

再エネ主電源化に向けた系統対策と技術開発

東京電力ホールディングス株式会社
経営技術戦略研究所
技術開発部長 本庄
2021/9/22

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務の結果得られたものです。



-
1. 2050カーボンニュートラル実現に向けたシナリオ
 2. 再エネ主電源化のための系統対策
 3. 洋上WF用の直流系統の技術開発
 4. 今後の技術課題

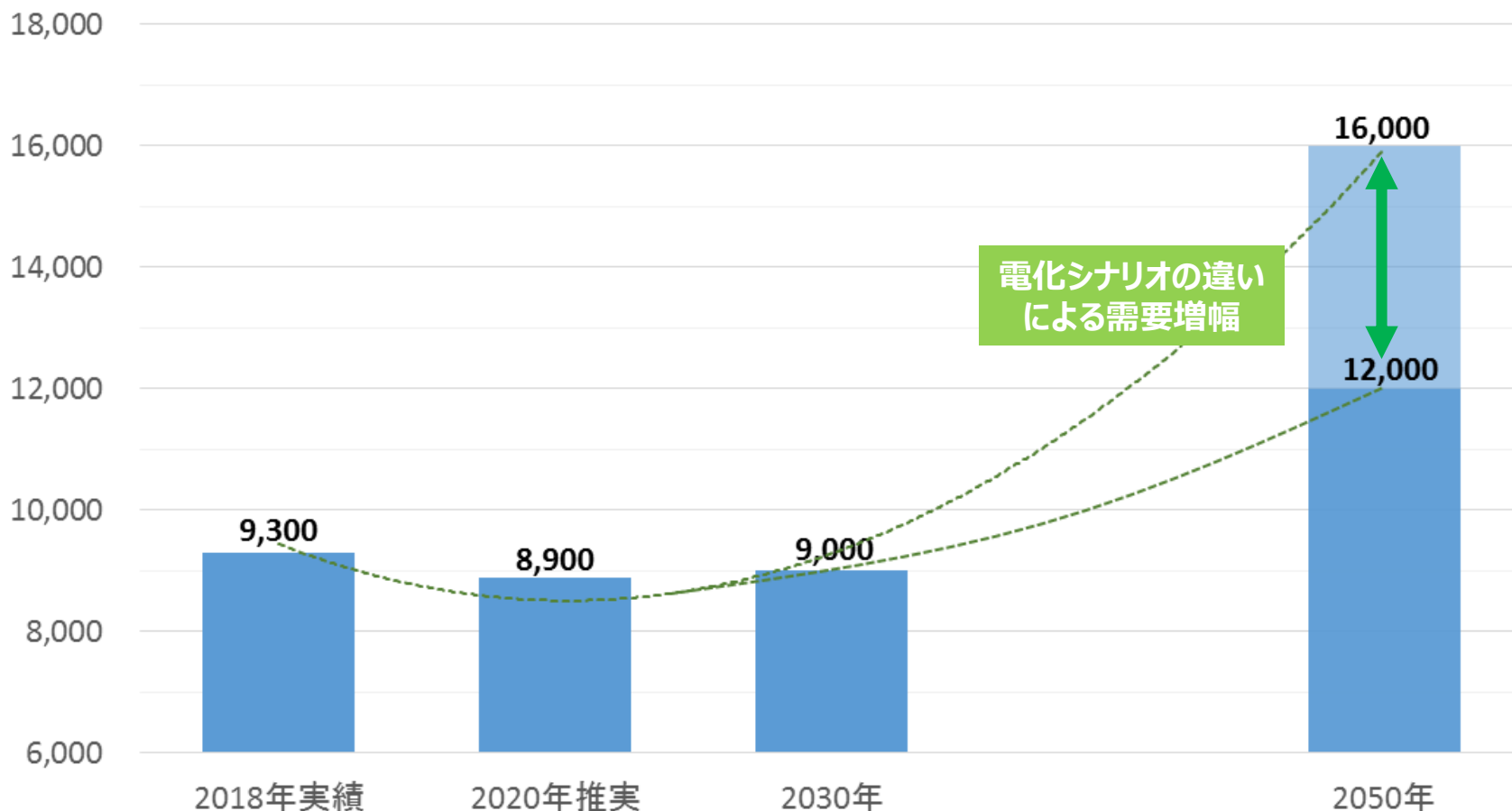
1. 2050カーボンニュートラル実現に向けたシナリオ

1-1. 電力需要の推移予測

- カーボンニュートラル実現のキーワードは、電源の脱炭素化と電化の進展
- 2050年の電力需要は1.2兆～1.6兆kWhまで大幅増加の見通し

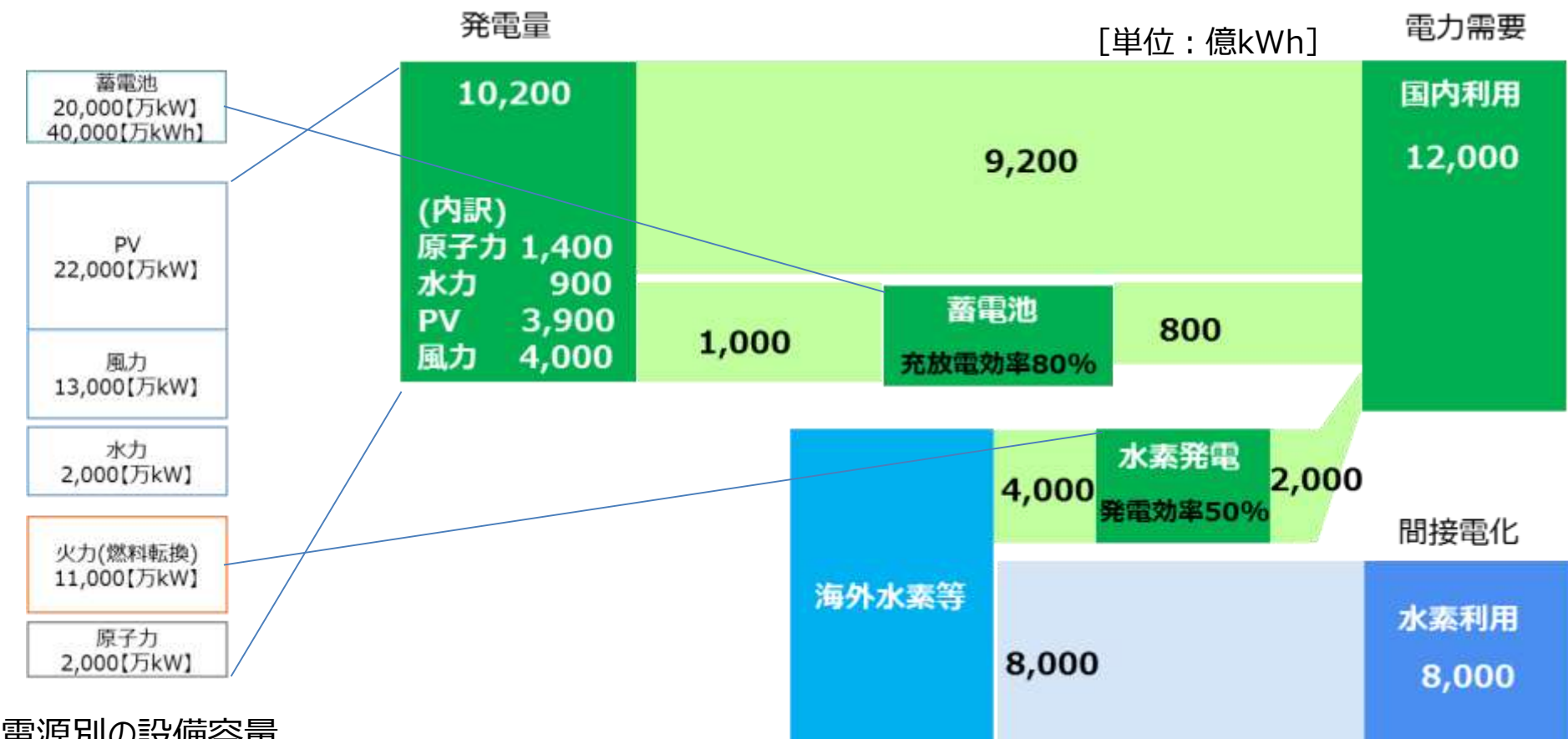
【億kWh】

日本の電力需要の推移予測（発電端ベース）



1-2. 2050のエネルギーフローと電源構成

- 再エネ（PV、風力）の発電量（7,900億kWh）は全発電量の77%に到達
- 設備容量ベースで、PVは2.2億kW、風力は1.3億kW必要
- 火力発電設備での水素発電や蓄電池（揚水を含む）を調整用電源として活用し供給



