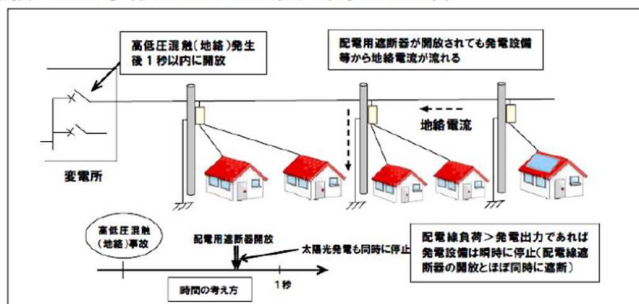
◎ 大きく上回って達成、○ 達成、△ 一部達成、× 未達

◆研究開発の内容

②-2 高圧連系PCSにおける電圧フリッカ対策のための最適な単独運転検出方式の開発

- 高速性が求められていない高圧連系PCSの単独運転検出機能について、系統連系規程等への反映を見据え、系統の電力品質を確保しつつ求められる時限 (3秒程度) 以内に検出できる方式を検討。

○ 高低圧混触・地絡事故における保安に関する要件



◆研究開発項目毎の目標と達成状況

開発成果と達成度			
主な内容	目標	成果	達成度
②-2 高圧連系 PCSに おける電 圧フリッカ 対策のため の最適な 単独運 転検出方 式の開発	・インバータによる高圧連系の単独運転検出に関して、系統の電力品質を確保しつつ、求められる時限(3s程度)以内に検出できる方式について、実験環境での検証を行い、系統連系規程への反映に必要となるデータを取得できていること	➤ 実機試験および系統状況（新型・従来型の割合、系統インピーダンス、能動方式）を変更した数値シミュレーションを通して、高圧連系PCSによるフリッカの発生条件を整理し、適切な無効電力注入量を評価した。能動信号（無効電力）に頼らない単独運転検出方式（フリッカ判別付周波数変化率方式）を提案し、方向性を見出すことができた。	○

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、△ 一部達成、× 未達

◆成果の普及

● 機密性の高い情報の取り扱い等を考慮しつつ、積極的に学会・論文発表を実施。

	2019年度	2020年度	2021年度	以降	計
研究発表・講演	8件	27件	37件	8件	80件
論文	0件	3件	4件	5件	12件
受賞実績	0件	4件	0件	0件	4件
プレス発表等	10件	1件	0件	0件	11件

◆知的財産権の確保に向けた取組

- 知的財産権等に関する戦略のとおり、①-2慣性力（常時監視システムの要求仕様・疑似慣性PCSの基盤技術）、②-1配電制御（系統連系要件・需要家データ）、②-2高圧フリッカ（系統連系要件）は非競争領域であり、系統連系技術要件や系統連系規程への反映などの標準化を推進。
- また、①-2慣性力（常時監視システムの情報処理装置）と②-2高圧フリッカ（単独運転検出方式）は権利化。

	2019	2020	2021	2022	2023	計
特許出願	1	10	4	-	-	15

※2022年8月30日現在

Ⅳ. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し

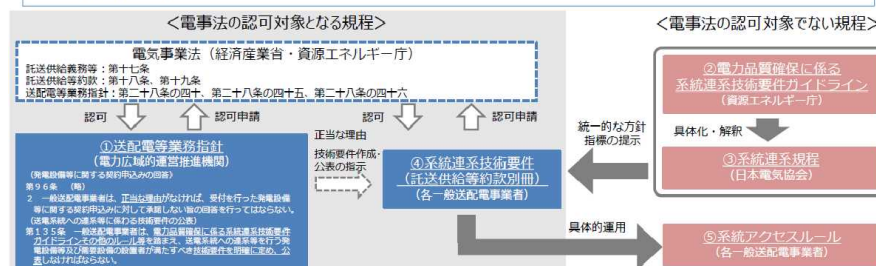
- ①-2慣性力及び②-1配電制御は、疑似慣性PCSの成果を中心に、後継事業「再生可能エネルギーの主力電源化に向けた次々世代電力ネットワーク安定化技術開発(2022～2026)」を経て社会実装し、2030年の再エネ導入目標達成に貢献していく。
- ②-2高圧フリッカについては、本事業で取得した特許及び整理した系統連系規程等へ反映する事項を具体的に進め、早期実用化を目指す。
- なお、いずれの項目も確実に社会実装するためグリッドコードに反映することを念頭に推進していくことから、本成果が今後実用化・事業化される確かな見通しがある。

Ⅱ. グリッドコードについての整理

12

<日本における系統連系に係る現行の規程とそれらの関係>

- 現行の系統連系に係る規程は、電気事業法第17条に規定する託送供給義務（オープンアクセス）等のもと、以下の5つの規程から構成されている。
 - ① 「送配電等業務指針」（電力広域的運営推進機関）
 - ② 「電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン」（資源エネルギー庁）
 - ③ 「系統連系規程」（日本電気協会）
 - ④ 「系統連系技術要件（託送供給等約款別冊）」（各一般送配電事業者）
 - ⑤ 「系統アクセスルール」（各一般送配電事業者）
- 各規程は、策定主体、電気事業法上の根拠規定の有無、経済産業大臣の認可の要否等が異なる。



【出所】第20回 総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会 新エネルギー小委員会 系統ワーキンググループ（2019年3月18日）資料1

- ①-2慣性力（常時監視システム）：技術的な課題は残っていないことからシステム実装可能。電力広域的運営推進機関における系統慣性の閾値の考え方等の議論を踏まえた上で、実用化していく。当面は事業者が推定精度向上等について継続的に研究開発を実施予定。
- ①-2慣性力（疑似慣性PCS）：2022年度から「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」として実用化開発を実施。電流制御方式（GFL）は2024年度頃までに開発を終えて実用化を推進し、電圧制御方式（GFM）は2026年度まで開発し、その後社会実装を進める予定。（下図参照）

