

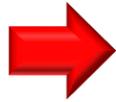
**「再生可能エネルギーの大量導入に向けた
次世代電力ネットワーク安定化技術開発／
研究開発項目①-2, ②-1, ②-2」
(事後評価)**

(2019年度～2021年度 3年間)

プロジェクトの概要 (公開)

NEDO スマートコミュニティ・エネルギーシステム部

2022年9月27日



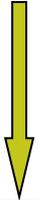
I. 事業の位置づけ・必要性

- (1)事業の目的の妥当性
- (2)NEDOの事業としての妥当性



II. 研究開発マネジメント

- (1)研究開発目標の妥当性
- (2)研究開発計画の妥当性
- (3)研究開発の実施体制の妥当性
- (4)研究開発の進捗管理の妥当性
- (5)知的財産等に関する戦略の妥当性



III. 研究開発成果

- (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義
- (2)成果の普及
- (3)知的財産権の確保に向けた取組

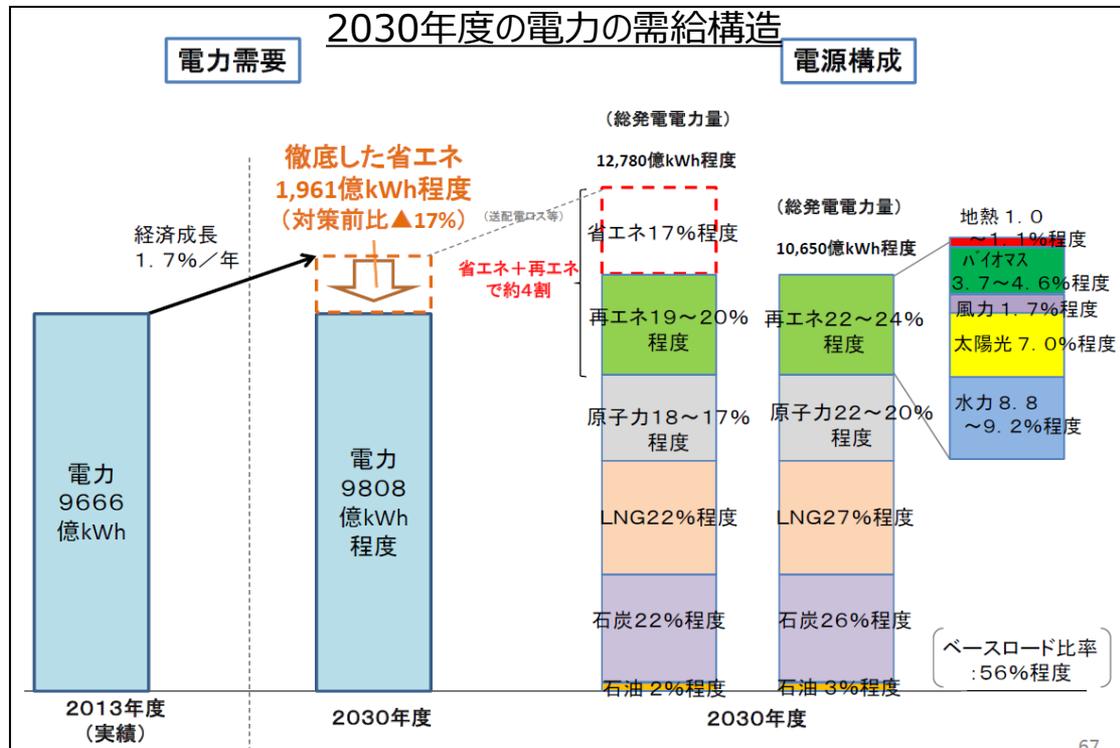


IV. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

- (1)成果の実用化・事業化に向けた戦略
- (2)成果の実用化・事業化に向けた具体的取組
- (3)成果の実用化・事業化の見通し

◆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。



◆政策的位置付け

第5次エネルギー基本計画（2018年7月3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22～24%程度**。
- 我が国の系統は、これまで主として大規模電源と需要地を結ぶ形で形成されてきており、再生可能エネルギー電源の立地ポテンシャルとは必ずしも一致しておらず、再生可能エネルギーの導入拡大に伴い、系統制約が顕在化しつつある。このため、今後、**再生可能エネルギーの主力電源化を進める上で、この系統制約を解消していくことが重要**となる。
- 再生可能エネルギーの導入拡大が進むにつれ、従来の系統運用の下で系統制約が顕在化しており、再生可能エネルギーの出力変動を調整するための調整力の確保も含め、再生可能エネルギーを電力系統へ受け入れるコストも増大している。…中略…このため、FIT制度の適切な運用と自立化を促すための制度の在り方の検討、**系統制約の克服、調整力の確保、規制のリバランス、低コスト化等の研究開発**、廃棄時や再投資のための対応などを着実に進める。
- 再生可能エネルギーの大量導入を始めとした環境変化を踏まえた**次世代型の送配電ネットワークに転換**するためには、国民負担を抑制しつつ、系統増強等の必要な投資が行われるための予見性確保等の環境整備が必要となる。

⇒「**系統制約の克服、調整力の確保、次世代型の送配電ネットワークへの転換**」が重要。

◆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）

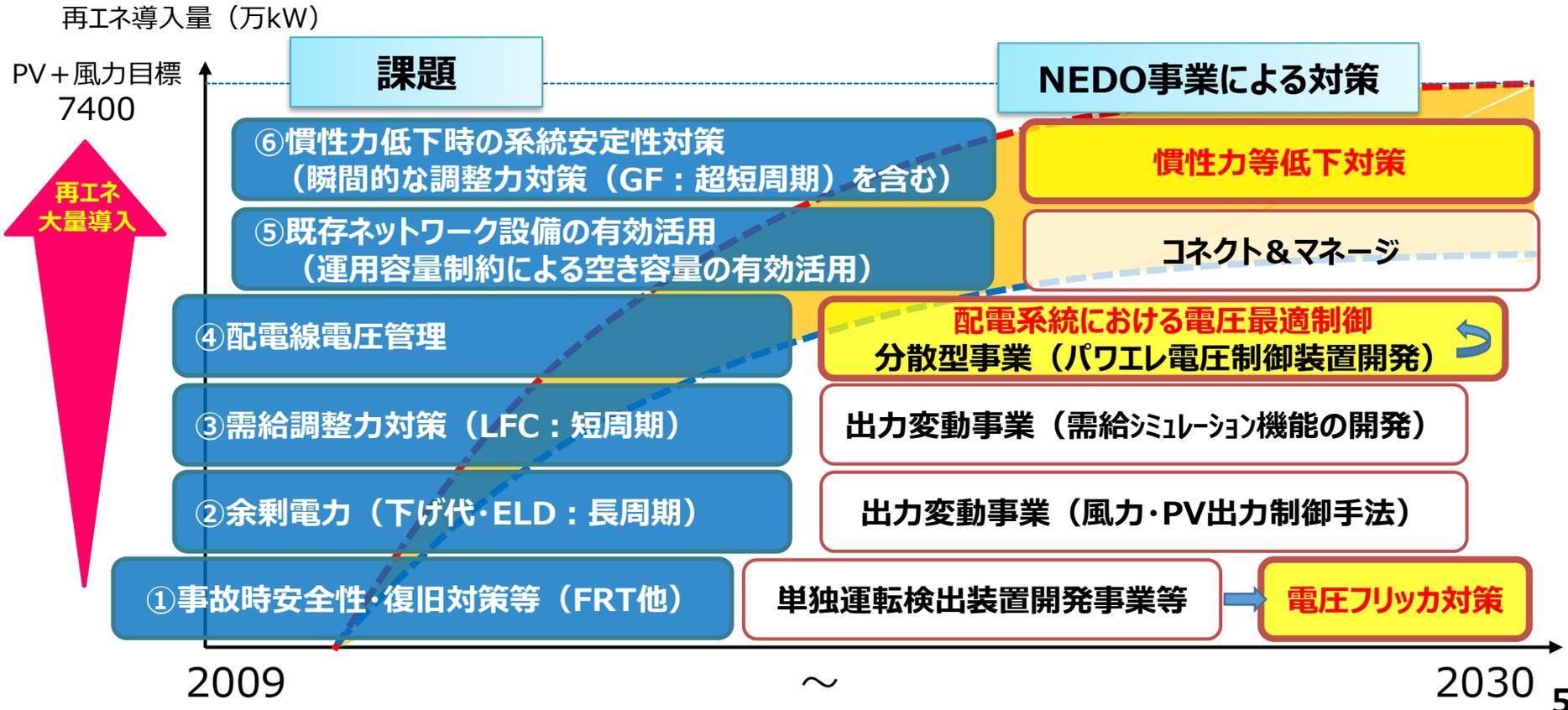
- 2030年度の総発電電力量のうち**再生可能エネルギーの割合は36～38%程度**。
- 再生可能エネルギーの最大限の導入に向けて、再生可能エネルギーのポテンシャルの大きい地域と大規模消費地を結ぶ系統容量の確保や、太陽光や風力といった自然変動電源の出力変動への対応、電源脱落等の緊急時における系統の安定性の維持といった**系統制約の克服も非常に重要であり、最大限取り組んでいく**。
- 今後、直流で発電される自然変動電源の導入拡大に伴い、電子機器であるインバータによって直流の波形で発電された電気を交流の波形に形成する非同期電源（太陽光・風力・蓄電池等）の系統に占める割合が高まる中、足下から系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

