

「電力系統出力変動対応技術研究開発事業」

事業原簿【公開】

担当部	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 スマートコミュニティ部
-----	--

目 次

概 要.....	3
プロジェクト用語集.....	10
1. 事業の位置付け・必要性について	13
1. 事業の背景・目的・位置づけ	13
1.1 政策的な重要性	13
1.2 関連する上位政策	14
1.3 我が国の状況	18
1.4 海外での取り組み状況	18
1.5 戦略上の位置づけと研究開発項目の策定	19
1.6 本事業のねらい	20
2. NEDO の関与の必要性・実施の効果	22
2.1 NEDO が関与することの意義	22
2.2 実施の効果	22
2. 研究開発マネジメントについて	25
1. 研究開発の目標	25
1.1 研究開発項目（Ⅰ）風力発電予測・制御高度化の事業目標	25
1.2 研究開発項目（Ⅱ）予測技術システム運用シミュレーションの事業目標	33
1.3 研究開発項目（Ⅲ）再生可能エネルギー連系拡大対策高度化の事業目標	35
1.4 各研究開発項目における研究開発目標（最終目標）と根拠について	41
2. 研究開発の計画	42
2.1 研究開発の概要	42
2.2 研究開発のスケジュールとプロジェクト費用	45
2.3 研究開発項目（Ⅰ）風力発電予測・制御高度化の研究開発内容	47
2.4 研究開発項目（Ⅱ）予測技術システム運用シミュレーションの研究開発内容	59
2.5 研究開発項目（Ⅲ）再生可能エネルギー連系拡大対策高度化の研究開発内容	67
3. 研究開発の実施体制	95
3.1 研究開発体制の構築（WG間の連携体制）	95
3.2 研究開発体制の全体構成	97
3.3 研究開発項目毎の実施体制	98
3.4 プロジェクトリーダー（PL）の委嘱	103
4. 研究開発のマネージメント	104
4.1 研究開発の運営管理	104
4.2 研究開発目標の達成に向けたマネージメント	109
4.3 情勢変化に対するマネージメント	111
4.4 評価に対するマネージメント	112
5. 知的財産権等に関する戦略	114

3. 研究開発成果について	115
1. 事業の最終目標に対する達成度	115
1.1 研究開発項目（Ⅰ） 風力発電予測・制御高度化：ランプ予測技術開発WG	118
1.2 研究開発項目（Ⅰ） 風力発電予測・制御高度化：蓄エネルギー制御技術WG	121
1.3 研究開発項目（Ⅱ） 予測技術系統運用シミュレーション：需給シミュレーションWG	125
1.4 研究開発項目（Ⅱ） 予測技術系統運用シミュレーション：実証WG	129
1.5 研究開発項目（Ⅲ） 再生可能エネルギー連系拡大対策高度化：出力制御技術（風力）WG	135
1.6 研究開発項目（Ⅲ） 再生可能エネルギー連系拡大対策高度化：出力制御技術（太陽光）WG	138
2. 各研究開発項目の研究開発成果	143
2.1 研究開発項目（Ⅰ） 風力発電予測・制御高度化：ランプ予測技術開発WG	144
2.2 研究開発項目（Ⅰ） 風力発電予測・制御高度化：蓄エネルギー制御技術WG	162
2.3 研究開発項目（Ⅱ） 予測技術系統運用シミュレーション：需給シミュレーションWG	182
2.4 研究開発項目（Ⅱ） 予測技術系統運用シミュレーション：実証WG	204
2.5 研究開発項目（Ⅲ） 再生可能エネルギー連系拡大対策高度化：出力制御技術（風力）WG	221
2.6 研究開発項目（Ⅲ） 再生可能エネルギー連系拡大対策高度化：出力制御技術（太陽光）WG	232
3. 成果の普及	268
3.1 論文等の対外発表等による成果の普及	268
3.2 標準化施策等との連携による成果の普及	268
4. 知的財産権等の確保に向けた取り組み	269
4.1 特許の取得について	269
4.2 知的財産権の帰属について	269
4. 成果の実用化・事業化に向けた戦略及び取り組み、見通し	271
1. 研究開発項目ごとの実用化・事業化の評価基準	271
2. 研究開発項目ごとの実用化・事業化に向けた戦略及び取り組み、見通し	273
2.1 研究開発項目（Ⅰ） 風力発電予測・制御高度化：ランプ予測技術開発WG	273
2.2 研究開発項目（Ⅰ） 風力発電予測・制御高度化：蓄エネルギー制御技術WG	275
2.3 研究開発項目（Ⅱ） 予測技術系統運用シミュレーション：需給シミュレーションWG	277
2.4 研究開発項目（Ⅱ） 予測技術系統運用シミュレーション：実証WG	279
2.5 研究開発項目（Ⅲ） 再生可能エネルギー連系拡大対策高度化：出力制御技術（風力）WG	280
2.6 研究開発項目（Ⅲ） 再生可能エネルギー連系拡大対策高度化：出力制御技術（太陽光）WG	281

（添付資料）

- ・プロジェクト基本計画
- ・事前評価関連資料（事前評価書、パブリックコメント募集の結果）
- ・特許論文等リスト

概要

		最終更新日	2019年11月19日	
プロジェクト名	電力系統出力変動対応技術研究開発事業 (Ⅰ) 風力発電予測・制御高度化 (Ⅱ) 予測技術系統運用シミュレーション (Ⅲ) 再生可能エネルギー連系拡大対策高度化		プロジェクト番号	P14018
担当推進部/ PMまたは担当者	<p>(プロジェクトマネージャー:PM)</p> <p>新エネルギー部 岩田 章裕 (2014年4月～2015年6月) 新エネルギー部 吉川 信明 (2015年7月～2016年3月) スマートコミュニティ部 吉川 信明 (2016年4月～2017年6月) スマートコミュニティ部 諸住 哲 (2017年7月～2019年3月) スマートコミュニティ部 古川 善規 (2018年7月～2019年3月) (PM代理)</p> <p>(担当者)</p> <p>木幡 康之 (2014年4月～2015年6月) 松井 正和 (2014年4月～2015年3月) 炭田 義尚 (2015年2月～2016年12月) 前原 敦 (2015年4月～2016年3月) 近藤 あさ美 (2016年4月～2019年3月) 守武 大 (2016年4月～2017年3月) 堂本 宗宏 (2016年6月～2018年5月) 岡山 仁 (2017年4月～2019年3月) 永田 充穂 (2017年7月～2018年6月) 東 太郎 (2018年4月～2019年3月) 須藤 晴彦 (2018年7月～2019年3月) 廣瀬 圭一 (2018年7月～2019年3月)</p>			
0. 事業の概要	<p>電力の需給運用に影響を与える風力発電の急激な出力変動(以下「ランプ」)に着目し、再生可能エネルギーの予測技術や出力の変動を抑制する出力制御技術を高度化させ、予測と出力制御を踏まえた需給運用の基本的な手法を確立する。</p> <p>また、よりきめ細やかな出力制御を行うことで、再生可能エネルギーの接続可能量の拡大を目的に、出力制御ルールの変更に伴い再生可能エネルギー発電事業者に義務付けられた遠隔出力制御システムの高度化を行う。</p> <p>研究開発項目(Ⅰ): 風力発電予測・制御高度化 (ランプ予測技術開発WG、蓄エネルギー制御技術WG) 国内の主な風力発電を複数モニタリング・分析し、ランプに着目した予測技術を開発。加えて風力発電のピッチ角制御や蓄エネルギー制御を組み合わせた出力制御技術を開発する。</p> <p>研究開発項目(Ⅱ): 予測技術系統運用シミュレーション (需給シミュレーションWG、実証WG) 将来の再生可能エネルギーの大量導入を見据え、予測・制御・運用を総合的に組み合わせたシミュレーションシステムを開発し、実際の電力系統において実証試験を実施する。</p> <p>研究開発項目(Ⅲ): 再生可能エネルギー連系拡大対策高度化 (出力制御技術(風力)WG、出力制御技術(太陽光)WG) 風力および太陽光発電の出力予測と出力把握の高度化を行い、実際の電力系統により検証しながら事業者間の制御量を事業者の出力比率に応じて決定する出力制御手法を開発する。</p>			
1. 事業の位置付け・必要性について	<p>2014年4月に閣議決定された「第4次エネルギー基本計画」の中で、再生可能エネルギーの導入にあたっては、送電線網の整備に加えて周波数変動等の対策が必要であると記載されており、開発規模によって経済性を確保できる風力・地熱発電の導入課題の解決を急ぐ旨の記述がある。また、2015年7月に決定した「長期エネルギー需給見通し」で2030年までに再生可能エネルギーの導入率22～24%の見通しが設定された。また、事業実施中の2018年7月に「第5次エネルギー基本計画」が閣議決定され、再生可能エネルギーの主力電源化、エネルギーミックス(2030年度)における再生可能エネルギー比率22～24%を実現するための取組強化について明記されている。</p>			

一方で、「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法施行規則」が2015年1月に改正され、遠隔出力制御システムの導入義務化及び時間単位での抑制に関する法令改正がなされた。また、電力小売り自由化と同時に「計画値同時同量制度」が2016年4月より導入された。こういった情勢変化に対しても、技術開発面での遅れが出ないように柔軟に対応する必要がある。

我が国における再生可能エネルギーの大幅な導入拡大のためには、風力発電のポテンシャルを十分に活かすことが必要不可欠である。他方、天候によって出力が変動する風力発電や太陽光発電は、大量に電力系統に連系された場合、大きな出力変動によって電力の安定供給に影響を及ぼす可能性がある。この問題より風力発電設備の連系拡大の大きな足かせとなっており、政府の掲げる最大限の導入が未達になることに加え、風力発電産業全体の停滞を招くリスクがある。

そのため、風力発電の出力変動を予測するなどの電力系統の安定運用に資する技術開発を行うとともに、需給運用面の課題を実際の電力系統にて実証することが必要である。NEDOは、2005年度～2007年度に実施した「風力発電電力系統安定化等技術開発」で、ウィンドファーム発電出力予測モデルと電力系統制御エリア発電出力予測モデルを開発し、一定の成果を挙げている。一方で、風力発電をはじめとする再生可能エネルギーを最大限電力系統に連系することを目的とした研究開発は現状では行っておらず、政府見通しである2030年までの再生可能エネルギー導入率22～24%の達成に向けて喫緊に取り組むべき課題である。（例えば風力発電に関しては2030年までの政府の導入率目標は容量ベースで10GWに対し、2015年末時点での導入量は3.038GWである。）

本事業では、電力の需給運用に影響を与える風力発電のランプ（急激に出力が変動する事象）に着目し、再生可能エネルギーの予測技術や出力の変動を抑制する出力制御技術を高度化させ、予測と出力制御を踏まえた需給運用の基本的な手法を確立する。また、よりきめ細やかな出力制御を行うことで、再生可能エネルギーの接続可能量の拡大を目的に、出力制御ルールの改定に伴い発電事業者に義務付けられた、風力および太陽光発電における遠隔出力制御システムの高度化を行う。以上の取り組みによって、出力が不安定な変動電源から、出力を予測・制御・運用することが可能な計画電源に改善することで、再生可能エネルギーの連系拡大を目指す。

なお、政府目標の下、風力および太陽光発電の連系拡大に寄与する本事業の実施にあたっては、多くの風力発電事業者と一般電気事業者の協力や公的機関の関与が必要であることから、政策実施機関であり中立的な立場であるNEDOが本事業に取り組むことは妥当と考えられる。

また、再生可能エネルギーの連系拡大を目指す本事業の具体的な効果を以下に示す。

① 変動電源の電力系統への影響を最小化

再生可能エネルギーの出力予測技術と蓄エネルギーを組み合わせた出力制御技術を開発する。結果、需給バランス問題の改善に加え、地域から広域に及ぶ運用面での懸念を最小化し、接続可能量以上の更なる連系拡大が実現可能となる。さらに、変動電源をできる限り計画電源に近づけるものとする。

② 最適な系統運用と設備形成の支援

再生可能エネルギーが大量導入された2030年頃の電源構成を想定した多地域電力系統の需給シミュレーションモデルの開発を進め、最適な電源運用を試算することにより、2030年頃の電力市場のファンダメンタルモデル（需給バランスを踏まえた電力価格の見通し）が確立できる。また、需給運用と地域をまたいだ広域における設備形成支援にも活用可能である。

③ 遠隔出力制御展開の加速と出力制御の適切化

標準的な制御システム仕様の開発により、遠隔出力制御の展開の加速が可能となる。また、事業者間の制御量を事業者の出力比率に応じて決定する出力制御手法の開発により、出力制御量の適切化が可能となる。

将来、風力発電などの変動電源を大量に電力系統に導入するためには、系統強化や蓄エネルギー設備の併設が必要となってくるが、いずれの対策も高コストもしくは長期の設置期間が必要となり、最終的に国民負担の増大に繋がる。これを回避するためには、現状の設備を最大限活用する方法を検討し、追加コストを最小化するための方策を実現しなければならない。系統強化を前提としない対策として、電力の需給運用に大きな影響を与えるランプを予測する技術を開発し、予測技術を活用した需給シミュレーションシステムの構築と実際の電力系統による実証試験を行い、その適用可能性を検証することは、中期的視点からみても適切かつ、必要な取り組みであり、その目的には妥当性がある。

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(I) 風力発電予測・制御高度化

(ランプ予測技術開発WG、蓄エネルギー制御技術WG)

【中間目標】(2016年度)

風力発電のランプ予測技術では、風力発電の出力データおよび気象データのモニタリングによるランプ現象の要因分析を行い、複数のアプローチからランプ予測モデルを開発する。出力変動制御技術では、実用化のコスト比較を踏まえ選定した蓄エネルギー技術および風車制御技術の実証設備を設計し、風力発電設備内を中心に構築する。

モニタリング結果やランプ現象の要因分析、ベンチマークテストから得られる課題を踏まえ、ランプ予測技術の開発目標および出力変動制御技術に求める制御目標を確定させる。

【最終目標】(2018年度)

風力発電の大量導入を実現するために必要となる、系統運用者のランプに対応する適正な調整力確保を目的に、ランプ現象の要因分析に基づくランプ予測技術を確立する。また、風力発電の出力変動緩和による電力系統への影響の最小化、予測誤差の補正による風力発電の計画発電を目的に、予測技術を活用しコストミニマムとなる最適な制御分担に基づいた風車制御技術と蓄エネルギー制御技術(以下、出力変動制御技術)を確立する。

風力発電のランプ予測技術では、火力発電の起動に必要となる約6時間先以降に発生する風力発電定格出力のエリア合計値に対する30%以上の出力変動(継続時間6時間以内)をランプ現象と定義し、現行の予測モデルよりも予測精度を向上させ、大外しの最大振れ誤差を20%以上低減させる。

なお、電力の需給運用に影響を与える出力変動は、風力発電が連系する系統容量および電源構成によって異なる。国内では、電力の需給運用に影響を与えるほど、風力発電設備が連系されていないことから、一義的に数値目標を定めるものの、モニタリング結果や解析結果を踏まえて、上記開発目標を適宜見直すことも検討する。

○研究開発項目(II) 予測技術系統運用シミュレーション

(需給シミュレーションWG、実証WG)

【中間目標】(2016年度)

需給シミュレーションシステムでの実施内容と設計方針を確定し、再生可能エネルギーの出力予測や出力制御を反映した需給シミュレーションシステムのプロトタイプを開発する。また、実際の電力系統を使った検証地点を選定し、再生可能エネルギー出力予測・制御と既存電源との制御を総合的に組み合わせたシステム構築のための検討を行い、実証検証試験に必要な設備・システムの構築を完了させる。

【最終目標】(2018年度)

風力発電のランプ変動予測技術と出力変動制御技術に加え、再生可能エネルギーの出力予測や調整電源の最適運用手法等を総合的に組み合わせた需給シミュレーションシステムを開発し、再生可能エネルギーを最大限入れるための技術的課題とその課題解決策等を明らかにする。また、需給シミュレーションシステム開発で得られた課題解決のための考え方を実際の電力系統を使って検証する。

○研究開発項目(III) 再生可能エネルギー連系拡大対策高度化

(出力制御技術(風力)WG、出力制御技術(太陽光)WG)

【中間目標】(2016年度)(2015年に事業開始した出力制御技術(風力)WGのみ該当)

大規模発電から小規模発電まで、全ての発電設備を含めた、風力発電の遠隔出力制御システムの標準化に向けた検討を実施する。

また、遠隔出力制御システムの実証試験に必要な設備・システムの構築を完了させる。

【最終目標】(2018年度)

2015年1月26日に再生可能エネルギー特別措置法施行規則の一部を改正する省令が施行されたことで、系統連系される再生可能エネルギーの年間の出力制御は、風力発電が720時間、太陽光発電が360時間、接続可能量が超過した際の指定電気事業者制度下では無制限となった。事業者にとっては、出力制御時間よりも出力制御量が事業運営に大きく影響を与えるため、出力制御は出力に応じて行われることが望ましい。そこで、出力予測と出力把握の高度化を行い、実際の電力系統を使って検証しながら事業者間の制御量を事業者の出力比率に応じて決定する出力制御手法を開発する。

事業の計画 内容	主な実施事項	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度		
	ラップ予測技術開発WG	モニタリング機器製作、分析、予測手法開発			モニタリング・予測モデルの改良			
	蓄エネルギー制御技術WG	仕様検討・制御技術開発	設備設置	実証試験・評価	制御手法の改良			
	需給シミュレーションWG	システム仕様設計・構築、シミュレーションモデル構築			再エネ連系拡大検証・評価			
	実証WG	スポット検討・設備設置		実証設備試験・調整	実証試験・評価			
	出力制御技術 (風力)WG		仕様検討・開発			実証試験・評価		
	出力制御技術 (太陽光)WG			調査・開発		実証試験・評価		
開発予算 (会計・勘定別に 事業費の実績 額を記載) (単位:百万円)	会計・勘定	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	総額	
	一般会計	-	-	-	-	-	-	
	特別会計(需給)	4,000	6,000	6,500	7,300	5,777	29,577	
	開発成果促進財源	-	-	-	-	-	-	
	総予算額	4,000	6,000	6,500	7,300	5,777	29,577	
	(委託)	3,053	5,602	7,418	6,875	3,805	26,753	
	(助成) : 助成率△/□ (共同研究) : 負担率△/□	-	-	-	-	-	-	
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・新エネルギー一部 新エネルギー課						
	プロジェクト リーダー	岩本 伸一 (早稲田大学 理工学術院 名誉教授)						
	委託先 (委託先が管理法人の 場合は参加企業数及び 参加企業名も記載)	国立大学法人東京大学 (再委託: 国立大学法人筑波大学、学校法人日本大学、 国立研究開発法人産業技術総合研究所) 学校法人早稲田大学 (再委託: 国立大学法人北海道大学、公立大学法人大阪府立大学) 一般財団法人電力中央研究所 一般財団法人エネルギー総合工学研究所 (再委託: 北海道電力株式会社) 東京電力ホールディングス株式会社 東京電力パワーグリッド株式会社 株式会社東光高岳 (再委託: NRIセキュアテクノロジーズ株式会社、 一般財団法人日本気象協会) 伊藤忠テクノソリューションズ株式会社 (再委託: 一般財団法人日本気象協会) 東北電力株式会社 国立大学法人東北大学 通研電気工業株式会社 関西電力株式会社 北陸電力株式会社 九州電力株式会社						

<p>情勢変化への対応</p>	<p>再生可能エネルギー特措法省令改正（2015年1月）による発電事業者に設置が義務化された遠隔出力制御システムについては、実証WGにおいて需給運用試験項目の一つに加え、それに対応する設備を構築し、検証を行った。また、研究開発項目Ⅲ（再生可能エネルギー連系拡大対策高度化）を新たに加えて、対応する技術開発を推進した。</p> <p>2016年4月より導入された「計画値同時同量制度」については、蓄エネルギー制御技術WGと実証WGにおいて変動緩和制御に加えて、同制度に対応した制御についても検討を行っており、その妥当性を確認した。</p>						
<p>中間評価結果への対応</p>	<p>中間評価において指摘のあった内容について、WG毎に持ち帰りそれぞれ対策を検討し、全WGを俯瞰する統合推進委員会の場において具体的な実施内容について相互に確認し、実施内容や役割分担など取り決めるとともに、必要に応じ実施計画書に反映し、対応を実施した。</p>						
<p>評価に関する事項</p>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="384 535 660 591">事前評価</td> <td data-bbox="665 535 1441 591">2013年度 事前評価実施 担当部 新エネルギー部</td> </tr> <tr> <td data-bbox="384 598 660 654">中間評価</td> <td data-bbox="665 598 1441 654">2016年度 中間評価実施 担当部 スマートコミュニティ部</td> </tr> <tr> <td data-bbox="384 660 660 714">事後評価</td> <td data-bbox="665 660 1441 714">2019年度 事後評価実施 担当部 スマートコミュニティ部</td> </tr> </table>	事前評価	2013年度 事前評価実施 担当部 新エネルギー部	中間評価	2016年度 中間評価実施 担当部 スマートコミュニティ部	事後評価	2019年度 事後評価実施 担当部 スマートコミュニティ部
事前評価	2013年度 事前評価実施 担当部 新エネルギー部						
中間評価	2016年度 中間評価実施 担当部 スマートコミュニティ部						
事後評価	2019年度 事後評価実施 担当部 スマートコミュニティ部						
<p>3. 研究開発成果について</p>	<p>○ランプ予測技術開発WG： 最新のデータ科学技術と数値気象予測技術で、世界的に類を見ない多様性のある7つのランプの予測手法を開発し、風力発電の変動性・不確実性に対応した予測技術を実現した。予測の精度評価において全てのエリアにおいて世界最高水準となる開発目標を達成した。また、ウィンドファームを対象とした制御技術の高度化について、風車流入風の計測・分析、制御手法のシミュレーションを検討し、世界で初めての試みとしてガスト（最大瞬間風速と平均風速の比率）に特化した変動緩和制御を開発し、実証にて確認できた。エリア内の複数ウィンドファームを対象とした高度化では、設備費を増加させることなく、年間の逸失電力量率を低く抑えた上で、超短周期および短周期変動を低減することができた。</p> <p>○蓄エネルギー制御技術WG： 変動緩和と計画発電の二つのケースについて風力発電予測を活用した新しい蓄エネルギー制御技術を開発し、蓄エネルギー容量の最小化を図った。開発した制御ロジックを3種類の蓄エネルギー実証設備（圧縮空気エネルギー貯蔵システム、ヒートポンプとバイオガス発電の併用運用による熱変換貯蔵システム、および蓄電池）に適用し実用性と課題を評価した。また、蓄エネルギー制御と風車制御を組み合わせると変動緩和および計画発電を行う制御技術を開発した。蓄エネルギー単独の場合と比較して、風車制御を組み合わせることにより所要蓄エネルギー容量を大幅に削減できることを確認し、総コスト最小となる風車制御の実施割合について、風力発電の売電単価や蓄エネルギー装置のコスト等との関係性を定量的に示した。</p> <p>○需給シミュレーションWG： 再生可能エネルギー大量導入時の火力発電所の燃料費を最小にする最適週間運用計画や再生可能エネルギー出力予測誤差を考慮した、供給信頼度評価、需給運用計画、周波数制御の各機能で構成される需給解析シミュレータを開発した。これにより、従来にはない将来の需給状況に対する信頼度関連指標による定量的な分析を可能とした。さらに将来の需給状況の定量的な分析に基づく、従来にはない「各種需給対応方策の価値（ポテンシャル）の定量的な評価」を可能とした。また、実系統を模した大規模システムによるシミュレーションにより、信頼度・コスト・二酸化炭素排出量を指標とした定量分析が可能であることを確認した。需給課題解決の考え方、具体的には「需給課題を最適化の枠組みに整理すること、および「市場・ルールの考慮を別フェーズとして最適化を行う」ことについて、それぞれの有効性を確認した。</p> <p>○実証WG： 本開発項目では、再生可能エネルギーの導入拡大時における送電系統運用技術の高度化に向けた電力系統における運用実証試験を行った。具体的には、東京都新島村の実電力系統を東日本系統の縮約モデルと見なした実証フィールドとし、2030年を見据えた再生可能エネルギー設備を構築するとともに、その出力変動対応として蓄エネルギー設備ならびにEMS（Energy Management System）やRA（Resource Aggregation）システムを構築した。「再生可能エネルギー設備の出力予測・出力制御」ならびに「既存電源および蓄電池等の蓄エネルギーの協調運用制御」技術を開発し、再生可能エネルギー・蓄エネルギー設備等の最適な制御を検証するとともに、社会的にコストミニマムとなる設備形成・運用手段の一の方策を確立した。</p> <p>○出力制御技術（風力）WG 風力発電の遠隔出力制御に向けた「出力予測・把握技術の高度化」、「出力制御装置の標準化、低コスト化」、「出力制御方式の高度化および最適化」といった観点から、再生可能エネ</p>						

	<p>ルギー導入拡大時の電力品質や系統運用上の課題を解決するための技術開発を行うことを目的とし、実際の電力系統において「遠隔出力制御システムの開発および実証」を実施した。これにより、これまで遠隔出力制御の対象となっていなかった風力発電設備に対して、本事業の開発技術を適用することで、遠隔出力制御が実施可能となった。また、風力発電設備の出力制御に関する技術仕様の標準化を図ったことにより、今後連系する風力発電設備に対しても、本実証事業の開発技術を適用することで、遠隔出力制御が実現可能となった。</p> <p>○出力制御技術（太陽光）WG 九州エリアにおいて、系統運用者システムの高度化開発を実施するとともに、需給バランスへの影響が確認できる太陽光発電の出力制御量を確保し、年間を通じた出力制御の実証試験を実施した。北陸および関西エリアにおいて、発電事業者システムの適用拡大に向け、既存システム構成に応じて改良した双方向出力制御システムによる実証試験を実施した。開発した技術の適用により、出力制御システムの合理的な展開が可能となる（2018年10月には、離島以外では国内初となる出力制御が実行された。出力制御の本格運用で、本実証成果が活かされている）。また、スマートインバータおよびそのマネジメントシステムについて、海外の先進事例の調査を実施するとともに、機器仕様及び通信仕様の検討および実機の開発を行った。デジタルおよびアナログシミュレータにおける実証試験環境（模擬環境）を構築し、試験シナリオを検討し、実証試験を行い、スマートインバータの系統安定化機能等がもたらす効果および実運用に向けた課題を明らかにした。</p> <table border="1" data-bbox="389 775 1436 974"> <tr> <td data-bbox="389 775 660 831">投稿論文</td> <td data-bbox="660 775 1436 831">310件</td> </tr> <tr> <td data-bbox="389 831 660 887">特許</td> <td data-bbox="660 831 1436 887">1件</td> </tr> <tr> <td data-bbox="389 887 660 974">その他の外部発表 (プレス発表等)</td> <td data-bbox="660 887 1436 974">外部発表： 135件（上記の論文発表は除く） プレス発表、Web記事： 65件、 展示会： 9件</td> </tr> </table>	投稿論文	310件	特許	1件	その他の外部発表 (プレス発表等)	外部発表： 135件（上記の論文発表は除く） プレス発表、Web記事： 65件、 展示会： 9件
投稿論文	310件						
特許	1件						
その他の外部発表 (プレス発表等)	外部発表： 135件（上記の論文発表は除く） プレス発表、Web記事： 65件、 展示会： 9件						
4. 実用化・事業化の見通しについて	<p>○ランプ予測技術開発WG： 予測技術の実用化に向けては、外部環境（風力発電の導入拡大、電力システムの制度設計など）の進捗に歩調を合わせるが必要であり、継続的な対応を行う。また、事業関係者は、業界関係者・学会などを通じて、本事業で得られた知見の普及活動を継続し、2030年の再生可能エネルギー主力電源化に向けた電力システムの高度化に貢献する。 また、大学・研究機関（東京大学・早稲田大学・電力中央研究所）を中心とした「風力発電等データ利用コンソーシアム」を既に立ち上げており、今後は本事業で取得したデータを活用し、予測・制御技術の高度化・実用化に向けた継続的な検討を進める。また、一般送配電事業者（発電事業者）への出力予測サービスの展開については、伊藤忠テクノソリューションズ、日本気象協会が中心となって検討を進める。</p> <p>○蓄エネルギー制御技術WG： 蓄エネルギー制御ロジックについて、権利化等は行わず成果を学会等を通じて公表しており、これを継続する。実用化を検討する風力発電事業者等からの問い合わせに積極的に対応していく。実用化にあたっては、予測情報の活用のために過去の出力データに基づく学習が必要であり、実設備の特性等、現実の条件に合わせた制御のチューニングを行う。 CAESについては本事業で検討した新しい要素技術を取り込むことにより、低コスト化や効率向上が見込まれる。空気貯槽コストについてスケールメリットがあり、大規模化や既存地下空洞の利用等による建設費低減が期待できる。CAESの実用化主体として想定されるのは、製造業者やエンジニアリング会社等である。現在、本事業において設備製造の主体となった企業が、NEDOの新規事業の一つとして、海外における実用化も含めた検討を実施しており、進展が期待される。 Power to Heatの実用化については、エンジニアリング会社と大学が協力する形態等が想定される。近年、電力系統上に分散された電源や需要を統合して制御するという提案（システム構成は様々）が広がりつつあり、先行的な研究事例として本研究の成果が活用されることが期待される。</p> <p>○需給シミュレーションWG： 再生可能エネルギーのランプ変化を伴った系統での需給計画（ユニットコミットメント、地域間融通、発電機負荷配分、周波数制御）策定の手法論を確立し、オフラインの将来系統の検討レベルの活用を資するソフトウェアを開発した。このシミュレーション手法は、従来の発電コスト最小化の考え方に基づいたものであり、電力市場化の下では、基盤となる最小コスト運用を模擬し、市場の基調をつかむファンダメンタルモデルとなる。中央給電指令所（系統運用</p>						

者)の実システムには、しかるべく製造業者が作り上げる制御システムのロジックに将来、自由化の進行状況を見ながら反映され得るものと考えられる。

本事業で開発されたソフトウェアは、新規発足する研究コンソーシアムにより、一定期間継続的に研究開発の対象として維持され続けられる。また、国内外学会での論文発表や国の検討作業部会等への情報提供等により本成果の更なる活用を目指す。

○実証WG:

他電力会社へ本実証における試験法案・検証結果などの研究開発成果を共有し、再生可能エネルギー大量導入時の需給計画・運用ノウハウの展開を実施する。また、再生可能エネルギー導入時に、経済的かつ高品質となる電力設備の形成・運用を実現するコンサルティング業務を展開するとともに、本実証で開発したシステムを基本とし、高品質モデル・低価格モデル等の開発を継続し、国内外の離島およびマイクログリッド地域を含めたシステムの受注活動を実施する。本研究開発項目で開発したEMSをベースにロシアサハ共和国にて風力発電及び再生可能エネルギー制御協調システムの極寒冷地における運用実証をNEDO事業として2020年9月まで実施している。その他、実用化・事業化に向けて活動を継続する。

○出力制御技術(風力)WG

風力発電設備の出力制御に関する技術仕様と開発技術について、成果報告書等により一般送配電事業者や風力発電事業者へ広く公開し、理解浸透を図っていく。風力発電設備の出力制御に関する技術仕様の国内標準化を図ったことにより、遠隔出力制御の対象となる国内の風力発電設備に対して、今後、開発技術が活用される。また、風力発電出力予測・把握技術、出力制御量配分手法については、さらなる高度化についての検討を進めるとともに、学術論文・学会発表を通じた成果普及も継続的に実施する。

○出力制御技術(太陽光)WG

本事業での実証試験と機器の標準化を踏まえ、製造業者へ要求仕様を提示した上で、太陽光発電設備の出力制御対応機器(出力制御機能付きPCS含む)の実用化を図る。単方向方式(インターネットを経由したスケジュール方式)については、九州電力が主体となり、事業期間内に、日本電機工業会などと調整をはかりながら仕様を定め、製造業者による開発・製造・販売へと展開した。双方向方式については、本事業の終了時を目途に系統運用者としての要求仕様を確定させ、再生可能エネルギーの導入状況を踏まえながら、各地域の送配電事業者が、必要とする導入時期・規模を判断した上で、単方向方式と同様に製造業者による開発・製造・販売へと展開する。

5. 基本計画に関する事項	作成時期	2014年3月 作成
	変更履歴	2015年3月改訂 研究開発項目(Ⅲ)「再生可能エネルギー連系拡大対策高度化」を追加。 2016年3月改訂 研究開発項目(Ⅲ)「再生可能エネルギー連系拡大対策高度化」に太陽光発電に係る記述を追加。NEDOの法人形態の変更を反映。

プロジェクト用語集

用語	説明
B G	バイオガス発電(Biogas Generation)。糞尿や汚泥等を発酵させ発生したメタンガスを利用する発電のこと。
B T	蓄電池 (Battery) の略称。
C A E S	圧縮空気エネルギー貯蔵 (Compressed Air Energy Storage) の英文略称。コンプレッサーで圧縮した空気をタンクに貯蔵し、必要時に膨張機で発電機を回し発電するシステム。
C D T	サイクリック・デジタル情報伝送装置 (Cyclic Digital data Transmission equipment) の略称。連続的に変化する複数の情報を高信頼度・高効率伝送するため、データを周期的にサンプリングしたうえ符号化 (コード変換) してデジタル伝送する装置のこと。
D B	データベース (Database) の略称。
D G	ディーゼル発電機 (Diesel Generator) の略称。
D R	デマンドレスポンス (Demand Response) の略。需要家側エネルギーリソースの所有者もしくは第三者が、そのエネルギーリソースを制御することで、電力需要パターンを変化させること。
ECHONET Lite	HEMS のコントローラがさまざまな家電、住宅設備などと相互に通信をするための通信規格。
E D C	経済負荷配分制御 (Economic Load Dispatching Control) 。電力需要の変化に応じて効率の異なる火力、水力発電機など経済的な出力配分を計算し、発電機出力を中央給電指令所などより制御する考え。後述の L F C と G F と周波数制御の概念は同じだが、E D C が数十分以上の周期を、L F C はそれ以下の数十秒まで、数十秒以下を G F で周期区分にて分担するのが一般的な考え。
E M S	エネルギーマネジメントシステム (Energy Management System) の略。エネルギー管理システム全般の意味だが、本プロジェクトでは電力システムの監視制御を行うシステムを意味する。
G F	ガバナフリー (Governor Free)。ガバナとは発電用水車や蒸気タービンの調速機を指し、ガバナフリーとは周波数の変動に対して自由にガバナを応動させる状態を意味する。ガバナフリーの状態では、周波数が低下 (発電機の回転が低下) した場合は、回転機の出力が増加し、周波数が上昇 (発電機の回転が上昇) した場合は、出力が減少するよう自動制御されるので、電力システムの周波数の安定維持に効果を発揮する。ガバナフリーは短い変動周期の負荷調整を分担し、調整容量としては系統容量の 3 % 程度以上を保有することが望ましいとされている。
G P V	Grid Point Value の略で、格子点値の意味。大気の状態を離散的な格子点値で表し、スーパーコンピュータを使って計算した気象予測値のことを言う。気象庁や海洋大気局等が G P V 値を公開している。

用語	説明
HP	ヒートポンプ(Heat Pump)。熱を低温側から高温側に移動させる装置。冷媒を圧縮・膨張することで、水をくみ上げるポンプのように、低温側の熱を高温側にくみ上げる装置。ヒートポンプによる空調・給湯は、電熱器による暖房・給湯より効率面で優れていると言われる。
LFC	負荷周波数制御(Load Frequency Control)。電力系統の周波数偏差、連系線潮流の変動を検出して中央給電指令所などから制御信号を発電所に伝送し、発電所出力を自動制御することにより、系統周波数を基準値に保持する制御のこと。
OpenADR	自動デマンドレスポンス(ADR:Automated Demand Response)のための国際的な通信規格。スマートハウス・ビル標準・事業促進検討会における検討で、HEMS(ホームエネルギーマネジメントシステム)以下の通信はECHONET Lite、デマンドレスポンスにおける系統運用者とアグリゲーターの間の通信はOpenADR2.0bを適用することが推奨されている。
PCS	パワーコンディショナー(Power Conditioning System)。パワコンとも言う。太陽電池や風力で発電する直流の電気を交流に変換する装置。
Power to Heat	電気エネルギーから熱エネルギーへの変換。本事業におけるバイオガス発電とヒートポンプの併用運用による熱変換貯蔵。本紙ではHP/BGとも表現している。(HPとBGについては各々の用語説明を参照。)
PV	太陽光発電(Photovoltaics)の略。
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisitionの略。本紙では主に風力発電所における監視制御システムを指す。
SOC	State of Chargeの略。蓄エネルギーの充電状態(残容量)を指す。
WF	Wind Farmの略。風力発電機を多数設置し運営する風力発電所の意味。
WT	Wind Turbineの略で本紙では風力発電機を意味する。
アグリゲーター	系統運用者から中小規模発電事業者への出力制御指令の配信を仲介する事業者。
一般電気事業者	既存の電力供給会社10社のこと。平成28年4月1日以降は、法改正(電力小売全面自由化)により一般送配電事業者となった。
ウィンドプロファイラー	地上から上空に向けて電波を発射し、大気中の風の乱れなどによって散乱され戻ってくる電波を受信・処理することで、上空の風向・風速を測定する装置。(出典:気象庁HP)気象庁が同システムを全国33カ所に設置し、測定データを公表している。
調整電源	電力需要の変動やピーク需要への対応供給力として使われる電源で、主に流水式水力発電と火力発電が該当する。
ナセル	風車の伝達軸、増速機、発電機等を収納する部分のこと。

用語	説明
パワーカーブ	風力発電機の風速に対する発電出力の特性を示した曲線のこと。
ピッチ角	風車ブレードの取り付け角度のこと。ピッチ角を変化させることにより、発電出力を制御できる。
変動電源	自然条件によって出力が大きく変動する太陽光発電や風力発電等の再生可能エネルギー電源。
マスト	モニタリング装置の一つとして 50m 程の高さのポールの複数高位に風速計を取り付けた風況観測塔のこと。
ライダー(LIDAR)	英文で Light Detection and Ranging/Laser Imaging Detection and Ranging の略語として LIDAR とも表記する。レーザーの反射を利用して上空の風速や風向を計測できる風況観測設備のこと。
ランプ	急激な変動を意味するが、本書では主に風力発電出力の急激な変動の意として使う。発電だけでなく、電力を使用する側（需要）の観点から、朝方の急激な変動もランプ需要などと呼ぶ。急激な増加はランプアップ、減少はランプダウンと呼ぶ。英語のまま ramp とも表記することもある。

1. 事業の位置付け・必要性について

1. 事業の背景・目的・位置づけ

1.1 政策的な重要性

今後のエネルギー政策として、再生可能エネルギーの最大限の導入を進め、できる限り原子力発電の依存度を低減させることが政府の目標として掲げられている。また、2014年4月11日に閣議決定された「第4次エネルギー基本計画」には、再生可能エネルギーの導入を最大限加速させるとともに、系統強化、規制の合理化、低コスト化等の研究開発を着実に進めることが記載されている。また、同基本計画の中で、再生可能エネルギーの導入に当たっては、送電線網の整備に加えて周波数変動等の対策が必要であると記載され、開発規模によって経済性を確保できる風力・地熱発電の導入課題の解決を急ぐ旨の記述がある。2015年7月に決定した「長期エネルギー需給見通し」で2030年までに再生可能エネルギーの導入率22～24%の見通しが設定された。また、事業実施中の2018年7月に「第5次エネルギー基本計画」が閣議決定され、再生可能エネルギーの主力電源化、エネルギーミックス（2030年度）における再生可能エネルギー比率22～24%を実現するための取組強化について明記されている。

これらの経緯から再生可能エネルギーの導入を最大限加速させるという政府目標を達成するためにも、再生可能エネルギー、特に風力発電および太陽光発電を大量に電力系統に連系した際に、発生することが予想される電力品質や系統運用上の技術的な課題を明らかにし、課題解決策を短期および中長期に分けて確実に実施していくことが必要である。

一方で、「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法施行規則」が2015年1月に改正され、遠隔出力制御システムの導入義務化及び時間単位での抑制に関する法令改正がなされた。また、電力小売り自由化と同時に「計画値同時同量制度」が2016年4月より導入された。こういった情勢変化に対しても、技術開発面での遅れが出ないように柔軟に対応する必要がある。

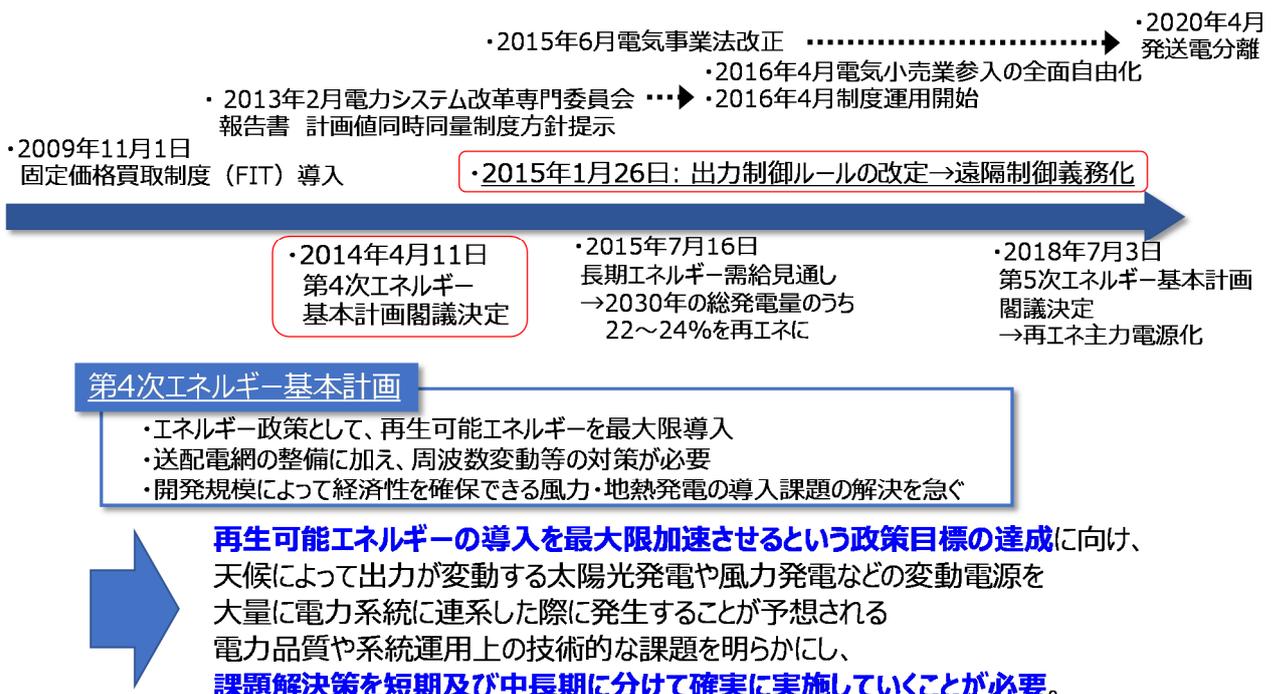


図1-1 上位政策と事業の関係性

1.2 関連する上位政策

本プロジェクトが関連する下記①～④の上位施策について述べる。

- ① エネルギー基本計画（第4次計画：2014年4月、閣議決定）
エネルギー基本計画（第5次計画：2018年7月、閣議決定）
- ② 長期エネルギー需給見通し（2015年7月、決定）
- ③ 電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法施行規則（2015年1月、改正）

① エネルギー基本計画（第4次計画）、エネルギー基本計画（第5次計画）

我が国は化石燃料に乏しく、その大半を輸入に頼るという脆弱性を抱え、エネルギーを巡る国内外の状況変化に大きな影響を受けやすい構造を有している。エネルギーの安定確保は国の安全保障には不可欠であり、我が国にとって常に大きな課題である。さらに、国際的な地政学的構造の大きな変化に直面する中で、我が国のエネルギー安全保障を巡る環境は厳しさを増してきている。このような状況への対応には、長期的、総合的かつ計画的な視点に立ってエネルギー政策を遂行していく必要があり、その着実な遂行の確保を目的として、2002年に「エネルギー政策基本法」が制定された。

この基本法では、政府が総合資源エネルギー調査会の意見を聴き、エネルギー需給施策の長期的、総合的かつ計画的な推進を図るために「エネルギー基本計画」を策定することを定め、少なくとも3年には1度の頻度で内容を検討し、必要に応じて変更を行うとしている。こうした基本法に基づき、2003年に最初の計画が策定された。その後、第二次計画が2007年に、第三次計画が2010年に策定され、東日本大震災以降では最初の計画となる第四次計画が2014年4月に策定されている。

この第四次計画の「第2章 エネルギーの需給に関する施策についての基本的な方針／第2節 各エネルギー源の位置付けと政策の時間軸」において、再生可能エネルギーの位置づけと政策の方向性、エネルギー政策として再生可能エネルギーを最大限導入することが明記されている。

<第四次エネルギー基本計画（平成28年4月）からの抜粋>

第2章 エネルギーの需給に関する施策についての基本的な方針

第2節 各エネルギー源の位置付けと政策の時間軸

1. 一次エネルギー構造における各エネルギー源の位置付けと政策の基本的な方向

(1) 再生可能エネルギー

①位置付け

現時点では安定供給面、コスト面で様々な課題が存在するが、温室効果ガスを排出せず、国内で生産できることから、エネルギー安全保障にも寄与できる有望かつ多様で、重要な低炭素の国産エネルギー源である。

②政策の方向性

再生可能エネルギーについては、2013年から3年程度、導入を最大限加速していき、その後も積極的に推進していく。そのため、系統強化、規制の合理化、低コスト化等の研究開発などを着実に進める。このため、再生可能エネルギー等関係閣僚会議を創設し、政府の司令塔機能を強化するとともに、関係省庁間の連携を促進する。こうした取組により、これまでのエネルギー基本計画を踏まえて示した水準を更に上回る水準の導入を目指し、エネルギーミックスの検討に当たっては、これを踏まえることとする。（途中省略）

1) 太陽光

個人を含めた需要家に近接したところで中小規模の発電を行うことも可能で、系統負担も抑えられる上に、非常用電源としても利用可能である。

一方、発電コストが高く、出力不安定性などの安定供給上の問題があることから、更なる技術革新が必要である。

中長期的には、コスト低減が達成されることで、分散型エネルギーシステムにおける昼間のピーク需要を補い、消費者参加型のエネルギーマネジメントの実現等に貢献するエネルギー源としての位置付けも踏まえた導入が進むことが期待される。

2) 風力

大規模に開発できれば発電コストが火力並であることから、経済性も確保できる可能性のあるエネルギー源である。

ただし、需要規模が大きい電力管内には供給の変動性に対応する十分な調整力がある一方で、北海道や東北北部の風力適地では、必ずしも十分な調整力がないことから、系統の整備、広域的な運用による調整力の確保、蓄電池の活用等が必要となる。こうした経済性も勘案して、利用を進めていく必要がある。

また、この第四次計画の「第4章戦略的な技術開発の推進／第2節各エネルギー源の位置付けと政策の時間軸」において、再生可能エネルギーを導入するための取り組むべき技術課題に系統対策（系統運用技術の高度化や送配電機器の技術実証）についても明記されている。

<第四次エネルギー基本計画（平成28年4月）からの抜粋>

第4章 戦略的な技術開発の推進（エネルギーの需給に関する施策を長期的、総合的かつ計画的に推進するために重点的に研究開発するための施策を講ずべきエネルギーに関する技術及び施策）

第2節 各エネルギー源の位置付けと政策の時間軸

2. 取り組むべき技術課題

海外からの化石燃料に過度に依存するエネルギー需給構造を長期的視点に基づいて変革していくための技術開発として、国産エネルギーに位置付けられるエネルギー源である再生可能エネルギーについては、太陽光発電、風力発電、地熱発電、バイオマスエネルギー、波力・潮力等の海洋エネルギー、その他の再生可能エネルギー熱利用の低コスト化・高効率化や多様な用途の開拓に資する研究開発等を重点的に推進するとともに、再生可能エネルギー発電の既存系統への接続量増加のための系統運用技術の高度化や送配電機器の技術実証を行う。

事業実施中の2018年7月にはエネルギー基本計画（第五次計画）が閣議決定され、再生可能エネルギーの主力電源化、エネルギーミックス（2030年度）における再生可能エネルギー比率22～24%を実現するための取組強化について示されている。

また、第五次エネルギー基本計画では、風力発電等の再生可能エネルギー自身の調整機能を更に活用するため、新規に連系する風力発電等が具備すべき調整機能を特定し、具体的水準を定めることが明記されている。

<第五次エネルギー基本計画（平成30年7月）からの抜粋>

3. 再生可能エネルギーの主力電源化に向けた取組

（4）系統制約の克服、調整力の確保

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最大限の導入と国民負担の抑制を両立するためには、まずは既存系統の最大限に活用することが有効であることから、欧州の事例も参考にしながら、「日本版コネクト&マネージ」の具体化を早期に実現する。

その上で、2030年以降も見据えれば、なお一定の系統増強が必要になると見込まれる。人口減少等に伴う需要減少や高経年化対策等の構造的課題に加え、再生可能エネルギーの大量導入や分散型の拡大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、ネットワークコスト改革を通じて、系統増強等に係るコストを可能な限り引き下げるとともに、必要な投資が行われるための予見性確保等の環境整備を進めていく。

また、自然変動電源（太陽光・風力）の導入量の増加に伴い、必要となる調整力が増大すると見込まれる。この調整力を確実に確保するため、当面は火力発電の柔軟な活用や再生可能エネルギー自身の調整機能の活用、連系線を活用したエリア間の融通の活性化等によって対応する。また、バーチャルパワープラント（VPP）やEVからの逆潮流を制御するVehicle-to-Grid（V2G）、蓄電池、そして長期的には水素といった次世代の調整力を活用し、調整力の脱炭素化を進めていく。

～ 途中省略 ～

③調整力の確保とその脱炭素化に向けた取組

自然変動電源（太陽光・風力）の導入が拡大する中、出力変動を調整し、需給バランスを一致させる上で、調整力を効率的かつ効果的に確保することが重要となる。このため、当面は火力発電や揚水の柔軟な活用等による調整力の確保が不可欠であるところ、調整力を効率的に調達するための需給調整市場等を整備するとともに、負担の在り方についても検討していく。加えて、風力発電等の再生可能エネルギー自身の調整機能を更に活用するため、新規に連系する風力発電等が具備すべき調整機能を特定し、具体的水準を定める。さらに、連系線を活用した広域運用の活性化を図るための方策についても検討を進める。これらの取組等を通じて、当面の調整力を確実に確保していく。また、定置用蓄電池やコージェネレーション、EVなどの需要家側に設置される分散型エネルギーリソースを活用するVPPやEVに蓄電された電気を逆潮流させ制御するV2G技術、系統安定化用途の蓄電池、更に長期的には電力を水素として貯蔵・利用するPower-to-Gas（P2G）技術等といった次世代の調整力を活用し、調整力の脱炭素化を進めいくことが重要である。VPPとV2Gについては、2020年を目途に整備予定の需給調整市場等でのビジネス展開を目指し、必要な技術要件の整理や技術実証等を並行して進める。蓄電池については、導入を促進するべく、低コスト化に向けた取組や技術開発等を進める。また、P2G技術については、水素製造原価となる再生可能エネルギーの調達コストの低減が前提となるが、水素ビジネスの発展とともに実装に向けた取組を進める。

本プロジェクトの取組は、再生可能エネルギーが系統連系する際に課題となる配電系統の電圧上昇問題の解決に寄与するものであり、分散型エネルギーの導入拡大に伴い必要となる系統安定化に向けた技術革新の一端として「エネルギー基本計画」の計画達成に直接寄与するといえる。

③ 長期エネルギー需給見通し

前記のエネルギー基本計画を踏まえ、経済産業省は、長期エネルギー需給見通し小委員会を設置し、中長期的な視点から2030年度のエネルギー需給構造の見通しの策定に向けた議論を行い、2015年7月に長期エネルギー需給見通しを決定した。この議論の中で、風力発電については、2030年度の総発電電力量（10,650億kWh）のうち、1.7%程度（182億kWh）の導入が想定されて、1000万kW程度の風力設備容量が見込まれている。太陽光発電については、2030年度の総発電電力量のうち、7%程度（749億kWh）の導入が想定され、約6,400万kW程度の太陽光設備容量が見込まれている。2030年度の電力需給構造における再生可能エネルギー全体（風力、太陽光の他、地熱、バイオマス、水力が含まれている）の比率について22~24%と示されている。（図1-1参照）

今後も風力発電や太陽光発電等の再生可能エネルギーは拡大していく方向にあり、本プロジェクトの成果は、これら再生可能エネルギーが系統連系する際の、電力需給バランス維持等の問題の課題解決に繋がる。したがって、本プロジェクトの取組は、太陽光発電をはじめとする再生可能エネルギー導入拡大のシナリオを示した「長期エネルギー見通し」の実現に直接寄与するといえる。

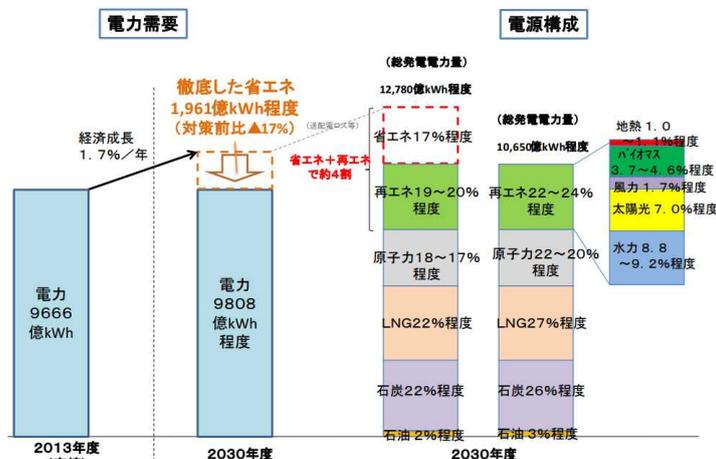


図 1-2 2030 年度の電力需給構造

出典：「長期エネルギー需給見通し」（2015年7月 経済産業省）

④ 電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法施行規則

電力系統への接続に制約が生じるなか、最大限の再生可能エネルギー導入を実現するためには、より実効的かつきめ細かな出力制御ルールを導入することが不可欠となった状況下において、新たな出力制御ルールに基づき、きめ細かな出力制御を行うことで、再エネ電源の最大限導入を進め、「安定供給」と「再エネの導入拡大」との両立を図るべく、2015年1月に「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」の改正がなされた。同法については、いわゆる「FIT法」のことであり、FIT法に基づく再生可能エネルギー電気の固定価

格買取制度のことを「FIT 制度」という。FIT 制度の運用見直しによって、新たに接続申込みをする案件は、500kW 未満の太陽光発電や風力発電も出力制御の対象となり、1 日単位で年間 30 日まで行える無保証の出力制御についても、太陽光発電については年間 360 時間、風力発電については年間 720 時間と、時間単位できめ細かく出力制御が行われることになった。また、指定電気事業者に指定された一般電気事業者の供給エリアにおいて、接続可能量以上に連系する場合には、無保証での出力制御の制約がなくなった。一方で、発電事業者に対しては、遠隔出力制御システムの導入が義務付けられることになった。

1.3 我が国の状況

東日本大震災後の2011年8月に「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」が成立し、電気事業者に太陽光、風力、地熱、バイオマス、中小水力を対象とした再生可能エネルギーによって発電された電力を全量、一定の期間、一定の価格で買い取ることが義務付けられ、翌年の2012年7月1日から再生可能エネルギーの固定価格買取制度（FIT制度）が施行された。

その後、東日本大震災以降では最初の計画となるエネルギー基本計画（第四次計画）が2014年4月に策定されるとともに、このエネルギー基本計画を踏まえ、経済産業省は、2015年7月に長期エネルギー需給見通しを決定している。この長期エネルギー見通しの決定に向けた議論の中で、2030年頃に総発電電力量（10,650億kWh）のうち、再生可能エネルギーは22～24%程度の導入が想定されている。

一方でFIT制度が呼び水となって再生可能エネルギー導入が高い水準で進み、一般電気事業者による需給バランス（周波数）の維持に対する課題が顕在化し、風力発電においては連系可能量に余裕がない地域においては、風況が良く風力発電の適地であるにも拘らず系統連系が難しい状況となった。風力発電などの変動電源を大量に電力系統に導入するためには、系統強化や蓄エネルギー設備の併設が必要となるが、いずれの対策も高コストもしくは長期の対策期間が必要となり、最終的に国民負担の増大に繋がる。これを回避するためには、現状の設備を最大限活用し、追加コストを最小化する中で需給バランス（周波数）を維持するための方策を検討しなければならない。

その後、2015年FIT制度の改正により、発電事業者の遠隔出力制御機能および一般送配電事業者の遠隔制御システムの実装が義務化された。再生可能エネルギー導入量の増加が一層進むと、近い将来、再生可能エネルギーの出力制御をしなければ需給バランスが保てなくなる状況に陥ることが想定され、発電事業者も一般送配電事業者も共に再生可能エネルギーの遠隔出力制御が必要とされる時期までに必要とされる出力制御技術を確立しなければならない状況となった。

1.4 海外での取り組み状況

再生可能エネルギーの導入拡大が進んでいる海外では、予測技術を活用することで効率的な需給運用を指向している。

例えば、スペインでは、再生可能エネルギーの導入量に対して、隣国との系統連系容量が不足していることもあり、系統運用者Red Eléctricade España (REE) 社が再生可能エネルギーの予測・抑制等を専門に司る「再生可能エネルギーコントロールセンター（CECRE : Centro de Control para el Regimen Especial）」を設立し、需給運用計画の精度向上、効率的な調整力の活用等に取り組んでいるが、制度面からの検討と平行して、再生可能エネルギーの大きな出力

変動を精度良く予測することは重要なテーマのひとつとなっている。

なお、欧米と同様に既存の電力系統に再エネを接続するための技術開発に取り組むが、我が国の電力事業形態や気象状況等は海外と異なる点も多いことから、そのまま流用できない部分もあり、独自の技術開発が必要な領域がある。

1.5 戦略上の位置づけと研究開発項目の策定

過去の事業での成果の活用と課題の視点から計画を整理し、風力発電におけるデータベース構築（モニタリングシステム）と、その活用によるランプ予測技術の開発、風力発電導入や地域間連携の模擬を含めた需給シミュレーションと実証、緊急実証を受けての出力制御技術開発と実証を実施内容における重点とした。

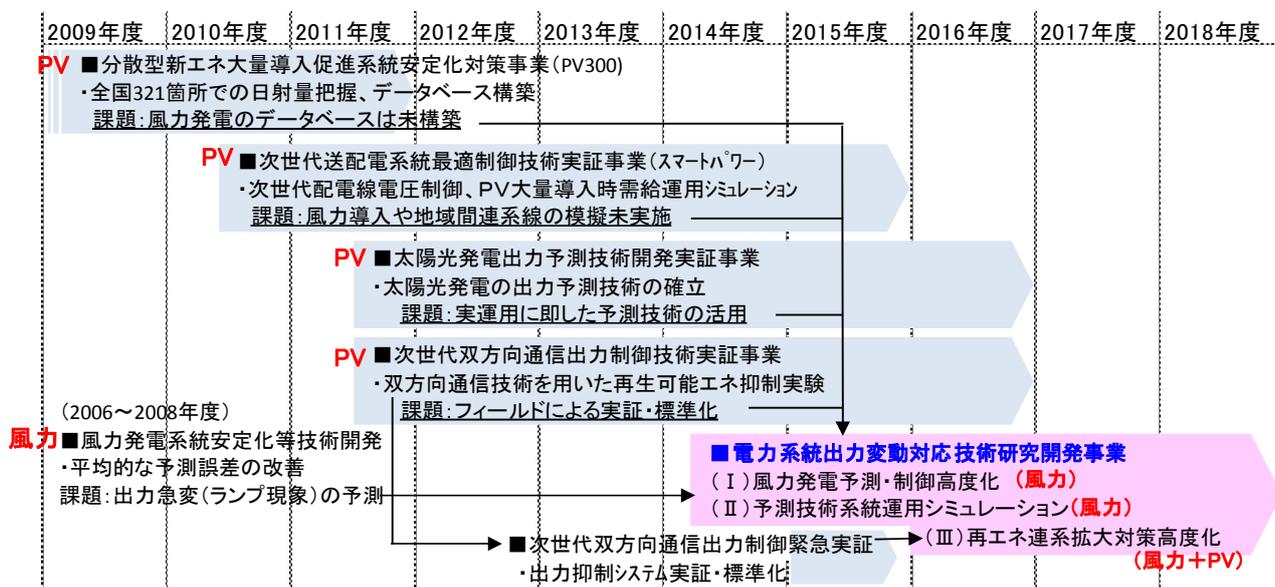


図1-3 技術戦略上の位置づけ

対応が課題として残されていた電力の需給運用に影響を与える風力発電の急激な出力変動（以下「ランプ」）に着目し、再生可能エネルギーの予測技術や出力の変動を抑制する出力制御技術を高度化させ（研究開発項目Ⅰ）、予測と出力制御を踏まえた需給運用の基本的な手法を確立する（研究開発項目Ⅱ）また、よりきめ細やかな出力制御を行うことで、再生可能エネルギーの接続可能量の拡大を目的に、出力制御ルールの改定に伴い発電事業者に義務付けられた、遠隔出力制御システムの高度化を行う（研究開発項目Ⅲ）。

研究開発項目(Ⅰ)：風力発電予測・制御高度化

研究開発項目(Ⅱ)：予測技術系統運用シミュレーション

研究開発項目(Ⅲ)：再生可能エネルギー連系拡大対策高度化

※出力制御ルールの改定を受け、追加。(風力:2015年度～、太陽光:2016年度～)

1.6 本事業のねらい

天候によって出力が変動する風力発電や太陽光発電は、大量に電力系統に連系された場合、大きな出力変動によって電力の安定供給に影響を及ぼす可能性がある。そのため、風力発電の出力変動を予測するなどの電力系統の安定運用に資する技術開発を行うとともに、需給運用面の課題を実際の電力系統にて実証することが必要である。

2014年4月に閣議決定されたエネルギー基本計画では、今後これまでの水準を更に上回る再生可能エネルギーの導入推進を目指すことが明記されており、2020年から2030年に向けた再生可能エネルギーの大量導入社会に備え、電力系統安定化に関する基盤技術を整備することが重要となる。風力発電の電力系統安定化基盤技術について、NEDOは平成17年度～19年度に実施した「風力発電電力系統安定化等技術開発」で、ウィンドファーム発電出力予測モデルと電力系統制御エリア発電出力予測モデルを開発し、一定の成果を上げている。この事業では、平均的な予測誤差の改善という目標を達成した一方、出力急変現象（ランプ現象）予測については課題が残った。また、平成24年10月に電力系統利用協議会（ESGJ）から発行された「風力発電連系可能量確認ワーキンググループとりまとめ報告書」には、風力発電の導入についてランプ現象をはじめとする各種変動現象発生の不確実性が電力需給調整を困難なものとしており、導入量拡大の制約要因であると記載されている。また、同報告書には需給調整上の課題解決の一つの方法に、予測評価・出力変動緩和技術への期待も記されている。このように、風力発電を電力系統に最大限連系することを念頭においた場合、このランプ予測・出力変動緩和技術は重要であるものの、十分な技術開発が進められていないのが現状である。また、風力発電をはじめとする再生可能エネルギーを最大限電力系統に連系した際の需給調整上の課題解決を目的とした研究開発は現状では行っておらず、喫緊に取り組むべき課題である。

本事業では、電力の需給運用に影響を与える風力発電の急激な出力変動（以下、ランプ）に着目し、再生可能エネルギーの予測技術や出力の変動を抑制する出力制御技術を高度化させ、予測と出力制御を踏まえた需給運用の基本的な手法を確立する。（研究開発項目Ⅰ、Ⅱ）

一方で、再生可能エネルギーの固定買取価格制度の施行によって、太陽光発電を中心に再生可能エネルギーの導入が急速に進んだが、急激な拡大により複数の一般電気事業者で接続保留が行われた。そのため、より実効的かつきめ細やかな出力制御システムを導入するなど、再生可能エネルギーの最大限導入に向けた固定買取価格制度へと運用が見直された。固定買取価格制度の運用見直しによって、新たに接続申込みをする案件は、500kW未満の太陽光発電や風力発電も出力制御の対象となり、1日単位で年間30日まで行える無保証の出力制御についても、太陽光発電については年間360時間、風力発電については年間720時間と、時間単位できめ細かく出力制御が行われることになった。また、指定電気事業者に指定された一般電気事業者の供給エリアにおいて、接続可能量以上に連系する場合には、無保証での出力制御の制約がなくなった。一方で、発電事業者に対しては、遠隔出力制御システムの導入が義務付けられることになったが、遠隔出力制御システムの通信方式は標準化されておらず、発電事業者側に設置する装置も規格化されていないため、遠隔出力制御システムの標準化および低コストでの実用化が求められている。

本事業では、2015年度から2018年度まで風力発電を、また2016年度から2018年度まで太陽光発電を対象とした遠隔出力制御システムの標準化と再生可能エネルギー事業者間の出力制御量が公平となる遠隔出力制御手法を開発する。（研究開発項目Ⅲ）

以上の取り組みにより、出力が不安定な変動電源から、出力を「予測」・「制御」し、適切に「運用」することが可能な電源に改善することで再生可能エネルギーの連系拡大を目指す。

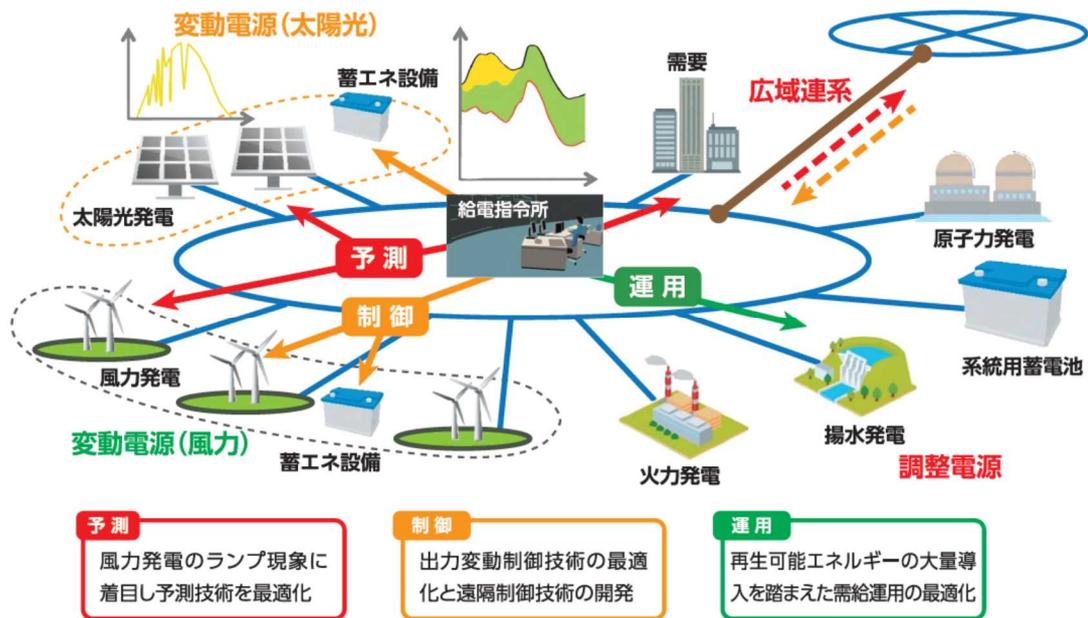


図1-4 本事業のイメージとねらい

2. NEDOの関与の必要性・実施の効果

2.1 NEDOが関与することの意義

次に示す内容から、NEDOが持つこれまでの知識や実績を活かして推進すべき事業である。

- ✓ 本事業での開発技術は、長期エネルギー需給見通しにある2030年での再生可能エネルギー導入率22~24%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)
- ✓ 政策の策定状況等を受けて的確な対応が必要である(開発項目追加等)。
- ✓ 電力会社、製造業者、大学を含む研究開発機関が連携して取り組む必要がある。
- ✓ 電力会社のみでなく、発電事業者にも裨益する。
- ✓ 産学連携体制での本事業を確実に遂行するためには、国プロとして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。

風力発電や太陽光発電を主体とした天候により出力が変動する電源より発生する余剰電力、周波数調整力不足等の技術的課題とその課題解決策を明らかにするために、出力予測技術と変動緩和技術の高度化、ならびに需給シミュレーションシステムを開発し、実際の電力系統によって課題解決策の検証を行う本事業は、エネルギー基本計画を踏まえて作成された長期エネルギー需給見通しにある2030年での再生可能エネルギー導入率22~24%の達成に向けて必要不可欠の基礎技術であり、電力会社、製造業者、大学を含む研究開発機関が連携して取り組む必要がある。

産学連携体制での本事業を確実に遂行するためには、国家プロジェクトとして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である。また、NEDOは、過去から長く送電・配電と幅広く技術開発を行っており、国が推進する再生可能エネルギー導入に向けて、全体的な進捗を踏まえた実施者間の調整等、効率的なマネジメントを実施するとともに、電力系統全体の最適化を考えた取り組みが可能である。

2.2 実施の効果

本事業を通して22~24%の再生可能エネルギー導入に向けた電力系統面からの基盤技術を構築し、定量的な評価と課題を整理することにより、以下の効果が得られる。

① 変動電源の電力系統への影響を最小化

再生可能エネルギーの出力予測技術と蓄エネルギーを組み合わせた出力制御技術を開発する。結果、需給バランス問題の改善に加え、地域から広域に及ぶ運用面での懸念を最小化し、接続可能量以上の更なる連系拡大が実現可能となる。さらに、変動電源をできる限り計画電源に近づけるものとする。

② 最適な系統運用と設備形成の支援

再生可能エネルギーが大量導入された2030年頃の電源構成を想定した多地域電力系統の需給シミュレーションモデルの開発を進め、最適な電源運用を試算することにより、2030年頃の電力市場のファンダメンタルモデルが確立できる。また、需給運用と地域をまたいだ広域における設備形成支援にも活用可能である。

③ 遠隔出力制御展開の加速と出力制御の適切化

標準的な制御システム仕様の開発により、遠隔出力制御の展開の加速が可能となる。また、事業者間の制御量を事業者の出力比率に応じて決定する出力制御手法の開発により、出力制御量の適切化が可能となる。

また、2015年に公表された「長期エネルギー需給見通し」において、2030年度の再生可能エネルギーの総発電電力量（10,650億kWh）とされており、2018年12月27日に、環境省および経済産業省が公表した「電気事業者別排出係数（特定排出者の温暖効果ガス排出量算定用）-2017年度実績-」に示されている温室効果ガス排出量の算定係数「0.000512t-CO₂/kWh」を用いて計算すると、2030年度におけるCO₂削減効果は約1.25億トン/年である。また、そのうち風力発電量（約182億kWh）と太陽光発電量（約749億kWh）による2030年度におけるCO₂削減効果は約0.47億トン/年となる。本プロジェクトによって、国内の風力および太陽光発電の導入を止めることなく拡大することが可能となり、CO₂の削減に資するものとなる。

2. 研究開発マネジメントについて

1. 研究開発の目標

1.1 研究開発項目(I)風力発電予測・制御高度化の事業目標

(I)-1 風力発電および気象モニタリングシステムの構築(ランプ予測技術開発WG)

○2016年度の間目標

・ウィンドファーム観測網整備

北海道・東北・関東地域における最大50ヵ所程度の大規模ウィンドファームの中から、本研究開発に資するウィンドファーム観測網を選定し整備を行う。また、ウィンドファームにおける風況変動の把握が困難な場所を中心に、風況観測設備(風況観測用ライダー、風況観測マスト等)を最大10ヵ所程度設置する。

・広域気象観測網整備

気象庁アメダス・ウィンドプロファイラーおよび民間会社の気象観測網(全国最大100ヵ所程度)を活用した広域気象観測網の整備をおこない、これらのモニタリングシステムから、ランプ現象の要因分析および予測手法開発に資するデータ収集システムを整備する。

・風力データベース整備

風力発電データの蓄積・運用を行う風力データベース構築を終了し、2018年度まで継続的に本プロジェクトに必要なデータ収集を行える環境を整備する。風力データベースでは、ウィンドファーム観測網から得られる北海道・東北・関東地域のウィンドファームに対するモニタリングデータ(発電出力・運転制御情報・風速・風向・気温・気圧・日射量等)、および広域気象観測網から得られるウィンドファーム周辺の風速・風向・気温・気圧のデータを格納する。

○2018年度の最終目標

ウィンドファーム観測網、広域気象観測網、風力データベースのシステム稼働状況を評価・検証し、今後の実用可能性を踏まえ、ランプ予測システム等と連携した実用化システムについて目途をつける。

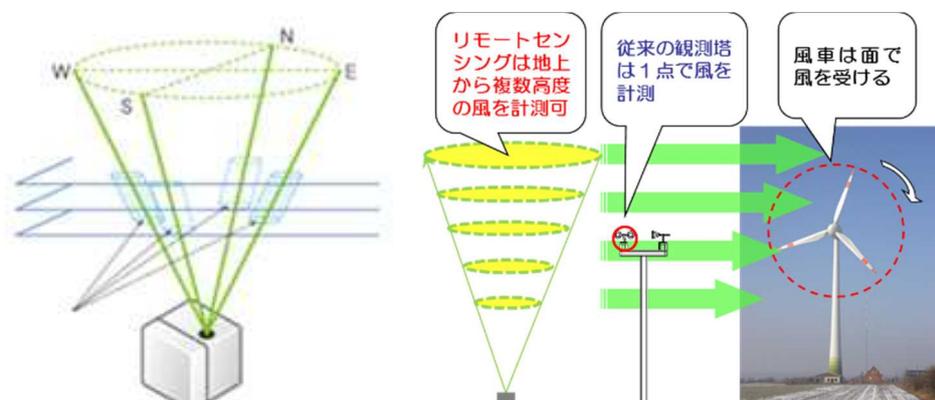


図 II. 1-1. モニタリングシステムにおけるライダーのイメージ図

(I) -2 ランプ予測技術の開発 (ランプ予測技術開発WG)

① ランプ現象の分析

○2016年度の間目標

・ ランプ現象の事例調査

ウィンドファーム出力、風力合計出力、残余需要データの短時間 (20 分) から長時間 (2 時間程度) に至る範囲での変動量 (最大変動幅など) の分析に基づき、電力系統の安定運用への影響が大きいと想定されるランプ現象を抽出、並びに、クリティカルなランプ現象を定義し、本事業におけるランプ予測の目標を決定する。

・ ランプ現象の要因分析

過去の気象データや数値シミュレーションモデルを用いた解析により、ランプ現象の気象要因を抽出し、個々の現象の要因解明を行うとともにランプ現象発生の可能性や予測可能性に関する分類を定量化する。