電源別の設備容量

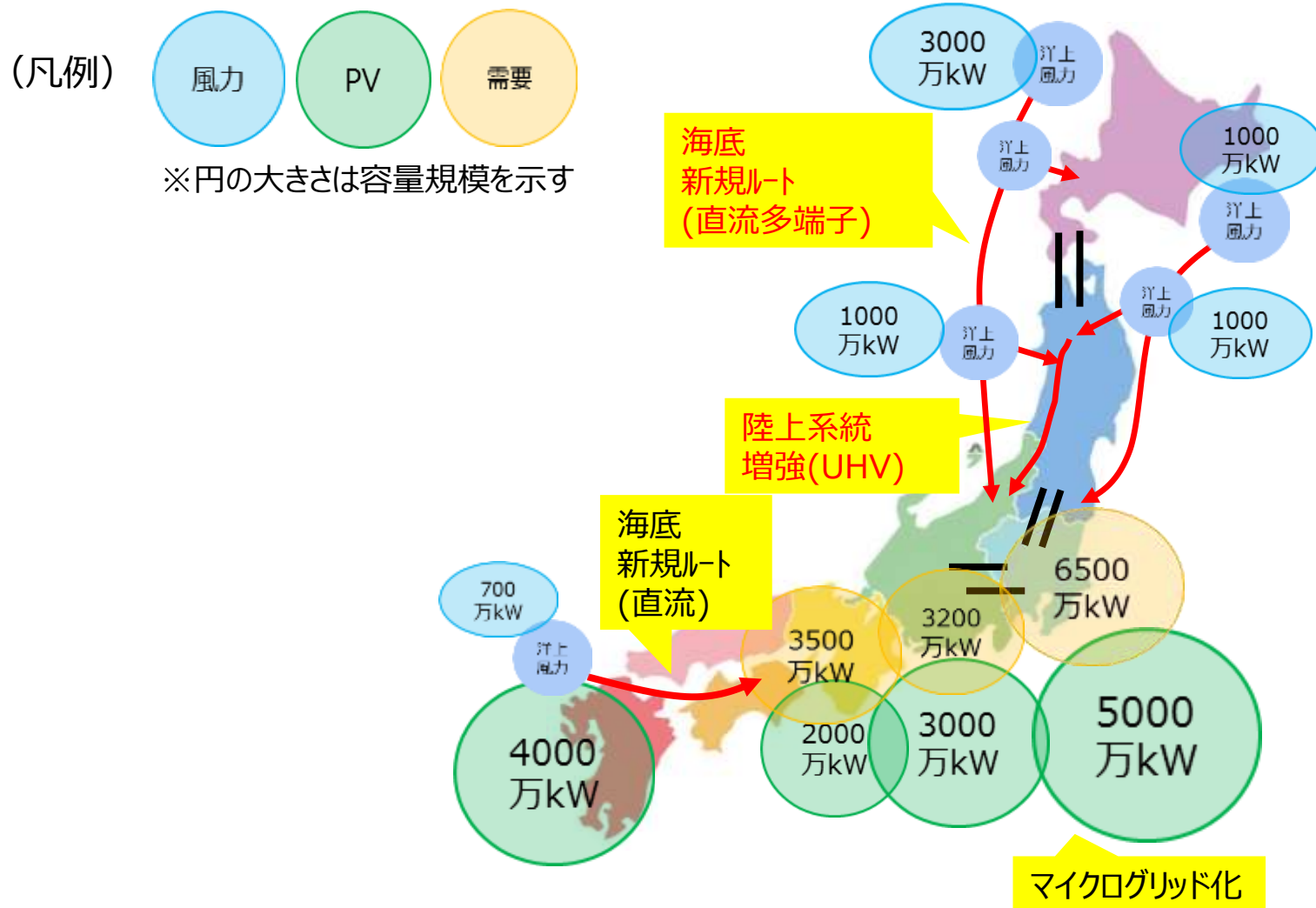
2050断面でのエネルギーフロー図

1-3. 再エネ導入率に応じた系統対策

再エネ導入率		課題		主な対策
オフグリッド 本土	高	①短絡容量低下	同期機比率の低下による課題	保護協調の見直し 短絡電流供給機能
		②系統慣性低下		リアルタイム慣性推定手法の確定 周波数維持機能付PCSの開発
		③短周期変動	需給調整に伴う課題	周波数変動対策（蓄電池 GF,LFC制御）
		③長周期変動		下げ代対策（PV出力制御, 蓄エネ利用） 再エネ出力予測・ランプ予測 需給運用シミュレーション
		④送電容量不足	多数の分散電源の連系による課題	RA活用 コネクト&マネージ ダイミクレーティングによる導体温度管理
		⑤電圧フリッカ	多数の分散電源の保護機能による課題	単独運転防止機能の改良
	低	⑥配電線の電圧変動	多数の分散電源の出力変動による課題	スマートインバータ開発・適用

1-4. 再エネ適地と系統増強

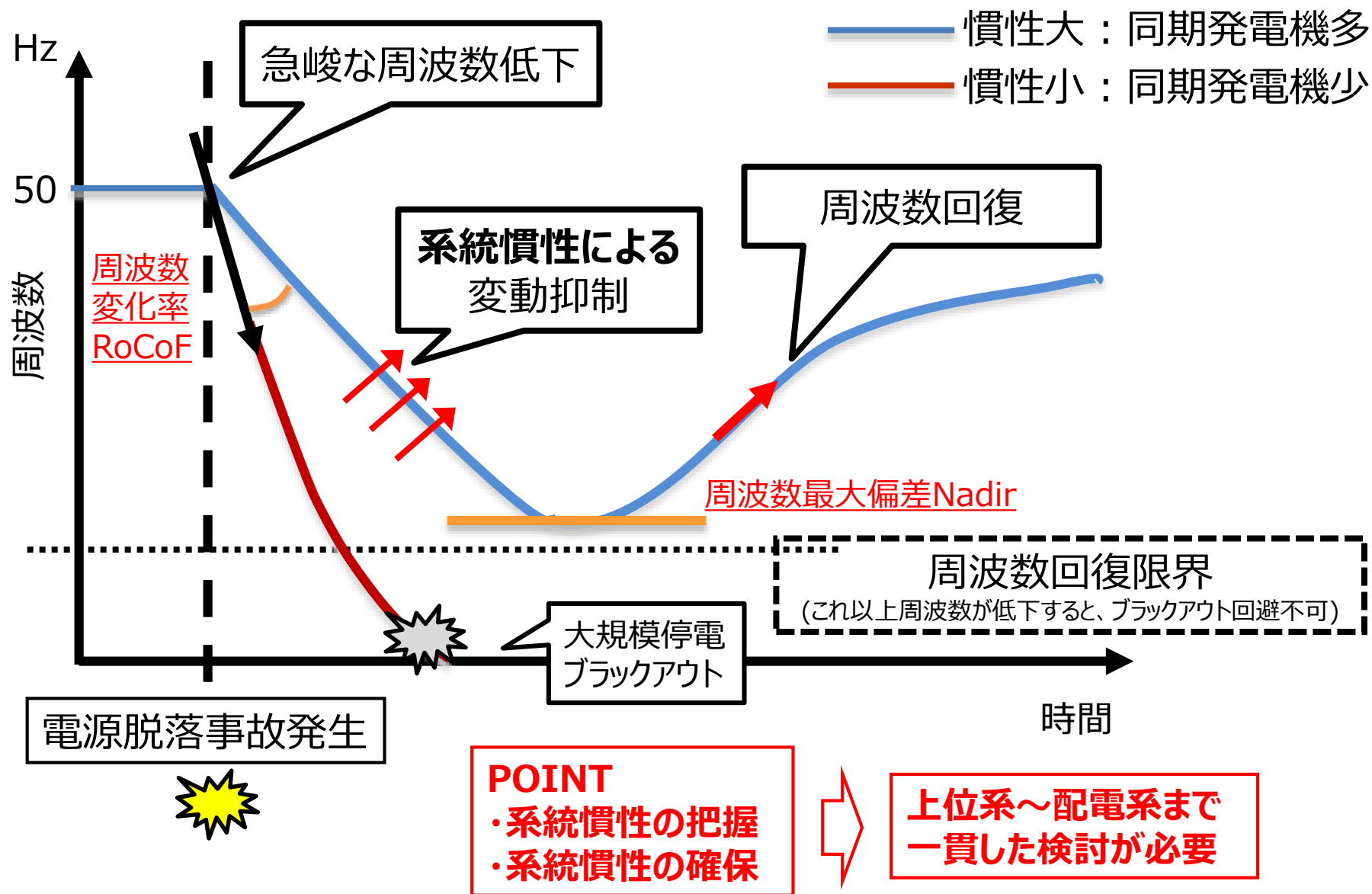
- 風力適地は北海道・東北エリア、九州エリアに偏在し、大規模な送電ルート新設が必要
- PV（事業用、家庭用）適地は都市部に多く、マイクログリッド化による新たな系統活用の可能性