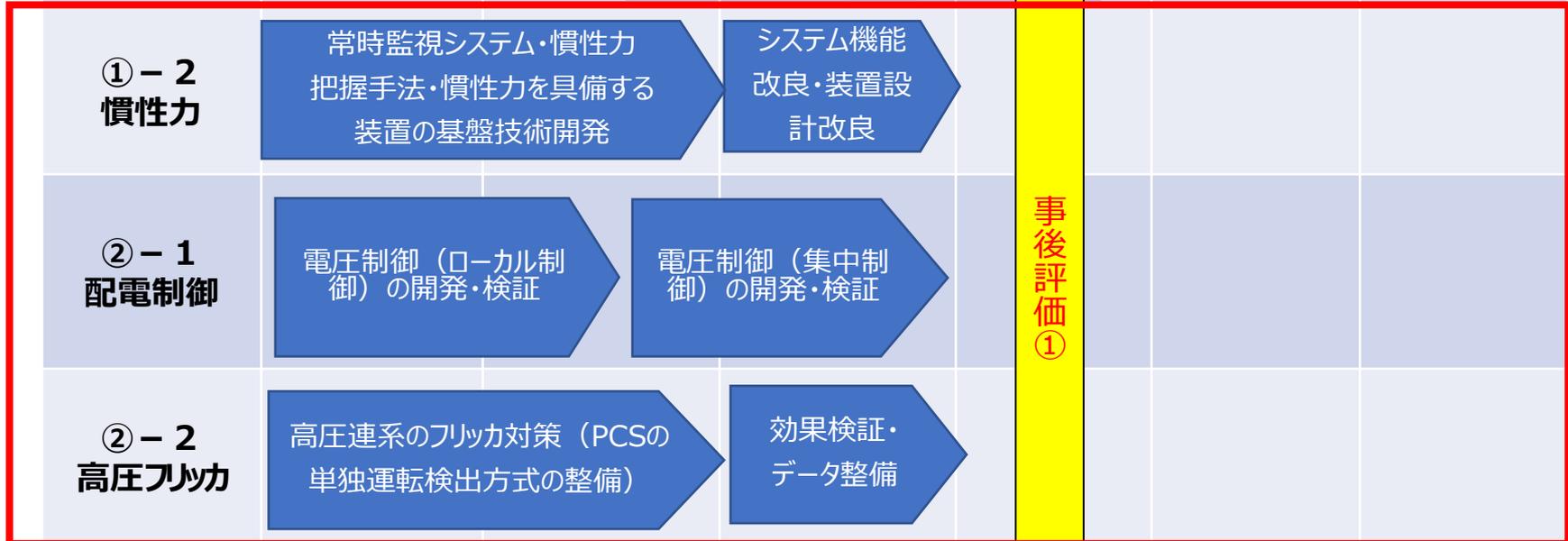
NEDOでは、これまで再エネ比率が増えることにより現れる様々な課題について、顕在化する前に適切に対応してきた。本事業では、慣性力等低下対策、配電系統における電圧最適制御、電圧フリッカ対策技術を開発。

■ 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

NEDOでは、系統制約を克服するため、2019年度から「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」を実施。この事業では、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慣性力等に対応するための基盤技術の開発、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の4テーマを実施。なお、①-1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のため、対象外。



◆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)	
<p>電力系統出力変動対応技術研究開発事業 (2014~2018)</p> <p>※PLは早稲田大学岩本先生</p>					<p>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)</p> <p>【送電系統】</p> <p>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</p>						
<p>分散型エネルギー次世代電力網構築実証事業 (2014~2018)</p> <p>※推進委員会委員長は茨城大学奈良先生</p>					<p>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>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)</p>			
<p>次世代洋上直流送電システム開発事業 (2015~2019)</p>					<p>多用途多端子直流送電システムの基盤技術開発 (2020~2023)</p>			<p>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)</p>			
					<p>【配電系統】</p> <p>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>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>						

◆ 国内外の研究開発の動向と比較

- 欧州では、研究開発プログラムHorizon 2020及びHorizon Europeの一環として、慣性力関連の基礎検討としてMIGRATEプロジェクト及び実機での検証を行う OSMOSE プロジェクトを実施。また、これら2プロジェクトを含む電力系統や蓄電システム等の約90の研究開発プロジェクトを連携して推進するBRIDGEイニシアチブが展開され、再エネの普及に向けた研究開発が強力に進められている。
- 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。

	Distribution Grids	Distributed Storage	Transmission Grids	Large-Scale Storage
2014 - 2015	<p>2014: 10 projects, 61 M€</p>	<p>2014: 7 projects, 73 M€</p>	<p>2015: 4 projects, 82 M€</p>	<p>2015: 2 projects, 25 M€</p>
2016-2017	<p>2016: 7 projects, 87 M€</p>		<p>2017: 4 projects, 76 M€</p>	

出典：BRIDGE Initiative Brochure、European Union（表をNEDO加工）

◆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、**N E D O**が関与し、**解決を主導する必要性の高い事業**である。

◆実施の効果（費用対効果）

2030年
再エネ36~38%

開発事業費

約42億円
(3年間)

アウトカム目標

グリッドコードの整備、広域停電の回避、電力品質の維持に貢献することにより再エネ大量導入を実現。

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）の整備

本事業の成果（慣性力等の確保、配電制御、高圧フリッカ対策に係る基盤技術）が、系統連系規程や系統連系技術要件等のグリッドコードに反映され、国内で標準化を実現。

広域停電の回避

本事業で開発した基礎技術で対策が講じられることにより、慣性力等が低下することによる系統の不安定化や、甚大な経済損失等を及ぼす広域停電を回避。

電力品質の維持

変動再エネの電力系統への影響を最小化し、電力の安定供給を図りつつ経済的に再エネ大量導入を実現。

I. 事業の位置づけ・必要性

- (1)事業の目的の妥当性
- (2)NEDOの事業としての妥当性

II. 研究開発マネジメント

- (1)研究開発目標の妥当性
- (2)研究開発計画の妥当性
- (3)研究開発の実施体制の妥当性
- (4)研究開発の進捗管理の妥当性
- (5)知的財産等に関する戦略の妥当性