○2018年度の最終目標

・ ランプ現象の要因分析

気象データの蓄積を利用して、分析を続け、ランプ現象発生の可能性や予測可能性に関する分類の定量化をより精緻なものとする。

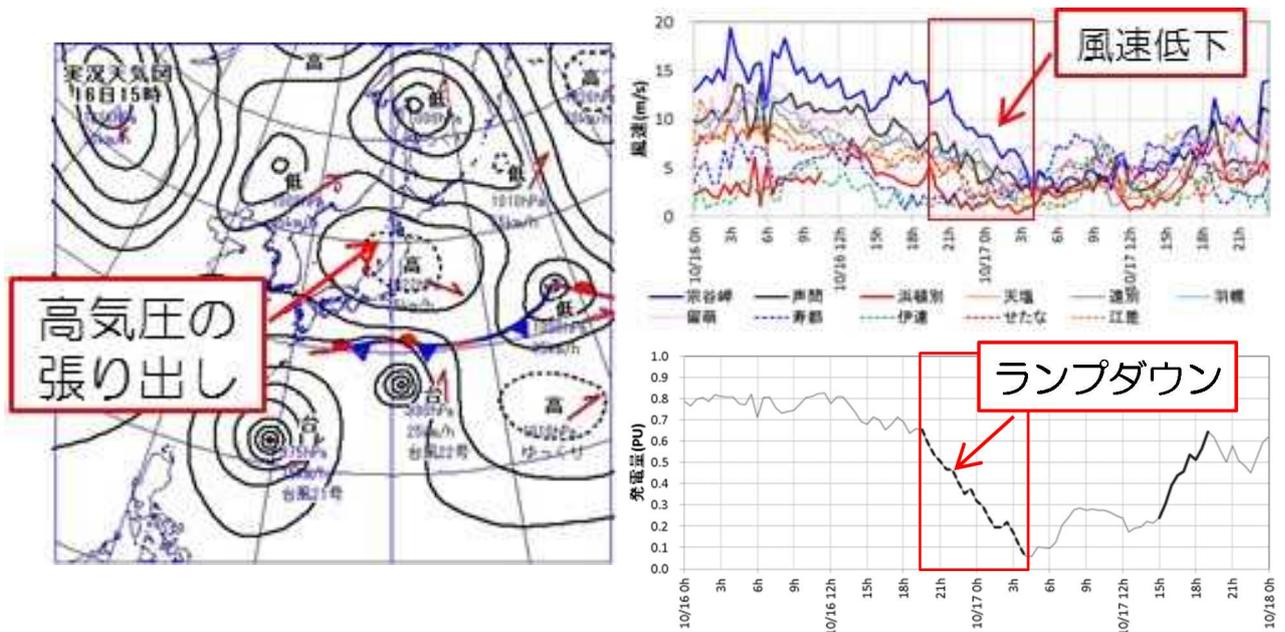


図 II.1-2. ランプ現象の分析イメージ図
(気圧配置パターン分析と要因を分析)

② ランプ現象等予測手法研究開発

○2016年度の間目標

・ ランプ予測技術の開発目標の確定

本部分項目では、風力発電の出力データ・気象データのモニタリング・長期気象解析データ等に基づいてランプ現象の要因分析を行い、複数のアプローチからランプ予測モデルを開発する。モニタリング結果やランプ現象の要因分析、ベンチマークテストから得られる課題を踏まえ、ランプ予測技術の開発目標を確定させる。

・評価手法の開発

本事業にて開発する予測技術は、電力系統における合計風力発電出力の変動を対象とするため、開発技術が電力系統運用に与える影響という観点からの評価を実施する。具体的には、発電コスト（燃料費、起動費など）といった経済性、供給力不足、短周期変動に対する調整力不足などの供給安定性に与える影響を分析することで、技術開発評価を行う。その分析結果を受けて、予測技術の課題・必要な仕様を設定し、中間評価後の予測技術開発の目標および出力変動制御技術に求める制御目標を設定する。

○2018年度の最終目標

・ランプ予測技術の確立

風力発電の大量導入を実現するために必要となる、系統運用者のランプ現象に対応する適正な調整力確保を目的に、ランプ現象の要因分析に基づくランプ予測技術を確立する。

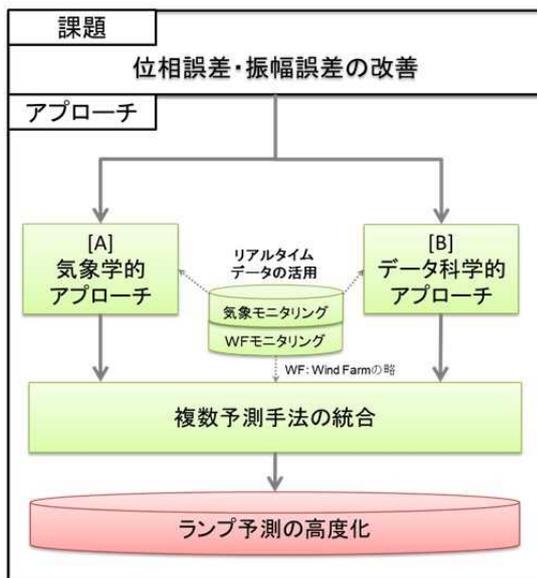
本部分項目では、火力発電の起動に必要な約6時間先以降に発生する風力発電定格出力のエリア合計値に対する30%以上の出力変動（継続時間6時間以内）をランプ現象と定義し、現行の予測モデルよりも予測精度を向上させ、大外しの最大振れ誤差を20%以上低減させる。

なお、電力の需給運用に影響を与える出力変動は、風力発電が連系する系統容量および電源構成によって異なる。国内では、電力の需給運用に影響を与えるほど、風力発電設備が連系されていないことから、一義的に数値目標を定めるものの、モニタリング結果や解析結果を踏まえて、上記開発目標を適宜見直すことも検討する。

・評価手法の開発

開発したランプ予測技術が電力システムへ与える影響として実証試験、並びに、実証試験結果の分析により、開発された予測技術を評価する。定量的評価として、本技術開発が発電コストなどの経済的指標に与える影響を分析する。定性的評価として、本技術開発が需給バランス、必要調整力量などの供給安定性に与える影響を分析する。

また、予測値が大きく外れる、大外し事例など電力システム運用に大きなインパクトを持つ現象発生時での、本技術開発が与える影響を評価する。



○ランプ予測技術開発のアプローチ

- 気象学的アプローチ
 - ・ 気象学的要因分析によるアプローチ
 - ・ アンサンブル予測によるアプローチ
- データ科学的アプローチ
 - ・ 統計的手法によるアプローチ
 - ・ 機械学習によるアプローチ
 - ・ Dynamical Systems 理論によるアプローチ
- 複数予測手法の統合
 - ・ 複雑系数理モデル学をベースにした複数予測手法の統合
- ランプ予測技術の評価
 - ・ 予測技術が電力系統運用の経済性と安定性に与える影響の分析に基づき、予測対象とするランプ現象を選定し、予測技術開発仕様を決定

図Ⅱ.1-3. 複数予測手法の統合によるランプ予測モデルイメージ

③ ランプ予測システム開発

○2016年度の間目標

ランプ予測技術の開発成果をもとに、北海道・東北・関東地域におけるランプ予測システムのプロトタイプを構築する。また、実証事業との連携へ向けたインターフェ이스の整備を行う。

○2018年度の間目標

北海道・東北・関東地域におけるランプ予測システムおよび複数予測手法の統合システムに関する評価を行い、リアルタイムでの予測システムの精度、コストおよび信頼性などを総合的に検討し、実用可能性を評価して実用化システムについて目処をつける。

④ ウィンドファーム制御技術の高度化

○2016年度の間目標

・ウィンドファーム内出力制御

ナセルライダーによる変動緩和技術の開発と商業用実機への適用性検討・基本設計を行い、後年実施するランプ予測との連動を意識したシステムの概観について目処をつける。また、ナセル風速計、ナセルライダーによる変動緩和制御性能の違いに関する計測評価方法について方針に目処をつける。単機ベースで出力変動緩和性能を開発当初から比較して10%低減達成を目指す。

・ウィンドファーム間出力制御

風力発電モニタリング時系列データや数値気象予測（GPV）等の利用可能な時空間ビッグデータとモニタリングシステムからのデータを含む予測開発システムから得られた予測データを複合的に活用し、ランプ現象を含む地域の合計発電出力および個別のウィンドファーム出力をリアルタイムで予測する技術（以下、「ウィンドファーム等出力変動予測」、「ウィンドファーム等出力変動予測技術」）を開発する。

また、風力エネルギー大量導入時の合計出力変動を緩和するため、電力系統全体でのウィンドファームの合計出力と個別ウィンドファームの短時間出力予測に基づき、ウィンドファーム制御技術を制御シミュレーションモデル等により開発する。

○2018年度の間目標

・ウィンドファーム内出力制御

ランプ予測と連動した風車出力変動緩和制御システムを確立する。また、ナセル風速計、ナセルライダーによる変動緩和制御性能の違いに関する計測評価を実施する。ウィンドファームベースで出力変動緩和性能を開発当初から比較して20%低減達成を目指す。

・ウィンドファーム間出力制御

開発したウィンドファーム間制御技術が電力システムへ与える影響として実証試験を行う。また、実証試験結果の分析により、開発された本技術の適用効果を検証する。

(I)-3 蓄エネルギー技術を用いた出力変動制御技術の開発 (蓄エネルギー制御技術WG)

① 圧縮空気エネルギー貯蔵による出力変動制御技術の開発

○2016年度の中間目標

ウインドファームにおける発電量急変の緩和性能評価に必要な蓄エネルギーシステムCAES(Compressed Air Energy Storage/圧縮空気エネルギー貯蔵)のシミュレーションモデルを開発する。風力発電設備における発電量急変を事前に予測しながら蓄エネルギー設備の運用計画を行う際の制御効果について評価を行い、結果をフィードバックすることで (I)-2「ランプ予測技術の開発」における予測モデルの構築指針や対象とするランプ現象の定義の適切さの検証材料として反映する。

また、ベンチマークデータに対する予測結果を用いたシミュレーションの観点から評価を行い、長期的な風力発電設備、蓄エネルギー設備の運用を行った際の発電電力急変の影響緩和の度合いと蓄エネルギー設備の種類や蓄エネルギー容量との関係を、予測の誤差をふまえた観点からシミュレーションに基づいて評価する。

○2018年度の最終目標

(I)-2「ランプ予測技術の開発」において確立されるランプ予測技術に基づいて、予測誤差の補正による風力発電の計画発電を目的に、予測技術を活用した制御の方法論を「(II) 予測技術システム運用シミュレーション」に提供することでコスト最小な最適な制御分担に基づいた出力変動制御技術を確立する。

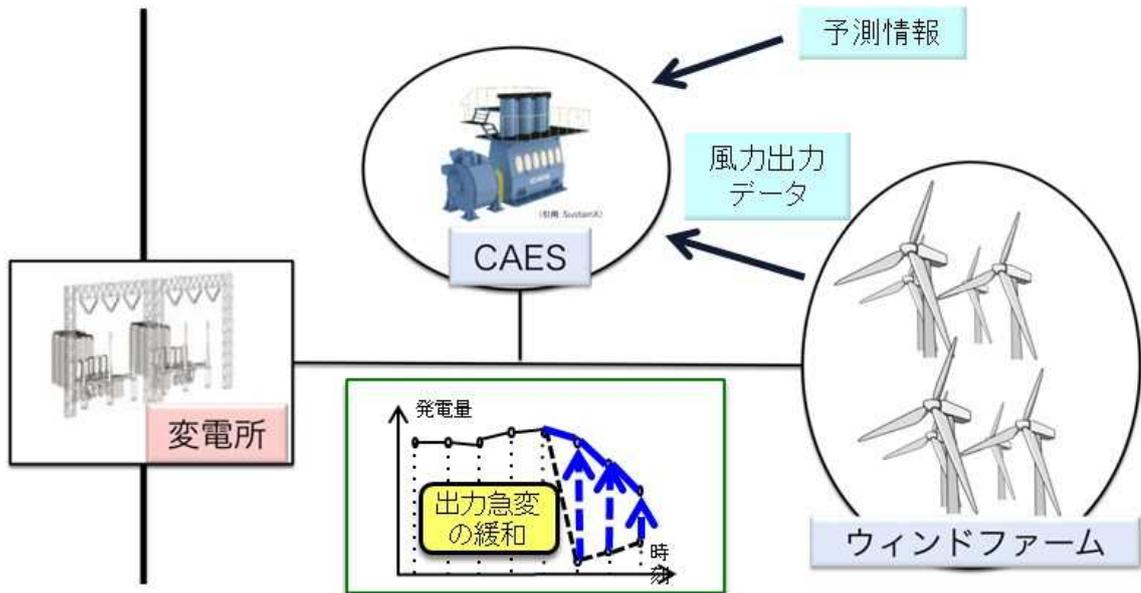


図 II.1-4. CAESによる風力出力変動緩和イメージ

② Power to Heatによる出力変動制御技術の開発

○2016年度の間目標

酪農学園大学構内に構築されたHP/BG併用熱供給システムを、風力発電出力の実測データおよび予測データに基づいて運用するための具体的な制御手法を開発すると共に、それを具体的なEMSとして構築し、北海道大学大学院情報科学研究科から、遠隔でHP/BG併用熱供給システムを制御・運用できる環境を整備することを目標とする。その際、構築したHP/BG併用熱供給システムの設備容量に合わせ、風力発電及び予測データを変換することで、様々な規模のランプ現象の制御を検討できるようにする。

加えて、開発した制御手法の有効性を評価するための手法を開発する。特に蓄電池制御との比較は重要と考えられ、蓄電池制御シミュレーションを通じた制御性能、コスト等の観点から、本システムの優位性を評価するための手法を開発する。

実系統に接続された仕様の異なる家畜系バイオガス発電プラント（二箇所）について、実運用時の運転特性（発電量、熱発生量、補機動力、エネルギー収支等）を明らかにするための計測系を構築し、データ取得を開始する。併せて、周辺需要施設（酪農家等）のエネルギー使用量計測を開始する。

○2018年度の最終目標

さまざまなウィンドファームのモニタリングデータを活用し実証試験を行いながら、ランプ現象抑制制御の効果を総合的に評価すると共に、バイオガス発電機、ヒートポンプに望まれる性能の評価、制御パラメータの設定指針、等を明らかにする。特に、ランプ現象の予測誤差の実績を考慮し、システム出力目標値の決定手法を改良する。

実際に連系された家畜系バイオガス発電プラントの実運用下における運転特性を明らかにし、開発する出力変動制御技術の実系統における実現性・有効性の評価に必要な知見を提供する。併せて、北海道地域において顕在化している電力系統側の課題にも対応したより効率的なバイオガス発電プラントの運用方策、システムより発生する熱エネルギーの有効利用方策について提案する。

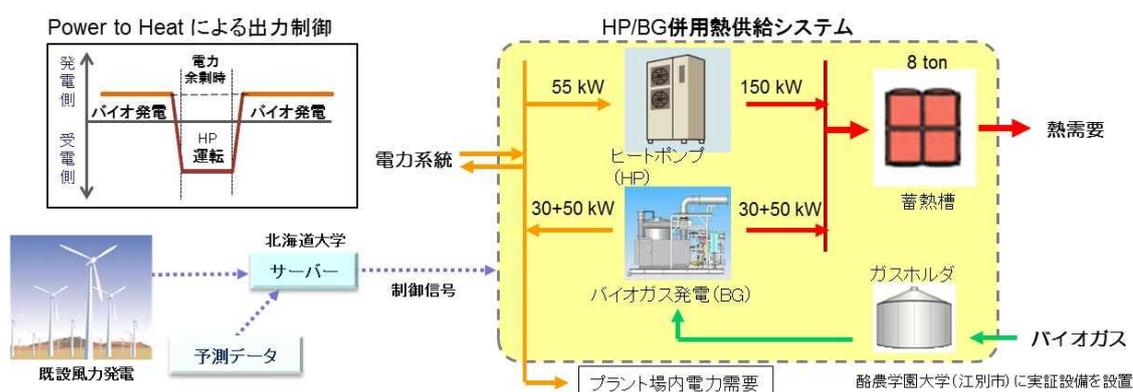


図 II. 1-5. HP/BG併用熱供給システムイメージ

③ 蓄電池および高精度予測情報を活用した出力変動制御技術の開発

○2016年度の間目標

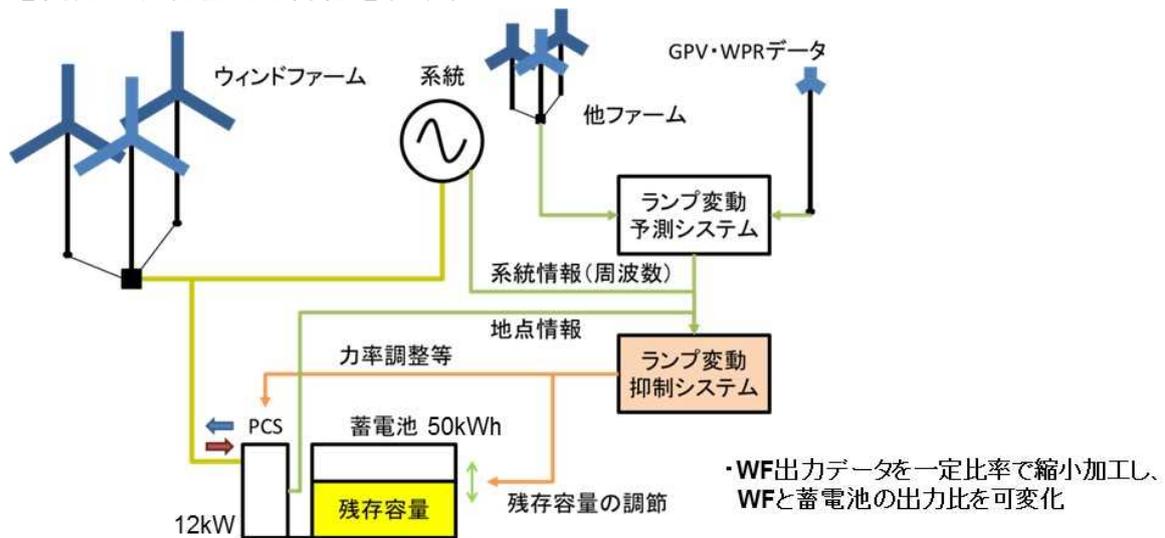
ウィンドファーム単独及びローカルエリアに分布するウィンドファーム群に対して、長周期及び短周期変動のどちらにも対応できる蓄電池及びランプ予測情報を活用した風力発電の出力変動制御手法を開発する。

また、提案する開発手法に対して必要な蓄電池容量を評価し、出力変動の抑制率及び計画発電の達成率等といった評価指標に対する蓄電池容量の削減可能性とコストの関係性を明確化する。

また、研究成果をもとに開発手法の有効性を実証するための研究設備を構築し、実証を通して制御性能を明らかにするとともに、得られた知見を活かし提案する開発手法の改良を図る。

○2018年度の間目標

様々なウィンドファームのモニタリングデータを活用し実証試験を行いながら、必要な蓄電池容量を実データに基づいて再評価する。また、対象とするエリア全域に対するランプ現象抑制を目的とした風力発電の出力変動制御手法へ提案手法を拡張するとともに、予測誤差に対応するための蓄電池SOC(充電率: State of Charge)管理手法を開発し、総合的な評価を行う。



④ 蓄エネルギー技術を用いた出力変動制御技術の実証試験および総合評価

○2016年度の間目標

風力発電の出力制御用として短中期的に実用化可能と考えられる蓄エネルギー技術について実用化時点のコスト、運転特性、技術課題等の調査・検討を行い、その結果を比較して、本事業において実証研究を行う蓄エネルギー技術を3種類選定する。選定された蓄エネルギー技術について、実証設備を設計し、製作・据付を完了する。

今後の風力発電の導入拡大における系統制約の状況を踏まえた上で、ランプ予測技術、風車制御技術、蓄エネルギー技術の特性や開発レベルを総合的に勘案し、出力変動制御に求める制御目標を確定させる。

○2018年度の最終目標

2016年度までに構築した蓄エネルギー実証設備において、①および②項において開発した制御に従った運転が可能であることを実証する。

国内外における系統規模の蓄エネルギー技術とその制御技術の開発動向を踏まえ、本事業において開発・実証を行った蓄エネルギー技術を含む出力変動制御技術の実用化に向けたロードマップを作成する。

1.2 研究開発項目(Ⅱ) 予測技術系統運用シミュレーションの事業目標

(Ⅱ) -1 需給シミュレーションシステムの開発 (需給シミュレーションWG)

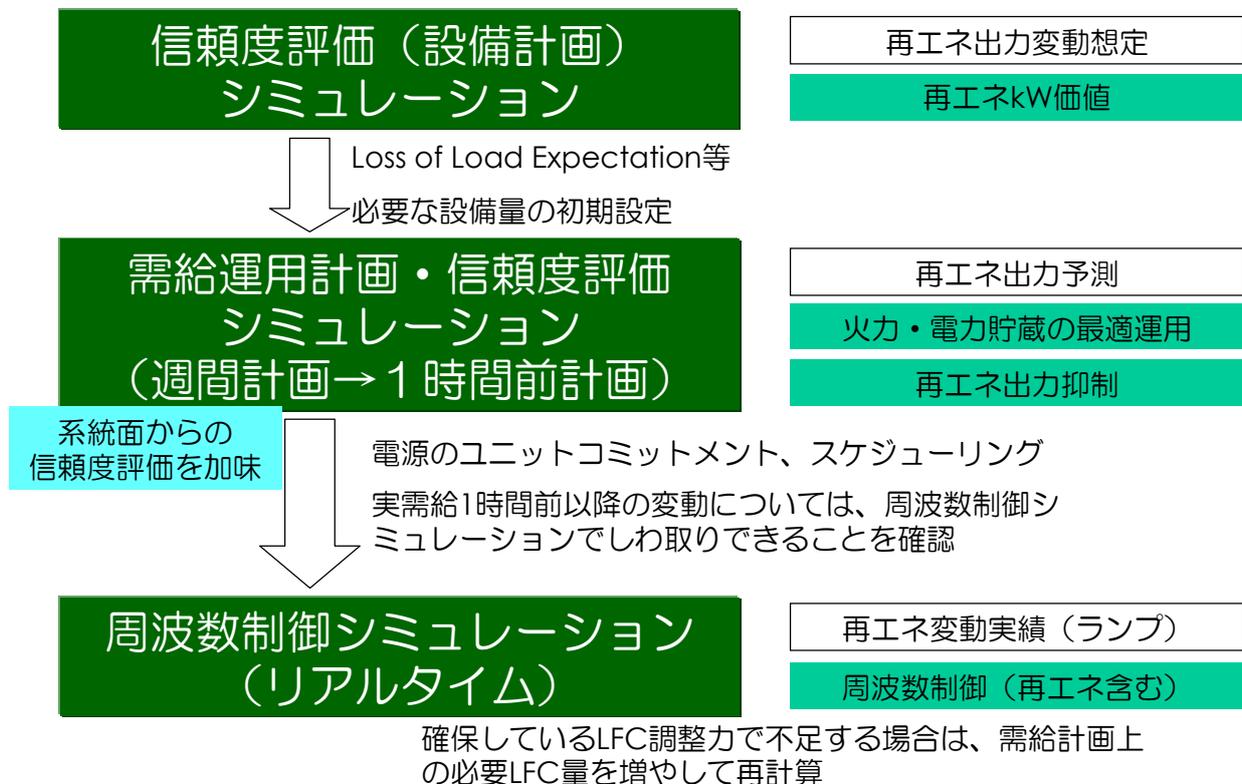
○2016年度の間目標

需給シミュレーションシステムを構築する解析ロジックの開発仕様を確定し、そのプロトタイプを構築する。また、再生可能エネルギー出力の予測と制御を踏まえた電力需給の基本的な考え方を検討するためのテストモデル・シミュレーション条件等の検討条件を確定する。

○2018年度の間最終目標

将来の再生可能エネルギー大量導入を支える電力システム構築のための技術課題とその解決策を検討するための、電力系統の信頼度評価・需給運用計画・周波数制御に関する解析基盤として、再生可能エネルギー出力の予測・制御、従来電源および揚水発電や蓄電池等の電力貯蔵の調整、系統評価を総合的に考慮した、多地域電力系統の需給シミュレーションシステムを開発し、再生可能エネルギーに因る電力需給の課題や課題解決の基本的な考え方を系統面の技術的な制約も考慮して明らかにする。具体的には、電力需給面について、2030年頃の再生可能エネルギー大量導入を想定した東地域電力系統における電力需給の技術課題や課題解決の考え方を明らかにする。

また、系統面については、想定故障解析における再生可能エネルギー大量導入の扱いに関する技術の理論的基礎の確立を目標とし、特定地域を想定したものではなく、系統面の典型的な課題と対応を整理する。



図Ⅱ.1-7. 需給シミュレーションシステムの構成

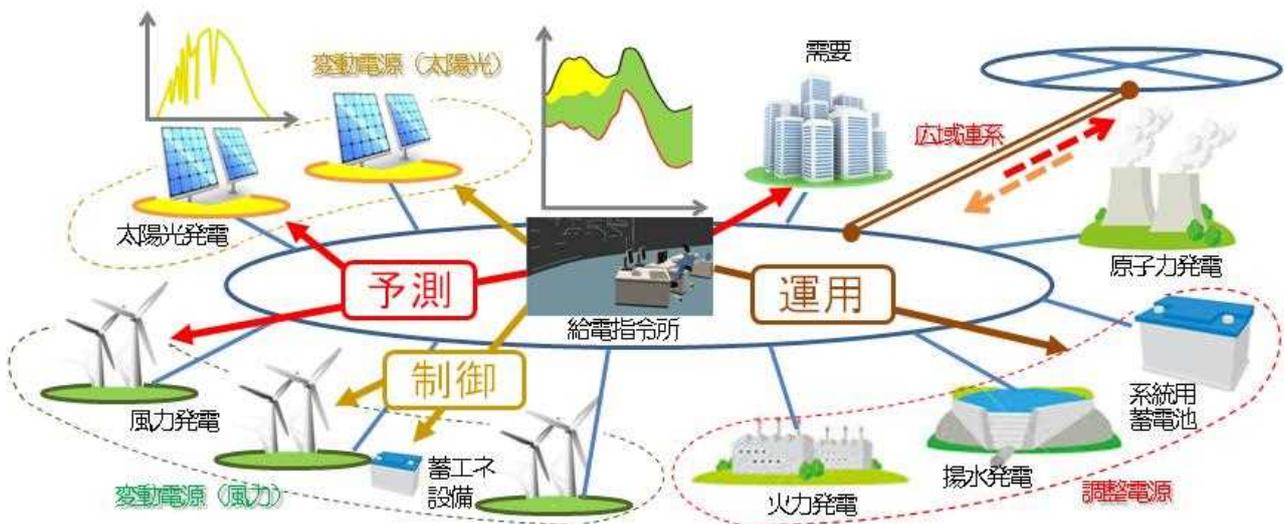
(Ⅱ) -2 電力系統における運用実証試験 (実証WG)

○2016年度の間目標

実証試験を実施する地点を選定し、風力発電のランプ予測技術に加え、風力発電・太陽光発電の出力予測や調整電源の最適運用手法等を総合的に組み合わせた需給制御システム構築のための合理的な設備形成や運用手段の机上検討、実証試験に必要な試験設備・システムの構築を完了させる。

○2018年度の最終目標

需給シミュレーションシステムで得られた需給運用の基本的な考え方を実際の電力システムを使って検証する。風力発電のランプ予測技術に加えて、風力発電・太陽光発電の出力予測や調整電源の最適運用手法等を総合的に組み合わせた実証試験を通じて、再生可能エネルギーを大量導入するための対策コストを指標として、対策コストが社会的にミニマムとなる最適な設備形成・運用手段を確立する。



図Ⅱ.1-8. 予測・制御・運用各技術を総合的に検証するための実証イメージ

1.3 研究開発項目(Ⅲ) 再生可能エネルギー連系拡大対策高度化の事業目標

(Ⅲ) - 1 風力発電の遠隔出力制御システムの開発 (出力制御技術 (風力) WG)

① 自然変動電源の出力制御に向けた出力予測・把握技術の高度化

○2016年度の間目標

①-(1) 出力予測高度化に向けたモニタリングシステム構築

東北地域における大規模～小規模までの風力・太陽光発電設備の中から、本研究開発に資する発電設備 (風力: 最大15ヶ所程度、太陽光5ヶ所以上) を選定し観測網を整備する。また、研究開発項目Iで取得している10MW以上の大規模風力発電設備 (最大20ヶ所程度) のモニタリングデータも併せて利用できるデータベースを整備する。また、気象庁及び民間会社の気象観測網を活用した広域日射観測網 (東北エリアで気象官署7ヶ所に加えて30ヶ所程度) を整備し、これらのモニタリングシステムから自然変動電源の出力予測・把握技術の開発に資するデータ収集システムを整備する。

①-(2) 出力制御に向けた予測技術の高度化・予測システム構築

東北地域におけるサイト単位・エリア単位・全系単位などを対象とし出力制御に必要な予測の検討および高度化を行い、予測精度等の指標により予測の評価をオフラインにて行う。また、実証試験との連携へ向けたシステム整備 (インターフェース等) を行う。

○2018年度の最終目標

構築したモニタリングシステム・予測システムの運用状況 (予測精度の状況及び遠隔出力制御システムとの連携状況) を踏まえ、予測手法及びシステム機能について必要な改良を行う。以上を通じて遠隔出力制御システムに有効なモニタリングシステム・予測システムの整備を完了する。

② 自然変動電源の出力制御装置の標準化、低コスト化

○2016年度の間目標

②-(1) 通信装置、通信方式の標準化

風力事業者へ設置する出力制御装置 (PCS含む) と中央給電指令所間で通信する制御指令や発電量などの情報について、先行する平成26年度補正予算事業「次世代双方通信出力制御緊急実証事業」の検討結果も踏まえて、標準化する。

②-(2) 汎用CDT装置の開発 (特別高圧: 双方向)

20台程度のCDT装置の試作を完了し、上位装置の親装置の試作を完了し、フィールド評価を開始する。また、発電事業者から電力会社間のCDT回線の伝送フォーマットは、調査・検討が完了し標準化に向けた案がとりまとまっている。さらに、発電事業者と電力会社間の回線品質の悪い事業者向けの対ノイズ対策の検討を完了する。システム構成について、調査・検討を完了し、最適構成の結論を出す。

②-(3) 高低圧連系に係る風力発電向け出力制御装置 (双方向、片方向) の開発

研究開発に資する実証サイトを選定し、片方向通信・双方向通信の両方に対応する風力発電向けの出力制御装置の仕様を検討し、開発を行う。

○2018年度の最終目標

C D T装置のフィールド評価を完了し、標準仕様および製品化の取り纏めが完了している。開発した出力制御装置が、中央給電指令所からの指令に応じて出力制御が可能であることを確認する。また、双方向通信においては、発電設備からの応答を確実に中央給電指令所に伝送可能であることを確認する。

③ 自然変動電源の出力制御方式の高度化および最適化

○2016年度の間目標

③- (1) 多数の自然変動電源に対する出力制御量の最適配分に関する研究

風力発電事業者間の公平性を保った出力制御量の配分決定論理を明確にするとともに、太陽光発電の出力制御も考慮した出力制御量の最適配分決定問題を定式化し、その基本的な解法を開発する。

③- (2) 通信方式に応じた最適出力制御方式に関する研究

高低圧連系における片方向通信・双方向通信それぞれにおける最適な通信手法の選定と通信に必要なアダプタ等の開発を行う。

③- (3) 配信事業者による電力系統安定化支援に関する研究

系統運用者や発電事業者のニーズ、出力制御技術の開発動向および標準化検討動向を踏まえ、配信事業者による出力制御支援システムの要件定義・仕様案を策定する。

○2018年度の最終目標

風力発電事業者への出力制御量の最適配分を、出力制御システムで用いる通信方式の性能も考慮して、リアルタイムで計算するアルゴリズムを開発する。また、その計算結果が中央給電指令所からの制御指令値として特別高圧の双方向通信および高低圧のインターネット等を利用した片方向通信（カレンダー方式）等に使用できることを確認する。

選定した通信手法により、中央給電指令所からの制御指令を発電設備が有する出力制御装置へ確実に伝送する。また、双方向通信を採用する場合は、発電設備からの応答を確実に中央給電指令所に伝送する。

④ 遠隔出力制御システムの開発および実証試験

○2016年度の間目標

④- (1) 遠隔出力制御システム全体最適化に関する研究

遠隔出力制御システムについて、中央給電指令所から制御する一括集中制御方式が良いのか、または管内に複数ある系統給電指令所などから制御する分散制御方式が良いのか検討し、最適な制御方式について結論を出す。

④- (2) 系統運用機関の遠隔出力制御システムの開発

④～③の研究結果を踏まえ、大画面表示装置を含めた遠隔出力制御システムを開発する。

④-(3) 遠隔出力制御システムの構築 [通信回線構成・発電事業者側の装置取付]

発電事業者への制御装置と通信回線構成について、計画の50%程度まで構築する。また、配信事業者に関するシステムについても、計画の50%程度まで構築を完了する。

○2018年度の最終目標

中央給電指令所に構築したシステムから本研究開発事業に協力いただく発電事業者へ出力制御信号を配信し、発電事業者が受信していること、および特別高圧へ連系している事業者については、受信できていることを確認するアンサーバックを中央給電指令所へ配信する一連の流れが確実に行われていることを確認する。また、配信事業者を経由した出力制御についても、制御情報の伝達が確実に行われることを確認する。

(Ⅲ) -2 太陽光発電の遠隔出力制御システムの開発（出力制御技術（太陽光）WG）

① 太陽光発電の出力制御手法の確立

○2018年度の最終目標

①- (1) 遠隔出力制御システム高度化に関する研究開発

a. 専用回線による双方向出力制御方式及びインターネットによる出力制御スケジュール（単方向通信）方式による出力制御システム〔ステップ1〕の高度化

(i) 発電所の停止計画を考慮した出力制御量の算定

発電所の停止計画を把握するシステムを構築し、出力制御量算定の精度向上を実現する。

(ii) 遠隔出力制御の実施状況確認システムの構築

発電所毎の出力制御実績を把握し、出力制御指令情報と比較・検証可能なシステムを構築し、公平性及び運用実行性を確保するための、管理手法を確立する。

b. 中長期的な観点による双方向を適用した出力制御システム〔ステップ2〕の高度化

(i) 多台数適用時の課題抽出と対応策の検証

サーバや通信ネットワークの瞬間的な負荷など多台数適用時の課題を抽出し、その対応策を踏まえて、システムを改良し、将来想定される規模への対応を可能とする。

(ii) 適用範囲拡大に向けたシステム改良

既存監視システムとの協調や複数PCSへの適用を可能とするシステム改良を行い、実証で有効性の評価を行い、導入拡大に向けた課題を整理する。

(iii) Open ADR 2.0pvの最適化とそれに伴うシステム改良

実証結果を踏まえてOpen ADR 2.0pvの改良を行い、適用範囲の拡大やきめ細やかな制御を実現する。

(iv) セキュリティ評価

システム運用者側から、システム個別及び全体に対して、要求すべきセキュリティレベルを整理する。

①- (2) 遠隔出力制御システムの実証環境整備

実運用における出力制御システムの有効性及び系統への影響の評価が可能となる、出力規模を確保するため、実証対象の太陽光発電設備を拡充し、出力制御システム全体が有効に機能することを確認する。

①- (3) 遠隔出力制御システムの実証試験

a. 専用回線による双方向出力制御方式及びインターネットによる出力制御スケジュール（単方向通信）方式による出力制御システム〔ステップ1〕の実証試験（九州電力、IAE）

専用回線を活用した双方向出力制御及びインターネットによる出力制御スケジュール方

式による出力制御による実証を行い、出力制御システムの性能、系統への影響、年間を通じた出力制御運用・管理手法の評価を行う。

また、太陽光発電出力の想定誤差に対する調整力として、太陽光発電の緊急出力制御への活用手法を確立する。

b. 中長期的な観点による双方向を適用した出力制御システム〔ステップ2〕の実証試験

双方向通信を適用した出力制御システムによる実証を行い、出力制御システムの性能、通信環境による影響、パラメータの最適化などを行い、システム仕様を確立する。

①-(4) 太陽光発電の最適出力制御量算定技術の開発

(i) 太陽光発電の最適必要出力制御量の算定

前日における気象予測情報に基づいたサブエリア毎の日射量予測データを活用した、最適必要出力制御量の算出、また、その制御量のメガソーラー及びルーフトップへの割り振り技術を開発する。

また、近い将来において、大きな影響を持つデマンドレスポンス、新たに創設されると想定される最終ゲートクローズ前までの数時間前市場などを模擬した上で、経済性、供給信頼性などの電力システム運用の観点から本開発技術の影響分析、効果評価を行う。

(ii) 実出力制御量の把握とその情報の必要出力制御量最適化への反映

卸電力市場の最終ゲートクローズ後に最終的な必要出力制御量（計画値）を計算するモデルを開発する。また、その指令（信号）をインバータが受け取り、出力制御を行い、その結果としての太陽光発電出力、並びに、制御量（実施値）をモニタリングできると想定し、出力制御方式の改善を行うためのPDCAロジックの開発を行う。その結果として、出力制御量計算の品質改善を目指す。

また、近い将来において大きな影響を持つデマンドレスポンス等を考慮した電力需給シミュレーションを実施する。

(iii) 最適必要出力制御量算定、並びに出力制御緩和のための太陽光発電出力予測技術開発

サブエリア毎の出力予測モデルの開発、出力予測データの作成、予測精度向上を行う。

1時間前予測などの前日以外では、当日出力予測モデルの開発、出力予測データの作成を行う。さらには、気象庁LFM（Local Forecast Model、局地数値予報モデル）の活用など、新たな気象予測モデルの適用の可能性の検討と、各種出力予測モデルの改善を行う。ルーフトップ（太陽光発電システム）の発電実測データを用いて、方位角・傾斜角・日陰の有無など太陽光発電パネルの情報を推定するアルゴリズムを開発し、そのデータ分析を行う。その上で、双方向制御のインバータを含む実データから得られる数千軒～数万軒に及ぶ実際の太陽光発電出力（発電量実測データ）に基づき、日射量予測に加え異種データソース、オンラインで取得したリアルタイム発電量データなどを利用可能な太陽光発電出力予測技術仕様を検討する。

また、リアルタイムでのモニタリング情報の活用手段、双方向通信設備が設置されたメガソーラー・ルーフトップそれぞれのインバーター（広義）の付加価値をつけるために必要な仕様の検討を行う。

② 太陽光発電の出力制御の高度化

○2018年度の最終目標

②- (1) デマンドシフト等による自家消費電力制御手法の開発

太陽光発電電力の最大有効活用を目指した住宅内でのエネルギーマネジメントについて、住宅設備機器の様々な組合せに対応した制御ロジックの開発と既存の国内推奨通信規格や一般的な標準手段に基づく実装・効果の提示を目標とする。

また、単一の住宅を超えて太陽光発電の余剰電力の有効活用を指向する際の実現方法の提示と制度面での制約等の明確化を行う。

②- (2) アグリゲーターによる需給コントロール手法の開発

a. 太陽光発電の出力制御に適用したアグリゲーション機能の実装と実証

太陽光発電の出力制御を確実にを行うための仲介サーバの仕様を明確にするとともに、将来的に国内において使用される通信規格を想定した実装・効果の提示を目標とする。

また、蓄電池や需要制御と組合せた余剰電力の有効活用を指向する際の想定されるユースケースとその実現方法の提示及び制度面での制約等の明確化を行う。

b. IoTを活用した太陽光出力抑制の緩和

技術実装トライアルでは、九州電力方式、OpenADR方式、既存国際標準規格（例：IEC）など複数の出力制御信号に対応可能なI/Fの検討などを進め、将来的な標準化検討用パッケージとして取り纏める。

効果シミュレーションについては、需要機器の資源量などを勘案した効果シミュレーションを進めるとともに、火力発電所など集中電源の発電コストなども考慮した効果シミュレーションを行う。

受容性等の調査研究については、ユーザーの受容性、効用維持などを勘案した本方式によるDRの経済性を評価する。

②- (3) 分散型電源遠隔制御高度化に関する研究開発

将来的にスマートインバータが具備すべき機能について仕様を取り纏め、それらを実装した実証用の実機と通信機能付きの制御装置を開発する。そして、そのスマートインバータに対する監視制御システムも開発し、それらを組み合わせた実証試験を実施する。その結果を分析し、本技術の適用効果を検証した上で、将来的なスマートインバータの標準化に向けた課題と対応を整理する。

1.4 各研究開発項目における研究開発目標（最終目標）と根拠について

各研究開発項目における研究開発目標（最終目標）および根拠を表2-1に示す。

研究開発項目と担当WG	研究開発目標〔最終目標〕	根拠
研究開発項目（Ⅰ） 「風力発電予測・制御高度化」 （予測とWF内外制御） ランプ予測技術開発WG	予測精度の向上として大外しの最大振れ誤差を20%以上低減させたシステムを開発する。	海外でもランプに特化した予測精度向上についての取り組みがなされているが定量的な評価やランプそのものの定義が無いなか、火力発電起動時間と過去の事象解析をもとにランプの定義を決め、過去の研究実績から目標値を設定した。
研究開発項目（Ⅰ） 「風力発電予測・制御高度化」 （蓄エネ制御） 蓄エネルギー制御技術WG	予測技術を活用した最適な制御分担に基づいた蓄エネルギー制御技術を確立する。	蓄エネルギー設備の低コスト化が求められており、そのためには、一定の制御効果を達成するのに必要な蓄エネルギー設備の容量を最小化することが有効。予測情報を活用して制御技術の高度化を図り、実証試験で確認する。
研究開発項目（Ⅱ） 「予測技術システム運用シミュレーション」 （シミュレーション） 需給シミュレーションWG	最適運用手法等を総合的に組み合わせた需給シミュレーションシステムを開発する。	海外類似製品のベンチマークに加え、本システムの根幹を支える基本設計思想の検討に十分な時間を満たし、中間目標年度末までにプロトタイプを開発することとする。実証試験の結果も踏まえて各WGでの結果を反映して改良する期間を最終年度末までとする。
研究開発項目（Ⅱ） 「予測技術システム運用シミュレーション」 （実証試験） 実証WG	需給シミュレーションシステム開発で得られた考え方を、電力システムを使って検証する。	実証サイトの選定、役所との折衝、設備の設計と構築に3年かかるものと見据え、中間評価年度末までに設備構築を終え、長期計画からリアルタイム制御までフル検証するために必要な2年間（最終目標年度末まで）で検証を実施する。
研究開発項目（Ⅲ） 「連系拡大高度化」 （出力制御（風力）） 出力制御技術（風力）WG	風力発電の出力予測と出力把握の高度化を行い、実際の電力システムを使って検証しながら事業者間の制御量を事業者の出力比率に応じて決定する出力制御手法を開発する。	2015年1月26日に再生可能エネルギー特別措置法施行規則の一部を改正する省令が施行されたことで、系統連系される再生可能エネルギーの年間の出力制御は、風力発電が720時間、太陽光発電が360時間、接続可能量が超過した際の指定電気事業者制度下では無制限となった。事業者にとっては、出力制御時間よりも出力制御量が事業運営に大きく影響を与えるため、出力制御は出力に応じて行われることが望ましい。
研究開発項目（Ⅲ） 「連系拡大高度化」 （出力制御（太陽光）） 出力制御技術（太陽光）WG	太陽光発電の出力予測と出力把握の高度化を行い、実際の電力システムを使って検証しながら事業者間の制御量を事業者の出力比率に応じて決定する出力制御手法を開発する。	2015年1月26日に再生可能エネルギー特別措置法施行規則の一部を改正する省令が施行されたことで、系統連系される再生可能エネルギーの年間の出力制御は、風力発電が720時間、太陽光発電が360時間、接続可能量が超過した際の指定電気事業者制度下では無制限となった。事業者にとっては、出力制御時間よりも出力制御量が事業運営に大きく影響を与えるため、出力制御は出力に応じて行われることが望ましい。

表 2-1 研究開発目標と根拠

2. 研究開発の計画

2.1 研究開発の概要

前項で記載した通り、本事業では風力発電のランプ現象に注力した予測技術の高度化と出力変動制御技術の高度化を対象とする「研究開発項目(I)風力発電予測・制御高度化」、東日本地域の2030年における電力システムを模擬して解析を行うための需給シミュレーションの開発と、研究開発項目(I)での予測と制御の技術を踏まえて再生可能エネルギーを最大限活用した実証試験による需給運用技術の高度化を対象とする「研究開発項目(II)予測技術系統運用シミュレーション」、風力発電および太陽光発電の遠隔出力制御システムの開発を対象とする「研究開発項目(III)再生可能エネルギー連系拡大対策高度化」の3項目からなる。各研究開発項目のそれぞれの個別テーマと担当WG（ワーキンググループ）、各WGを構成する実施事業者について表2-2に整理する。

本事業では風力発電の普及拡大に向けて、「予測・把握」技術の高度化により従来の風まかせの発電から計画する発電として風力発電を活用する目的に加え、火力発電等他電源や蓄電池の効果的な活用により風力発電だけでなく太陽光発電など含めた再生可能エネルギーの最大利用を目的とした「需給運用」や「制御・抑制」技術の高度化を図る事が主な実施内容である。それら実施内容について全体構造のイメージを図2-1に示す。

表2-2. 各研究開発項目の個別テーマと担当WGと実施事業者の整理

研究開発項目	個別テーマ	担当WG	実施事業者 (括弧内は再委託)
(I) 風力発電予測・制御高度化	(I)-1 風力発電および気象モニタリングシステムの構築、ランプ予測技術の開発	ランプ予測技術開発WG	<ul style="list-style-type: none"> ・伊藤忠テクノソリューションズ(株) (一財)日本気象協会) ・東京大学(日本大学、筑波大学) ・(一財)電力中央研究所 ・早稲田大学
	(I)-2 蓄エネルギー技術を用いた出力変動制御技術の開発	蓄エネルギー制御技術WG	<ul style="list-style-type: none"> ・(一財)エネルギー総合工学研究所(北海道電力) ・早稲田大学(北海道大学、大阪府立大学)
(II) 予測技術系統運用シミュレーション	(II)-1 需給シミュレーションシステムの開発	需給シミュレーションWG	<ul style="list-style-type: none"> ・(一財)電力中央研究所 ・東京電力パワーグリッド(株) ・東京電力ホールディングス(株) ・東京大学
	(II)-2 電力システムにおける運用実証試験	実証WG	<ul style="list-style-type: none"> ・東京電力パワーグリッド(株) ・東京電力ホールディングス(株) ・(株)東光高岳(NRIセキュアテクノロジーズ(株)、(一財)日本気象協会)

(Ⅲ) 再生可能エネルギー連系拡大対策高度化	(Ⅲ) - 1 風力発電の遠隔出力制御システムの開発	出力制御技術 (風力) WG	<ul style="list-style-type: none"> ・東北電力株式会社 ・伊藤忠テクノソリューションズ(株) ・東北大学 ・通研電気工業株式会社
	(Ⅲ) - 2 太陽光発電の遠隔出力制御システムの開発	出力制御技術 (太陽光) WG	<ul style="list-style-type: none"> ・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) ・関西電力株式会社 ・北陸電力株式会社 ・九州電力株式会社 ・東京大学 (産業技術総合研究所) ・早稲田大学 ・(一財)エネルギー総合工学研究所

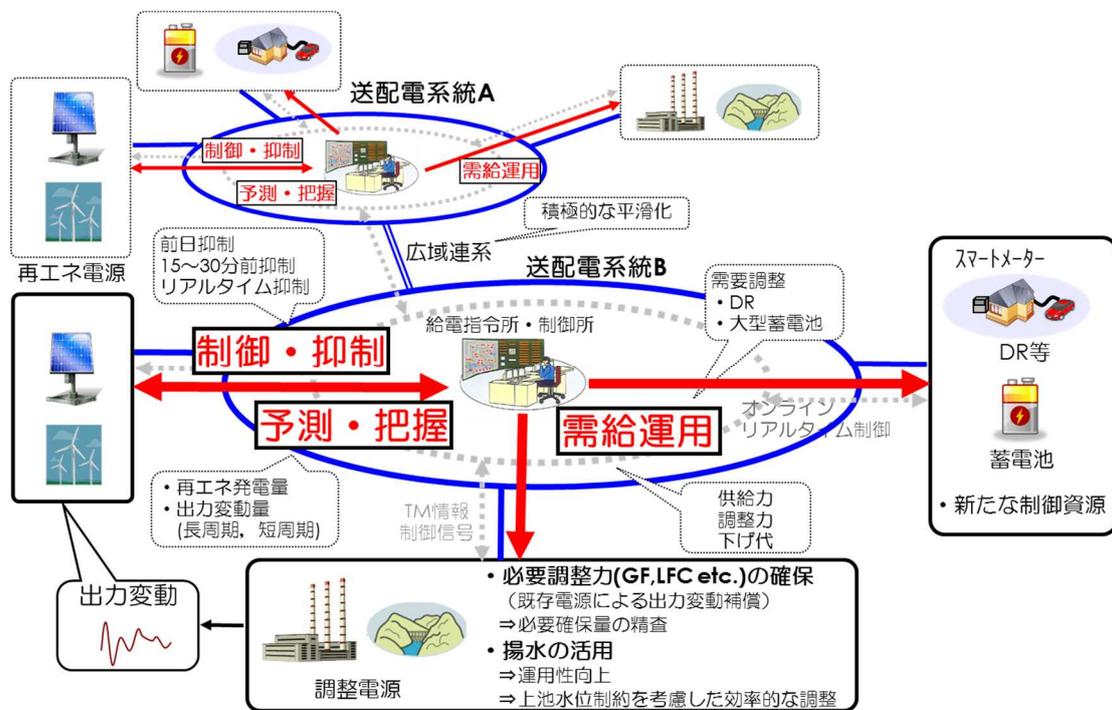


図2-1. 事業の全体構造イメージ

各WGと実施事業者については次節(2.2 研究開発の実施体制)にて記述するが、ランプ予測技術開発WGで「予測・把握」(以降、「予測」)、蓄エネルギー制御技術WGで「制御・抑制」(以降、「制御」)、実証WGで「需給運用」(以降、「運用」)に係る研究開発を実施し、需給シミュレーションシステムWGで開発するシステムの開発成果に反映させる。また、ランプ予測技術開発WGを中心に研究開発項目Ⅰ・Ⅱより情報提供を受け、研究開発項目Ⅲの出力制御技術(風力)WGおよび出力制御技術(太陽光)WGの「制御」に反映することが本プロジェクトの各WGの相関関係である。(図2-2)

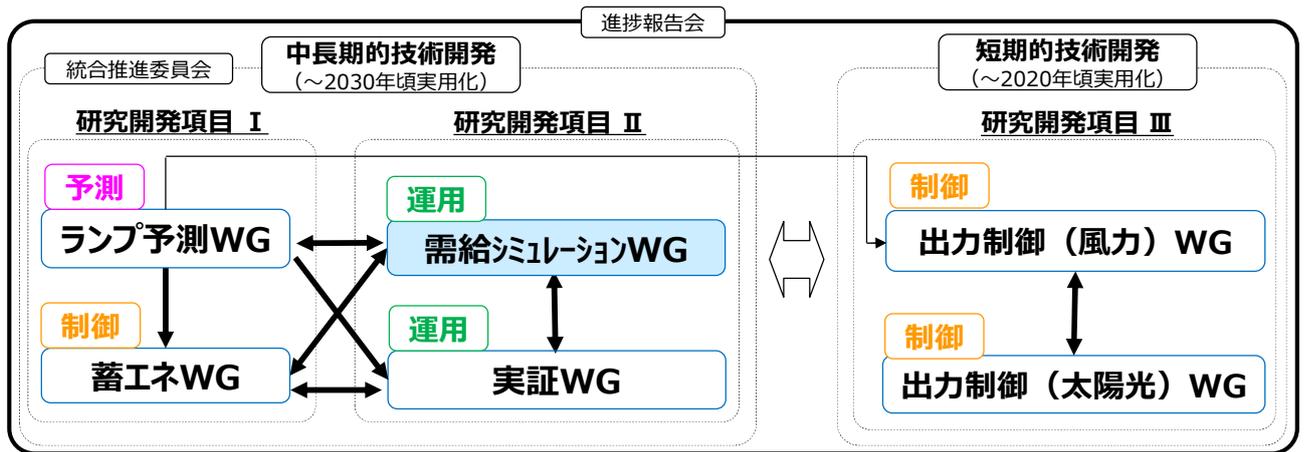


図2-2. 各WG間の相関関係

研究開発項目（Ⅰ）・（Ⅱ）「風力発電予測・制御高度化／予測技術系統運用シミュレーション」（2014～2018年度推進）については、2030年度頃には必要となっていく将来的技術に主軸を置き、再生可能エネルギー導入における課題の評価を可能とする需給シミュレーション技術の開発を中核とし、重要技術である風力発電のランプ予測技術、発電事業者における蓄エネルギー技術を活用した制御技術の開発をデータや技術開発情報を共有・活用しながら推進した。

研究開発項目（Ⅲ）「再生可能エネルギー連系拡大対策高度化（風力：2015～2018年度推進、太陽光：2016～2018年度推進）」については、2020年度頃で必要となっていく実用化技術として、主に風力および太陽光発電の出力制御システム技術に主軸を置き開発した。研究開発に向け、研究開発項目Ⅰ・Ⅱとも開発内容を共有するとともに、活用できるデータは研究開発項目Ⅰ・ⅡのWGから入手して推進した。研究開発項目単位のみでなく、各WG間でデータや技術開発情報を横断的にやりとりする有機的関係を構築して推進した。

全体として、「予測」＋「制御」＋「運用」として連携した技術を開発し、再生可能エネルギー導入拡大に資する技術を構築が可能となった。

2.2 研究開発のスケジュールとプロジェクト費用

この各WGと実施項目の相互関係を踏まえた各実施項目のスケジュールと事業予算について表2-3に示す。研究開発項目ごとにマイルストーンを設定し、研究開発の進捗状況を管理した。なお、本スケジュールの2017年度以降については、2016年度の間評価の結果を踏まえて、NEDOとして継続の可否を判断し、その後、2年間の研究開発を実施した。

研究開発項目	実施項目	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度
研究開発項目Ⅰ 風力発電予測・制御高度化	(1) 風力発電および気象モニタリングシステムの構築 【ランプ予測技術開発WG】	機器製作	機器調整	データ収集・分析	データ収集・分析	データ収集・分析
	(2) ランプ予測技術の開発	基礎検討	手法検討	システム化	予測手法・システム改良	検証・評価
	(3) 蓄エネルギー技術を用いた出力変動制御技術の開発 【蓄エネルギー制御技術WG】	モデル開発	制御技術開発		変動制御手法の改良	
研究開発項目Ⅱ 予測技術系統運用シミュレーション	(1) 需給シミュレーションシステムの開発 【需給シミュレーションWG】	システム仕様設計・プロトタイプ構築			システム構築	
	(2) 電力系統における運用実証試験 【実証WG】	シミュレーションモデル構築			再エネ導入拡大の評価	
		仕様検討	設備設置	実証試験・評価		
		スペック検討・設備設置			実証試験・評価	
研究開発項目Ⅲ 再生可能エネルギー連系拡大対策高度化	(a) 風力発電の遠隔出力制御システムの開発 【出力制御技術（風力）WG】		仕様検討・開発		実証試験・評価	
	(b) 太陽光発電の遠隔出力制御システムの開発 【出力制御技術（太陽光）WG】			調査・開発	実証試験・評価	
マイルストーン		一部データ提供開始		ランプ予測手法・システムの構築 蓄エネ実証試験開始	電力系統運用実証試験開始	ランプ予測手法・システムの確立
プロジェクト費用（億円）		31	56	74	69	38

表2-3. 各研究開発項目のスケジュールとプロジェクト費用

本プロジェクトの研究開発項目毎の予算（NEDO負担額）を表2-4に示す。前半3年間のプロジェクト費用は約161億円であり、これに後半2年間のプロジェクト費用を加えた5年間の総額は約268億円である。

研究開発項目	2014年度 (H26年度)	2015年度 (H27年度)	2016年度 (H28年度)	2017年度 (H29年度)	2018年度 (H30年度)	合計
研究開発項目Ⅰ 風力発電予測・制御高度化 ・ランプ予測技術開発WG ・蓄エネルギー制御技術WG	17	25	20	11	11	84
研究開発項目Ⅱ 予測技術系統運用シミュレーション ・需給シミュレーションWG ・実証WG	14	25	16	9	7	71
研究開発項目Ⅲ 再生可能エネルギー連系拡大対策高度化 ・出力制御技術（風力）WG ・出力制御技術（太陽光）WG		6	38	48	20	113
委託費	31	56	74	69	38	268

表2-4 各研究開発項目のプロジェクト費用年次展開（単位：億円）

<参考>

○2030年度における発電事業者の投資、売電収入の逸失額の試算

本プロジェクトを実施しなかった場合、2030年度までに風力、太陽光発電の新規導入ができなくなったと仮定すると、2030年度における発電事業者の新たな投資促進（約3,870億円/年）、発電事業者の新たな売電収入（約575億円/年）が見込めず、約4,445億円/年の経済損失となる。

なお、試算条件は以下の通り。

- ・ 2030年度の売電価格^{注1} PV=7円/kWh、風力=8.5円/kWh、
- ・ 2030年度の建設価格^{注2} PV=15.5万円/kW、風力=18.5万円/kW、
- ・ 2030年再エネ導入量（年間平均増分）、PV=190万kW/年、風力=50万kW/年。
- ・ 2030年時点で風力および太陽光発電の新規導入が滞っている状況と仮定し

2030年度の1年間分の損失として算出。

注1 再生可能エネルギー大量導入に向けた取組（2018年3月7日 資源エネルギー庁）

注2 再生可能エネルギーの大量導入時代における政策課題と次世代電力ネットワークの在り方（2017年12月18日 資源エネルギー庁） これらを参照

2.3 研究開発項目（Ⅰ）風力発電予測・制御高度化の研究開発内容

本研究開発項目では、風力発電の大量導入を実現するために必要となる、系統運用者のランプ現象に対応する適正な調整力確保を目的に、ランプ現象の要因分析に基づくランプ予測技術を確立する。また、風力発電の出力変動緩和による電力系統への影響の最小化や予測誤差の補正による風力発電の計画発電を目的に、予測技術を活用しコストミニマムとなる最適な制御分担に基づいた、ウィンドファーム制御技術と蓄エネルギー技術を用いた出力変動制御技術を確立する。

本研究開発項目の構成は、研究開発項目（Ⅰ）- 1 風力発電および気象モニタリングシステムの構築、（Ⅰ）- 2 ランプ予測技術の開発、および（Ⅰ）- 3 蓄エネルギー技術を用いた出力変動制御技術の開発が相互に連携し、風力発電予測・制御高度化のための研究開発を推進する。

（Ⅰ）- 1 風力発電および気象モニタリングシステムの構築（ランプ予測技術開発WG）

電力系統エリア合計値の風力発電出力のランプ現象は、我が国においてその課題は認識されつつあるが、ランプ現象に焦点をあてた研究開発は未だ行われていない。そのため、これに資する電力系統エリアを対象とした広域に連携したウィンドファーム観測網は十分に構築されていないのが実態である。

再生可能エネルギーの導入拡大が進んでいるスペインでは、定格出力 10MW 以上の大規模ウィンドファームを対象に、リアルタイムでの広域のウィンドファーム観測網を整備し、風力発電出力予測・制御に活用している。これにより、風力発電出力予測に関しては、翌日予測で 3~4% の平均絶対誤差率を達成し、風力発電の導入比率が高まった現在でも系統の安定化を実現することに成功している。

上記スペインの事例に鑑みても、本事業においてランプ予測技術を確立するためには、電力系統エリアを対象とした広域でのウィンドファーム観測および広域気象観測に基づくランプ現象の要因分析は必須である。そのため、我が国で風力発電設備の導入が進んでいる北海道・東北・関東地域における広域ウィンドファーム観測網の構築および広域気象観測網を構築し、ランプ予測技術の基礎となる風力データベースを整備する。

本実施項目における実施内容と担当事業者を以下に整理する。

表Ⅱ.2-3. 実施項目（Ⅰ）- 1 の実施内容と担当事業者

実施内容	担当事業者
ウィンドファーム観測網整備	伊藤忠テクノソリューションズ(株)
広域気象観測網整備	伊藤忠テクノソリューションズ(株)
風力データベース整備	伊藤忠テクノソリューションズ(株)、 東京大学
出力状況変動解析	伊藤忠テクノソリューションズ(株)、 (一財)日本気象協会、東京大学、日本大学、 筑波大学、(一財)電力中央研究所、早稲田大学

ウィンドファーム観測網整備：

風力発電の大量導入時に想定される、出力変動特性（短周期・長周期）を把握し、風力発電出力予測技術の高度化を実現することを目的として、北海道・東北・関東地域における最大50カ所程度の中から本研究開発に資する大規模ウィンドファームを選定し、データ収集のための観測網を整備する。ここでは、協力を頂いた風力発電事業者の風力発電設備を対象に、可能な限り風況と発電出力の同時観測（発電出力、気象観測、風車運転情報）を行える環境を構築する。これによって、予測技術開発に資する関連データを収集する。

また、風力発電設備周辺の風況把握のために、風況観測設備（風況観測用ライダー、風況観測マスト等）を最大10カ所程度設置する。

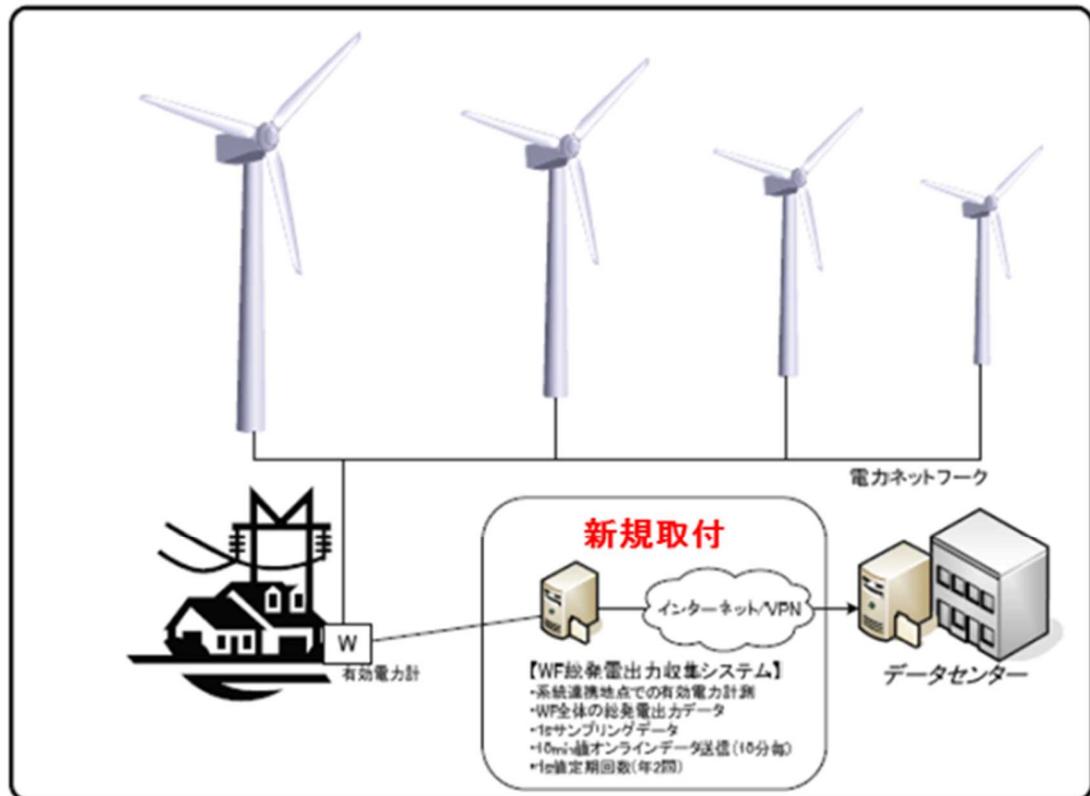


図 II. 2-3. ウィンドファーム総発電出力収集システムの概念図

広域気象観測網整備：

広域に集積された風力発電の出力変動は、その地域の気象の変化と密接に関連していると考えられている。本実施項目では、風力発電出力変動に対応した広域の気象特性を把握することを目的として、既設の気象庁アメダス（風速・風向・気温（全国約840カ所）、気圧（全国約150カ所））・ウィンドプロファイラー（全国33カ所）および民間会社の気象観測網（全国最大100カ所程度）を活用し、北海道・東北・関東地域を重点的に、風速・風向・気温・気圧のデータに関する広域気象観測網を整備する。

風力データベース整備：

サーバーなど本プロジェクトにおける風力発電データの蓄積・運用を行う環境を整備し、本プロジェクトにおいて収集された風力発電設備のモニタリングデータの蓄積・運用を行う。風力データベースには、ウィンドファーム観測網から得られる北海道・東北・関東地域のウィン

ドファームに対するモニタリングデータ（発電出力・運転制御情報・風速・風向・気温・気圧・日射量等）に加えて、広域気象観測網から得られるウィンドファーム周辺の風速・風向・気温・気圧のデータも格納する。データの蓄積・管理は、プロジェクト開始年度から開始し、プロジェクト最終年度まで続ける。

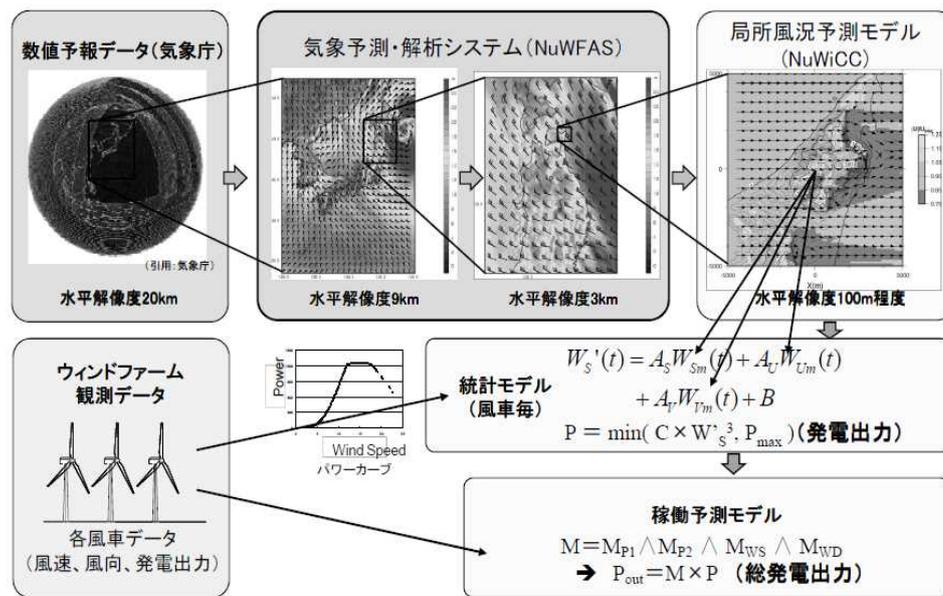
出力状況変動解析：

モニタリングシステムで取得した気象観測および風力発電出力データを用いて、北海道・東北・関東のそれぞれの地域における風力発電出力の変動の状況を把握する。発電出力の変動幅、発電出力急変時と気象擾乱等の関係を天気図等から整理して基礎的な分析を実施する。

(I) - 2 ランプ予測技術の開発（ランプ予測技術開発WG）

当実施グループの東京大学、電力中央研究所、伊藤忠テクノソリューションズ株式会社、日本気象協会は平成17年度～19年度のNEDO事業「風力発電電力系統安定化等技術開発」（以下「前事業」）に参加し、力学的モデルと統計モデルを組み合わせた手法で発電出力平均誤差の数値目標を達成した。（図Ⅱ.2-4）

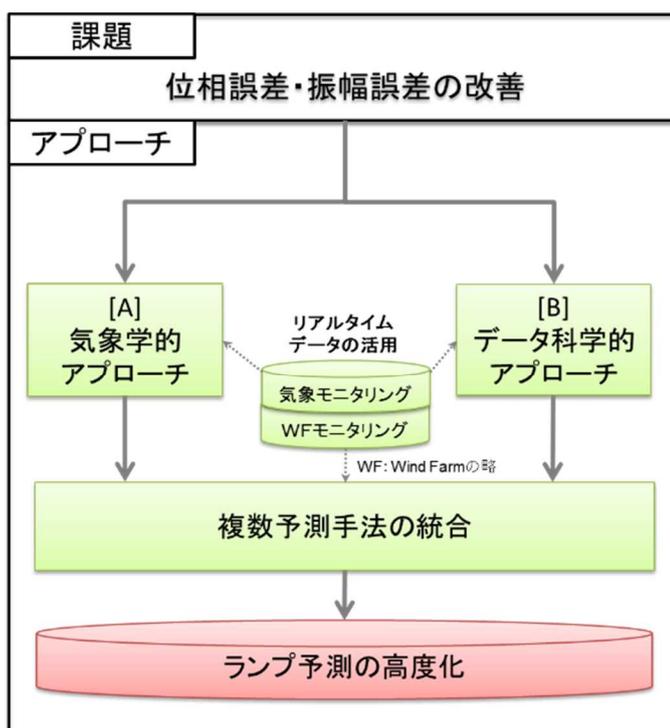
本事業では、一定成果をあげた前事業における予測手法の構成を踏襲しつつ、得られた知見を生かしてランプ現象発生 of 適切な予測手法を開発する。



図Ⅱ.2-4. 「風力発電電力系統安定化等技術開発」における風力発電予測手法の構成

前事業では、通常時の誤差は設定目標の精度を得る一方、大外しをする事例が散見された。これがランプ予測誤差の主要な要因となるものと考えられるが、予測誤差は、ランプ現象の発生時刻に対する誤差（以下、位相誤差）と、変動の振幅に対する誤差（以下、振幅誤差）に、大別することができる。これを踏まえて、本事業では、前事業の予測手法に加え、新たに構築する観測網からのリアルタイムデータを活用するとともに、気象学的アプローチ[A]およびデータ科学的アプローチ[B]による予測精度改善、そして複数手法による予測結果の統合を通じて、ランプ予測の高度化を図る（図Ⅱ.2-5）。なお、本書では、気象モデルなど物理モデルによる予測値についての精度改善や有用情報抽出などを中心に検討することを「気象学的アプロー

チ」、過去のデータの自己および相互の関係性に基づく将来予測を中心に検討することを「データ科学的アプローチ」と呼ぶ。



図Ⅱ.2-5. ランプ予測技術開発に向けた課題とアプローチ

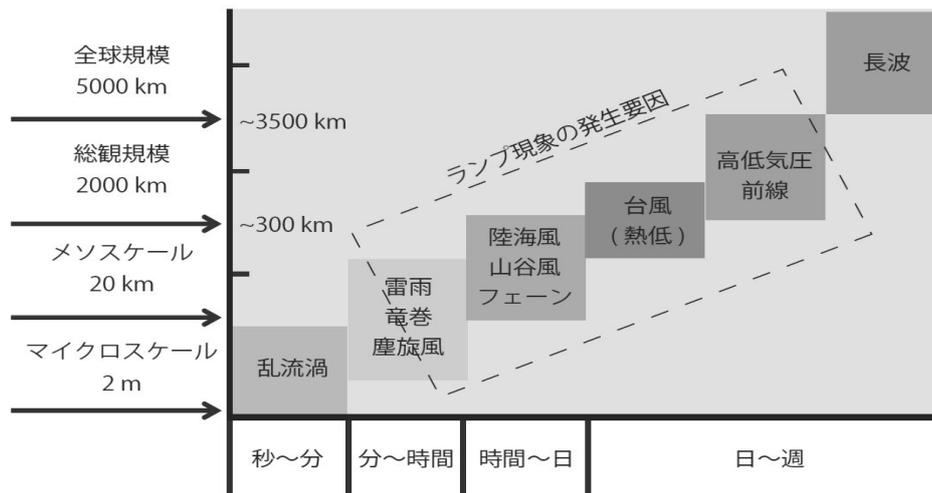
本実施項目における実施内容と担当事業者を以下に整理する。

表Ⅱ.2-4. 実施項目(Ⅰ)-2の実施内容と担当事業者

実施内容	担当事業者
ランプ現象の分析	東京大学、日本大学、筑波大学、 (一財)電力中央研究所、早稲田大学、 伊藤忠テクノソリューションズ(株)、 (一財)日本気象協会
ランプ現象等予測手法研究開発	同上
ランプ予測システム開発	伊藤忠テクノソリューションズ(株)、 (一財)日本気象協会、東京大学
ウィンドファーム制御技術の高度化	東京大学

ランプ現象の分析：

ランプ現象の元となる急激な風速変化は様々な時間スケール・空間スケールの大気現象に関係しており(図Ⅱ.2-6)、現象毎に最適な対応方法が異なることが示唆される。一方、わが国におけるランプ現象の実態やその要因については未解明の状態である。そのため、本プロジェクトでは、ランプ現象の事例調査、要因分析、さらに遡ってランプ現象定義のための調査を実施する。



図Ⅱ.2-6. 大気現象の時間スケール・空間スケールとランブ現象発生要因
(Cathy Finley, 2009 に修正・加筆)

ランブ現象等予測手法研究開発：

本研究項目では、「ランブ現象の分析」の結果を踏まえ、複数のアプローチでランブ現象の予測に適した風力発電予測手法高度化を目指すとともに、複数手法による予測結果から最適な予測情報を統合する手法を開発する。さらには、本提案で開発・高度化したランブ予測技術の評価するため、従来の風力発電予測手法のベンチマークテストを行う。

まず、ランブ予測における現状予測手法の課題・問題点を抽出し、本事業における開発目標を検討するため、次に示す手法により現状予測手法のベンチマークを行う。ベンチマークテストの前段階として、各ウィンドファームの発電出力特性を把握し、風速を発電量変換する手法を構築する。その後、本手法を用いて、過去1年間の気象庁GPVの風の予測値から北海道・東北・関東地域のそれぞれの発電量を算出し、当日・翌日の予測精度について年間の各種統計値を把握する。また、ランブ現象事例について解析し、発電出力の差異、観測値と予測値の出現時刻のずれ、継続時間の違い等の観点でランブ現象の予測精度を把握する。

次にランブ予測のための風力発電出力予測高度化として、ランブ現象発生 of 最適な予測手法を開発する(図Ⅱ.2-7)。また、誤差低減に限界があると想定されるため、予測情報の活用にも有効と考えられる誤差情報(確からしさ)の抽出も検討する。ここで、本事業が広範な分野に亘ることを生かして、共同提案機関の連携を密にとり、ウィンドファームの制御や系統運用上の予測情報利用法を踏まえた、実務に有効な確からしさ情報の抽出手法を目指す。これらを、気象学的アプローチ[A]およびデータ科学的アプローチ[B]により開発・検討する。両アプローチにおける以下の詳細アプローチについて各事業者が分担して検討し、相互に連携して開発を推進する。

[A] 気象学的アプローチ

- ・気象学的要因分析によるアプローチ
- ・アンサンブル予測によるアプローチ

[B] データ科学的アプローチ

- ・統計学的手法によるアプローチ
- ・機械学習によるアプローチ
- ・Dynamical Systems 理論によるアプローチ

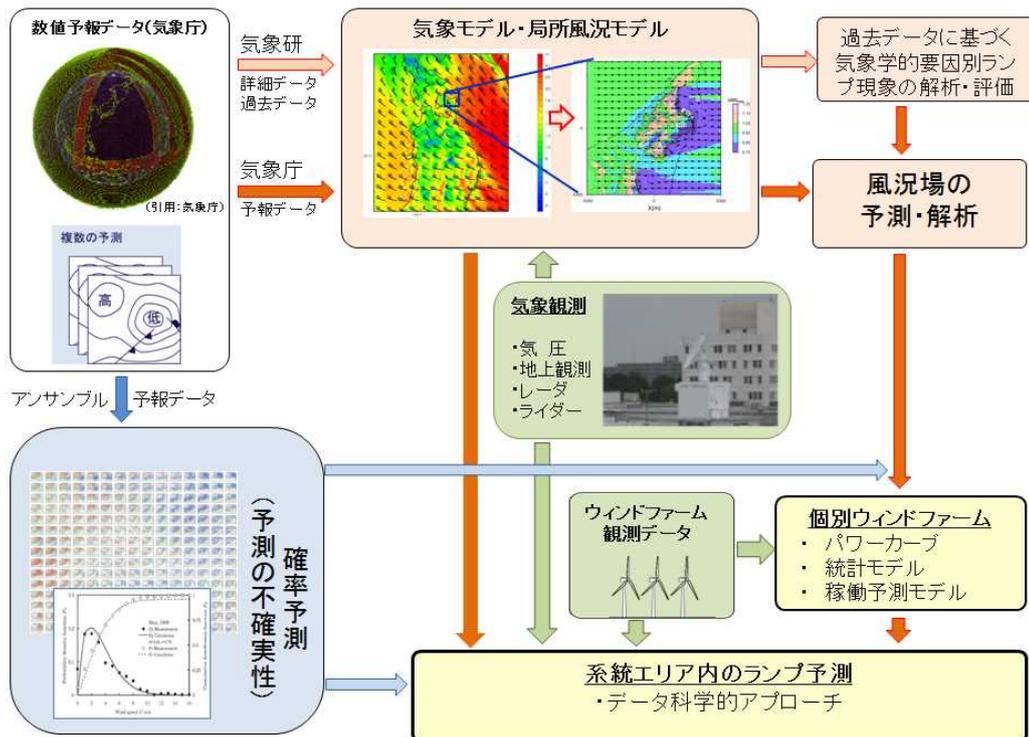


図 II. 2-7. 予測システムの全体構成

これら各アプローチでのランプ予測手法を最終的に統合し、過去の気象条件等に応じて、予測手法を最適に選択・組み合わせるとともに、予測誤差や信頼性に関する補助情報を付与する機構を開発する。