2. 再エネ主電源化のための系統対策

～系統慣性～

2-1. 慣性低下による周波数への影響

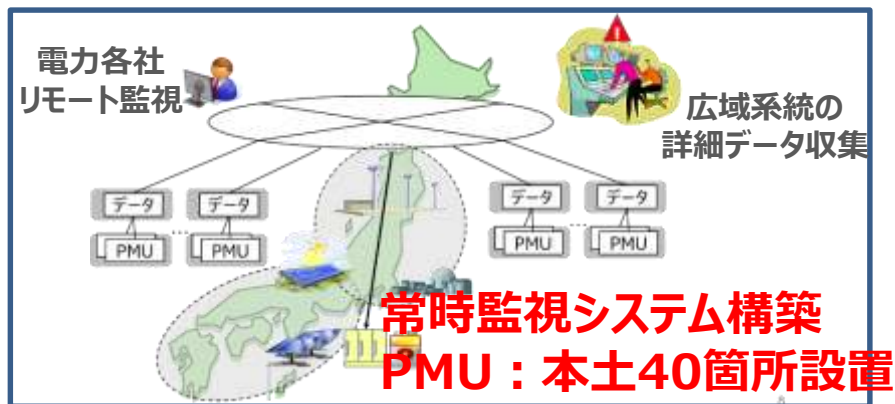


2-2. 慣性対策事業の概要

○NEDO事業：2019.7～2022.2(3年事業)

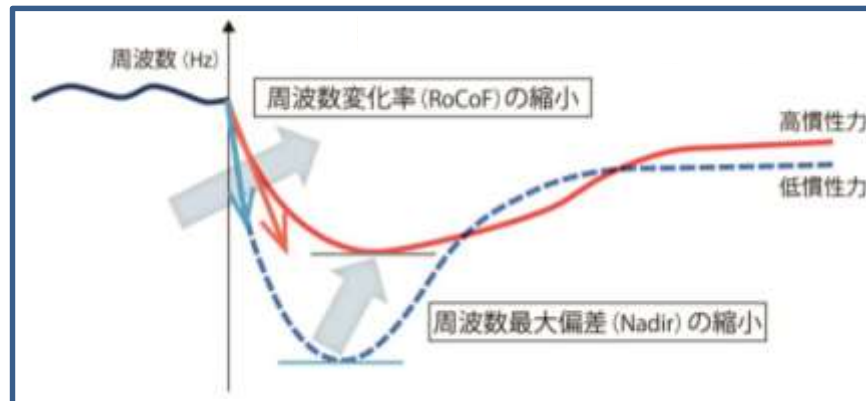
・予算原課：METI 省新部 再エネ推進室 ・事業総額：23億円

①リアルタイム慣性推定手法確立



実測データからのアプローチ
(系統慣性の把握)

②対策装置（慣性機能付PCS）の開発



対策面からのアプローチ
(各種解析、機器開発)

- ・慣性必要量の確定
- ・対策装置の確立・標準化

2-3. 系統慣性推定のためのシステム構成

● 系統慣性常時監視システム (CE)



【CE設置箇所】

- ・東京電力HD研究所
- ・東北電力NW本社
- ・中部電力研究所
- ・関西電力研究所
- ・中国電力NW本社
- ・九州電力送配電本社
- ・九州電力研究所

● 位相計測装置 (PMU)



各変電所に設置

● PMU設置箇所

東地域 : 20台
中西地域 : 20台



2-4. リアルタイム慣性推定手法

電力系統の広域動揺（※）に着目した推定手法

（※）電圧の位相が、電力系統全体で振動する現象

①PMU計測データ ⇒ ②広域動揺周波数 f_0 ⇒ ③慣性推定を抽出(FFT)

東北エリア(1)

長距離くし形で
振動が伝播しやすい

東京エリア(2)

簡易系統モデルに置き換え

PMU計測データ

電圧位相

東北・東京間連系線

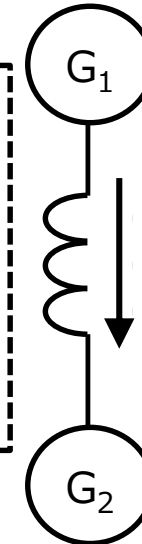
潮流

電圧位相

f_0 : 潮流・位
相差から抽出

$$K = \frac{\text{潮流}}{\text{位相差}}$$

簡易系統
モデル



$A1$: $G1$ 位相振幅

$A2$: $G2$ 位相振幅

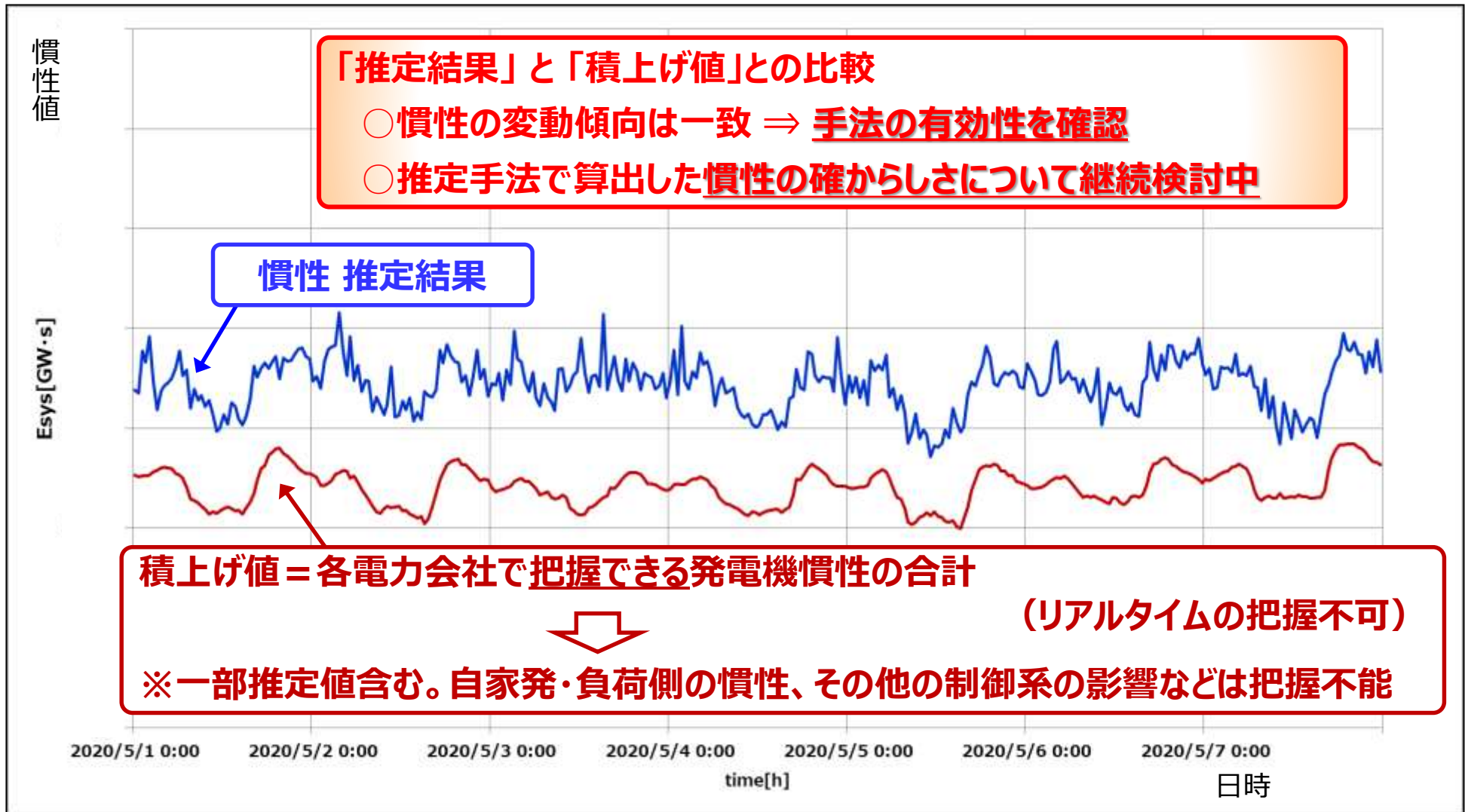
$$\text{東北エリア慣性} H_1 = \frac{K(A_1 + A_2)}{2A_1\omega_0^2}$$