III. 研究開発成果

- (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義
- (2)成果の普及
- (3)知的財産権の確保に向けた取組

IV. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

- (1)成果の実用化・事業化に向けた戦略
- (2)成果の実用化・事業化に向けた具体的取組
- (3)成果の実用化・事業化の見通し

◆ 研究開発目標と根拠

	研究開発目標	根拠
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>(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</p> <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>(2) 慣性力等を備えた制御装置の基盤技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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>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
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	<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 	<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>
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	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	<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>

◆ 研究開発のスケジュール

- 早期の系統制約の克服が強く望まれていることから、各項目とも事業期間は3年間（正確には2019年7月から2022年2月までの2年8ヶ月間）。基盤的な研究開発を実施するには、ゆとりのある期間ではないことから、**速やかに立ち上げ、効率的に事業を推進し、成果を普及の見通しを得ることが重要。**
- いずれの項目も2019-2020年度に設計・開発を行い、2021年度に効果検証やシステムの改良等を実施。

	2019	2020	2021
①-2 慣性力	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
②-1 配電制御	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
②-2 高圧フリッカ	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

◆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

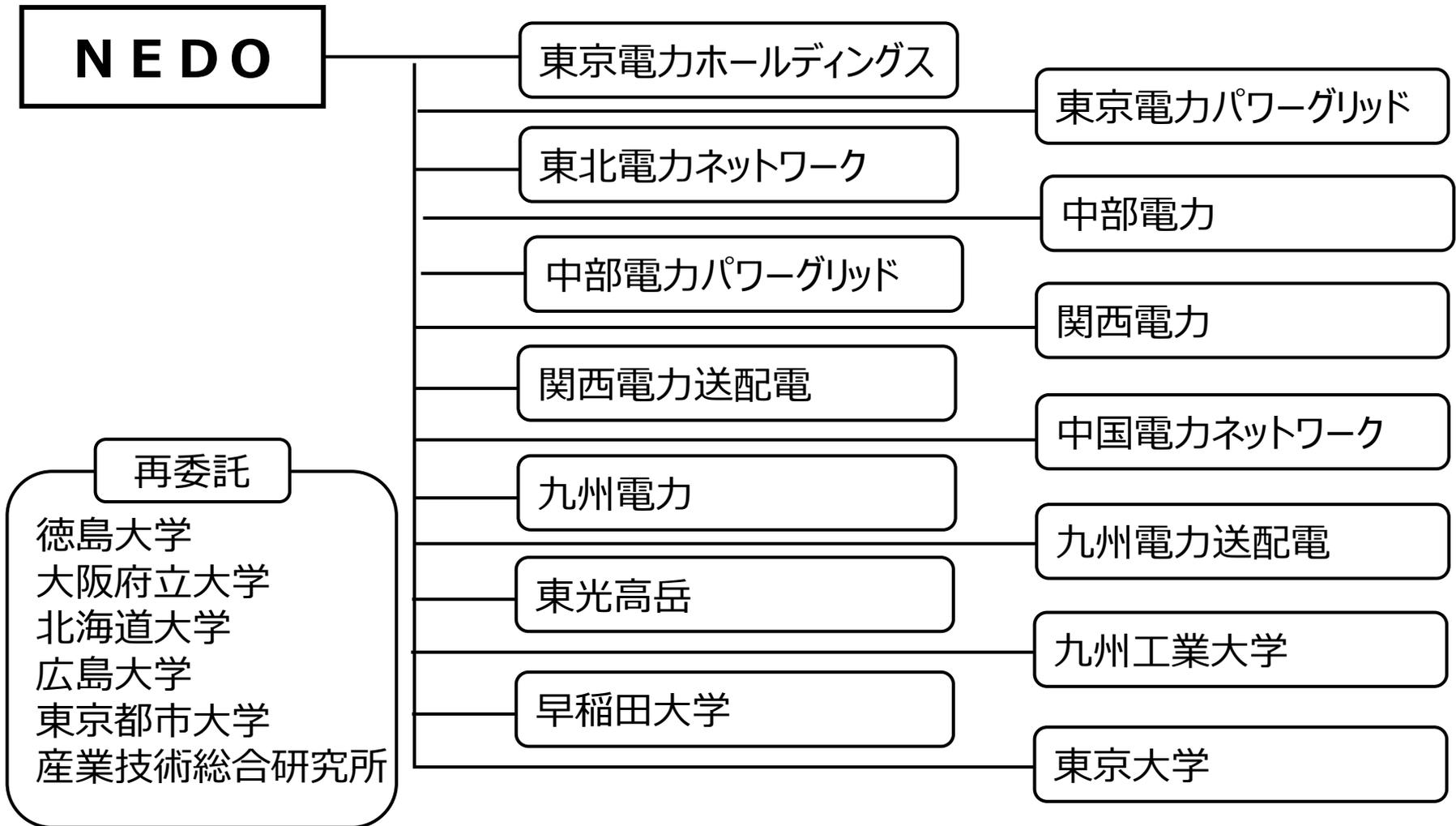