最後に、ランプ予測技術の評価として、本プロジェクトにて開発するランプ予測技術の評価手法の開発と評価を行う。

ランプ予測システム開発：

ランプ現象等予測手法研究開発での手法が、実運用可能となるよう入力データ、処理方法、出力方法等各種条件を検討し、ランプ予測手法をリアルタイムに安定して運用するためのシステムを開発する。このため、各種要件定義や基本設計を実施し、必要な情報提供のタイミングやデータ提供方法等を検討し、システム構成、処理フロー、ネットワーク構成、機器構成等の詳細設計を行い、ランプ予測システムを構築する。更に、構築したシステムを用いて各エリアにおける実証試験を実施し、ランプ予測手法及びシステムの評価を行い、これらシステムの課題を抽出する。

また、複数予測手法の統合手法開発の結果を踏まえ、開発した手法が実運用可能となるよう各種検討を実施し、手法をリアルタイムに安定して運用するためのシステムを構築する。更に、構築したシステムを用いて各エリアにおける実証試験を実施し、ランプ予測手法及びシステムの評価を行い、これらシステムの課題を抽出する。

ウインドファーム制御技術の高度化：

系統運用の視点に立った場合、前述のランプ予測技術開発と共に、ランプ予測精度・信頼性を向上させるための計画・運用技術が重要となる。本テーマでは、ランプ予測を踏まえたウィ

ンドファーム制御技術を高度化し、ランプ現象のリスクを低減する技術開発を実施する。ランプ現象のリスク低減については、風力発電機の変動緩和制御技術の高度化とウィンドファーム全体・ウィンドファーム間を見据えた変動緩和制御技術の高度化がある。次項(Ⅰ)-3で実施する蓄エネルギーを用いた制御技術開発は、風力発電のエネルギー源である風エネルギー（風速）が減少した際を目的にした技術開発であり、本項目で示す制御技術は、風エネルギーはあるが、ランプ現象発生を見据えた出力抑制を効率的に実施するための制御技術開発である。具体的には各風力発電機を対象とするナセル搭載型ライダーによる変動緩和制御技術開発と、ウィンドファーム内の各風力発電機と需給調整が行われる電力システム全体でのウィンドファーム合計出力のそれぞれの変動緩和のための出力予測を活用したウィンドファーム出力制御技術開発を実施する。

図Ⅱ.2-8に(Ⅰ)-1 風力発電および気象モニタリングシステムの構築と(Ⅰ)-2 ランプ予測技術の研究開発を担当するランプ予測技術開発WGの実施項目毎の事業開始時点でのスケジュールを記載する。

実施項目		H26	H27	H28 (中間評価)	H29	H30 (最終評価)
Ⅰ-(1)	風力発電および気象モニタリングシステムの構築					
	① ウィンドファーム観測網整備		構築		データ収集・蓄積	
	② 広域気象観測網整備	構築		データ収集・蓄積		
	③ 風力データベース整備		構築		運用・活用	
	④ 出力状況変動解析		基礎検討		継続検討	
Ⅰ-(2)	ランプ予測技術の開発					
	ランプ現象の分析					
	① 1 ランプ現象の事例調査		基礎検討		継続検討	
	2 ランプ現象の要因分析	基礎検討		継続検討		
	3 ランプ現象定義・予測のための調査		基礎調査		継続調査	
	ランプ現象等予測手法研究開発					
	1 ヘンチマークテスト		既存データ活用		実測データ利用	
	ランプ予測のための風力発電出力予測高度化					
	A1 気象学的要因分析によるアプローチ		プロトタイプ構築		検証・運用・改良	
	A2 アンサンブル予測によるアプローチ		プロトタイプ構築		検証・運用・改良	
	B1 統計的手法によるアプローチ		プロトタイプ構築		検証・運用・改良	
	B2 機械学習によるアプローチ		プロトタイプ構築		検証・運用・改良	
	B3 Dynamical Systems 理論によるアプローチ		プロトタイプ構築		検証・運用・改良	
	3 複数予測手法の統合		プロトタイプ構築		検証・運用・改良	
	4 ランプ予測技術の評価			基礎評価		本格評価
	ランプ予測システム開発					
	③ 1 ランプ予測システム開発(北海道・東北・関東地域)		環境構築		改良・運用	
	2 ランプ予測システム開発(複数予測手法の統合)		環境構築		改良・運用	
	ウィンドファーム(WF)制御技術の高度化					
	④ 1 ナセル搭載型ライダーによる制御技術開発		基礎検討		検証・改良	
2 出力予測を活用したWF出力制御技術開発						
a WF内を対象とした出力制御技術開発		基礎検討		検証・改良		
b WF間を対象とした出力制御技術開発		基礎検討		検証・改良		
研究事業の運営・管理						
ランプ予測技術開発WGの運営						

図Ⅱ.2-8. ランプ予測技術開発WG担当項目の研究開発スケジュール

(Ⅰ)-3 蓄エネルギー技術を用いた出力変動制御技術の開発(蓄エネルギー制御技術WG)

気象要因や発電特性に起因する風力発電機の発電量急変に対する対策の1つとして各種の蓄エネルギー設備の利用による出力制御技術の開発が進められている。本開発項目では予測されたランプ現象の情報を有効的に利用することで風力発電設備と併設される蓄エネルギー設備を適切に運用制御し、発電量急変の緩和を行う枠組みの方法論を評価、検証する。

ランプ現象の緩和を制御の主要な目的に据えた時に、

- ・ ランプ現象の予測情報を用いてどのように蓄エネルギー設備の運用制御を行うべきか
- ・ 充放電出力、容量や設備配置の要件等の観点からどの程度の規模の設備が必要か
- ・ どのような条件、観点において蓄エネルギーは有用なのか

といった点に関する詳細な知見は未だ無く、これらを明らかにすることが本開発項目全体の主要な目標となる。

本事業では蓄エネルギー技術として、圧縮空気エネルギー貯蔵(CAES: Compressed Air Energy Storage)、ヒートポンプ(HP)とバイオガス発電(BG)の併用運用による熱変換貯蔵(Power to Heat)、および蓄電池に着目し、ランプ予測情報を反映した発電量の変動緩和のための蓄エネルギー設備の運用制御技術の開発を行う。

本実施項目における実施内容と担当事業者を以下に整理する。

表Ⅱ.2-5. 実施項目(I)-3の実施内容と担当事業者

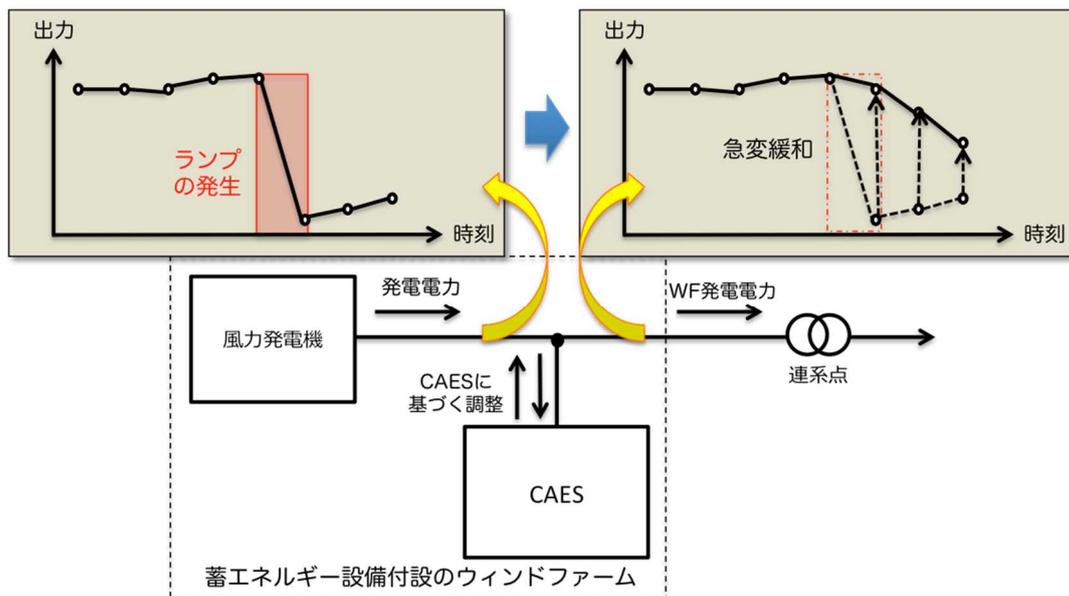
実施内容	担当事業者
圧縮空気エネルギー貯蔵による出力変動制御技術の開発	早稲田大学
Power to Heatによる出力変動制御技術の開発と実規模データ評価	北海道大学、北海道電力(株)
蓄電池及び高精度予測情報を活用した出力変動制御技術の開発	大阪府立大学
蓄エネルギー技術を用いた変動制御技術の実証試験および総合評価	(一財)エネルギー総合工学研究所

圧縮空気エネルギー貯蔵による出力変動制御技術の開発：

ウィンドファームへの設置が検討されている大容量蓄エネルギー設備として圧縮空気エネルギー貯蔵(CAES)に着目し、蓄電設備の充放電の特性を再現するシミュレーションモデルの開発を行い、予測されたランプ現象の情報を利用することで発電量急変の影響削減のためのCAESの運用制御技術の開発を行う。本技術は予測されたランプ現象に対してCAESの充放電能力を計画的に利用することで発電出力の急変をウィンドファームにおける収支の意味で緩和することを運用方針とし、発電出力の最大振れ誤差低減という電力系統への影響低減のためのランプ予測の目標を部分的に支援する。

CAESは大きなエネルギーを貯めることができるため電力系統の負荷平準化への利用が可能であり、しかも揚水発電ほど場所を限定されない。また、エネルギーの貯蔵に空気を使用するため安全性が高く、出力応答性も良いため、ウィンドファームにおける発電出力急変の緩和のためのCAESの利用は実用化の面で十分現実的なものと期待される。一方で、充放電時の出力変化に対する応答性、充放電の切り替え時間、様々な運転状態における効率等、実機での確認が必要な部分も存在する。そのため、本事業の中で実証設備を製作・運転し、運用特性等を確認する。制御技術開発に際してはまずCAESの充放電の特性を再現するシミュレーションモデルを設計開発する。その上で開発したCAESモデルを用いて風力発電出力の変動予測結果を利用した蓄エネルギー設備の運用計画に関する方法論を提案し、ウィンドファームにおける発電出力変動

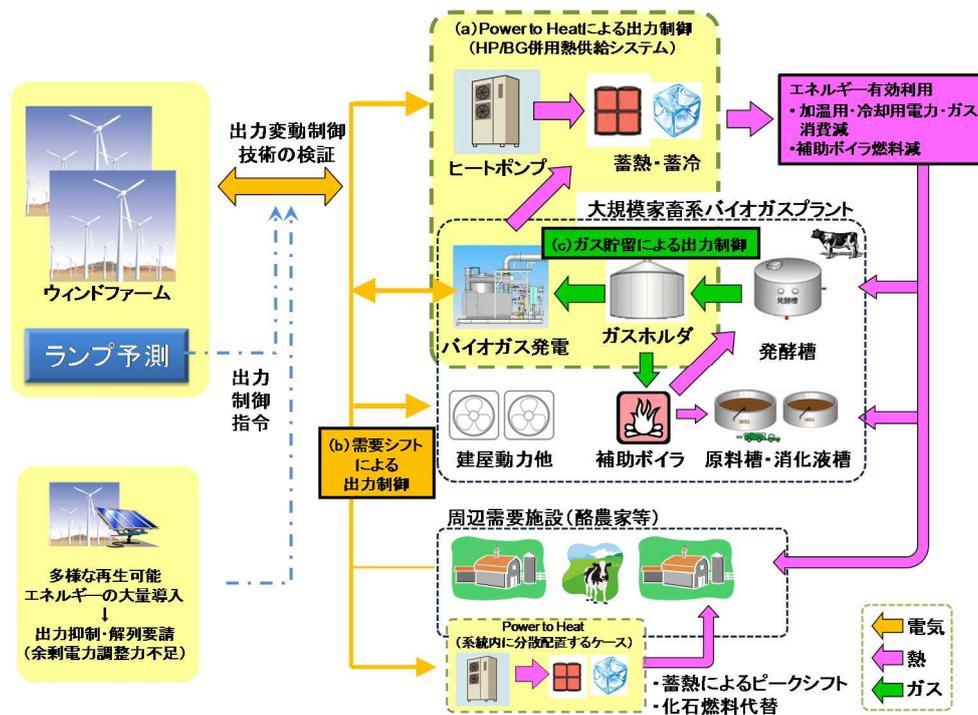
の緩和のシミュレーションを実施することで、特にランプ現象を事前に予測しながら予測情報に基づいて設備の充放電計画を行った際に発電出力の変動がどの程度緩和できるかを定量的に評価する。また、発電出力ランプ予測の誤差が制御結果の意味でどのような影響を及ぼすかについて検証を行い、シミュレーション結果から得られた知見を予測手法の構築指針等に反映していくことで、発電出力変動の緩和に際して有用な予測手法の構築、風車制御技術の開発に向けたフィードバックを行う。また、本項目での実施内容は電力系統エリア規模のランプ現象の影響の緩和能力という観点から最終的に総合評価されるべきものであるため、開発した制御技術の結果となる蓄エネルギー設備運用プロファイルを研究開発項目(II)「予測技術系統運用シミュレーション」へ提供する。図Ⅱ.2-9にCAESが設置されたウィンドファームの概要イメージを示す。



図Ⅱ.2-9. CAESが設置されたウィンドファームの概要

Power to Heatによる出力変動制御技術の開発と実規模データ評価：

“Power to Heat”技術をベースとした新しい制御方式を開発し、実証によってその制御性能、エネルギー効率などを明らかにすることを目的とする。具体的には、ヒートポンプ（HP）とバイオガス発電（BG）を併用して需要家に熱エネルギーを供給するシステム（以下、HP/BG併用熱供給システムと呼ぶ）を対象に、具体的な制御手法を開発するとともに、シミュレーションならびに実証によりその有効性を検証する。図Ⅱ.2-10にHP/BG併用熱供給システム開発技術の実運用プラントへの導入イメージを示す。

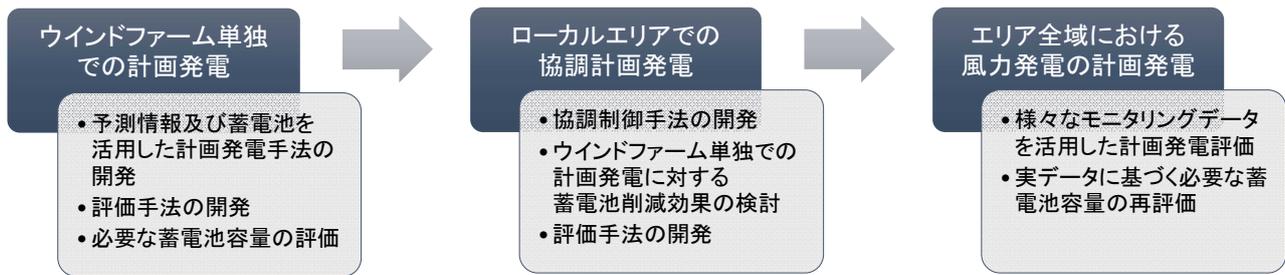


図Ⅱ. 2-10. 開発技術の実運用プラントへの導入イメージ

蓄電池及び高精度予測情報を活用した出力変動制御技術の開発：

現在の蓄電技術をベースとして、ウインドファーム出力の短周期変動のみならず、高精度予測情報(High-Predictability Information)を考慮したランプ現象にも対応可能な新しい制御手法の開発を行い、シミュレーションおよび実証によってその有効性を明らかにすることを目的とする。

本事業では、ランプ予測技術及び系統シミュレータの開発が並行で進行することを考慮し、図Ⅱ. 2-11に示すように、はじめにウインドファーム単独での計画発電手法について検討し、その後、ローカルエリアでのウインドファーム群における協調計画発電制御や、最終的には本プロジェクトが対象とするエリア全域に対する計画発電手法へ拡張するプロセスとする。はじめに計画発電手法自体の開発を行うことで、最終目標であるエリア全域での計画発電を見据えた提案手法に対する詳細な検討と課題の抽出を行うことができる。次に、蓄電池容量の削減を図るためにローカルエリア内でのウインドファーム群による協調計画発電手法の開発を行う。ここでは、ウインドファーム単独で計画発電を行うことによる問題点をウインドファーム群の協調的な計画発電を行うことにより解決するとともに、均し効果などローカルエリアを対象とすることによって発生する事項についても考慮し、必要となる蓄電池容量の削減効果及びコストについて評価を行う。最後に、様々なウインドファームのモニタリングデータを活用し、ランプ現象時に対する制御効果について評価するとともに、エリア全域で必要な蓄電池容量について再評価を行う。また、系統シミュレータからの評価結果をもとに提案手法の改良を行い、よりコストミニマム及び安定的に運用することができる計画発電手法の開発を行う。最後に、系統内に分散している予備力（ここでは揚水発電や蓄電設備など）を基準に、提案する制御システムのコスト的競争力および、競争が可能となる蓄電池単価について検討を行う。



図Ⅱ.2-11. ランプ予測情報及び蓄電池を活用した風力発電の計画発電手法開発フロー

蓄エネルギー技術を用いた変動制御技術の実証試験および総合評価：

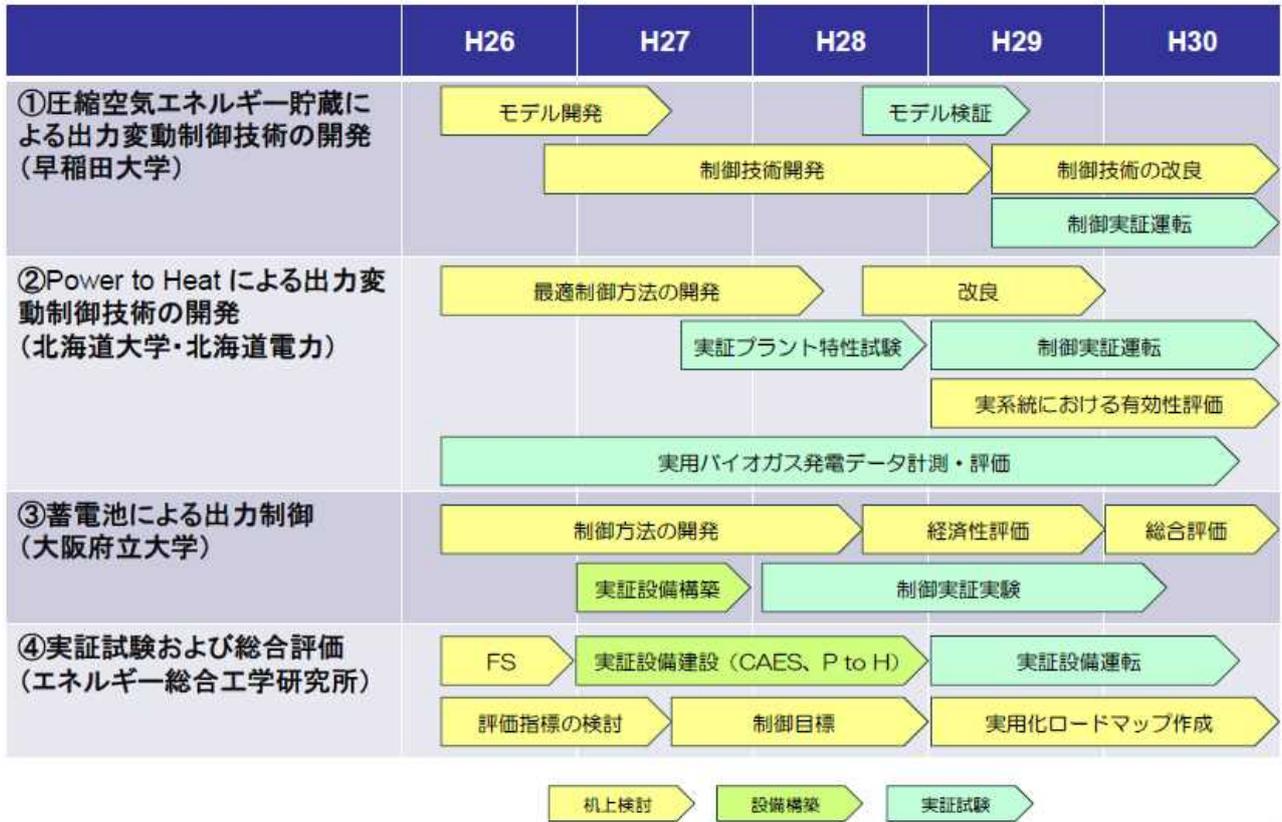
本事業では、出力変動制御技術の実証試験に使用する蓄エネルギー技術として、圧縮空気エネルギー貯蔵（CAES）、ヒートポンプ／ガスエンジン併用熱供給システム（HP/BG）、および蓄電池を想定しており、3種類の蓄エネルギー技術の実証設備の製作・運転を行う。実証設備の製作・設置に先立ち、2014年度に詳細な検討を行い、対象技術を設備の諸元も含めて確定する。主要な調査内容は、実用化時点のコスト、効率特性、運転特性、および技術課題等とする。特にCAESに関しては、断熱圧縮方式（A-CAES）と等温圧縮方式（I-CAES）とがあるため、双方を比較検討して一方式を選択する。CAESの方式の選択に当たっては、外部有識者からなる専門委員会を設置して評価を行う。

CAESおよびHP/BGシステムとも、2014年度は、設備仕様の決定、工事計画の策定、ならびに設置運転に必要な法規制手続きの調査と対応準備を行う。HP/BGシステムについては2015年度に、CAESについては平成27～28年度に、機器製作、据付、および試運転を行い、2015年度末（HP/BGシステム）および2016年度末（CAES）までに実証装置を完成させる。続いて、HP/BGシステムについては平成28～30年度に、CAESについては平成29～30年度に、実証運転を実施する。

実証運転の目的は、主に二つある。第一は、蓄エネルギー装置をコンピュータ上で模擬するための基本特性の把握である。第二の目的は、開発した制御技術（制御ロジック）を実証装置に実装して、一定期間連続運転を行い、当該制御技術の実用性を検証することである。実証運転の結果を制御技術開発者にフィードバックし、制御技術の改良に役立てる。

また、蓄エネルギー技術を用いた出力変動制御技術の総合評価として2016年度までに出力変動制御に求める制御目標を確定させることを目標として蓄エネルギーと風車制御との最適な分担の考え方を整理する。次に、2018年度までに蓄エネルギー技術による出力変動制御システムの実用化ロードマップを作成することを目標とする。

図Ⅱ.2-12に（Ⅰ）-3 蓄エネルギー技術を用いた出力変動制御技術の研究開発を担当する蓄エネルギー制御技術WGの実施項目毎の事業開始時点でのスケジュールを記載する。



図Ⅱ.2-12. 蓄エネルギー制御技術WG担当項目の研究開発スケジュール

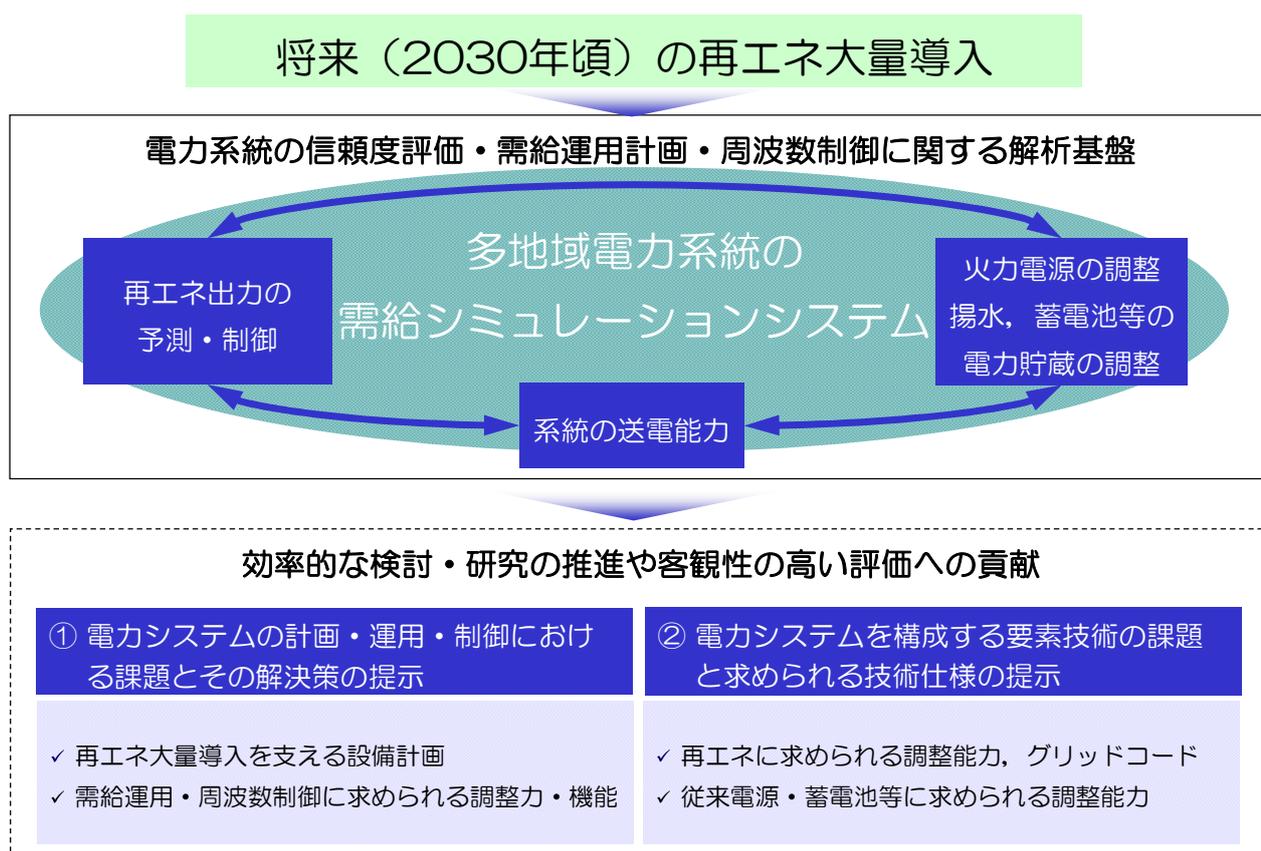
2.4 研究開発項目（Ⅱ）予測技術系統運用シミュレーションの研究開発内容

本研究開発項目では、将来の再生可能エネルギーの大量導入を支える電力需給の考え方や技術開発の方向性の検討に資することを目的に、電力系統の信頼度評価・需給運用計画・周波数制御に関する共通の解析基盤を開発し、必要な技術課題、対応の考え方、今後の技術開発の方向性を検討する。さらに、実際の電力系統において、得られた課題解決の考え方を実証する。

なお、研究開発推進にあたっては、研究開発項目（Ⅰ）の風力発電予測技術・制御技術等に関する成果も活用する。

（Ⅱ）- 1 再生可能エネルギーの連系拡大に向けた需給シミュレーションシステムの開発 （需給シミュレーションWG）

図Ⅱ.2-13は、本研究開発の狙いを概観したものである。図に示すように、将来の再生可能エネルギー大量導入に向けて「再生可能エネルギー出力予測」、「需給運用」、「蓄エネ制御を含む再生可能エネルギー出力制御・抑制」を組合せた合理的な対応を追究していくためには、再生可能エネルギー大量導入の電力系統への影響とその対応の解析的な分析・評価やシミュレーションを、客観性高く効率的に可能とする共通の解析基盤が必要である。



図Ⅱ.2-13. 研究開発項目（Ⅱ）-1の狙い

本研究開発では、再生可能エネルギーが電力系統に大量導入された2030年頃の状況を見据えた、効率的な検討・研究の推進や客観性の高い評価への貢献を可能とする解析基盤として、再生可能エネルギーの予測技術・制御技術、火力発電の調整力や揚水発電・蓄電池等の電力貯蔵

の運用技術、再生可能エネルギーが系統面に与える影響を評価する技術等を組み合わせた、多地域電力系統の需給シミュレーションシステムを開発する。具体的には、

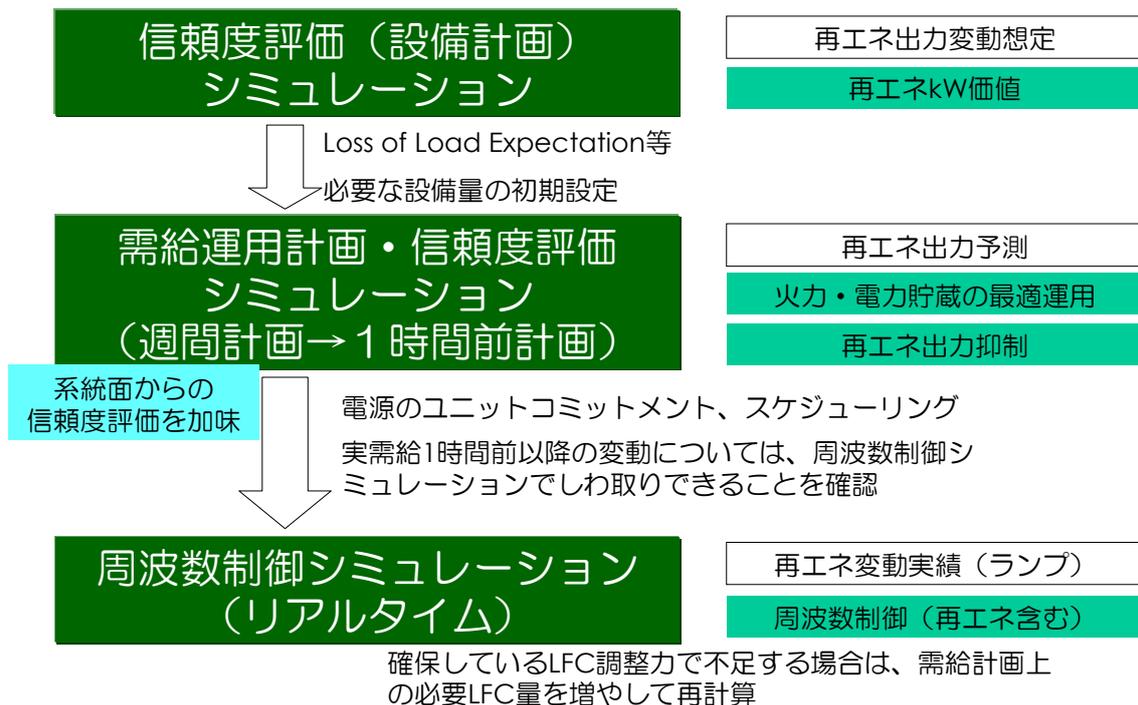
- i) 信頼度評価シミュレーション
- ii) 需給運用計画・信頼度評価シミュレーション
- iii) 周波数制御シミュレーション

の3つの主機能を有する需給シミュレーションシステムを開発し、並列計算等の高速演算技術も活用して、再生可能エネルギーに因る余剰電力の発生、周波数調整力の不足等の電力需給の課題や課題解決の基本的な考え方を系統面の技術的な制約も考慮して明らかにする。

これら3つの機能については図Ⅱ.2-14に示すように、需給シミュレーションシステムの概要を年オーダーの長期（設備計画）から週間・日間といった短期（需給運用計画）、そして実需給のリアルタイム（周波数制御）までの時間軸を各々扱う。これら3つの機能についての具体的な説明は以下の通りである。

○供給信頼度評価シミュレーション

再生可能エネルギー大量導入時の電力系統の設備計画を解析・評価するため、再生可能エネルギーの供給力（kW 価値）や出力変動特性などを、電力不足確率（LOLE : Loss Of Load Expectation）等の手法で評価可能な、長期的な電力需給の信頼度を評価する機能を開発する。本機能によって、再生可能エネルギーの出力変動の対応に必要な調整力等の設備量や対応技術の要求仕様の解析・評価などを可能とする。



図Ⅱ.2-14. 需給シミュレーションシステムの概要（図Ⅱ.1-7の再掲）

○需給運用計画・信頼度評価シミュレーション

再生可能エネルギーの大量導入を制約する主要因である、下げ代制約（主に軽負荷時に供給力が需要を上回る可能性）、長周期変動制約（20分程度を超える変動）、ランプ現象と呼ばれる急激かつ大規模な出力変動に対応するための調整力が不足する可能性への対応を考慮した、需給運用計画を検討するため解析・評価機能を開発する。また、再生可能エネルギー

大量導入における、需給運用計画の信頼度評価ならびにシステムのセキュリティを評価する（系統評価）の理論的基礎確立のための解析機能を開発し、系統面の典型的な課題と対応の整理を可能とする。

○周波数制御シミュレーション

再生可能エネルギーの大量導入を制約する主要因の一つである短周期変動制約（20分程度以内の変動に対応するための調整力が不足する可能性）を考慮した需給周波数制御を検討するための機能を開発する。本機能によって、予測誤差等の計画からのズレ分や再生可能エネルギーのランプ現象へのリアルタイムにおける対応の解析・評価を可能とする。

本実施項目における実施内容と担当事業者を以下に整理する。

表Ⅱ.2-6. 実施項目(Ⅱ)－1の実施内容と担当事業者

実施内容	担当事業者
システム理論的基礎の研究	東京大学
システム仕様の研究	(一財)電力中央研究所
システム適用の研究	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)
システム構築の研究	(株)東光高岳

○システム理論的基礎の研究：

再生可能エネルギー大量導入を考慮した需給シミュレーションシステムの解析ロジックの基礎理論に関する調査・研究を実施し、解析ロジックの理論的基礎を確立する。

○システム仕様の研究：

再生可能エネルギー大量導入を考慮した需給シミュレーションシステムの解析ロジックの仕様に関する調査・研究を実施し、供給信頼度評価、需給運用計画、周波数制御に関する解析ロジックの仕様を設計する。

○システム適用の研究：

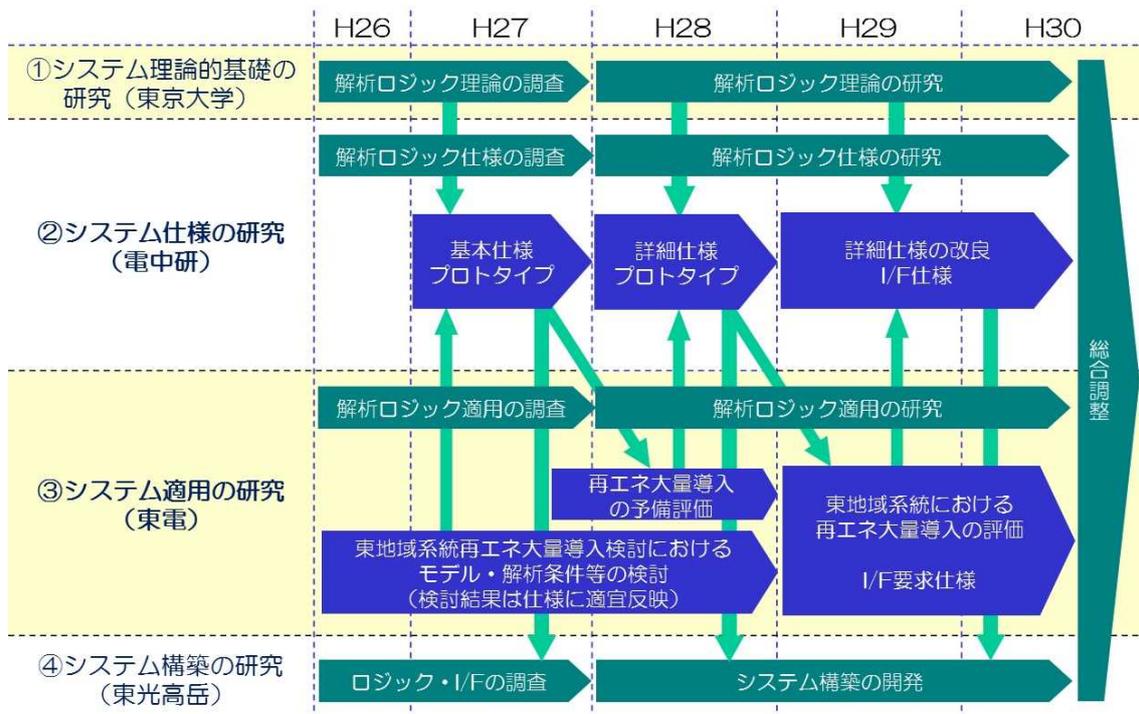
再生可能エネルギー大量導入を考慮した需給シミュレーションシステムの解析ロジックの適用に関する調査・研究を実施する。また、再生可能エネルギー出力の予測と制御を踏まえた電力需給の基本的な考え方を検討するためのテストモデル・シミュレーション条件等の検討条件、求めるべき成果を整理する。さらに、再生可能エネルギー導入拡大における出力の予測と制御を踏まえた電力需給の基本的な考え方を検討する。

○システム構築の研究：

再生可能エネルギー大量導入を考慮した需給シミュレーションシステムの解析ロジックおよびプラットフォームの構築に関する調査・研究を実施する。また、システムのプラットフォーム

ム、解析ロジックのインターフェイス、およびマンマシン・インターフェイス等を設計・実装する。

図Ⅱ.2-15に(Ⅱ) - 1 再生可能エネルギーの連系拡大に向けた需給シミュレーションシステムの開発を担当する需給シミュレーションWGの実施項目毎の事業開始時点でのスケジュールを記載する。



図Ⅱ-2-15. 需給シミュレーションWG担当項目の研究開発スケジュール

(Ⅱ) - 2 電力系統における運用実証試験 (実証WG)

項目(Ⅱ) - 1で開発するシミュレーションシステムの結果から得られる知見等も踏まえ、再生可能エネルギーを最大限受け入れつつ、かつ電力の安定供給、対策コストのミニマム化、低炭素化を両立させるためには、再生可能エネルギーの予測技術と制御・抑制、および既存電源や蓄電池等の運用制御技術を総合的に組み合わせることが有効であることを実際の電力系統において実証する。

具体的には、研究開発項目(I)「風力発電予測・制御高度化」で得られた成果を実際の電力系統で実証できるように、実証地域(およびその周辺)における風況、日射量等を観測し、風力発電・太陽光発電のランプ現象を把握するとともに、実証地域における系統運用者の需給運用計画・制御に供する出力予測モデルの高精度化を行う。また、風力発電および太陽光発電の出力予測、出力制御・抑制、既存電源および蓄電池等の蓄エネルギーとの協調運用制御等により、再生可能エネルギーを最大限受け入れ可能な系統システムをわが国の2030年の電力需要、政府の再生可能エネルギーの導入目標量をもとに、余剰電力の発生しやすい端境期での需要に対する再生可能エネルギー発電変動量の割合が同程度(再生可能エネルギー変動量割合が13~15%)となるよう構築し、実証する。

本実施項目における実施内容と担当事業者を以下に整理する。

表Ⅱ.2-7. 実施項目(Ⅱ)－2の実施内容と担当事業者

実施内容	担当事業者
予測を取り入れた需給運用計画・制御の高度化に関する研究	(株)東光高岳、(一財)日本気象協会
発電機・蓄エネ設備等の調整力拡大に向けた運用制御高度化に関する研究	(株)東光高岳、(一財)電力中央研究所、東京大学
再生可能エネルギーの抑制量最小化に向けた制御高度化に関する研究	(株)東光高岳
再生可能エネルギー導入量拡大に向けた再生可能エネルギー出力予測、需要運用、再生可能エネルギー出力制御・抑制の最適化に関する研究	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)、(株)東光高岳、NRIセキュアテクノロジーズ(株)

○予測を取り入れた需給運用計画・制御の高度化に関する研究：

再生可能エネルギー発電出力予測を活用した需給運用計画は、過去の類似データを利用したトレンド予測等を採用した実績はあるが、予測情報のみならず予測精度情報も含めた確率論的なアプローチによる再生可能エネルギーの出力予測を導入した例はない。風力・太陽光の再生可能エネルギーを最大限導入するためには、実際の電力システムの需給運用で活用できる予測手法、情報提供手法を確立することが必要である。これまでの研究で、再生可能エネルギーの予測を実際の需給運用に用いる場合、決定論的なアプローチではなく、確率論的なアプローチの必要性が高くなってきている。また、気象予測の不確実性を考慮した予測情報や予測精度情報を運用面から系統運用者に対し、わかりやすく表現する必要がある。

本研究では、研究開発項目(Ⅰ)「風力発電予測・制御高度化」で開発された手法も踏まえ、運用面での課題を考慮した気象予測の精度向上について検討し、不確実性を考慮した予測技術の開発を行う。不確実性を考慮した予測技術の開発では、風力および太陽光発電出力の予測に適した確率論的予測技術を確立する。確率論的予測技術の活用方法として、パーセンタイルを考慮し予測される出力予測幅に応じた「出力予測値」(上値、中値、下値)を需給運用計画や制御手法に取り入れる。これら開発した技術を実証試験において実際の需給運用に適用し、課題や問題点を整理し、改良を実施する。

また、再生可能エネルギーが電力システムに大量導入された場合、安定的に需給計画・運用を行うためには、再生可能エネルギー発電出力の予測情報が必要となる。予測情報を需給調整に効率的に活用するためには、予測を提供する時刻、予測時間、予測時間間隔等を経済性とのトレードオフを考慮して適切に検討する必要がある。本研究では、系統運用者と一体となって、需給運用への予測情報の最大限かつ最適な利用方法のあり方を検討する。

さらに、実証試験で提供する予測情報は、需給運用に活用可能な予測精度が確保されている必要がある。本研究で対象とする実証フィールドは、ローカルなエリアを想定しているが、ローカルエリアにおける再生可能エネルギーの出力予測は、これまでの実証事業等で広域を対象とした予測と比較して精度が低くなることが明らかになっている。研究開発項目(Ⅰ)「風力発電予測・制御高度化」では、比較的広域なエリアを予測対象とした手法を開発するため、これら手法のローカルエリアへの適用性を検討する必要がある。従って、本研究では、需給運用への適用可能な予測精度を確保すべく、新たに短時間の再生可能エネルギーの急変予測手法を導入する等、ローカルな地域特性を考慮した予測手法を確立する。

発電機・蓄エネ設備等の調整力拡大に向けた運用制御高度化に関する研究：

再生可能エネルギーの導入量拡大のためには、電力系統に接続される発電機の周波数調整能力や最低出力運転能力の拡大等、発電機性能を高める必要がある。そのため、実証を行う電力系統における発電機特性試験を行い、発電機の特性（振幅・位相）を把握し、シミュレーションと実証の両面から評価が可能なように、発電機による調整力拡大の手法について検討する。本研究で得られる発電機特性試験データ等は、周波数解析等のシミュレーション研究に必要なパラメータ定数等のデータとしても適用し、既設発電機・蓄エネルギー・再生可能エネルギーの各設備を統合した周波数解析シミュレーションを可能とする。また、既設発電機の運用に求められる、「通信機能を含む遠方監視制御応答性能」や「各設備の故障脱落等に対するフェイルセーフ等、実系統運用に即した機能」を備え、「確率論的再生可能エネルギー予測手法を取り入れた需給運用計画システム」と連係する発電機制御システムを構築し、評価する。実証を通じて、設備に求められる信頼性・保守性・運用性能等の課題等を整理し、システムに反映する。

また、再生可能エネルギーの導入量拡大のためには電力系統に接続される蓄エネルギー設備の変動調整能力の活用や余剰電力発生時における需要シフト等が有効である。系統側・需要家側に設置する蓄エネルギー設備の制御（自端潮流変動抑制制御（配電線潮流 ΔP ）、自端周波数変動抑制制御（自端周波数検出 Δf ）、遠方からの周波数変動抑制制御・余剰電力時の需要シフト制御（発電機との協調制御））を効果的に組み合わせることで、更に再生可能エネルギーの導入量を拡大できる可能性がある。本研究では、標記制御方式、および複数の制御方式の複合による再生可能エネルギーの導入量拡大の可能性について評価、実証を行う。具体的には、蓄エネルギー設備の制御応答特性や周波数調整能力に関する試験を行うことにより、周波数解析のための蓄エネルギー設備のモデル化を行う。さらに、蓄エネルギー設備の制御に必要な「通信機能を含む遠方監視制御応答性能」や「設備の故障脱落等に対するフェイルセーフ機能」等を備え、「複数の蓄エネルギー設備に対する制御」を行う蓄エネルギーSCADAシステムとして構築し、評価する。実証を通じて、設備に求められる信頼性・保守性・運用性能等の課題等を整理し、システムに反映する。そして、需要家側蓄エネルギー機器を活用した周波数制御に関する研究も実証設備を用いて実施する。

○再生可能エネルギーの抑制量最小化に向けた制御高度化に関する研究：

電力系統に再生可能エネルギーが大量導入された場合、再生可能エネルギーを最大限に活用しつつも、その供給力と需要とのアンバランスから再生可能エネルギーを抑制する場合が生じることが想定される。本研究では、風力発電と太陽光発電が接続された電力系統において、再生可能エネルギーの制御・抑制が必要となる状況（発生時期・抑制量）を分析するとともに、電力系統の安定性確保および社会コストミニマムの観点から制御・抑制の効果を評価し、再生可能エネルギーの抑制量および頻度を低減するための抑制条件や抑制方法、優先順位の考え方を明らかにする。

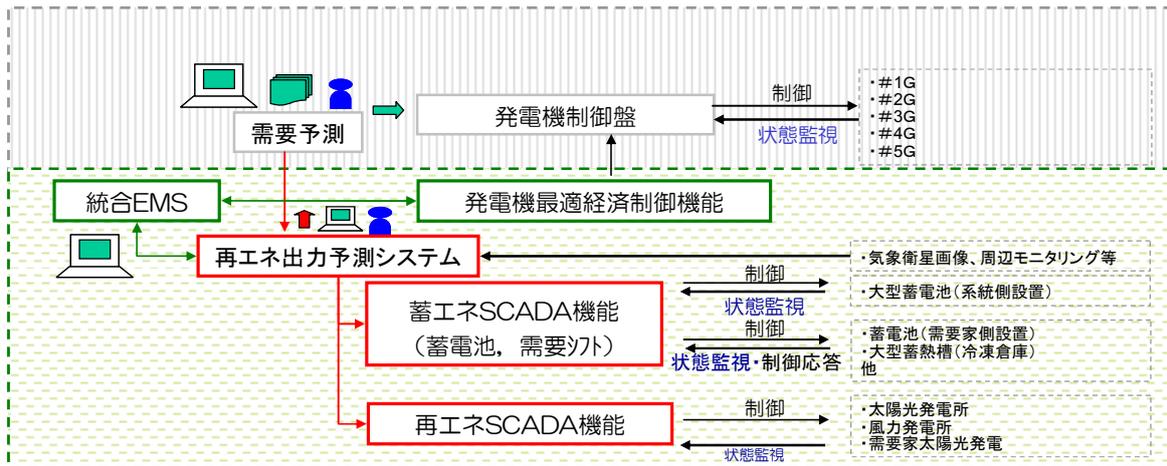
具体的には、実証フィールドにおける年間を通じた再生可能エネルギーの出力特性の把握等を行うとともに、大幅な出力変動等を考慮した制御ロジックを検討する。さらに、再生可能エネルギー設備の運用に求められる「通信機能を含む遠方監視制御応答性能」を備え、「複数の再生可能エネルギー設備に対する制御・抑制」を行う再生可能エネルギーSCADAシステムとして構築し、評価する。実証を通じて、電力系統品質や発電コストを考慮した再生可能エネルギーへの出力抑制条件・抑制対象や制御・抑制対象の優先順位の決定ロジック等を評価する。

また、再生可能エネルギーの制御・抑制による、風力発電設備の可動部へのストレスによる寿命や保守費用アップへの影響も考慮したコスト評価も行う。

○再生可能エネルギー導入量拡大に向けた出力予測、需要運用、出力制御・抑制の最適化に関する研究：

上記3つの研究開発項目で個々に最適化した再生可能エネルギーの出力予測、系統側・需要家側の蓄エネルギーの需給運用、再生可能エネルギー出力制御・抑制を最適に組み合わせることで、さらに再生可能エネルギーの導入量を拡大することが可能となると考えられる。本研究では、各種制御システムを統合する「統合制御システム」を構築し、システム面、および電力品質面から評価を行う。「統合制御システム」の構成例を図Ⅱ.2-16に示す。

統合制御システムでは、「複数の再生可能エネルギーの設備・蓄エネルギー設備の周波数制御にかかる協調」、「外部から通信による制御が可能な大規模な再生可能エネルギー・蓄エネルギー設備が連系されるシステムのモデル化」、「各システムを統合し安定な制御を行うための大規模システム開発技術」、「大規模システムでの各機能を効率良く分割する制御技術」、「伝送品質の劣化やシステム異常時のリカバリー制御」等、複合的な制御・システムの高度化を行う。また、再生可能エネルギー出力予測、需給運用、再生可能エネルギー制御・抑制を組み合わせた、再生可能エネルギーを社会コストミニマムで最大限受け入れることができる最適制御について、各制御間の制御協調等も考慮し、最適制御の基本的な考え方を検討する。



図Ⅱ.2-16. 統合制御システム構成例

そして、システムのセキュリティ機能に関する研究として実証フィールドの環境において有効なセキュリティ防御策を講じることを目的として、リスクの分析を行い、セキュリティガイドラインの策定に関する研究を実施する。その上で実際のサイバー攻撃を模擬するセキュリティ診断をシステムに対して実行し、セキュリティ対策の効果を確認し、確認結果を踏まえて、更なるセキュリティ強化策を検討する。

図Ⅱ.2-17に(Ⅱ) - 2 電力系統における運用実証試験を担当する実証WGの実施項目毎の事業開始時点でのスケジュールを記載する。

実施項目	H26	H27	H28	H29	H30	
1 (1) 日射量・風況変動調査 (2) 需要特性・電源特性調査	■					
2 (1) シミュレーションによる事前検討 (2) 実証試験結果の考察	■			■		
3 (1) 実証設備構築 (2) 制御システム構築	■					
4 (1) 実証設備試験・調整 (2) 実証試験・評価			■		■	

図Ⅱ.2-17. 実証WG担当項目の研究開発スケジュール

2.5 研究開発項目（Ⅲ）再生可能エネルギー連系拡大対策高度化の研究開発内容

研究開発項目（Ⅲ）では、遠隔出力制御システムの標準化と発電事業者間の出力制御量が公平となる遠隔出力制御手法の開発、実際の電力系統において検証を行うとともに、風力発電ならびに太陽光の出力予測・制御・運用の高度化を図る既存の研究開発項目と連携して、更なる再生可能エネルギーの連系拡大を目指す。出力制御に向けた出力予測・把握技術の高度化、出力制御装置の標準化、低コスト化、出力制御方式の高度化および最適化といった観点から、再生可能エネルギーの導入拡大時の電力品質や系統運用上の技術課題を解決することを念頭に置いた研究開発を実施する。

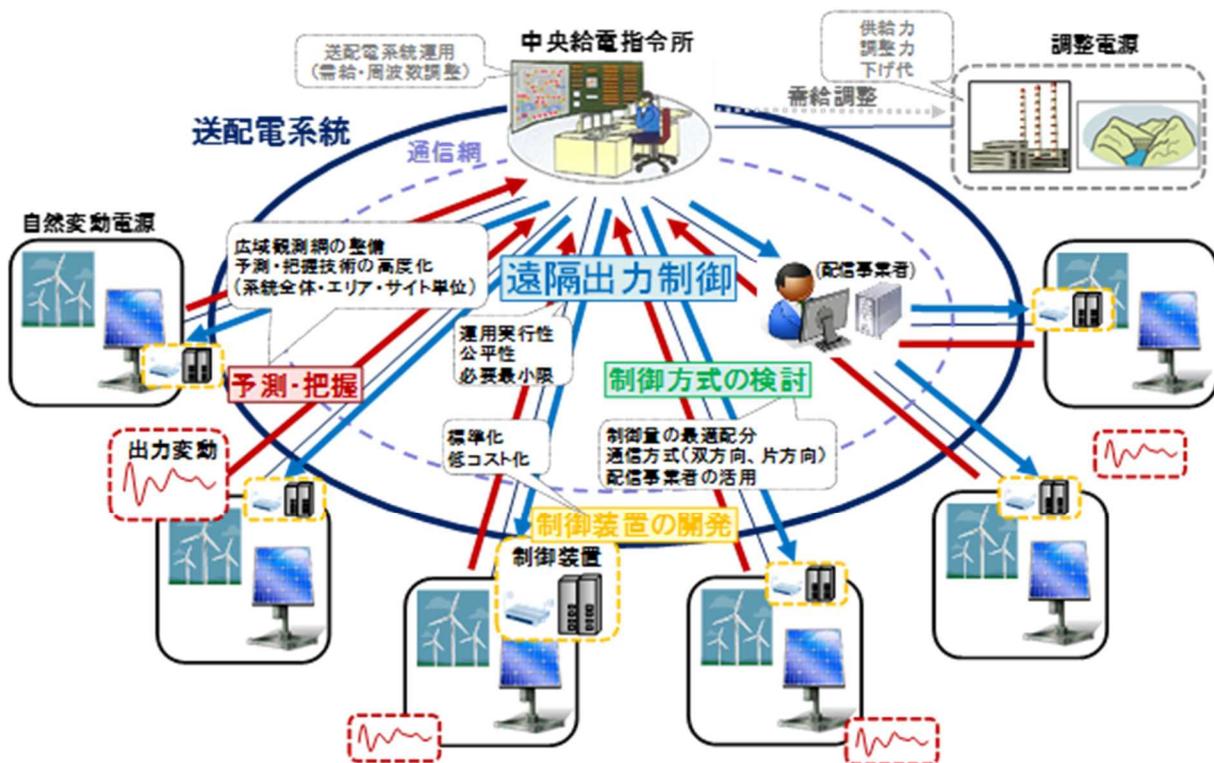


図 1-1 研究開発項目（Ⅲ）の事業全体イメージ

(Ⅲ) - 1 風力発電の遠隔出力制御システムの開発（出力制御技術（風力）WG）

研究開発項目（Ⅲ）－1では、一般電気事業者の供給エリア内にある大規模風力発電設備や小形風力発電設備など様々な風力発電設備を中心とした再生可能エネルギー設備に対して、中央給電指令所等から通信回線を介して出力制御が可能な遠隔出力制御システムを構築する。遠隔出力制御システムについては、風力発電設備に限らず他の再生可能エネルギーにも適用可能となるよう、通信方式の統一や発電事業者側の設備の標準化を行い、事業者間の出力制御量が公平となる制御手法の技術開発を行う。

本研究開発項目の概要を図1－2に示す。本研究開発項目では、「①自然変動電源の出力制御に向けた出力予測・把握技術の高度化」、「②自然変動電源の出力制御装置の標準化、低コスト化」により、きめ細やかな出力制御について、そして「③自然変動電源の出力制御方式の高度化および最適化」により発電事業者間の出力制御量が公平となる配分手法について技術開発を行う。これらの開発技術を活用し実際の電力系統で「④遠隔出力制御システムの開発および実証試験」を行うことで、再生可能エネルギー連系拡大対策高度化のための研究開発を推進する。

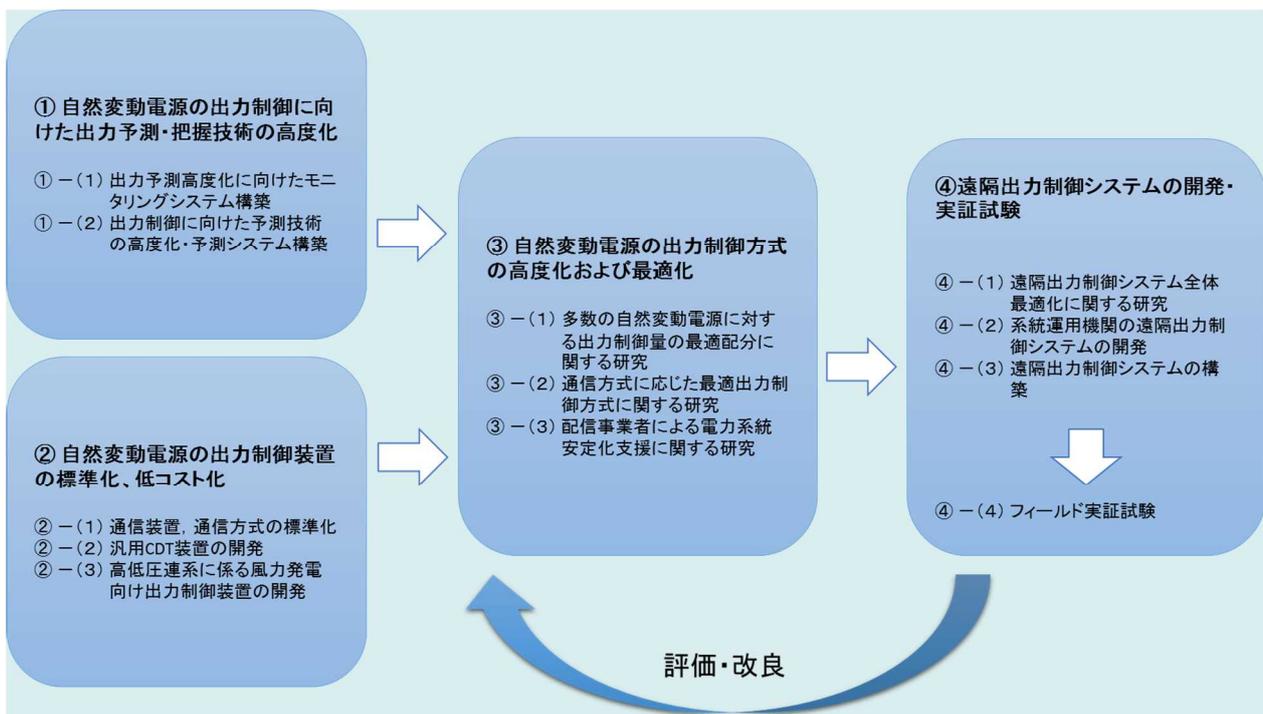


図1－2 研究開発項目（Ⅲ）再生可能エネルギー連系拡大対策高度化の概要

① 自然変動電源の出力制御に向けた出力予測・把握技術の高度化

風力発電設備や太陽光発電設備に対する出力制御を、時間単位やエリア単位など、きめ細やかに実施可能なものとするためには、天候によって出力が変動する自然変動電源の出力予測・把握技術を高度化させる必要がある。

再生可能エネルギーの導入拡大が進んでいるスペインでは、定格出力 10MW 以上の大規模ウィンドファームを対象に、リアルタイムかつ広域のウィンドファーム観測網を整備し、風力発電出力予測・制御に活用している。これにより、風力発電の導入比率が高まった現在でも系統の安定化を実現することに成功している。

上記スペインの事例に鑑みても、本事業において、電力系統エリアを対象とした広域での自然変動電源の観測及び広域気象観測を活用した出力予測・把握技術の高度化について研究開発を行うことは有用であり、きめ細やかな出力制御を可能とするために必要不可欠であると考えられる。

そのため、わが国で風力発電設備の導入が進んでいる東北地域における自然変動電源観測網及び広域気象観測網を整備し、観測した情報を活用した出力制御のための出力予測・把握技術の高度化に関する研究開発を実施する（概要を図 1—3 に示す）。

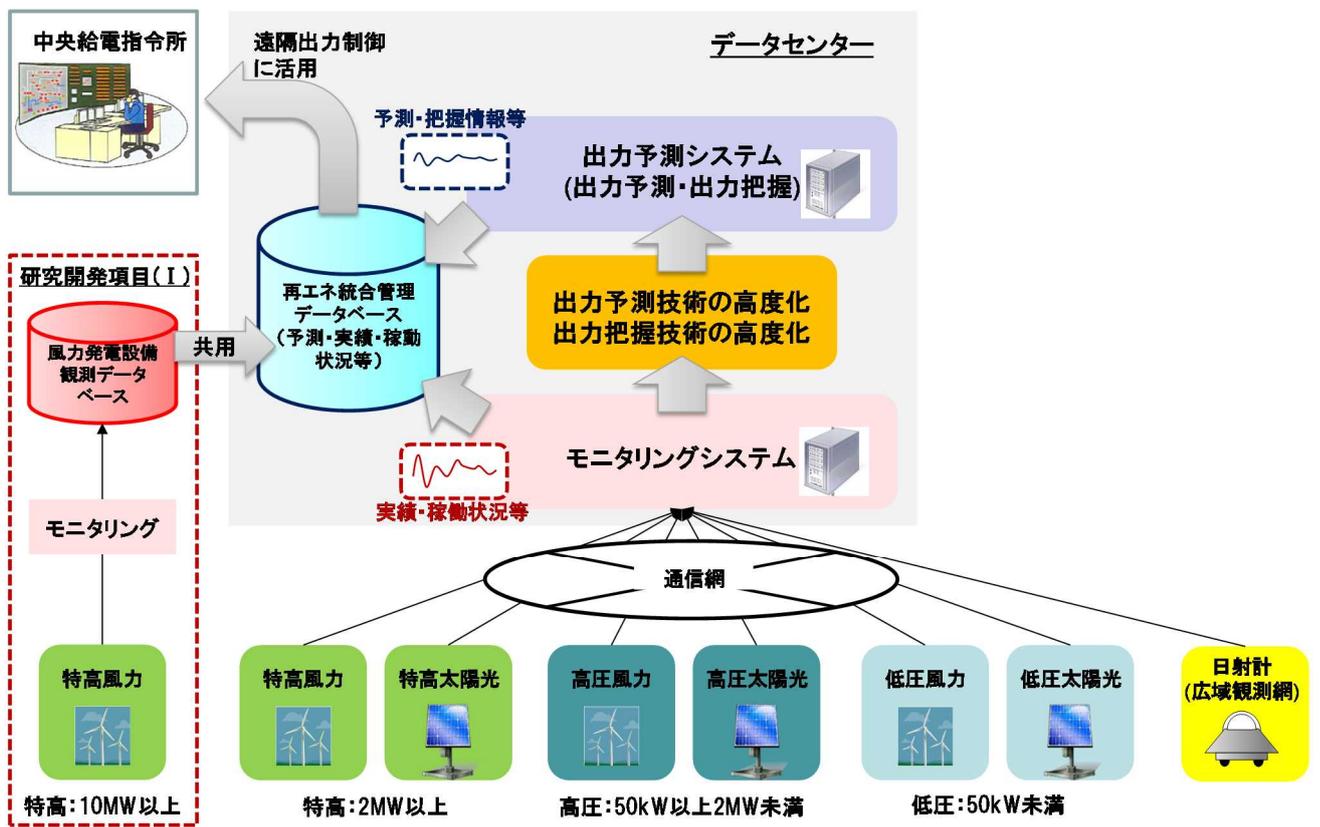


図 1—3 自然変動電源の出力制御に向けた出力予測・把握技術の高度化の概要

① ー (1) 出力予測高度化に向けたモニタリングシステム構築

(担当：伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)

風力発電出力予測高度化に向けて、大小様々な風力発電設備の発電出力や風車の起動停止状態を把握することを目的とし、東北地域における風力発電設備（特高、高圧、低圧連系問わず）の中から本研究開発に資する風力発電設備を最大15ヶ所程度選定し、データ収集のための観測網を整備する。ここでは、協力を得られる風力発電事業者の風力発電設備を対象に、出力予測・把握技術の高度化を実現するためのデータ（発電出力、風況、発電機起動停止状態等）を可能な限り収集する。なお、研究開発項目Iでは、東北地域における10MW以上の風力発電設備（最大20ヶ所程度）のデータ（発電出力、気象観測、風車運転情報）を収集しており、電力系統に比較的大きな影響を及ぼす大規模な風力発電設備を対象にした観測網を整備していることから、本研究開発の目的である電力系統エリアにおける風力発電出力予測の高度化においても重要な役割を果たすデータであると考えられる。このため、本研究開発においてもこの研究開発項目Iで収集しているデータを活用することで、合計最大35ヶ所程度の風力発電設備をモニタリングできる環境を整備する。

また、風力発電と同じ自然変動電源である太陽光発電は、近年電力系統に大量に連系されており、電力系統に及ぼす影響が比較的大きくなっているため、自然変動電源の出力制御を行うためには、風力発電だけでなく太陽光発電の影響も適切に考慮する必要があり、太陽光発電についても風力発電と同様に出力把握・予測が必要である。以上を踏まえ、風力発電設備の観測網の整備同様に、東北地域における太陽光発電設備の中から、特高・高圧連系の設備については本研究開発に協力可能な太陽光発電設備を5ヶ所以上選定し、膨大な数となる低圧連系の設備については民間会社の観測網を活用し、できるだけ多数の発電設備を対象としたデータ収集のための観測網を整備する。

なお、高低圧に連系する太陽光発電設備は、膨大かつ多様であるため、“全て”のデータをリアルタイムで収集する仕組みを構築することは困難である。また、特高に連系されている設備と異なりCDT等の給電記録を伝送する装置は設置されていないため、出力を把握するためには正確な出力実績推定技術が必要となる。本研究開発事業の目的である風力発電の最適な出力制御および出力制御を踏まえた需給運用手法を確立するためには、同じ変動電源である太陽光発電出力の現在値をリアルタイムで把握する必要がある。このため、本研究開発では、東北地域の電力系統に連系されている太陽光発電出力の把握を行うことを目的とし、太陽光発電の出力と密接に関連していると考えられる気象要素である日射量の観測網を整備する（ただし、出力の把握技術の開発は①ー(2)で実施する）。気象庁気象官署（7ヶ所）及び民間会社の気象観測網（東北地域30ヶ所程度）を活用し、広域日射観測網を整備する。

以上のデータについては、データを提供する事業者に不利益がないよう高度なセキュリティ処理を施す。また、本事業において収集された風力及び太陽光発電設備のモニタリングデータおよび広域日射観測網から得られるデータを蓄積・運用できる環境を整備し、かつ、本研究開発の共同実施者に対し蓄積されたデータを提供可能な環境を構築する。データの蓄積・管理は研究開発開始年度から開始し、研究開発最終年度まで続ける。観測機器等モニタリング環境については事業終了後も活用することを想定しているが、機能が著しく低下している等の状況によっては撤去も検討する。

①－（２）出力制御に向けた予測技術の高度化・予測システム構築

（担当：伊藤忠テクノソリューションズ株式会社）

本研究開発項目を担当する伊藤忠テクノソリューションズは、本研究開発の共同実施者である東北電力と平成9年から風力発電出力予測技術を開発しており、平成22年より東北電力管内における風力発電出力予測システムの運用を開始した。本研究開発項目では、この風力発電出力予測技術をベースに出力制御に必要な予測の検討を行い、予測技術の高度化を実施する。具体的には、①－（１）で収集するデータを活用することにより、全系単位だけでなく、サイト単位・系統単位といったきめ細やかな出力制御の実現に資する風力発電出力の予測技術の高度化を行い、遠隔出力制御運用（予告、指令、調整等）に適した予測の検討を行う。また、①－（１）と同様に、風力発電設備の最適な出力制御を検討することを目的として、同じ自然変動電源である太陽光発電設備の出力予測・把握技術についても高度化を行う。

なお、電力系統運用者が、最適な需給運用（出力制御を含む）を行うためには、天候によって出力が変動する自然変動電源の出力予測・把握情報を有用な情報として活用できる環境を整備することが必要不可欠である。このため、自然変動電源の出力予測・把握情報を本研究開発の共同実施者に対して提供できる環境（予測システム）を整備する。整備した環境の事業終了後の扱いは、①－（１）と同様とする。

② 自然変動電源の出力制御装置の標準化、低コスト化

今後新たに系統連系する自然変動電源については、遠隔出力制御システムの導入が義務付けられた。風力発電については、出力制御対象は当面20kW以上の発電設備とすることとなったが、遠隔出力制御システムについては、まだ標準化されていない。また、将来指定電気事業者制度が適用された場合には、20kW未満の発電設備も年間720時間を越えた無補償の出力制御を受ける可能性がある。このため、特別高圧に使用する低コストで双方向通信可能なCDT装置の開発、高低圧についてはPCS装置を含めた低コストな風力発電向け出力制御装置の検討、開発を行い実フィールドで検証を実施する。

②- (1) 通信装置、通信方式の標準化

(担当：東北電力株式会社)

政府の審議会等で、太陽光発電の出力制御システム構築に関して議論が進んでおり、風力発電についても太陽光発電設備と同様の出力制御とする方向性となっている。そのため、太陽光発電の出力制御システムおよび出力制御機能付きPCSの技術仕様を踏まえ、回転機である風力発電の特徴を踏まえた風力発電機用のPCSの仕様について標準化を検討する。

また、風力発電所と中央給電指令所で通信する情報項目の標準化について検討する。

なお、上記の標準化については、一般社団法人日本風力発電協会等と協議しながら検討を進める。

検討に当たっては、系統へ与える影響を勘案し、特別高圧は専用線による双方向通信方式、低高圧は単方向通信方式（カレンダー機能）と双方向通信方式を条件とする。

なお、平成26年度補正予算事業である「次世代双方通信出力制御緊急実証事業」では、東北電力もオブザーバーとして参加を予定しており、同補正予算事業と連携を取りながら検討を進める。

②- (2) 汎用CDT装置の開発（特別高圧：双方向）

(担当：通研電気工業株式会社)

特別高圧系統に連系する発電事業者は、給電情報を系統運用機関に伝送するため上り専用のCDT装置を設置している。今回のFIT省令の改正により、風力発電および太陽光発電については出力制御装置の設置が義務付けられたため、系統運用機関からの指令を受信する下り用のCDT装置の設置が必要となる。CDT装置については1台あたり数百万程度の費用が掛かるため、低コストで双方向通信可能なCDT装置の開発を行うとともに、最適な全体システム構成を検討する。

また、発電事業者と電力会社間の通信回線の伝送フォーマットは、各電力会社にて個別の仕様となっていることから、伝送フォーマットの標準化に向けた検討を進める。

さらに、発電事業者と電力会社間の通信回線の中には品質が悪い箇所もあることから、CDTの現状の回線品質と誤り検定方法を評価・検証し、ノイズ対策の検討を進める。

なお、システム構成については、各電力会社の構成を調査し、構成検討・構成比較を行い、最適構成の検討を進める。

装置構成は今後研究で詳細を詰めていくが、現時点で想定する装置構成を図1-4に示す。

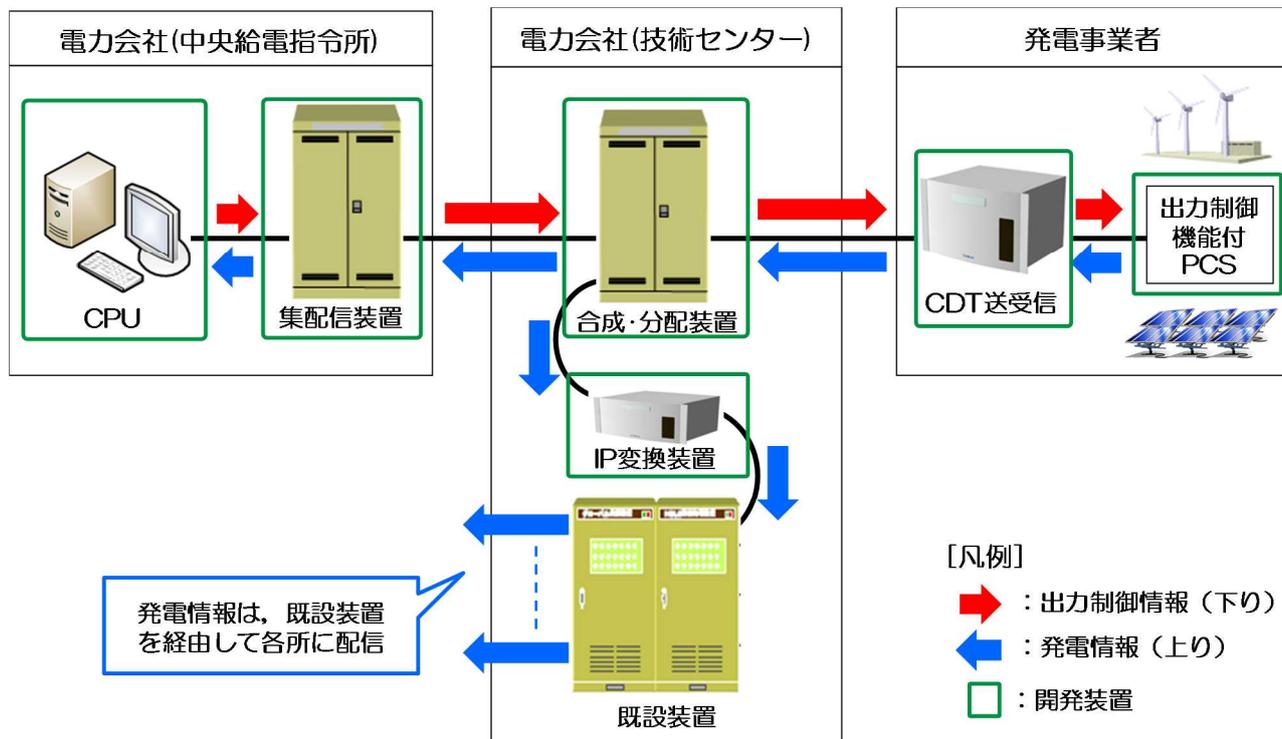


図1-4 中央給電指令所～発電事業者間 装置構成

②- (3) 高低圧連系に係る風力発電向け出力制御装置（双方向、片方向）の開発

(担当：東北電力株式会社)

高低圧連系の太陽光発電で標準化される出力制御機能付きPCSが、高低圧連系の風力発電に適用可能か検討する。また、風力発電は太陽光と異なり出力制御にあたって風車本体（回転機系）の制御を考慮することが必要なため、太陽光発電と同様な制御が可能かを含め、低コストな風力発電向けの出力制御装置（双方向、片方向）の検討、開発を行い「④遠隔出力制御システムの開発および実証試験」で開発される遠隔出力制御システムを用いて実証試験を行う。

実証サイトの選定にあたっては、風力発電については、太陽光発電と異なり数も限られているため、実証期間内に確実にフィールド試験ができるよう連系済みの風力発電設備を中心に選定を行う。

なお、低圧風力については、高圧風力以上に実証サイトが限定されるため、本研究向けに低圧風力発電設備を新設することも視野に入れて検討する。新設した場合、低圧風力発電設備については本研究向けの仕様となるため、研究終了後の活用については、研究の中で検討する。なお、設置した低圧風力発電設備の活用が困難と判断した場合は撤去も検討する。

東北電力管内における連系済み太陽光・風力発電設備概数について表1に、検討の概要を図1-5に示す。

表 1. 東北電力管内における連系済み太陽光・風力発電設備概数（平成 27 年 3 月末現在）

太陽光発電設備		風力発電設備	
高圧（50kW 以上 2000kW 未満）	低圧（50kW 未満）	高圧（50kW 以上 2000kW 未満）	低圧（50kW 未満）
約 1,100 件	約 140,000 件	約 60 件	約 10 件

風力向け出力制御装置（片方向・双方向）の開発

- ・ 弊社が公開する出力制御スケジュールを取得して出力制御を実施する
 - ・ 弊社からの制御指令にもとづきリアルタイムで出力制御を実施する
- ※ 双方向については、発電事業者からの情報を弊社に送信する