疑似慣性PCSの今後の開発予定



ルール整備（系統連系規程、認証試験等）必要期間：一般的に2~3年
 ⇒本事業により必要な時期（2030年度）までに社会実装を想定

- ②-1配電制御：本事業の成果を踏まえて、2025年4月（詳細仕様確定の2022年4月を起点に3年間）に系統連系技術要件が改定され、社会実装される予定。（議論内容は下図参照）また、疑似慣性PCSによる配電系統の高度化として、本テーマの課題は「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」に引き継がれている。
- ②-2高圧フリッカ：今後、事業者が「電圧フリッカを発生させない単独運転検出方式」を実系統で検証するとともに、本事業で整理した系統連系規程等へ反映する事項を具体的に進める。また、より汎用的で実用的なPCSとして、疑似慣性機能と単独運転検出機能の両方を備えたPCSの開発も進める。

グリッドコードへの開発成果の反映に係る検討

1. 個別技術要件「電圧変動対策(力率設定)」の検討 ①論点整理	3	1. 個別技術要件「電圧変動対策(力率設定)」の検討 ⑤比較・検討結果	10
<p>現在の対応状況</p> <ul style="list-style-type: none"> 2008年に政府から、低炭素社会の構築に向けて2030年までの太陽光発電設備の導入見通しが示され、PV導入拡大に伴い発生する配電線への逆流による電圧上昇問題への対策として、PCSの力率一定制御の有効性が示され、系統連系規程（JEAC9701）に規定・整備されてきた（高圧：2013年、低圧：2015年）。また、普及拡大が見込まれた低圧PVについては標準的な力率値を決定すべく、関係団体による長期エネルギー見通しに基づいた2030年の導入量を前提とした検討が実施され、標準的な力率値（95%※）が2017年同規程に規定された。（高圧PVの力率値は一送との協議による）※将来的な技術開発や導入量の動向により、標準的な力率値の見直しやPV以外の発電設備の標準的な力率値を設定することも必要となる、とされている。 <p>2030年時点で想定される課題、その後の課題と提言</p> <ul style="list-style-type: none"> 現在検討中のNEDO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／研究開発項目②-1 配電系統における電圧・潮流の最適な制御方式の開発（2019年度～2021年度）」において、再生可能エネルギーの出力による電圧変動を助長し、再生可能エネルギー電源等が連鎖的脱落することを回避する。（発電機電圧損失の低減）。なお、新たに対策としてかかる費用は小さく、費用対効果は非常に大きい。 <p>要件化の必要性およびメリット</p> <ul style="list-style-type: none"> 系統連系技術要件に、系統連系規程（JEAC9701）の要件、および力率設定値の変更を可能とする機能を有し一送の求めに応じて変更することによって実効性が高まる。 再生可能エネルギー電源の導入拡大に伴い、再生エネルギーの比率が高まり、大型・集中電源の調整能力が減少した状況において、再生可能エネルギー電源の出力により電圧変動を助長し、再生可能エネルギー電源等が連鎖的脱落することを回避する。（発電機電圧損失の低減）。なお、新たに対策としてかかる費用は小さく、費用対効果は非常に大きい。 		<p><検討モデル></p> <p>【検討モデル選定理由】 NEDO事業「研究開発項目②-1 配電系統における電圧・潮流の最適な制御方式の開発（短中期フェーズ）」</p> <ul style="list-style-type: none"> -太陽光発電大量連系時の現行対策の効果と課題抽出 -中期的な太陽光発電普及時の需要家側対策の高度化による対策効果検証 <p>【検討方法】 定量評価（解析実施）</p> <ul style="list-style-type: none"> 標準的な配電システムモデルを設定し、下記の条件によりPVによる電圧上昇計算を実施 -電協研「第66巻第1号配電系統における力率問題とその対応等」のモデルを基に標準的な配電システム構築 -標準的な系統と厳しめな系統を選定 -PV導入量は、2030年64GW（METI長期エネルギー需給見通し）、2040年99GW（IEA WEO 2020 公表政策シナリオ）を基にした標準ケースを基本としつつ、さらに普及が拡大したケース ※2030年108GW（IEA WEO 2020 持続可能成長シナリオ）、2040年200GW（MOE高位ケース）についても検討 -PV導入量は各社別・電圧階級別に分配後、全配電線の最新導入実績に、ランダムに割り振り、モデルバンクに導入されるPV量を確率的に評価 -高圧PV・低圧PVの運転力率を各々85%、88%、90%、92%、95%、98%、100%に変化 -中長期までの各PVシナリオ（～2040）に対し、需要家側対策（各力率一定値での力率一定制御）+系統側対策（変圧器タップ変更やLRT・SVR（バレーメータ最適化）をした際の電圧逸脱量を評価 	