研究開発項目ごとの費用

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

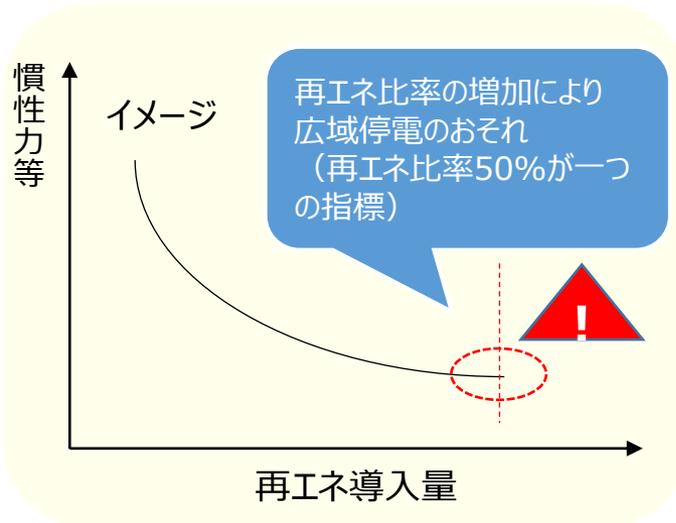
① - 2 慣性力等の低下に対応するための基盤技術の開発



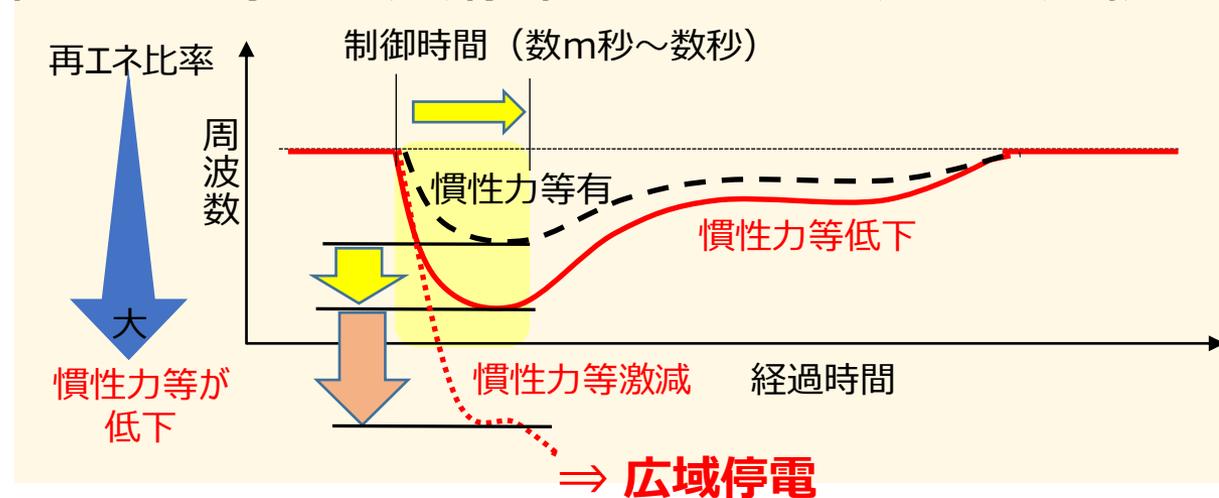
◆ 研究開発の内容

① - 2 慣性力等の低下に対応するための基盤技術の開発

- 太陽光発電等の再生可能エネルギーの導入が進み、火力発電等の回転系発電機が減少すると、電力系統は系統事故時などの瞬間的な大きな変動に耐えられなくなり、大停電になるおそれがある。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、電力系統の変動に対する調整力を確保することが重要。
- 本事業では、この瞬間的な変動(数m秒～数秒)に対する調整力、いわゆる慣性力や同期化力(慣性力等)の確保を目的とした常時監視システムの基盤技術の開発を行う。



同一地点系統事故における、再エネ比率増大時の周波数制御に与える影響



- 現状
- ① 現行の電力監視システムでは系統の慣性力等を把握することができない。
 - ② 慣性力等を維持する手立てがない。

- 対策
- ① 詳細な時刻同期データが計測可能なPMU(位相計測装置)を用いた常時監視システムの基盤技術開発。
 - ② 慣性力等が具備される制御装置の検討。

◆ 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

推定手法ワーキンググループ (WG 1)

評価・対策装置ワーキンググループ (WG 2)

Ⅰ. 慣性力等の把握可能な基盤技術の開発

[常時監視システムによる慣性力等把握技術の開発]

(1) 常時監視システムの構築

[東京電力HD・東京電力PG・東北電力NW・中部電力・中部電力PG・関西電力・関西電力送配電・中国電力NW・九州電力・九州電力送配電]

(2) 慣性力等推定技術の開発

[九州工業大学・東京電力HD・東京電力PG・東北電力NW・中部電力・中部電力PG・関西電力・関西電力送配電・中国電力NW・九州電力・九州電力送配電・東光高岳]

実測データからのアプローチ
(慣性力の把握)

・精度の高い評価の実施

Ⅱ. 慣性力等を備えた制御装置の基盤技術開発

[PCSを主とした慣性力等低下対策技術の開発]

(1) 対策提言に向けた基盤技術開発

[東京電力HD・東京大学]

(2) 革新的技術検討

[早稲田大学]

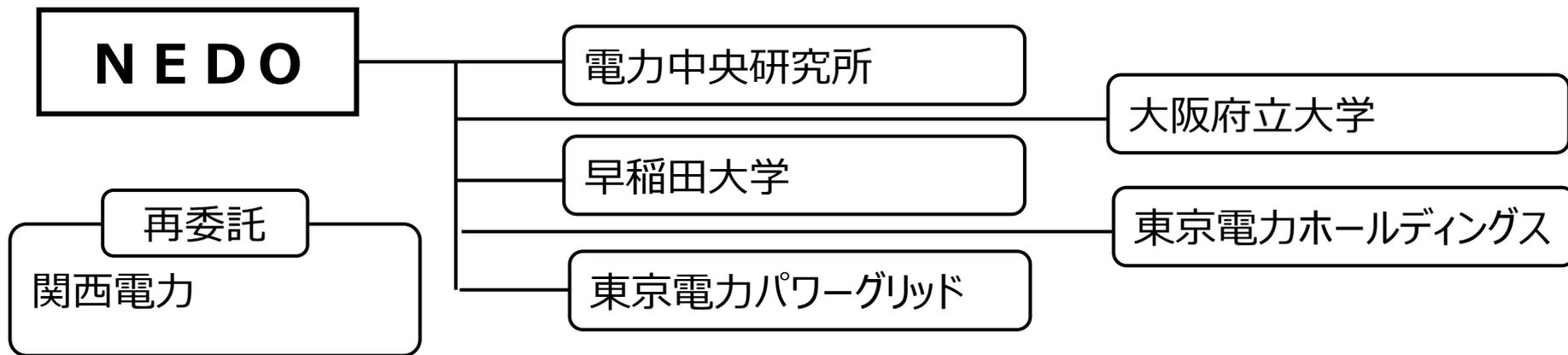
対策面からのアプローチ
(各種解析、機器要件)

・対策手法の提言・標準化

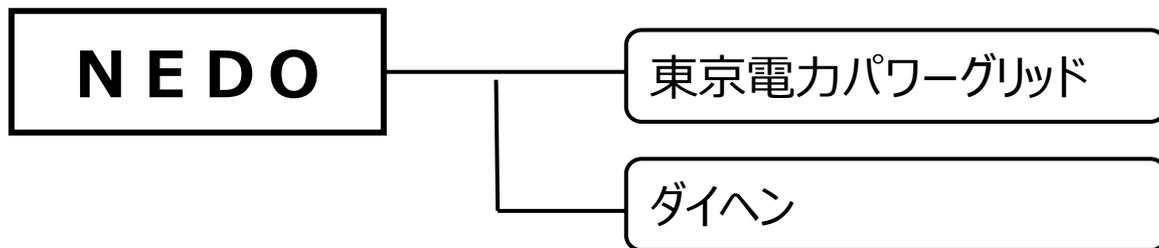
将来的な更なる再エネ導入を実現する技術の確立

◆ 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



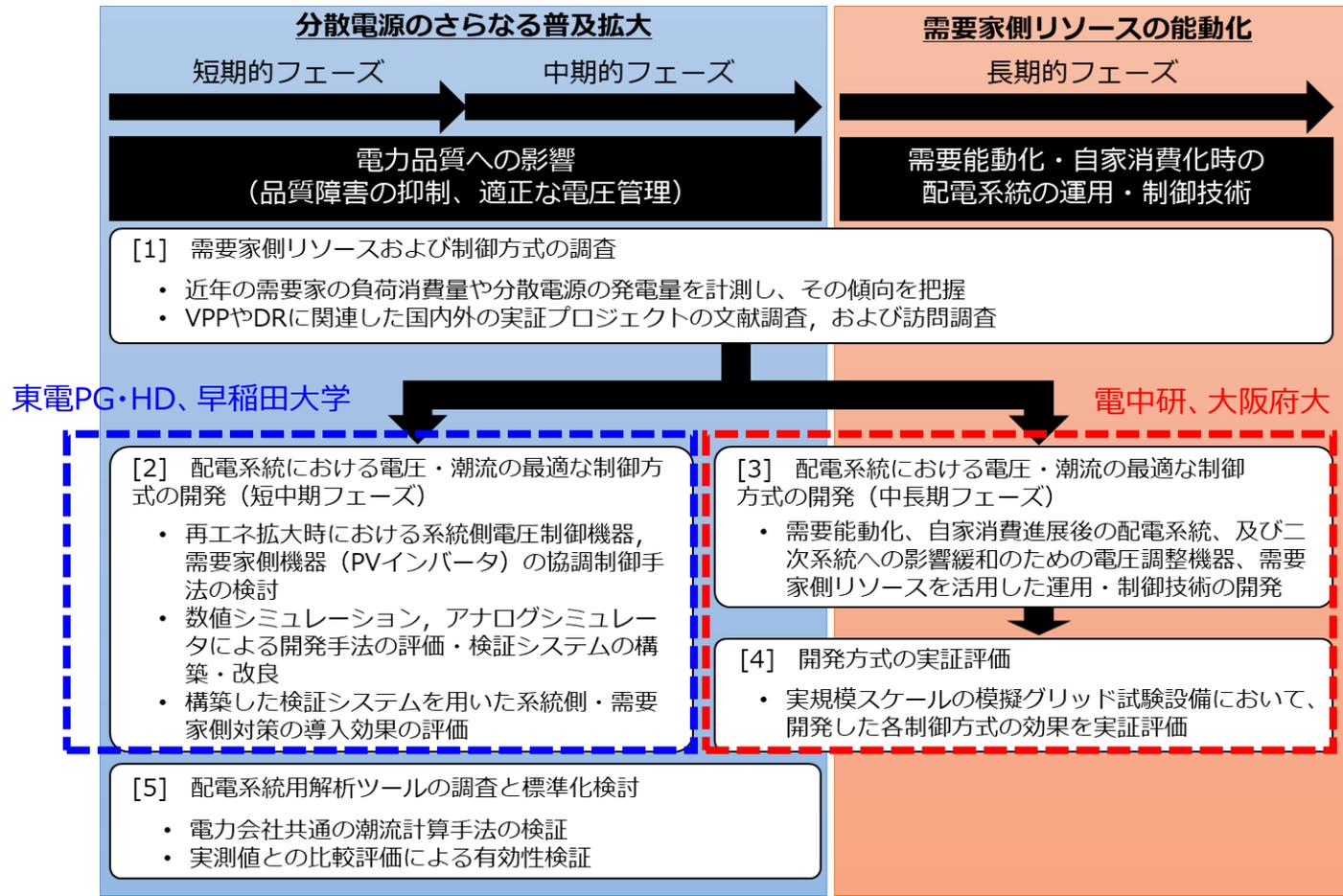
② - 2 高圧連系PCSにおける電圧フリッカ対策のための最適な単独運転検出方式の開発