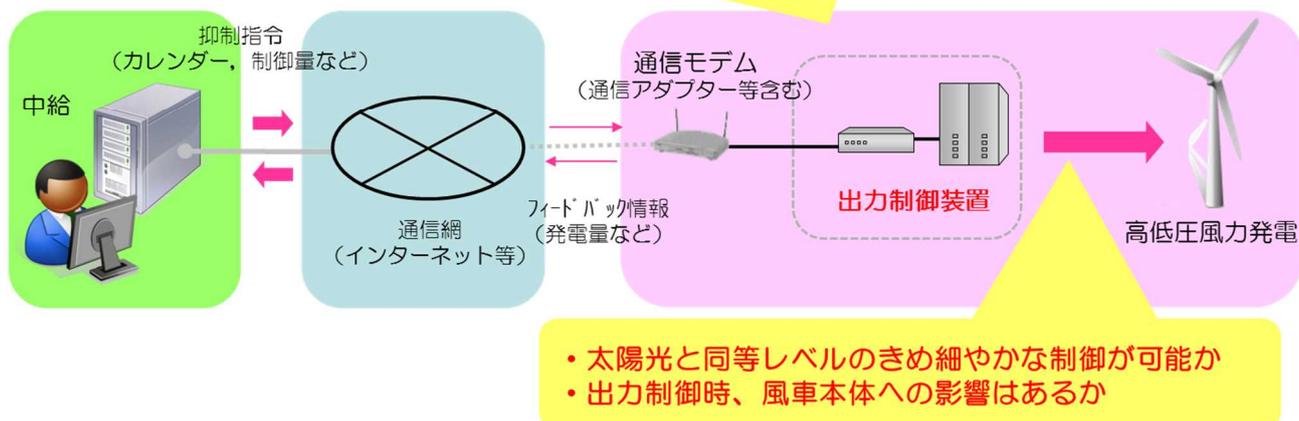


図 1-5 高低圧風力発電向け出力制御装置の検討・開発概要

③ 自然変動電源の出力制御方式の高度化および最適化

本項目における課題として下記3つがあり、その解決に向け研究を行う。

- ・出力制御システムに求められる3つの条件「合理性」、「公平性」、「実効性」について検討し、実現に向け研究を行う。さらに、風力発電の出力制御量の最適配分のみならず、太陽光発電を含めた出力制御の最適配分の研究を行い再エネ全体の出力制御の最適配分を目指す。
- ・高低圧連系の発電事業者については、特高連系に比べ件数が多く、低圧においては主任技術者がいないことから、全ての発電事業者において出力制御がスケジュールおよび制御指令どおりに実施されない可能性があるため適切な出力制御方式について検討する。
- ・高低圧系統に膨大に連系された風力・太陽光発電設備に対して、系統運用者が個別に出力制御を行うことは、情報伝送の通信量・速度・セキュリティ面等から課題が多い。このため、配電事業者を活用した制御方法を検討する。

③－（１）多数の自然変動電源に対する出力制御量の最適配分に関する研究

（担当：国立大学法人東北大学）

出力制御システムに要求される基本事項は次の3点である。

- (a) 出力制御は系統安定化のために「必要最小限」なものとすること。
- (b) 出力制御に関して、対象となる発電事業者間の「公平性」を確保すること。
- (c) 出力制御システムの「運用実効性」を確保すること。

本研究では、これらの要求を満たすように、例えば風力発電所の定格出力や平均出力の比に応じて、出力予測値の誤差を考慮しつつ極力公平に風力発電事業者に出力制御量を事前に最適配分する論理と計算方法を考案する。また、それらの妥当性を自然変動電源が連系された電力系統の動的モデルのリアルタイムシミュレーションにより評価し、実現可能な最適出力制御方式の基礎研究を行う。

特に、風力発電に関する無補償の出力制御について、旧制度の30日間、新制度の720時間、指定電気事業者の指定を受けた場合の無制限という複数のルールが混在することになるので、バンキングやボローイングなど国の議論を踏まえながら、事業者間の公平性を保てる出力制御量の配分決定法の開発を目指す。

なお本研究では、風力発電事業者への出力制御量の最適配分に重点を置いているが、風力発電と太陽光発電の出力制御に関する順番は同列であるという国の議論を踏まえて、太陽光発電を含めた制御方法を研究する。

出力制御量の配分イメージは図1－6のとおり。

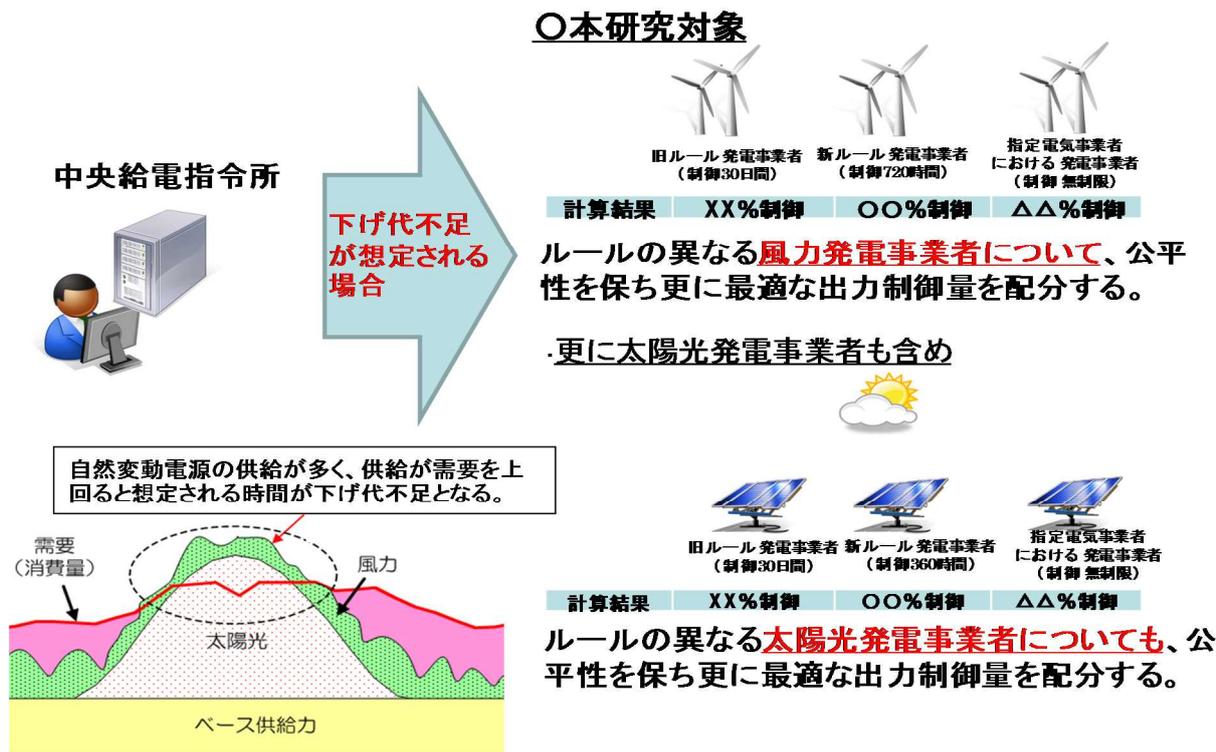


図 1 - 6 自然変動電源に対する出力制御量の配分イメージ

③ - (2) 通信方式に応じた最適出力制御方式に関する研究

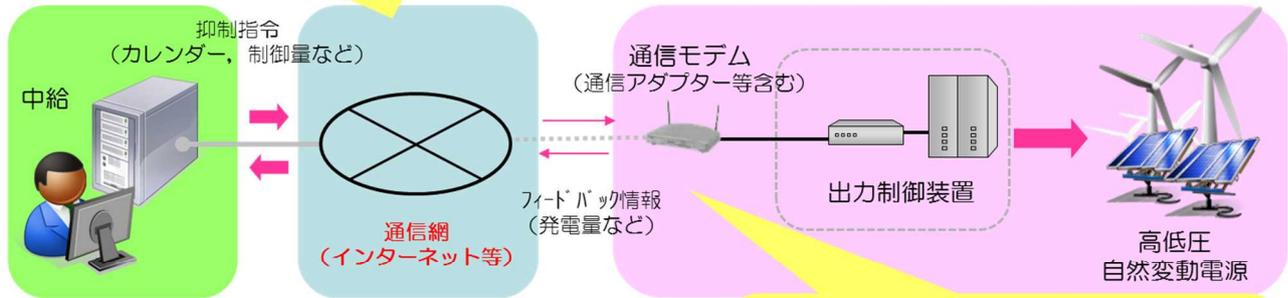
(担当：東北電力株式会社)

高低圧連系の発電設備に対する出力制御方式については、片方向通信と双方向通信それぞれの通信方式について標準化の検討がなされている。本研究では、新エネルギー小委員会や平成26年度補正予算事業である次世代双方向通信出力制御緊急実証事業の検討内容等を踏まえ、中央給電指令所からの制御指令についてコスト、通信信頼度の両面を考慮した最適な通信方式、および通信方式に応じた最適な出力制御方式について検討を行う。具体的には、採用する通信方式に応じ、既存通信網を含めた最適な通信手法の選定と、片方向通信および双方向通信における発電事業者との通信頻度、制御通信量などの最適化について研究する。なお、検証にあたっては、②- (3) でも示しているとおり、風力発電については設備数も限られていることから、シミュレータを開発し、多数台制御時の状況を再現のうえ行っていく。

また、開発した通信アダプタ、シミュレータ等については本研究向けの仕様となるため、研究終了後の活用については研究の中で検討する。なお、活用が困難と判断した場合は撤去も検討する。

本研究項目が対応する箇所は、図1-7のとおり。

コスト、通信信頼度の両面から最適な通信手法の選定と、片方向通信および双方向通信における発電事業者との通信頻度、制御通信量などの最適化について研究



平成26年度補正予算事業である「次世代双方通信出力制御緊急実証事業」では、運営委員会の委員として参加を予定しており、同補正予算事業と連携を取りながら検討を進める。

- 通信手法に応じ必要となる通信アダプタ等について開発
- シミュレータを開発し、実機での検証が難しい多数台制御時の状況を再現し評価を行う

図1-7 高低圧連系向け出力制御方式の検討概要

③－（３）配信事業者による電力系統安定化支援に関する研究

（担当：伊藤忠テクノソリューションズ株式会社）

高低圧系統に膨大に分散連系された風力発電設備および太陽光発電設備に対して系統運用者が個別に出力制御を行う場合、多量の制御情報がネットワークを介して伝送されるため、通信量の増加・通信速度の低下等が懸念される。また、インターネット等の公衆網を用いる場合は、不正通信・データ改ざん等のセキュリティ面での懸念も存在する。現在、政府の審議会で配信事業者を活用した出力制御方法が検討されているが（図 1－8 参照）、本研究では、片方向通信および双方向通信それぞれの通信方式を対象に配信事業者による電力系統安定化支援について研究を行う。

具体的には、電力系統全体の出力制御システムにおける配信事業者の役割について整理し、配信事業者を活用した出力制御支援システムの要件定義・仕様の検討を実施する。また、フィールド実証試験（④－（４））を通じて得られるデータから、配信事業者を活用した出力制御の効果について検討する。

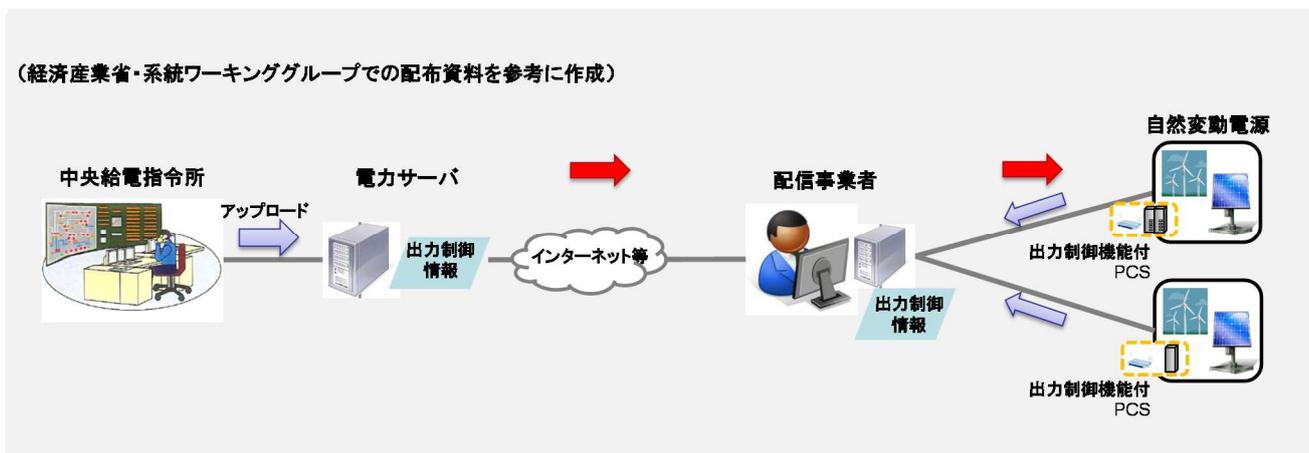


図 1－8 配信事業者を活用した遠隔出力制御支援のイメージ

④ 遠隔出力制御システムの開発および実証試験

研究項目①～③で開発する技術を活用し、実システムにおいて安定適用を維持しながら具現化するために、実際の電力システムおよび通信回線を使用したプロトタイプシステムを開発して、フィールド試験により検証することが必要である。

④－（１）遠隔出力制御システム全体最適化に関する研究

（担当：東北電力株式会社）

風力発電および太陽光発電の遠隔出力制御システムについて、中央給電指令所で出力制御配分計算を行い発電事業者に直接制御指令を出す一括集中制御方式が良いのか、または中央給電指令所から管内に複数ある系統給電指令所へ出力配分指量を送信し、受取った出力配分量に基づき系統給電指令所が管轄エリアの出力制御配分計算を行い発電事業者に指令する分散制御方式が良いのか、予測の精度や通信量等を踏まえて全体構成の最適化について検討を行い構築するシステムを決定する。

④－（２）系統運用機関の遠隔出力制御システムの開発

（担当：東北電力株式会社）

開発する遠隔出力制御システムは、本研究開発事業で検討した下記結果システムに具備し開発する。

遠隔出力制御システムは、需給状況と自然変動電源の出力予測より制御指令を出すシステムであり、「①自然変動電源の出力制御に向けた出力予測・把握技術の高度化」の研究で構築したシステムから計算された予測結果を用いて最適な制御指令を発電事業者へ送信する。

「②自然変動電源の出力制御の標準化、低コスト化」の研究で開発および検討した装置に確実に伝送できるシステムを構築する。また、低高圧は外部ネットワークを使用することも視野に入れているためセキュリティ対策を含めたシステム構成とする。

また、「③自然変動電源の出力制御方式の高度化および最適化」で研究した公平性を保てる出力制御量の配分および配分した制御指令の管理をシステム化し、さらに各種情報を大画面へ表示できるものを開発する。

④－（３）遠隔出力制御システムの構築 [通信回線構成・発電事業者側の装置取付]

（担当：東北電力株式会社・伊藤忠テクノソリューションズ株式会社）

開発した遠隔出力制御装置を風力発電所および太陽光発電所に取り付け、本事業に協力事業者と系統運用機関を接続する通信回線網を構築する。

特別高圧連系については、系統運用機関側の制御指令を送信する装置、C D T装置、専用回線（電力保安通信回線等）、発電事業者側の出力制御機能付きP C S等を組み合わせて、双方向通信による遠隔出力制御システムを構築する。

高低圧連系については、系統運用機関側の制御指令を送信する装置、専用回線（通信事業者回線等）、発電事業者側の出力制御機能付きPCSを組み合わせ、双方向通信による遠隔出力制御システムを構築について検討する。

また、高低圧連系については、通信回線としてインターネットを利用した片方向通信（カレンダー機能）による遠隔出力制御システムについても構築に向けた検討を行う。

さらに、高低圧連系の発電所を対象に配信事業者を活用した遠隔出力制御システムについて検討を行う。系統運用機関と配信事業者との間、配信事業者と本実証事業に協力可能な発電事業者との間のそれぞれを接続する通信回線網を構築し、系統運用機関側の制御指令情報を本事業に協力可能な発電事業者適切に伝達する仕組み・環境について検討を行う。

ここで、中央給電指令所からの制御指令の直接送信等を行うシステムの検討は東北電力が行い、配信事業者を活用した遠隔出力制御システムに関する検討は伊藤忠テクノソリューションズが行う。また、特別高圧連系を対象とした検討のうち風力発電所内の通信 I/F（CDT 装置—制御装置間）の設置については伊藤忠テクノソリューションズが行う。事業終了後、設置した通信 I/F は発電事業者にて活用いただくことを想定しているが、活用いただけない場合は廃棄を行う。

太陽光の「出力制御機能付PCS技術仕様書」の一部変更（通信仕様の変更）に伴い、平成30年度に追加改造を行う。

④—（４）フィールド実証試験

（担当：東北電力株式会社）

構築した遠隔出力制御システムを用い、中央給電指令所からの指令による制御試験を実施する。また、開発した様々な出力制御方式を東北電力管内で構築した遠隔出力制御システムを用いてフィールドで実証試験を行う。

なお、開発するシステム全体像および想定している実証試験ケースは図1-9に示す。

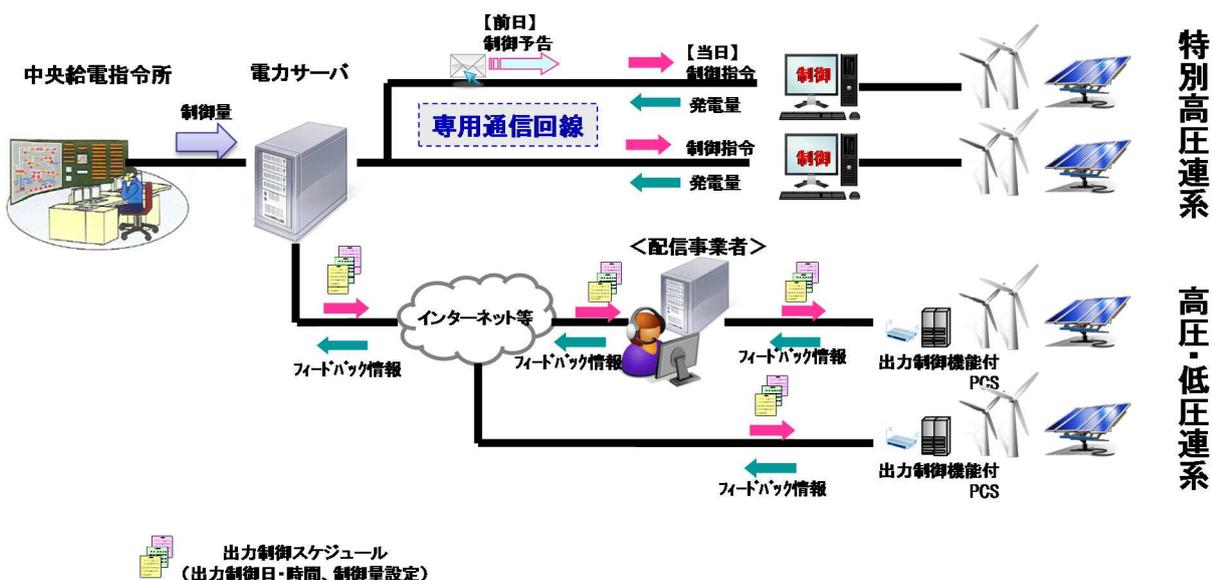


図1-9 開発するシステム全体像および想定している実証試験ケース

⑤ 研究開発事業の運営・管理

(担当：伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)

本事業を計画的かつ効率的に遂行することを目的とし有識者委員会を設置・運営する。有識者委員会は原則年2回程度開催する。また、実質的な研究開発の担当者である共同事業者が集まり、プロジェクトの研究成果等についての情報・意見交換及び進捗管理のためのワーキンググループ（WG）を原則年4回程度開催する。これら有識者委員会・WGの事務局は伊藤忠テクノソリューションズが担当する。また、WGの下には必要に応じてサブWGを設置する。

(Ⅲ) - 2 太陽光発電の遠隔出力制御システムの開発（出力制御技術（太陽光）WG）

本研究開発事業（Ⅲ）-2では、平成27年1月の再生可能エネルギー固定価格買取制度の省令改正により発電事業者に義務化された遠隔出力制御システムについて、太陽光発電に関する遠隔出力制御手法を開発することを主眼に置き、中央給電指令所等において、域内に分散設置される太陽光発電設備の発電出力を把握し、これを踏まえた出力制御の指令を行うための機器及び発電出力のマネジメントシステムの構築を目的とした実証事業を行う。また、電力系統に連系している発電事業者に出力制御機能付きパワーコンディショナー（PCS）を設置し、双方向と単方向の両方の通信方式による実効性の検証を中心に行い、エネルギーマネジメントシステムや蓄エネルギーとの連動などを踏まえた需給制御手法の開発と実証、自端制御機能を具備したPCS機能の高度化開発も行うものである。

本研究開発事業の全体イメージを図1に示す。電力の安定供給及び再生可能エネルギーの導入拡大の両立に必要な出力制御技術の開発を効率的かつ確実に進めていくため、主に太陽光発電の遠隔出力制御システムの開発・改良及び実証試験を行い、太陽光発電の遠隔出力制御手法の開発を目指す。あわせて、出力制御の実施に向けて必要となる周辺技術の開発も行う。

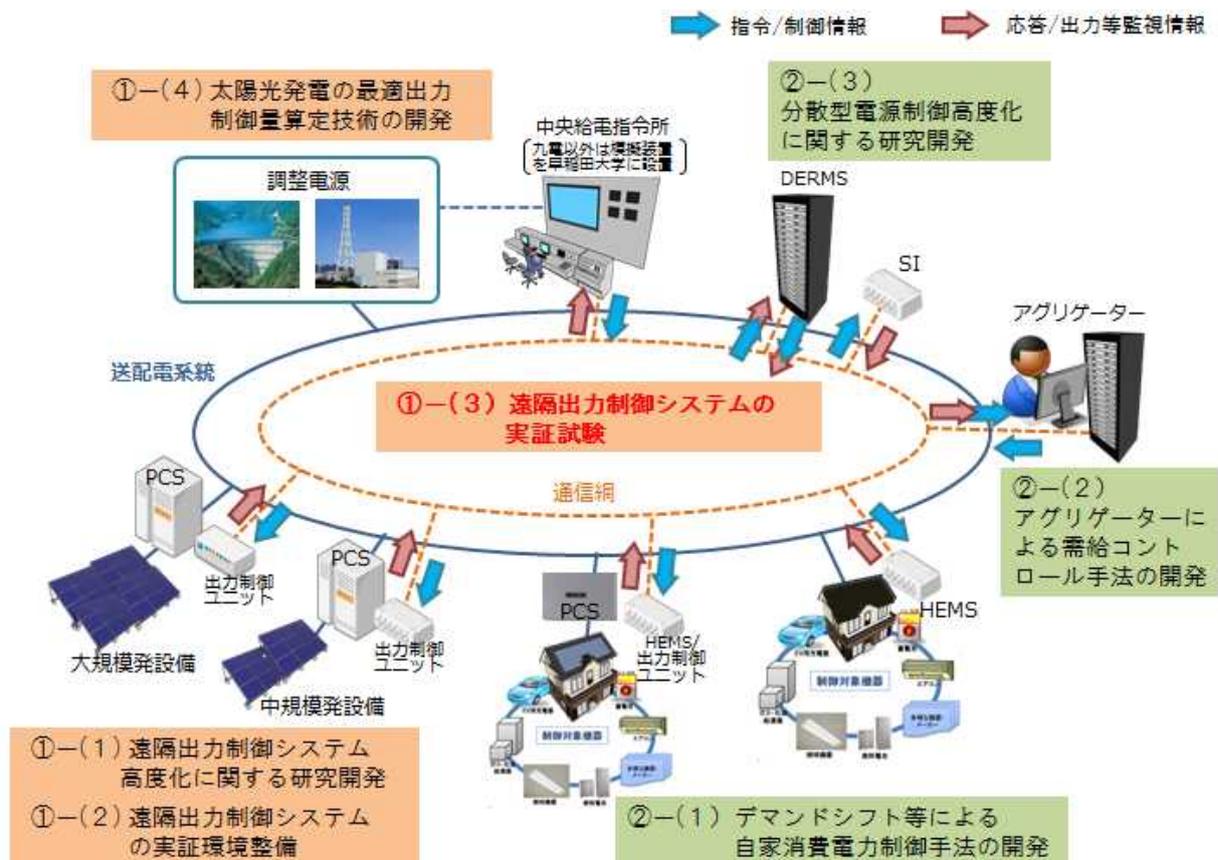


図1 研究開発事業（Ⅲ）-2の全体イメージ

なお、研究開発項目設定にあたっては、主たる取組みを「①太陽光発電の出力制御手法の開発」、周辺技術の開発を「②太陽光発電の出力制御の高度化」とし、それぞれの位置づけを明確にして事業を進める。

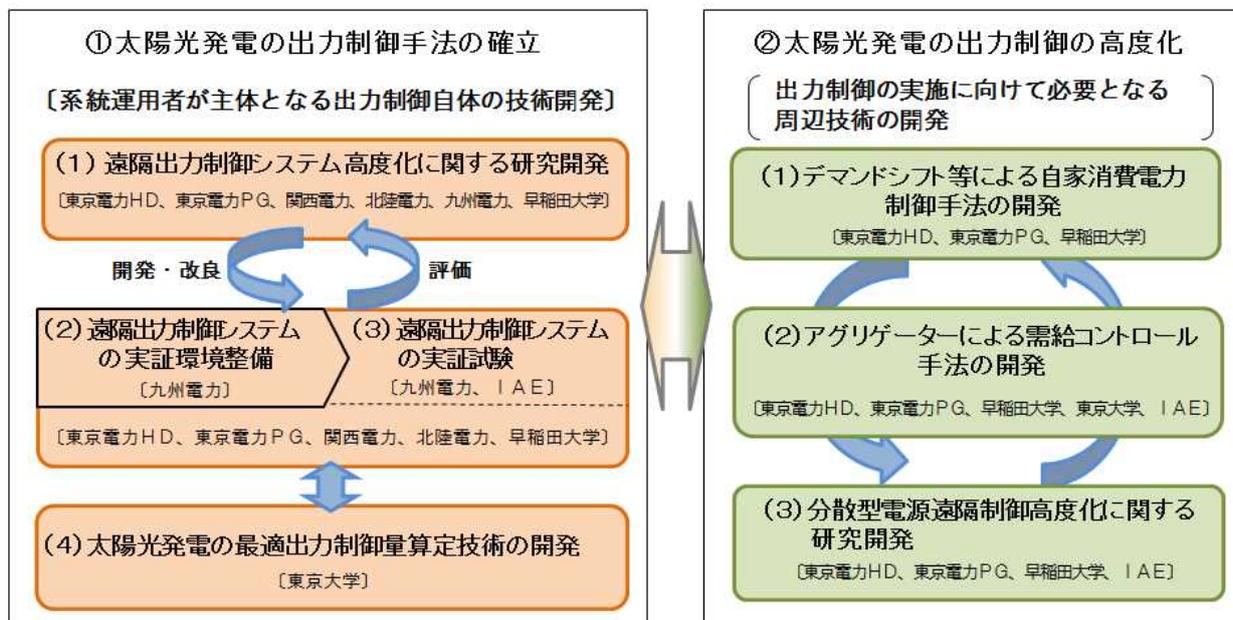


図2 研究開発項目と役割分担

①太陽光発電の出力制御手法の確立

遠隔出力制御技術は、再生可能エネルギー受入拡大方策の一環として、特に太陽光発電が急速に普及した地域における喫緊の課題として取り組むことが必要とされ、平成26年度再生可能エネルギー接続保留緊急対応補助金（次世代双方向通信出力制御緊急実証事業、以下緊急実証事業と称す）において、単方向通信方式、双方向通信方式による遠隔出力制御の基礎技術を開発し、限られた一定期間であるが実証が行なわれた。図3に緊急実証事業において開発・設置されたシステムの概要について示す。また、本事業では必要に応じ同設備を活用する。

区分	双方向（専用線）+単方向通信	双方向通信																																							
関連開発システム	<ul style="list-style-type: none"> 出力制御ユニット及びPCS改造 スケジュール情報配信サーバ 自動電話・メール配信サーバ 他 	<ul style="list-style-type: none"> 出力制御ユニット及びPCS改造 電力サーバー（模擬）、仲介サーバ 出力制御対応HEMS 他 																																							
実証対象発電所の分布 （出力制御対応機器設置箇所）																																									
対象数	<table border="1"> <thead> <tr> <th>区分</th> <th>メカ数</th> <th>発電所</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">PCSシステム</td> <td>66kV以上</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>66kV未満</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>配信事業者システム</td> <td>4</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>25</td> <td>84</td> </tr> </tbody> </table>	区分	メカ数	発電所	PCSシステム	66kV以上	3	66kV未満	18	配信事業者システム	4	18	合計	25	84	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>大規模</th> <th>中・小</th> <th>住宅用</th> <th>計</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>東電</td> <td>1</td> <td>8</td> <td>5</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>関電</td> <td>3</td> <td>3</td> <td></td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>陸電</td> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>計</td> <td>8</td> <td>11</td> <td>5</td> <td>24</td> </tr> </tbody> </table>		大規模	中・小	住宅用	計	東電	1	8	5	14	関電	3	3		6	陸電	4			4	計	8	11	5	24
区分	メカ数	発電所																																							
PCSシステム	66kV以上	3																																							
	66kV未満	18																																							
配信事業者システム	4	18																																							
合計	25	84																																							
	大規模	中・小	住宅用	計																																					
東電	1	8	5	14																																					
関電	3	3		6																																					
陸電	4			4																																					
計	8	11	5	24																																					

図3 緊急実証事業において開発・設置したシステムの概要

一方で、出力制御の実運用に向けては、公平性及び運用実行性を確保するため、系統運用者側のシステムの更なる高度化が必要であり、最低限の実証を行うために一部発電所に設置した出力制御対応機器に加え、実運用規模の再生可能エネルギー発電出力を念頭に実証環境の拡大をはかり、年間を通じた実証により有効性評価を行うことも必要である。

これらの研究に加え、最適出力制御量算定技術の開発を行い、太陽光発電を主体とした再生可能エネルギー発電設備の出力制御手法の確立を目指す。

なお、上記の取組みについて、以下の項目を設定し、効率的に研究を進める。

- (1) 遠隔出力制御システム高度化に関する研究開発
- (2) 遠隔出力制御システムの実証環境整備
- (3) 遠隔出力制御システムの実証試験
- (4) 太陽光発電の最適出力制御量算定技術の開発

以下に各項目の研究開発内容を示す。

① ー (1) 遠隔出力制御システム高度化に関する研究開発

(東京電力HD、東京電力PG、関西電力、北陸電力、九州電力、早稲田大学)

a. 専用回線による双方向出力制御方式及びインターネットによる出力制御スケジュール(単方向通信)方式による出力制御システム〔ステップ1〕の高度化(九州電力)

太陽光発電の出力制御システムの構築にあたっては、出力制御が系統安定化のために必要最小限なものとなること、また、事業者間の公平性や運用実行性が確保されることが重要である。

一方で、インターネットによる出力制御スケジュール(単方向通信)方式は、発電所に設置する出力制御ユニットが、スケジュール情報配信サーバから出力制御指令となるスケジュールをダウンロードする方式であり、各発電所の出力状況を把握することができず、出力制御指令に対する履行状況の確認や実際の出力状況の把握が課題となる。

このため、出力制御の実施状況の確認を可能にするとともに、出力制御量算定の精度向上による出力制御指令の適正化を目的に、以下の機能について、システムの開発及び構築を行い、実証でその効果を確認する。

(i) 発電所の停止計画を考慮した出力制御量の算定

再生可能エネルギー発電設備の出力制御量は、電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法施行規則に定められた回避措置(火力発電の出力抑制、揚水発電の活用、連系線の活用等)を講じても、発生する余剰電力を基に、算定することが求められている。

しかしながら、現状、系統運用者側の作業や法令に基づく発電設備自体の定期点検等に伴い発生する、太陽光発電設備の計画的な停止情報を把握・管理する仕組みがないことから、結果として本来必要な量以上の出力制御量の算定及び出力制御の実施が懸念される。

このため、再生可能エネルギーを最大限活用することを目指し、系統運用者・発電事業者に起因する発電所の計画的な停止情報を管理する仕組みを構築し、適切な出力制御量の算定を行うためのシステム開発・検証を行う。

(ii) 遠隔出力制御の実施状況確認システムの構築

出力制御の公平性及び運用実行性を確保するためには、各発電所に対する出力制御指令情報を把握し、出力制御指令に基づく各発電所の発電実績を把握・管理することが必要となる。

このため、発電所毎の発電実績を把握し、出力制御指令情報と比較するなど、出力制御が指令通りに実行されたことを検証可能なシステムを構築し、本事業にて検証を行う。

各発電所の発電実績取得は、送配電網に設置されている計測装置やスマートメーター等の活用を基本とするが、既設の計測装置やスマートメーターによる発電実績の取得ができない一部発電所については、新たに発電実績を計測する装置を開発し、設置する。なお、本装置については、事業終了後、活用の必要が無くなった場合はNEDOと検討の上、廃棄を決定する。

b. 中長期的な観点による双方向を適用した出力制御システム〔ステップ2〕の高度化

(東京電力HD、東京電力PG、関西電力、北陸電力、早稲田大学)

緊急実証事業において、Open ADR 2.0b を準用して開発した双方向通信方式の出力制御システムは、一定頻度での出力実績の把握が可能であり、出力制御の実態も容易に把握することが可能である。

一方で、将来、再生可能エネルギーの拡大とともに出力制御対象発電所が増加した場合には、送受信する情報量も増加することから、システム全体に与える影響について配慮が必要である。

また、緊急実証事業の結果から、多種多様な発電所設備への適用に向けては、既存監視システムとの協調等の課題も指摘されている。

このため、双方向通信方式に関する課題を踏まえ、海外における再生可能エネルギー大量連系に対する出力制御他の対策事例について調査を実施し、追加・改良すべき機能等について取り纏めるとともに、実運用に向けて更なる検証、システム改良を行う。

(i) 多台数適用時の課題抽出と対応策の検証 (東京電力HD、東京電力PG)

将来的に出力制御システムが実運用となる時点においては、相当数の太陽光発電所を対象とした出力制御を行うこととなるが、双方向通信方式は送受信する情報量が大きいため、その情報量を踏まえてシステムを設計する必要がある。本研究では、多台数の太陽光発電所の接続を模擬できるシミュレータを開発し、サーバや通信ネットワークの瞬間的な負荷など多台数適用時の課題を抽出するとともに、その対応策について検討ならびに実装を行い、実運用に向けたシステム改良を行う。なお、本研究において購入・開発した装置等については、事業終了後、本研究開発として活用が必要なくなった場合は、NEDO と検討の上、廃棄を決定する。

(ii) 適用範囲拡大に向けたシステム改良 (関西電力、北陸電力)

多種多様な発電設備への展開を見据え、緊急実証事業では対応できなかった設備への適用をはかるため、システム改良を行う。

具体的には、既存監視システムとの協調や複数PCSへの適用を可能とするシステム改良を行い、実証で評価する。関西電力担当分においては、新ルール及び指定ルールが適用される事業者への導入の観点から狭義のPCSを対象とし、北陸電力担当分においては、旧ルール事業者への導入の観点から既存PCSを対象として、出力制御システムの改良を行い、出力制御システムの適用範囲拡大をはかる。また、両社において、適用範囲拡大に向けた共通の課題が見られる場合は、知見を共有しつつ、連携したシステム開発と検討を実施する。

なお、本研究において新規追加した装置等については、実証終了後、活用が必要なくなった場合はNEDO と検討の上、廃棄を決定する。

(iii) Open ADR 2.0pv の最適化とそれに伴うシステム改良

(早稲田大学、東京電力HD、東京電力PG)

緊急実証事業では、Open ADR 2.0b をベースに太陽光発電の出力制御を行うための改良を付加したOpen ADR 2.0pv を策定したが、緊急実証事業の中で課題や検討すべき点が見えたため、本実証においてOpen ADR 2.0pv の改良を行うものとする。

(iv) セキュリティ評価（東京電力HD、東京電力PG）

緊急実証事業での評価の中で、提案された対策の中から幾つかの実装を行い、その効果について検証する。また、緊急実証事業では対象をサーバや出力制御ユニットに限定して行ったが、本実証ではセキュリティ検証の対象や項目を拡大するとともに、実際の運用を想定した上で総合的なセキュリティ評価を行い、システム個別、全体で要求されるセキュリティレベルについて考察し、課題とその対応策を整理する。

① ー（2）遠隔出力制御システムの実証環境整備（九州電力）

系統運用者による需給調整においては、雨のち晴れの場合など、太陽光の発電電力が急増した場合等には、ただちに、太陽光発電以外の発電電力等の調整を実施する。火力発電の出力抑制、揚水発電の活用、連系線の活用等を行ってもなお、需要より発電が多い場合、太陽光発電の出力制御を実施する必要がある。

このため、太陽光発電想定出力から誤差が生じ、緊急出力制御を実施する場合を想定し、需給バランスへの影響が確認できる出力制御量を確保するため、遠隔出力制御に対応する太陽光発電所の数を拡大し、実証環境を整備する。

なお、現地設置した遠隔出力制御可能な機器類について、事業終了後、活用する必要がなくなった場合はNEDOと検討の上、廃棄を決定する。

① ー（3）遠隔出力制御システムの実証試験

（東京電力HD、東京電力PG、関西電力、北陸電力、九州電力、早稲田大学、IAE）

緊急実証事業においては、実証試験期間のほとんどが冬期に限定されたが、本実証においては、他の時季も含めて出力制御試験を行い、出力制御システムの性能評価ならびに出力制御手法の検証を行う。また①ー（1）で改良を加えたシステムに対しても実証試験を行い、改良に対する検証を行い、既存事業で本研究開発項目にて実施している風力発電設備向けの遠隔出力制御システムのノウハウも取り入れつつ、風力発電の出力制御と実証も視野に入れたうえで、将来の実運用に向けた評価を行う。

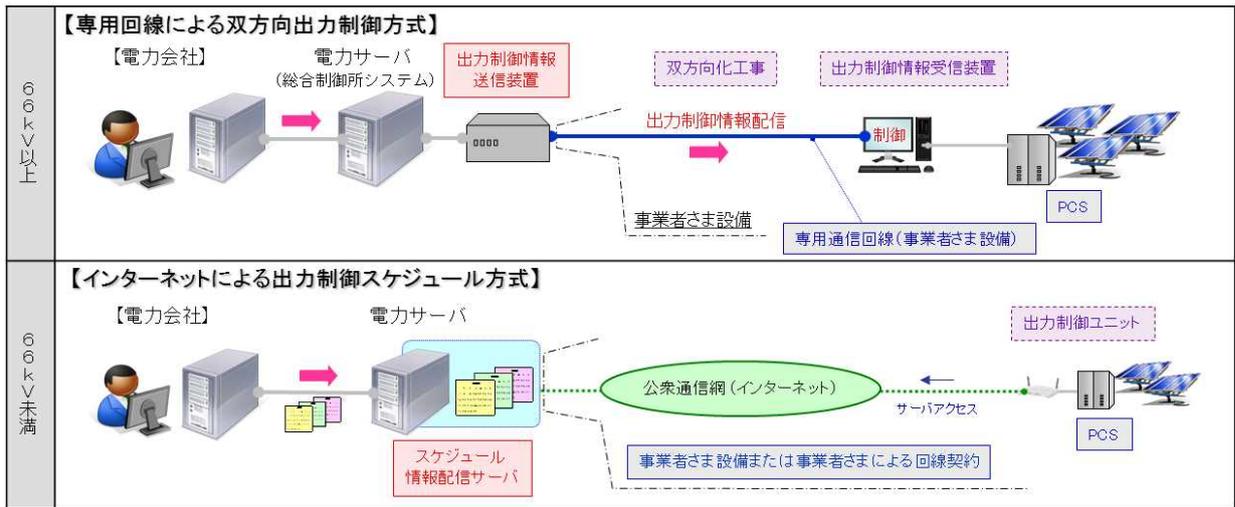
a. 専用回線による双方向出力制御方式及びインターネットによる出力制御スケジュール（単方向通信）方式による出力制御システム〔ステップ1〕の実証試験（九州電力、IAE）

本研究は、九州地域において実証対象となる発電事業者へ出力制御機能付きPCSを設置し、九州電力からの指令に基づく出力制御の実証を行う。連系電圧66kV以上の発電所は、双方向通信（専用回線を活用した双方向出力制御方式）、連系電圧66kV未満の発電所は、単方向通信（インターネットを活用した出力制御スケジュール方式）により出力制御を行う。

（図①ー1参照）

本研究では、出力制御システムの機能、電力系統への影響評価を中心に実証を行い、実証にて得られたデータに基づき、公平性及び運用実行性の観点から出力制御実績の管理手法の分析・評価も行う。

また、九州地域では軽負荷期において、太陽光発電出力が昼間帯の最低需要の50%を超えることが見込まれており、太陽光発電出力の想定誤差の影響が懸念されている。このため、九州電力ではこれら想定誤差に対する調整力として、太陽光発電の緊急出力制御を活用する手法について検証・評価を行う。



※系統運用者の基本システム及び太陽光発電事業者システム（一部）は緊急実証事業で設置済

図① - 1 緊急実証事業における遠隔出力制御システム構成図（九州電力）

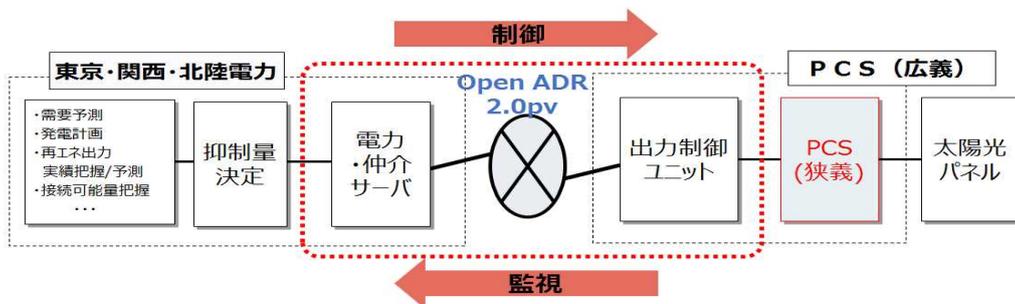
b. 中長期的な観点による双方向を適用した出力制御システム〔ステップ2〕の実証試験

（東京電力HD、東京電力PG、関西電力、北陸電力、早稲田大学）

本研究は、双方向通信を適用した出力制御システム（図①-2参照）を、規模別、通信方式別に分類した太陽光発電所へ設置し、構築したシステムがそれぞれの発電所で有効に機能するか、検証を実施する。特に、出力制御システムの性能評価、ポーリング周期等の設定値による情報量への影響などを主体に検証する。

なお、緊急実証事業において、東京電力、関西電力、北陸電力のエリアにおいて、各分類の発電所に出力制御対応機器を設置済みである。このため、緊急実証事業の分担を継続し、エリア内の発電所の評価を各社が実施することで、効率的な検証を行うことができる。

また、出力の予測と同様に、足元の太陽光発電出力あるいは制御量を把握することが、出力制御の実効性を高めるために有効な手段であり、出力の把握に気象衛星画像を活用した推定手法を用いることで、どの地点の発電所にも適用することが可能である。このため、気象衛星画像データの活用ノウハウを有する関西電力では、気象衛星画像を活用した太陽光発電出力の推定手法を用いて、想定出力制御量と推定出力制御量の差異を双方向通信の実証環境を用いて確認し、出力制御量の把握方法や出力制御の実効性の評価を行う。



図① - 2 緊急実証事業における遠隔出力制御システム構成図（東京電力/関西電力/北陸電力）

① ー (4) 太陽光発電の最適出力制御量算定技術の開発 (東京大学)

再生可能エネルギー発電設備の導入を含む電力システムの基盤技術として、システムを統合した運用・制御技術には統合的な技術体系が必要となる。本項目では、電力システムの需給運用計画とその実制御における、気象予測に基づく太陽光発電出力の予測情報等を用いた最適必要出力制御量の算定、実出力制御量の把握とその情報の必要出力制御量最適化への反映、出力制御把握データの活用手法の調査、最適必要出力制御量算定、並びに、出力制御緩和のための太陽光発電出力予測技術開発に関する技術開発を行う。ここでの“最適”とは、火力発電の燃料費と起動費の総和(24時間を対象)を最小化することである。

(i) 太陽光発電の最適必要出力制御量の算定

前日における気象予測に基づく太陽光発電出力の予測情報等を入力データとして、当日の発電期待コストを最小化可能な太陽光発電の最適出力制御量(計画値)算出モデルを数理計画法技術を活用して開発する。また、太陽光発電出力制御量計画値が最小となる需給運用を行うことが電力システムへ与える影響・効果を分析する。

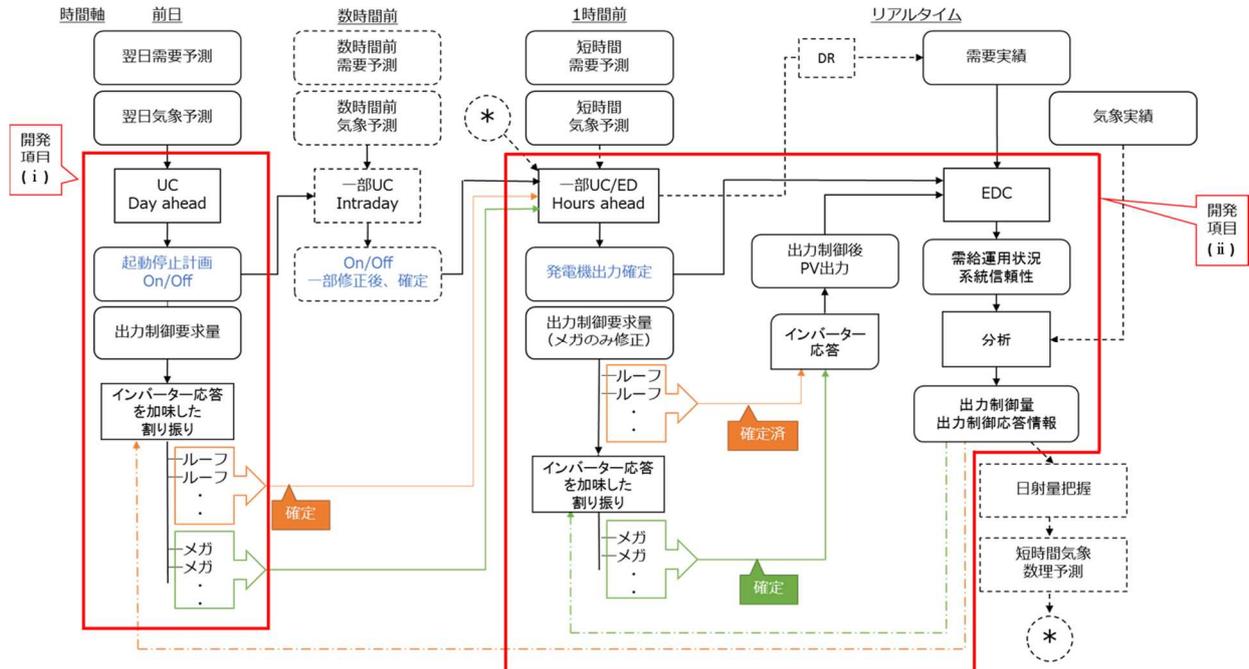
具体的には、前日における気象予測情報に基づいた系統スケールでの日射量・発電量予測を行い、本予測データに基づいた太陽光発電の最適必要出力制御量(計画値)の算出を行う。また、系統スケールでの日射量・発電量予測だけでなく、都道府県レベルなどを想定したサブエリア毎の予測を行い、太陽光発電の最適必要出力制御量(計画値)へ与える効果を調査し、その上で計画値を算出する。加えて、系統スケール・サブエリア双方で算出された計画値のメガソーラー及びルーフトップへの割り振り手法を開発する。なお、太陽光発電の最適必要出力制御量(計画値)の算出には東京大学が研究開発を進めてきた、発電機の運用計画を最適化する発電機起動停止計画(ユニットコミットメント)モデル・技術をベースに、発電コストなどの経済性や供給信頼性を目的関数とした太陽光発電の最適必要出力制御量(計画値)算出ロジック・機能を開発する。さらには、将来的な電力市場を考慮して、デマンドレスポンスの効果、前日だけでなく最終ゲートクローズ前までの数時間前市場なども模擬し、各段階における使用可能な気象予測に基づく太陽光発電出力の予測情報等から、発電期待コスト等を最小化する太陽光発電の最適出力制御量(計画値)算出モデルを開発する。その上で、その効果を分析する。

(ii) 実出力制御量の把握とその情報の必要出力制御量最適化への反映

上述の太陽光発電の最適必要出力制御量の前日割り振り計画値(制御信号)と当日(1時間前)における広域での太陽光発電出力実績値を加味した短時間気象予測に基づき太陽光発電の最適必要出力制御量(指令値)を算出するための技術開発を行う。また、メガソーラー・ルーフトップなど各種太陽光発電システムに付随するインバータ群が、太陽光発電の最適必要出力制御量の前日割り振り計画値(制御信号)に応答するシミュレーションモデルを開発し、提案者が既に所有しているデータや、本プロジェクトにて行われる太陽光発電出力制御の実績モニタリングデータを反映して、出力制御方式を継続的に改善するロジックを開発する。

また、卸電力市場の最終ゲートクローズ後に最終的に必要な出力制御量(計画値)を計算し、その指令をインバータが受け取り、出力制御を行い、その結果としての太陽光発電出力、並びに、制御量(実施値)をモニタリングできると想定し、出力制御方式の改善を行うためのPDCAロジックの開発を行う。ここでのPDCAロジックというのは、理想的に全ての太陽光発電の出力が把握できるとした場合に、指示した計画値と実施値の乖離を緩和するために、最適化計算で得られた太陽光発電の必要出力制御量(指令値)をどのように調整するべ

きかを各エリアの実際の天候、各インバータの状況などの情報を基に、自動的に学習して継続的に改善する手法を意味する（予測、運用、結果確認、制御量算定へのフィードバックまでの一連のプロセス）。



図①-3 太陽光発電の最適必要出力制御量（計画値）の算出と出力制御方式の改善を行うためのPDCA ロジック（イメージ）

(iii) 最適必要出力制御量算定、並びに出力制御緩和のための太陽光発電出力予測技術開発

最適な太陽光発電出力制御量の算定のため、また、過剰な出力に対して新たな市場取引を促すことで実施される出力制御緩和のために必要となる日射量・発電量の予測技術（週間～数日前予測、当日予測の精度改善、数時間前予測、短時間予測等の組み合わせ）の開発を、電力システム運用の観点から行う。その予測技術開発の成果、並びに太陽光発電出力制御手法の評価を上述の研究項目を通じて評価する。

具体的には、太陽光発電出力予測誤差に伴う当日における太陽光発電システムからの供給力不足の回避や、最適な必要出力制御量の算出に必要な、都道府県単位などのサブエリア毎の出力予測モデルの開発、出力予測データの作成、予測精度向上などに向けた技術開発を行う。また、1時間前予測などの前日以外での当日出力予測モデルの開発、出力予測データの作成などのための技術開発も行う。

基盤技術開発の観点からは、本事業にてインフラとして整備される双方向通信・ICTシステムを通じてモニタリングされる太陽光発電出力（実測データ）を短時間予測のために多数使用することを新規要素とし、最適な出力制御を行うための予測を含めた、予測体系構築のための技術開発を行う。

予測技術を開発するためには予測アルゴリズム以外に、そのアルゴリズムに利用する入力データが必要である。更に、その入力データを収集出来る環境、整合性を確認できる手法の開発、入力データの分析・選別による開発アルゴリズムの性能の最大限の活用も必要となる。そのため、本基盤技術開発は技術、実績、環境という側面から最も研究実施に適している産業技術総合研究所に再委託する。

また、太陽光発電の出力制御を行うにあたり、双方向通信設備が設置されたメガソーラー・ルーフトップそれぞれのインバーター（広義）を通じた自身の発電量のモニタリングの実効性、付加価値（発電量情報の利活用手法）の研究を行い、太陽光発電出力情報の将来的なデマンドレスポンスなどへの利活用の可能性も併せて調査する。

② 太陽光発電の出力制御の高度化

太陽光や風力を利用する発電は本質的に出力変動が不可避のため、系統へ連系される容量が大きくなると、安定した電力系統運用のためには、遠隔の通信方式による出力制御が必要となる。

一方、2030年の政府目標達成のためには太陽光発電の容量を現在の約3倍にすることが求められており、系統運用上の課題に対応しつつ、より柔軟に再生可能エネルギーを受け入れる技術開発が求められている。

このため、再生可能エネルギーを最大限活用するための需要側調整のデマンドシフト、創エネルギー・蓄エネルギー・出力制御等を組み合わせたアグリゲーションによるコントロールの必要性が高まるとともに、分散型電源自体のよりきめ細やかな制御技術が必要となる。

これら研究開発を行い、太陽光発電を主体とした再生可能エネルギー発電設備の出力制御手法の高度化を目指す。なお、上記の内容に対して、以下の項目を設定し、効率的に研究を進める。

- (1) デマンドシフト等による自家消費電力制御手法の開発
- (2) アグリゲーターによる需給コントロール手法の開発
- (3) 分散型電源遠隔制御高度化に関する研究開発

以下に各項目の研究開発内容を記載する。

② - (1) デマンドシフト等による自家消費電力制御手法の開発

(早稲田大学、東京電力HD、東京電力PG)

HEMSを活用し、太陽光発電出力制御を現行ルールに基づく与条件として、住宅に設置される蓄エネルギー機器（蓄電池、電気自動車／プラグインハイブリッド車、電気式給湯器等）、エネルギー利用機器の様々な組合せについてユースケースを設定し、実際の住民行動も考慮に入れた上で、太陽光発電の最大有効利用を指標とした試験評価を行う。

また、省エネルギー政策においてZEHの普及拡大を目指す中では、余剰電力発生を前提とする太陽光発電設備の導入が拡大していくことが想定されることを踏まえ、太陽光発電設備を持たない住宅等（集合住宅を含む）との連動エネルギーマネジメント等の手法の研究を行い、制度上の課題を整理するとともに、試験住宅などを活用した実証試験を行う。

系統全体の需給バランスの観点から要請される太陽光発電の出力制御に対して、住宅がエネルギーマネジメントによって余剰電力を活用する動作を行ったとき、需給バランスへの貢献、出力抑制量の削減やCO2排出量削減への貢献などについて、シミュレーションによって評価を行う。

②－（２）アグリゲーターによる需給コントロール手法の開発

（早稲田大学、東京大学、東京電力 HD、東京電力 PG、IAE）

a. 太陽光発電の出力制御に適用したアグリゲーション機能の実装と実証

（早稲田大学、東京電力 HD、東京電力 PG、IAE）

系統運用者がアグリゲーターを介して太陽光発電の出力制御を行うパターンにおいて、系統運用者が要求する出力制御量を、配下の各太陽光発電設備の出力制御量として割り振りを行うとともに、発電実績等を集約する機能を基本として、全体システム構成と国内推奨通信仕様による実装に関する研究開発を行う。この際、気象情報や気象予測情報の取り込みや、局所的な需要制御等を想定しこれと連動してエリア毎の出力制御量の割り振りを行う機能等についても研究を行う。また、蓄電池等の他の資源や DR（Demand Response）と連携させることによって、余剰電力の有効活用がどのように可能になるか、仲介サーバに求められる機能は何か検討を行うとともに、制度上の課題、系統運用者と発電事業者からみたアグリゲーターの価値を整理するとともに今後の展開に向けた課題についてとりまとめる。

以上について、実際の運用が予見されるユースケースを想定し、既存の仲介サーバの機能向上を行い、実験設備や実設備を用いて検証試験を行う。これから得られる結果をもとに、②－（１）と合わせて、需給バランスへの貢献、出力抑制量の削減や CO2 排出量削減への貢献などについて、シミュレーションによって評価を行う。

b. IoT を活用した太陽光出力抑制の緩和（東京大学）

太陽光による余剰発電を、新たな需要を創出する DR と組み合わせて、結果として出力制御量を緩和する仕組みの研究開発を行う。具体的には、新たな需要創出の担い手を、当該太陽光発電設備設置建物内の機器に限定せず、また、太陽光発電を設置しているといないに関わらない他の戸建て住宅、集合住宅等をも想定して、これらに設置されている電気機器類により、余剰発電を消費する仕組みを研究する。さらに、これらの電気機器類は、いわゆる重点 8 機器に拘ることなく、IoT（Internet of Things）の概念により、ネットワーク経由で操作可能なものは需要創出候補として取り扱う。

本研究は、実在する実験住宅による技術実装トライアル、本仕組みによるマクロな効果を確認するためのコンピュータ・シミュレーション、本研究開発によるデマンドレスポンスの受容性の調査研究の 3 項目からなり、その概要は以下である。

- 実在する実験住宅による技術実装トライアルでは、系統運用者からの太陽光出力制御信号を入力とし、これに IoT 機器類が反応して需要創出する仕組みの技術実装方法を研究開発する。
- コンピュータ・シミュレーションでは、本プロジェクトの他のタスクでの知見を活用し、出力制御量と需要創出量の比較による緩和効果を検証する。
- 受容性の調査研究では、これまでの HEMS データ分析の実績を踏まえ、DR 資源量の推定や、その受容性についての調査研究を行う。

② 一 (3) 分散型電源遠隔制御高度化に関する研究開発（東京電力HD、東京電力PG、早稲田大学、IAE）

再生可能エネルギーなどの分散型電源が大量導入されていくと、結果として既存の大規模集中電源による発電量が減少することになるため、中長期的には大規模集中電源が減少していくこととなる。これは、大規模電源が担っていた需給変動への対応、すなわちアンシラリーサービスの担い手が減少していくことを意味する。この問題に対して、欧米では系統連系規程（グリッドコード）、規格等によって、再生可能エネルギー発電設備等の分散型電源に対して、電力系統支援機能を提供することを求めていく方向で議論が進んでおり、米国のカリフォルニア州ではスマートインバータとして、具体的な仕様検討を段階的に進めている。

本研究開発においては、今後再生可能エネルギーの導入拡大を目指す、我が国の現状を踏まえ、スマートインバータの標準化に向けた課題と対応を整理するため、その仕様検討、実機開発、実証試験等を行う。なお、本研究において購入・開発した装置等については、事業終了後、本研究開発として活用の必要がなくなった場合は、NEDOと検討の上、廃棄を決定する。

a. スマートインバータ (Smart Inverter, SI) と分散型電源マネジメントシステム (Distributed Energy Resources Management System, DERMS) の仕様検討（東京電力HD、東京電力PG、早稲田大学、IAE）

再生可能エネルギー導入拡大に伴い懸念される課題や、海外での検討・実施状況を参考に、我が国の電力系統及び将来の電源構成を念頭に、スマートインバータが持つべき機能及びそれらの遠隔制御を行うシステムについて仕様を検討する。

(i) 欧米での検討・実施状況の情報収集（東京電力HD、東京電力PG）

海外での検討・実施状況の情報収集については、①において現地視察や意見交換を行うとともに、米国内において高い技術的知見を有する団体を通じて、先行事例や仕様・規格検討に関する情報収集を行う。

(ii) 本実証で開発するスマートインバータ、DERMS の仕様検討

（東京電力HD、東京電力PG、早稲田大学、IAE）

米国内において高い知見を有する団体を招聘し、本実証の参加事業者ならびにスマートインバータの製作を行うメーカー等を集めたワークショップを開催する。米国でのスマートインバータの仕様検討内容について、その背景等を含めて情報提供してもらい、それを基に本実証で開発するスマートインバータ、DERMS の仕様検討を行う。また、将来の展開を見据え、発電事業者側の視点も仕様策定に反映させる。

(iii) 米国製スマートインバータの実機検証（東京電力HD、東京電力PG）

米国の既製のスマートインバータを購入し、各種試験を実施し、その機能・性能について評価を行う。試験内容等について現地の団体から情報を提供してもらい、後述の試験環境構築以降での実機開発時の試験方法について事前検討する。

b. スマートインバータの試験環境構築

検討した仕様に基づき、以下のシステム・機器を開発の上、それらを組み合わせた実証試験のための試験環境を構築する。

(i) スマートインバータの開発（東京電力HD、東京電力PG、早稲田大学）

検討した仕様に基づき、スマートインバータの実機開発ならびに出力制御ユニットの開発を行う。開発は、今後の標準化等も見据えて、なるべく幅広くメーカー等の協力を求めることとする。

スマートインバータは、交流・直流の変換を行うインバータ部分と、その制御や通信を行う制御ユニットで構成される。制御ユニットならびにインバータ部分までを含めた実機開発は、規模別に大規模、中小規模、住宅用について、それぞれ代表機を製作し、開発メーカーに設置箇所を提供してもらうこととする。制御ユニット部分については発電容量別に要求区分が異なることから、複数の種類を開発する。

(ii) DERMS の開発（東京電力 HD、東京電力 PG、早稲田大学）

スマートインバータは、遠隔からの監視・制御を受けたり、系統状況や時季に応じた設定変更等のための通信を、電力会社等と行う必要がある。多数のスマートインバータが系統に接続された時に、その性能を十分に発揮するためには、それらが持つ個々の情報を集約しつつ、系統状況に基づいて出される制御や設定変更の指令をスムーズに配信可能な監視制御システム、すなわち DERMS が必要となる。

このため、検討した仕様に基づき、DERMS の開発を行う。大規模以上の発電所を対象にした DERMS と中小規模以下の発電所等を対象にした DERMS の 2 つのシステムを開発する。

(iii) 試験環境の構築（東京電力 HD、東京電力 PG、早稲田大学）

上記で開発したスマートインバータと DERMS を組み合わせて、試験環境を構築する。DERMS は早稲田大学の新宿実証センターに設置し、スマートインバータの実機と公衆回線網を通じて接続する。また同センター内にあるアナログ配電システムシミュレータ (ANSWER) にスマートインバータのインバータ部分の模擬機能を付加するなど機能を拡張し、実機ならびに模擬試験システム両方を含めた実証が可能な試験環境を構築する。

c. スマートインバータの実証試験（東京電力 HD、東京電力 PG、早稲田大学）

構築された試験環境において、開発するスマートインバータ並びに DERMS 装置とアナログシミュレータを用いた実証試験を行い、送受信データ量やデータ粒度などについて考察しつつ、各機能の効果を検証する。また、通信システムは汎用ネットワークを適用することから、外部からの攻撃に対するセキュリティについての信頼性検討を行う。

③ 研究開発事業の運営・管理（IAE）

本研究開発事業を効率的かつ効果的に推進することを目的に、外部有識者に参加いただく、運営委員会を設置・運営する。なお、本委員会は、年 2 回程度の開催とする。また、研究成果等に関する情報・意見交換及び進捗管理を目的に、ワーキンググループ (WG) を原則四半期毎に実施する。これら運営委員会及び WG は、エネルギー総合工学研究所が担当する。

上記に加え、必要に応じ、WG の下に技術テーマ単位のサブ・ワーキンググループ (SWG) を設置し、各事業者が連携をとりながら研究開発を推進する。

3. 研究開発の実施体制

3.1 研究開発体制の構築（WG間の連携体制）

本研究開発は、NEDO が、複数の企業、大学等の研究機関から公募により研究開発実施者を選定し、2014 年度より委託事業として実施している。各実施者の研究開発能力を最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、NEDO は第三者である外部専門家をプロジェクトリーダー（PL）として選定し、各実施者は客観的立場からの技術的助言を受けそれぞれの研究テーマについて研究開発を実施している。また、事業発足当初は研究開発項目（I）および（II）からなり事業内容から4つのワーキンググループ（WG）を設け、各WGに研究統括を設置し、各WG単位だけでなく、WG間の連携を図るため統合推進委員会を設置している。

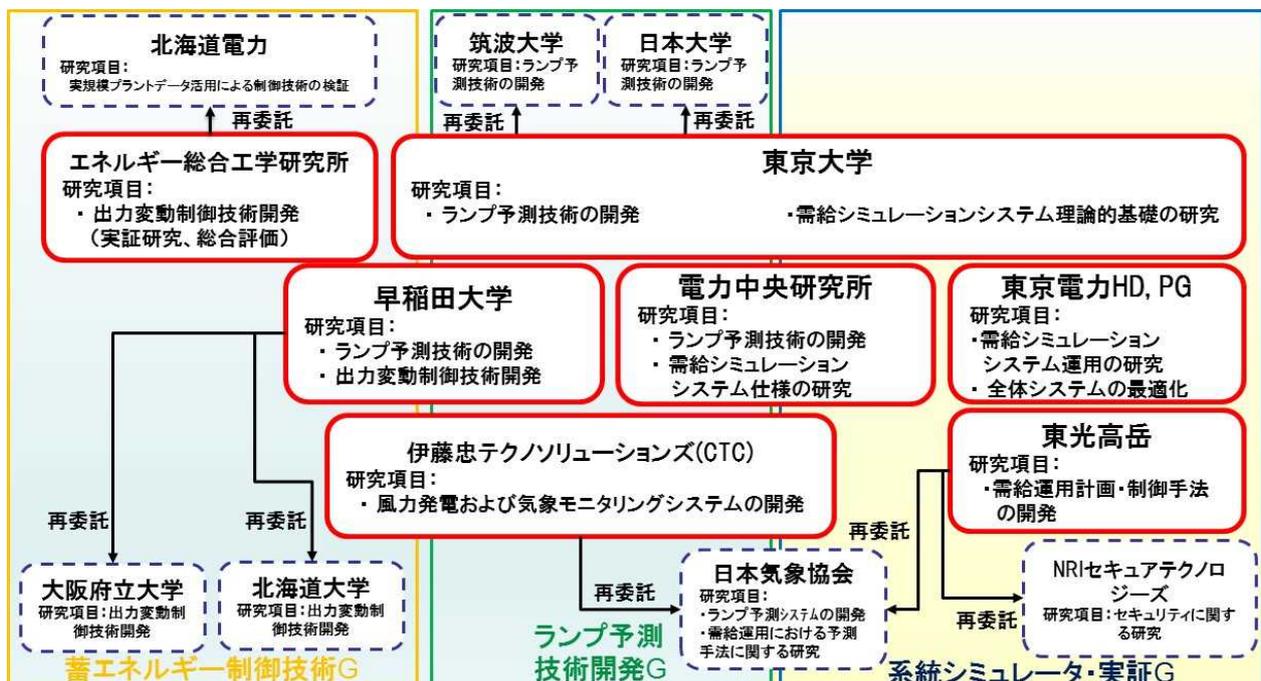


図2-3. 各WGと実施者との相関図（その1）

また、2016 年度より委託事業として新たに加わった研究開発項目（III）「再生可能エネルギー連系拡大対策高度化（風力）」と2017 年度より新たに加わった研究開発項目（III）「再生可能エネルギー連系拡大対策高度化（太陽光）」についても、研究開発項目（I）および（II）の各WGとの連携を図るため、2014 年度より設置運営しているPLへの進捗報告会のメンバーに加えている。進捗報告会では本事業の全WGの研究開発責任者が出席し各WGの事業進捗報告を行い情報共有を図るとともに、事業全体から見た観点からディスカッションし相互に事業の方向性を再確認する機会としている。

なお、事業全体における各WG間の相関関係については、ランプ予測技術開発WGで「予測」、蓄エネルギー制御技術WGで「制御」、実証WGで「運用」に係る研究開発を実施し、需給シミュレーションシステムWGで開発するシステムの開発成果に各WGからの成果を反映させている。PJ全体では、統合推進委員会や進捗報告会で全体の情報共有化を行っている。

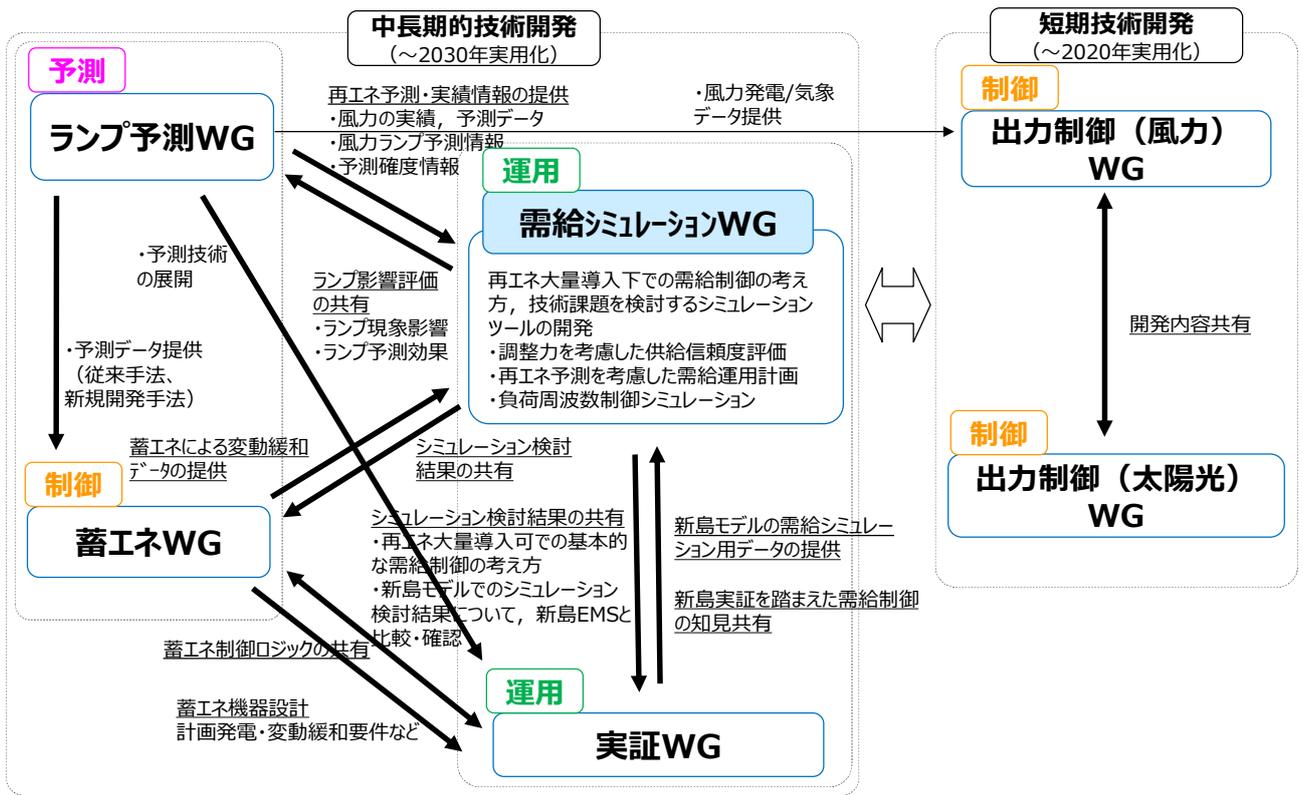


図 2-4. 各WGと実施者との相関図 (その 2)

3.2 研究開発体制の全体構成

7 大学、3 研究機関、民間企業 5 社及び 6 電力が結集し、研究開発体制を構築。

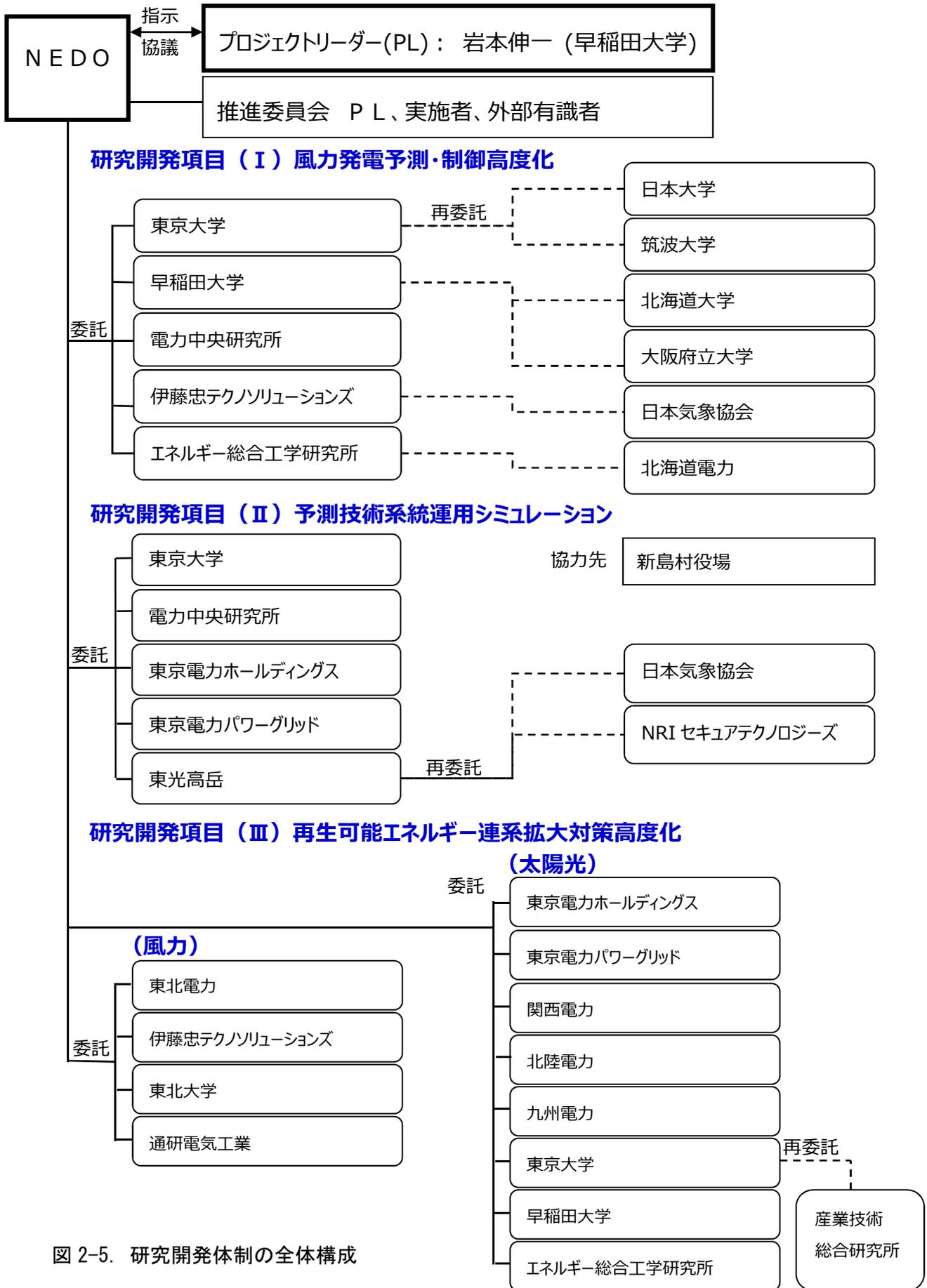
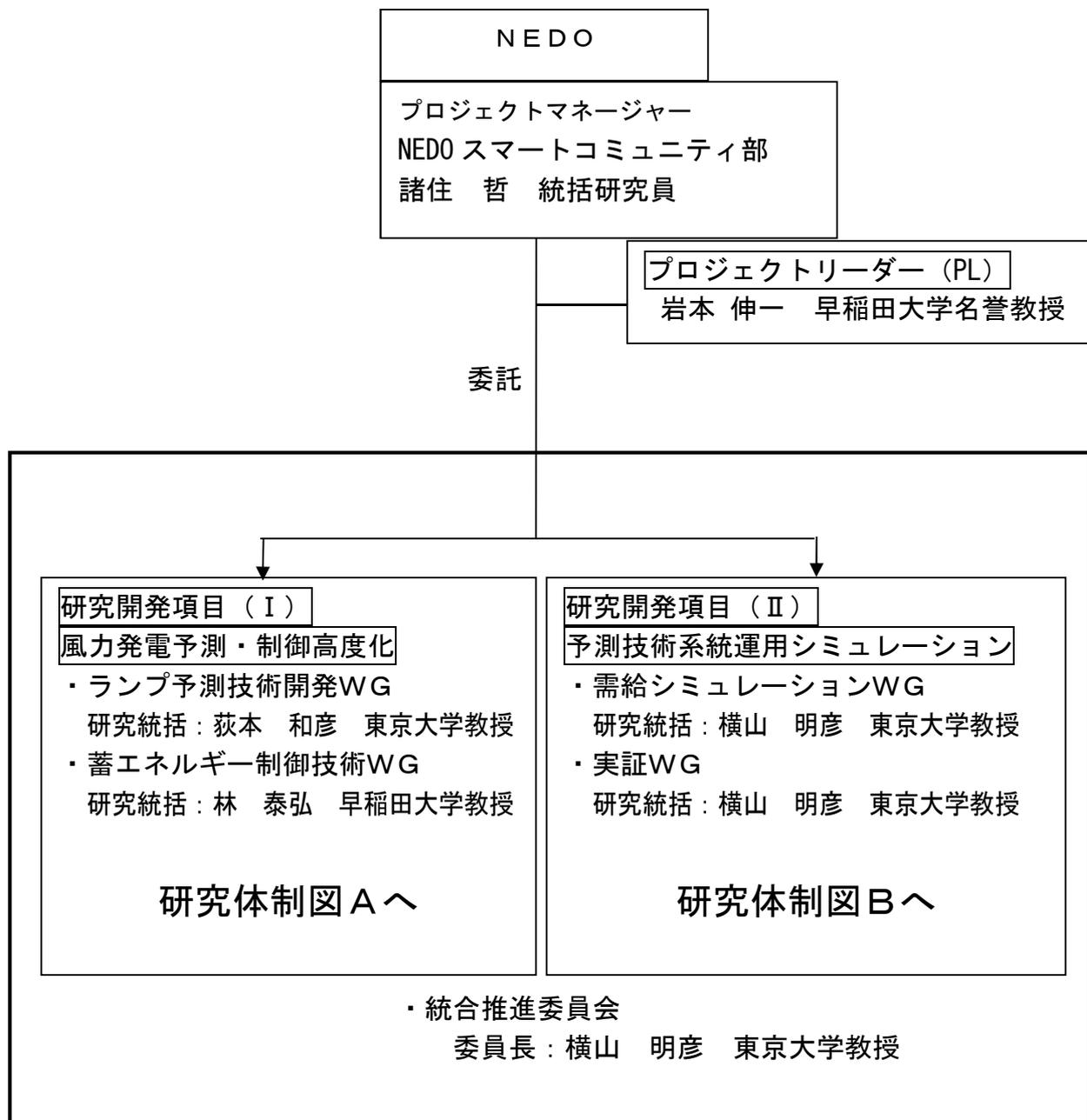