出典：第7回グリッドコード検討会（2021.9.16）資料7、電力広域的運営推進機関（OCCTO）

概要

		最終更新日	2022年9月27日	
プロジェクト名	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 研究開発項目[1]-2 慣性力等の低下に対応するための基盤技術の開発 研究開発項目[2]-1 配電系統における電圧・潮流の最適な制御方式の開発 研究開発項目[2]-2 高圧連系PCSにおける電圧フリッカ対策のための最適な単独運転検出方式の開発	プロジェクト 番号	P19002	
担当推進部/ PMr 又は担当者	<p>(担当推進部) 2019年7月~2021年3月：スマートコミュニティ部 2021年4月~現在：スマートコミュニティ・エネルギーシステム部</p> <p>(プロジェクトマネージャー：PMr) 前野 武史 (2019年7月~現在)</p> <p>(担当者) 横溝 拓也 (2019年7月~2022年3月) 永田 充穂 (2019年7月~2020年9月) 須藤 晴彦 (2019年7月~2020年9月) 串間 洋喜 (2019年7月~現在) 嘉手苺 敦 (2020年3月~2022年2月) 岩佐 正明 (2020年5月~2022年3月) 横山 一朗太 (2020年10月~2022年6月) 本山 秀樹 (2020年10月~現在) 門吉 宣幸 (2022年3月~現在) 小笠原 有香 (2022年4月~現在) 吉田 拓未 (2022年4月~現在) 小河原 竜一 (2022年7月~現在)</p>			
0. 事業の概要	<p>太陽光発電などの再生可能エネルギー（以下、再エネ）が大量に導入されると、電力系統で慣性力の低下や、隣家への売電のような需要家側での電力取引などこれまで想定していない電気の流れが発生し、電力品質が低下するなど、新たな課題が懸念される。具体的には、系統慣性が低下すると、周波数を一定に保とうとする力が弱くなり、系統が不安定になることが懸念され、最悪の場合、大規模停電につながる可能性がある。また、想定していない電気の流れが発生すると配電系統の状態を把握して制御することができず、これまでと異なる制御を強いられ、非効率な電力供給となる可能性がある。さらに、従来の高圧連系の電力変換装置（以下、PCS）が増加すると、その特性により電圧フリッカと呼ばれる電力品質を低下させる現象が発生する可能性が生じる。こうした課題は、従来の技術及び法的な規制の下で解決しようとする、電力系統の大幅な増強が必要となり、多くの費用や時間がかかる。</p> <p>そこで本事業では、将来、電力系統を安定させつつ再エネの導入を促進するため、再エネを大量に導入する際に懸念される、慣性力の低下対策や、配電系統における電圧・潮流の最適な制御方式、電力品質を低下させない高圧連系PCSなど、以下の次世代の系統安定化に必要な基盤技術の開発を行う。</p> <p>研究開発項目[1]-2 慣性力等の低下に対応するための基盤技術の開発</p> <p>慣性力等の把握手法や可視化による運用手法の確立を目指し、PMU（Phasor Measurement Unit）を用いることで時刻同期がとれた詳細計測データが電力会社間で比較・検証可能な常時監視システムを構築するための基盤技術を確立する。さらには、新たな慣性力等を確保するための技術の確立を目指し、慣性力等が具備されている制御装置を開発し、電力系統へ適用するための基盤技術の確立及び仕様の国内標準化を図る。</p> <p>研究開発項目[2]-1 配電系統における電圧・潮流の最適な制御方式の開発</p>			

	<p>将来的な需要能動化や自家消費進展後を想定した配電系統の潮流監視・電圧制御技術を開発し、上位系統である特別高圧系統へ配電系統の情報を適切に伝達する技術開発等を実施する。</p> <p>研究開発項目[2]- 2 高圧連系 P C S における電圧フリッカ対策のための最適な単独運転検出方式の開発</p> <p>配電系統において再エネが大量導入された状況下で適正電圧を維持しつつ、電圧フリッカ・電圧不平衡等の電力品質上の問題を回避するために必要な技術開発を実施する。</p> <p>なお、同事業の中で、「研究開発項目[1]- 1 日本版コネクト&マネージを実現する制御システムの開発」として既存系統の空き容量を柔軟に活用し、一定の条件の下で系統への接続を認めるノンファーム型接続といった「日本版コネクト&マネージ」を実現する制御システム等の開発を行っているが、本項目は昨年度に中間評価を実施し、2024 年度に事後評価を実施予定である。そのため、本事後評価においては研究開発項目[1]- 1 は対象外となる。</p>
<p>1. 事業の位置付け・必要性について</p>	<p>2018 年 7 月の「第 5 次エネルギー基本計画」において、再エネの主力電源化へ向けた取組が掲げられ、2030 年度の総発電電力量のうち、再エネの割合を 22～24%程度とする導入目標が掲げられた。さらに、2021 年 10 月の「第 6 次エネルギー基本計画」において、再エネ割合は 36～38%程度に引き上げられ、この実現に向けた取組が急務となっている。</p> <p>一方、太陽光発電等の再エネの導入が進み相対的に火力・原子力等の同期発電機の発電台数が減ってくると、電力系統は瞬間的な大きな変動に耐えられなくなる傾向となり、これまで影響が限定的であった系統事故時でも、大停電に至るおそれがある。近年においても、オーストラリアでは慣性力不足が原因とみられる大規模停電が発生した。このような事態を避け、広域での電力系統の安定運用を維持するためには、電力系統の瞬間的な変動に対応する調整力、いわゆる慣性力及び同期化力（以下、慣性力等）を確保することが必要となる。この必要性に対応するため、本事業では、「研究開発項目[1]- 2 慣性力等の低下に対応するための基盤技術の開発」として、再生エネの大量導入に伴う慣性力等の低下対策として、系統周波数維持及び安定度維持による電力の安定供給を目的に対策を講ずる。</p> <p>また、配電系統においては、このまま再エネが電力系統に大量連系すると大量の逆潮流に伴う電圧降下などの課題が顕在化することが予測されていることに加え、多数の需要家側資源を統合制御するバーチャルパワープラント（以下、VPP）の構築に向けた動きが活発化することも想定され、配電系統の電圧・潮流の変動が複雑化することにより適正電圧管理や過負荷防止等、配電系統の安定運用が困難となることが懸念される。こうした変化に対応し、電圧の管理を主体とする従来型の配電系統の監視・制御を抜本的に強化していくこと等が必要であり、本事業では、「研究開発項目[2]- 1 配電系統における電圧・潮流の最適な制御方式の開発」として、現在取り組まれていない需要能動化や自家消費進展後の潮流・電圧制御方式を開発し、系統安定化に資する技術的な整理と運用技術の開発を行う。</p> <p>さらに、再エネからの逆潮流による電圧上昇対策として、太陽光発電設備の力率一定制御が導入されているが、連系量の増加に伴い無効電力量も増加するため、特別高圧系統への影響も懸念される。加えて、電圧フリッカ、電圧不平衡など電力品質への様々な影響が顕在化してきている。そこで、これらの課題を解決する新たな技術開発が必要であり、「研究開発項目[2]- 2 高圧連系 P C S における電圧フリッカ対策のための最適な単独運転検出方式の開発」として実施する。</p> <p>これらの取組みを通じて、慣性力等の低下に向けた対策による広域停電回避、配電系統における電圧制御機能の高度化による電力品質の維持を図ることで、再エネの導入拡大に貢献する。具体的には、「第 5 次エネルギー基本計画」における 2030 年の再エネ発電の導入割合 22～24%の実現、さらに「第 6 次エネルギー基本計画」における再エネ割合 36～38%達成への貢献に向けて、本事業で開発した基盤技術等について、2026 年頃までにフィールド実証等を経てシステムとして確立し、各電力系統に導入していく。</p>