◆研究開発の内容

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

- 将来の電力系統の全体最適を見据えて、上位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3フェーズ（短期的、中期的、長期的）に分けて実施。このうち、短中期を東電PG・HD及び早稲田大が、中長期を電中研及び大阪府大が分担して効率的に推進。



◆ マネジメントのポイント

1. 速やかな立ち上げ（体制構築）

- 経験のあるPL・サブPLの任命：前身事業「電力系統出力変動対応技術研究開発事業」のPLであった早稲田大学岩本先生にPL（送電：主、配電：副）を、「分散型エネルギー次世代電力網構築実証事業」の推進委員会委員長であった茨城大学奈良先生にサブPL（送電：副、配電：主）を依頼し、着任後すぐに的確な助言が得られる体制を構築。さらに、東電HDにPL補佐、電中研にサブPL補佐を依頼。
- プロジェクト推進会議：本事業の中核メンバー（PL、SPL、PL補佐、サブPL補佐）とNEDOがテーマ横断で情報を共有し、議論できる場を設置。

2. 効率的な事業の推進

- オンライン会議の活用：新型コロナウイルスの影響で、委員会等を対面開催することが難しくなったことから、速やかにオンライン会議に移行。
- NEDO資産の有効活用：②-1配電制御において、シミュレーションの計算能力不足が顕在化したが、他のNEDO事業（多用途多端子直流送電システムの基盤技術開発）から計算機（RTDS）を一時的に共用使用することで、時間をロスすることなく研究開発を推進。

3. 成果普及の見通し

- 2030年での再生可能エネルギー導入率を見据えて、資源エネルギー庁の審議会や電力広域的運営推進機関（OCCTO）の委員会等での議論と連携すべく、本プロジェクトの成果などの積極的な情報提供を推進。
- 電気学会全国大会のシンポジウム：2022電気学会全国大会において、一般向け（参加費無料）のシンポジウム『再生可能エネルギー大量導入に伴う系統慣性低下に対応するための技術開発成果－NEDO「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」－』を開催。研究開発項目①-2慣性力について11件を発表。

◆ 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
<p>グリッドコード検討会の設置と議論への貢献 (2020年9月)</p> <p>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。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・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）
<p>第6次エネルギー基本計画の策定（2021年10月）</p> <p>「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。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・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）	積極的に 権利化
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）	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

I. 事業の位置づけ・必要性

- (1)事業の目的の妥当性
- (2)NEDOの事業としての妥当性

II. 研究開発マネジメント

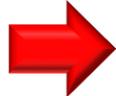
- (1)研究開発目標の妥当性
- (2)研究開発計画の妥当性
- (3)研究開発の実施体制の妥当性
- (4)研究開発の進捗管理の妥当性
- (5)知的財産等に関する戦略の妥当性

III. 研究開発成果

- (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義**
- (2)成果の普及**
- (3)知的財産権の確保に向けた取組**

IV. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

- (1)成果の実用化・事業化に向けた戦略
- (2)成果の実用化・事業化に向けた具体的取組
- (3)成果の実用化・事業化の見通し



◆ 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。

CE(Central Equipment : 系統慣性等常時監視システム)
2020.2全箇所設置完了、測定開始



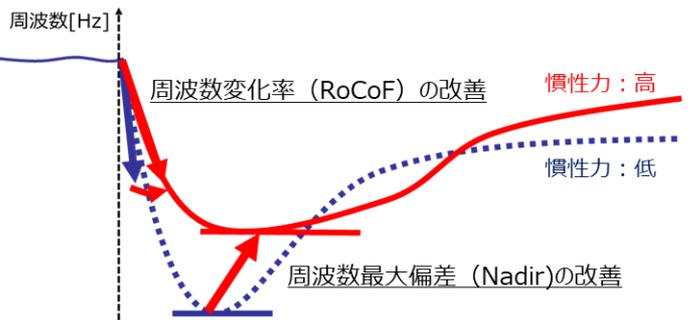
PMU(Phasor Measurement Unit : 同期フェイザ測定装置)



◆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

- 周波数変化率(RoCoF)と周波数最大偏差(Nadir)の両方に留意しつつ、Grid Following(GFL)とGrid Forming(GFM)の2種のPCSを開発し、疑似的な慣性力を保有しているように動作することを確認。



分類例

No.	(1)制御構造	(2)自立運転	(3)周波数応答	(4)パラメータ設定自由度	分類結果
1	電圧源的振舞 ↓ GFM			ソフトで任意の値に設定可能	GFM 1
2					
3					
4					
5			機能あり	ハードに依存	GFM 2
6		△			GFM 3
7	電流源的振舞 ↓ GFL			ソフトで任意の値に設定可能	GFL 1
8					
9					
10					



(1) PCS対策装置
候補：Grid-following方式

(2) 革新的な対策技術
候補：Grid-Forming方式

* 文献に記載の情報に基づき判断

◆ 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パマンモード分解（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）の基盤的開発完了に加え、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。 	◎