$$\omega_0 = 2\pi f_0$$

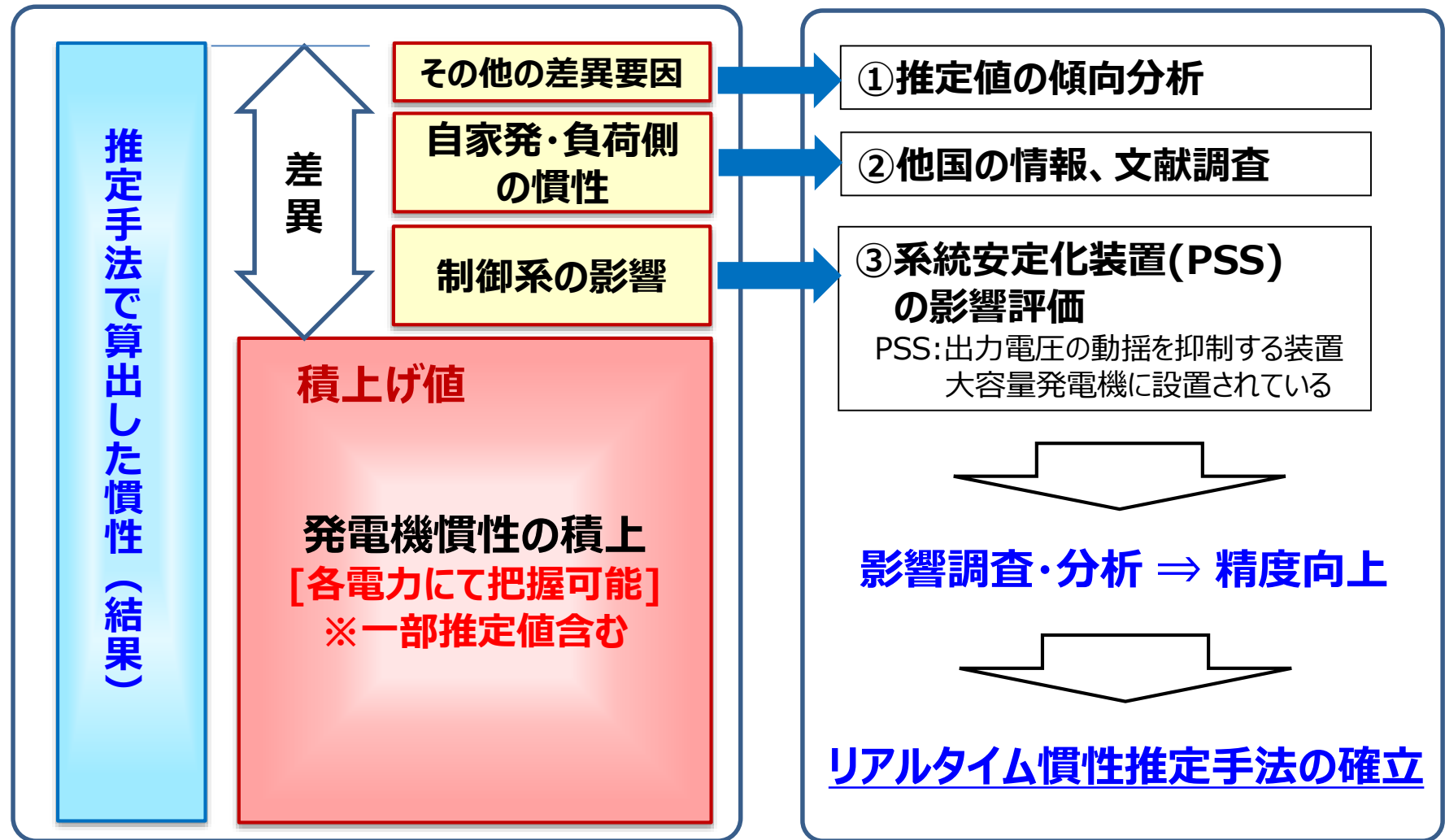
50Hz系統合計
慣性 $H_1 + H_2$

$$\text{東京エリア慣性} H_2 = \frac{K(A_1 + A_2)}{2A_2\omega_0^2}$$

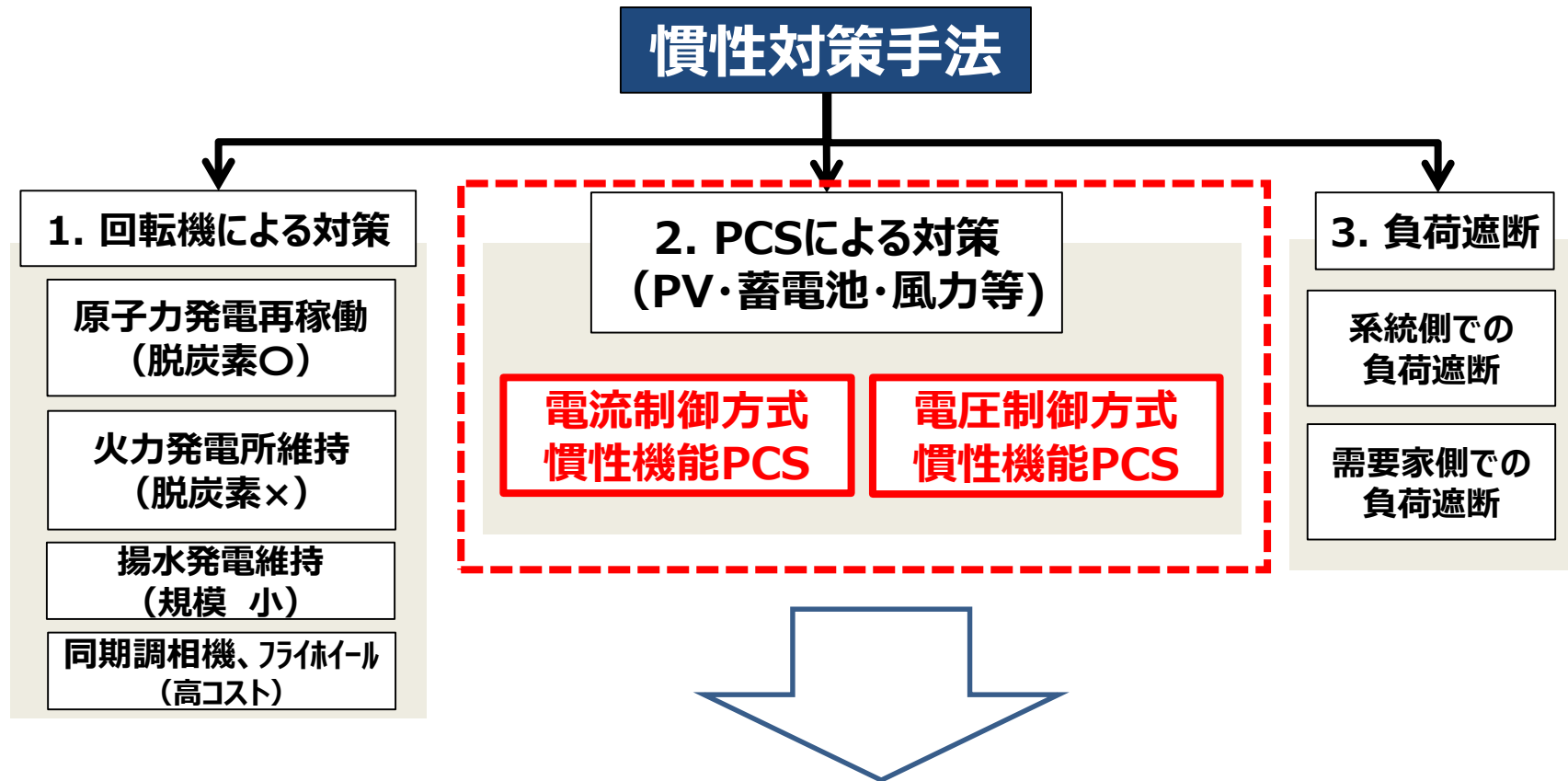
2-5. リアルタイム慣性推定結果例



2-6. リアルタイム慣性推定手法確立に向けて



2-7. 各種慣性対策手法



再エネ電源に不可欠のPCSを慣性対策として活用
再エネ拡大（火力発電所減）と対策コスト削減の両立

2-8. 慣性機能付PCSの種類と開発方針

再エネ導入率

低

高

	方式①：電流制御方式	方式②：電圧制御方式
応答速度	速 (0.1~1s)	瞬時 (~0.1s)
効 果	中	大
開発期間	中： 2 ~ 3 年	長： 5 年以上
特 徴	従来の制御方式に機能を追加 ↓ 従来のPCSからの移行が容易	新しい制御方式 ↓ 系統連系規程等のルール面も含め、抜本的な見直し要
電圧階級	高圧・特高	