図 2-5. 研究開発体制の全体構成

3.3 研究開発項目毎の実施体制

研究開発項目（Ⅰ）「風力発電予測・制御高度化」と研究開発項目（Ⅱ）「予測技術システム運用シミュレーション」実施体制



研究体制図 A (図 2-6 より)

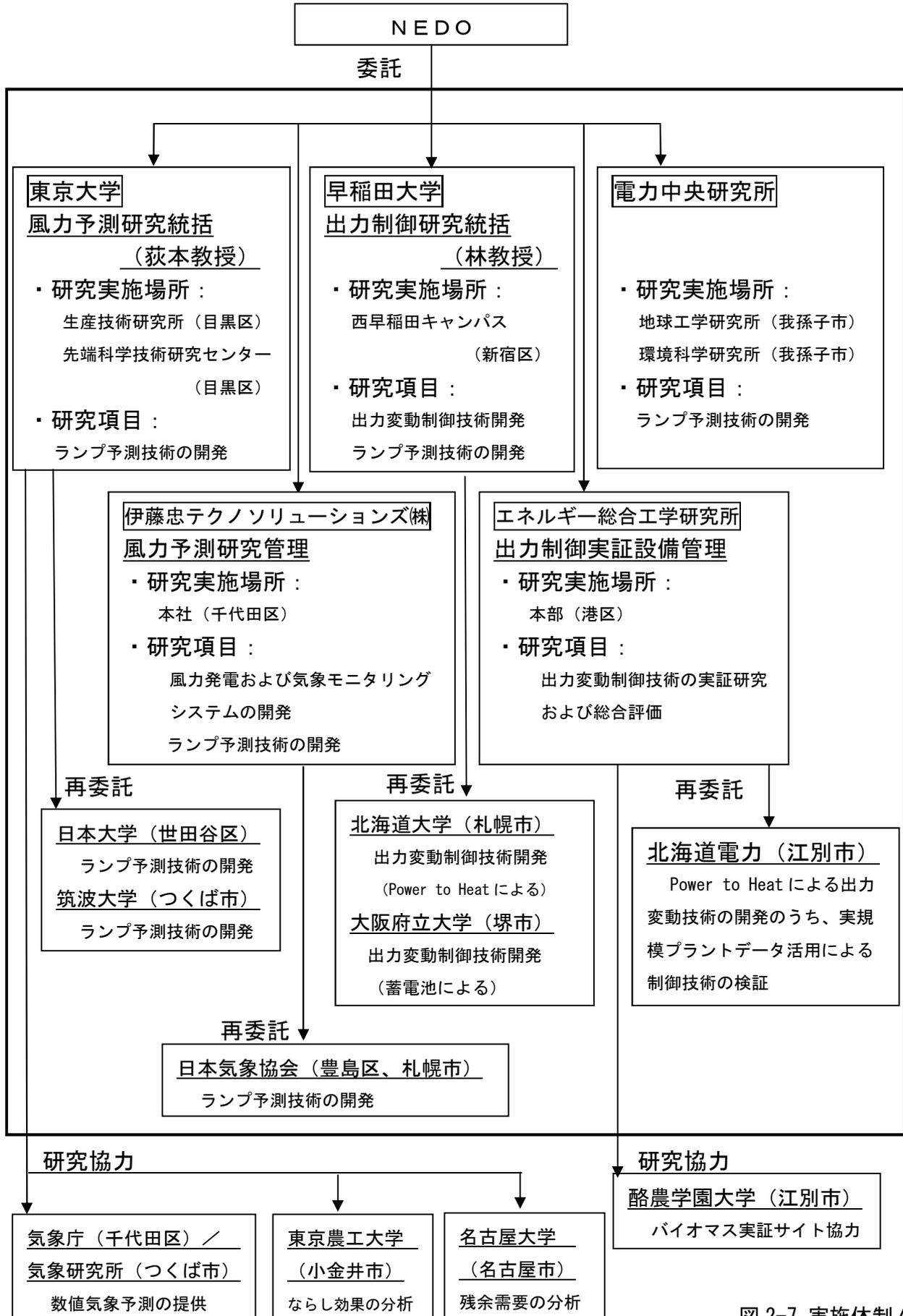


図 2-7. 実施体制 A

研究体制図B (図2-6より)

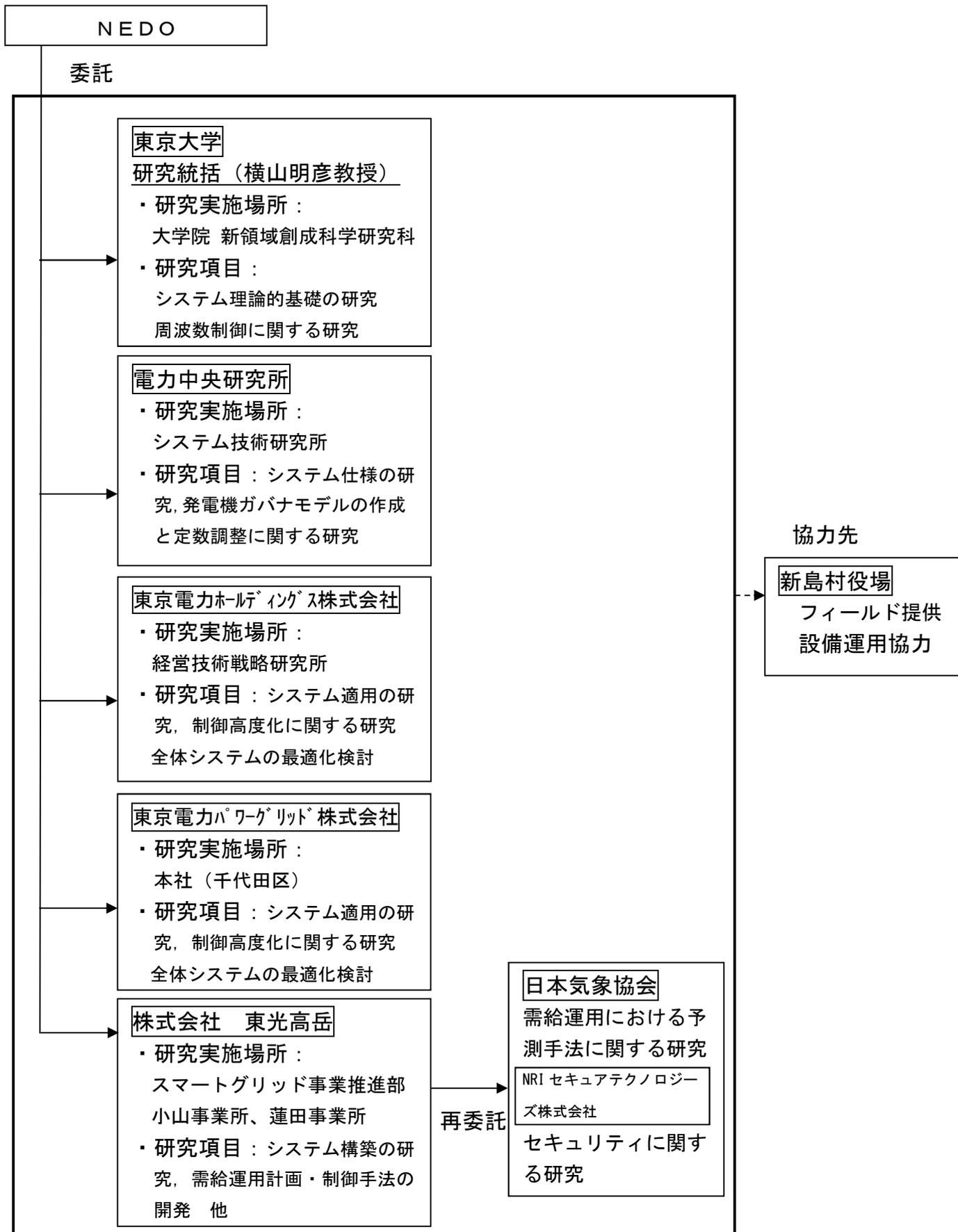


図2-8. 実施体制B

研究開発項目(Ⅲ)「再生可能エネルギー連系拡大対策高度化(風力)」実施体制

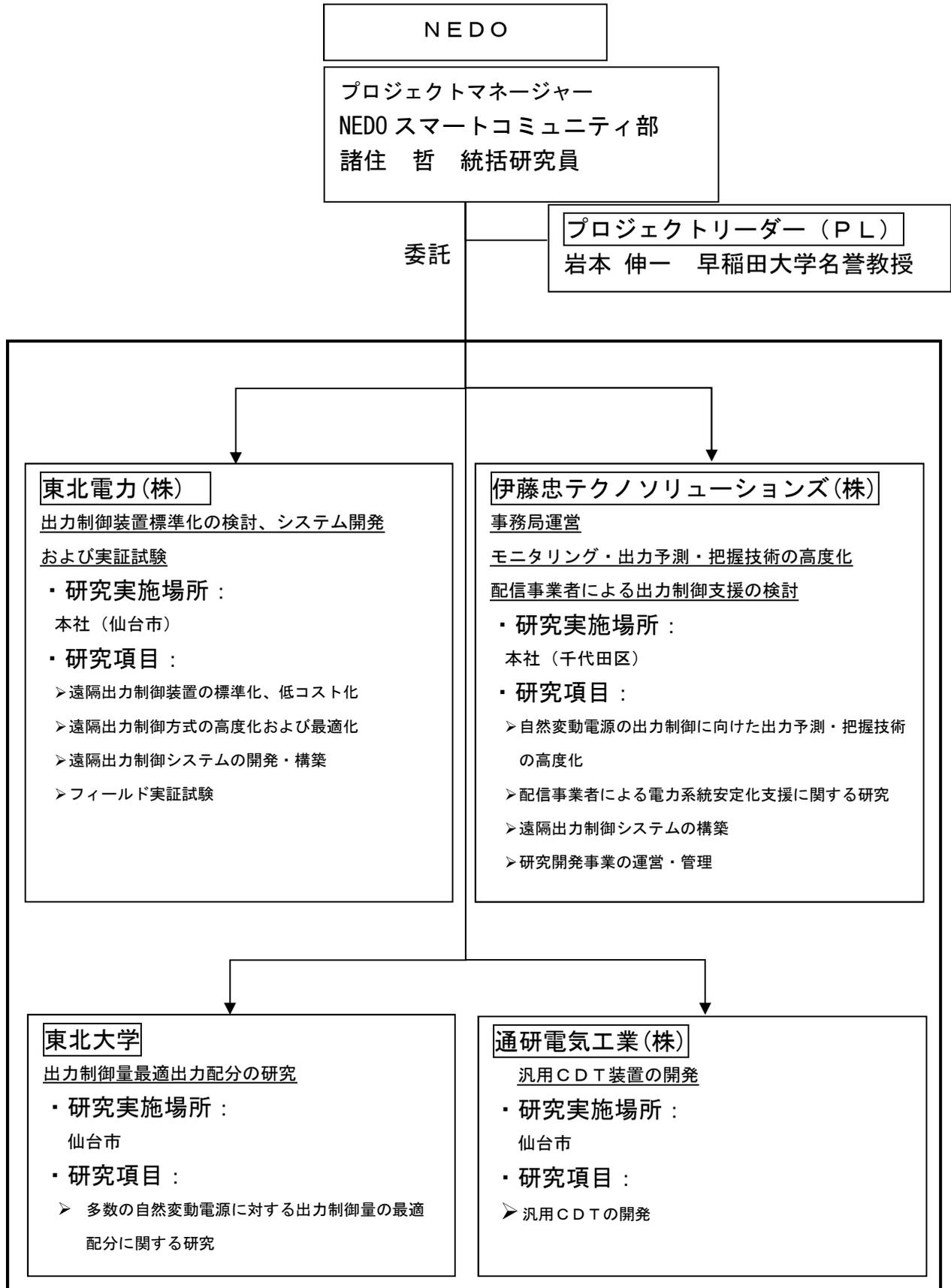


図 2-9. 出力制御技術(風力)WGの実施体制

研究開発項目(Ⅲ)「再生可能エネルギー連系拡大対策高度化(太陽光)」実施体制

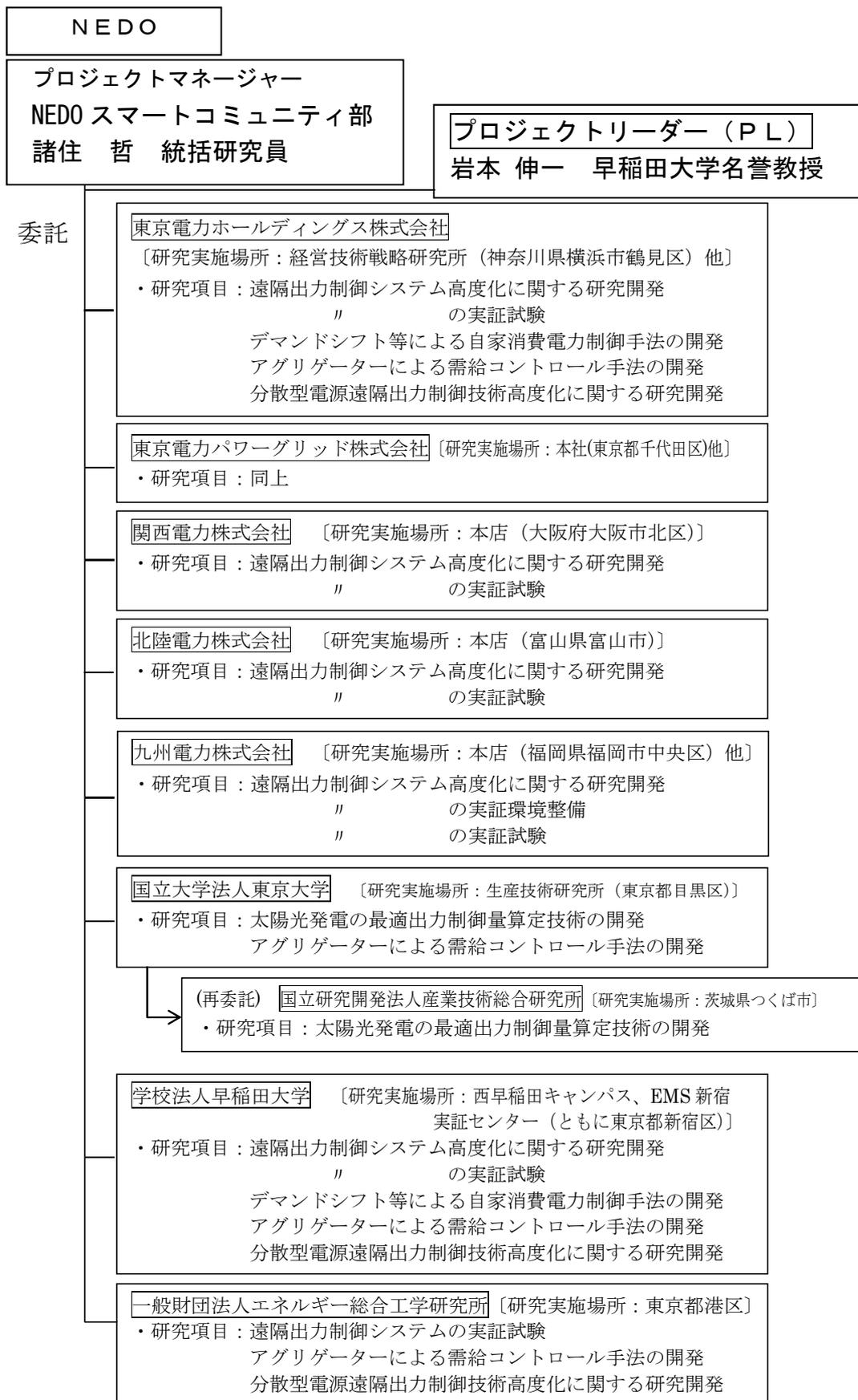


図 2-10. 研究開発項目Ⅲ出力制御技術(太陽光)WGの実施体制

3.4 プロジェクトリーダー（PL）の委嘱

本プロジェクトでPLとして委嘱した学校法人早稲田大学 理工学術院 電力システム研究室 名誉教授 岩本伸一氏は電力システム工学を専門とし、長年にわたり電力系統関係の研究に従事し、高度な専門知識と経験を有するばかりでなく、その研究活動を通じて関係学会や関係委員会等で活躍しており、高度な知見を有している。また、本事業の目標や目指す方向性あるいは技術的課題も的確に把握できる立場にあり、本事業のPLとして最適任であると判断している。

また、事業者の推進として進捗報告会ならびに統合推進委員会、各WGを運営しているが、これらの委員長あるいは研究統括には電力システムならびに需給運用関係での研究開発において高度な専門知識と経験を有する方々により推進されている。

<主要な研究者>

プロジェクトリーダー(PL)

氏名	所属・役職	役割・研究項目
岩本 伸一	早稲田大学 名誉教授	プロジェクト全体の最適化 研究計画・研究目標等に関する指導・助言

統合推進委員会

氏名	所属・役職	役割・研究項目
横山 明彦	東京大学 教授	委員長。事業の推進。

ランプ予測技術開発WG

氏名	所属・役職	役割・研究項目
荻本 和彦	東京大学 特任教授	研究統括

蓄エネルギー制御技術WG

氏名	所属・役職	役割・研究項目
林 泰弘	早稲田大学 教授	研究統括

需給シミュレーションWG

氏名	所属・役職	役割・研究項目
横山 明彦	東京大学 教授	研究統括

実証WG

氏名	所属・役職	役割・研究項目
横山 明彦	東京大学 教授	研究統括

出力制御技術（風力）WG

氏名	所属・役職	役割・研究項目
七原 俊也	東京工業大学 教授	有識者委員会委員長

出力制御技術（太陽光）WG

氏名	所属・役職	役割・研究項目
横山 明彦	東京大学 教授	運営委員会委員長

4. 研究開発のマネージメント

4.1 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、外部有識者による技術検討委員会等を設置し、開発内容について審議し、その意見を運営管理に反映させる。（表2-5. 参照）

・ 研究開発の進捗把握・管理

NEDOは、研究開発実施者と緊密に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。また、外部有識者で構成する技術検討会を組織し、定期的に技術的評価を受け、目標達成の見通しを常に把握することに努める。

事業全体の進捗状況把握と実施者代表とステアリング（動向・情勢に応じた対応等）するため、「進捗報告会（ステアリングコミティ）」を設置・運営した。

事業開始時点から推進した研究開発項目Ⅰ・Ⅱについては、WG単位での進捗管理に加え、全体の進捗状況把握と外部有識者を加えての適切なステアリングを行うための「統合推進委員会」を設定し、WG間連携の促進等による成果の最大化を図った。

途中から追加された研究開発項目Ⅲについては、先に加えた出力制御技術開発（風力）と、追って加えた出力制御技術開発（太陽光）においても、逐次「有識者委員会」「運営委員会」を設定するとともに、研究開発項目Ⅰ・Ⅱと同様に、進捗管理とステアリングを実施した。

・ 技術分野における動向の把握・分析

NEDOは、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術の普及方策を分析、検討する。なお、調査等を効率的に実施する観点から委託事業として実施する。

・ 委員会・ワーキンググループの設置

本事業を計画的かつ効率的に遂行することを目的とし、以下の委員会・ワーキンググループ（以下WG）を設置・運営する。また、各WGの下にはサブWGを設置・運営する。

表2-5. 研究開発の進捗把握・管理のための全体体制

管理運営母体		統括と主な参加者		実施回数（頻度）	
進捗報告会（ステアリングコミティ）		P L、実施者リーダークラス		6回（年2回程度）	
Ⅰ・Ⅱ	統合推進委員会	P L、東大・横山教授、外部有識者、実施事業者、METI他		11回（年2、3回程度）	
	Ⅰ	ランプ予測技術開発WG	東大・荻本教授、事業者他		13回（年3回程度）
		蓄エネルギー制御技術WG	早大・林教授、事業者他		23回（年4回程度）
	Ⅱ	需給シミュレーションWG	東大・横山教授、事業者他		18回（年3回程度）
		実証WG	東大・横山教授、事業者他		12回（年2、3回程度）
Ⅲ	出力制御技術開発（風力）	有識者委員会	東工大・七原教授、外部有識者、実施事業者、METI他		4回（年2回程度）
		WG	事業者他		17回（年2、3回程度）
	出力制御技術開発（太陽光）	運営委員会	東大・横山教授、事業者他		6回（年2回程度）
		WG	事業者他		8回（年4回程度）

- 進捗報告会：ステアリングコミッティ（事務局：NEDO スマートコミュニティ部）
6 回開催。（参加者：PL、研究開発項目 I・II・III 実施事業者リーダークラス）
委員は表 2-6 を参照。
- 統合推進委員会（事務局：伊藤忠テクノソリューションズ・東京電力パワーグリッド）
11 回開催。（参加者：PL、外部有識者、研究開発項目 I・II 実施事業者、METI 他）
委員は表 2-7 を参照。
- ランプ予測技術開発WG（事務局：伊藤忠テクノソリューションズ）
13 回開催。（参加事業者：東京大学、日本大学、筑波大学、早稲田大学、電力中央研究所、伊藤忠テクノソリューションズ、日本気象協会、エネルギー総合研究所、東京電力HD、東京電力PG、北陸電力、中部電力、関西電力、中国電力、四国電力、九州電力、沖縄電力、電力広域的運営推進機関、NEDO）
- 蓄エネルギー制御技術WG（事務局：エネルギー総合工学研究所）
23 回開催。（参加事業者：早稲田大学、北海道大学、大阪府立大学、エネルギー総合研究所、北海道電力、東京大学、伊藤忠テクノソリューションズ、東京電力PG、NEDO）
- 需給シミュレーションシステムWG（事務局：東京電力パワーグリッド）
18 回開催。（参加事業者：東京大学、電力中央研究所、東京電力HD、東京電力PG、東光高岳、日本気象協会、伊藤忠テクノソリューションズ、エネルギー総合研究所、北海道電力、東北電力、電力広域的運営推進機関、NEDO）
- 実証WG（事務局：東京電力パワーグリッド・東光高岳）
12 回開催。（参加事業者：東京大学、電力中央研究所、東京電力HD、東京電力PG、東光高岳、日本気象協会、NRI セキュアテクノロジーズ、エネルギー総合研究所、伊藤忠テクノソリューションズ、NEDO）
- 出力制御有識者委員会（事務局：伊藤忠テクノソリューションズ）
4 回開催。（参加事業者：外部有識者、伊藤忠テクノソリューションズ、東北電力、東北大学、通研電気工業株式会社、NEDO）
- 出力制御技術（風力）WG（事務局：伊藤忠テクノソリューションズ）
17 回開催。（参加事業者：伊藤忠テクノソリューションズ、東北電力、東北大学、通研電気工業株式会社、NEDO）
- 出力制御技術（太陽光）運営委員会（事務局：エネルギー総合工学研究所）
6 回開催。（参加事業者：外部有識者、東京電力HD、東京電力PG、関西電力、北陸電力、九州電力、東京大学、早稲田大学、エネルギー総合工学研究所、産業技術総合研究所、NEDO）
- 出力制御技術（太陽光）WG（事務局：エネルギー総合工学研究所）
8 回開催。（参加事業者：東京電力HD、東京電力PG、関西電力、北陸電力、九州電力、東京大学、早稲田大学、エネルギー総合工学研究所、産業技術総合研究所、NEDO）

表2-6. 進捗報告会（ステアリングコミッティ）における登録メンバー（2018年度名簿）

（敬称略、役割ごと氏名五十音順 所属後ろ※は外部有識者）

氏名	所属	役職	役割
岩本 伸一	早稲田大学	名誉教授	PL
本庄 昇一	東京電力ホールディングス(株)	部長代理	事業者
早崎 宣之	伊藤忠テクノソリューションズ(株)	チーム長	事業者
管 孝博	伊藤忠テクノソリューションズ(株)	副主任研究員	事業者
蓮池 宏	(一財)エネルギー総合工学研究所	理事 部長	事業者
日浦 俊哉	(一財)エネルギー総合工学研究所	主管研究員	事業者
田辺 隆也	(一財)電力中央研究所	上席研究員	事業者
片岡 良彦	東京電力パワーグリッド(株)	課長	事業者
前田 直人	東京電力パワーグリッド(株)	副長	事業者
渡辺 慶一	東京電力パワーグリッド(株)	課長	事業者
濱田 拓	東京電力パワーグリッド(株)		事業者
大原 尚	東京電力パワーグリッド(株)	スペシャリスト	事業者
青柳 福雄	(株)東光高岳	執行役員 部長	事業者
池田 次郎	(株)東光高岳	部長	事業者
阿部 公哉	東北電力(株)	副部長	事業者
関沼 和浩	東北電力(株)	課長	事業者
和山 亘	東北電力(株)	主幹研究員	事業者
佐治 憲介	伊藤忠テクノソリューションズ(株)	主任	事業者
徳田 憲昭	(一財)エネルギー総合工学研究所	研究理事 部長	事業者
黒木 啓光	九州電力(株)	グループ長	事業者
前田 亮	東京電力ホールディングス(株)		事業者
矢部 邦彦	早稲田大学	主任研究員	事業者
古川 善規	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構	統括主幹	PM代理 事務局
岡山 仁	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構	主査	PM 事務局
須藤 晴彦	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構	主査	事務局

表2-7. 統合推進委員会における登録委員（2018年度名簿）

（敬称略、役割ごと氏名五十音順 所属後ろ※は外部有識者）

氏名	所属	役職	役割
横山 明彦	国立大学法人東京大学	教授	委員長
合原 一幸	国立大学法人東京大学	教授	委員
青柳 福雄	株式会社東光高岳	執行役員 部長	委員
蘆立 修一	東京電力ホールディングス株式会社	室長	委員
阿部 公哉	東北電力株式会社	副部長	委員
飯田 誠	国立大学法人東京大学	特任准教授	委員
井上 俊雄	一般財団法人電力中央研究所	所長	委員
岩堀 繁人	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社		委員
馬橋 義美津	東京電力パワーグリッド株式会社	グループマネージャー	委員
大野 照男	東京電力パワーグリッド株式会社	部長	委員
大原 尚	東京電力パワーグリッド株式会社	スペシャリスト	委員
荻本 和彦	国立大学法人東京大学	特任教授	委員
北 裕幸	国立大学法人北海道大学	教授	委員
小玉 亮	一般財団法人日本気象協会	部長	委員
小林 義明	株式会社東光高岳	部長	委員
定梶 潤	東京電力ホールディングス株式会社	副所長 兼 技術開発部長	委員
鈴木 靖	一般財団法人日本気象協会	最高技術責任者	委員
鈴木 和夫	一般社団法人日本風力発電協会（※）	副代表理事	委員
高見 潤	東京電力パワーグリッド株式会社	グループマネージャー	委員
田中 正博	東京電力ホールディングス株式会社	部長	委員
七原 俊也	国立大学法人東京工業大学（※）	教授	委員
鈴木 伸	NRIセキュアテクノロジーズ株式会社	マネージャー	委員
蓮池 宏	一般財団法人エネルギー総合工学研究所	研究理事 部長	委員
馬場 旬平	国立大学法人東京大学	准教授	委員
早崎 宣之	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社	チーム長	委員
林 泰弘	学校法人早稲田大学	教授	委員
平口 博丸	一般財団法人電力中央研究所	首席研究員	委員
本庄 暢之	一般社団法人日本風力発電協会（※）	会長	委員
本庄 昇一	東京電力ホールディングス株式会社	部長代理	委員
松村 喜治	北海道電力株式会社（※）	グループリーダー	委員
浅見 佳郎	東京電力パワーグリッド株式会社	グループマネージャー	事務局
管 孝博	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社		事務局
萩原 真央	東京電力パワーグリッド株式会社		事務局
濱田 拓	東京電力パワーグリッド株式会社		事務局
渡辺 慶一	東京電力パワーグリッド株式会社	課長	事務局

岩本 伸一	学校法人早稲田大学	名誉教授	PL
諸住 哲	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構	統括研究員	PM
岡山 仁	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構	主査	サブ PM
加藤 寛	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構	統括研究員	オブザーバー
小島 正禎	東京都環境局		オブザーバー
近藤 あさ美	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構	主任	オブザーバー
鈴木 敏明	東京都環境局		オブザーバー
須藤 晴彦	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構	主査	オブザーバー
辻井 翔太	経済産業省	室長補佐	オブザーバー
永田 充穂	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構	主査	オブザーバー
廣瀬 圭一	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構	主査	オブザーバー
古川 善規	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構	主査	オブザーバー
前野 武史	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構	主査	オブザーバー
東 太郎	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構	主任	オブザーバー
保田 友晶	経済産業省	課長補佐	オブザーバー

4.2 研究開発目標の達成に向けたマネジメント

研究開発全体の管理・執行に責任を有する NEDO は、経済産業省および各研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、本事業の目的および目標に照らして適切な運営管理を実施した。具体的には、以下の通り事業内容と事業範囲毎による各WGと統合推進委員会に NEDO も参画し、統合推進委員会においては第三者の立場である有識者委員からの助言、指摘を頂きつつプロジェクトマネジメントを実施した。

- ・各研究項目単位主催のWGでの定例会に NEDO がオブザーバーとして参加し、研究開発の目的、計画、進捗の共用と、課題及び解決手法の共有。事業の方向性や課題について議論し、課題に対しては解決に向けた対策とフォローをWG内外の場で実施した。
- ・年に2回程度開催する各WGを統括する統合推進委員会にて、PLの他、オブザーバーとして外部有識者や経済産業省から参加頂き、事業推進内容の確認と課題に対する助言を頂く場として議論し、進捗報告だけに終わらない技術的なマネジメントを実施した。PLからも毎回各WGへの助言を実施した。表 2-8 に統合推進委員会の開催実績を示す。

表 2-8 統合推進委員会の開催実績

回数	開催日	議題
第1回	2014年7月24日	各WGの実施計画
第2回	2014年12月19日	WG間の連携と各WGの進捗状況
第3回	2015年3月17日	各WGの進捗状況（モニタリング設備構築状況とベンチマーク、制御ロジック基礎検討、シミュレーションシステム調査状況、ならびに新島実証における設備仕様検討）
第4回	2015年7月22日	各WGの進捗状況（モニタリング設備構築状況とランプ原因調査、制御ロジックモデル検討、シミュレーションシステム基礎設計状況、ならびに新島実証における設備構築状況）
第5回	2016年1月18日	各WGの進捗状況（中間評価に向けた目標検討と予測システム検討状況、制御ロジックのシミュレーション結果状況、シミュレーションシステムプロトタイプ検討状況、ならびに新島実証における設備構築、試験項目検討）
第6回	2016年8月2日	各WGの進捗状況（モニタリング設備構築状況と予測システム検討状況、制御ロジック実装とBG/HP、CAES実証設備構築検討、シミュレーションシステムプロトタイプ製作状況、ならびに新島実証における設備構築状況）
第7回	2017年1月25日	各WGの進捗状況（モニタリング設備構築状況と予測システム検討状況、制御ロジック実装とBG/HP、CAES実証設備構築検討、シミュレーションシステムプロトタイプ製作状況、ならびに新島実証における設備構築状況）
第8回	2017年7月12日	各WGの進捗状況（モニタリング設備実証状況と予測システム検証状況、制御ロジック実装とBG/HP、CAES実証状況、シミュレーションシステムプロトタイプ検証状況、ならびに新島実証における実証状況）

第9回	2018年2月27日	各WGの進捗状況（モニタリング設備実証状況と予測システム検証状況、制御ロジック実装とBG/HP、CAES実証状況、シミュレーションシステムプロトタイプ検証状況、ならびに新島実証における実証状況）
第10回	2018年10月12日	各WGの進捗状況（モニタリング設備実証状況と予測システム検証状況、制御ロジック実装とBG/HP、CAES実証状況、シミュレーションシステムプロトタイプ検証状況、ならびに新島実証における実証状況）
第11回	2019年1月28日	各WGの進捗状況（各WGの検証ならびに実証結果、成果のまとめ）

- ・統合推進委員会を受け、各WGよりPLに対して事業進捗報告を行う場としてNEDO主催による進捗報告会（ステアリングコミッティ）を年に1、2回程度開催し、事業推進にあたり方向性の確認と課題に対する指導・助言をPLより実施した。表2-9に進捗報告会の開催実績について示す。

表2-9 進捗報告会（ステアリングコミッティ）の開催実績

回数	開催日	議題
第1回	2014年12月3日	各WGからの進捗報告・確認（モニタリング装置設置状況、CAES選定状況、シミュレーション基礎検討状況、実証試験設備と試験案）
第2回	2015年3月10日	各WGからの進捗報告・確認（ベンチマークテスト状況、CAES選定状況、シミュレーション基礎検討状況、実証試験設備と試験案）
—	2015年5月28、29日	新島実証設備構築状況を確認。主に需給シミュレーションWGと実証WGの進捗を確認。
第3回	2016年3月8日	各WGからの進捗報告・確認（モニタリング設備設置とランプ要因解析状況、制御ロジック検討状況、シミュレーションプロトタイプ検討状況、実証試験設備構築状況）
第4回	2017年3月7日	各WGからの進捗報告・確認。中間評価後の役割分担および各WG間の連携を確認。
第5回	2018年3月6日	各WGからの進捗報告・確認。最終目標に対する方向性の確認。
第6回	2019年2月12日	各WGからの最終進捗報告・確認。各WGの成果報告書のまとめに向けた進捗確認。

これら定期的な会合や打合せを通してプロジェクト管理を遂行し、研究成果や今後の研究内容について妥当性・実現性の評価を行い、今後の研究開発促進や成果の最大化を図っている。

なお、本事業における成果の取り扱いについては、以下の通りとする。

4.3 情勢変化に対するマネージメント

再生可能エネルギーの更なる導入拡大の背景のもと、遠隔出力制御システムの導入義務化及び時間単位での抑制に関する法令（電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法施行規則）が2015年1月に改正され、その対応として実証WGにおいて、需給運用試験項目の一つに加え、それに対応する設備を構築、検証し妥当性を確認した。また、2015年度より研究開発項目Ⅲ（再生可能エネルギー連系拡大対策高度化）の風力出力制御技術開発を、2016年度より太陽光出力制御技術開発を新たに加えて、対応が必要とされる技術開発を推進した。

また、電力小売り自由化と同時に「計画値同時同量制度」が2016年4月より導入が決定されたのに伴い、蓄エネルギー制御技術WGと実証WGにおいて変動緩和制御に加えて同制度に対応した制御手法の検討を行っており、その妥当性を確認した。

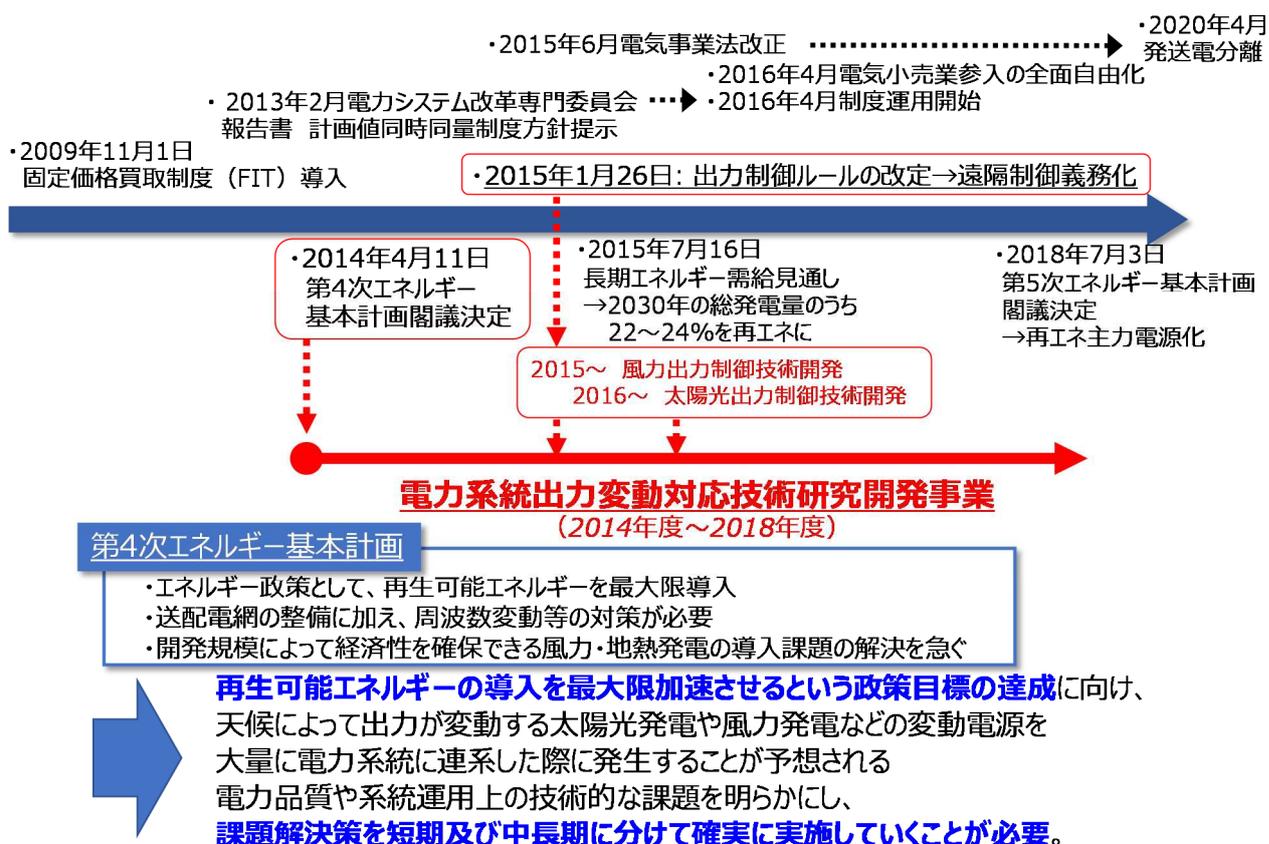


図 2-11 情勢変化に対するマネージメント

情勢変化	対応
「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法施行規則」が2015（H27）年1月に改正され、遠隔出力制御システムの導入義務化及び時間単位での抑制に関する法令改正がなされた。	<ul style="list-style-type: none"> 研究開発項目Ⅲ（再生可能エネルギー連系拡大対策高度化）を新たに加えて、対応する技術開発を推進した。 実証WGにおいて、需給運用試験項目の一つに加え、それに対応する設備を構築し、検証を行った。
電力小売り自由化と同時に「計画値同時同量制度」が2016（H28）年4月より導入された。	<ul style="list-style-type: none"> 蓄エネルギー制御技術WGと実証WGにおいて変動緩和制御に加えて、同制度に対応した制御についても検討を行っており、その妥当性を確認した。

表 2-9 情勢変化への対応まとめ

4.4 評価に対するマネージメント

需要者側ではなく供給者側からの観点で、再生可能エネルギー連系拡大を目的とした電力系統の課題と対策を対象として必要な取組を洗い出し、その内容を具体化することを目的に第三者からなる研究会を2013年度に3回開催した。経済産業省資源エネルギー庁からオブザーバーとして参加頂き、本研究開発における事前評価的な議論を行った。

また、2014年2月のNEDO事前評価において、電力系統出力変動対応技術研究開発をNEDOが主導して実施する事の妥当性について評価され、本事業の位置づけは妥当であり、必要性も十分であると判断された。

なお、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を2016年度に実施し、事後評価を2019年度の実施を予定している。2016年10月に中間評価を受けご指摘いただいた内容とその対応について、以下に纏める。

表 2-10 中間評価に対するマネージメント

指摘	対応
<p>ランプ予測、出力制御、需給制御、それぞれの課題に対して、方策の適用範囲が電力会社の同一管内・同一区域なのか、異管内・異区域なのか、対象地域が曖昧なところが見受けられる。この点を明確にした上でプロジェクトを進めてほしい。</p>	<p>ランプ予測WGは、管区ごと（北海道、東北、東京）で予測評価を実施した。</p> <p>蓄エネ制御WGは風力発電所側（単独ウィンドファームまたは複数ウィンドファーム）での制御開発を推進した（但し、制御ロジック開発用には、データ入手の制約から東北エリア合計の風力出力データと対応する予測データを使用した）。</p> <p>需給WGのシミュレーションシステムおよび検証した再エネ課題対応の考え方については、系統に依存しない一般的な成果を指向して検討し成果を得た。</p> <p>また、全体推進においては、全WGを統合する統合推進委員会にて俯瞰した確認して、整理を行う等の取り組みを実施した。</p>
<p>それぞれの研究開発項目に関する開発が独立に行われていて、相互の交流がほとんどない。他のWGの動き・成果を自WGとリンクする必要がないか、反映できることはないかという視点を常に持ち、有機的な融合をお願いしたい。</p>	<p>研究開発項目間の連携については、プロジェクト開始当初から、互いのWGに参加し、成果の進捗状況を確認するとともに、進め方について意見交換を行う等の活動を実施していた。</p> <p>中間評価時以降、研究開発項目Ⅲを加えてからも、研究開発項目の枠を超えてWG間の連携を行い、有機的な形体での推進を行った（具体的内容は、【WG間の連携内容】参照）。</p>
<p>一部の研究開発項目では実施されているが、数値目標などの明確な目標を設定し、確実にプロジェクトが進むように工夫をすべきである。</p>	<p>ランプ予測WGでは予測の大外しの最大振れ誤差、蓄エネ制御WGでは変動緩和要件等、可能なものは数値目標を設定して推進した。設定が困難なもの、例えば蓄エネ制御WGでの計画発電では、閾値がないため単純な目標設定は困難なため、蓄エネ容量とインバランス量の関係を</p>

	<p>データで確認検証する等、データベースで評価するように推進した。定性的に目標設定した開発項目については、取組み内容をより具体的に記載するといった工夫を行った。</p>
<p>ランプの定義次第で、プロジェクト全体の研究成果は大きく変化する。風力モニタリングの計測結果や風力データベースを早急に取り込み、現在のランプ定義の妥当性を、需給シミュレーションを用いて早期に検証する必要がある。</p>	<p>設定したランプの定義は、国際的にも統一の見解は無い。本プロジェクトのランプの定義は、各国のそれぞれの考え方を調査するとともに、その内容も踏まえ、国内の有識者との長期的な議論により設定したものであり、一定の妥当性がある。需給WGにおいて、設定した定義に基づくランプアラートや複数の基礎的な風力予測活用手法について、需給運用への活用効果の検証を実施し、風力予測精度の向上による需給状況向上の可能性を確認できたことから、妥当性があるものと言える。</p>
<p>各WGの成果については、国内への普及に向けて共通の部分と地域固有の部分を切り分けて示しておく、実用化するための課題がより明確になり、マイルストーンの精度も上がると思われる。</p>	<p>ランプ予測は、学習データを用意できれば全国共通で利用可能な技術成果を開発することができた。蓄エネ制御WGでの変動緩和技術は、一般送配電事業者が設定する接続要件に依存するので地域固有、計画発電は全国共通技術として開発した。需給シミュレーションは、系統に依存しない一般的な成果を得ており、全国共通で利用可能なものとして開発した。出力制御技術開発においては、全国共通で利用可能な標準的なシステム仕様開発を行った。</p>
<p>現在、電力システム改革により事業背景が大きく変化している。成果の実用化のためには、外部の動きと本技術開発の方向性との整合がとれるよう、必要に応じて計画の修正を検討する努力をお願いしたい。</p>	<p>ランプ予測は、事業開始時の国内需給の運用にインパクトを与えるほど風力設備が連系されていなかったが、改善の観点から定量目標を設定して要素技術を開発し、大量導入を想定した電力需給解析により導入効果を評価した。</p> <p>蓄エネ制御技術開発では、活用段階に向けて電力システム改革等の制度設計に関する最新情報を織り込んで評価した。</p> <p>需給WGでは、原則的には長期的な視点を重視し、市場/ルールの変更に依存しない仮定条件（発電機等ハードウェアの量と性能、再エネ・需要値の予測・実績波形）の下での最適性を指向し検討した。</p> <p>実証WGでは、再生可能エネルギーの遠隔出力制御システムの導入義務化がなされたことを受けて、需給運用試験項目の一つに加えて検証を行った。また、需要家側のアグリゲート機能も事業背景に応じた実施検証を行った。</p>

5. 知的財産権等に関する戦略

知的財産権等に関する戦略については、成果に関して公開（オープン）を基本としている。以下の内容で、NEDO と事業者のそれぞれの立場で協力し対応を進めた。

<知的財産権等に関する戦略>

- 本事業の目的は政府の方針である再生可能エネルギーの導入拡大に対する基盤技術の普及であることから、成果に関して公開（オープン）を基本とし、事業者は NEDO と協力し積極的に”成果の普及”や”標準化施策等”を進め、一般送配電事業者等に展開する。
- 事業終了後も成果が活用されるよう、取り組みを継続する。

○成果の普及

本研究開発で得られた研究成果についてはNEDO、委託先とも普及に努めるものとする。具体的には、各研究開発成果と技術ノウハウは、一般送配電事業者等へ公開し、再生可能エネルギー大量導入に備えた基盤技術として、各社での系統運用に貢献する。

○標準化施策等との連携

得られた研究開発の成果については、標準化等との連携を図るため関係者へのデータ提供、標準案の提案等を積極的に行う。

○知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

3. 研究開発成果について

1. 事業の最終目標に対する達成度

基本計画に定めた事業全体の最終目標に対する成果と達成度について、以下の表Ⅲ.1の通りWG毎に示す。全ての研究開発項目において最終目標を達成した。

研究開発項目	研究開発目標〔最終目標〕	成果	達成度
研究開発項目(I) 「風力発電予測・ 制御高度化」 (予測とウィンド ファーム内外制御) ランプ予測技術開発WG	風力発電の出力データおよび気象データのモニタリングによるランプ現象の要因分析を行い、複数のアプローチからランプ予測モデルを開発する。 ランプ予測との連動した風車出力変動緩和制御システムを確立する。ウィンドファームベースで出力変動緩和性能を開発当初から比較して20%低減達成を目指す。	<ul style="list-style-type: none"> ・複数のアプローチによるランプ現象の予測手法高度化について、世界的に類を見ない画期的な技術による信頼性の高い統合予測を達成した。 ・予測の精度評価において全てのエリアにおいて開発目標を達成、この結果は海外プロジェクトの予測精度と比較しても遜色なく、世界最高水準を達成。 ・ウィンドファーム内を対象とした高度化において、風車流入風の計測・分析、制御手法のシミュレーションを検討し、世界で初めての試みとしてガストに特化した変動緩和制御を開発し、実証にて確認できた。 ・エリア内の複数ウィンドファームを対象とした高度化では、設備費を増加させることなく、年間の逸失電力量率を低く抑えた上で、超短周期および短周期変動を低減することができた。 	○
研究開発項目(I) 「風力発電予測・ 制御高度化」 (蓄エネ制御) 蓄エネルギー制御技術 WG	予測技術を活用しコスト最小となる最適な制御分担に基づいた風車制御技術と蓄エネルギー制御技術を確立する。	<ul style="list-style-type: none"> ・変動緩和と計画発電の二つのケースについて風力発電予測を活用した新しい蓄エネルギー制御技術を開発し、蓄エネルギー容量の最小化を図った。開発した制御ロジックを3種類の蓄エネルギー実証設備に適用し実用性と課題を評価した。 ・また、蓄エネルギー制御と風車制御を組み合わせて変動緩和および計画発電を行う制御技術を開発した。蓄エネルギー単独の場合と比較して、風車制御を組み合わせることにより所要蓄エネルギー容量を大幅に削減できることを確認し、総コスト最小となる風車制御の実施割合について、風力発電の売電単価や蓄エネルギー装置のコスト等との関係性を定量的に示した。 	○

<p>研究開発項目(Ⅱ) 「予測技術系統運用シミュレーション」 (シミュレーション)</p> <p>需給シミュレーションWG</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・年～秒オーダーの一貫した解析に向けた需給解析シミュレータ開発 ・需給課題全体を俯瞰する電力需給課題解決の考え方確認 	<p>需給解析シミュレータを開発した。</p> <p>これにより、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・将来の需給状況に対する、従来にはない信頼度関連指標による定量的な分析を可能とした。 ・従来にはない、将来の需給状況の定量的な分析に基づく「各種需給対応方策の価値(ポテンシャル)の定量的な評価」を可能とした。 <p>→実系統を模した多地域系統によるシミュレーションにより、信頼度・コスト・二酸化炭素排出量を指標とした定量分析が可能であることを確認した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・需給課題を俯瞰する需給課題解決の考え方を考察し確認した。具体的には、「需給課題を最適化の枠組みに整理する」こと、および「市場・ルールの考慮を別フェーズとして最適化を行う」ことについて、それぞれの有効性を確認した。 	○
<p>研究開発項目(Ⅱ) 「予測技術系統運用シミュレーション」 (実証試験)</p> <p>実証WG</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・再エネ出力予測を取り入れた需給運用計画・制御、発電機・蓄エネ設備等の調整力拡大、再エネの抑制量最小化の各技術を組み合わせ、再生可能エネルギーの導入量を拡大する制御システムを構築し、最適な組み合わせなど制御・システムの高度化を行う。 ・また、電力品質面からの評価に加え、設備の運用導入費用等も含めた経済性を考慮した総合評価を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> ・再エネ出力予測の信頼度区間等の需給運用への活用、また蓄エネ・再エネ制御等の調整力を組み合わせる制御システムを開発し、2030年再エネ導入を模擬した新島実系統において、安定した需給運用を検証した。 ・この再エネ導入下で、運用費用と対策設備を考慮した経済性評価を実施し、設備対策による効果や最適な対策設備容量を評価した。 	○
<p>研究開発項目(Ⅲ) 「連系拡大高度化」 (出力制御(風力))</p> <p>出力制御技術(風力)WG</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・風力発電の出力制御に関する技術仕様を標準化するとともに、一般送配電事業者の中央給電指令所から風力発電事業者までの通信回線を含む遠隔出力制御システムを構築し、実際の電力系統において遠隔出力制御の実行性を実証する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・関係者間の協議を経て風力発電の出力制御に関する技術仕様を策定し公表した。 ・開発・構築した遠隔出力制御システムにより、中央給電指令所から配信した出力上限値以下に風力発電所の発電出力を制御できることを確認した。 	○

<p>研究開発項目(Ⅲ) 「連系拡大高度化」 (出力制御(太陽光)) 出力制御技術(太陽光) WG</p>	<p>・太陽光発電の出力予測と出力把握の高度化を行い、実際の電力システムを使って検証しながら事業者間の制御量を事業者の出力比率に応じて決定する出力制御手法を開発する。</p>	<p>・中央給電指令所等において、域内に分散設置される太陽光発電設備の発電出力を把握し、これを踏まえた出力制御の指令を行うための機器および発電出力のマネジメントシステムを構築した。 ・また、電力システムに連系している発電事業者に出力制御機能付きパワーコンディショナー(PCS)を設置し、双方向と片方向双方の通信方式による実効性の検証を中心に行い、エネルギーマネジメントシステムや蓄エネルギーとの連動などを踏まえた需給制御手法の開発と実証、自端制御機能を具備したPCS機能の高度化開発も行った。</p>	<p>○</p>
---	---	--	----------

○達成、△一部達成、×未達

表 3-1 研究開発最終目標と達成状況

本章では以降、実施計画書にWG毎に定めた個別の最終目標に対する成果と達成度について、以下の通りWG毎に説明する。

- 1.1 研究開発項目(I) 風力発電予測・制御高度化：ランプ予測技術開発WG
(実施者：東京大学〔再委託：筑波大学、日本大学〕、早稲田大学、電力中央研究所、伊藤忠テクノソリューションズ〔再委託：日本気象協会〕、)
- 1.2 研究開発項目(I) 風力発電予測・制御高度化：蓄エネルギー制御技術WG
(実施者：早稲田大学〔再委託：北海道大学、大阪府立大学〕、エネルギー総合工学研究所〔再委託：北海道電力〕)
- 1.3 研究開発項目(II) 予測技術システム運用シミュレーション：需給シミュレーションWG
(実施者：東京大学、電力中央研究所、東京電力ホールディングス、東京電力パワーグリッド、東光高岳)
- 1.4 研究開発項目(II) 予測技術システム運用シミュレーション：実証WG
(実施者：東京大学、電力中央研究所、東京電力ホールディングス、東京電力パワーグリッド、東光高岳〔再委託：NRIセキュアテクノロジーズ、日本気象協会〕)
- 1.5 研究開発項目(III) 再生可能エネルギー連系拡大対策高度化：出力制御技術(風力)WG
(実施者：東北電力、伊藤忠テクノソリューションズ〔再委託：日本気象協会〕、東北大学、通研電気工業)
- 1.6 研究開発項目(III) 再生可能エネルギー連系拡大対策高度化：出力制御技術(太陽光)WG
(実施者：東京電力ホールディングス、東京電力パワーグリッド、関西電力、北陸電力、九州電力、東京大学〔再委託：産業技術総合研究所〕、早稲田大学、エネルギー総合工学研究所)

1.1 研究開発項目(I) 風力発電予測・制御高度化：ランプ予測技術開発WG

本開発項目では、実証試験を主とする本事業の推進に向けた設備構築のための検討、並びにシステム開発等において、最終目標を達成した。

表 3-1-1. 最終目標の達成度（要約）

事業項目	担当	最終目標	成果	達成度
項目(I) 風力発電予測・制御高度化： ランプ予測技術開発WG	伊藤忠テクノソリューションズ、電力中央研究所、東京大学、早稲田大学（再委託先：日本大学、筑波大学、日本気象協会）	<p>風力発電および気象モニタリングシステムの構築： ランプ予測システム等と連携した実用化システムについて目途をつける。</p> <p>ランプ予測技術の開発： 気象データの蓄積を利用して分析を続け、ランプ現象発生の可能性や予測可能性に関する分類の定量化をより精緻なものとする。 ランプ現象の要因分析に基づくランプ予測技術を確立する。</p> <p>定量的評価として、本技術開発が発電コストなどの経済的指標に与える影響を分析する。定性的評価として、本技術開発が需給バランス、必要調整力量などの供給安定性に与える影響を分析する。また、予測値が大きく外れる、大外し事例など電力システム運用に大きなインパクトを持つ現象発生時での、本技術開発が与える影響を評価する。 北海道・東北・関東地域におけるランプ予測システムおよび複数予測手法の統合</p>	<p>気象学的要因分析によるアプローチにてメソモデルアンサンブル予測手法と物理スキームの最適化を含むパターンWRF手法を開発し、ランプ現象の予測精度向上に寄与した。</p> <p>アンサンブル予測によるアプローチとして、確率的な発電出力及びランプの予測手法を開発し、東北エリアでランプアップアラート捕捉率は50%を超えるなど精度向上の効果が得られた。統計的手法によるアプローチとして、気圧主成分空間内の客観情報に基づく統計ダウンスケージング手法を開発し、気象+統計の連携で高精度な予測を実現。機械学習によるアプローチとして、稀なランプ現象を予測する際の困難性を世界で初めて明示し、この問題に対応するサンプリングアプローチを開発し、予測精度の改善に成功した。</p>	○

		<p>システムに関する評価をおこない、リアルタイムでの予測システムの精度、コストおよび信頼性を総合的に検討し、実用可能性を評価して実用化システムについて目処をつける。</p>	<p>Dynamical Systems 理論によるアプローチとして、従来の風力予測とは全く異なる出力およびランプ予測手法を開発した。全アプローチの統合において、予測ステップごとの重み付き平均を用いる Prediction-Step-Dependent Expert Advice 法を新たに開発し、世界的に類を見ない画期的な技術による信頼性の高い統合予測を出力した。予測の精度評価において全てのエリアにおいて開発目標を達成、この結果は海外プロジェクトの予測精度と比較しても遜色なく、世界最高水準を達成。実運用を模擬したシミュレータによる予測の価値評価により、ランプアラートを使用することで限られた費用増で供給安定性が向上することを確認。さらに、予測システムの開発と試運用では、稼働率と予測発表成功率、導入・運用コストを総合的に評価し実用化の見通しが得られた。</p>	
--	--	---	--	--

	東京大学	ランプ予測との連動した風車出力変動緩和制御システムを確立する。また、ナセル風速計、ナセルライダーによる変動緩和制御性能の違いに関する計測評価を実施する。ウィンドファームベースで出力変動緩和性能を開発当初から比較して20%低減達成を目指す。	ウィンドファーム内を対象とした高度化において、風車流入風の計測・分析、制御手法のシミュレーションを検討。世界で初めての試みとしてガストに特化した変動緩和制御を開発し、実証試験により確認。	○
	東京大学	開発したウィンドファーム間制御技術が電力システムへ与える影響として実証試験を行う。また、実証試験結果の分析により、開発された本技術の適用効果を検証する。	エリア内の複数ウィンドファームを対象とした高度化では、風力発電の既存の機能の活用による出力変動抑制制御により、設備費を増加させることなく、年間の逸失電力量率を低く抑えた上で、超短周期および短周期変動を低減することができた。	○

○達成、△一部未達、×未達

1.2 研究開発項目（I） 風力発電予測・制御高度化：蓄エネルギー制御技術WG

本開発項目では、風力発電予測・制御高度化に向けた蓄エネルギー技術を用いた出力変動制御技術の開発等において、最終目標を達成した。

表 3-1-2 最終目標の達成度（要約）

事業項目	最終目標	成果	達成度
研究開発項目（I） 風力発電予測・制御高度化 蓄エネルギー制御技術WG：	予測技術を活用したコストミニマムとなる最適な制御分担に基づいた風車制御技術と蓄エネルギー制御技術を確立する。	<ul style="list-style-type: none"> ・変動緩和と計画発電について風力発電予測を活用した新しい蓄エネルギー制御技術を開発し、蓄エネルギー容量の最小化を図った。開発した制御ロジックを3種類の蓄エネルギー実証設備に適用し、制御が有効に機能することを実証した。 ・また、蓄エネルギー制御と風車制御を組み合わせると変動緩和および計画発電を行う制御技術を開発した。蓄エネルギー単独の場合と比較して、風車制御を組み合わせることにより所要蓄エネルギー容量を大幅に削減できることを確認し、総コスト最小となる風車制御の実施割合について、風力発電の売電単価や蓄エネルギー装置のコスト等との関係性を定量的に示した。 	○

早稲田大学	<p>圧縮空気エネルギー貯蔵による出力変動制御技術の開発：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「ランプ予測技術の開発」において確立されるランプ予測技術に基づいて、予測誤差の補正による風力発電の計画発電を目的に、最適な制御分担に基づいた出力変動制御技術を確立する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・変動緩和では、予測情報を活用した出力事前制御、予測誤差の推定方法を開発し、既存の手法と比較して所要蓄エネルギー量を大きく削減できる事を確認し、数値目標を達成した。また、「ランプ予測技術の開発」において開発した統合予測を用いることで、既存技術による予測と比較して要件逸脱時間を削減でき、効果を確認した。 ・計画発電では、計画値作成時と供給開始時のSOCの推移を考慮した手法に加え、予測誤差の利用方法、SOC調整最大値の補正手法などを開発し、これらの手法を用いることでインバランスの大幅な削減を可能とした。 ・開発した変動緩和向けおよび計画発電向け制御手法をCAES実証設備に実装し、制御の効果を定量的に評価した。 	○
北海道大学	<p>Power to Heatによる出力変動制御技術の開発：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・さまざまなウィンドファームのモニタリングデータを活用し実証試験を行いながら、ランプ現象抑制制御の効果を総合的に評価すると共に、バイオガス発電機、ヒートポンプに望まれる性能の評価、制御パラメータの設定指針等を明らかにする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・変動緩和ならびに計画発電の二つのユースケースに対して、ヒートポンプ（HP）やバイオガス発電機（BG）に特有の動作特性を組み込み、ガスバッグと蓄熱槽という互いに関連する二つのストレージを有効に活用するための制御手法を開発し、実機試験において開発した制御が有効に動作することを確認した。また、実機の実験結果に基づく詳細モデルを用いたシミュレーションにより、HP/BGシステムが特に長周期の変動や予測誤差への対応に有用であることを明らかにした。 	○

北海道 電力	<p>Power to Heat による出力変動制御技術の実規模データ評価：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実際に連系された家畜系バイオガス発電プラントの実運用下における運転特性を明らかにし、開発する出力変動制御技術の実システムにおける実現性・有効性の評価に必要な知見を提供し、効率的なバイオガス発電プラントの運用方策や熱エネルギーの有効利用方策について提案する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・大規模家畜系バイオガス発電プラントを対象に、発電量、熱発生量、補機動力、エネルギー収支等の運転特性を計測により明らかにし、出力変動制御技術の評価に必要な知見を提供した。また、ガスホルダーを蓄電池と見立てた蓄電単価、蓄電容量を評価して発電機の出力制御に係る運用方策や熱エネルギーの有効利用方策を提案した。 	○
大阪府 立大学	<p>蓄電池および高精度予測情報を活用した出力変動制御技術の開発：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・様々なウィンドファームのモニタリングデータを活用し実証試験を行いながら、必要な蓄電池容量を実データに基づいて再評価する。 ・対象とするエリア全域に対するランプ現象抑制を目的とした風力発電の出力変動抑制制御手法へ提案手法を拡張するとともに、予測誤差に対応するための蓄電池 SOC 管理手法を開発し、総合的な評価を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> ・風力発電の変動緩和および計画発電について、必要な蓄電池容量を最小化するための制御手法を開発した。 ・確定論最適化手法では、風力出力予測データを確定値とみなして使用し、線形計画法による最適化を行った。既存の手法と比較して所要蓄電池容量を大きく削減できる事を確認し、数値目標を達成した。 ・確率論最適化手法では、風力出力データを解析して予測誤差分布を仮定し、その情報を取り入れた最適化を行った。さらに、二つの手法の組合せも検討した。 ・蓄電池の実証設備を構築し、各手法の実証試験を通じて制御機能を確認するとともに、実機特性を考慮して制御モデルを改良した。 	○

<p>エネルギー総合工学研究所</p>	<p>蓄エネルギー技術を用いた出力変動制御技術の実証試験および総合評価：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・平成 28 年度までに構築した蓄エネルギー実証設備において、①および②項において開発した制御に従った運転が可能であることを実証する。 ・国内外における系統規模の蓄エネルギー技術とその制御技術の開発動向を踏まえ、本事業において開発・実証を行った蓄エネルギー技術を含む出力変動制御技術の実用化に向けたロードマップを作成する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・構築した蓄エネルギー実証設備（圧縮空気エネルギー貯蔵（CAES）、ヒートポンプとバイオガス発電機による Power to Heat システム（P2H））を用い、本事業で開発した制御による運転実証運転を実施した。 ・本事業において開発した出力変動制御技術（変動緩和および計画発電）、並びに CAES と P2H に関して、実用化に向けた展望を取り纏めた。 	<p>○</p>
---------------------	---	--	----------

○達成、△一部未達、×未達

1.3 研究開発項目(Ⅱ) 予測技術系統運用シミュレーション：需給シミュレーションWG

本開発項目では、需給シミュレーションシステムを構築する解析ロジックの開発仕様を確定、そのプロトタイプの開発等において、最終目標を達成した。

表 3-1-3 最終目標の達成度（要約）

事業項目	担当	最終目標（要約）	成果	達成度
1 システム理論的基礎の研究	東京大学	再生可能エネルギー（再エネ）大量導入を考慮した需給シミュレーションシステムの（電力需給解析シミュレータ）解析ロジックの基礎理論に関する調査・研究を実施し、解析ロジックの理論的基礎を確立する。	再エネ大量導入時に活用される主要な電力貯蔵装置として、既存の電力設備である揚水発電機と新規設備として系統用蓄電池が利用されると想定し、これらの最適運用を検討するための解析手法の確立について研究を実施した。 最適週間運用計画の策定手法と、その運用計画の評価法として1日毎に最適化計算を行う解析手法を提案した。そして、実際に、この手法を用いて、再エネの出力予測や予測誤差を考慮したケースや、発電機と電力貯蔵装置の予備力の分担効果の検討、多地域連系系統における電力融通効果について検討を行い、提案手法の妥当性を確認した。	○
2 システム仕様の研究	電力中央研究所	電力需給の仕組みの理解や再エネ大量導入を支える電力需給の考え方の検討に資する解析基盤「電力需給解析シミュレータ」の技術仕様を開発する。 ●年間・月間オーダの供給力・調整力のアデカシー評価から、週間・前日・当日の需給運用計画、実需を模した秒オーダの需給制御に亘る検討を対象とする。 ●従来技術にはない、各種の需給面の対応（需給対応）の優先順位とその準備に必要なリードタイムの考	需給対応の優先順位とその準備に必要なリードタイムを考慮し、需給対応として再エネ制御および地域間連系線活用を考慮可能な以下の3モデルで構成する新規性の高い電力需給解析シミュレータの技術仕様を構築した。 ●供給信頼度評価モデル（年間・月間）：調整力のアデカシー（調整容量の十分性）を確率的に評価する新しい手法、従来技術では考慮していないランブ調整力の制約を考慮した電源構成最適化手法、損益分岐点理論に基づく調整力の新しい経済	○

		<p>慮により、「どんな対応をどの時点で」といった我国の実運用の業務フローに即した分析を可能とする。</p> <p>●需給対応として、再エネ制御と地域間連系線活用（広域調整）の考慮を可能とする。</p> <p>●需給状況の分析とその分析に基づく各種需給対応の効果（価値）の定量的評価を可能とする。</p>	<p>性評価手法等を開発した。</p> <p>●需給運用計画最適化モデル（週間・前日・当日）：揚水発電をランプ調整力として最大限活用（需要ランプを平準化）する新しい揚水発電運用計画手法、従来技術では考慮していないランプ調整力の制約を考慮した電源起動停止計画手法、地域内系統の潮流制約を考慮可能な最適潮流計算技術に基づく経済負荷配分手法等を開発した。</p> <p>●負荷周波数制御（LFC）シミュレーションモデル（秒オーダー）：実需を模した需給制御における周波数・連系線潮流の変化を計算するLFCシミュレーション機能、周波数面で過酷な断面抽出のためのスクリーニング機能を開発した。</p> <p>本シミュレータ仕様の検証では、2030年頃を想定した東日本3地域系統相当データへの適用により、再エネ大量導入時の需給状況を概観し、需給対応の効果を定量的に分析・評価できることを確認した。</p>	
3 システム適用の研究	東京電力パワグリッド・東京電力ホールディングス	<p>再エネ出力の予測と制御を踏まえた電力需給の基本的な考え方を検討するためのテストモデル・シミュレーション条件等の検討条件、求めるべき成果を整理する。さらに、再エネ導入拡大における出力の予測と制御を踏まえた電力需給および課題解決の基本的な考え方を検討する。</p>	<p>検討対象を東日本エリアを模した3エリア系統とし、検討年度を2030年と設定した。電源構成、エリア間連系、電源設備等諸元、需要・再エネ時系列、設備・機器の運用・制御方法などの条件を設定した。予測の発表時刻や再エネへの抑制指令タイミングの制約等現実的な要因と、予測の信頼区間やランプ警報活用方法など先進的な条件を考慮したモデルが構築できた。</p> <p>数値検討に求める結果としての評価指標を検討した。評価指標は消費者からみた電気の原</p>	○

			<p>価、二酸化炭素（CO2）排出量とした。また補助的な指標として、信頼度の余裕にも着目することとした。特定の事業者の視点ではなく社会全体を見据えた評価のベースを決めることができた。</p> <p>電力需給解析シミュレータを用いて数値検討を行い、各種調整力・予測精度の向上方策など、手段毎の効果や特徴の概略的見通しが明らかになった。</p> <p>電力需給とその課題解決の基本的な考え方を考察した。今回開発した電力需給解析シミュレータをベースとして、さらに系統制約、再エネ設備コスト、CO2 排出量、長期の考察期間、事故に対するセキュリティ等を追加的に考慮した最適化の枠組みにより、再エネの大量導入を支える効率的・効果的な各種方策が検討可能と考えられることを示した。また市場や制度設計を別フェーズの検討とすることの効果・影響を考察し、この考え方に一定の効果と妥当性があることを示した。</p>	
4 システム構築の研究	東光高岳	再エネ大量導入を考慮した需給シミュレーションの解析ロジックの基礎理論調査、仕様設計、電力需給運用の検討結果に基づく電力需給解析シミュレータ構築に向け、解析ロジックおよびプラットフォームの構築に関する調査・研究を行う。また、システムのプラットフォーム、解析ロジックのインタフェース、およびマンマシン・インタ	電力需給解析シミュレーションシステムの構築に向け、必要となる解析データ、解析ロジックの調査・整理を行い、要求仕様を明らかにするとともに、系統解析用データベースの調査を行い、これまで個別に検討を行っていた従来のシステムを多種多様なパラメータ解析・評価が効率的に実施可能なシステム構成とするためのデータ管理方式を適用した。また、求められるソフトウェア・プラットフォームに適するモデリング言	○

		<p>フェース等を設計・実装する。</p>	<p>語、汎用プログラム言語を調査・採用することで、より汎用性の高いものとした。</p> <p>本システムは、年単位の設備計画による「供給信頼度評価」から、日単位の「需給運用計画」、リアルタイムの「周波数制御」と各機能にわたり、広範な視点で多様な条件下での総合的な評価を『実運用の業務フローに即した』一連の分析・評価が可能なシステム構成となっている。さらに、解析に必要な需要・電力設備等のデータの効率的な管理とユーザの目的により柔軟な解析ロジックの組合せとパラメータ設定など本システムを使用する上で、効率的な活用が不可欠となるマンマシン・インタフェースである GUI (Graphical User Interface) を構築した。</p>	
--	--	-----------------------	---	--

○達成、△一部未達、×未達

1.4 研究開発項目(Ⅱ) 予測技術系統運用シミュレーション：実証WG

本開発項目では、実証試験環境である新島電力系統導入のための試験設備の設計、確率論的予測を取り入れた需給運用計画・制御手法の確立、需給運用計画機能の開発、周波数解析シミュレーションの開発等において、最終目標を達成した。

表 3-1-4 最終目標の達成度（要約）

事業項目	担当	最終目標（要約）	成果	達成度
1.1 需給運用計画・制御と関係する予測手法に関する研究	東光高岳（日本気象協会）	風力・太陽光の再生可能エネルギーを最大限導入するためには、実際の電力系統の需給運用で活用できる予測手法、情報提供手法を確立することが必要である。これまでの研究で、再生可能エネルギーの予測を実際の需給運用に用いる場合、決定論的なアプローチではなく、確率論的なアプローチの必要性が高くなってきている。ランプ予測技術WGで開発された手法も踏まえ、運用面での課題を考慮した気象予測の精度向上について検討し、不確実性を考慮した予測技術の開発を行う。不確実性を考慮した予測技術の開発では、風力および太陽光発電出力の予測に適した確率論的予測技術を確立する。これら開発した技術を実証試験において、EMS向けにリアルタイム配信することにより、実際の需給運用に適用し、課題や問題点を整理し、改良を実施する。	新島及びその周辺 13 地点の気象観測データをリアルタイムで取得する気象観測システムと、再エネ予測情報を継続的にデータ連携装置へ配信する再エネ発電出力予測システムを構築して運用した。蓄積した現地気象観測データを用いて予測に必要なパラメータを算出し、さらにリアルタイムに取得している現地気象観測データを用いて実況補正を行うことで、目先の再エネ発電出力予測の精度向上を実現した。また、地形や土地利用の影響を受けやすい風速予測精度の向上を検討するため、空間解像度の高い地表面データ（土地利用区分データ、標高データ）を新島実証用気象予測モデルに適用して精度向上を実現した。気象予測の不確実性を考慮した予測情報として、新島実証試験では、発電出力予測の信頼区間情報を提供することで上振れ・下振れのリスクを考慮した予測情報を発電所の運用管理に活用した。さらに、信頼区間情報の高度化のため、ランプ予測技術WGで検討されているアナログアンサンブル手法を用いた信頼区間情報と統計的手法を用いた信頼区間情報（現行手法）の予測精度検証を行い、アナログアンサンブル手法が現	○

			行手法と比べて同等であることを確認した。	
1.2 予測を取り入れた需給運用計画・制御手法に関する研究	東光高岳	再エネ出力予測を取り入れた需給運用計画・制御手法を確立することを目的とし、実証試験環境である新島電力系統導入のための試験設備の設計、確率論的予測を取り入れた需給運用計画・制御手法の確立、需給運用計画機能の開発、周波数解析シミュレーションの開発を行う。	<p>a. 実証フィールド試験設備の設計 想定される再エネ発電出力変動量と同程度となる再エネ設備量を試算、周波数シミュレーションにより、実証試験に必要な再エネ設備量を検討し、再エネ導入量に対する蓄電池の設備容量設計を行った。</p> <p>b. 確率論的予測を取り入れた需給運用計画・制御手法の確立 出力予測の信頼幅により計画断面で変動を考慮した需給運用計画を立案した。</p> <p>c. 需給運用計画機能の開発 事前に導入効果や問題・課題を評価・検証を行うことが可能となる需給計画シミュレーションを開発し、需給運用計画作成ロジックの事前検証を行った。</p> <p>d. 周波数解析シミュレーションの開発 各設備のシミュレーションモデルを作成、実績データと比較することによりモデルの妥当性を検証し、これを用いて再エネ・蓄エネ設備容量の詳細検討を行った。開発した解析ツールを用いて、再エネ発電出力変動時の電力系統への影響を事前に詳細な評価・検討ができるとともに、最過酷条件下での系統周波数変動に対する最適な蓄エネ設備容量の評価・検討が可能となった。</p>	○
2.1 発電機の調整力拡大に向けた運用制御高度化に	東電 PG・電中研	発電機の周波数変動抑制能力（発電機ガバナ特性）を高めることで、より効率的に再生可能エネルギーの導入可能量を拡大できる可能性がある。実証環境で発電機応動特性を把握（発電機	<ul style="list-style-type: none"> ・発電機特性試験を実施し（全44台）、周波数および発電機応動を精度良く模擬可能な系統（含、発電機ガバナ）モデルを作成した。 ・発電機応動特性にばらつきがあること（個々の特性把握が重 	○