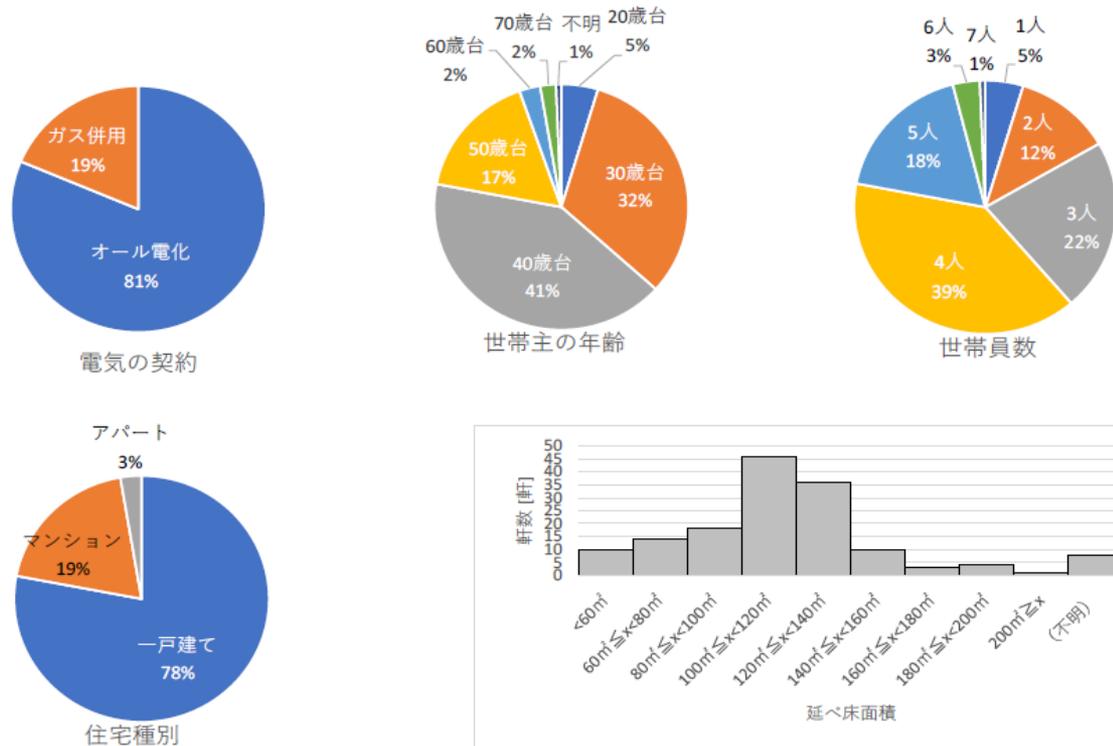
◆ 研究開発の内容

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

- 需要家側リソース及び制御方式を検討するため、大阪都市圏内の住宅150世帯（2020年度：30世帯、2021年度：120世帯）にデータ収集装置を設置し、需要データを収集・整理。

(参考) 計測対象の需要家属性について

計測対象150台(既設30台+設置予定120台)の内訳

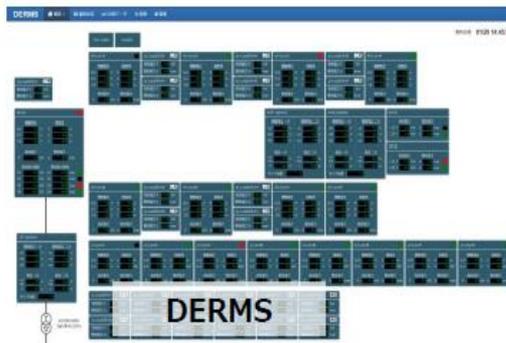


◆ 研究開発の内容

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 V大量連系時における実配電線を模擬できる世界最大級のシミュレーション環境を構築。

- ・ リアルタイムシミュレータと2配電線を模擬する実機系統とを組み合わせたHILS環境
- ・ 実機PV-PCS／蓄電池はDERMSを用いた監視制御が可能

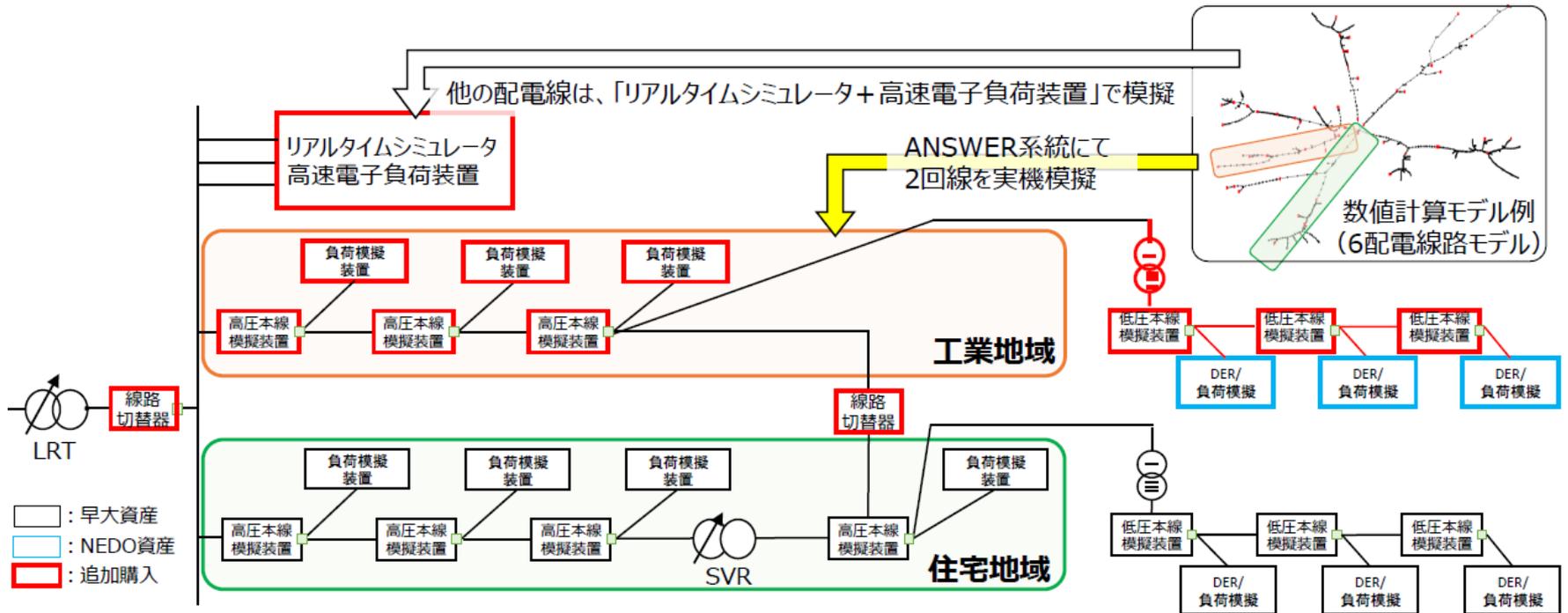


◆ 研究開発の内容

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

- ANSWERでモデル化しているシステム構成図は以下のとおり。

赤枠部分が、本事業における増設（リアルタイムシミュレータ、系統シミュレータ、負荷/DER模擬装置、計算機サーバー）



◆ 研究開発の内容

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

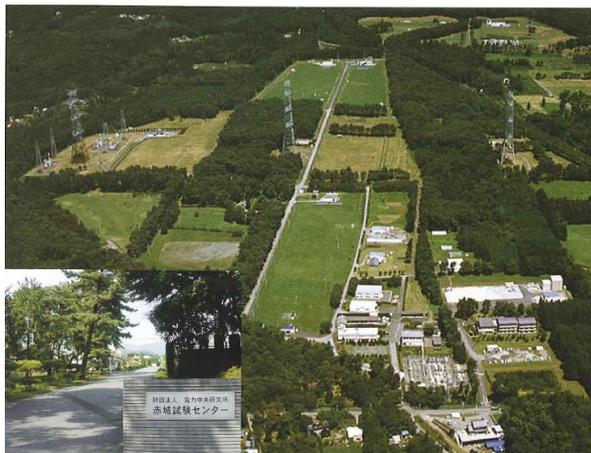
- 電中研赤城試験センターにおいて、数値シミュレーションでは模擬できない通信システムの遅れ、各種制御方式の演算時間、PCSが動作するまでの動作遅延、系統切り替え時の動作、通信障害発生時の動作等を検証。