2. 研究開発マネジメントについて

事業の目標

研究開発項目[1]-2 慣性力等の低下に対応するための基盤技術の開発

電力系統の慣性力等を監視するための PMU を用いた常時監視システムの基盤技術を開発し、系統の慣性力等が低下した際に、これを向上させるための効果的かつ合理的な運用方策を検討する。また、慣性力等が具備されている制御装置の仕様の検討を行う。

【最終目標】(2021 年度末)

電力系統の慣性力等を把握するための PMU を用いた常時監視システムの基盤技術を開発し要求仕様を取りまとめるとともに、系統の慣性力等が低下した際に、これを向上させるための効果的かつ合理的な運用方策を提示する。また、慣性力等を具備した制御装置の基盤技術を開発し、実フィールドで使用可能な装置の要求仕様を取りまとめる。具体的には以下の技術レベルに到達することを目標とする。

(1) 慣性力等が把握可能な常時監視システムの基盤技術開発

- ・PMU を用いた電力会社間でデータ比較・検証が可能な常時監視システムの開発に必要なデータが取得及び分析ができていないこと。また開発時に必要となる要求仕様がまとめられていること
- ・2つ以上のアプローチを検証した上で、電力系統の慣性力等を把握するための基盤的な手法が開発されていること

(2) 慣性力等を備えた制御装置の基盤技術開発

- ・慣性力等を備えた制御装置について、従来の電力システムと接続可能な機能を有し、必要な慣性力等低下対策機能を備えている基盤的な手法が開発されていること。また開発時に必要となる基本的な要求仕様がまとめられていること

研究開発項目[2]-1 配電系統における電圧・潮流の最適な制御方式の開発

今後一層の再エネの導入の進展に伴い、顕在化することが予測される大量の逆潮流に伴う電圧降下などの課題を回避するために必要な技術開発について解析、運用・制御の面からそれぞれ取り組み、再エネ導入量に応じた対策の道筋を示す。その中で、将来の電力の全体最適を見据えつつ、需要能動化や自家消費進展後において、需要家側リソース（PV、蓄電池、HP 給湯器等）と連携し、需要家の経済性・利便性を維持しながら、配電系統の潮流・電圧制御及び二次系統への影響緩和を低コストで的確に実現する配電系統潮流・電圧制御方式を開発する。また、需要家側リソースを適切に管理する機器の検討を行い、系統連系可能な要件定義について解析できるシミュレーションプログラムの仕様を検討する。

【最終目標】(2021 年度末)

- ・需要能動化及び自家消費進展後の状況において、配電線全体の電圧・潮流の適正化を図ることを目的に、需要家側リソースも制御対象に取り入れ、配電線全体で需要家側リソースと系統側の電圧調整機器（SVR、TVR、SVC 等）の制御量を適切に分担する2つの制御方式（ローカル制御方式及び集中制御方式）を開発すること
- ・開発する制御方式は配電系統の電圧・潮流を適正（101V±6V 以内、過負荷無し）に維持可能であること

研究開発項目[2]-2 高圧連系PCSにおける電圧フリッカ対策のための最適な単独運転検出方式の開発

再エネの更なる導入拡大時に電力品質上の問題を回避するために必要な技術開発について保護・保安の面から取り組み、系統連系可能な要件定義について検討を実施する。

【最終目標】(2021 年度末)

- ・インバータによる高圧連系の単独運転検出に関して、系統の電力品質を確保しつつ、求められる時限(3s 程度)以内に検出できる方式について、実験環境での検証を行い、系統連系規程への反映に必要なデータを取得できていること