<p>関する研究</p>		<p>ガバナモデルを作成・検証) し、ガバナ設定値変更による再エネ導入拡大効果とガバナ設定値調整の考え方について検討する。</p>	<p>要) を明らかにし、発電機の周波数変動抑制能力の簡易評価に資する応動タイプの分類方法(3タイプに分類)を提案した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実機での発電機ガバナ設定値調整試験により、ガバナ設定値とモデルパラメータの関係性を把握し、ガバナ設定値変更による再エネ導入拡大効果を分析して、再エネ導入拡大に資するガバナ設定値調整の考え方を整理した。 	
<p>2.2.1 蓄エネルギーの運用制御高度化に関する研究</p>	<p>東光高岳</p>	<p>蓄エネ設備による再エネ出力変動の調整力拡大に向けた運用制御の高度化を推進するため、蓄エネ設備の制御応答特性や周波数調整能力に関する試験を行うことにより、周波数解析のための蓄エネ設備のモデル化を行う。</p>	<p>a. 蓄エネ設備の制御方式 ΔF 制御、ΔP 制御、EMS 統合 LFC 制御、複数制御方式の複合の動作特性評価とシミュレーションモデル化による再生エネの導入量拡大時の最過酷条件における変動時の蓄エネ設備必要容量の設計方法の確立</p> <p>b. 蓄エネのピークカット+ΔF 制御の組み合わせによる短周期及び長周期変動抑制を一体で制御する方式を提案</p> <ul style="list-style-type: none"> ・長周期対応はパラメータを制御することで、数秒以下はΔF が、数秒以上はピークカットの効果で協調可能 ・オフグリッドの様な小規模エリアでは蓄エネ2台のシンプルな構成での適用の見通し ・制御遅延が小さく配電線トリップや電源脱落にも周波数維持に効果的 	<p>○</p>
<p>2.2.2 需要家側蓄エネルギー機器を活用した周波数</p>	<p>東京大学</p>	<p>需要家側蓄エネルギー機器の消費電力制御により需給運用を補助する制御手法を研究する。</p>	<p>業務用熱負荷機器の特性把握と、需要家利便性に影響を与えず、かつ、統合制御システムとの連携を目指した運転計画策定手法を検討、実証を行った。</p>	<p>○</p>

制御に関する研究				
3. 再エネの抑制量最小化に向けた制御高度化に関する研究	東光高岳	再エネ大量導入時の供給力と需要とのアンバランスによる再エネ抑制を要する場合の状況を分析し、電力システムの安定性、制御・抑制の効果について評価する。また、再エネ抑制量および頻度を低減するための条件・方法、抑制優先順位の考え方を明らかにする。一方、実証フィールドの年間を通じた再エネ出力特性の把握を行い、大幅な出力変動等を考慮した制御方法を検討するとともに、再エネ設備の運用に求められる「通信機能を含む遠方監視制御応答性能」、「複数の再エネ設備に対する制御・抑制」を考慮した制御ロジックの設計と構築、これに基づく周波数解析シミュレーションモデルによる最適化検討結果を実証フィールドに適用・評価する。	a. WTの変動抑制として、エラー低減対策（チューニング）による運転安定化 b. 風況に応じた出力抑制制御による発電量（kWh）を低減せずに変動を抑制を検討 c. 出力変動時の周波数変動特性分析による電池仕様要件を策定 d. 再エネ出力の時間窓に応じた短周期・中周期・長周期変動成分を抽出、再エネ変動特性分析 e. DGガバナ特性、蓄電池ΔF制御特性、EMS-LFC特性のシミュレーションモデルによる調整力の効果確認 f. 周波数解析シミュレーションによる各調整力設備のパラメータ設定による効果を確認 g. 再エネ推定発電量および需要の年間30分毎のパーセントイル分析により下げ代不足発生条件を整理 h. 年間を通じた需給運用計画シミュレーションによる蓄電池容量の検討	○
4.1 再エネ出力予測、需給運用、再エネ制御・抑制を組み合わせ合わせた最適制御システムの研究	東光高岳	再エネ出力予測情報を取り入れた需給運用計画・制御の高度化、発電機・蓄エネ設備等の調整力拡大に向けた運用制御高度化、再エネの抑制量最小化に向けた制御高度化の各技術を組み合わせることで、さらに再生可能エネルギーの導入量を拡大する統合制御システムを構築し最適化することを目的とする。	2030年規模の再エネ導入を想定した実証試験環境において、既設発電設備（DG）を含む統合制御システムを構築、再エネ出力予測情報を用いて、供給力信頼性を確保しつつ、再エネ活用率向上、既設発電設備燃料消費量低減の両面から制御方法・蓄エネ設備規模の効果的な考え方等、以下の成果を得た。 a. 統合EMSを中核とし、再エネ出力予測システム、再エネ設備、蓄エネ設備、需要家制御システムを監視制御する統合制御システムを構築	○

			<ul style="list-style-type: none"> b. 再エネ出力予測の信頼度区間を活用し供給信頼度を確保しつつ、下げ代調整力を確保する需給計画機能を提案 c. 再エネ出力予測の情報更新により、前日需給計画、当日30分毎需給計画更新、至近10分更新値を活用し、よりの確な発電計画への反映を確認 d. 蓄エネ自端のΔF制御やΔP制御の他、EMSのLFC制御による既設発電設備出力増減指令および蓄エネ充放電指令により周波数制御の効果を確認 e. 需要家設備のDR制御による計画制御・緊急制御試験で需給調整制御の効果を確認 f. 周波数解析シミュレーション評価に基づく蓄エネ自端ΔF制御、EMS-LFC制御の各種パラメータの最適値で新島実システムで動作の適正を確認 g. 需給計画シミュレーションにより、再エネ出力予測および経済運転情報に基づく需給計画機能の妥当性を確認し、新島実システムで実証 	
4.2 実証試験の総合評価と最適経済制御のあり方に関する研究	東電PG	再エネ出力、需給運用、再エネ制御・抑制を組み合わせた最適制御について、制御協調等も考慮し、最適制御の基本的な考え方を検討する。また、電力品質面からの評価に加え、設備の運用導入費用等も含めた経済性を考慮した総合評価を行う。	本実証では、再エネ変動の急峻な変動に伴う周波数変動を規定値以内に抑える観点と長期的な需給バランスを確保する観点から実証試験を総合評価するとともに、経済性シミュレーション評価を行った。対策設備最小化に対して、再エネ期待発電量（地域特性、再エネ種別・内訳）、蓄電池コストは大きな要因となるため、設備設計にあたっては、将来動向を踏まえることも大事な要素となる。	○

<p>4.3 再エネ出力予測、需給運用、再エネ制御・抑制の最適化システムにおけるセキュリティ機能に関する研究</p>	<p>東光高岳（NRIセキュリティテクノロジーズ）</p>	<p>昨今、世界各地で電力システムを狙ったサイバーセキュリティ事件が発生している。一方で風力発電や太陽光発電といった再生可能エネルギーを電力システムに広範囲に分散して大量導入する動きが進展している。今回の実証システムは再生可能エネルギーが電力システムに大量導入された2030年頃の系統制御システムとなっている。本研究では、この環境をベースとし、2030年頃に有効なセキュリティ防護策を見出すことを目標とする。</p>	<p>1) 新しい系統制御システムの特徴の把握アグリゲータの接続や気象予測情報の受け入れといったように、さまざまな事業者のシステムが電力システムに接続され、セキュリティ確保が難しくなっていく状況が見られた。</p> <p>2) 電力システムにおけるリスク分析手法の整理・実施変化する系統制御システムに対するリスク度合いを評価するため、電力システムにおける具体的な機器や現実的な影響を踏まえたリスク分析手法を整理・実施した。</p> <p>3) リスクの大きい脅威や脆弱性の抽出リスク分析の結果やシステム要素に対するセキュリティ診断を通じて、新たな接続点を経由した攻撃の脅威や軽視されがちな重要機器に対する脅威、システム内に組み込まれがちな脆弱性を抽出した。</p> <p>4) 電力システムにおけるセキュリティ対策上記の対策として、接続点に対するアクセス制御装置の導入、組込み系機器に対するセキュリティ設定の見直しを含む設計・開発上の考慮を整理した。運用面では従来からある安全を目的とした手順にセキュリティ対策に関する手順を含めることで対策負荷の軽減も考慮した。また、制御通信固有の特徴を捉えたセキュリティ監視手法の可能性を整理した。</p>	<p>○</p>
--	-------------------------------	--	---	----------

○達成、△一部未達、×未達

1.5 研究開発項目(Ⅲ) 再生可能エネルギー連系拡大対策高度化 ：出力制御技術（風力）WG

本開発項目では、自然変動電源の出力制御装置の標準化や遠隔出力制御システムの開発および実証試験等において、最終目標を達成した。

表 3-1-5. 最終目標の達成度（要約）

事業項目	最終目標（要約）	成果	達成度
研究開発項目(Ⅲ) 再生可能エネルギー連系拡大対策高度化（風力）	①自然変動電源の出力制御に向けた出力予測・把握技術の高度化： 構築したモニタリングシステム・予測システムの運用状況（予測精度の状況及び遠隔出力制御システムとの連携状況）を踏まえ、予測手法及びシステム機能について必要な改良を行う。以上を通じて遠隔出力制御システムに有効なモニタリングシステム・予測システムの整備を完了する。	目標とした発電設備への計測装置の設置とモニタリング・予測システムの構築を完了した。当初の予測モデルをモニタリングシステムから取得されるモニタリングデータを活用することで精度向上および高頻度の予測モデルへと高度化し、遠隔出力制御の運用に資する予測システムの整備を完了した。	○
	②自然変動電源の出力制御装置の標準化、低コスト化： CDT 装置のフィールド評価を完了し、標準仕様および製品化の取り纏めが完了している。開発した出力制御装置が、中央給電指令所からの指令に応じて出力制御が可能であることを確認する。また、双方向通信においては、発電設備からの応答を確実に中央給電指令所に伝送可能であることを確認する。	開発した CDT 装置のフィールド評価が完了し標準仕様および製品化の取り纏めが完了した。また、フィールド評価において、開発した出力制御装置が中央給電指令所からの指令に応じて出力制御が可能であること、また、双方向通信により発電設備からの情報が確実に中央給電指令所へ伝送されることを確認した。 策定した遠隔出力制御の技術仕様をもとに、遠隔出力制御システムを構築し、中央給電指令所からの指令に応じて出力制御が可能であることを確認した。また、双方向通信においては、発電設備からの情報を中央給電指令所に伝送可能であることを確認した。	○

	<p>③自然変動電源の出力制御方式の高度化および最適化：</p> <p>風力発電事業者への出力制御量の最適配分を出力制御システムで用いる通信方式性能も考慮してリアルタイムで計算するアルゴリズムを開発する。</p> <p>中央給電指令所からの制御指令値として特別高圧の双方向通信および高低圧のインターネット等を利用した片方向通信（カレンダー方式）等に使用できることを確認する。選定した通信手法により、中央給電指令所からの制御指令を発電設備が有する出力制御装置へ確実に伝送する。また、双方向通信を採用する場合は、発電設備からの応答を確実に中央給電指令所に伝送する。</p>	<p>出力制御量配分問題を効率的解法が存在する線形計画問題として定式化することにより、翌日スケジュール（片方向）と当日スケジュール（双方向）の出力制御指令値を送信するまでの時間内で、最適な出力制御量配分を計算可能な方法を開発した。</p> <p>高・低圧連系発電所向けの出力制御情報を仲介する配信事業者システムを構築し、本システムを経由した出力制御についても、制御情報の伝達が確実に行われ、出力制御が行われたことを確認した。</p> <p>シミュレータ装置を用いた実証試験を実施し、片方向・双方向通信における伝送状況の比較・検証を実施した。片方向通信については、500台を対象とした場合でも確実に出力制御スケジュール配信可能であることを確認した。双方向通信を実現するためには、通信負荷の軽減が必須であることを確認できた。</p>	○
	<p>④遠隔出力制御システムの開発および実証試験：</p> <p>中央給電指令所に構築したシステムから本事業に協力いただく発電事業者へ出力制御信号を配信し、発電事業者が受信していること、および特別高圧へ連系している事業者については、受信できていることを確認するアンサーバックを中央給電指令所へ配信する</p>	<p>中央給電指令所の再エネ出力制御システムから、実証試験対象の特別高圧、高圧、低圧連系の各発電所に対して出力制御信号を配信し、確実に出力制御できることを確認した。特別高圧連系の発電所については、中央給電指令所の発電出力監視画面にて出力制御の状況をリアルタイムで監視可能なことを確認した。</p>	○

	<p>一連の流れが確実に行われていることを確認する。</p> <p>配信事業者を経由した出力制御についても、制御情報の伝達が確実に行われることを確認する。</p>	<p>配信事業者を経由した出力制御についても、制御情報の伝達が確実に行われ出力制御できることを確認した。</p>	
--	---	--	--

○達成、△一部未達、×未達

1.6 研究開発項目(Ⅲ) 再生可能エネルギー連系拡大対策高度化 ：出力制御技術（太陽光）WG

本開発項目では、自然変動電源の出力制御装置の標準化や遠隔出力制御システムの開発および実証試験等において、最終目標を達成した。

表 3-1-6. 最終目標の達成度（全体・個別）

事業項目	最終目標（全体）	成果（全体）	達成度
研究開発項目 (Ⅲ) 再生可能エネルギー連系拡大対策高度化（太陽光）	太陽光発電の出力予測と出力把握の高度化を行い、実際の電力システムを使って検証しながら事業者間の制御量を事業者の出力比率に応じて決定する出力制御手法を開発する。	中央給電指令所等において、域内に分散設置される太陽光発電設備の発電出力を把握し、これを踏まえた出力制御の指令を行うための機器および発電出力のマネジメントシステムを構築した。また、電力システムに連系している発電事業者に出力制御機能付きパワーコンディショナー（PCS）を設置し、双方向と片方向双方の通信方式による実効性の検証を中心に行い、エネルギーマネジメントシステムや蓄エネルギーとの連動などを踏まえた需給制御手法の開発と実証、自端制御機能を具備した PCS 機能の高度化開発も行った。	○
事業項目	最終目標（個別）	成果（個別）	達成度
a. (i) 発電所の停止計画を考慮した出力制御量の算定	・発電所停止計画を把握するシステムを構築し、出力制御量算定の精度向上を実現する。	発電所停止情報をシステムへ入力することにより、自動的に発電設備量へ反映。	○
a. (ii) 遠隔出力制御の実施状況確認システムの構築	・発電所ごとの出力制御実績を把握し、指令情報と比較・検証可能なシステムを構築し、管理手法を確立する。	発電所ごとの出力を新規および既存のシステムから自動で取り込み、出力制御指令値と自動的に比較するシステムを構築。	○
b. (i) 多台数適用時の課題抽出と対応策の検証	・将来想定される規模への対応を可能とする。	・5,000 台*規模の検証環境を構築し多台数適用時の課題を抽出、対策と更なる検証を実施。通信量やシステム負荷を定量的に評価。 ・OpenADR 特有の異常時処理や冗長化時の課題と対策。 ※ 緊急実証での通信量やサーバ負荷への影響、運用での基本単位の推定を考慮して、台数を想定。	○

b. (ii) 適用範囲拡大に向けたシステム改良	・既存監視システムとの協調や複数パワーコンディショナー (PCS) への適用を可能とする改良を行い、有効性の評価を行い、課題を整理する。	発電事業者システムの適用範囲拡大に向け、複数 PCS を制御できるよう開発・改良を実施し、複数台制御に問題ないことを確認。また、実証を通して有効性を評価し、課題を整理。	○
b. (iii) OpenADR 2.0pv の最適化とそれに伴うシステム改良	・ OpenADR 2.0pv の改良を行い、適用範囲の拡大やきめ細やかな制御を実現する。	OpenADR の最適化や通信量削減に効果的な機能の利用により、通信量の大幅な削減に成功。VEN 1 台当りの通信量削減効果を定量的に評価。	○
b. (iv) セキュリティ評価	・システム運用者側からシステム個別および全体に対し、要求すべきセキュリティレベルを整理する。	双方向出力制御システムのリスク分析結果、当該システムに必要となるセキュリティ評価項目、当該システムのセキュリティ検証結果。 双方向出力制御システムに対するセキュリティ要求事項とセキュリティ対策項目。	○
遠隔出力制御システムの実証環境整備	・実運用における出力制御システムの有効性及びシステムへの影響の評価が可能となる、出力規模を確保するため、実証対象の PV 設備を拡充する。 【達成度評価のポイント】 ・需給バランスへの影響が確認できる出力制御量を確保する。【出力合計 40 万 kW を目標に規模拡大】	設備量の目標は、気象条件が多少悪化した場合でも、軽負荷期昼間の需要に対して必要となる調整力に相当する量として、40 万 kW に設定。 結果として 39.4 万 kW の PV 設備へ出力制御システムを導入し、実証試験に必要な設備容量を確保。 ・ 66kV 以上 (専用回線による双方向通信) … 38.6 万 kW (19 件) ・ 66kV 未満 (インターネットによる単方向通信) … 0.8 万 kW (3 件)	○
遠隔出力制御システムの実証試験	・出力制御による実証を行い、出力制御システムの性能、システムへの影響、年間を通じた出力制御運用・管理手法の評価を行う。 ・また、PV 出力の想定誤差に対する調整力として、緊急出力制御への活用手法を確立する。 【達成度評価のポイント】 ・出力制御システム機能、電力システムへの影響評価を中心に実証を行う	年間 (季節) を通じた実電力システムにおける出力制御試験を行い、電力システムへの影響がないことを確認。また、出力制御システム全体が有効に機能することを確認。 PV 出力の上ブレを想定した実システムでの緊急出力制御試験を実施し、電力システムへの影響がないことや、指令手法について確認。	○
	・出力制御システム (双方向) による実証を行い、出力制御システムの性能、通信環境による影響の評価、パラメータの	気温や天候などの影響を確認すべく、さまざまな時季を通して実際の電力システムにおける実証試験を実施し、複数台においても通常制御・即時制御が仕様どおりに動作することを確認。	○

	最適化などを行い、システム仕様を確立する。	また、実証試験データの蓄積、出力制御システムの性能評価ならびに発電電力量算出方法に関する検討を実施。さらに、夜間停止による通信量削減方法等を検討。	
【達成度評価のポイント】 ・特に、システム性能評価、ポーリング周期等の設定値による情報量への影響などを検証する			
(i) 太陽光発電の最適必要出力制御量の算定	<ul style="list-style-type: none"> ・前日におけるサブエリアごとの日射量予測データを活用した、最適必要出力制御量の算出、また、その制御量のメガソーラーおよびルーフトップへの割り振り技術を開発。 ・経済性、供給信頼性等の電力システム運用の観点から本開発技術の影響分析、効果評価を行う。 	九州電力システムを対象に、2030年などのPV大量導入時を想定して、最経済となる出力制御量の算出、その配分手法を開発。年間を通じたシミュレーションを行い、日射量予測データ（翌日、当日短時間）の評価を行い、その効果を確認。	○
(ii) 実出力制御量の把握とその情報の必要出力制御量最適化への反映	<ul style="list-style-type: none"> ・卸電力市場の最終ゲートクローズ後に必要出力制御量（計画値）を計算するモデルを開発する。 ・制御量（実施値）をモニタリングできると想定し、出力制御方式の改善を行うためのPDCAロジックの開発を行う。 	(i)と同様の想定の下で、当日の出力制御量の算出・配分手法を開発し、サブエリア内のPVのインバータ出力の分布（ばらつき）等を考慮した需給シミュレーションを開発。また、その結果をもとに出力制御量の算出・配分を改善するPDCAロジックを開発。	○
(iii) 最適必要出力制御量算定、ならびに出力制御緩和のための太陽光発電出力予測技術開発	<ul style="list-style-type: none"> ・サブエリアごとの出力予測モデルの開発、出力予測データの作成、予測精度向上を行う。 ・1時間前予測などの前日以外での当日出力予測モデルの開発、出力予測データ作成を行う。 ・リアルタイムでのモニタリング情報の活用手段、双方向通信設備が設置されたインバータの付加価値をつけるために必要な仕様の検討を行う。 	<p>予測モデルと2013年と2016年のデータ・セットを作成し（前日と当日の局地とサブエリアと広域）対象エリアの予測誤差の特性と予測と抑制の関係を分析。更に予測バイアス補正手法や、前日予測精度を改良するモデルを開発。</p> <p>実測の発電データを用いた持続モデルと機械学習の融合モデルにより1時間前および当日出力予測モデルを開発。リアルタイムでのモニタリング情報の活用手段と付加価値をつけるために必要な仕様を整理。</p> <p>PV出力の地理的粒度の出力把握、短時間予測（向こう数時間）、配電網の状態推定、PVの故障・劣化検知、気象予報のための日射把握、予測評価などの適用された分野を検討。</p>	○
デマンドシフト等による自家消費	<ul style="list-style-type: none"> ・PVの活用を最大化する住宅内でのエネルギーマ 	<ul style="list-style-type: none"> ・標準通信規格に基づく実証システム。 	○

費電力制御手法の開発	<p>ネジメントについて、住宅設備機器の組合せに対応した制御ロジックの開発と既存の国内推奨通信規格や一般的な標準手段に基づく実装・効果の提示を目標とする。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・機器特性の把握とモデル化、制御シミュレーション環境。 ・単一需要家の週間制御手法。 ・単一需要家の5分間電力量制御手法と評価結果（連動対応）。 ・住宅にPVと蓄電池を併設する場合の最適な蓄電容量やコスト。 	
<p>【達成度評価のポイント】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・HEMSを活用し、機器の様々な組合せについてユースケースを設定し、太陽光発電の最大有効利用を指標とした試験評価を行う。また、太陽光発電を持たない住宅等との連動エネルギーマネジメント等の手法の研究開発を行い、制度上の課題整理、実証試験を行う。 ・住宅がエネルギーマネジメントにより余剰電力を活用する際の効果をシミュレーションで評価する。 			
a. 太陽光発電の出力制御に適用したアグリゲーション機能の実装と実証	<ul style="list-style-type: none"> ・PVの出力制御を確実に行うための仲介サーバの仕様を明確にし、将来的に国内において使用される通信規格を想定した実装・効果の提示を目標とする。 ・余剰電力の有効活用を指向する際の想定されるユースケースとその実現方法の提示および制度面での制約等の明確化を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> ・標準通信規格を応用した実証システム。 ・需要家特性を反映したモデル、制御シミュレーション環境。 ・PVアグリゲーション制御手法とその評価。 ・住宅・業務用需要家にPVと蓄電池を併設する場合の抑制回避量・コスト・CO2削減量など。 ・PVアグリゲーション価値の分析と評価。 	○
<p>【達成度評価のポイント】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・出力制御量の割振りを行うとともに、発電実績等を集約する機能を基本とし、全体システム構成と国内推奨通信仕様による実装に関する研究開発を行う。 			
b. IoTを活用した太陽光出力抑制の緩和	<ul style="list-style-type: none"> ・技術実装トライアルでは、将来的な標準化検討用パッケージとして取り纏める。 ・また、火力発電所など集中電源の発電コストなども考慮した効果シミュレーションを行うとともに、ユーザーの受容性、効用維持などを勘案した本方式によるDRの経済性の評価も行う。 	<p>【技術実装トライアル】既存プロトコルによる下り（中給→アグリゲーター）情報伝送に加え、調整力等の上り情報伝送のPoC結果を提示。</p> <p>【効果シミュレーション】DRモデルの明確化等によるシミュレーションの精緻化とともに、UC+DRのシミュレーションを例示。</p> <p>【DRの経済性の評価】家電、EV等のDRモデルを需給シミュレーションに実装し、定量評価を実施。</p>	○
a. スマートインバータ（S-INV）と分散型電源マネジメントシステム（DERMS）の仕様検討	<ul style="list-style-type: none"> ・将来的にS-INVが具備すべき機能について仕様を取り纏め、実証用の実機と通信機能付きの制御装置を開発する。 ・監視制御システムも開発し、それらを組み合わせ 	<ul style="list-style-type: none"> ・本実証におけるS-INV機能、DERMS、通信の仕様を策定し、マルチベンダによる開発を実施。 ・S-INV機能の有用性やシステムに与える影響評価を行うためのテストベッド（送電系統・配電系統それぞれ）を構築。系統安定化に資する機能の検証を実施。再エネが既存のシステムに与える課 	○

<p>b. S-INV の試験環境構築 c. S-INV の実証試験</p>	<p>せた実証試験を実施する。</p>	<p>題を抽出し、S-INV の系統安定化機能等による効果を明らかにした。また、配電系統の電圧管理において、S-INV 機能による効果、および実運用に向けた課題を明らかにした（既設の設備や機能との協調制御、影響評価は本実証の検討対象外）。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本実証における S-INV の試験方法（手順）の策定。前述の仕様に基づいて開発した S-INV の各機能が策定した基準を満たすことを確認。 ・S-INV の標準化検討に資する課題と対策の整理。 ・S-INV システムに対するセキュリティ要求事項とセキュリティ対策集の整理 	
--	---------------------	--	--

- 【達成度評価のポイント】
- a. S-INV と DERMS の仕様検討
 - ・欧米での検討・実施状況の情報収集
 - ・S-INV/DERMS の仕様検討
 - b. S-INV の試験環境構築
 - ・S-INV の開発
 - ・DERMS の開発
 - ・試験環境の構築
 - c. S-INV の実証試験

○達成、△一部未達、×未達

2. 各研究開発項目の研究開発成果

本事業で得られた各研究開発項目の研究開発成果の内容について、以下の通り事業項目・担当WG毎に説明する。

- 2.1 研究開発項目(I) 風力発電予測・制御高度化：ランプ予測技術開発WG
(実施者：東京大学〔再委託：筑波大学、日本大学〕、早稲田大学、電力中央研究所、伊藤忠テクノソリューションズ〔再委託：日本気象協会〕、)
- 2.2 研究開発項目(I) 風力発電予測・制御高度化：蓄エネルギー制御技術WG
(実施者：早稲田大学〔再委託：北海道大学、大阪府立大学〕、エネルギー総合工学研究所〔再委託：北海道電力〕)
- 2.3 研究開発項目(II) 予測技術システム運用シミュレーション：需給シミュレーションWG
(実施者：東京大学、電力中央研究所、東京電力ホールディングス、東京電力パワーグリッド、東光高岳)
- 2.4 研究開発項目(II) 予測技術システム運用シミュレーション：実証WG
(実施者：東京大学、電力中央研究所、東京電力ホールディングス、東京電力パワーグリッド、東光高岳〔再委託：NRIセキュアテクノロジーズ、日本気象協会〕)
- 2.5 研究開発項目(III) 再生可能エネルギー連系拡大対策高度化：出力制御技術(風力)WG
(実施者：東北電力、伊藤忠テクノソリューションズ〔再委託：日本気象協会〕、東北大学、通研電気工業)
- 2.6 研究開発項目(III) 再生可能エネルギー連系拡大対策高度化：出力制御技術(太陽光)WG
(実施者：東京電力ホールディングス、東京電力パワーグリッド、関西電力、北陸電力、九州電力、東京大学〔再委託：産業技術総合研究所〕、早稲田大学、エネルギー総合工学研究所)

2.1 研究開発項目（I）風力発電予測・制御高度化：ランプ予測技術開発WG

ランプ現象の発生要因の解析を目的とした風力発電所のモニタリング地点、モニタリング項目等の選定を行い、モニタリングシステムを構築した。また、東日本地域における広域気象観測データの収集、蓄積を実施した。

これらモニタリングシステムから得られたデータをもとに現行システムのベンチマークテストを実施し、現行の風力発電出力予測モデルにおけるランプ予測の問題点を抽出し、ランプ現象の発生要因のための解析を実施した。また、過去の風力発電データおよび気象データを収集し、ランプ発生時の気象場をパターン分類するとともに、発生要因・規模・強度・頻度に関する分析を実施した。そして、これらのランプ現象の分析結果を踏まえ、複数のアプローチでランプ現象の予測に適した風力発電予測手法高度化に着手し、複数手法による予測結果から最適な予測情報を統合する手法の開発のため既存データを活用した予測の開発を実施した。

ウィンドファーム内制御技術開発においては、風力発電機前方の風情報を活用した風力発電機の風車出力制御手法を構築し実証システムでの検証を実施した。ウィンドファーム間での風車出力制御技術については、短期予測を活用した複数ウィンドファーム間の風車出力制御手法を構築しシミュレーションによる検証と改良を行った。

2-1-1. 「風力発電および気象モニタリングシステムの構築」 (実施者：伊藤忠テクノソリューションズ、東京大学)

2-1-1-1. ウィンドファーム観測網整備

後述するランプ予測技術システムにも適用する気象データや代表風力発電所（ウィンドファーム）からの発電出力情報などのオンラインデータを得るために、また、それらのデータを使ってランプ現象の要因分析とベンチマークテストを実施するためにウィンドファーム観測網の整備を実施した。観測項目として日照強度や温度、気圧などを観測するための「ウィンドファーム気象計測」、発電量やナセル風速などを観測するための「SCADA 計測」、並びにウィンドファームの監視制御システムにて収集している有効電力、無効電力、電圧、電流、周波数などを観測するための「総発電計測」の3種類のシステムを東日本の主要ウィンドファームにて発電事業者の協力を得て47サイトでの観測を行った。これらシステムの一部を図Ⅲ. 2-1-1 に示す。



図Ⅲ. 2-1-1. モニタリングシステムの一部（左：SCADA/総発電計測装置、右：気象観測装置）

また、風力発電設備周辺の風況観測を目的に、風況観測塔(マスト)とLIDAR (Light Detection and Ranging/Laser Imaging Detection and Ranging)を東日本地域に合計11か所設置した。(図Ⅲ.2-1-2にマストとLIDARのイメージ写真を示す。)



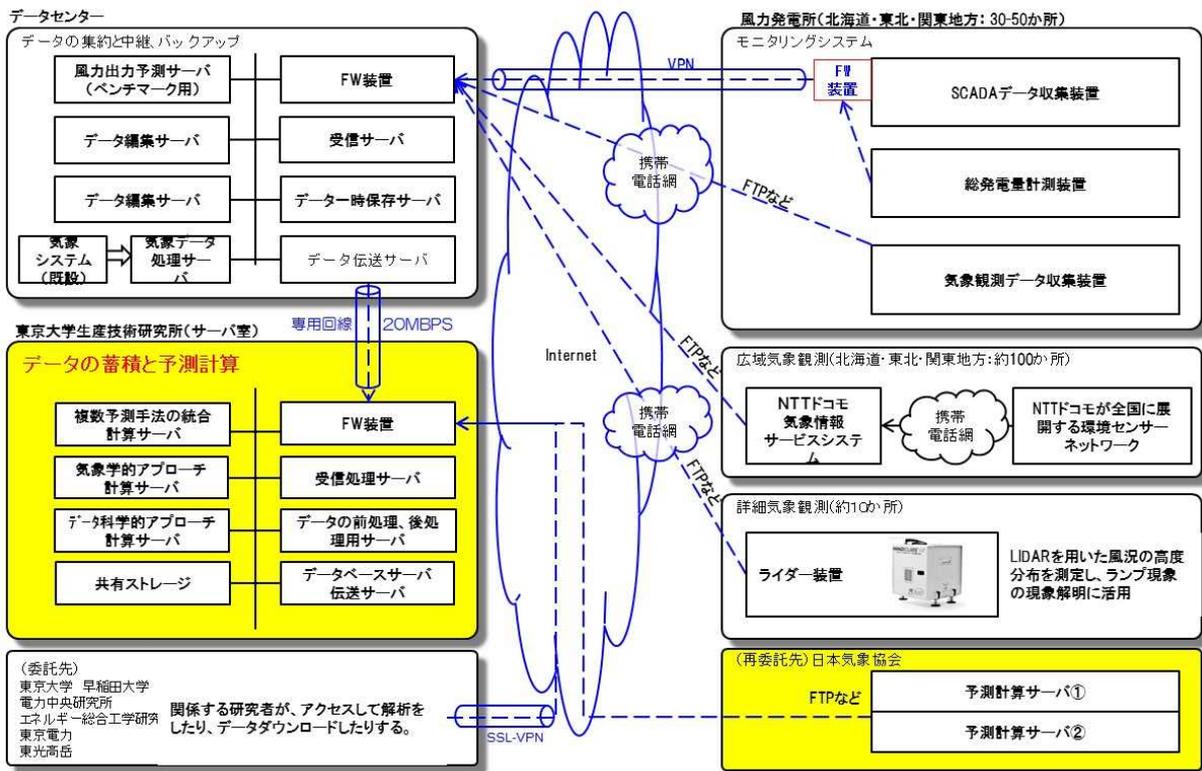
図Ⅲ.2-1-2. 風況観測装置例 (左: マスト、右: LIDAR)

2-1-1-2. 広域気象観測網整備

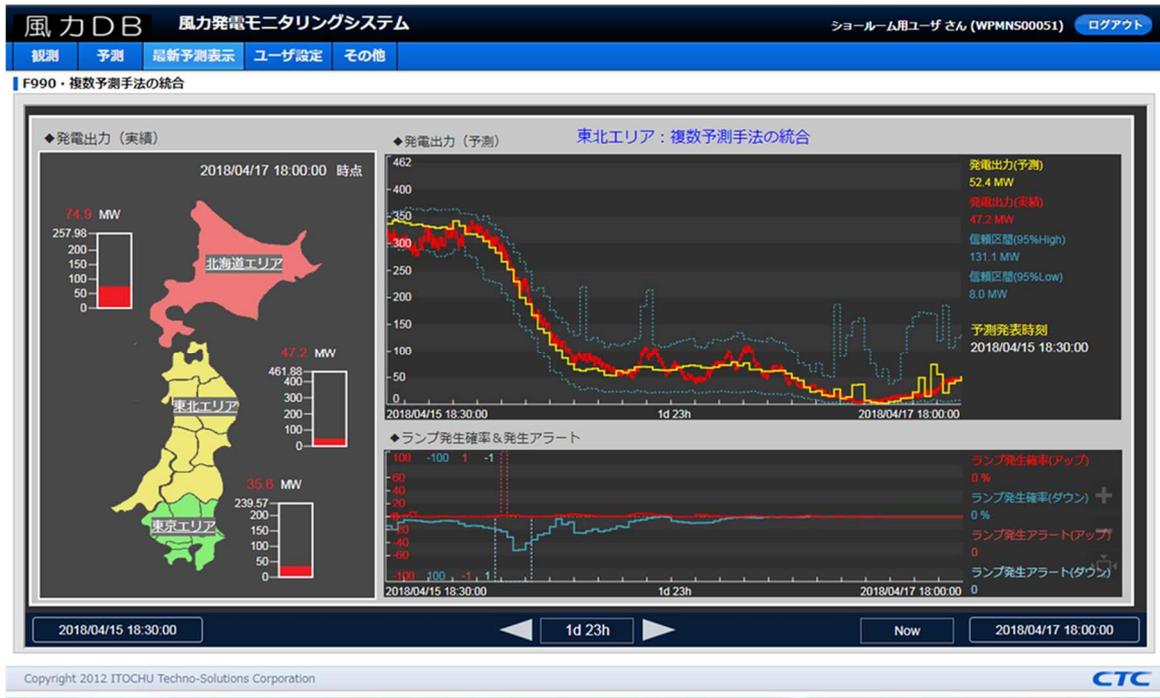
さらに、広域気象観測網の整備においては、既設の気象庁アメダス(風速、風向、気温、気圧)、ウィンドプロファイラーおよび民間会社の気象観測網(東日本115箇所)を活用した。

2-1-1-3. 風力データベース整備

これらのモニタリング装置から得られる情報を一括管理し、データベースの集積を図るシステムを構築した。このシステム(一部予測システムも含む)の構成を図Ⅲ.2-1-3に、データベース閲覧画面例を図Ⅲ.2-1-4に示す。また、収集データの取得状況のリアルタイム管理、データのダウンロード、予測情報の閲覧・取得が可能となるWebアプリケーションも整備した。さらに、研究推進・成果普及を目的として本システム公開用機器を東京大学に設置し、学内イベント等において公開した。



図Ⅲ.2-1-3. モニタリングシステムと出力予測システム構成



図Ⅲ.2-1-4. モニタリングシステム閲覧画面例

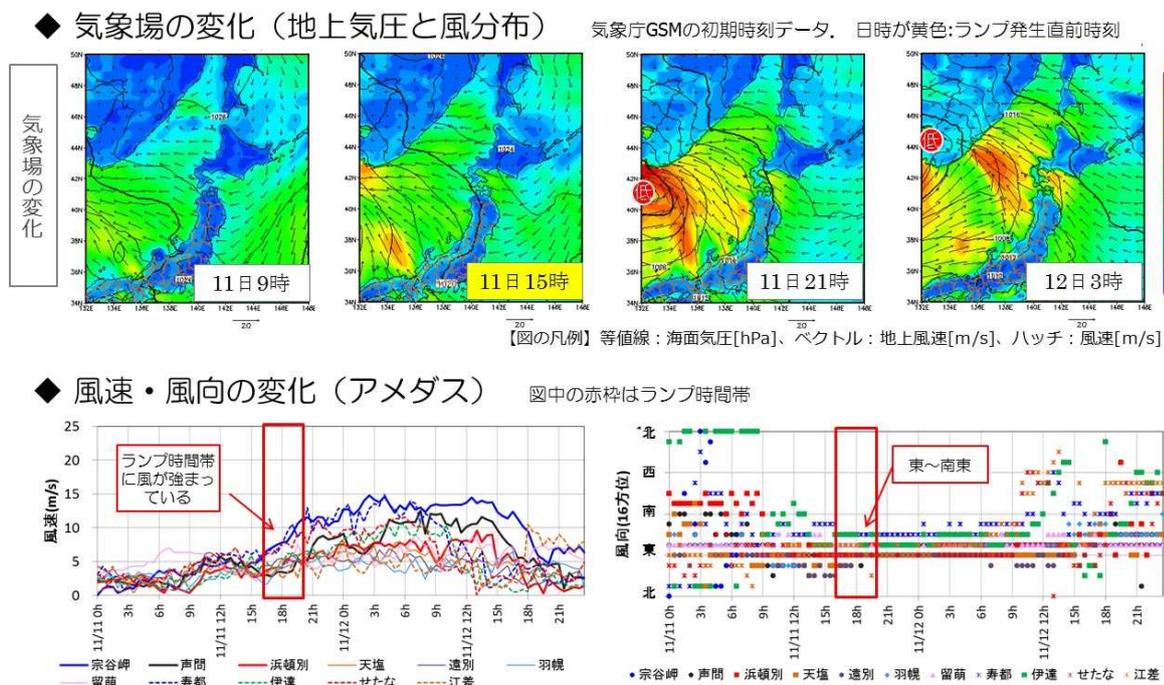
2-1-2. 「ランプ予測技術の研究開発」

(実施者：東京大学（再委託：日本大学、筑波大学）、電力中央研究所、早稲田大学、伊藤忠テクノソリューションズ（再委託：日本気象協会）)

ランプ予測技術の研究開発として、モニタリング装置から得られる気象情報と代表風力発電所における発電出力情報、並びに気象庁 GSM-GPV などから得られる過去数十年間の気象データなどから、まずはランプ現象の要因分析を実施した。また、2011 年度から 2012 年度のデータを適用して現存システムのベンチマークテストを行った。東京大学では Dynamic Systems 理論によるアプローチを、日本大学では統計学的手法を、筑波大学では気象学的要因分析によるアプローチを、電力中央研究所ではアンサンブル予測によるアプローチを、早稲田大学では機械学習によるアプローチを主に担当した。

2-1-2-1. ランプ現象の要因分析と事例解析

図Ⅲ. 2-1-5 に要因分析を行うために活用した気象図や風速・風向トレンド図の一例を示す。



図Ⅲ. 2-1-5. ランプ要因分析に活用した気象図と風速・風向トレンド図（一例）

要因分析ではランプ発生前後の天気図などを用いた現象論的な分析と、長期データを用いた統計的な分析の2つの視点から解析と分析を実施した。まず、現象論的な分析として、気圧配置のパターンをランプアップとランプダウン（ランプ現象を変動量が風力発電定格出力の30%以上、かつその間の平均変動率が5%/時間以上と定義）の両方で分析した結果、以下表Ⅲ. 2-1-1 に纏める通り、強い風速により起こりうるカットアウトを例外として、パターンの分類に特徴が見られることが判明した。

表Ⅲ. 2-1-1. ランプ現象の要因分析（現象論的な分析）

	ランプアップ	ランプダウン
要因	①低気圧の接近、②冬型移行、 ③冬型強化、④高気圧	①高気圧、②擾乱衰退、③冬型 緩み、④低気圧の間、⑤カット アウト
特徴	各パターンで、ランプ発生時の 風の変化傾向が異なる。（低気 圧の接近は南風が強まりやす く、冬型移行は風向きが北～西 に急変し、風速が急激に強まる 等。） 低気圧の接近・通過と冬型への 移行の2つで全体の約80%。	パターンにより、風速の低下傾 向に特徴がみられる。（高気 圧、冬型緩みは風速の低下傾向 が緩やかで、擾乱衰退、低気圧 の間は、風速が短い時間に大き く変動する傾向がある。） カットアウトを除く4つの事象 で全体の97%。

注)2011年度～2012年度北海道エリアデータの分析による

また、長期データを用いた統計的な分析として2011年度～2012年度のエリア発電量データと、1977年度～2012年度の長期高解像度気象データから推定した発電量データを使用した要因分析結果を表Ⅲ. 2-1-2に示す。

表Ⅲ. 2-1-2. ランプ現象の要因分析（統計的な分析）

	ランプアップ	ランプダウン
要因	低気圧 寒冷前線 気圧の谷 大気安定層の崩壊	高気圧 冬型緩み 大気安定層の発達 カットアウト

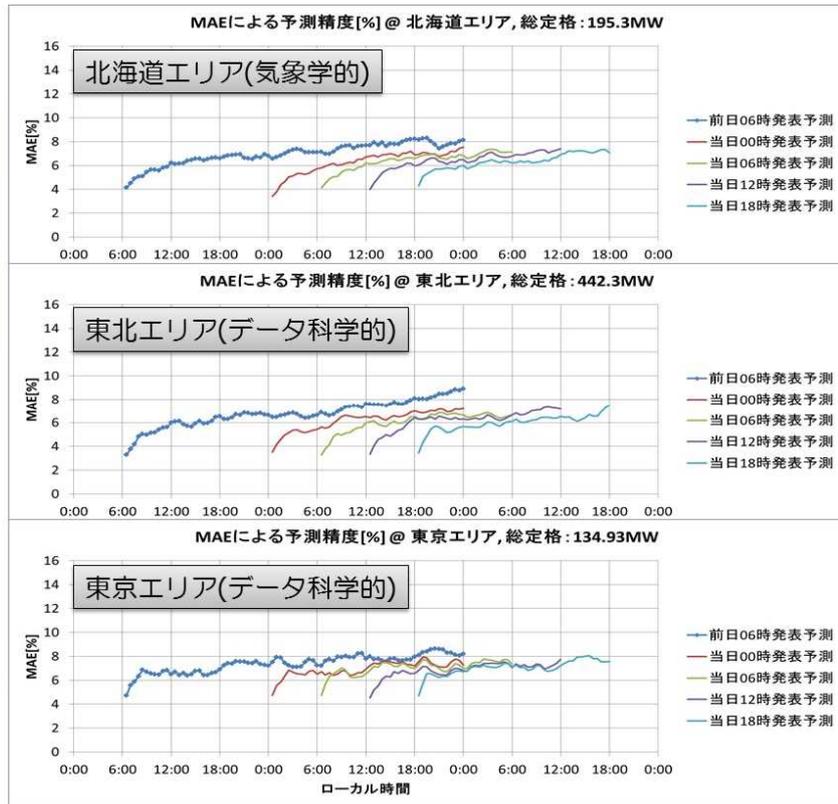
2-1-2-2. ランプ現象予測手法研究開発

2-1-2-2-1. ベンチマークテスト

ベンチマークテストとして気象学的アプローチとデータ科学的アプローチの各現行システムの評価を行うことを目的に、予測精度評価とランプ現象の予測大外しについて評価を行った。結果、平均絶対誤差(MAE)を使った予測精度誤差については6時間後予測が約6%であり、翌日分予測が約7.5%であった。翌日予測を用いる場合と比べて当日予測を用いた場合のMAEは3.5～4.5%程度となり、誤差は約半分になることが分かった。（図Ⅲ. 2-1-6にベンチマークテスト結果のMAEによる評価例を示す。）また、予測誤差20%以上の大外し率は6時間後予測を適用した場合は約3%、翌日予測を適用した場合が5.5～7%であったが、使用データそのものの誤差や当時の風力発電出力実績情報の不足が主な要因であることが分かった。特にカットアウトが発生した場合は実績情報が不足していたため出力予測として大外しとなった事例が数件みられ、カットアウトによる予測の難しさが理解できた。今後は、モニタリング設備の構築などにより実績情報やデータ誤差の問題が解決され、予測技術開発により更なる精度向上が見込まれる。

最新発表の予測を用いる
ことによる精度向上

- ①北海道エリア
翌日予測 : MAE約8%
↓
当日発表時 : MAE約4%
- ②東北エリア
翌日予測 : MAE約8%
↓
当日発表時 : MAE約3.5%
- ③東京エリア
翌日予測 : MAE約8%
↓
当日発表時 : MAE約4.5%



図Ⅲ. 2-1-6. ベンチマークテスト結果の MAE による評価例

これら分析と評価を踏まえ、ランプ予測システムの構築を開始し、複数予測手法の統合を行った。ここで、予測の大外し度合いを測定する一評価指標として海外でも一般的に使われている CSI (critical success index) を適用することとした。CSI とは以下式に示す通り、予測段階でランプ現象の発生が無く、かつ実際に発生しなかった場合を除いた、予測適中率とランプ現象補足率両方を確認するための指標であり、0 が悪く、1 が最も良い指標である。

$$CSI = A / (A+B+C)$$

ランプ現象の発生有無に関する予測評価		実績	
		発生あり	発生なし
予測	発生あり	A	B
	発生なし	C	D

図Ⅲ. 2-1-7. CSI 指標の定義

2-1-2-2-2. ランプ予測のための風力発電出力予測高度化

(電力中央研究所・東京大学・早稲田大学・日本大学・筑波大学)

2-1-2-2-2-A1. 気象学的要因分析によるアプローチ (筑波大学)

ランプ現象の気象学的要因分析の結果を踏まえて、多数の初期値・境界値を有効活用し、ランプの予測精度を向上させるために、メソモデルアンサンブル予測手法と物理スキームの最適化を含むパターン WRF 手法を開発した。この手法では、気圧配置パターンに応じて適切な手法、例えば、メソアンサンブル手法や境界層スキームが自動的に選択され、WRF による力学的ダウンスケーリングが効率的に実施される。さらには、数値気象予測の系統誤差を取り除くために、アナログアンサンブルなどの統計手法に基づく補正が実施される。本手法はランプ現象の予測精度向上に寄与した。

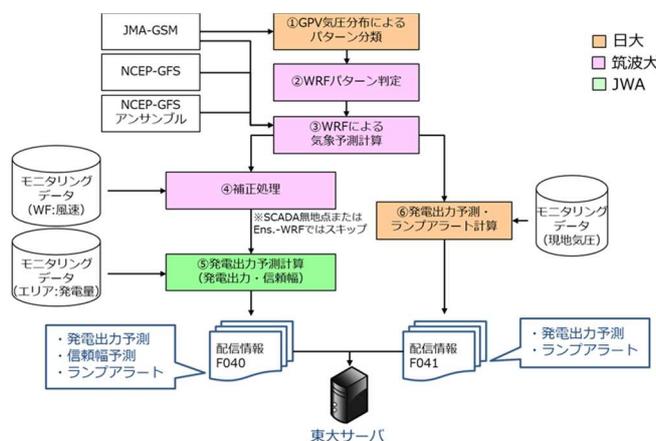


図1 日大・筑波大・JWAランプ予測システム

図2 WRFパターン判定の効果の例。黒丸は標準WRF、赤丸はパターンWRF、青丸はメソアンサンブルWRFの結果。塗りつぶしはランプアップ、白抜きはランプダウン。

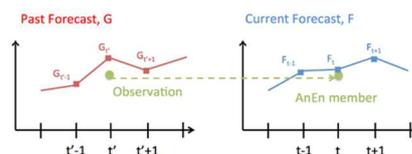


図3 AnEnの概念。現在予報と過去の予報を比較し、類似度が高い(ベストアナログ)場合は、観測値を抽出しアンサンブルメンバーの1つとする。

[1] V. Q. Doan, H. Kusaka, M. Matsueda, R. Ikeda: "Application of mesoscale ensemble forecast method for prediction of wind speed ramps", Wind Energy, pp.1-10 (2019)
 [2] T. Araki, R. Ikeda, V. Q. Doan, N. N. Ishizaki, H. Kusaka: "Japan's R&D Project of Ramp Forecasting Technology: Correction Method with Additive Model for NWP-based Wind Speed Forecast", 17th Wind Integration Workshop, WIW18-122 (2018).

2-1-2-2-2-A2. アンサンブル予測によるアプローチ (電力中央研究所)

ランプ現象の予測精度向上のためには、気圧配置の適切な予測が必要となっているが、大気力学に内在するカオス性により、予測を大きく外すことも少なくない。このようなカオス性に対してはアンサンブル予測手法が有効である。本項目では、アンサンブル予測手法を用い、気象予測の不確実性だけでなく、気象予測から風力発電出力への変換の不確実性も考慮した確率的な風力発電出力及びランプ現象の予測手法を開発した。

アンサンブル予測は、気象庁の週間アンサンブル予報から多様性を確保した 11 メンバーに絞りダウンスケーリングすることで作られる。風力発電出力への変換は、予測風速とモニタリングによるエリア出力合計値の対応関係を用いる (経験的パワーカーブ)。東北エリアを対象とした検証では、開発した手法によるランプアップアラートの捕捉率は 50%を超えた。ランプ現象の要因に分けて評価すると、低気圧や冬型を起因とする場合で捕捉率が高く、アンサンブル予測の利用による精度向上の効果が得られた。

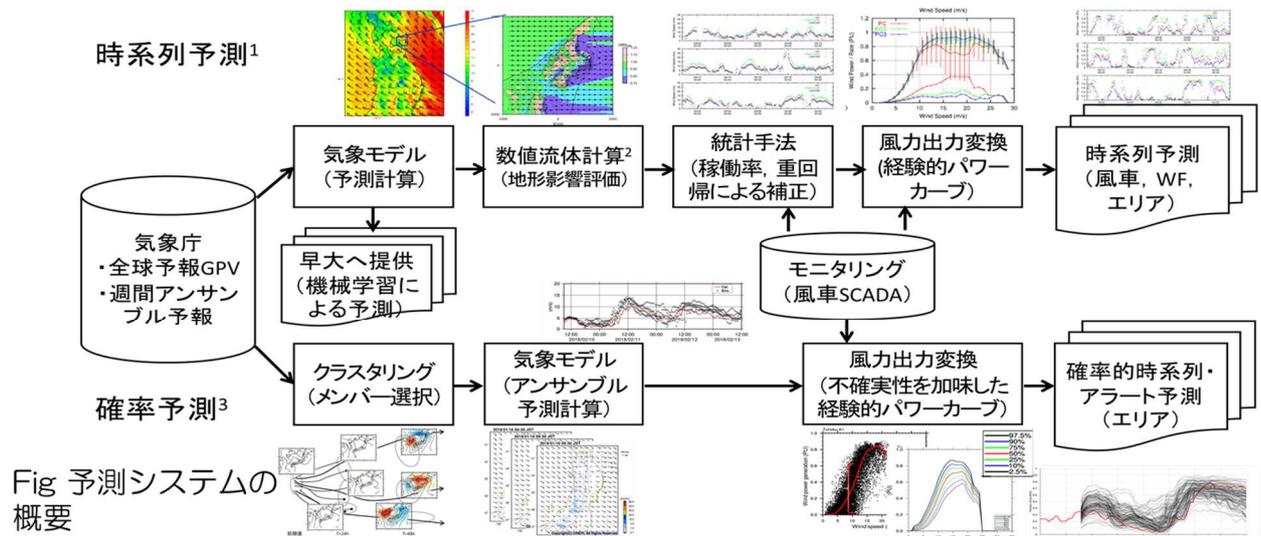


Fig 予測システムの概要

1. S. Kadokura, D. Nohara, M. Ohba, A. Hashimoto, K. Nakao, Y. Hattori, T. Watanabe, H. Hirakuchi : "Japan's R&D Project of Ramp Forecasting Technology: Deterministic Forecast with Post-processing Using Real-time Monitoring Data", 17th Wind Integration Workshop, WIW18-6 (2018)
2. K. Nakao, Y. Hattori, "Rational average process of the long-term observation data on complex terrains reconciling to the numerical simulation", J. Wind Eng. Ind. Aerod. (Submitted)
3. D. Nohara, S. Kadokura, M. Ohba, T. Watanabe : "Japan's R&D Project of Ramp Forecasting Technology: Probabilistic Forecast Based on Dynamical and Statistical Ensemble Methods", 17th Wind Integration Workshop, WIW18-112 (2018)

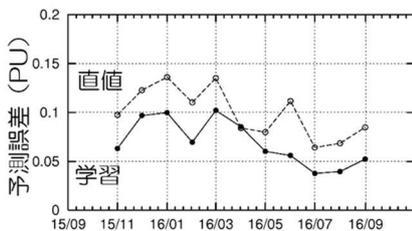


Fig.1 モニタリングデータによる学習より時系列予測誤差を30%低減。

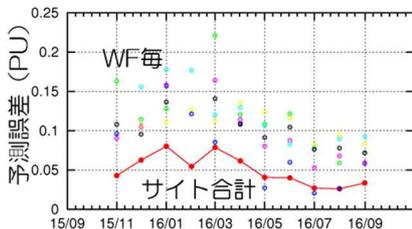


Fig.2 東北エリアサイト合計により50%程度の誤差低減効果。

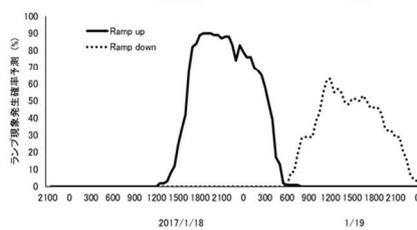
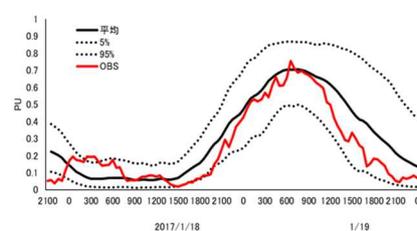


Fig.3 100アンサンブルメンバーより、時系列予測とランプ現象発生を確率的に予測。

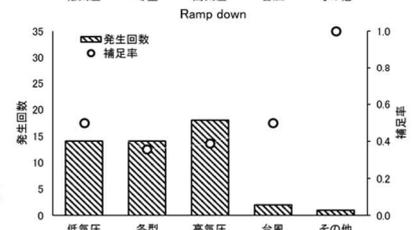
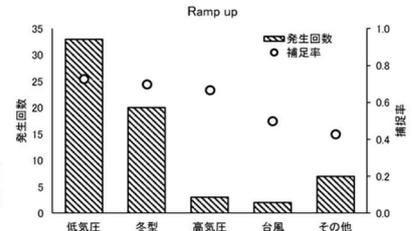


Fig.4 ランプ要因毎のランプアラート捕捉率。

2-1-2-2-2-A3. アナログアンサンブルとマルチモデルを併用した風力発電出力のハイブリッドアンサンブル予測手法の検討 (電力中央研究所)

地上気象観測データから推定した過去の風力発電出力を使用し、自己組織化マップにより天気図パターンを分類した。他国気象局も含めた複数予報機関によるアンサンブル予測の気象場から、確率的に発電出力とランプ現象の発生を予測する手法を開発した。この手法は、大気力学に内在するカオス性および数値気象モデルの不確実性を考慮することができるモデルとアナログのハイブリッドアンサンブル予測である。また、一週間以上の風力発電出力を予測することもできるようになった。

2-1-2-2-2-B1-1. 統計的手法によるアプローチ（日本大学）

海面気圧の客観的パターン分類の手法を応用し、気圧主成分空間内の客観情報（ランプの生じた位置、風速、発電出力情報）に基づく統計ダウンスケーリング手法を開発した。

本手法は広領域（総観規模の領域）への適用と、狭領域（北海道、東北、東京）への適用から構成される。広領域への適用においては、実際に気象場を予測する数値気象モデルの選択に利用することを目的として、主成分空間内における過去の風速ランプの生じた位置を特定・グループ分けを行い、各予測時刻での主成分空間内の特定位置から、過去のどの風速ランプの生じた位置（グループ）に接近するかを提供する。狭領域への適用においては、気圧の予測計算値から発電出力あるいはランプアラートを求める統計ダウンスケーリングを目的として、主成分空間内における各予測位置の近傍数点の過去の発電出力のデータから平均と標準偏差を計算し、ランプアラート（予測時刻間での変化確率）を求める。

本開発の結果は、3つのエリア別、ランプアップ・ダウン別に風速ランプ現象の類型化に適用され、数値気象モデルの選択に利用された。また、ランプアラートについては、気象+統計の連携により、高精度な予測を実現した。

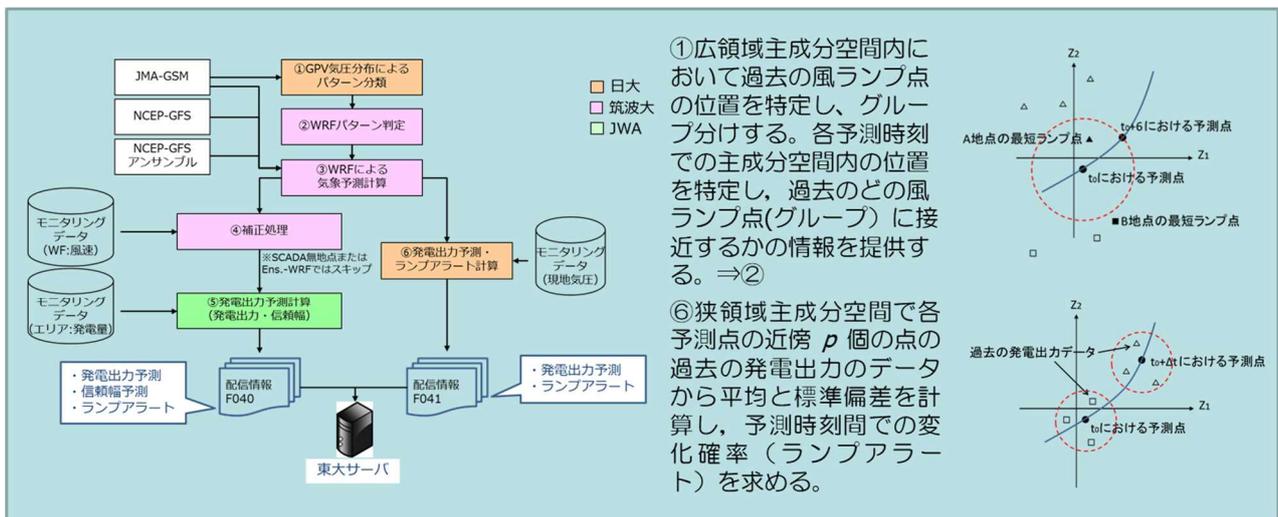


図1：日大・筑波大手法予測システム処理フロー図。日大担当分は①と⑥。

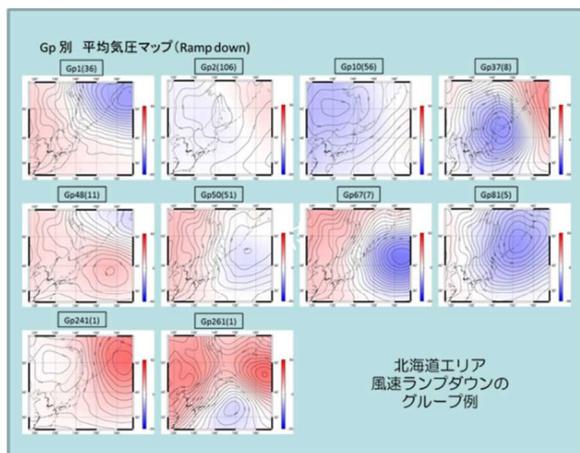


Fig 1：広領域主成分空間で分類された風速ランプ現象。（北海道エリア，ランプダウン）

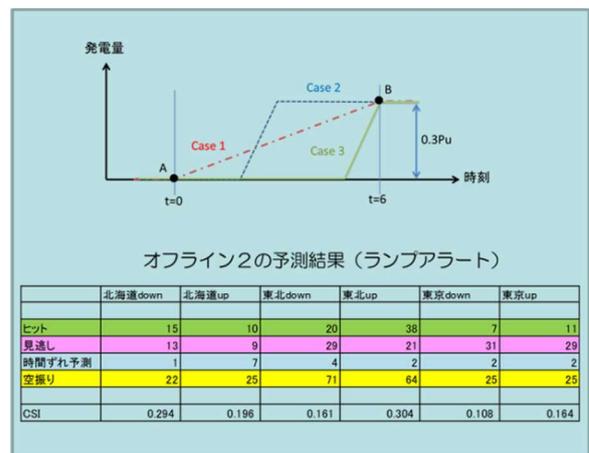


Fig 2：A点から6時間以内のランプアラートの概念図とオフライン2の予測結果。

2-1-2-2-2-B1-2. 統計的手法によるアプローチ（電力中央研究所）

電中研風力発電予測システム NuWFASWinP は、気象庁数値予報値 (GPV) を入力として、気象モデルと局所風況モデルを用いたダウンスケーリング・統計モデルによるナセル風速補正・パワーカーブ等による発電出力への変換、により構築される単機ごとの出力を予測する。

本項目においては、単機出力予測を合計してウィンドファーム予測を、更にそれを合計してエリア予測を構成し、基本予測とした。

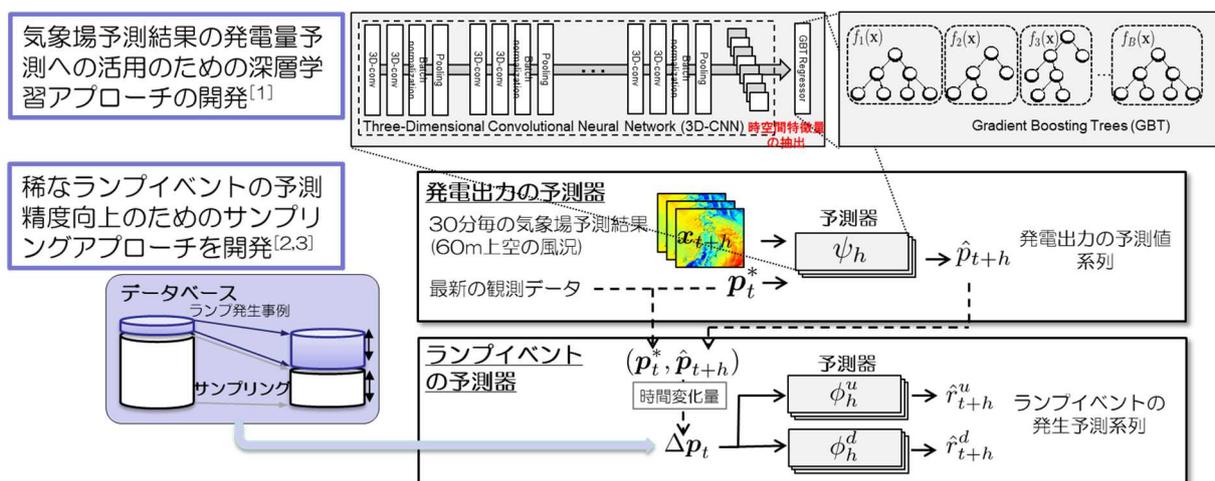
基本予測に対して、局所風況モデルの利用法の改良・モニタリングデータ利用法の改良を通じ、発電出力の高精度な予測を実現した。また、時系列そのものとは別に、ランプ予測に対応するための急変化振幅の簡易的な予測手法を開発し、ランプ補足率を改善した。

2-1-2-2-2-B2. 機械学習によるアプローチ（早稲田大学）

気象場予測情報・ウィンドファーム観測網によるデータ・広域気象観測網によるデータを入力として、本項目では、風力発電出力・信頼区間・ランプ現象の発生及びその発生確率を予測する、機械学習に基づく手法を開発した。

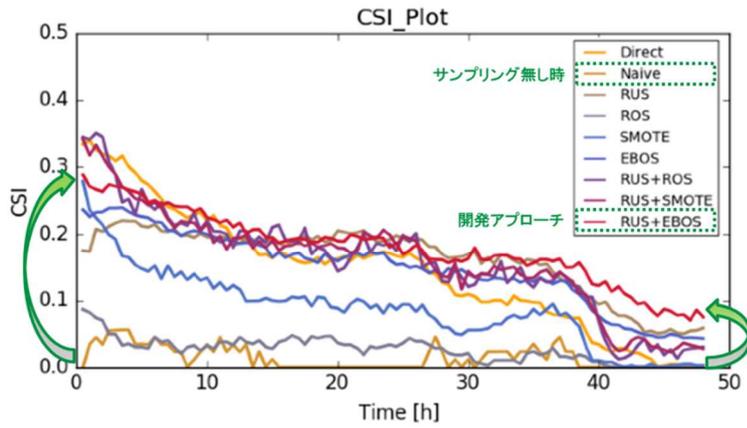
高次元の蓄積データに基づき予測器を構築する機械学習手法群の適用を比較検討し、多変量間の非線形な統計的構造の表現に適したノンパラメトリックな手法を選択した。

また、特に、稀なランプ現象を機械学習手法で予測する際の困難性（データ不均衡性）を世界で初めて明示し、この問題に対応するためのサンプリングアプローチを開発することで、ランプ現象発生に関する予測精度の改善に成功した。

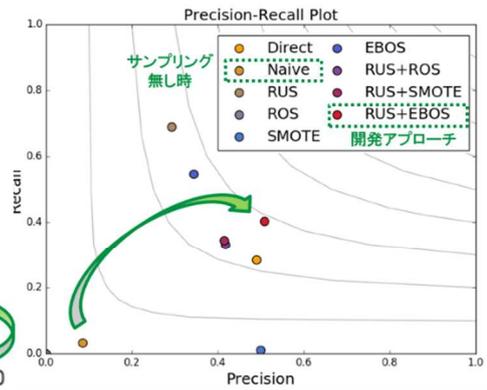


発電出力/ランプイベント予測器の構築の概要

1. K. Higashiyama, Y. Fujimoto, Y. Hayashi, "Feature Extraction of NWP Data for Wind Power Forecasting Using 3D-Convolutional Neural Networks", Energy Procedia, 155: 350-358, 2018.
2. Y. Takahashi, Y. Fujimoto, Y. Hayashi, "Forecast of Infrequent Wind Power Ramps Based on Data Sampling Strategy", Energy Procedia, 135: 496-503, 2017.
3. Y. Fujimoto, Y. Takahashi, Y. Hayashi, "Alerting to Rare Large-Scale Events in Wind Power Generation", IEEE Trans. Sustainable Energy, 10(1): 55-65, 2019.



予測対象時間と予測結果のCSI(ランプダウン)の様子^[3]

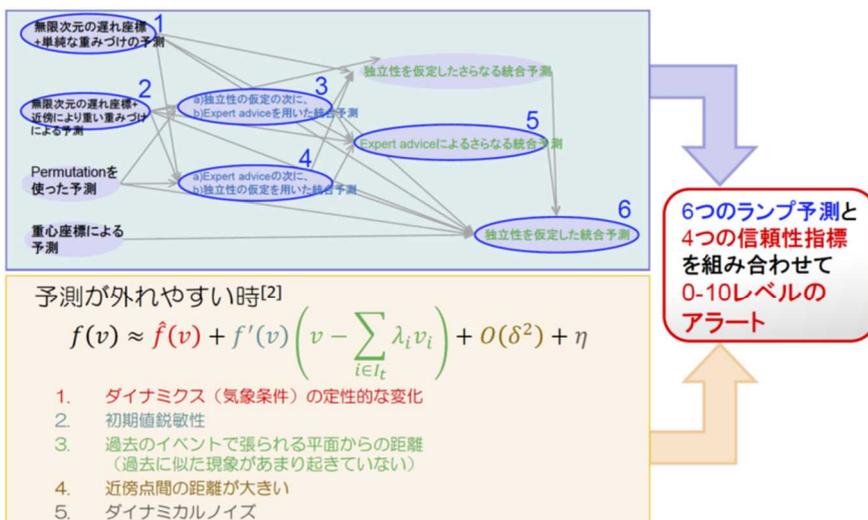


6時間先の予測(ランプアップ)に対するPrecision-Recall^[3]

2-1-2-2-2-B3. Dynamical Systems 理論によるアプローチ (東京大学)

本項目では過去の発電出力データのみから予測が可能な手法の一つである Dynamical Systems 理論に基づく従来の風力予測とは全く異なる発電出力予測手法及びランプ予測手法を開発した。

具体的には、重心座標を用いた時系列予測を発展させたことに加え、指数的に減衰する重みを用いた無限次元の遅れ座標を提案し、計算の高速化と予測精度を向上させた。また、ランプ発生の予兆をとらえる動的ネットワークマーカー、状態依存の不安定性を評価する局所最大リヤプノフ指数、現在の状態の特異性を定量化する過去データへのメトリック、発電出力データの決定論性の指標、の4種類の信頼性を評価する数理的指標を用いて、時系列予測が外れるとき(大外し)に着目した0-10段階のアラートによるランプ予測手法を開発した。

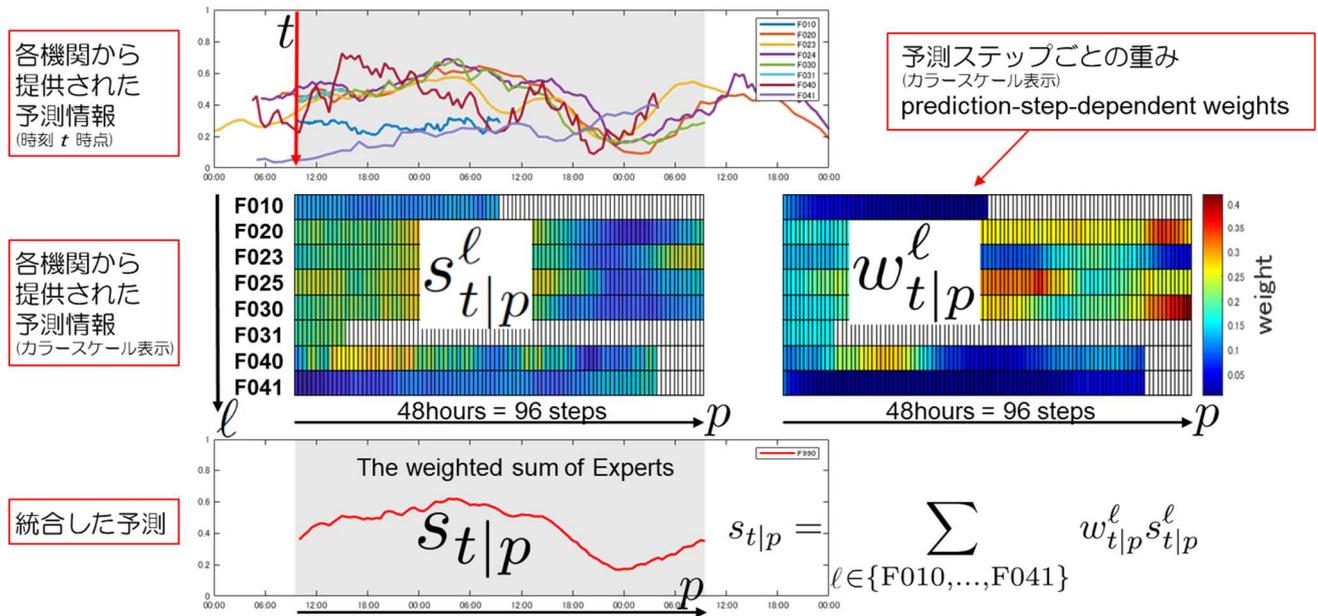


様々な指標から多角的にランプ現象の予兆をとらえる

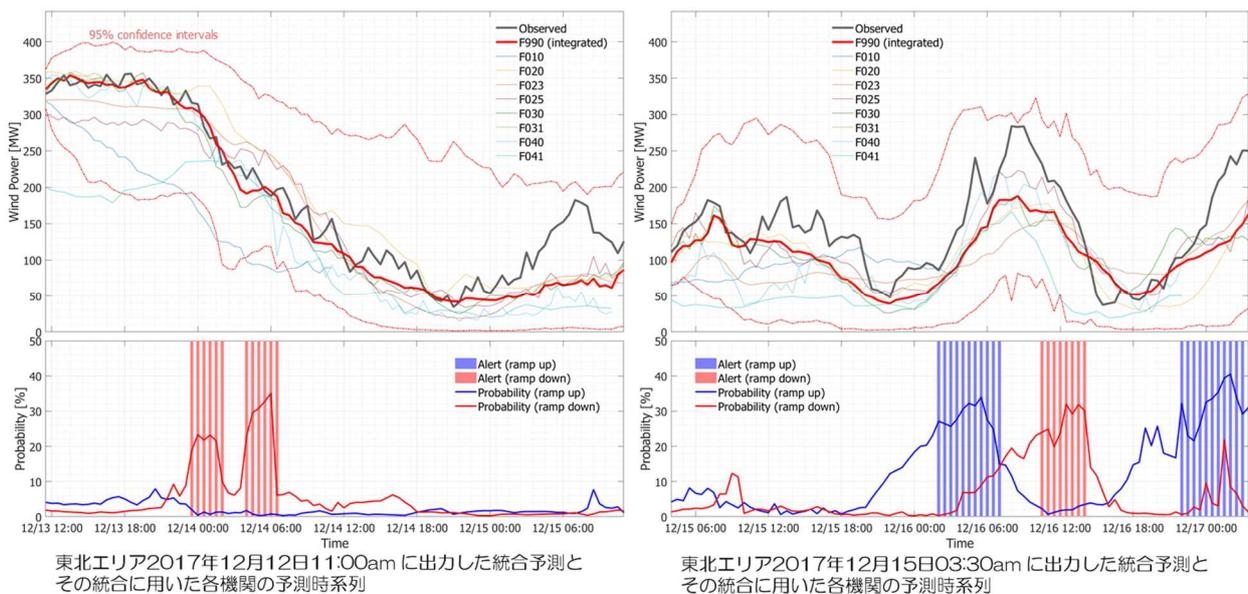
1. Yoshito Hirata, Tomoya Takeuchi, Shunsuke Horai, Hideyuki Suzuki, and Kazuyuki Aihara, "Parsimonious description for predicting high-dimensional dynamics," Scientific Reports, Vol. 5, Article No. 15736 (2015).
2. Yoshito Hirata and Kazuyuki Aihara, "Predicting ramps by integrating different sorts of information," The European Physical Journal Special Topics, Vol. 225, No. 3, pp. 513-525 (2016).
3. Yoshito Hirata and Kazuyuki Aihara, "Dimensionless embedding for nonlinear time series analysis," Physical Review E, Vol. 96, 032219 (2017).

2-1-2-2-3. 複数予測手法の統合 (東京大学)

ランプ予測技術開発ワーキンググループの各実施法人から提供される、発電出力、信頼区間、ランプアラート、ランプ発生確率の各種予測情報をそれぞれ統合する手法を開発した。機械学習の一手法である Expert Advice 法を基に、予測ステップごとの重み付き平均を用いる Prediction-Step-Dependent Expert Advice 法を新たに開発し、時系列誤差の最小化を目指すとともにランプ現象に着目した統合を行った。本手法を発電出力、信頼区間、ランプアラート、ランプ発生確率それぞれに適用することで、世界的に類を見ない画期的な技術による信頼性の高い統合予測を出力することができた。



4. Tomoya Takeuchi, Yoshito Hirata, Shunsuke Horai, and Kazuyuki Aihara, "Japan's R&D Project of Ramp Forecasting Technology: A Forecast Integration Method," The 17th Wind Integration Workshop, WIW18-145 (2018).