移行

ブレークスルー要

両方式のPCSが混在可能 ⇒ スムーズな移行が可能

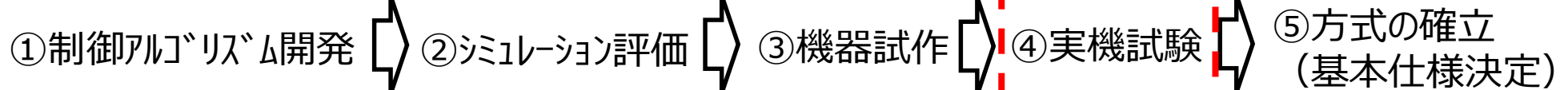
両方式を開発

※方式①のみ導入時の課題：

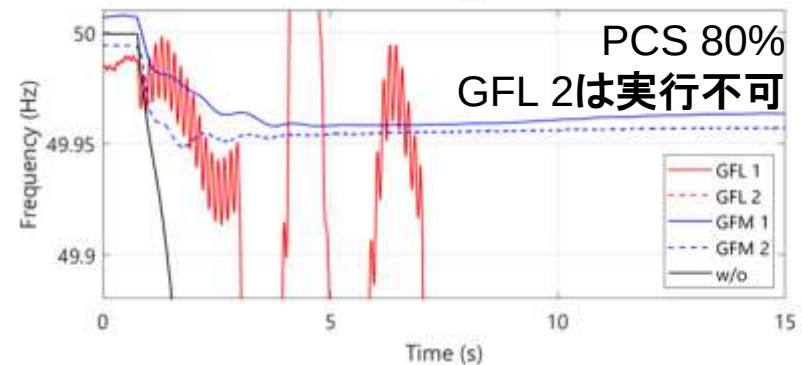
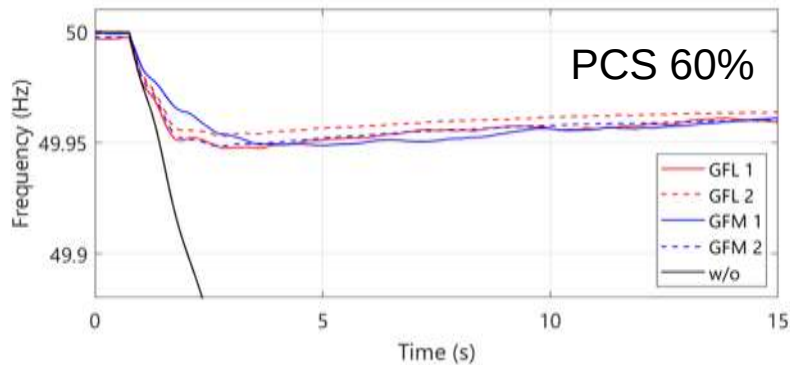
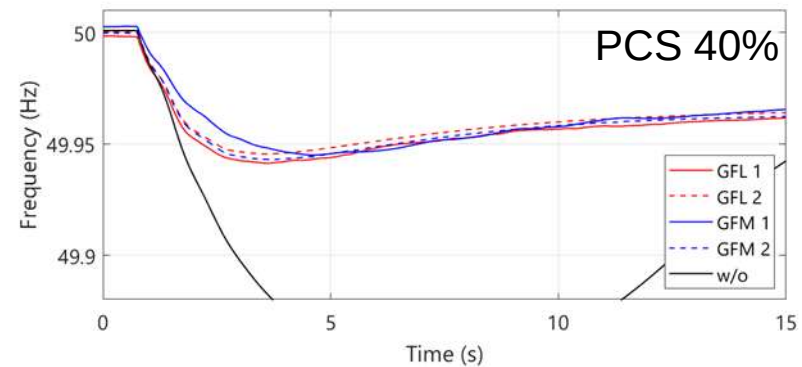
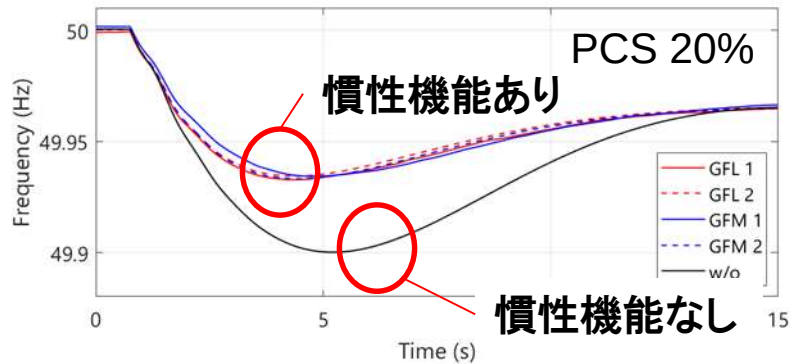
再エネ：主電源化 ⇒ 周波数変化率：大 ⇒ FRT要件を満たさず一斉解列(⇒広域停電)
⇒ 再エネ導入率に応じて方式②のPCSを順次導入することで解決

2-9. 対策装置（慣性機能付PCS）の開発状況

OPCSの開発ステップ°



OPCSの慣性応答の実機試験例（再エネ比率4ケース）



両方式（電流制御方式：GFL、電圧制御方式：GFM）ともに慣性低下対策効果を確認
再エネ比率が極端に高い場合(PCS80%)は、GFL：不安定、GFM：安定

2-10. 海外の状況

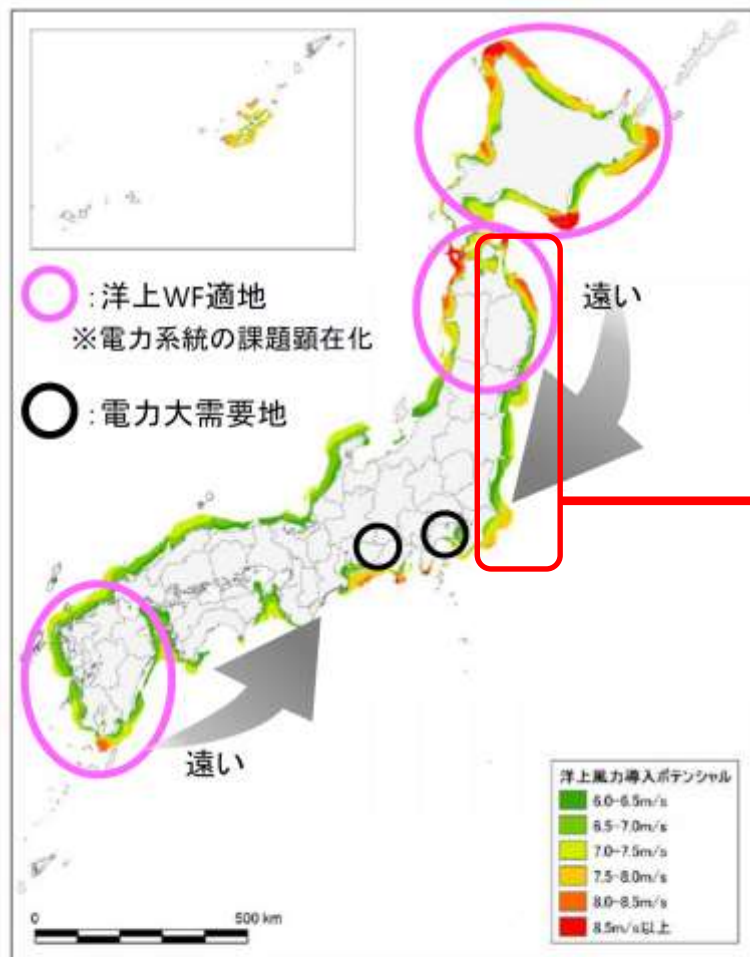
慣性に関する検討が先行しているのは下記4地域

項目	 イギリス	 アイルランド	 北欧 	 米国（テキサス）
電気事業体制	発・送・配・販が分離 再エネ比率 18%	発・送・配・販が分離 再エネ比率 24%	発・送・配・販が分離 再エネ比率 10% HVDCで連系されており 欧州大陸系統と分断	発・送配・販が分離 再エネ比率 17%
慣性低下による 課題	周波数変化率(RoCoF) 上昇による発電機脱落	RoCoF上昇による 発電機脱落	周波数低下幅(Nadir) の低下による負荷遮断リ ー作動	Nadirの低下による 負荷遮断リー作動
調整力市場	・13商品（一次/二次/ 三次、無効電力供給、 慣 性 等） ※慣性PCS開発中	・11商品（一次/二次 /三次、 慣性 等） ※慣性PCS開発中	・一次/二次/三次、FFR の市場有り ・ 慣性含む 高速周波数 応答メニュー検討中 ※慣性PCS開発中	・3商品（一次/二次/ 三次） ・メニューの細分化、 慣 性 検討中 ※慣性PCS開発中
対策コスト回収 （費用負担）	利用者からの一般負担で 回収	託送料金で一括回収	各国の託送料金で回収	利用者からの一般負 担で回収