事業の 計画内容	主な実施事項	2019fy	2020fy	2021fy	
	研究開発項目[1] - 2	常時監視システム・慣性力把握手法・慣性力を具備する装置の基盤技術開発		システム機能改良・装置設計改良	
	研究開発項目[2] - 1	電圧制御（ローカル制御）の開発・検証	電圧制御（集中制御）の開発・検証		
	研究開発項目[2] - 2	高圧連系のフリッカ対策（PCS の単独運転検出方式の整備）		効果検証・データ整備	
事業費推移 (会計・勘定別に NEDO が負担した実績額を記載) (単位:百万円)	会計・勘定	2019fy	2020fy	2021fy	総額
	一般会計	-	-	-	-
	特別会計（需給）	1,256	1,305	1,549	4,109
	総 NEDO 負担額	1,256	1,305	1,549	4,109
	（委託）	1,231	1,265	1,515	4,010
	（助成） 助成率 1/2	25	40	34	99
開発体制	経産省担当原課	資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギー課			
	プロジェクトリーダー	・プロジェクトリーダー 岩本 伸一 早稲田大学 名誉教授 ・サブプロジェクトリーダー 奈良 宏一 茨城大学 名誉教授			
	プロジェクトマネージャー	スマートコミュニティ・エネルギーシステム部 主任研究員 前野 武史			
	委託先、助成先	研究開発項目[1]- 2 慣性力等の低下に対応するための基盤技術の開発（委託） 東京電力ホールディングス(株)、東京電力パワーグリッド(株)、東北電力ネットワーク(株)、中部電力(株)、中部電力パワーグリッド(株)、関西電力(株)、関西電力送配電(株)、中国電力(株)、中国電力ネットワーク(株)、九州電力(株)、九州電力送配電(株)、(株)東光高岳、九州工業大学、早稲田大学、東京大学 再委託先：（国研）産業技術総合研究所、徳島大学、大阪府立大学、北海道大学、広島大学、東京都市大学 研究開発項目[2]- 1 配電系統における電圧・潮流の最適な制御方式の開発（委託） (一財)電力中央研究所、大阪府立大学、東京電力ホールディングス(株)、東京電力パワーグリッド(株)、早稲田大学 再委託先：関西電力送配電(株) 研究開発項目[2]- 2 高圧連系 P C S における電圧フリッカ対策のための最適な単独運転検出方式の開発（助成） 東京電力パワーグリッド(株)、(株)ダイヘン			

<p>情勢変化への対応</p>	<p>本事業開始後、2019年の台風15号・19号の襲来、2020年以降の世界的な新型コロナウイルスの流行が生じた。この予期せぬ情勢変化に対して、以下のような対応を行い、本事業への影響を極力回避するよう努力した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ○2019年9月、10月にそれぞれ発生した台風15号および19号により、東京都新島村に設置された風力発電および太陽光発電の設備の一部が破損し事業の進捗に影響があったが、再エネを必要としない試験を前倒しで実施する等の工夫により大幅な進捗遅れを回避した。 ○新型コロナウイルスの蔓延により、2020年度以降は海外出張が困難になった。このため、海外現地でのヒアリング等は実施できなかったものの、計画していた海外調査の実施方法を変更し、2020年度からは、文献調査やオンラインでのヒアリング調査を実施した。事前質問内容などの事前調整を行うなどの工夫も行った結果、必要な情報の収集ができ、ほぼ計画していた内容の成果を得られ、本事業の成果報告書に反映することができた。 ○新型コロナウイルスの蔓延により、2020年度以降は委員会や会議の対面開催が困難になった。このため、2020年度以降の検討委員会とWGをオンラインで開催した。これまでに経験のない開催方式であり、開催準備等に苦労したが、この結果、計画通りの頻度で委員会や会議を開催でき、支障なく本事業を遂行できた。 ○2020年10月に2050年までにカーボンニュートラルにするとの政府目標を表明する等、再エネ主力電源化に向けた取組みが加速したことから、実施内容を追加した。 	
<p>中間評価結果への対応</p>	<p>－</p>	
<p>評価に関する事項</p>	<p>事前評価</p>	<p>2018年度実施 担当部 スマートコミュニティ部</p>
	<p>中間評価</p>	<p>－</p>
	<p>事後評価</p>	<p>2022年度 事後評価実施 担当部 スマートコミュニティ・エネルギーシステム部</p>
<p>3. 研究開発成果について</p>	<p>研究開発項目[1]－2 慣性力等の低下に対応するための基盤技術の開発（委託）</p> <p>再エネ大量導入に向けた課題のひとつである系統の慣性低下問題に対応するための基盤技術開発を目的として、系統慣性等の把握可能な基盤技術、慣性力等を備えた制御装置の基盤技術の開発、及び再エネ主力電源化を促進する電力ネットワーク技術に関する調査を実施し、以下の成果を得た。</p> <p>〔1〕 系統慣性等の把握可能な基盤技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・常時監視システムの構築 <p>系統慣性等を把握可能な常時監視システムをゼロベースから開発した。各電力会社に設置したPMUデータはほぼ欠落なく取得でき、搭載した系統慣性等推定手法により30分ごとに慣性、安定度推定を実施することができた。推定結果はHI-PC上で確認できるほか、ダウンロードも可能とした。またオンラインによる分析以外にも、さらなる詳細分析が可能となるようオフライン分析機能を改修し、パラメータ変更などによる分析が短時間で容易に行えるようにした。</p> <p>構築した系統慣性等常時監視システムは必要最低限の機能を備えており、かつ動作などに問題がないことから、構築したシステムをもとに開発時に必要となる要求仕様をまとめ、さらには要件定義（業務要件、機能要件、非機能要件）と、システムを構築するために必要な機能仕様についても整理し、本事業で開発したシステムの再現性を高めた。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・系統慣性等推定技術の開発 <p>基盤的な手法として高速フーリエ変換（FFT）手法を選定し、検証評価を実施した。</p> <p>検証評価結果を踏まえ精度向上策の検討を実施。そのなかで改良FFT手法を考案・検証し推定精度の向上を確認した。FFT手法の比較指標として慣性積上げ値を整備し、年間を通して慣性推定値が慣性積上げ値の増減の推移を捉えられていることを確認した。さらに異なるアプローチとしてクープマンモード分解（KMD）手法と、電源脱落時のRoCoFから算出した慣性推定値とも比較検証を実施。FFT手法を含めた3手法ともに慣性推定値が慣性積上げ値より大きな値で同様に推移することから、慣性積上げ値以外の系統への寄与分が一定程度存在する可能性が示唆された。</p>	

系統の慣性を把握する目的上、真値が把握できないなかにおいて実際の RoCoF から算出した慣性推定値を基準としたとき、FFT 手法は電源脱落時しか把握できない RoCoF から算出された慣性と同等に近い値を常時計測できることを確認した。