2-1-2-2-4. 予測技術の精度評価

本事業で開発したランプ予測技術、および複数予測手法の統合による予測の予測精度の評価を適切に実施するために、各予測出力要素（発電出力時系列予測、発電出力予測の信頼区間、ランプアラート、ランプ発生確率）に適した評価指標を選定し、ベンチマークとの比較を実施した。ランプ現象の予測については、発電出力の予測時系列からランプ現象の定義に当てはまる変動を抽出する予測と、本事業で新たに開発したランプアラートによる予測について評価を実施し、開発目標に対する達成度を確認した。

ベンチマークテストに基づいて設定された開発目標については、北海道・東北・東京の全てのエリアにおいて達成し、海外プロジェクトにおけるランプ予測の精度と比較しても遜色なく、世界最高水準を達成した。

□ 評価の概要

◆ 予測対象

北海道電力管内：12WF（257.98 MW）

東北電力管内：20WF（441.9 MW）

東京電力管内：14WF（239.57 MW）

◆ 予測・評価期間

北海道エリア：2018年3月～2018年5月（3か月）

東北・東京エリア：2017年11月～2018年5月（7か月）

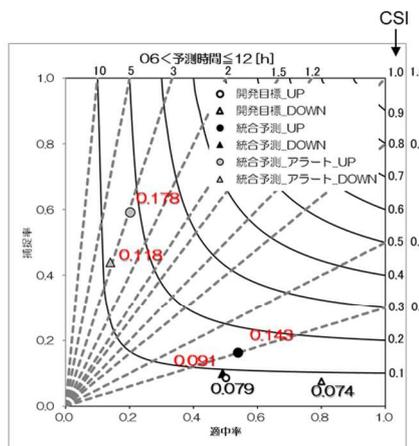


図1. 東北エリアを対象としたランプ予測精度評価の結果

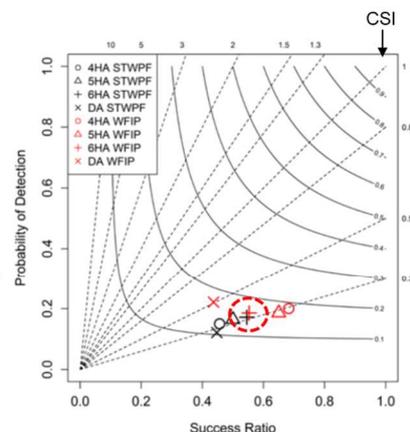


図2. 海外プロジェクト^[1]におけるランプ予測の精度（赤印が最新）

[1]J. Zhang, A. Florita, B. M. Hodge, J. Freedman, "Ramp Forecasting Performance from Improved Short-Term Wind Power Forecasting," Proceedings of the ASME 2014 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, 2014.

※1 ランプ現象の定義、気象条件、風力発電の設備容量、CSI算出条件等の諸条件が異なるため、単純な数値の比較はできないが、参考として記載。

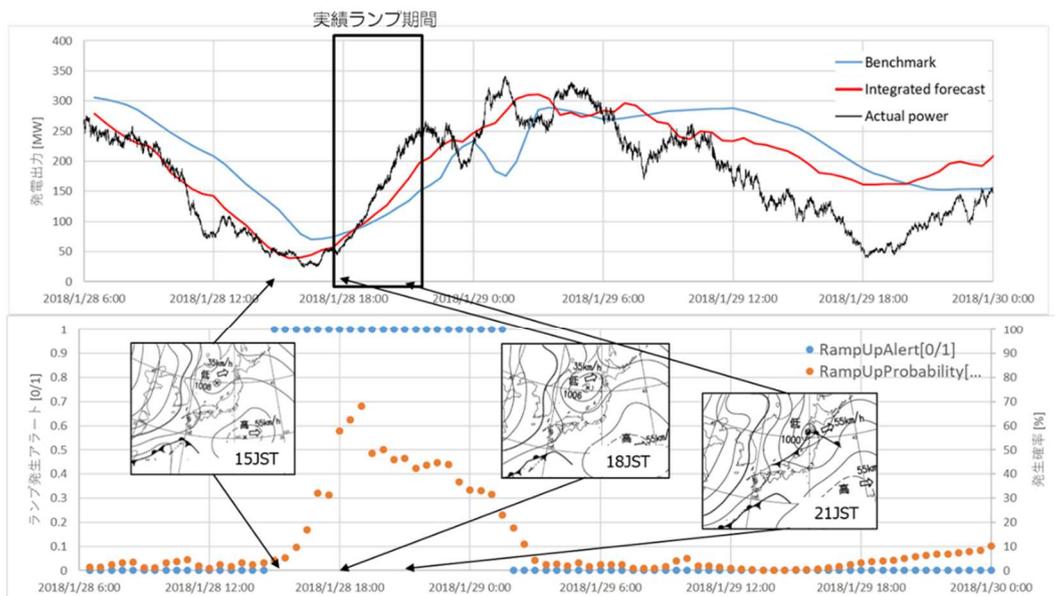


図1. 既存技術では予測できなかったランプ現象を本事業で開発したランプ予測技術で予測した事例（ランプアップ）

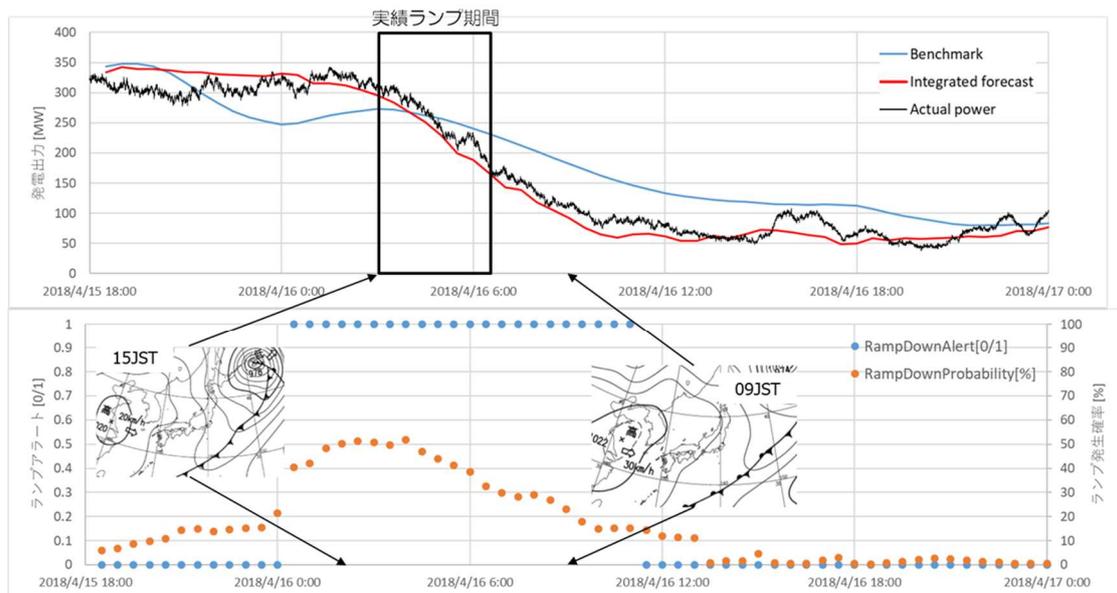


図1. 既存技術では予測できなかったランブ現象を本事業で開発したランブ予測技術で予測した事例（ランブダウン）

2-1-2-2-4. 予測技術の価値評価

本事業で開発したランブ予測技術を評価するための需給シミュレータを開発し、電力システムの需給運用の観点に基づく分析を実施した。

ランブアラート・予測発電出力を用いて対象エリアの需給運用計画を策定し、当日需給シミュレーションを行い、供給不足電力量を基にした供給安定性と運用費を基にした経済性から、ランブ予測技術を定量評価し、その結果を各予測技術開発にフィードバックした。本事業にて開発されたランブアラートを使用することにより、わずかな費用増で供給安定性が向上することが確認された。さらに、複数予測手法の統合による予測の場合は、ベンチマーク予測と比較して供給安定性が向上することが確認できた。

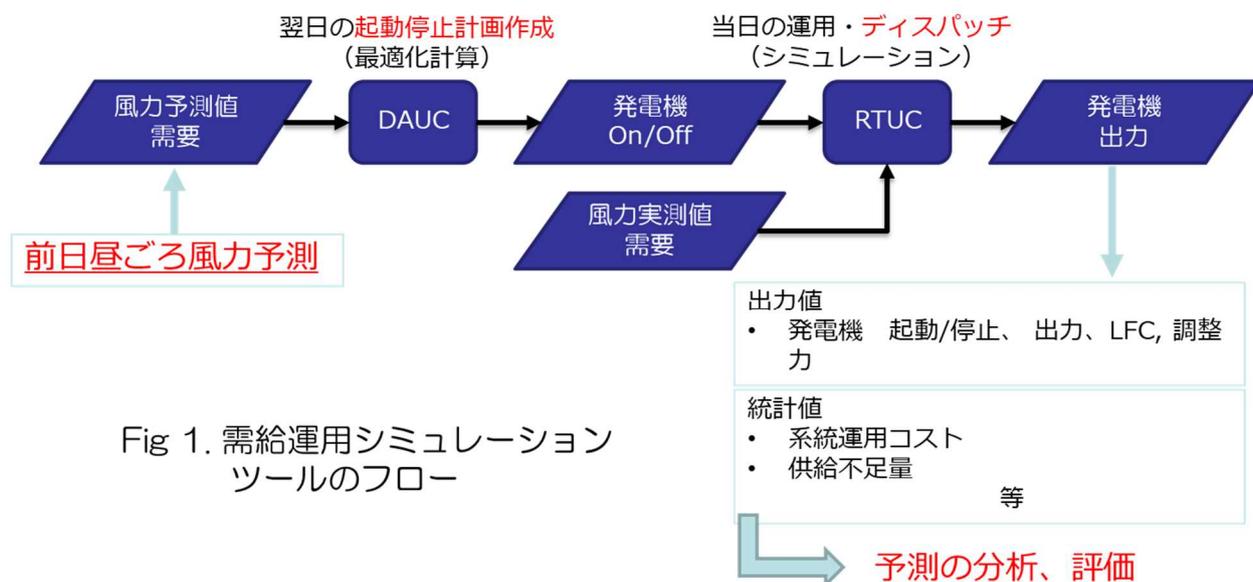


Fig 1. 需給運用シミュレーションツールのフロー

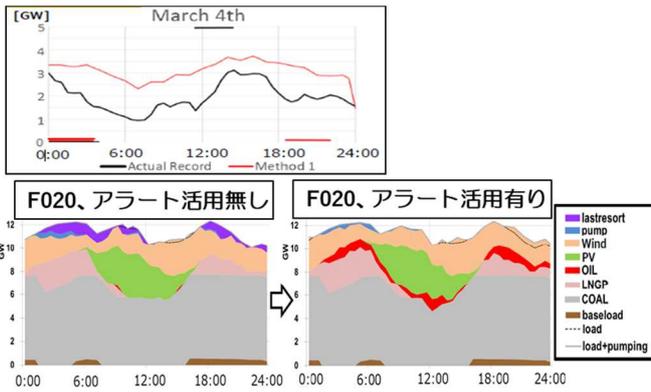


Fig2. 風力予測・実績・ランプアラートと需給運用シミュレーション結果

Source: Y. Nishitsuji, Y. Udagawa, K. Ogimoto, K. Ukegawa, S. Fukutome: "Development of Wind Ramp Forecasting Technology in the National R&D Project (in Japan): Evaluation of Developed Forecasts by Power System Operation Simulation", 17th Wind Integration Workshop, WIW18-180 (2018)

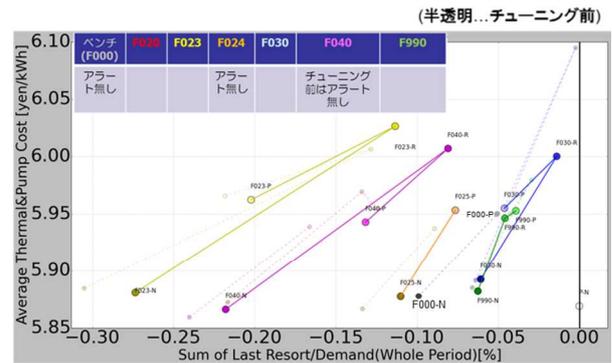


Fig3. 2017/11/5~2018/5/31 東北における需給シミュレーション結果 (横：供給力不足、縦：平均コスト)

2-1-2-3. ランプ予測システム開発 (伊藤忠テクノソリューションズ・日本気象協会・東京大学)

本事業により開発されたランプ予測技術をもとに、3エリアにおけるリアルタイムに予測するシステムを開発した。このシステムは、風力データベースとの連携、数値気象計算等の大規模計算、ランプ予測をシームレスに処理できる高度なシステムである。システムは約2年間運用され、稼働率と予測発表成功率、導入・運用コストを総合的に評価した結果、実用化の見通しが得られた。



日本気象協会設置の並列計算機



CTCが東大電算室に設置した計算機

- ※1 予測発表成功率 = 予測発表成功数 / 予測仕様の想定発表数
 予測発表成功：発表時間+1分以内に予測が存在、かつ欠測値の割合が10%未満
 予測発表失敗：発表時間+1分までに予測が存在しない、またはファイルが存在しても欠測値の割合が10%以上

2-1-2-4. 「出力予測を活用したウィンドファーム出力制御技術開発」 (実施者：東京大学)

2-1-2-4-2-a. ウィンドファーム内を対象とした制御技術の高度化

風力発電の出力変動は風車に流入する風の変動に起因する。特に突風（ガスト）のような事象に対して、従来の風力発電は、流入する風に遅れた追従制御となるため、大きな出力変動が発生する。そこで本項目では、風車前方の風情報をナセル搭載型ライダーにより取得し、変動予兆を

検知し、フィードフォワード制御により風力発電の変動緩和を達成する技術を開発した。ここでは、風車に流入する風の計測・分析、制御手法のシミュレーション検討、そして世界で初めての試みとしてガストに特化した変動緩和制御を開発し、実証試験により確認した。具体的には、実風車データに基づく出力変動パターンの把握とモデル化を実現した。また平坦地形での出力変動発生率、複雑地形での出力変動発生率を分析、モデル化することに成功した。ガスト緩和制御技術により実機（2MW機）における出力変動を緩和することができた。

フィールド計測よりLIDAR風速推定精度の把握するとともに、風車制御モデル構築、（風力発電事業者インセンティブ評価も含め）風車へのダメージ、影響などについて検討が必要。変動が発生する風特性を把握し、出力緩和可能性について実機ベースで検討した

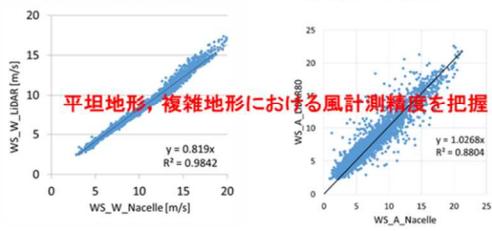


図 ナセル: 有効, LIDAR: 有効

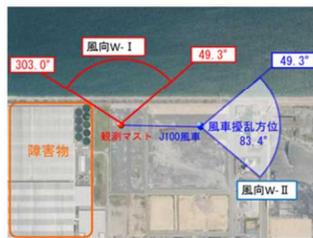


図 平坦地形風向区分図

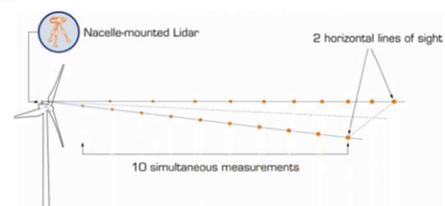
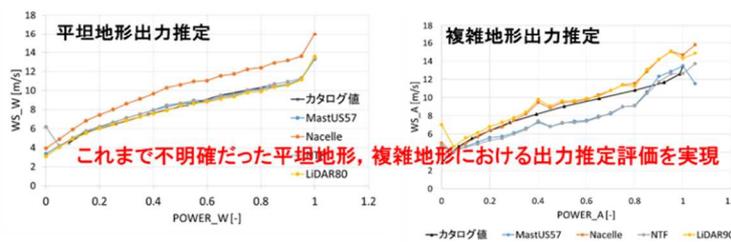
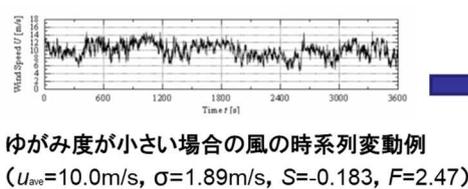
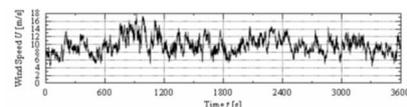


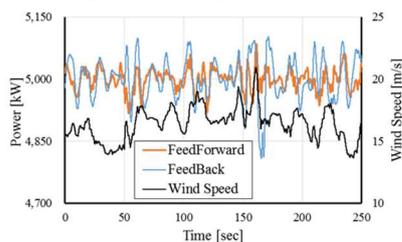
図 LIDAR計測図^[1]



ゆがみ度が小さい場合の風の時系列変動例
($U_{ave}=10.0\text{m/s}$, $\sigma=1.89\text{m/s}$, $S=-0.183$, $F=2.47$)



ゆがみ度が大きい場合の風の時系列変動例
($U_{ave}=9.79\text{m/s}$, $\sigma=2.24\text{m/s}$, $S=0.434$, $F=3.00$)



平坦地形 20%以上出力変動
出現頻度1%未満

複雑地形A 20%以上出力変動
出現頻度17.2%

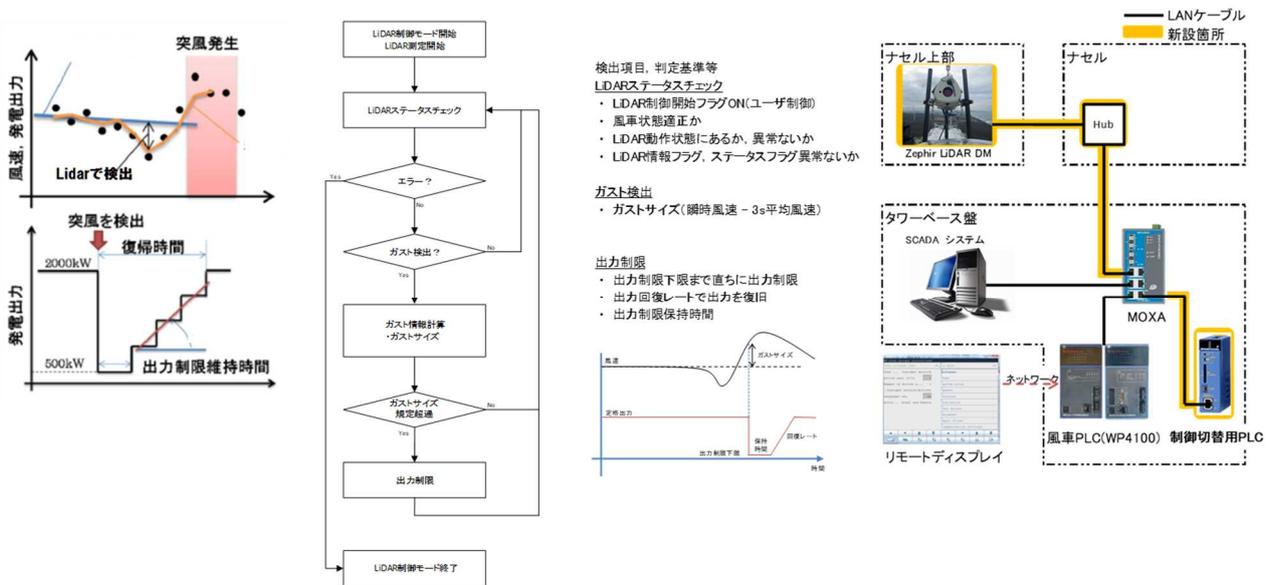
● Lidar計測データに基づくシミュレーションを実施し、
変動緩和性能を確認

□ 変動標準偏差

○ Feedback : 1.0%

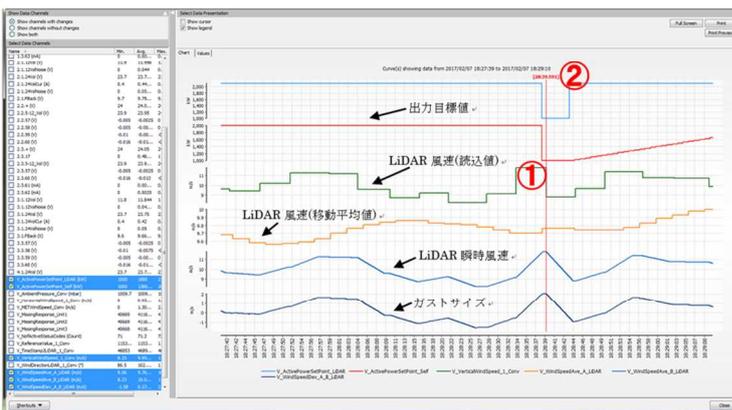
○ Feed-forward : 0.5%

○ ※変動緩和可能であることを確認

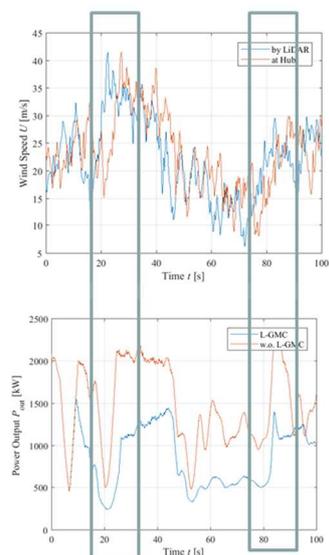


急変緩和制御機能試験の実施

風車前方(100m)地点のLIDAR計測とガスト急変2m/sに対し、急激な風の変動(ガスト)を検知して設定通り出力目標値を事前に低下させることで急変事象を回避



LIDARの瞬時変動がガストを検知し(①)、出力目標値を段階的モードに移行(②)することを確認



LIDARが事前に検知し、L-GMCモードを起動させて変動を緩和
 ※制御なしの場合のナセル風速データをもとにしたモデル解析結果(w.o.L-GMC)を参考出力として記載

2-1-2-4-2-b. ウィンドファーム間を対象とした制御技術の高度化

電力需給運用における、経済運用を前提とした発電機運転計画の策定および経済負荷分担制御(EDC)には、電力系統全体で確保する必要調整力(量・速度)の把握と低減が必要となる。本項目では、予測情報を用いたウィンドファーム制御技術高度化を行い、特にエリア内の風力発電合計出力の秒オーダーの超短周期変動および分オーダーの短周期変動に起因する必要調整力を低減する変動抑制制御手法を開発した。

本制御では、超短周期変動の抑制のために出力変化率制限機能および短周期変動の抑制のために最大出力抑制機能を活用した。また、制御方式の検討に際しては、出力予測として持続予測、

完全予測、および本事業で開発した短時間出力予測を用いた。その結果、変動抑制制御による年間の逸失電力量率を低く抑えた上で、超短周期および短周期変動を低減することができた。

- 超短周期変動（変動周期が秒オーダーの変動） 制御目標：99.9%(+)変動率1%以下
 - 個別WFの出力変化率制限機能（Active power ramp rate limitation）を活用
- 短周期変動（変動周期が分オーダーの変動） 制御目標：99.9%(+)変動率5%以下
 - エリアWF出力監視・制御室にて、実績値と出力予測値を基に、短周期変動抑制に必要な出力抑制値を算出し、個別WFの最大出力抑制機能（Active power set-point control）を活用

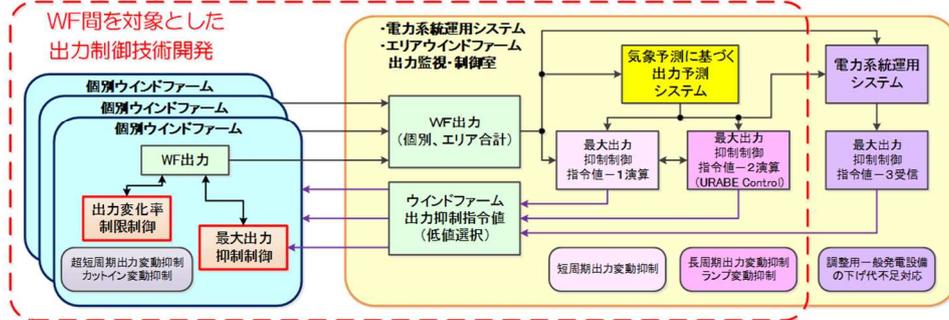


Fig1 出力制御構成図

1. T. Enomoto, T. Ikegami, C. T. Urabe, T. Saitou, K. Ogimoto, "Geographical smoothing effects on wind power output variation in Japan", International Journal of Smart Grid and Clean Energy, Vol.7, No.3, pp.188-194 (2018)
2. T. Ikegami, C. T. Urabe, T. Saitou, K. Ogimoto, "Numerical Definitions of Wind Power Output Fluctuations for Power System Operations", Renewable Energy, Vol.115, pp.6-15 (2018).
3. C. T. Urabe, T. Saitou, K. Ogimoto, "Active Power Control for Mitigation of Very-Short-term and Short-term Fluctuation of Wind Power", 17th Wind Integration Workshop (2018)

- 持続予測制御：直前の1分間平均値が、将来15分間継続するとした制御
- 完全予測制御：実績値を、将来の15分間出力に適用した制御（比較用）
- 出力予測制御：将来15分間の予測値を適用した制御（制御効果：持続と完全の間と想定）



Fig2 出力制御例：2017年度東北エリア $\alpha=0.5\%$, $\theta=8分/100\%$

4. C. T. Urabe, T. Saitou, K. Ogimoto, "Mitigation Control of Very-short-term and Short-term Fluctuations of Wind Power Output", Grand Renewable Energy International Conference (2018)
5. C. T. Urabe, T. Saitou, K. Kataoka, K. Ogimoto, T. Ikegami, "Active Power Control for Mitigation of Short-term Fluctuation of Wind Power", 16th Wind Integration Workshop (2017)
6. C. Urabe, S. Tetsuo, K. Kataoka, K. Ogimoto, "Case Study of Sequential Wind Power Cut-Out Occurrences in Japan", 14th Wind Integration Workshop (2015)

2.2 研究開発項目（I）風力発電予測・制御高度化：蓄エネルギー制御技術WG

本開発項目では、風力発電予測・制御高度化に向けて蓄エネルギー技術を用いた出力変動制御技術（変動緩和および計画発電）の開発を行った。変動緩和は、風力発電の系統接続に際して、一般送配電事業者によって風力発電の連系可能量が設定され、その連系可能量の枠の外で、蓄エネルギーを用いた制御の要件が設定されている状況を想定したものである。計画発電は、風力発電所が、計画値同時同量制度に基づいて発電電力を相対取引または市場を介して販売するようになることを想定したものである。二つのユースケースについて風力発電予測を活用した新しい制御技術を開発した。開発した変動緩和および計画発電の制御ロジックを、圧縮空気エネルギー貯蔵（CAES）、ヒートポンプ／ガスエンジン供用熱供給（HP/BG）システム、蓄電池の実証設備に適用し、制御が有効に機能することを実証した。

最終目標である「予測技術を活用したコストミニマムとなる最適な制御分担に基づいた風車制御技術と蓄エネルギー制御技術を確立」に向け、蓄エネルギー設備コストと風車制御コスト（出力抑制による発電量損失）の和の最小化を目的として、変動緩和と計画発電について、風車制御と蓄エネルギー制御とを組合せた制御技術を開発した。

<変動緩和>

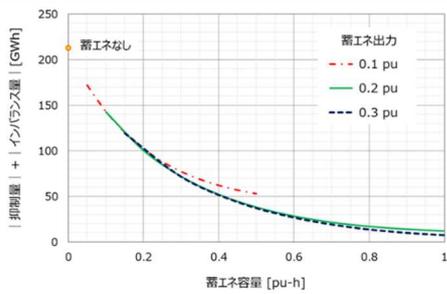
変動緩和では、要件を上側に逸脱する場合に、風車制御（出力抑制）を活用することができる。出力抑制を併用するシミュレーションを行い、蓄エネ制御のみの場合と比較した結果を表Ⅲ.2-1に示す。蓄エネ容量が最小となる条件を探索し、発電出力で6割程度、蓄エネルギー容量では4割程度削減できることを確認した。風車制御を行うことで発電量が減少するが、蓄エネルギー容量削減メリットと売電収入減少のデメリットを計算した結果、多くの条件において総合的にメリットが得られることが分かった。

表Ⅲ.2-1 蓄エネ制御のみと蓄エネ+出力抑制との比較

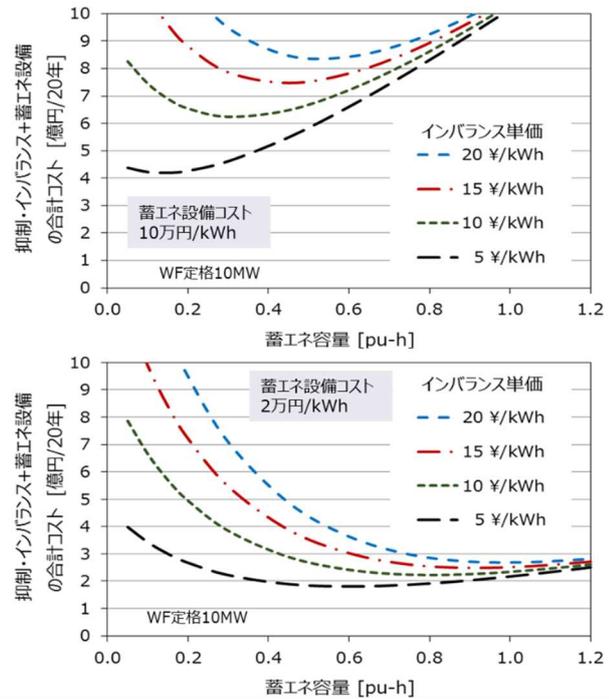
			蓄エネ制御のみ	蓄エネ+出力抑制
蓄エネ容量	出力	[pu]	0.65	0.25 (6割減)
	エネルギー容量	[pu-h]	1.3	0.75 (4割減)
出力抑制による発電量損失			0	1.6

<計画発電>

計画発電では、計画値と実発電量との差を蓄エネルギー装置で補正するが、蓄エネ容量が少ないと余剰インバランスや不足インバランスが発生する。このとき、余剰インバランスを風車制御（出力抑制）により解消することができる。蓄エネ容量と出力抑制量+不足インバランス量とは図Ⅲ.2-1左に示すようにトレードオフの関係にある。これらの総コストは、蓄エネ設備の容量と単価、並びにインバランスペナルティの単価によって変わる。図Ⅲ.2-1右に試算結果を示す。経済的な蓄エネ設置量には最適値が存在し（各グラフの極小値）は、その値は出力抑制による逸失電力とインバランスの単価、並びに蓄エネのコストによって決まる。



経済性を考えるため、
 ・インバンス単価
 ・蓄エネ設備コスト
 を仮定



図Ⅲ.2-1 計画発電における出力抑制と蓄エネ制御の最適化

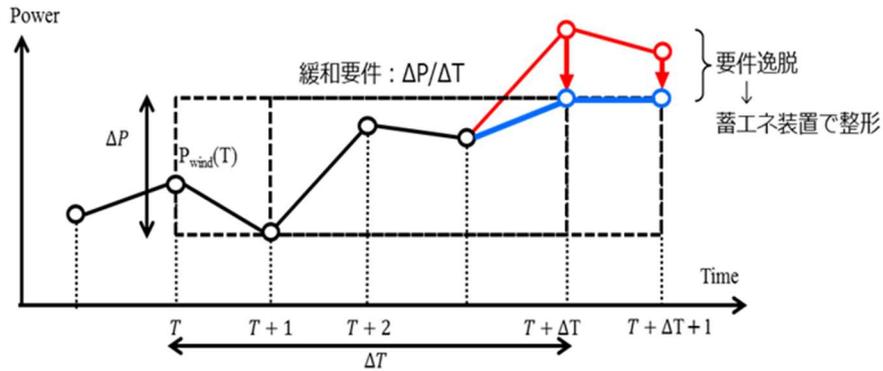
2-2-1 圧縮空気エネルギー貯蔵による出力変動制御技術の開発（実施者：早稲田大学）

2-2-1-1 変動緩和

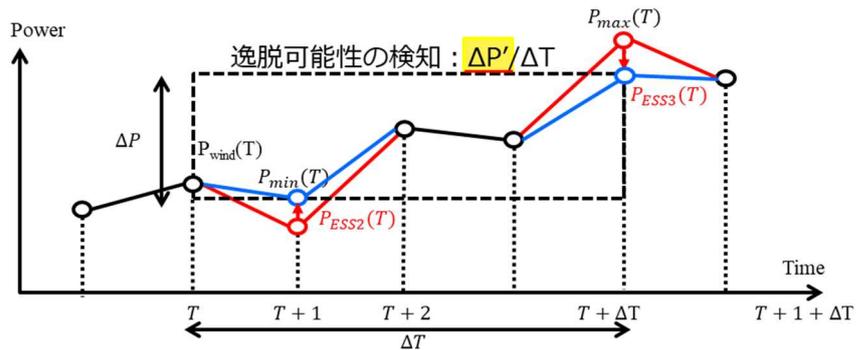
風力発電の出力変動対策としての電力会社等による変動緩和要件を満たすため、蓄エネルギー装置である CAES や蓄電池が併設されたウィンドファームを想定し、風力発電予測を活用して以下に示す制御技術開発を行った。

- ・ 出力事前制御
- ・ 予測誤差の推定方法
- ・ 風力発電出力制御による蓄エネルギー装置への効果 等

出力事前制御は、予測を用いて大きな変動が起きる前に事前に充放電を行い、所要蓄エネルギー装置の容量を削減する手法である（図Ⅲ.2-1-1-1）。予測がない場合は、図Ⅲ.2-1-1-1(a)のように変動緩和要件から逸脱する場合に蓄エネルギー装置から充放電を行い対応する。一方で、予測がある場合、風力発電出力が上昇する方向に逸脱すると予測された場合は、事前に予測された逸脱の半分のみ出力分だけ変動緩和要件枠を上昇させておく。この場合、事前に放電が必要となり、その後に充電が必要となるが、それらの出力は予測がない場合の半分のみとなる。また、逸脱回避に必要なエネルギー量も、出力が半分、時間も短くなることから大きく削減できる。



(a) 出力事前制御を行わない場合



(b) 出力事前制御を行う場合

図Ⅲ. 2-1-1-1 変動緩和制御

予測は、一般には予測を行う事業者が、気象情報や風力発電機のパワーカーブなどを用いて行う。風力発電事業者は、実際の発電出力との比較により予測誤差を特定し、直後の予測を修正することができる。本研究では、回帰および機械学習による予測誤差の推定手法を開発した。

この予測誤差推定手法と上述の出力事前制御を組み合わせた手法を適用し、既存の手法における所要蓄エネルギー容量を 100%とした時と比べて、回帰による手法と組み合わせた場合は 24.6%、機械学習による手法と組み合わせた場合は 22.2%に削減可能との結果が得られた。この結果、数値目標として設定した「既存手法の場合と比較して 25%以下」を達成した

2-2-1-2 計画発電

スポット市場および時間前市場を想定した風力発電の計画発電に関して、CAES と蓄電池を対象とした逐次決定手法を開発した。計画発電では、風力発電の出力予測情報を基に 30 分を 1 コマとする発電計画値を作成し、市場のゲートクローズまでに入札を完了する。実需給時に発電出力値が発電計画値と異なる場合、CAES または蓄電池の充放電によって電力量を補正することで計画値同時同量を達成することを目指す。

発電計画値と実発電量との差はインバランスとして計算される。CAES または蓄電池を用いてこのインバランスを極力削減するために、次の 3 つの検討を行った。

- 時間前市場における SOC 推移の利用 (SOC の補正)

計画値作成時の充電レベル（SOC）から供給開始時のSOCを推定する。推定したSOCと目標SOC（0.5）の差を充放電で補う（SOCを調整する）ような計画値を作成する。

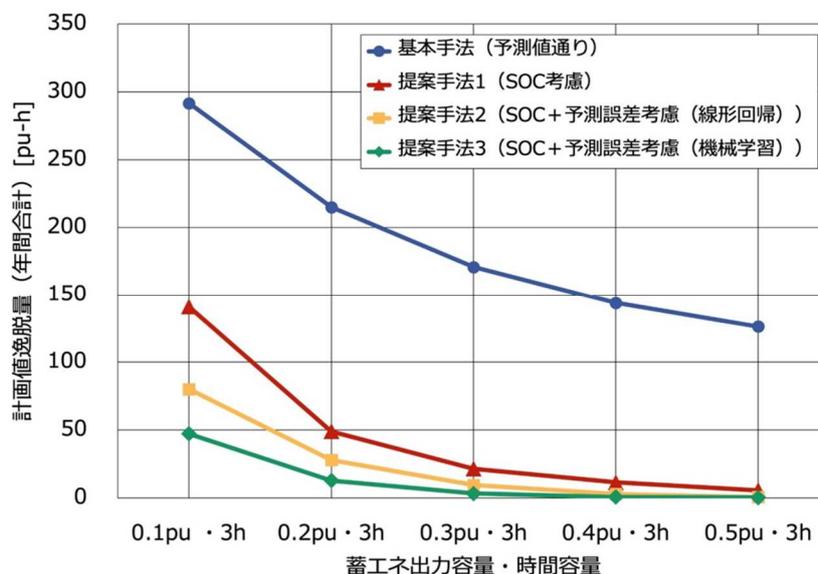
- 予測誤差の利用

線形回帰または機械学習（バギング決定木）を用いて発電予測値の補正を行うことで、より正確なSOC推移の利用を支援する。

- 時間前市場におけるSOC調整最大値の補正

SOC推移の利用において、推定SOCと目標SOCの差が大きいとき、SOC調整のための出力は最大でもCAESや蓄電池の定格出力となる。実際の発電出力値と発電計画値の差がCAESや蓄電池の定格出力値を超えることによるインバランスを極力回避するため、発電予測値の予測誤差の分布や信頼区間情報を用いてSOC調整最大値を補正する。

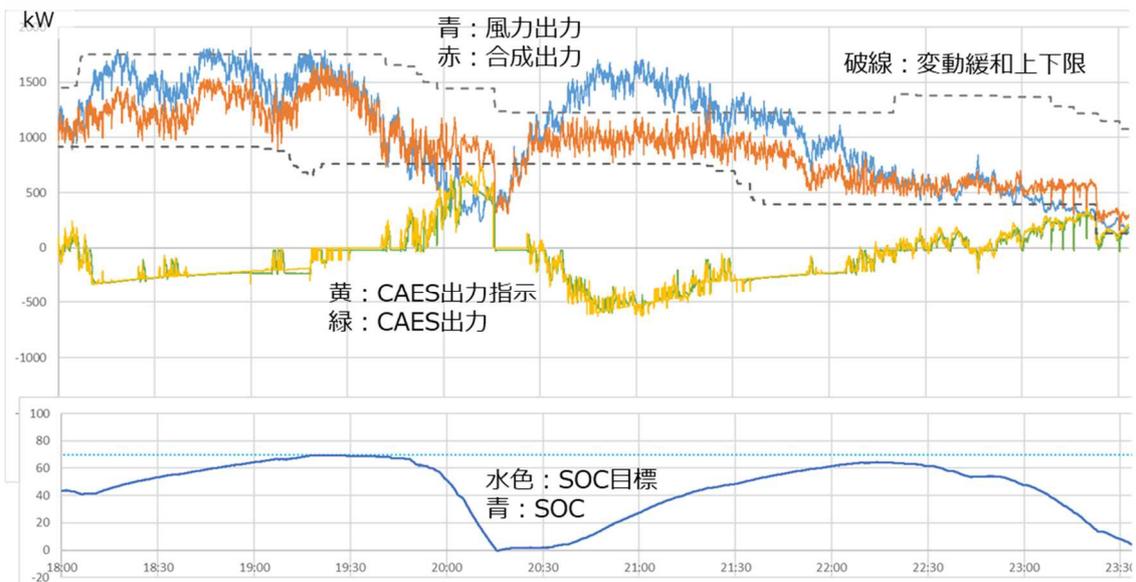
図Ⅲ. 2-1-1-2に、各手法（基本、SOC推移考慮、予測誤差考慮）における年間インバランスを示す。この図からSOCの推移や予測誤差を制御に反映させることにより、計画値逸脱量を大きく減らすことが可能であることが分った。



図Ⅲ. 2-1-1-2 各手法によるインバランス

2-2-1-3 実証試験：変動緩和

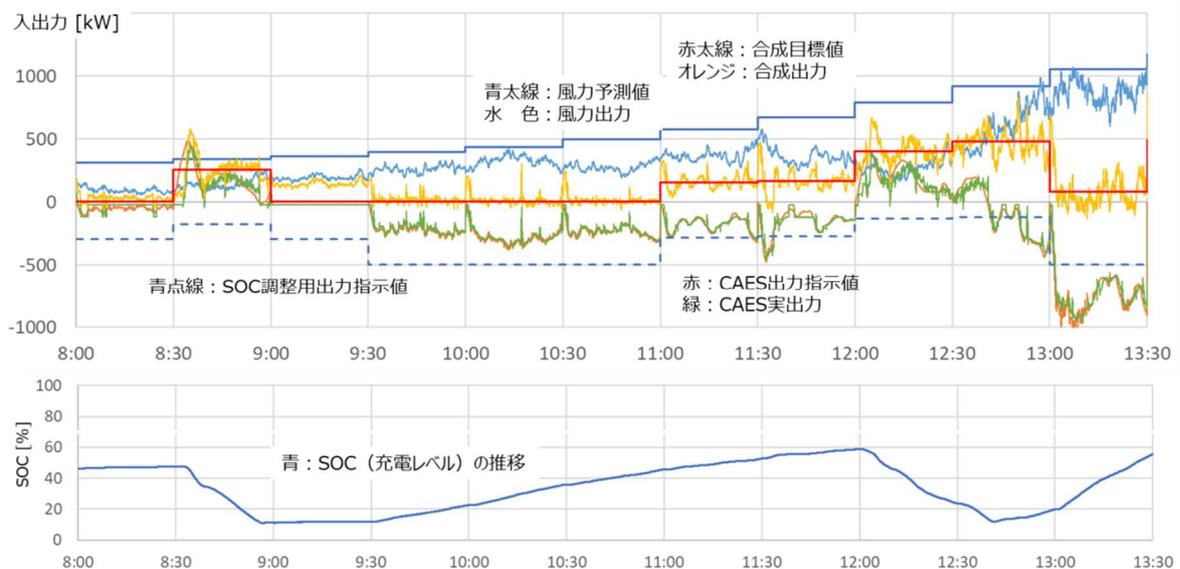
CAES実証設備を用いた変動緩和試験の制御結果の例を図Ⅲ. 2-1-1-3に示す。変動緩和要件はCAESの容量を考慮し、0.5pu/120分とした。CAES実証設備は、概ね出力指示どおりに動作している。制御前の風力発電出力の要件逸脱時間が12,969秒（時間比率60.0%）であったのに対し、制御後は1,574秒（時間比率7.3%）に減少し、逸脱時間を約88%減少させることができた。



図Ⅲ. 2-1-1-3 変動緩和制御実験結果

2-2-1-4 実証試験：計画発電

CAES 実証設備を用いた計画発電試験の結果の例を図Ⅲ. 2-1-1-4 に示す。赤太線が風力発電と CAES の合成出力の目標値を示している。合成出力目標値が風力予測値と異なるのは、2-1-1-2 項で説明した要素を加味したためである。CAES の SOC は運転可能範囲で推移しており、SOC の調整のロジックが機能していることが分かる。実際の合成出力（オレンジ）は目標値を中心に変動しているが、これは CAES の応答遅れが主な要因と考えられる。なお、30 分コマの積算値としては概ね目標値どおりの結果が得られている。



図Ⅲ. 2-1-1-4 計画発電制御実験結果

2-2-2 Power to Heat による出力変動制御技術の開発（実施者：北海道大学）

2-2-2-1 変動緩和

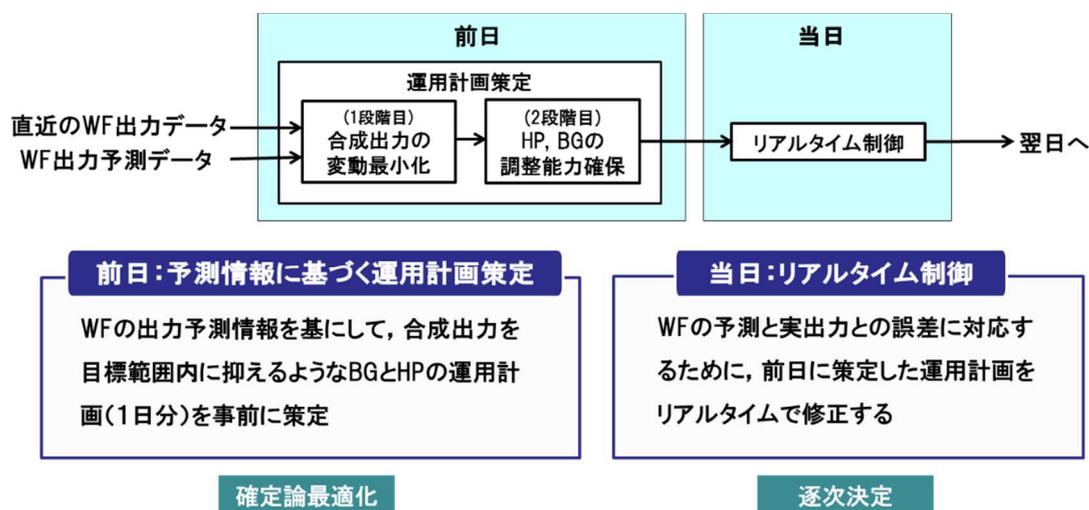
風力発電の出力変動対策としての変動緩和要件に対応するため、ヒートポンプ（HP）とバイオガス発電機（BG）による Power to Heat システム（HP/BG システム）を活用することを目指し、予測情報を利用した運用計画策定ならびにリアルタイム制御を2段階で実施する制御技術開発を行った。

制御の概要を図Ⅲ. 2-1-2-1 に示す。前日の段階では、ウィンドファーム出力の予測情報をもとにして、HP と BG の運用計画を最適化計算により事前に決定（運用計画策定）する。当日の段階では、オンラインで観測されるウィンドファームの実出力に応じて、予測誤差を補償するために前日策定した運用計画を修正する制御（リアルタイム制御）を行う。

運用計画策定ではウィンドファーム出力の予測情報をもとに、HP および BG による変動抑制が実施しやすくなるように、機器の運用計画を最適化計算により予め策定しておく。具体的には、変動抑制効果を最大限に引き出すために、まず「合成出力の出力変動の最大値の最小化」を最優先の目的として、次に「HP 出力とバイオガス貯蔵量の各目標値からの偏差が最小となる」ように機器の運用計画を策定した。

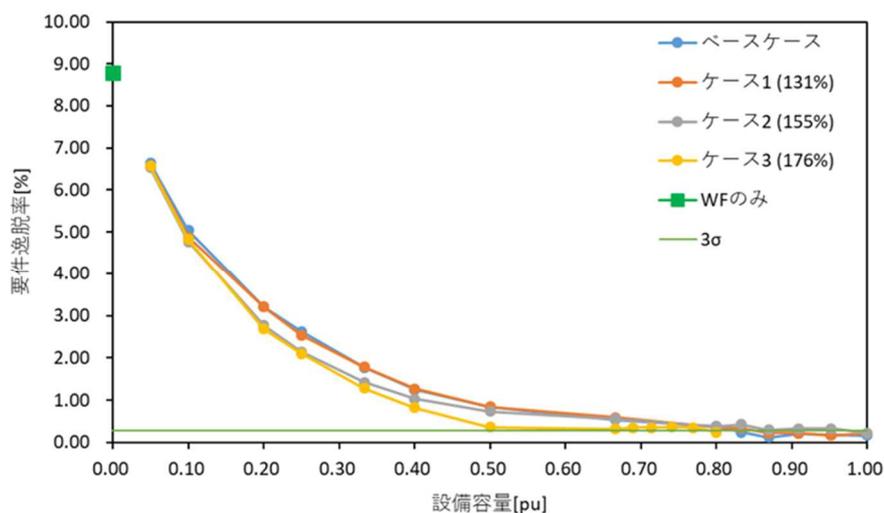
リアルタイム制御では、基本的には前述の運用計画通りに HP・BG を利用するものの、ウィンドファーム出力が予測から外れて合成出力が連系要件を逸脱してしまう場合には、これを回避すべく可能な限り HP および BG の運転を調整する。

運用計画およびリアルタイム制御の時間間隔は、機器の応答性を考慮して10分とした。



図Ⅲ. 2-1-2-1 HP/BG の変動緩和制御手法の概要

サンプルとして使用したウィンドファーム出力の約1年分の時系列データとその予測データを用いて、変動緩和制御の適用効果を評価した結果を図Ⅲ. 2-1-2-2 に示す。評価に当たっては、設備容量比（ウィンドファーム容量に対するHP/BGシステム容量の比）、ならびにBG容量に対するバイオガス生成速度をパラメータとして調整した。どのバイオガス生成速度（図中の「ケース1～ケース3」）においても、設備容量比が増すにつれて要件逸脱率が低減できていることを確認した。

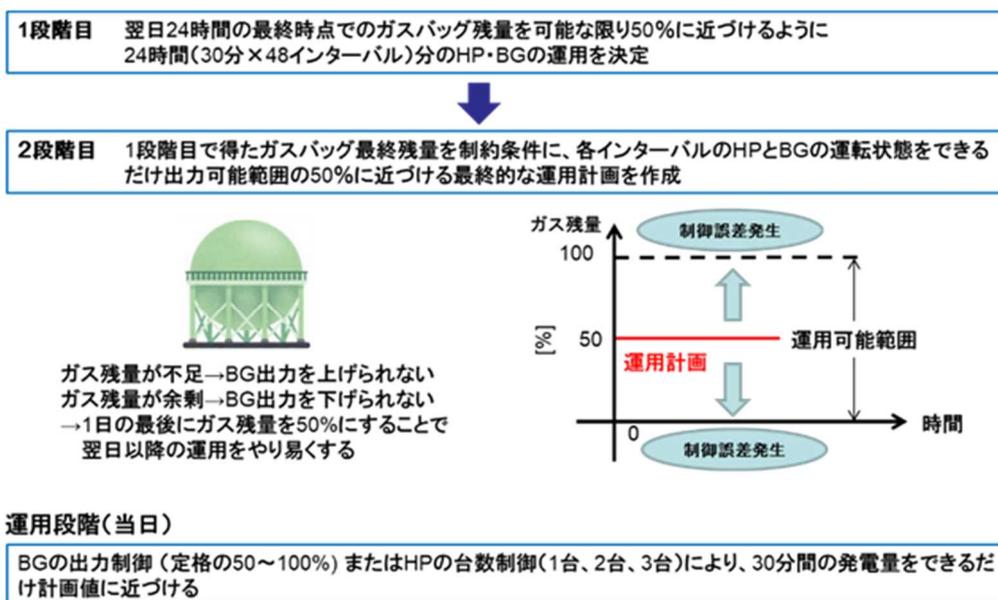


図Ⅲ. 2-1-2-2 東北エリアウィンドファームに対する変動抑制効果

2-2-2-2 計画発電

変動緩和制御と同様に、運用計画策定（前日）とリアルタイム制御（当日）を組み合わせる制御を行う手法を計画発電に適用した。図Ⅲ. 2-1-2-3 に概要を示す。

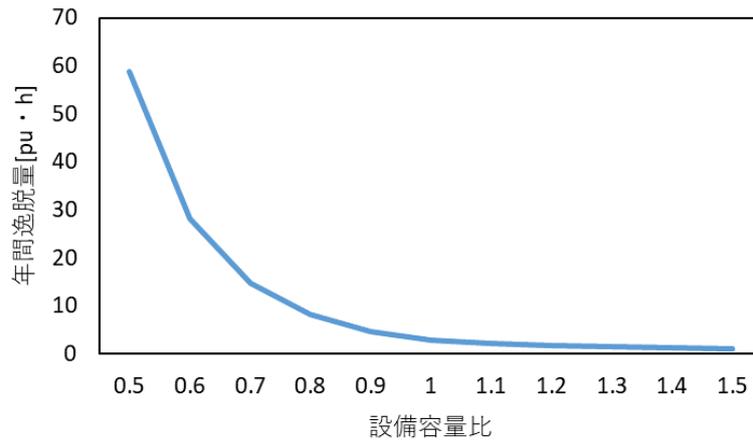
運用計画策定のステップでは、ウィンドファーム出力の予測情報をもとにして、HP および BG などの各設備の運用計画を最適化により決定（運用計画及び通告値策定）する。当日は、観測されるウィンドファーム実出力に応じて、提出した計画発電量を実現するように HP や BG の運転を修正する制御（リアルタイム制御）を行う。計画作成のおよびリアルタイム制御の時間間隔は、それぞれ 30 分と 1 分とした。



図Ⅲ. 2-1-2-3 HP/BG の計画発電制御手法の概要

東北エリア内ウィンドファーム出力合計の約1年分の時系列データとその予測データを用いて、計画発電の仕上がりを評価した結果を図Ⅲ. 2-1-2-4 に示す。評価に当たっては、設備容量比

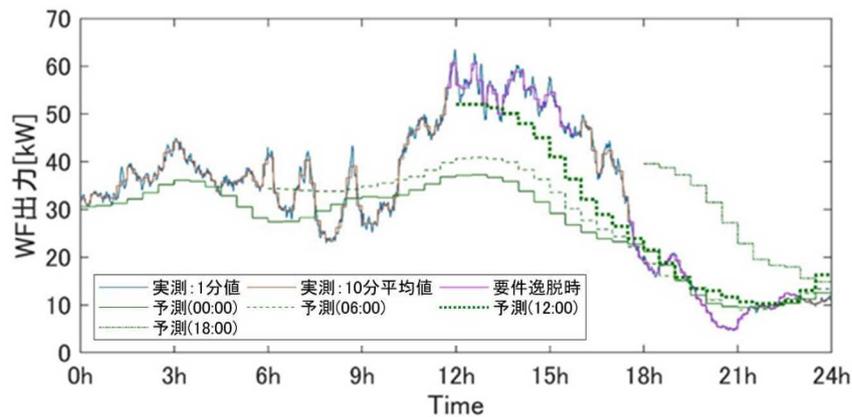
(ウィンドファーム容量に対する HP/BG システム容量の比) をパラメータとした。設備容量比が増すにつれて計画値からの逸脱量が低減できていることを確認した。



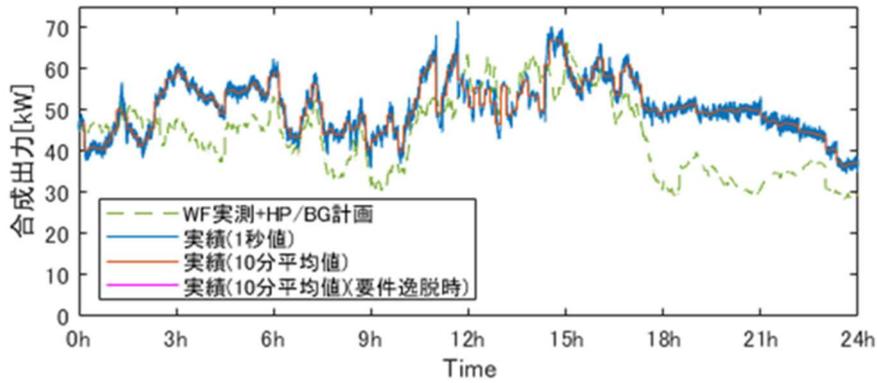
図Ⅲ. 2-1-2-4 東北エリアウィンドファームに対する年間逸脱量

2-2-2-3 実証試験：変動緩和

東北エリア内ウィンドファーム出力合計を容量 100kW 相当にスケーリングした予測・出力データ (24 時間分) に対して実証設備を用いた変動緩和試験を実施した。試験に使用したウィンドファーム出力予測及び実測データと試験結果の例をそれぞれ、図Ⅲ. 2-1-2-5 と図Ⅲ. 2-1-2-6 に示す。図Ⅲ. 2-1-2-5 において 11~16 時間目および 17~23 時間目で発生していたランプ変動が、図Ⅲ. 2-1-2-6 では抑制されている様子が見て取れる。ウィンドファーム出力の要件逸脱率は 40.97% であったが、実証試験における合成出力の要件逸脱率は 0.00% となっている。同様の試験を別日のウィンドファーム出力データに対しても検証しており、概ね良好な変動抑制が実現できていることを確認した。



図Ⅲ. 2-1-2-5 変動抑制対象のウィンドファーム出力予測および実測データ



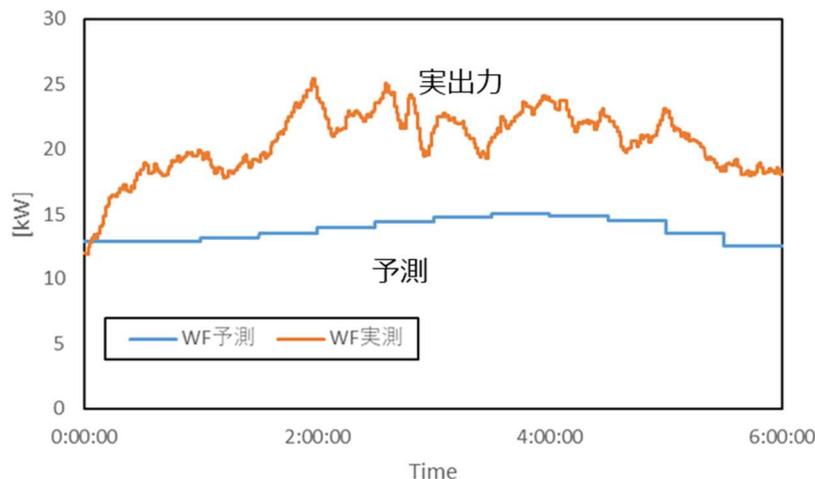
図Ⅲ. 2-1-2-6 変動抑制制御の実証試験結果

2-2-2-4 実証試験：計画発電

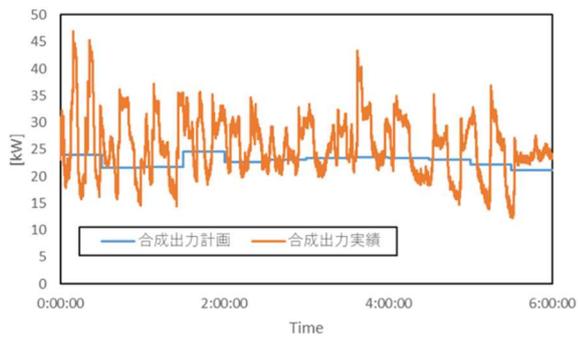
東北エリア内ウィンドファーム出力合計を容量 40kW 相当にスケーリングした実出力と予測のデータを用いて、実証設備による計画発電試験を実施した。試験に使用したウィンドファーム出力予測及び実測データを図Ⅲ. 2-1-2-7 に示す。試験結果として出力計画（通告値）と合成出力実績及び HP 消費電力、BG 出力を図Ⅲ. 2-1-2-8 に示す。BG 出力が運転下限にほぼ張り付き、合成出力の調整は 3 台の HP の on-off に頼っており、制御精度に限界がある。また、事前シミュレーションでは十分に考慮されていなかった HP と BG の応答遅れもあり、合成出力は変動しているものの、平均的には通告値に追従させることが出来ている。30 分間の積算値のインバランスも、無補償時（風力のみ）の場合の 33.7%に対して制御後には 12.1%まで低減できており、制御の効果が確認できた。

実用プラントでは下記要因により制御性能の向上が見込まれる。

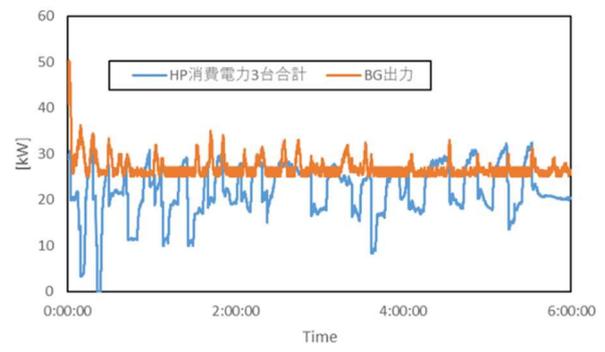
- ・ バイオガス発生量に対して BG 容量を適切に設定し、BG による制御を機能させる。
- ・ HP 単機容量が相対的に小さくなり HP の on-off に伴う変動は縮小する。



図Ⅲ. 2-1-2-7 実証試験に使用した風力出力データと予測データ



(a) 出力計画と合成出力実績



(b) HP 消費電力と BG 出力

図Ⅲ. 2-1-2-8 計画発電の実証試験結果

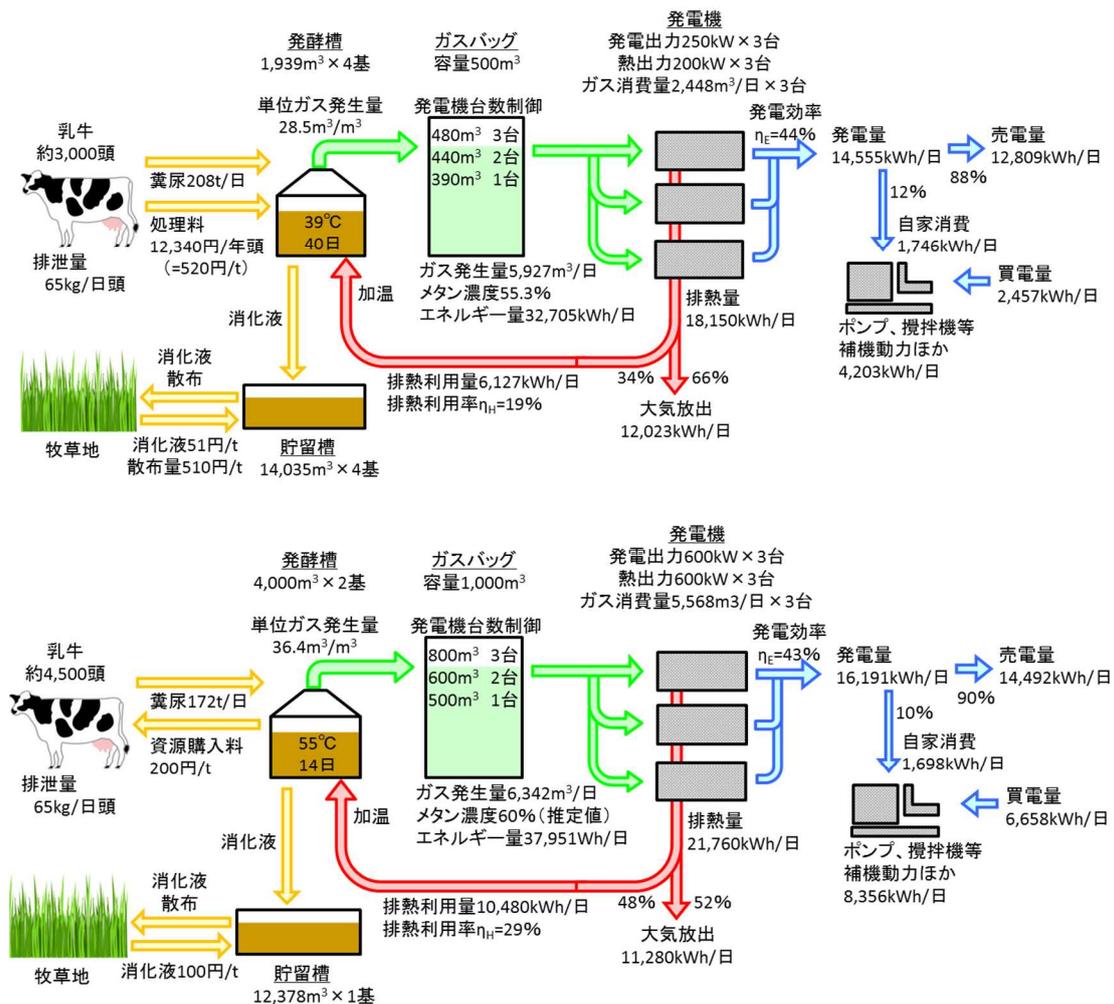
2-2-3 Power to Heatによる出力変動制御技術の実規模データ評価（実施者：北海道電力）

2-2-3-1 大規模家畜系バイオガス発電プラントの運転特性

ヒートポンプとバイオガス発電機による Power to Heat システムの実用プラントの検討において、機器の運用方策や熱エネルギーの有効利用方策を検討するため、北海道鹿追町及び別海町に建設された大規模バイオガス発電プラント（瓜幕 BGP、別海 BGP）について、発電量、熱発生量、補機動力、エネルギー収支等の運転特性を計測した。

図Ⅲ. 2-1-3-1 に運転データ計測のまとめと実績値によるエネルギーフローを示す。中温発酵を行う瓜幕では、発酵温度 39℃で 40 日間原料を発酵させバイオガスを生成する。バイオガスのメタン濃度は平均 55.3%であり、3 台の発電機の台数制御により発電を行う。発電効率は 44%であり、その他は熱として 19%が加温に利用され、残りの 37%は大気に放出される。発電した電気のうち 12%はプラント内で自家消費し、残り 88%を売電している。ポンプ等の補機動力は 4,203kWh/日の電力を消費しており、これは発電量の 3 割に相当する。

高温発酵を行う別海では、発酵温度 55℃で 14 日間原料を発酵させバイオガスを生成する。バイオガスのメタン濃度は 60%（推定値）であり、3 台の発電機の台数制御により発電を行う。発電効率は 43%であり、その他は熱として 29%が加温に利用され、残り 28%は大気に放出される。発電した電気の 10%はプラント内で自家消費し、残り 90%を売電している。ポンプ等の補機動力は 8,356kWh/日の電力を消費しており、これは発電量の 5 割に相当する。



図Ⅲ. 2-1-3-1 バイオガス発電プラントのエネルギーフロー（上：瓜幕、下：別海）

2-2-3-2 バイオガス発電プラントの出力制御に関わる運用技術検討

ガスホルダーは発酵槽から発生したバイオガスを蓄え、安定して発電機にガスを供給する機能を有している。ガスホルダーの容量、発電機のガス消費量等から、蓄放電可能な電力量や時間について検討した。表Ⅲ2-1-3-1 に瓜幕及び別海の諸元を示す。

表Ⅲ2-1-3-1 バイオガスの発生・消費に係わる諸元

	瓜幕	別海
発電機ガス消費量	102m ³ /h×3台	224m ³ /h×3台
ガスホルダー容量	500m ³ (=1,225kWh)	1,000m ³ (=2,670kWh)
ガス発生量 (代表値)	245m ³ /h	200m ³ /h

発生するガスを全てガスホルダーに蓄え発電機を停止する時間を蓄電可能時間、発生するガスとガスホルダーのガスを合わせて発電機をフル稼働する時間を放電可能時間とすると、ガスホルダーが現状の1台である場合、瓜幕では、ガスホルダー残量20% (=245kWh、1.6h)の状態が、ガスホルダーの蓄電・放電(貯留・消費)可能時間と同等となった。同様に、別海では、ガスホルダー残量70% (=1,869kWh、1.5h)の状態が、ガスホルダーの蓄電・放電可能時間と同等となった。

ガスホルダーが2台と3台の場合についても計算すると、ガスホルダー残量が瓜幕で20%、別海で70%の状態が、ガスホルダーの蓄電・放電可能時間と同等となり、ガスホルダーの増設により対応時間は単調増加する。

表Ⅲ2-1-3-2、表Ⅲ2-1-3-3 に瓜幕及び別海のガスホルダーを活用した蓄電のコストを示す。発電機を停止した場合、発酵槽を加温する熱量が不足するため、既存の貯湯タンクの増設を加味した。蓄電容量を算定し導入費用を割り返した蓄電単価は、瓜幕で4~13千円/kWh、別海で4~5千円/kWhとなった。

表Ⅲ2-1-3-2 ガスホルダーを活用した蓄電単価 (瓜幕)

ガスホルダー		貯湯タンク		費用合計 [千円]	運転・停止 対応時間 [h]	蓄電容量 [kWh]	蓄電単価 [千円/kWh]
台数	増設費用 [千円]	増設 台数	増設費用 [千円]				
1台 (現状)	—	3台	9,900	9,900	1.6h	750×1.6×2= 2,400	4
2台	31,200	6台	19,800	51,000	3.3h	750×3.3×2= 4,950	10
3台	62,400	10台	33,000	95,400	4.9h	750×4.9×2= 7,350	13

表Ⅲ2-1-3-3 ガスホルダーを活用した蓄電単価 (別海)

ガスホルダー		貯湯タンク		費用合計 [千円]	運転・停止 対応時間 [h]	蓄電容量 [kWh]	蓄電単価 [千円/kWh]
台数	増設費用 [千円]	増設 台数	増設費用 [千円]				
1台 (現状)	—	0台	—	—	1.5h	1800×1.5×2= 5,400	—
2台	30,000	1台	7,800	37,800	3.0h	1800×3.0×2= 10,800	4
3台	60,000	2台	15,600	75,600	4.4h	1800×4.4×2= 15,840	5

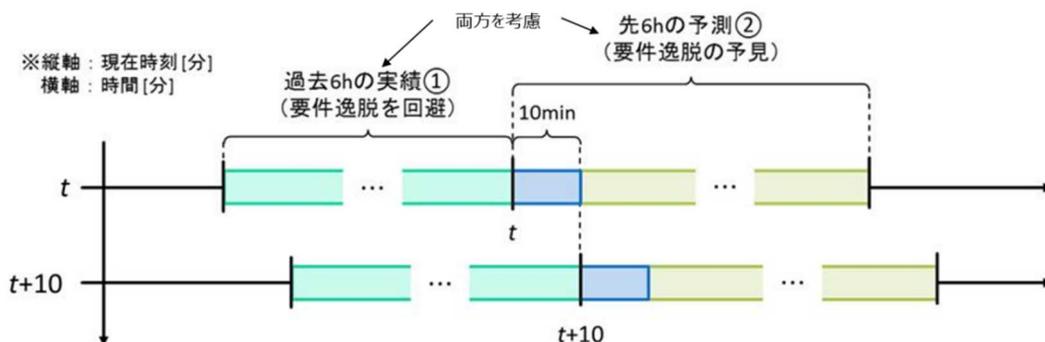
2-2-4 蓄電池および高精度予測情報を活用した出力変動制御技術の開発（実施者：大阪府立大学）

2-2-4-1 変動緩和

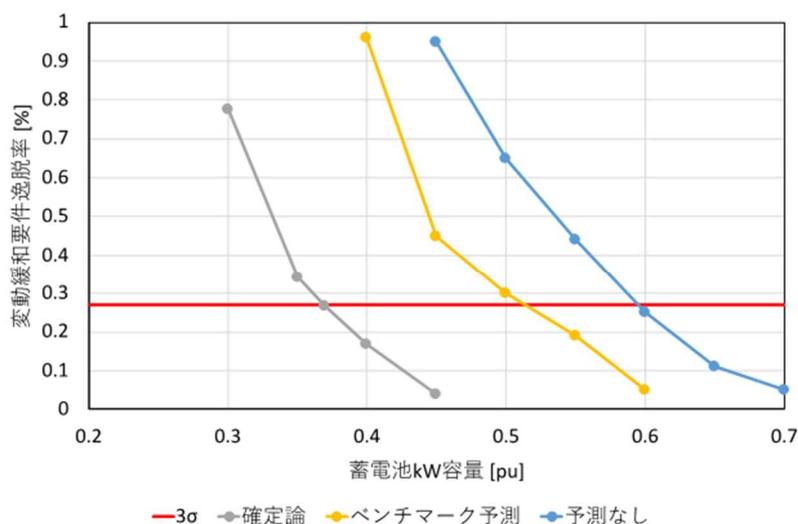
蓄電池を対象とした変動緩和制御として、確定論最適化および確率論最適化の2つの手法を開発した。確定論最適化では、蓄電池容量の最小化を目的関数とした線型計画法を用いて、風力発電の出力変動を抑制するように合成出力の目標値を作成する。ただし予測情報には誤差が含まれるため、予測誤差の影響で蓄電池の容量不足が生じ、変動緩和性能が低下する可能性が考えられる。そこで、予測情報が含む誤差傾向を推定してそれを活用する手法（確率論最適化）についても検討を行った。

確定論最適化手法について、図Ⅲ.2-1-4-1 に合成出力目標値を決定するタイムスケジュールを示す。10分間ごとに先10分間の合成出力目標値 $P_{total}(T)$ を、線形計画法による最適化計算で求める。その際、①過去6時間分の出力実績と②先6時間の出力予測を考慮に入れる。さらに、過去10分間で発生した予測誤差は先10分間でも同程度の予測誤差が発生する関係性に着目し、提供される発電出力予測値を直近の予測誤差実績で修正し、最適化計算に利用した。こうして得られる合成出力の目標に向け、実際の合成出力がそれに一致するよう蓄電池の充放電を行う。

シミュレーション結果を図Ⅲ.2-1-4-2 に示す。予測情報を利用しない場合、及び予測情報をそのまま利用した手法と比較して、予測情報の補正により所要蓄電池容量を低減することができた。



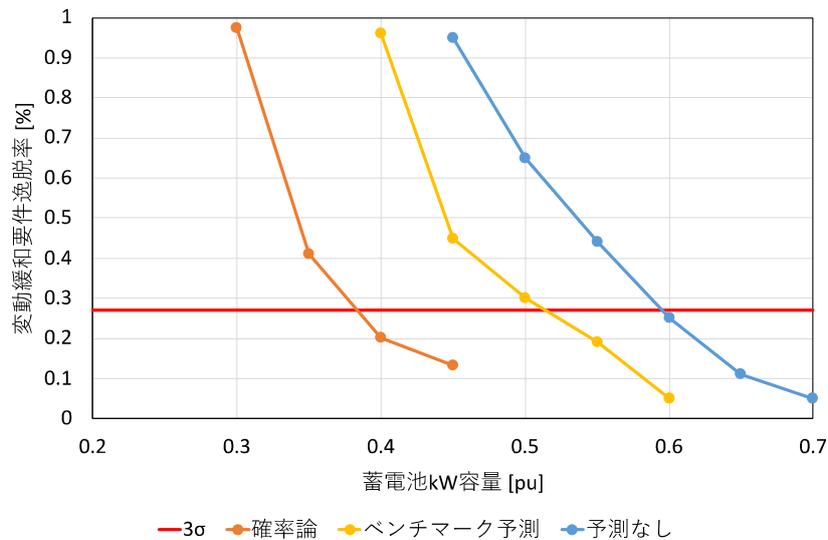
図Ⅲ.2-1-4-1 合成出力目標値決定のタイムスケジュール



図Ⅲ.2-1-4-2 確定論最適化手法における所要蓄電池容量

確率論最適化手法では、風力出力予測情報を確定値ではなく誤差分布を有する確率変数として扱い、その上で蓄電池容量の最小化を目的とする確率計画法を適用した。まず、今回使用した予測情報と風力発電実績とを比較解析し誤差の分布を定式化した。その誤差分布を用いて風力発電シナリオを 10,000 本生成し、その中から 100 本を選別し、それを風力発電出力シナリオとして利用した。

シミュレーション結果を図Ⅲ.2-1-4-3 に示す。図Ⅲ.2-1-4-2 に示した確定論最適化とほぼ同等の所要蓄電池容量の低減が達成できている。確率論最適化が若干劣る結果となった理由としては、シナリオを作成する際に利用するデータの不足などが考えられる。一方で、予測誤差が大きな時間帯が続くケースでは、確率論最適化の方が所要蓄電池容量を小さくできているなどのメリットも確認している。