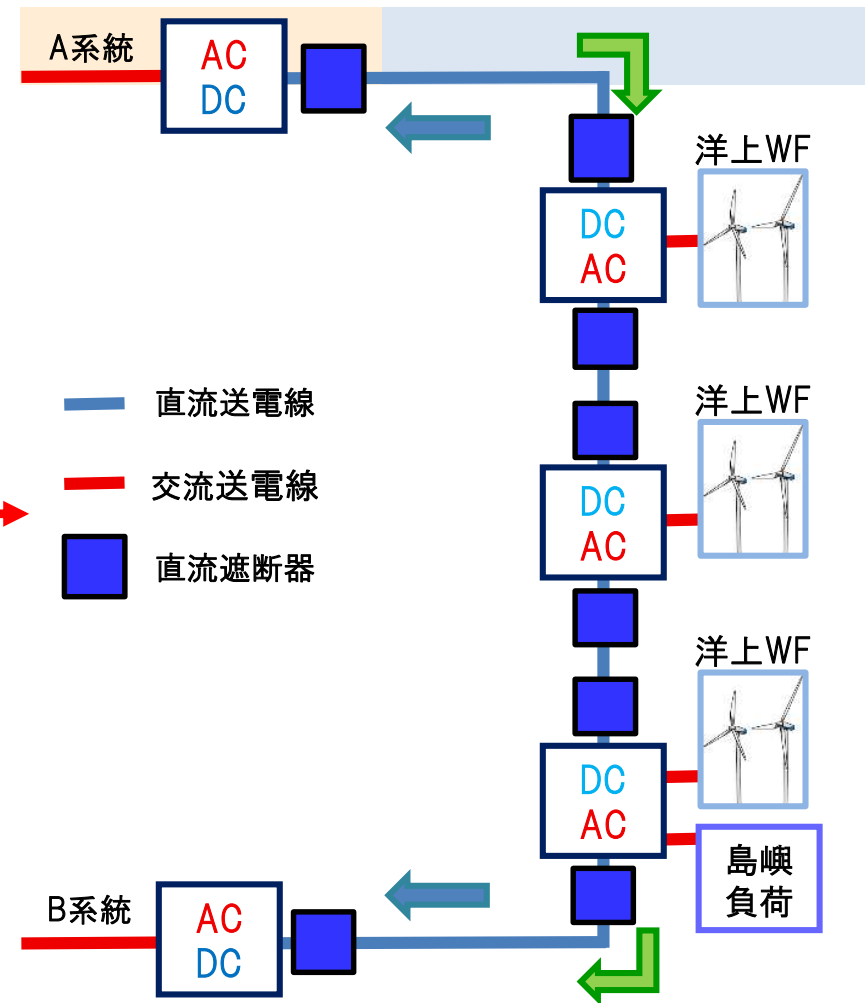
3. 洋上WF用の直流系統の技術開発

3-1. 多端子直流送電システムの必要性

- 洋上風力の適地である北海道、東北、九州エリアからの送電は、既存系統では容量不足。電力大需要地まで遠いことから、効率的に電力送電可能な直流送電システムの適用が期待。
- 日本近海の海域は、離岸距離が大きいと水深が深くなるため、洋上風力は沿岸に帯状分布。



出典:「平成25年度 再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備報告書」(環境省、2014年8月)にNEDO追記



3-2. 多端子直流送電システム開発事業の概要

○NEDO事業：2020.7～2024.2(4年事業)

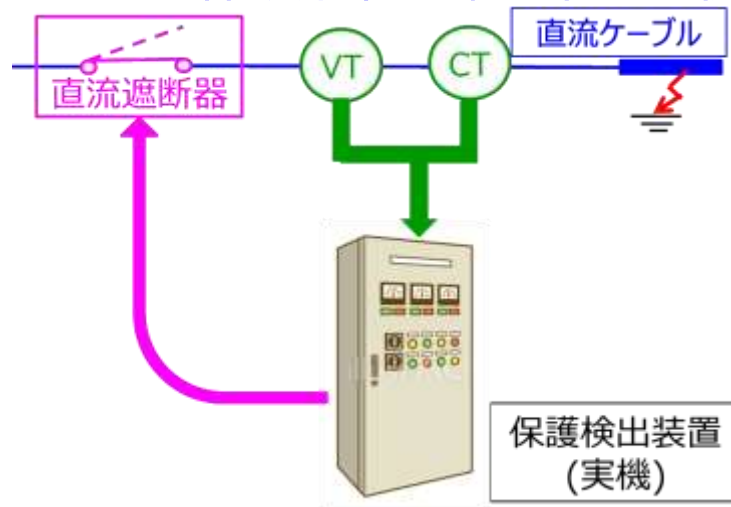
- ・事業名：多用途多端子直流送電システムの基盤技術開発事業
- ・2020年度予算：10億円