これにより、FFT 手法は慣性を測る目的である RoCoF や Frequency Nadir の管理を行う上で、活用可能な手法であると言えるが、慣性推定値と慣性積上げ値の差分の要因を把握することが、他への展開も含めて重要となることから、その要因についても検討を実施した。差分の主たる要因としては「発電機制御系」、「需要側慣性」、「計測地点」の影響と整理。発電機制御系や需要側慣性の影響について、実系統では切り分け困難だが、FFT 手法による慣性推定値に含まれて算出されている可能性が高いことが示唆された。計測地点の影響については、慣性中心相当地点を選定することで極小化を図った。これらの影響度の詳細が解明できると更に推定精度が向上できるところではあるが、それを運用マージンとした FFT 手法実用化のイメージまで整理することができた。

〔2〕慣性力等を備えた制御装置の基盤技術開発

・対策提言に向けた基盤技術開発

将来の需給シナリオ策定、慣性低下時の合理的対策検討、PCS 対策装置の仕様検討、PCS 対策装置の評価の大きく4つを実施した。

将来の需給シナリオ策定では、広域需給調整シミュレーション (MR) による 2030 年～2040 年の対策技術評価と、起動停止計画モデル (UC) による PV 出力予測誤差と EV 充電需要シフトなどを含む詳細解析・評価および将来シナリオの策定を行った。将来シナリオについては、2021 年 10 月に閣議決定された第 6 次エネルギー基本計画の「2030 年度におけるエネルギー需給の見通し」に基づく内容に最終的に改訂した。

慣性低下時の合理的対策検討では、海外動向調査等を踏まえて、慣性低下対策 PCS 及び他の対策オプション (同期調相機や発電機の並列運転等) の慣性低下対策としての特徴を体系的かつ具体的に整理した。それを踏まえて、慣性低下対策の経済性評価等に関する海外事例を参考に、我が国における慣性低下対策の評価のフレームワークを作成し、慣性低下対策 PCS の費用および社会的な効果について分析を行った。

PCS 対策装置の仕様検討では、将来の系統慣性低下に向けた周波数安定化機能等を搭載した PCS 対策装置について、当該機能の定義、機能等より 5 つの方式に分類し、シミュレーションによる比較・検討に基づき、周波数安定化機能等の機器仕様を検討・整理した。検討結果に基づき、複数種類の制御アルゴリズムを選定・実装したプロトタイプを開発した。なお、当初予定していた Grid Following (GFL) 方式の検討に加えて、本事業で情勢変化もあり必要性が高まった Grid Forming (GFM) 方式の検討も実施し、系統連系試験が可能なプロトタイプの実現した。これらの取り組みにより、周波数安定化機能等の主要アルゴリズムについて、短期的に実用化が期待される GFL 方式と中長期的に実用化が必要な GFM 方式を分類して検討を進める指針を得るとともに、実装に必要な基礎的知見が得られた。

また、PCS 対策装置の評価では、シミュレーション (瞬時値解析) により、系統擾乱時の評価条件・評価指標を整理し、複数の PCS 対策装置の効果・影響を明らかにした。整理された評価条件・指標に基づき、PCS 対策装置の適用効果を実機試験により検証した。瞬時値解析の結果も踏まえ、各種制御方式の特徴・課題等を整理し、PCS 対策装置の基本的な評価試験手法を作成した。なお、当初予定していた GFL タイプの評価・検討に加えて、GFM タイプについても、シミュレーション及びプロトタイプの評価を実施した。さらに、実用化を想定した既存の系統連系規程に基づく JET 認証相当の試験に基づく適合試験を実施し、今後の課題の抽出・整理を行った。これにより、保護機能との干渉有無などを明らかにした。また、抽出された課題のうち、過電流対策、パラメータ依存性など本検討により明らかになった課題の解決策及び関連する技術的知見が得られた。

・革新的技術検討

GFM インバータ (Droop) と GFM インバータ (VSM: Vertical Synchronous Machine) のそれぞれの制御技術検討、系統モデル縮約技術検討、系統シミュレーション技術検討の 4 つを実施した。

GFM インバータ (Droop) では、Droop 方式 GFM インバータの制御方式として、Droop ゲインとローパスフィルタのカットオフ周波数で慣性定数を設計できる方式を選定した。その Droop 方式 GFM インバータの回路および制御系モデルを PSCAD および Simulink にて作成し、早稲田大学へ提供した。また、作成したモデルを IEEE 9-bus system モデルと組み合わせてシミュレーション計算を行い、擬似慣性の効果を確認した。さらに、Typhoon HIL と外付制御装置を組み合せ構築した CHIL 実験環境においても有用性を確認した。

GFM インバータ (VSM) では、広島大学にて提案済みの SSI (Single-phase Synchronous Inverter) について検討を行った。時間スケール分割に基づく NIC(Non-interference core dynamics) という独自設計手法を採用し、コア-シェルモデルに基づき制御設計を行った。動揺方程式に基づく同期コントローラ、電圧制御、周波数制御等の基本機能を改良し、実際に実験を行い、検証を実施した。実験結果によって裏付けられた実効値モデルの開発・検証も行き、周波数安定性に対するシミュレーションを通じて、最終的に VSM 方式の系統導入効果および提案方式の効果も確認した。

系統モデル縮約技術検討では、数学的縮約手法の開発を念頭に置き、GFL・GFM インバータの挙動を伝達関数の形式で表現するための数式モデルを開発した。また、数式モデルで表現された GFL・GFM インバータと、配電系統内のその他の要素 (ZIP 負荷、変圧器・線路インピーダンス等) の数式モデルとを数学的にボトムアップ集約し、さらに低次元化する手法を開発した。開発した縮約手法を配電系統モデルに適用し、高い精度で縮約が可能であることを数値計算により示した。加えて、配電系統を含んだ全系シミュレーションの実施に向け、下位系統縮約モデル作成した。