低圧配電系統における試験項目：

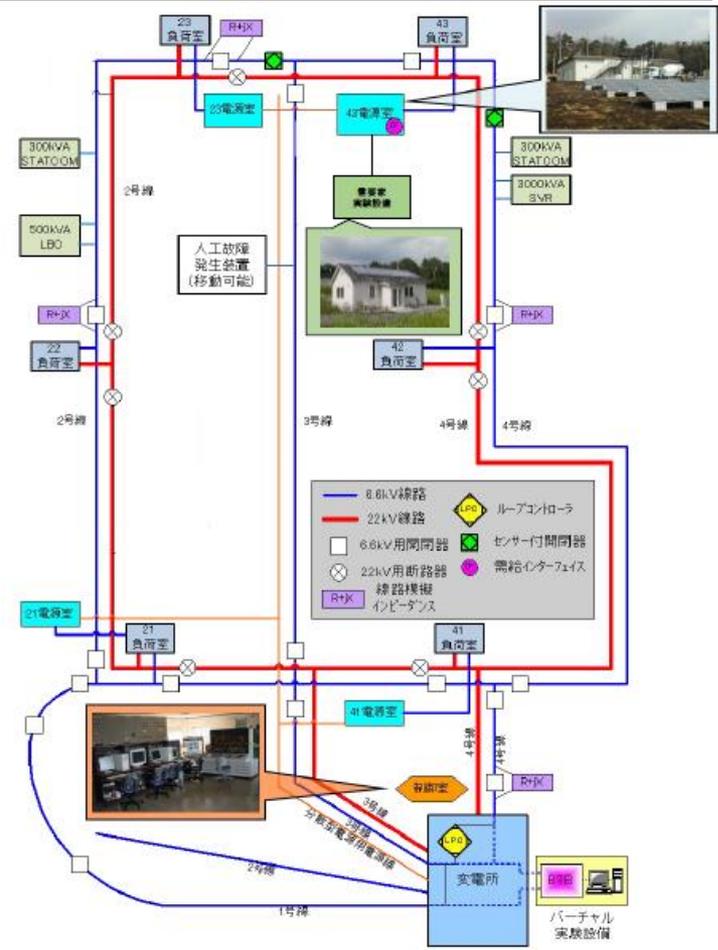
- ① 自端制御方式、ローカル自律制御方式の動作確認試験
- ② 開発方式、既方式（力率一定制御方式等）との協調試験

高圧配電系統、低圧配電系統における試験項目：

- ① 常時電圧変動時の開発方式の制御動作確認試験
- ② 開発方式と既開発方式混在時の協調動作試験
- ③ 複数低圧系統間の干渉影響評価試験
- ④ 系統切り替え時の動作検証試験
- ⑤ 通信障害発生時の動作確認試験



電中研赤城試験センター全体



試験設備構成イメージ

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

開発成果と達成度

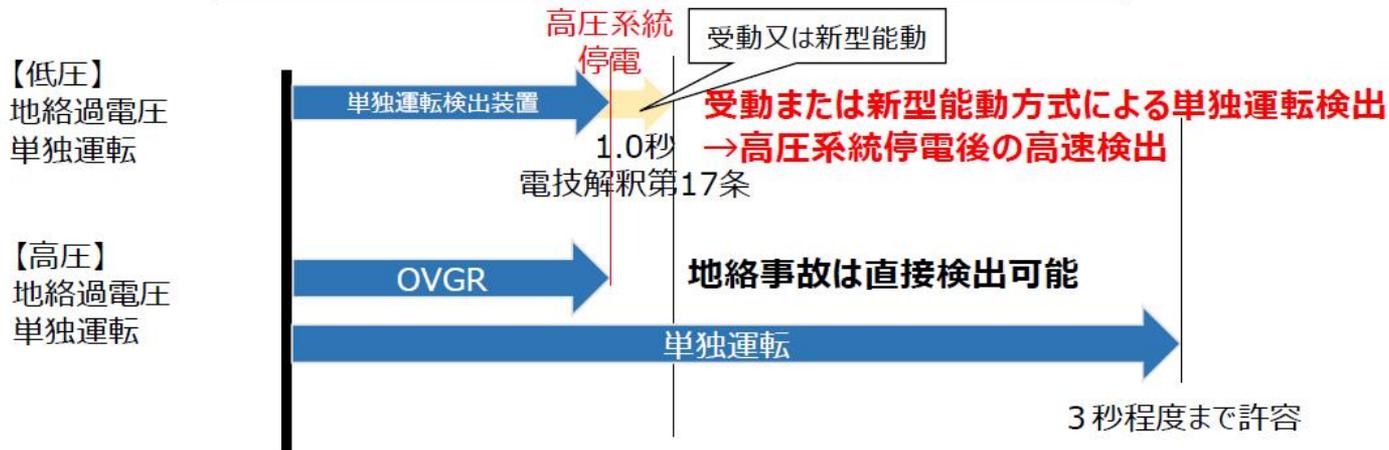
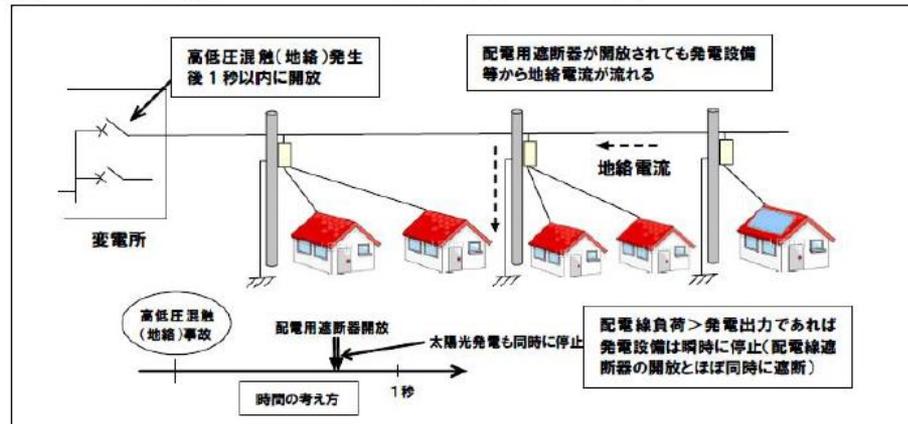
主な内容	目標	成果	達成度
②-1 配電系統 における電 圧・潮流 の最適な 制御方式 の開発	<p>・需要能動化及び自家消費進展後の状況において、配電線全体の電圧・潮流の適正化を図ることを目的に、需要家側リソースも制御対象に取り入れ、配電線全体で需要家側リソースと系統側の電圧調整機器（SVR、TVR、SVC等）の制御量を適切に分担する2つの制御方式（ローカル制御方式及び集中制御方式）を開発すること</p> <p>・開発する制御方式は配電系統の電圧・潮流を適正（101V±6V以内、過負荷無し）に維持可能であること</p>	<p>➤ ・自端制御方式、強化学習を用いた制御方式、ローカル自立制御方式、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。</p> <p>➤ ・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。</p>	◎

◆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

電中研赤城試験センターにおいて、様々な条件下でも誤検出せずに単独運転を検出できることを検証。

【試験条件と試験結果】…全条件において新方式が誤検出しないことを確認した。

項目	短絡形態		交流電圧		位相投入角	結果	波形
三相 短絡試験	瞬時停電(0×0.3sec)		定格/定格+10%/定格-10%		0°/45°/90°	良	[A]
	瞬時電圧低下(20×0.3sec)		定格/定格+10%/定格-10%		0°/45°/90°	良	
項目	短絡形態		交流電圧		位相投入角	結果	波形
二相 短絡試験	瞬時電圧低下 (20×0.3sec)	Y結線側	U相基準	定格/定格+10%/定格-10%	0°/45°/90°	良	[B]
			V相基準	定格/定格+10%/定格-10%	0°/45°/90°	良	
			W相基準	定格/定格+10%/定格-10%	0°/45°/90°	良	
	Δ結線側	U相基準	定格/定格+10%/定格-10%	0°/45°/90°	良		
		V相基準	定格/定格+10%/定格-10%	0°/45°/90°	良		
		W相基準	定格/定格+10%/定格-10%	0°/45°/90°	良		
項目	変動形態		周波数変化		結果	波形	
周波数 変動試験	ステップ変動	上昇	50Hz→50.8Hz(3サイクル)→50Hz		良	[C]	
	ランプ変動	上昇	50Hz→(+2Hz/sec)→51.5Hz		良		
		下降	50Hz→(-2Hz/sec)→47.5Hz		良		