I 多用途多端子直流送電システムの開発 システムの潮流制御技術の開発・検証



RTDS（機能検証するための電力系統シミュレータ）の写真

II 多端子直流送電用保護検出装置の開発 システムの保護制御技術の開発・検証

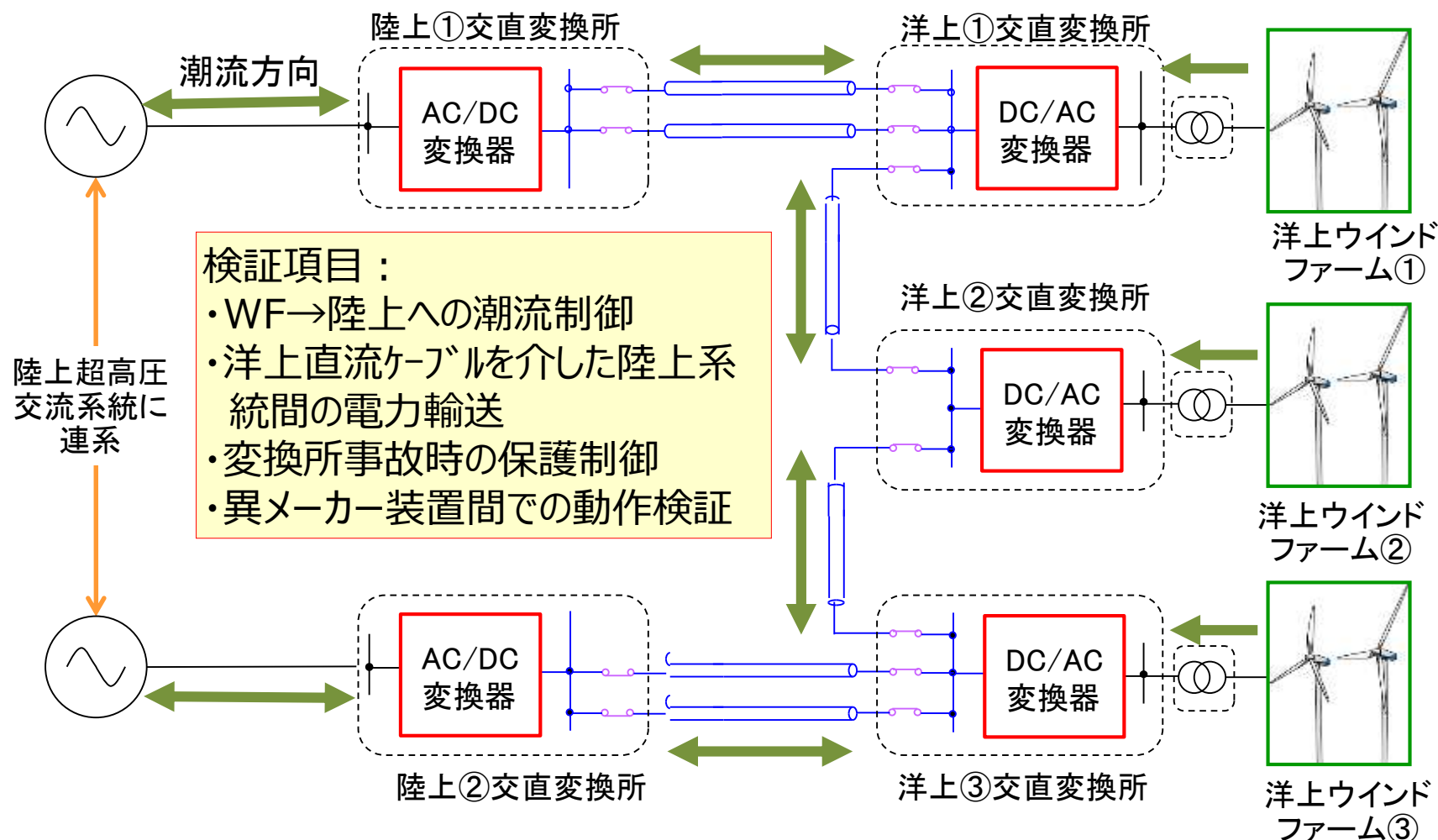


- ・潮流・保護制御技術の確立
- ・異メーカーでも接続可能な技術の標準化

* RTDS : Real Time Digital Simulator

3-3. 多端子直流送電システムの系統構成

- 陸上交直変換所 2 箇所、洋上WF用交直変換所 3 箇所と、直流ケーブルからなる系統を設定。
- 洋上ウインドファームの発電電力の送電機能に加え、陸上交直変換所間の電力融通も可能。