系統シミュレーション技術検討では、IEEE 9-bus system モデルおよび電気学会 EAST 10 系統モデルを用いた数値シミュレーションにより、GFM インバータ導入による慣性力低下対策効果を Nadir や RoCoF の観点から評価した。特に、GFM インバータの導入台数や分布による慣性力低下対策効果を評価した。上記に加え、275kV から 6.6kV までの下位系統を追加模擬したケース、およびその下位系統を縮約技術検討で開発した技術により縮約したケースでの結果を比較評価し、縮約技術の有用性を確認した。

・再エネ主力電源化を促進する電力ネットワーク技術に関する調査

慣性力等の低下に対応するための基盤技術の開発や日本版コネク&マネージを実現する制御システムの開発、配電系統における電圧・潮流の最適な制御方式の開発、高圧連系 PCS における電圧フリッカ対策のための最適な単独運転検出方式の開発などの既存の技術開発の先に必要となる電力ネットワーク技術開発テーマを検討することを目的とし、国内外の電力ネットワークに関わる政策動向、及び技術開発動向を俯瞰した上で、今後我が国で必要となる電力ネットワーク技術開発テーマの抽出を行った。

具体的には、現在の我が国のカーボンニュートラル政策、及び海外の同様の政策・制度事例を踏まえて、今後の更なる再エネ導入に向けた電力ネットワークに関わる政策上の論点を整理した。また、海外の電力ネットワークに関わる技術開発プログラムを整理し、我が国における電力ネットワーク技術開発の今後に向けた視点を取りまとめた。これらの成果をもとに、他国の技術開発事例を参考に、我が国での技術開発状況を踏まえて、今後我が国で必要となる技術開発テーマの抽出を行った。

研究開発項目[2]－1 配電系統における電圧・潮流の最適な制御方式の開発 (委託)

本研究では、PV の大量導入と自家消費化が進展し、多数の需要家側リソースを統合するアグリゲータや VPP の出現が想定される将来の電力系統において、需要家制御と連携した配電系統の電圧・潮流制御方式を開発した。実証評価試験及び各種解析により、以下の成果を得た。

[1] 需要家側リソースおよび制御方式の調査

大阪都市圏内の住宅 150 軒の需要データを収集し、各種制御に関するシミュレーションおよび実証評価で必要となる需要家の負荷モデルおよび分散電源モデルを作成した。また、需要能動化による配電系統への影響評価のため、アグリゲータによる統合制御や需要家内の制御をモデル化し、各シナリオを設定した場合の需要パターンを算出した。

[2] 配電系統における電圧・潮流の最適な制御方式の開発 (短中期フェーズ)

今後の更なる PV 連系量の拡大が想定される中で、現在行われている系統側対策や力率一定制御を引き続き適用した場合に生じる電圧逸脱などの課題を抽出し、配電系統モデルを用いた数値シミュレーションによる定量的評価と、模擬回路を用いた実験的評価の双方の観点から評価した。また、電圧変動対策の高度化として分散型電源の電圧制御機能を活用し、系統側の電圧調整機器および分散型電源それぞれが制御量を適切に分担する電圧制御手法を検討した。

[3] 配電系統における電圧・潮流の最適な制御方式の開発 (中長期フェーズ)

将来の需要能動化や自家消費進展時を想定した配電系統の電圧・潮流制御方式として、強化学習により制御結果を適宜学習し、学習結果を踏まえた無効電力制御を行う制御方式と、需要家群の相互通信により情報を