[2] 従来型PCS:なし、特殊負荷:LC共振負荷

No.	特殊負荷	ステップ注入付き周波数 フィードバック方式PCS			従来型PCS		供試機 PCS 出力P	調整 負荷	潮流 (P,Q)	試験 結果	検出 時間 (ms)
		出力P	定格Q	能動設定	出力P	定格Q					
1	LC(10kvar)	1kW	10kW	STEP1.0			10kW	10kW	(0,0)	良	412.8
2	LC(10kvar)	1kW	10kW	STEP2.5			10kW	10kW	(0,0)	良	420.3
3	LC(10kvar)	1kW	1kW	STEP1.0			10kW	10kW	(0,0)	良	925.1
4	LC(10kvar)	1kW	2kW	STEP2.5			7kW	7kW	(0,0)	良	538.0
5	LC(10kvar)	1kW	2kW	STEP2.5			8kW	8kW	(0,0)	良	992.8
6	LC(10kvar)	1kW	2kW	STEP2.5			9kW	9kW	(0,0)	良	532.4
7	LC(10kvar)	1kW	2kW	STEP2.5			10kW	10kW	(0,0)	良	449.6
8	LC(10kvar)	1kW	2kW	STEP2.5			8kW	8kW	JET5点	良	993.7

…新方式が単独運転状態を3秒以内に問題なく検出することを確認した。

◆ 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。	○

◆ 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

◆ 成果の普及

- 2022電気学会全国大会において、一般向け（参加費無料）のシンポジウム『再生可能エネルギー大量導入に伴う系統慣性低下に対応するための技術開発成果－NEDO「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」－』を開催。

講演番号	題 目	講演者氏名	所属
1	はじめに NEDO事業紹介	前野 武史	NEDO
2	I. 「系統慣性等の把握可能な基盤技術の開発」概要	草柳 儀隆	東京電力ホールディングス
3	I-1. 系統慣性等常時監視システムの開発	立松 正幹	関西電力
4	I-2. 系統慣性等推定技術の開発	渡邊 政幸	九州工業大学
5	I-3. 系統慣性等推定結果の検証・評価	田口 公陽 山崎 渉	東北電力ネットワーク 中国電力ネットワーク
6	I-4. 新島における実証試験と系統慣性推定手法開発に向けた取組	大原 尚 大熊 武	東京電力パワーグリッド 東光高岳
	休憩		
7	II. 「慣性力等を備えた制御装置の基盤技術開発」概要	濱田 拓	東京電力ホールディングス
8	II-1. 将来の需給シナリオ策定	荻本 和彦	東京大学
9	II-2. 慣性力等低下時の合理的対策検討	入江 寛	三菱総合研究所
10	II-3. 慣性低下対策PCSの仕様検討及び評価技術開発	橋本 潤	産業技術総合研究所
11	II-4. 革新的技術検討：GFM制御アルゴリズムと評価基盤の開発	石井 英雄	早稲田大学

◆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

I. 事業の位置づけ・必要性

- (1)事業の目的の妥当性
- (2)NEDOの事業としての妥当性

II. 研究開発マネジメント

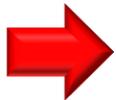
- (1)研究開発目標の妥当性
- (2)研究開発計画の妥当性
- (3)研究開発の実施体制の妥当性
- (4)研究開発の進捗管理の妥当性
- (5)知的財産等に関する戦略の妥当性

III. 研究開発成果

- (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義
- (2)成果の普及
- (3)知的財産権の確保に向けた取組

IV. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

- (1)成果の実用化・事業化に向けた戦略
- (2)成果の実用化・事業化に向けた具体的取組
- (3)成果の実用化・事業化の見通し



◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

◆実用化・事業化の定義

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることを実用化、さらに、当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動(売り上げ等)又は再生可能エネルギーの導入拡大に貢献することを事業化と定義する。

➤ 設定理由

開発した技術やシステムは、エネルギー政策に基づき、着実に社会実装すべきであるものの、実装し運営する一般送配電事業者の利益としては現れにくいものであるため、波及効果である再生可能エネルギーの導入拡大に貢献することまでを事業化の定義に含めた。

IV. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し

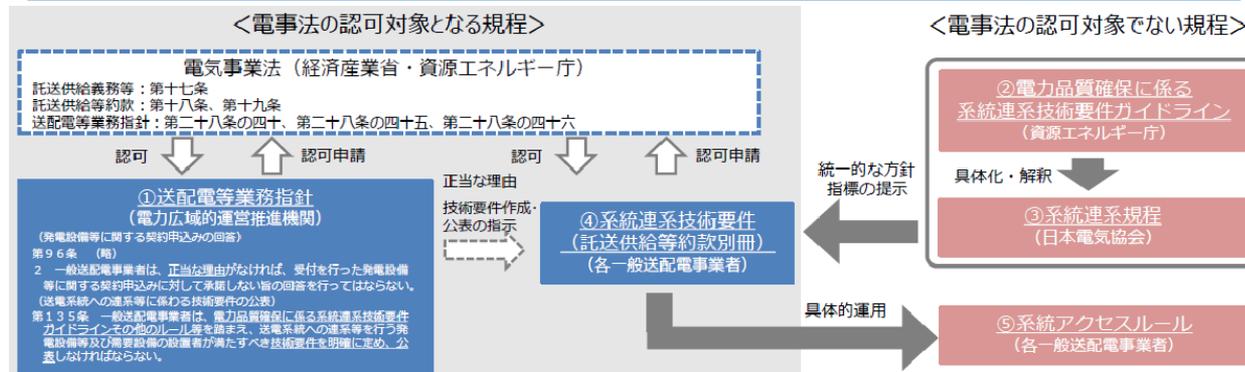
- ①-2慣性力及び②-1配電制御は、疑似慣性PCSの成果を中心に、後継事業「再生可能エネルギーの主力電源化に向けた次々世代電力ネットワーク安定化技術開発(2022～2026)」を経て社会実装し、2030年の再エネ導入目標達成に貢献していく。
- ②-2高圧フリッカについては、本事業で取得した特許及び整理した系統連系規程等へ反映する事項を具体的に進め、早期実用化を目指す。
- なお、いずれの項目も確実に社会実装するためグリッドコードに反映することを念頭に推進していくことから、本成果が**今後実用化・事業化される確かな見通し**がある。

II. グリッドコードについての整理

＜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＞

12

- 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

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（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

IV. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し

- 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

3

①論点整理

■ 現在の対応状況

- 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。

■ 2030年時点で想定される課題、その後の課題と提言

- 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連系時の電圧問題対策の1つとして、力率一定制御における適正力率値について検討を実施している。
- その結果、PV連系量の増加により、現行の低圧PVの力率一定値（95%）では、高圧PVの力率一定値によっては適正電圧維持が困難となる可能性が示唆された。

■ 要件化の必要性およびメリット

- 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**を規定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、再生可能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脱落することを回避する。（発電機会損失の低減）**。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。

1. 個別技術要件「電圧変動対策(力率設定)」の検討

10

⑤比較・検討結果

<検討モデル>

【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）」

- 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

【検討方法】定量評価（解析実施）

- 標準的な配電系統モデルを設定し、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系統モデル構築
 - 標準的な系統と厳しめな系統を選定
 - P・V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パラメータ最適化）をした際の電圧逸脱量を評価