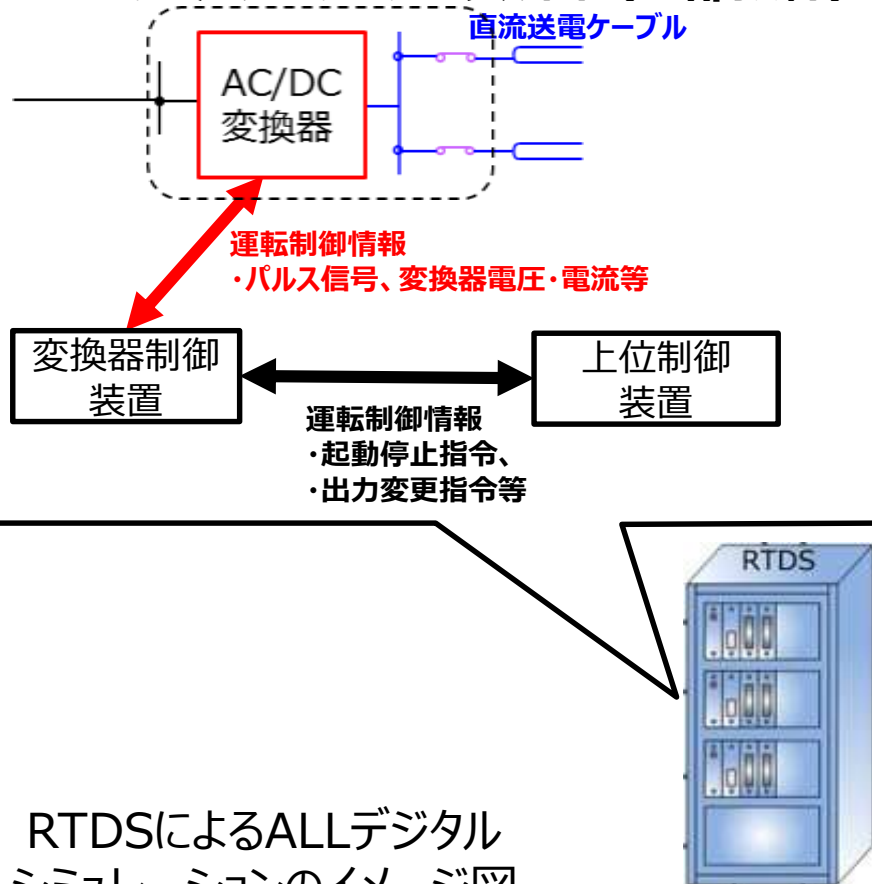


異メーカー製交直変換器の多端子直流送電システムの系統図

3-4. 多端子直流送電システムの機能検証

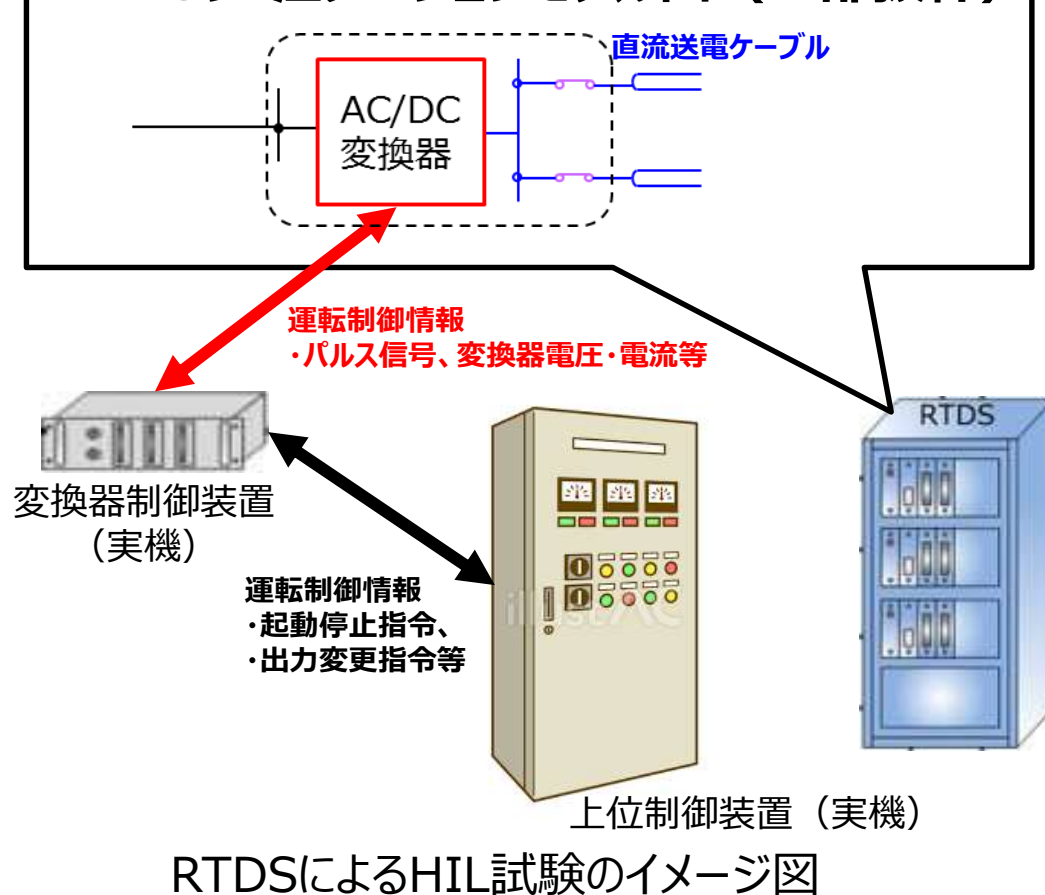
1. 全装置をRTDS上に構築したALLデジタルシミュレーションの実施

RTDSシミュレーションモデル図（一部抜粋）



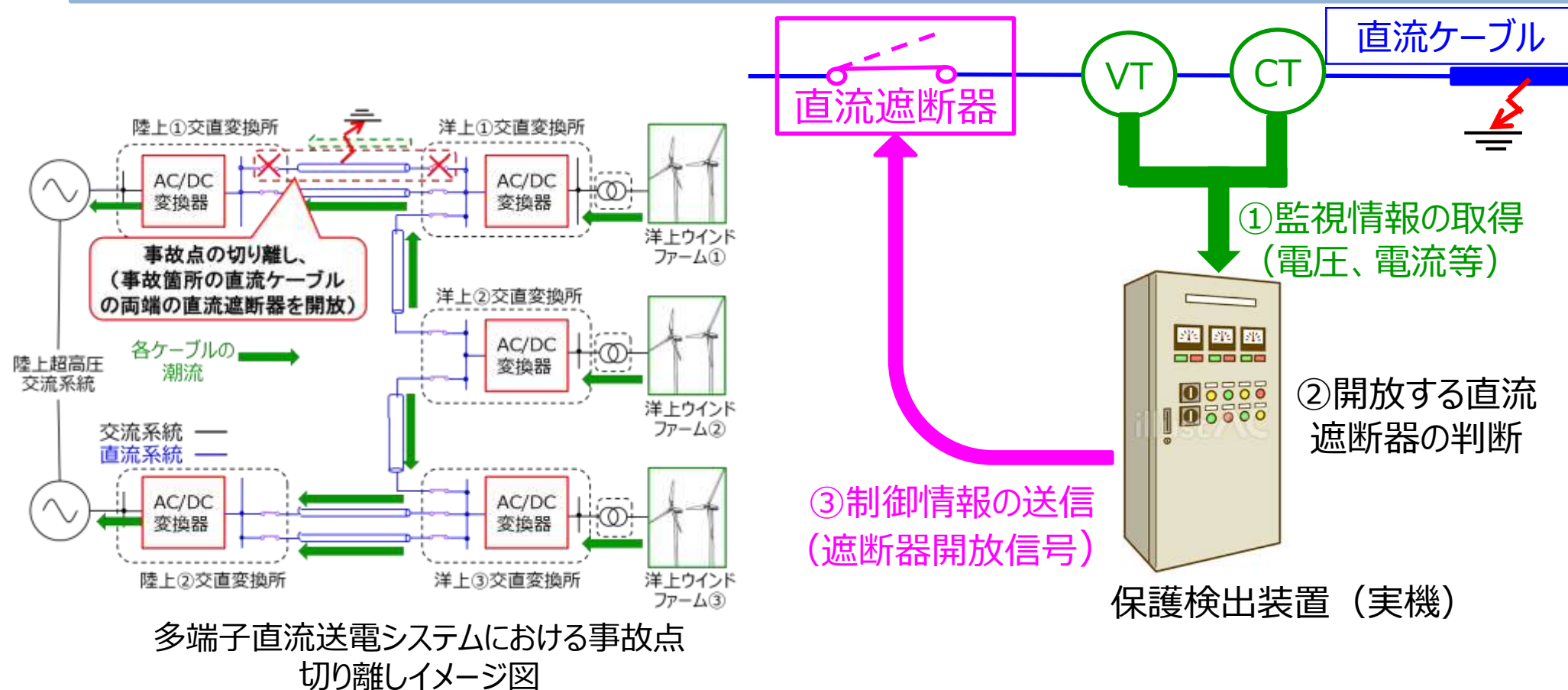
2. 装置の一部を実機制作し、RTDSと連携させたHIL（Hardware In the Loop）試験の実施（通信遅れ、ノイズ影響等の検証）

RTDSシミュレーションモデル図（一部抜粋）



3-5. 多端子直流送電システムの保護検出装置の開発・検証

- 目的：直流ケーブル事故時の保護システムの開発およびHIL試験での動作検証
- 機能：①直流ケーブル末端の電流計、電圧計、継電器状態等の監視情報の取得
②各監視情報からの事故の有無、事故箇所（方向）、直流遮断器開放要否を判断
③遮断器開放の制御指令の直流遮断器への送信
- 目標：事故発生から直流遮断器の開動作完了までの高速応答性実現（所要時間：数ms）

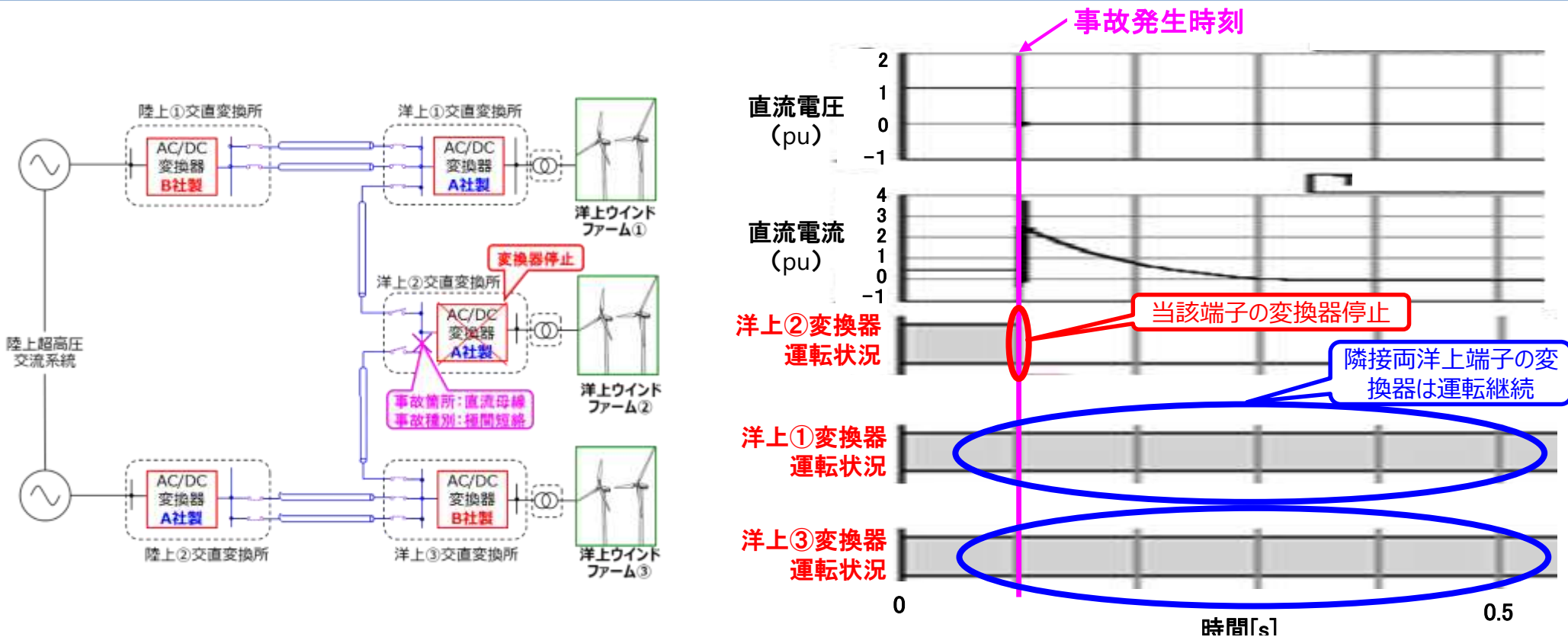


3-6. 多端子直流送電システムの試験結果例

- RTDSによる異メーカー2社の交直変換器モデルにより構成された本システムの各種シミュレーションを実施。右下図の直流母線事故のシミュレーション結果は、直流母線事故時の各機器の応動が、以下に定める標準仕様に準拠していることを確認。

変換器：運転継続することが望ましいが、事故停止後に再起動できる場合、速やかに再起動を行う

直流遮断器：直流遮断器を開極し、直流系統から事故母線を切り離す



交直変換器の異メーカー2社の組合せ図

洋上②端子母線の極間短絡事故時の
洋上各端子出力結果のグラフ

4. 今後の技術課題

4-1. カーボンニュートラル実現に向け期待されるイノベーション

◇イノベーション (基本政策分科会)			
	2020年度	2021年度	2022年度～5年間
①調整力の脱炭素化 (水素・蓄電池)			・水素/NH3活用 ・蓄電池活用
②地域マイクログリッド支援 (配電ビジネス促進含む)			再エネ主電源化に 向けた技術開発 ・慣性対策実用化 ・広域/ローカルエリア の課題への対応
③系統安定性 (慣性対策)	NEDO慣性事業		
④洋上風力 (低コスト化技術の確立)	NEDO直流送電事業		
			・洋上風力低コスト化 ・浮体技術の確立

4-2. 再エネ大量導入に向けた広域・ローカルエリアの技術開発

【技術開発項目】再エネ大量導入時の課題・解決策検討

- ・再エネ大量導入時には、広域エリア・ローカルエリアでそれぞれ課題が生じる
- ・ローカルエリアの課題は、実系統模擬（マイクログリッド）での検討・検証が有効

再エネ大量導入時の課題		広域エリア	ローカルエリア ～マイクログリッド
系統安定性	周波数・慣性	○	○
	電圧・無効電力	○	—
	過渡・定態安定性	○	—
保護・制御	短絡・地絡	○	○
	保護協調・制御	○	○
単独運転		—	○
電力品質（フリッカ・高調波）		△	○
配電系統電圧		—	○
レジリエンス		△	○
分散型電源安定性（ブラックスタート含）		—	○