	<p>共有し、各需要家の力率設定値を適切に設定することで協調制御するローカル自律制御方式を開発した。また、計算機シミュレーションにより各制御方式の有効性を検証した。</p> <p>〔４〕開発方式の実証評価 シミュレーションでの検証が困難な項目の実証評価を行うため、実規模スケールの模擬グリッド試験設備とデジタルシミュレータを構築し、中長期フェーズで開発した制御方式について、各制御方式の効果を実証評価した。また、実証評価結果から、中長期フェーズに想定される各制御方式について、適用時期と適用基準を整理した。</p> <p>〔５〕配電系統用解析ツールの調査と標準化検討 将来の配電系統における運用・制御に資する解析ツールについて、必要な機能・性能を調査し、実現すべき解析ツールの方向性を検討した。具体的には、国内外の電力会社において活用されている解析ツールの仕様や機能およびニーズを調査するとともに、代表的な解析ツールにおいて精度検証および精度向上方策の検討を実施した。本調査・検討結果を踏まえ、我が国において、解析ツールやデータベースに関して必要な取り組みや今後の方向性を整理した。</p> <p>研究開発項目〔２〕－２ 高圧連系PCSにおける電圧フリッカ対策のための最適な単独運転検出方式の開発（助成）</p> <p>適切な無効電力注入量の評価に向け、実機試験および系統状況（新型・従来型の割合、系統インピーダンス、能動方式）を変更した数値シミュレーションを通して高圧連系PCSによるフリッカの発生条件を整理した。能動信号（無効電力）に頼らない単独運転検出方式（フリッカ判別付周波数変化率方式）の提案・有効性検証を実施し、方向性を見出すことができた。実運用に向けた検証および諸調整（他メーカへの展開、製品化・全国展開）については、今後も継続して実施していく必要がある。また、簡易な転送遮断方式は性能面（解列時間）での有効性を確認し、実用化にあたっての課題を整理した。</p> <table border="1" data-bbox="354 985 1449 1261"> <tr> <td>投稿論文</td> <td>査読付き 12 件</td> </tr> <tr> <td>特 許</td> <td>出願済 15 件</td> </tr> <tr> <td>その他の外部発表 （プレス発表等）</td> <td>学会発表・講演 80 件 新聞・雑誌等への掲載 9 件 Web 等での発表 2 件 ブレイク・その他 5 件</td> </tr> </table>	投稿論文	査読付き 12 件	特 許	出願済 15 件	その他の外部発表 （プレス発表等）	学会発表・講演 80 件 新聞・雑誌等への掲載 9 件 Web 等での発表 2 件 ブレイク・その他 5 件
投稿論文	査読付き 12 件						
特 許	出願済 15 件						
その他の外部発表 （プレス発表等）	学会発表・講演 80 件 新聞・雑誌等への掲載 9 件 Web 等での発表 2 件 ブレイク・その他 5 件						
<p>4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて</p>	<p>研究開発項目〔１〕－２ 慣性力等の低下に対応するための基盤技術の開発（委託）</p> <p>(Ⅰ)系統慣性等の把握可能な基盤技術の開発 本システムの構築にあたり制度面の改定などは必要とせず、システム実装にあたっての課題はないことから、実用化可能ではあるが、現状は系統慣性の閾値の考え方などの検討が電力広域的運営推進機関などで進められている状況であり、系統慣性等常時監視システムの構築は、こういった状況を踏まえながら進めていく必要がある。そのため事業終了後すぐに各一般送配電事業者へ設置はせず、電力広域的運営推進機関などの検討状況を踏まえながら、本事業で残された課題として整理した系統慣性等推定手法による推定結果と慣性積上げ値の差分の要因検討や、東地域の系統慣性推定精度向上策などの課題解決を図るべく継続検討を行う。検討にあたっては、事業終了後 1 年間、開発項目①の参画者で構成した「系統慣性推定手法連絡会」により検討を行うほか、一部の電力と大学による共同研究などにより継続的に検討を行う。なおシステムの実用化にあたっては系統慣性等推定手法の原理上、複数のエリアにまたがってPMUを設置しなければならず、一部の電力のみで構築できるものではないことから、共同研究で得られた成果については参画者間で共有し、一体となって課題解決に取り組んでいく。</p> <p>(Ⅱ)慣性力等を備えた制御装置の基盤技術開発 慣性低下対策 PCS の導入に向けて、プロトタイプ製作を行った。慣性低下対策の効果を確認したが、GFMタイプにおいて、導入に向けた課題を確認することが出来た。慣性低下対策 PCS の導入必要時期については、再エネ導入が加速した場合、早ければ 2030 年に必要となることが判明した。2030 年の慣性低下対策 PCS 導入に間に合うように、次期実証では研究成果を系統連系規程へ反映できるように、各者との調整を行った。</p>						

	<p>研究開発項目[2]-1 配電系統における電圧・潮流の最適な制御方式の開発（委託）</p> <p>本研究により、短中期フェーズにおいては「力率一定制御の設定値更新」、中長期フェーズにおいては「強化学習を用いた無効電力制御」および「ローカル自律制御方式」の有効性が検証された。</p> <p>これらの制御機能を PV-PCS に具備することにより、再エネ電源の導入拡大時に、最適な電圧・潮流の制御が可能となることが期待される。また、再エネ電源の出力により電圧変動を助長し、再エネ電源等が連鎖脱落することを回避することにも繋がることから、発電機会損失の低減効果も期待される。</p> <p>PV-PCS が具備する機能については、系統連系規程（JEAC9701）に規定・整備されているが、本研究で有効性が検証された各制御機能については、現状では規程に反映されていない状況である。PV-PCS が具備する機能は、公平性や効果の観点から、全 PV-PCS メーカー一律同様の機能具備を求めていく必要がある。そのためには、メーカー団体（JEMA）の合意・協力はもちろんであるが、実効性を担保するために各種規程類や認証試験にも反映させていく必要がある。</p> <p>PV-PCS の機能の実用化に向けては、「①系統連系技術要件（グリッドコード）への反映」および「②系統連系規程への反映」を実施することにより、メーカー開発・切替の実効性を高めていく。</p> <p>電力広域的運営推進機関の「グリッドコード検討会」において新たに規定するグリッドコードには、本研究の成果の一部が活用された。具体的には、短中期フェーズにおける「力率一定制御の設定値更新」の検討結果を踏まえ、現状の系統連系規程（JEAC9701）の要件に加え、「力率設定値の変更を可能とする機能を有し一般送配電事業者の求めに応じて変更すること」を提案し、第 7 回グリッドコード検討会にて付議され合意に至ったため、今後系統連系技術要件（グリッドコード）に反映される予定である。</p> <p>研究開発項目[2]-2 高圧連系PCSにおける電圧フリッカ対策のための最適な単独運転検出方式の開発（助成）</p> <p>実証事業では、「電圧フリッカを発生させない単独運転検出方式」を開発し、ラボ環境で有効性を検証した。実用化に向けた課題としては下記が存在しており、フリッカを発生させない単独運転検出機能の実用化を進めていく。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 実用化検証：実験環境での更なる検討が必要（他方式混在など） ● 標準化：JEMA、各メーカーとの調整、系統連系規程への反映 <p>一方、第 6 次エネルギー基本計画に基づく再エネの主力電源化に向け安定供給を図る必要があることから、慣性機能と単独運転検出機能の両方を備えた PCS が必要と認識しており、より汎用的な実用性を志向する観点から両機能を備えた方式についても検討予定であり、慣性力不足の顕在化に対応するため 2030 年頃の実用化を想定している。</p>	
5. 基本計画に関する事項	作成時期	2019 年 2 月 作成
	変更履歴 (2022 年 2 月迄)	2020 年 2 月 改訂（内容を簡潔に記載する軽微な変更）