図Ⅲ.2-1-4-3 確率論最適化手法における所要蓄電池容量

2-2-4-2 計画発電

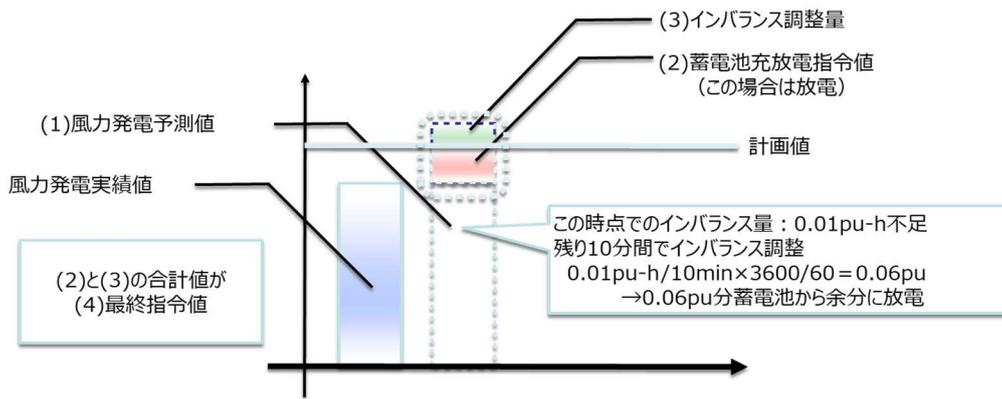
変動緩和と制御と同様に、予測情報を確定値として扱う確定論最適化手法と、予測の確率分布を考慮する確率論最適化手法を計画発電に適用した。また、計画発電の実施中も、0.3pu/6h の変動緩和要件を守ることにした。

確定論最適化では、現在の蓄電池のSOCと目標SOCの差の絶対値の最小化を目的関数とし、蓄電池容量、エネルギーバランス等を制約条件として、提供される予測情報を基に先 10 時間分の発電計画を最適化計算により 30 分毎に作成する。

確率論最適化では、変動緩和の場合と同様に、風力出力の予測情報は誤差分布を有する確率変数として扱う。今回使用した予測情報の誤差分布と、直近の誤差実績を反映させた発電シナリオを多数発生させてからその結果を集約して風力発電シナリオを作成する。

30 分コマ内の制御は確定論、確率論とも同様であり、以下のように行う（図Ⅲ.2-1-4-4 参照）。

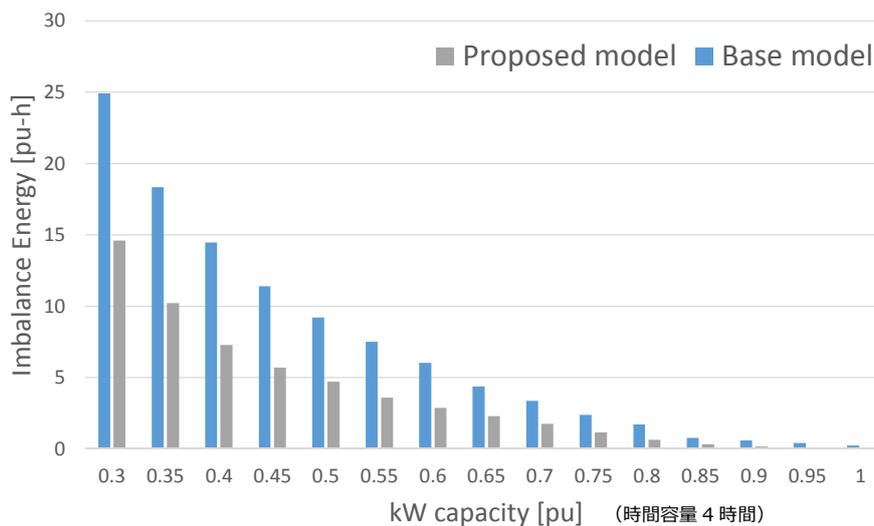
- 1) 風力の出力実績を 1 分毎*に入手する。（*本事業における使用データの制約のため）
- 2) 持続予測に基づき、1 分先の風力出力を予測①する。
- 3) ①に基づき蓄電池の充放電指令値②を計算する。
- 4) 当該コマのインバランス累積値に基づき、残り時間内でのインバランス調整量③を計算する。
- 5) ②に③を加え、最終指令値として蓄電池へ充放電指令を送る。



図Ⅲ. 2-1-4-4 計画発電制御（30分コマ内の制御）の概要

確定論最適化手法と確率論最適化手法による年間インバランス電力量を評価した結果、確率論最適化の方が少ない蓄電池容量でインバランス量を削減できることが明らかになった。

確率論最適化手法について、計画発電制御と変動緩和制御の整合性を調整し、最終的に図Ⅲ. 2-1-4-5のProposed modelに示す結果を得た。

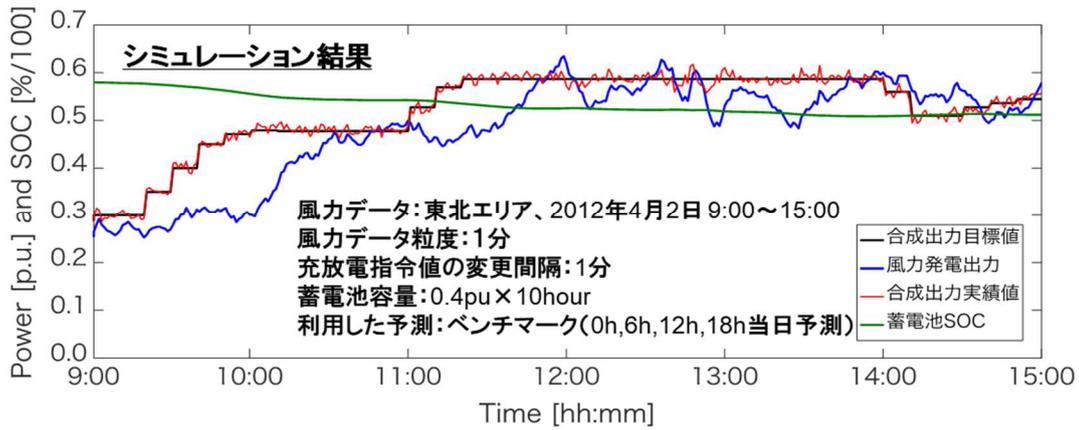


図Ⅲ. 2-1-4-5 確率論最適化手法による年間インバランス電力量

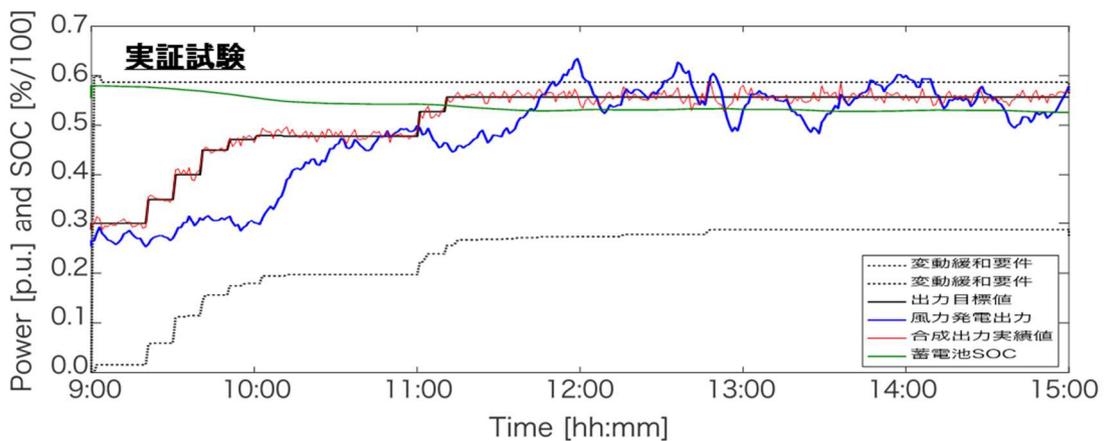
2-2-4-3 実証試験：変動緩和

変動緩和制御のシミュレーション結果と実証試験結果を図Ⅲ. 2-1-4-6、図Ⅲ. 2-1-4-7に示す。両図より、シミュレーションと試験結果が良く一致していることが確認できた。

ただし、主として制御遅れのために、合成出力目標値が一定であっても、実際の合成出力は一定にならず、その周りでばらつくことになる。このため、図Ⅲ. 2-1-4-7に示すように、実証試験の11:00過ぎから15:00まで合成出力目標値は変動緩和要件より0.03puだけ小さな値に設定した。その結果、シミュレーションにおける要件逸脱率（時間比率）が54.4%あったものが、実証試験においては要件逸脱をゼロにすることができた。



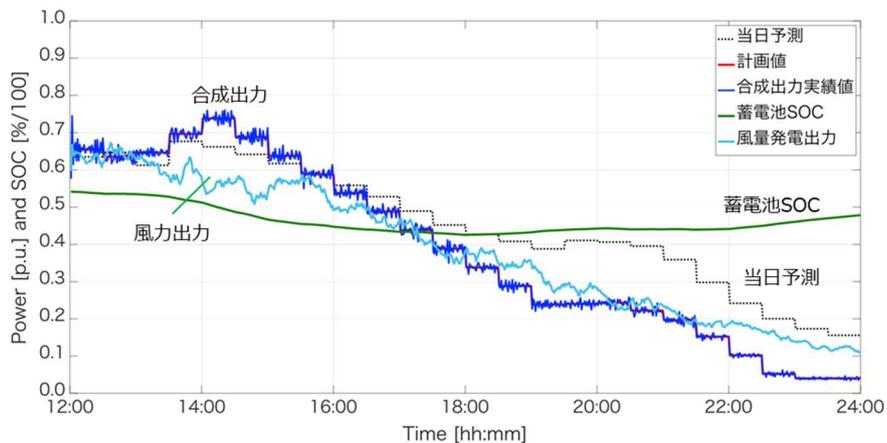
図Ⅲ. 2-1-4-6 変動緩和制御シミュレーション結果



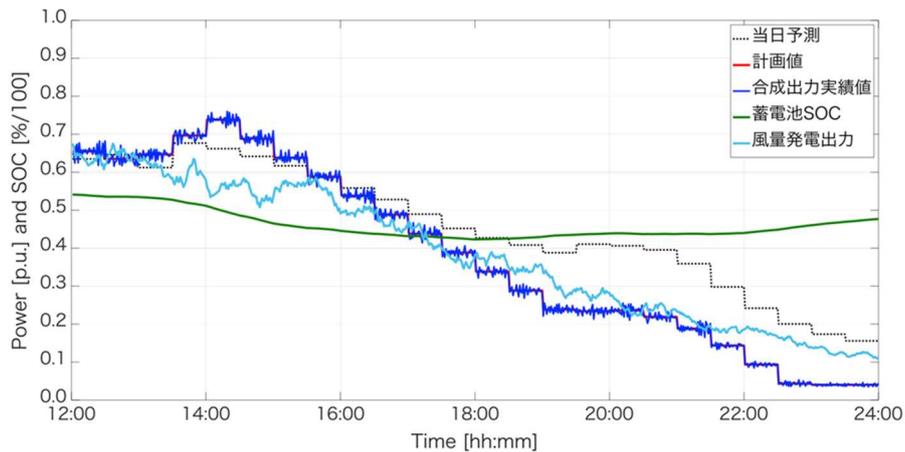
図Ⅲ. 2-1-4-7 変動緩和制御試験結果

2-2-4-4 実証試験：計画発電

計画発電制御のシミュレーション結果と実証試験結果を図Ⅲ. 2-1-4-8、図Ⅲ. 2-1-4-9 に示す。両図より、シミュレーションと試験結果が良く一致していることが確認できた。なお、コマ内の微小変動は、発電積算値を1分毎に修正しているために発生しているもので、その様子も、実測とシミュレーションがほぼ一致している。



図Ⅲ. 2-1-4-8 計画発電制御シミュレーション結果



図Ⅲ. 2-1-4-9 計画発電制御試験結果

2-2-5 蓄エネルギー技術を用いた出力変動制御技術の実証試験および総合評価（実施者：エネルギー総合工学研究所）

2-2-5-1 開発目標と開発目標に対する評価

中間目標にある「出力変動制御技術に求める制御目標」を次のように確定した。

「従来技術と比較して、変動緩和制御における蓄エネルギー装置の必要容量を 25%以下とする」変動緩和制御シミュレーションを実施する際の諸条件を表Ⅲ. 2-1-5-1 にまとめた。

本研究において開発した逐次決定と確定論最適化の二つの手法について、制御シミュレーションを実施した結果を表Ⅲ. 2-1-5-2 に示す。所要蓄エネルギー容量は、比較対象である従来手法の 25%以下であり、設定した目標を達成した。

表Ⅲ. 2-1-5-1 条件

比較対象とする従来技術	風力発電出力の一次遅れを目標値とする出力平滑化(*)
変動緩和要件	0.3pu/6時間 and 0.1pu/20分
評価ライン	年間要件逸脱率 0.23%以下
蓄エネ技術	蓄電池
蓄エネ容量の評価	kWh値で評価
風力出力データ	2012年の東北エリア合計値を用いてシミュレーション

(*) NEDO 風力安定化事業（平成 15～19 年度）において開発された手法

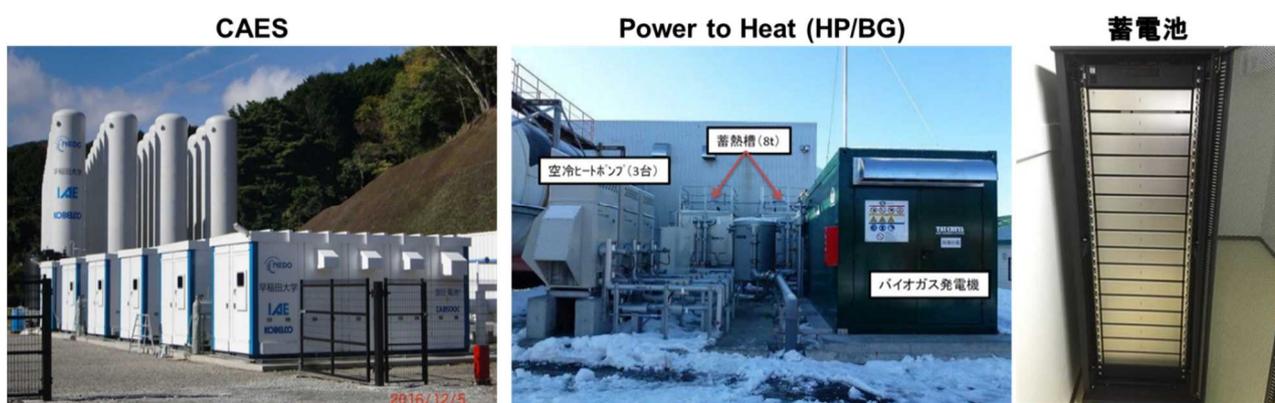
表Ⅲ. 2-1-5-2 開発結果

	従来手法 (比較対象)	本事業における開発技術	
		逐次決定	確定論最適化
kW容量[pu]	0.5	0.36	0.39
放電時間容量[h]	9.1	2.8	2.84
kWh容量[pu-h]	4.55	1.01	1.11
kWh容量比	100%	22.2% (<25%)	24.4% (<25%)

2-2-5-2 制御技術実証のための蓄エネルギー設備

今回構築した蓄エネルギー実証設備（CAES、Power to Heat システム（P2H）、蓄電池）の概要と外観を図Ⅲ.2-1-5-1に示す。

	kW容量	kWh容量	設置場所	風力出力情報・予測情報
CAES	1,000kW	500kWh	東伊豆風力発電所の近傍	オンライン（リアルタイム）
P to H (HP/BG)	HP: 10kW×3台 BG: 50kW	98kWh 相当	酪農学園大学	2012年の東北地域データ
蓄電池	6kW	16.8kWh	大阪府立大学	



図Ⅲ.2-1-5-1 今回構築した蓄エネルギー実証設備の概要と外観

2-2-5-3 実用プラントのFS

CAES と HP/BG システムで、FS の実施内容が異なる。

CAES は、要素機器について変更（改良）の余地が大きく、性能・コストともに改善される見込みがある。一方、容量については、kW 容量と kWh 容量を別々に設定可能であり、FS の段階では適当に設定して問題ない。したがって、要素機器の技術内容の検討に重点を置いて FS を実施した。

HP/BG システムは、CAES とは対照的に、要素機器について変更（改良）の余地は小さいが、各機器の容量バランスについて相互影響があり、最適値が存在すると考えられる。このため、出力制御のシミュレーションを行いつつ、最適な設備構成を求める検討を実施した。

表Ⅲ.2-1-5-3 FS の視点

	CAES	HP/BG
要素機器の技術内容	変更・改良の余地大	変更・改良の余地小
要素機器の容量	kW 容量：圧縮機≒膨張機 kWh 容量：空気貯槽 kW 容量と kWh 容量を別々に設定可能 FS の段階では適当に設定して問題ない	kW 容量：HP、BG kWh 容量：ガスバッグ、蓄熱槽 各機器の容量バランスについて相互影響があり、最適値が存在する

2-2-5-3-1 CAES

CAES 実証設備は、汎用型スクリー式圧縮機を採用した 1000kW クラスの世界初の実証設備であるが、限られた時間の中で設計・製造されたものであり、実用プラントとして市場に投入するには、未だ性能面・コスト面で十分なものでなくはなく、再生可能エネルギーの大量導入に伴う電力系統安定化のための蓄設備としては、性能面・コスト面の両面から改良が必要である。このため、大規模 CAES 実用プラントの実現を目指して、フィージビリティスタディを行った。

検討結果の概要及びプラント全体のコスト見積結果を表Ⅲ. 2-1-5-4、表Ⅲ. 2-1-5-5 示す。

表Ⅲ. 2-1-5-4 CAES の FS の概要

	伊豆パイロット機	商用機	備考
設備規模	1MW/0.5MWh	10MW/80MWh 100MW/800MWh	10MWのCAESに対応するWF規模は30~40MW
蓄圧圧力	1 MPa	2 MPa	2MPaは汎用スクリー式圧縮機を使用できる最大圧力（圧力2倍で貯蔵エネルギー密度3.5倍）
空気貯蔵圧力の変化	変圧	定圧	定圧式は低SOCでも出力低下なく、実質容量の拡大（≒貯槽の小型化）が可能
空気貯蔵	地上タンク	地下空洞	地下空洞はスケールメリットあり、貯蔵中の放熱少なく効率低下防ぐ
圧縮機・膨脹機	旧モデル、専用	新モデル、兼用	新モデルは旧モデルより効率向上 兼用化により機器コストと設置面積の面でメリット大
モータ・発電機	IE2クラス	IE3クラス	IE3クラスは部分負荷域の効率が向上
熱媒体	合成油	高压水	水は粘性小・熱伝導率大で、伝熱性能向上 → 効率向上 比熱大でコンパクト化 高压ガス保安法の対象
圧縮機吐出/膨脹機給気温度差	Δ25℃	Δ15℃	
充放電効率	0.55	0.62	AC-AC、昇圧トランスの効率含まず
排熱放熱先	大気（冷却塔）	貯水池 or 地下水	水への放熱により冷却設備簡素化+冷却効果向上

表Ⅲ. 2-1-5-5 CAES 実用プラントの概略コスト

		No.1	No.2	No.3	No.4
入出力	MW	10		100	
貯蔵容量	MWh	40	80	400	800
充放電モジュール	百万円	1,000	1,000	9,000	9,000
蓄熱水タンク	百万円	250	400	1,500	3,000
電気設備	百万円	500	500	3,000	3,000
地上部 工事費	百万円	600	600	5,000	5,000
地上部 設計管理費	百万円	500	500	1,800	1,800
地下空気貯槽 (廃坑道利用の場合)	百万円	5,200 (3,800)	6,300 (4,800)	7,600 (5,500)	8,900 (6,000)
コスト小計 (廃坑道利用の場合)	百万円	8,050 (6,650)	9,300 (7,800)	27,900 (25,800)	30,700 (27,800)
kWh単価 (廃坑道利用の場合)	万円/kWh	20.1 (16.6)	11.6 (9.8)	7.0 (6.5)	3.8 (3.5)

注) ・充放電モジュール、蓄熱水タンク等の地上設備について量産によるコストダウン効果を見込む。

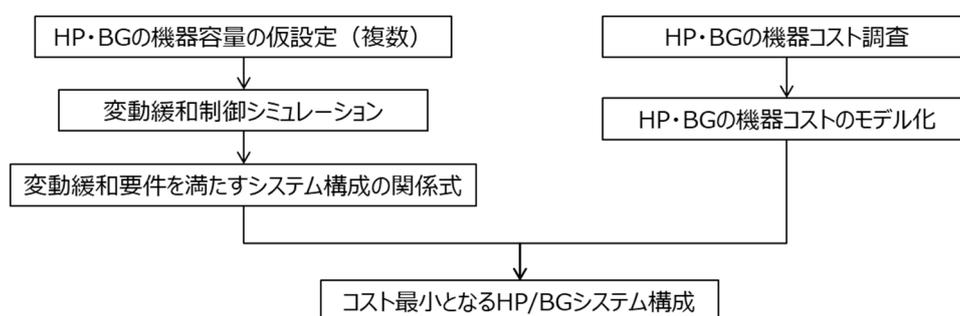
・10MW 機は 66kV/6.6kV, 100MW 機は 140kV/22kV/6.6kV の受変電設備を含む。

・廃坑道として、廃トンネルや廃金属鉱山が考えられる。

2-2-5-3-2 HP/BG システム

蓄エネルギー装置としての HP/BG システムの実用可能性を評価することを目的として、HP/BG システムの最適設備容量設計手法を開発した。実在する BG プラント（瓜幕、別海）をモデルケースとして、機器構成の最適化を検討するもので、BG プラントに HP/BG システムを構成する機器（HP・BG・ガスホルダー（GH）・蓄熱槽）を追加する増分費用を HP/BG システムのコストと考える。

図Ⅲ. 2-1-5-2 は本研究において開発した HP/BG システムの最適設備容量設計手法の手順を示す。このシステムを構成する機器の容量を任意に設定し、確定論最適化により長期間シミュレーションを行った。シミュレーションで得られた結果から想定した変動緩和要件を満たす HP/BG システムの構成を求めた。これを各機器の容量を変えながら複数回行うことで想定した変動緩和要件を満たすシステムの構成の組み合わせを複数求めた。こうして求めた変動緩和要件を満たす各機器の容量同士の関係を表す数式モデルを求めた。



図Ⅲ. 2-1-5-2 設計手法の概要

表Ⅲ. 2-1-5-6 に各 BGP におけるウィンドファーム容量あたりの増設分コストの算出結果を示す。増設分コスト（既設の設備コストと設計後の設備コストの差額）は、瓜幕 BGP では 43,073k¥、別海 BGP では 61,284k¥であった。これらのコストはすなわち、BG の本来の利用方法である家畜糞尿のエネルギー利用（コジェネレーション）に加えて、ウィンドファームの変動抑制機能を付加するために追加で必要となるコストと捉えることができる。また、これらの増設分コストを変動抑制の対象とするウィンドファーム容量あたりに換算すると、それぞれ 43,073¥、37,748¥となった。ここで、ウィンドファーム建設コストを 284,000¥/kW（コスト検証委員会、2015 年より）とするとウィンドファーム容量あたりの増設分コストは 13~15%相当である。

表Ⅲ. 2-1-5-6 ウィンドファーム容量あたりの増設分コストの算出結果

		瓜幕	別海
WF容量		1000 kW	1623 kW
設備容量	BG	831 kW	1344 kW
	GH	500 m ³	1000 m ³
	HP	232 kW	396 kW
設備コスト C_{total}		154,222千円	207,321千円
$\frac{\Delta \text{コスト}}{WF}$		$\frac{43,073[\text{k¥}]}{1000} = 43,073[\text{¥/kW}]^*$	$\frac{61,283[\text{k¥}]}{1623} = 37,759[\text{¥/kW}]^*$

2.3 研究開発項目(Ⅱ) 予測技術系統運用シミュレーション ： 需給シミュレーションWG

本研究は東京大学、電力中央研究所、東京電力ホールディングス、東京電力パワーグリッド、東光高岳で分担実施した。各研究項目の成果の要約を示す。

2-3-1 システム理論的基礎の研究

再生可能エネルギー（以下再エネ）大量導入を考慮した需給シミュレーションシステム（需給解析シミュレータ）の理論的基礎に関する研究を行った。再エネ大量導入時に活用される主要な電力貯蔵装置として、既存の電力設備である揚水発電機と新規設備として系統用蓄電池が利用されると想定し、これらの最適運用を検討するための解析手法の確立を目指した研究を実施した。

具体的には、モデル系統として IEEE Reliability 24-bus Test System (RTS) を用い、日本の 2030 年における再エネ導入想定のもとで発電機や蓄電池の運用に関わる基礎検討を可能とする解析手法として、最適週間運用計画の策定手法と、その運用計画の評価法として 1 日毎に最適化計算を行う解析手法を提案した。そして、実際に、この手法を用いて、再エネの出力予測や予測誤差を考慮したケースや、発電機と電力貯蔵装置の予備力の分担効果の検討、多地域連系系統における電力融通効果について検討を行った。

2-3-1-1 運用計画作成手法と需給シミュレーション手法 [1] [2]

運用計画は、軽負荷日の土曜日を開始日、金曜日の 24 時に終了する週間運用計画とし、時間の刻み幅は 1 時間とした。運用計画の作成対象は火力発電機の出力、揚水発電所、蓄電池システムおよび連系線潮流の入出力である。目的関数は火力発電機の週間燃料費とし、電力貯蔵設備および連系線潮流の入出力を変更し、火力機の起動停止計画を解くことで週間運用計画の作成を行った。最適化アルゴリズムとしてタブーサーチ、あるいは混合整数計画法を用いた。

作成した週間運用計画を評価するため、不確実性を考慮したモンテカルロシミュレーションを行った。週間需給シミュレーションの概要を図 0-1 示す。電力貯蔵装置については 1 日が終了した後にその日の運用結果を受けて、すべての週間計画を再作成するモデルとなっている。不確実性としては負荷及び再エネの変動を考慮し、乱数および確率を用いた。

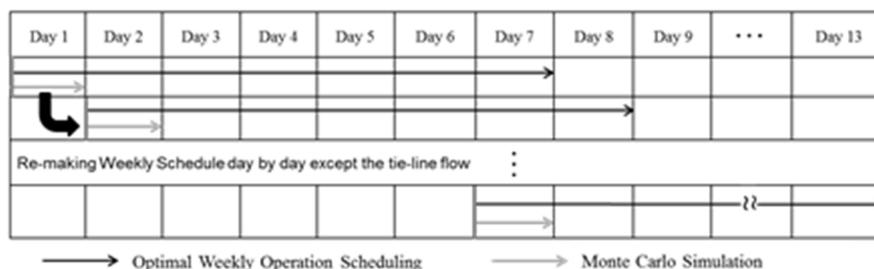


図 0-1 週間需給シミュレーションの概念図 [2]

2-3-1-2 再エネの出力予測を考慮した揚水発電機と蓄電池の最適週間運用計画 [1]

運用計画作成時に太陽光と風力の出力予測を考慮し、蓄電池導入量をパラメータとした場合のコスト・LOLP (Loss of Load Probability) 解を図 0-2 に示す。予測を導入することで LOLP が大きく改善し、コストも減少傾向にあることが分かる。また、蓄電池を導入すると LOLP が改善するが、蓄電池を導入量が増加するに従い導入コストの影響が大きくなることが分かる。

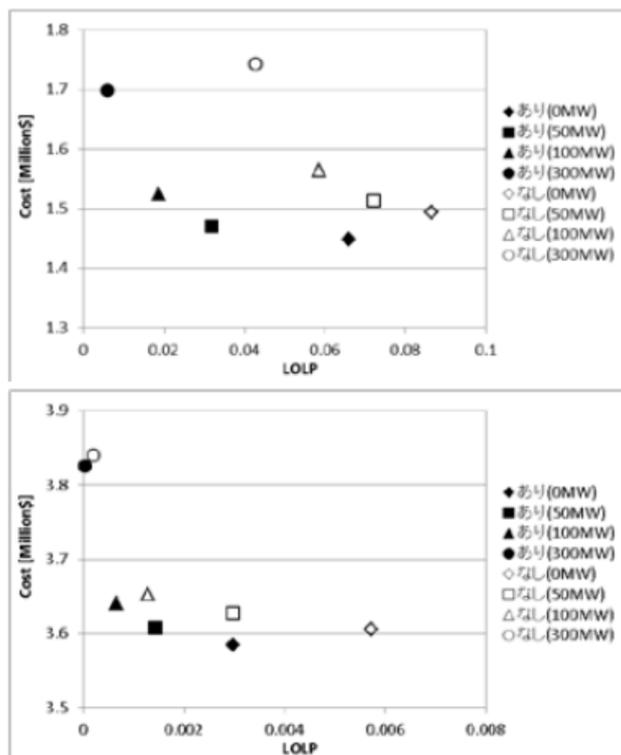


図 0-2 コスト-LOLP 解（上：春期、下：夏期） [2]

2-3-1-3 再エネの出力予測誤差を考慮した揚水発電機と蓄電池の最適週間運用計画 [3]

太陽光と風力が実測値から外れる許容範囲を与え、その範囲内で予測誤差が発生するものとした場合の週間運用計画の作成を行った。図 0-3 に、太陽光の予測誤差：30%、風力の予測誤差：30%の場合の余剰電力発生量 (SPR: Surplus Power Rate) の結果を示す。軽負荷である土曜日において SPR が大きく発生しているが、他の時間帯においては余剰電力が抑えられている様子を示している。

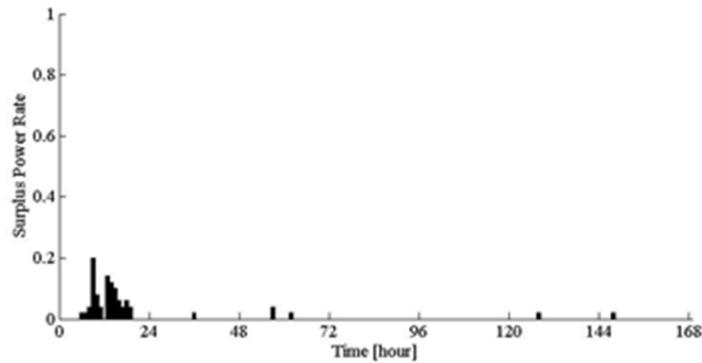


図 0-3 Surplus Power Rate (WT error 30%) [3]

2-3-1-4 再エネ導入時の二地域電力系統における揚水発電機と蓄電池の最適週間運用計画 [2]

今後のより一層の活用が期待される地域間連系線を考慮した二地域における最適週間運用計画の作成を行った。地域1の電源構成を燃料費安価、地域2の電源構成を燃料費高価とした場合において、連系線を考慮しないケースと、連系線を考慮し供給支障発生時に電力の融通を行うケースでの地域1の不足電力発生確率 (Supply Shortage Rate : SSR) 結果を図0-4に示す。連系線の電力融通による供給支障解消を行うことで不足電力発生確率を大幅に低減できることを示しており、連系線潮流の最適運用計画を作成し供給支障発生時に電力融通を行うことは供給信頼度の向上に大きく貢献すると言える。

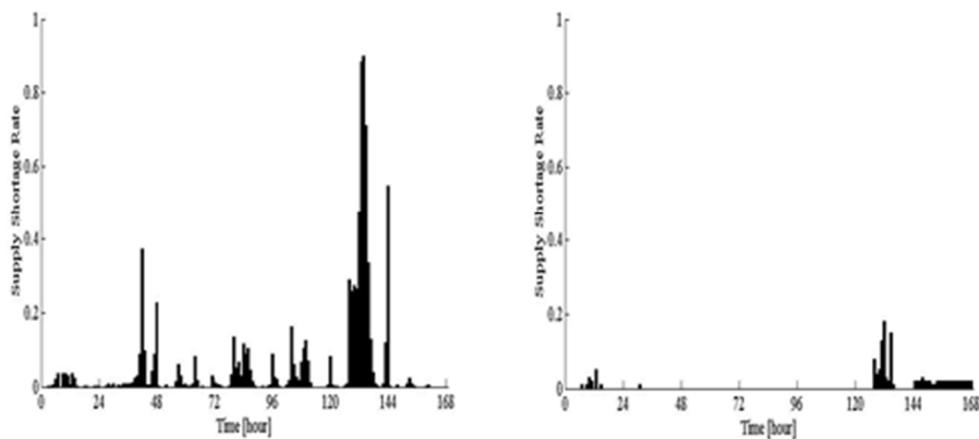


図 0-4 不足電力発生確率 (左 : 連系線なし 右 : 連系線考慮) [3]

2-3-1-5 再エネ導入時の予備力確保を考慮した発電機および電力貯蔵装置の最適週間運用計画 [4]

需要変動などへの緊急運用の手法としては、全て火力機の予備力によって対応する場合のほか、電力貯蔵装置も予備力として活用することが期待できる。そこで、電力貯蔵装置と火力機の予備力の分担や、需要変動時等の緊急運用手法について、複数の計画作成手法や制御方法を用いた場合の供給信頼度とコストを比較することで評価を行った

シミュレーションケースを以下に示す。

- ・ case1 : 予備力を全て火力機だけで確保し、緊急運用も火力機を優先的に用いる
- ・ case2 : 予備力を火力機と電力貯蔵装置の合計で確保し、緊急運用は電力貯蔵装置を優先的に用いる
- ・ case3 : case2 の緊急運用のうち、電力余剰が発生した場合は電力貯蔵装置を、電力不足が発生した場合は火力機を優先的に用いる
- ・ case4 : case3 を行った後、電力貯蔵装置の SOC が計画 SOC を下回っている場合には火力機の上げ代を使って充電する

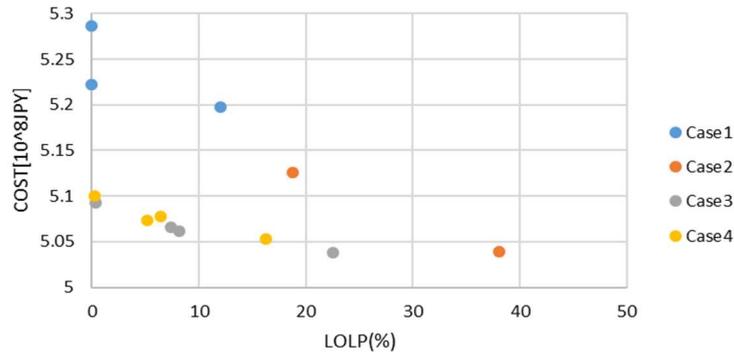


図 0-5 各 case における COST-LOLP [4]

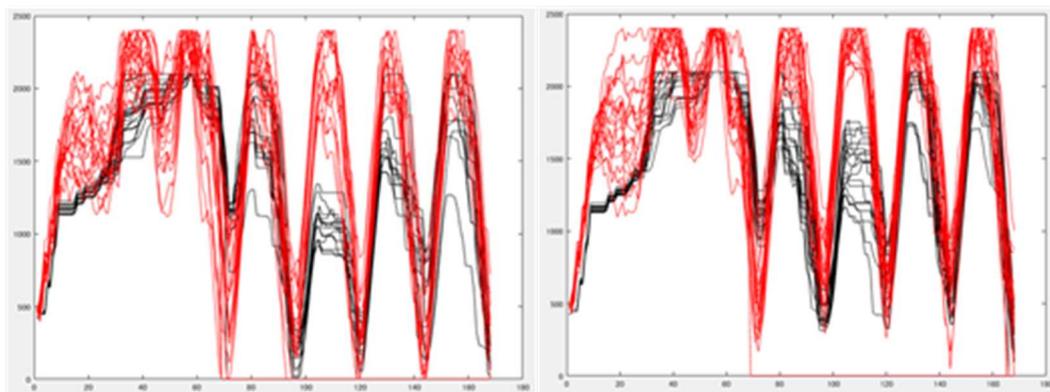


図 0-6 SOC 推移(左:case2 右:case3) [4]

図 0-5 より、case1, 2 と比較して case3, 4 で大きく評価値が改善していることがわかる。

図 0-6 より、case2 では電力貯蔵装置の SOC が頻繁に 0 になっていることがわかる。これは、予備力が不足し供給支障が発生している状態であると考えられる。case3 では電力貯蔵装置の放電を抑えて充電を積極的に行う制御をしているため、SOC 不足の発生が抑制されている。

以上より、電力貯蔵装置にも予備力を持たせた上で SOC 不足が発生しないように制御を行うことにより、供給信頼度を下げずに運用コストを低減できることが分かった。

2-3-1-6 多地域系統における予備力確保を考慮した発電機および電力貯蔵装置の最適週間運用計画 [5]

再エネ大量導入時の多地域電力系統における緊急運用への対応として、連系線の緊急融通に関する複数の手法を提案し、その効果の検討を行った。緊急融通を行わない case1、給支障回避のための最小限の緊急融通を行う case2、供給支障が発生しないという制約のもと、各地域の揚水発電所と蓄電池システムの(実合計 SOC-計画合計 SOC)のうち、最大となる地域の値を最小化するように緊急融通を行う case3、の比較結果を図 0-7 に示す。

case3、2、1 の順で、より小さいコストで同等の供給信頼度 (LOLP) を達成している。多地域連系系統において、電力貯蔵装置の SOC が最も厳しい地域に優先的に融通を行うことで供給信頼度を下げずに運用コストを低減できることを示している。

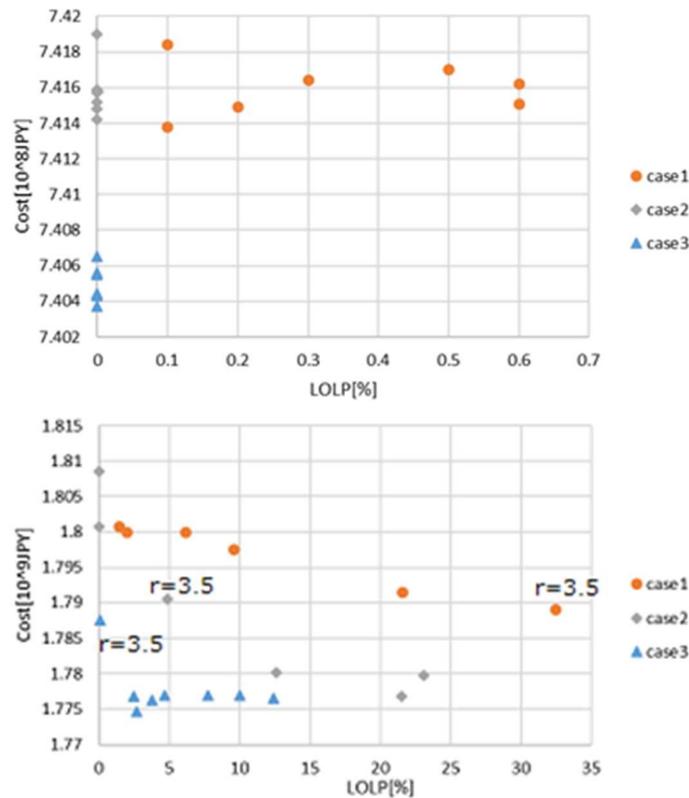


図 0-7 軽負荷期 (上) 重負荷期 (下) のシミュレーション結果 [5]

2-3-1-7 多地域系統における広域予備力融通を考慮した発電機および電力貯蔵装置の最適週間運用計画 [6]

多地域電力系統において地域間の予備力融通を可能とした場合の週間運用計画の作成について検討を行った。地域ごとに必要な予備力を確保するが、地域間で予備力の授受が可能とする case1、予備力を全ての地域で共有する case2 を用意した。case2 においては、各地域で電力不足が発生するシナリオと、全体的に電力不足が発生するシナリオを設定し、各シナリオに対してそれぞれ実質的に使える予備力に関する制約を定式化した。

case1、case2 において、コストが同等のときにそれぞれの各地域で実質的に使える予備力の、基準予備力(需要に対して 3%、再エネ出力に対して 20%)に対する倍率を図 0-8 に示す。case2 は、case1 よりも上振れと下振れが少なく必要な予備力を無駄なく確保できていることを示している。予備力を広域的に共有・融通することの有効性が確認するとともに、最適化においては、電力不足のシナリオごとに制約条件を立てる手法が有効であることがわかった。

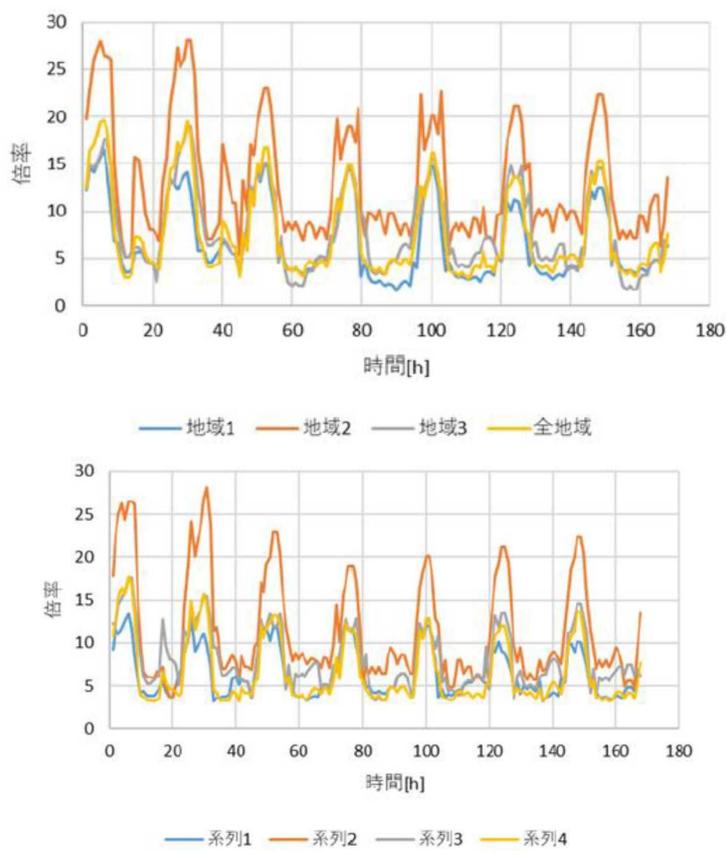


図 0-8 実際に使える予備力倍率 (上 : case1 下 : case2) [6]

文 献

- [1] 熊野・横山, “再生可能エネルギー発電の出力予測を考慮した揚水発電機と蓄電池の最適運用に関する研究,” 平成 27 年電気学会全国大会 6-159, 2015.
- [2] 宇喜多・横山, “再生可能エネルギー導入時の二地域電力系統における電力貯蔵装置の運用計画に関する研究,” 平成 29 年電気学会全国大会 6-128, 2017.
- [3] 宇喜多・横山, “再エネ導入検討のための需給シミュレータ開発と電力系統における運用実証：5. 再エネ発電出力予測誤差を考慮した供給信頼度とコスト評価,” 平成 28 年電気学会電力・エネルギー部門大会, 2016.
- [4] 谷口・横山, “再生可能エネルギー導入時の予備力確保を考慮した発電機および電力貯蔵装置の最適週間運用計画に関する研究,” 平成 30 年電気学会全国大会 6-107, 2018.
- [5] 谷口・横山, “多地域系統における予備力確保を考慮した発電機および電力貯蔵装置の最適週間運用計画に関する研究,” 平成 30 年電気学会電力・エネルギー部門大会 230, 2018.
- [6] 谷口・横山, “多地域系統における広域予備力融通を考慮した発電機および電力貯蔵装置の最適週間運用計画,” 平成 31 年電気学会全国大会 6-119, 2019.

2-3-2 システム仕様の研究

2-3-2-1 背景

2050 年に向けた我が国のエネルギー政策では、再エネを主力電源と位置づけている。将来の電力需給の議論には、再エネ大量導入時における電力の需要と供給（電力需給）のバランスを維持するための「需給面の対応」の分析・評価が不可欠であり、その解析基盤が求められている。このため、NEDO「電力系統出力変動対応技術研究開発事業」の研究開発項目（Ⅱ）「予測技術系統運用シミュレーション」の研究実施項目の一つとして、電力需給解析シミュレータの開発の中のシステム仕様の研究を実施した。

2-3-2-2 目的

電力需給の仕組みの理解や再エネ大量導入を支える電力需給の考え方などの検討に資する解析基盤として、地域間連系を考慮した電力需給解析シミュレータの技術仕様を構築する。

2-3-2-3 主な成果

2-3-2-3-1 再エネ大量導入検討のための電力需給解析シミュレータの開発（図 2 9）

本シミュレータでは、需給面の対応（ランプ調整力、待機予備力、広域調整、再エネ制御など）¹の優先順位と準備のリードタイム²を考慮することにより、「どのような対応を、いつまでに、どれだけ準備すればよいか」の分析・評価を可能としている。本シミュレータは、以下の3つの基本モデルで構成される。

- ・ 【供給信頼度評価モデル】 ネット需要³の変動分析に基づいて調整力のアデカシー（調整容量の充分性）を確率的に評価する手法、ランプ調整力の制約を考慮した電源構成最適化手法、損益分岐点理論に基づく調整力の経済性評価手法等を開発した。
- ・ 【需給運用計画最適化モデル】 ネット需要ランプ⁴の最大を最小化する揚水発電運用計画手法、ランプ調整力の制約を考慮した電源起動停止計画手法、地域内系統の潮流の制約を考慮可能な最適潮流計算技術に基づく経済負荷配分手法等を開発した。
- ・ 【負荷周波数制御（LFC）シミュレーションモデル】 実需を模した需給制御における周波数・連系線潮流の変化を計算する LFC シミュレーション機能、周波数面で過酷な断面抽出のためのスクリーニング機能を開発した。

1 ランプ調整力：発電機出力変化幅・変化速度、待機予備力：起動・並列までに数時間程度を要する供給力、広域調整：地域間連系線を活用した調整力の融通、再エネ制御：下げ代不足時の再エネ抑制。

2 リードタイムとは、それぞれの需給面の対応における容量の確保や運用の準備に要する時間をいう。

3 ネット需要とは、電力需要から再エネ出力を差し引いた実質的な需要をいう。

4 ネット需要ランプを、ネット需要の6時間周期程度の変動成分の大きさと定義した。

2-3-2-3-2 東日本3地域系統相当データ(東地域データ)⁵への適用

(表 0-1、表 0-2、図 0-9～図 0-13)

2030年頃を想定した東地域データへの本シミュレータの適用により、再エネ大量導入時の需給状況を概観し、各種の需給面の対応の効果を分析・評価できることを確認した。

表 0-1 ランプ調整容量のアデカシー評価の例(供給信頼度評価モデル、北海道相当地域)

指標	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
ランプ調整容量の予備率(%)	0.6	-1.4	-10.1	26.7	23.4	18.5	26.6	55.8	96.2	122.2	70.4	40.6
ランプ調整容量 ⁶ の不足時間期待値(h)	4.3	6.2	10.3	0.3	0.5	1.8	0.5	0	0	0	0	0.1
ランプ調整容量の不足容量期待値(MWh)	784.1	768.9	2101	38.4	54.5	207.4	54.1	2.6	0	0	0.1	5.5

表 0-2 需給対応のパラメータ設定

検討ケース	パラメータ	#0	#1	#2
再エネ制御	当日指令設備の割合(%)	0	50	100
広域調整	空容量に対する割合(%)	10	20	30
揚水発電(待機予備)	停止揚発に対する割合(%)	10	20	30
LFC用蓄エネ活用	火力LFC容量の割合(%)	100	80	60
従来電源の調整力性能向上	最低出力(%)	100	90	80
	ランプレート(%)	100	110	120
DR(需要制御)	系統容量に対する割合(%)	0	1	2

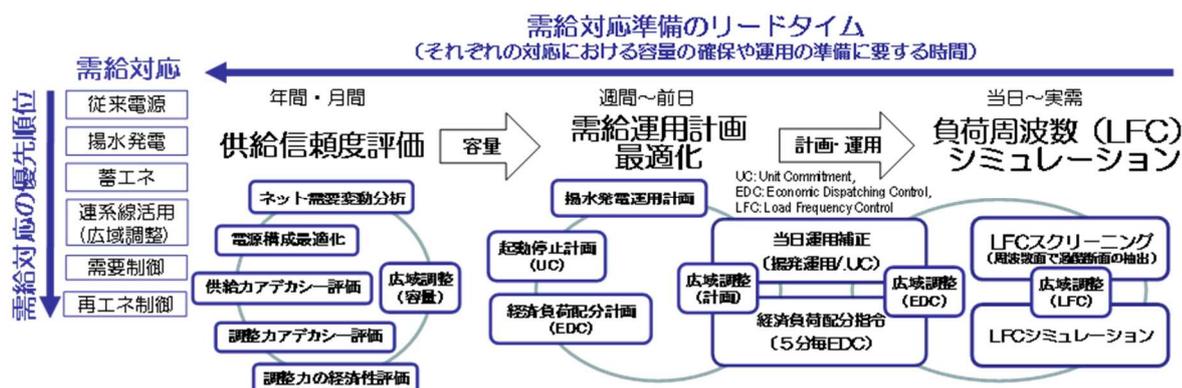
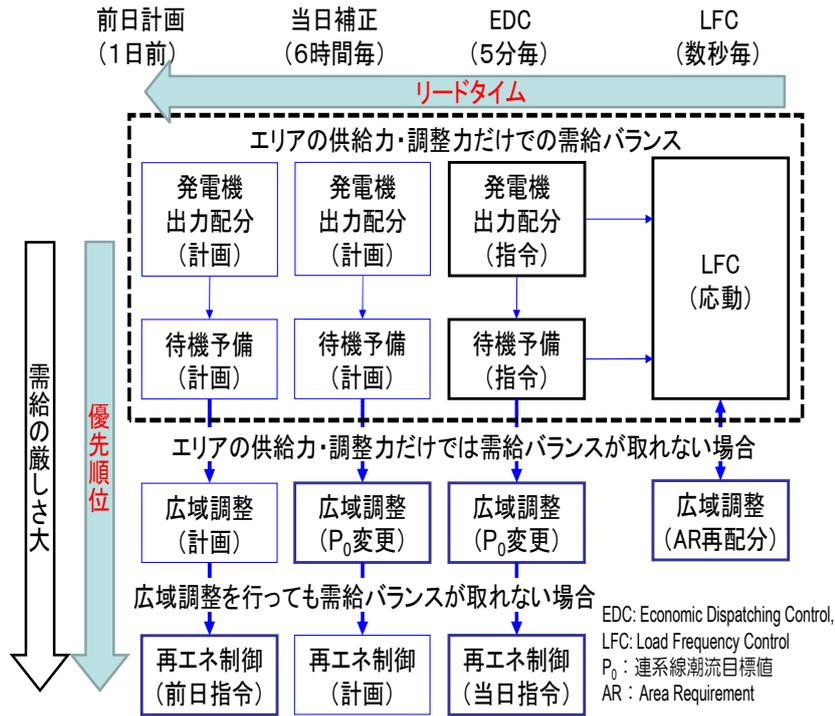


図 0-9 再エネ大量導入検討のための需給解析シミュレータの概要

⁵ 2030年頃を想定、北海道・東北・東京地域を模したネット需要や電源構成等の需給に関するデータ。電源構成は、供給計画2025年度の電源計画ベースで想定、需要は2013年度実績値から想定、再エネ導入量は、太陽光発電は全国64GW、風力発電は全国10.6GWから各地域の系統容量で按分。

⁶ ランプ調整力の出力変化



(需給運用計画最適化モデル ~ LFCシミュレーションモデル)

図 0-10 需給対応の優先順位とリードタイムの設定例

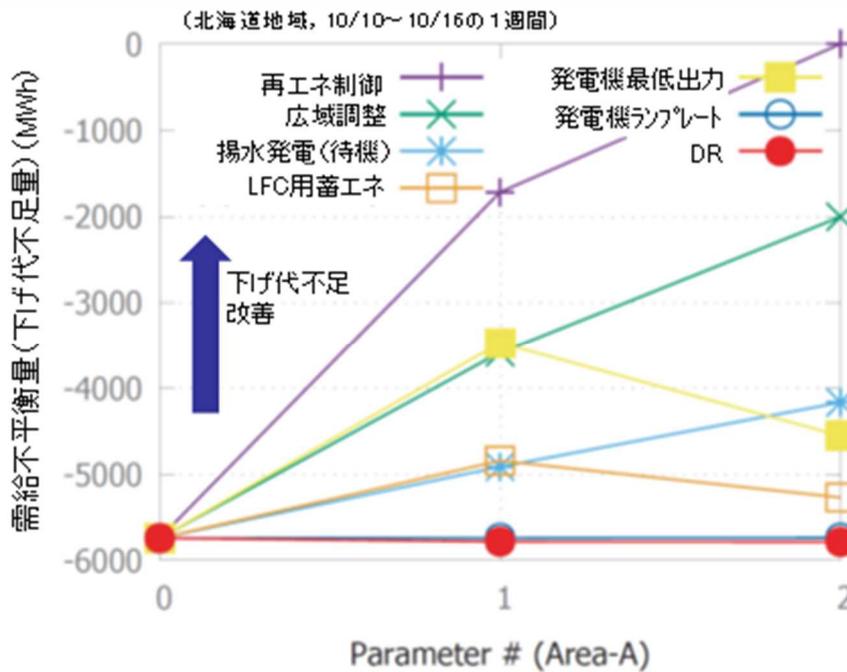
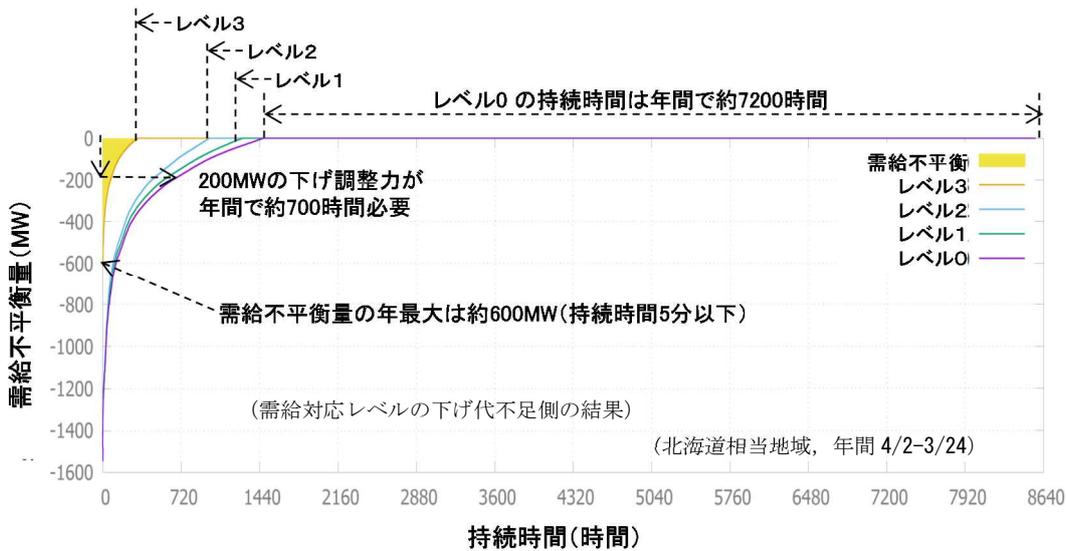


図 0-11 下げ代不足に対する需給対応の効果の評価例



【需給対応レベル】

- レベル0 : 地域の運転予備力の範囲で需給バランスが取れる状況
- レベル1 : 地域の待機予備力の範囲で需給バランスが取れる状況
- レベル2 : 広域調整の範囲で需給バランスが取れる状況
- レベル3 : 再エネ/需要制御の範囲で需給バランスが取れる状況

【需給不平衡量】5分先ネット需要（予測）とEDC指令値※合計との差
 （下げ代不足側をマイナス値、供給力不足側をプラス値でそれぞれ算出）
 ※EDC指令値には再エネ制御、広域調整を含む

図 0-12 5分毎 EDC 計算における需給状況の分析例（需給運用計画最適化モデル）

・需給運用計画での広域調整後の地域間連系線の空容量を活用
 ・地域で調整し切れない分を、他地域の調整力余力に応じて配分

➔

LFC 時の広域調整（AR の再配分）により、
 6～8 時辺りで下げ代不足が解消し、

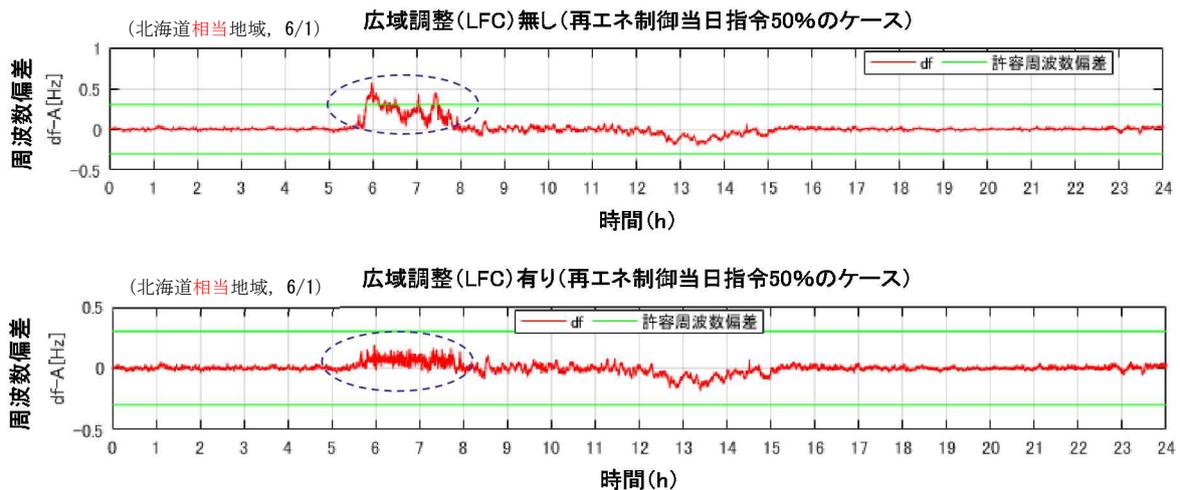


図 0-13 LFC における広域調整の効果の分析例（LFC シミュレーションモデル）

2-3-3 システム適用の研究

再生エネ大量導入を考慮した需給解析シミュレータの解析ロジックの適用に関する調査・研究を行った。検討条件、評価指標を設定し、数値検討を行い、最後に再エネ導入拡大における電力需給とその課題の基本的な考え方について検討した。

2-3-3-1 検討条件

今回北海道エリア、東北エリア、東京エリアから成る我が国東地域系統を、規模、設備構成、エリア間連系設備構成の面から概略的に模した3エリア系統をモデル系統とした。対象時期は2030年を想定した。

2016年度の供給計画の2025年度断面をもって2030年度想定とした。電源構成とエリア間連系設備を、既知の情報から想定した。各電源の特性（出力幅、変化速度、ガバナ・LFC調整幅）、同じく計画外停止確率、燃料費特性（燃料費対出力）、需要発生確率、負荷特性、実効設備率（補修設備の率）等を公開文献から参照するなどして設定した。LFCや直流連系設備等の制御ロジックや予備力設定等信頼度に関するパラメータについても同様に参照または仮定し設定した。需要規模、再エネ導入量については、表0-3（下線部）、表0-4のように想定した。数値は電力広域的運営推進機関、経産省、環境省の公開資料からの引用を基本としている（詳細は報告書参照）。

表 0-3 需要規模の想定 [MW]

		エリア A	エリア B	エリア C
夏 期	2014 エリア実績（参考）	4,350	13,030	51,570
	2025 エリア予想	4,600 (0.5%/年)	14,030 (0.7%/年)	<u>56,050</u> (0.8%/年)
冬 期	2014 エリア実績（参考）	5,120	13,330	—
	2025 エリア予想	<u>5,480</u> (0.6%/年)	<u>14,800</u> (1.0%/年)	—

表 0-4 再エネ導入量想定 [MW]

		エリア A	エリア B	エリア C	全国値（参考）
低 位	風力	1,100	3,280	1,550	10,600
	太陽光	1,840	4,640	18,170	64,000
高 位	風力	2,740	10,940	5,930	32,200
	太陽光	2,760	10,000	27,255	—

ランプ予測技術開発WGや電力関係有識者所属組織から需要及び再エネの過去の時系列や対応する予測値時系列を入手し、上述数値との整合をとり活用した。

気温予測誤差からの需要予測誤差の生成、予測精度の人為的操作、需要・再エネ予測値に基づく予備力等の設定、予測の信頼区間情報に基づく予備力等の設定、当日運用における補正計画実施条件の設定、風力ランプ警報発令時および予測誤差拡大時への対応方法などを検討し活用し

た。再エネ抑制については前日指令必須設備と当日リアルタイム制御可能設備の比率を可変とした。

2-3-3-2 評価指標

数値計算に求めるべき結果としての評価指標を整理した。需給運用計画では燃料費最小化を行っている。一方で再エネ対応のための諸方策を比較する際の評価指標としては、上述燃料費よりも評価範囲を拡大し、消費者からみた電気の原価と二酸化炭素（CO2）総排出量とした。消費者から見た電気の原価とは、各種事業者の利益を含まない純粋なコストであり、全ての設備費と運転費から成る。

2-3-3-3 検討結果

検討ケースを表 0-5 に示す。この中から検討機能別に、代表的ケースの概要を 0 以降に示す。

表 0-5 検討ケース一覧

	使用する機能	ケース名称	
(0)	供給信頼度評価	ベースケース (L)	
(1)		揚水発電活用	
(0)	需給運用 計画（簡 易シミュ レーショ ン含む）	－	
(1)		調整力 リソース 関連	ベースケース (L)
(2)			リアルタイム再エネ制御 (5 分先指令)
(3)			連系線活用
(4)			揚水発電活用
(5)			LFC 用蓄電池導入
(6)			従来電源柔軟性向上
(7)			DR 活用（需要減側）
(8)			ネット需要 予測関連
(9)		信頼区間情報に基づく予測	
(10)		ネット需要予測精度向上	
(11)		短周期変動予測精度向上	
(12)		WG 間連携	ランプ予測 WG：風力モニタリング効果
(13)			ランプ予測 WG：ランプ警報による補正計画
(14)			蓄エネルギー制御技術 WG：風力事業者蓄電池効果 （ネット需要評価のみ）
(15)	－	実証 WG の翌日計画との比較	
(0)	周波数 シミュレーション	ベースケース (H)	
(1)		ベースケース (L)	
(2)		リアルタイム再エネ制御の効果	
		リアルタイム広域制御の効果	

2-3-3-4 供給信頼度評価機能による検討

当該機能に付随した月別電源構成を決める機能も活用し、エリア A（北海道相当）の月別下げ代不足概算値と、それに対する揚水機追加の効果を検討した。図 0-14 に月別の下げ代不足概算値を、図 0-15 に揚水機を追加した際の予備率向上と下げ代不足解消の様子を示す。以上から揚水機が予備力および調整力として有力な手段であることがあらためて確認できた。あわせて開発した機能がこういった概略的な検討に有効であることが確認できた。

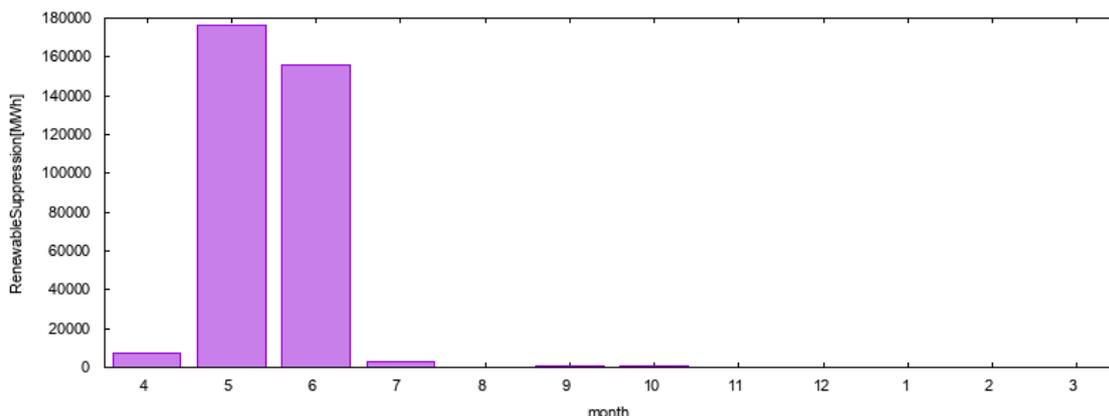


図 0-14 各月の下げ代不足量（エリア A）

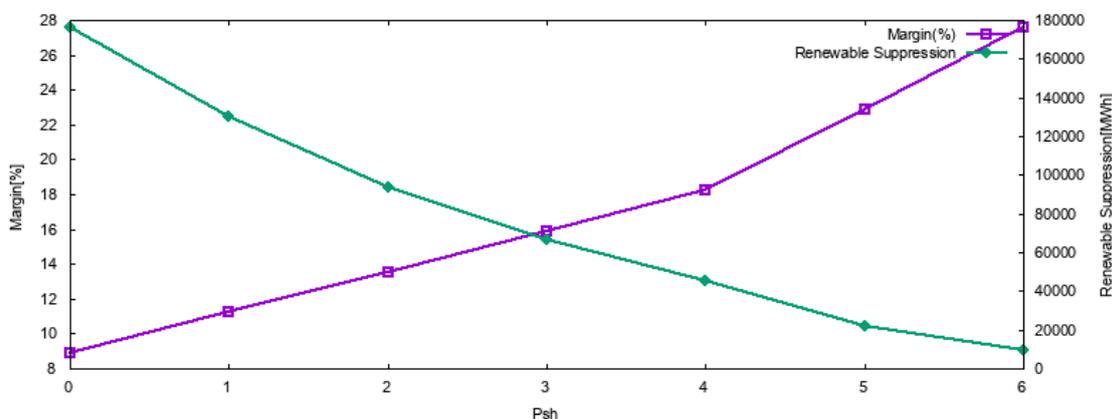


図 0-15 揚水機を追加した際の下げ代不足(緑)と予備力(紫)の変化(エリア A、5月)

2-3-3-5 需給運用計画機能による検討

需給運用計画を用いた検討の中では、信頼度に関する検討を需給が厳しい特定週で、コスト、CO2 等については年間を対象に、それぞれ検討を行った。後者について、再エネ導入量による一部指標値の変化を、図 0-16、図 0-17 に示す。導入量は L が表 0-4 における低位、H が同じく高位である。図 0-17 の縦軸は抑制エネルギー [MWh] を導入量 [MW] で割ったものであり [h]（時間、hour）の次元を持つ量である。なおこれは再エネが最大出力を出し得る時に出力 0 に抑制した場合の時間の合計であるから、実際の抑制時間とは異なった値であり、抑制時間の目安である。

再エネ高位ケースではCO2排出量が数割減るが、抑制量は大幅に増え、現実の再エネ事業者の立場で考えると採算がとれなくなりかねない。なお各エリアともCO2減少量に大幅な差がない一方、エリアA、B（東北相当）、C（東京相当）の順に抑制量が多い。この結果は再エネの導入量に合理的な値があり得ることを示唆している。これについては0節に述べるような定性的な検討を行っている。

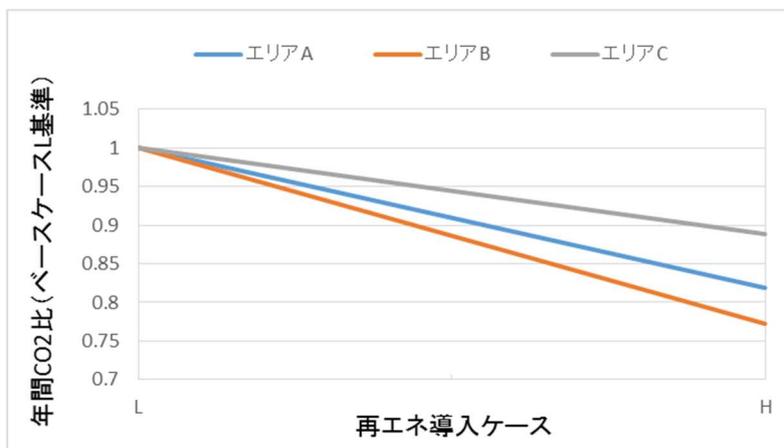


図 0-16 再エネ導入量による年間CO2排出量の変化

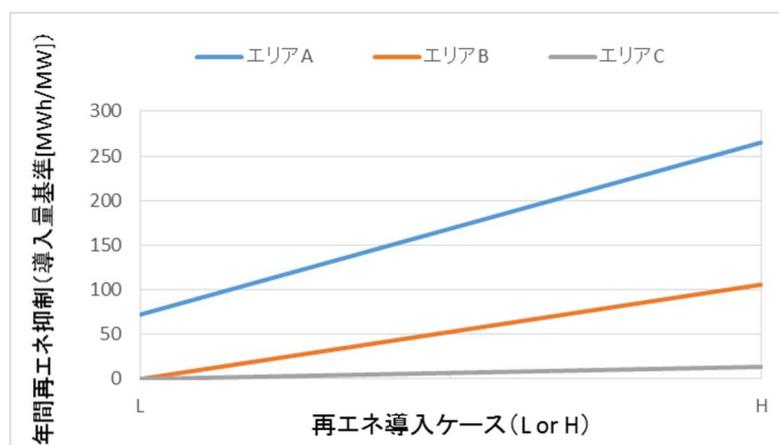


図 0-17 再エネ導入量による再エネ抑制量の変化 (エリア別導入量基準)

他にWG間連携として、ランプ予測技術開発WGとの連携によるランプ警報・モニタリングシステムベース予測の効果検討、蓄エネルギー制御技術WGとの連携による再エネ事業者が蓄エネ設備を備える効果の検討、実証WGとの知見共有および実証システムの翌日計画問題を共有した翌日計画機能の比較検討、を行っている。

2-3-3-6 周波数シミュレーション機能

周波数シミュレーション機能を用いて再エネと連系線のリアルタイム制御の効果を確認している (詳細は報告書参照)。

2-3-3-7 再生エネ導入拡大における電力需給と課題解決の考え方について

この考え方として、解決すべき問題を図 0-18 の「基本最適化問題」と図 0-19 「拡大最適化問題」の観点を持って整理することと、「市場・ルール設計フェーズ」を切り分けること（図 0-20）とに一定の有効性があることを確認している。

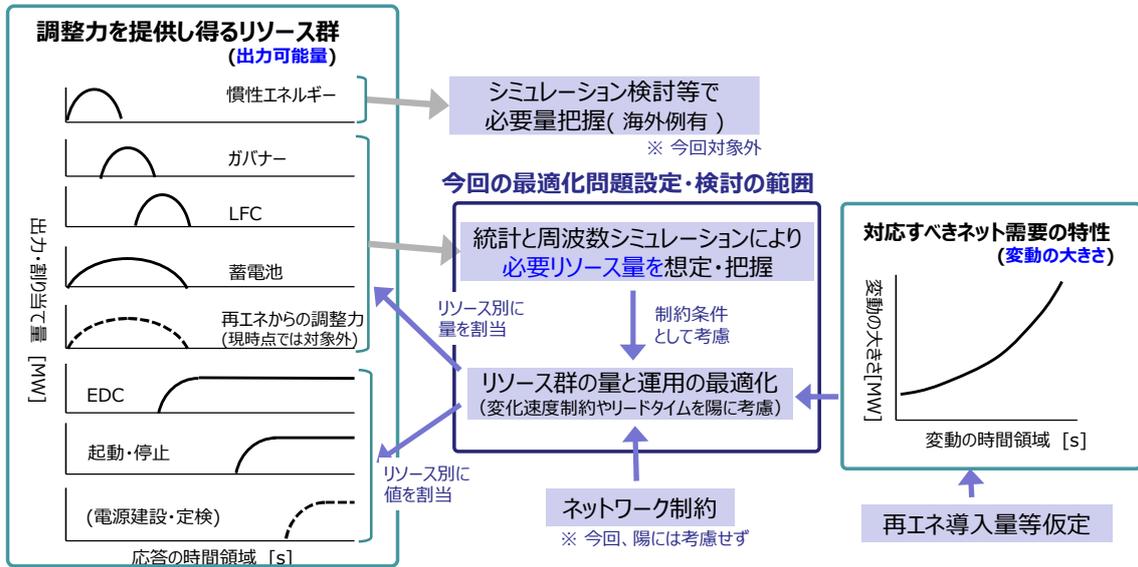
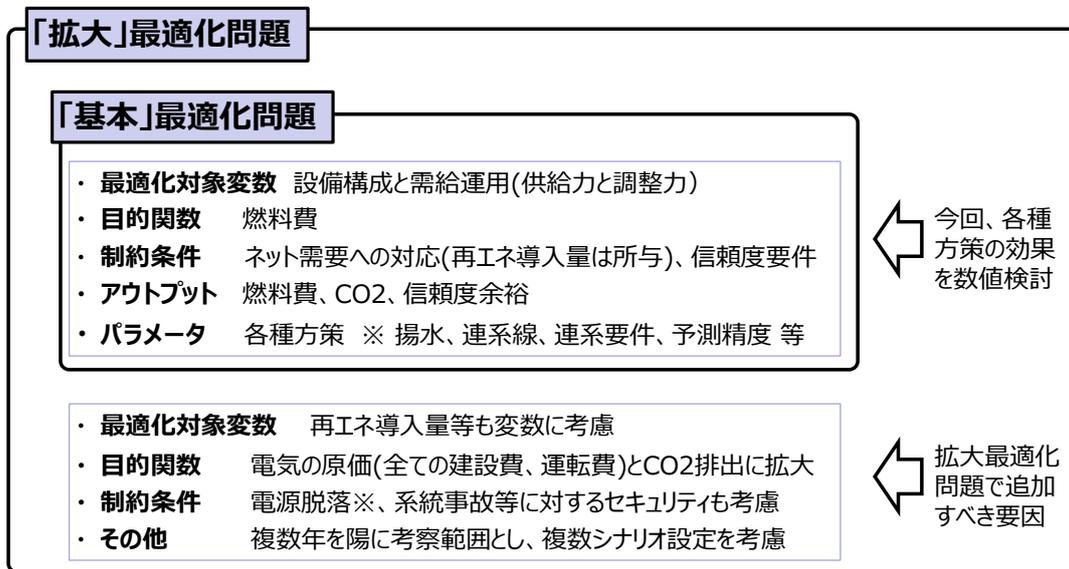


図 0-18 本研究での最適化問題定式化（「基本」最適化問題）



※供給信頼度評価機能では既に電源脱落を考慮済みである。ここではより詳細な需給断面の検討において、あり得る設備事故を考慮することを指している

図 0-19 「拡大」最適化問題の概念

最適化フェーズ：社会コスト(または総CO2)ベースの最適化



市場・ルール設計フェーズ：健全な競争環境の実現

- 信頼度維持
- 適切な利益配分

図 0-20 最適化フェーズとルール設計フェーズへの切り分けの概念

2-3-3-8 結論・今後の課題・まとめ

結論をまとめたあと、今後の課題として、予測および不確実性の扱いに関する、予測者側と運用者側それぞれの課題、調整力の評価と割り当て、系統制約の扱い、解析のための補助機能などの課題について述べた。

2-3-4 システム構築の研究

本研究では、再エネ大量導入が供給力計画、需給計画、周波数制御に与える影響を評価可能な共通の解析基盤として必要となる、解析ロジックの実装および解析実行環境（プラットフォーム）の調査検討を行い、多地域電力システムの需給解析シミュレータを開発した。

具体的には、第2章から第4章による再エネ大量導入検討のための需給解析シミュレータの解析ロジックの基礎理論調査、仕様設計、電力需給運用の検討結果に基づく需給解析シミュレータの構築に向け、解析ロジックの実装および解析実行環境（プラットフォーム）の構築に関する調査・研究を行い、需給解析シミュレータのシステム基本設計（アーキテクチャー；構成要素とその関係を表現した全体の構造）、解析ロジックの入出力インタフェース、およびマンマシン・インタフェース等を設計・実装することを目的として検討を行った。

2-3-4-1 システム基本設計の実施

開発に際し、基本的な考え方として多様な検討目的に客観的で柔軟に対応可能な解析基盤とするため、システムの機能・ロジック・モデルのモジュール化・標準化を目指した。

需給解析シミュレータは、電力システムへの再エネ大量導入が供給力計画、需給計画、周波数制御に与える影響を総合的に評価するシステムであり、その構築においては、年間レベルからリアルタイム制御にわたり種々の電力需給や系統評価に関わる解析データやロジックを効率よく扱うためのシステムとする必要がある。そのための関連技術に関わる解析ロジックや解析データを扱う基本技術について広く調査・比較検討を行い、需給解析シミュレータの開発仕様の検討を行った。

2-3-4-2 需給解析シミュレータのシステム基本設計

基本機能として、供給信頼度評価モデル、需給運用計画モデル、周波数制御シミュレーションモデルの3つの機能による構成とした。システムロジックマップを図0-21に示す。

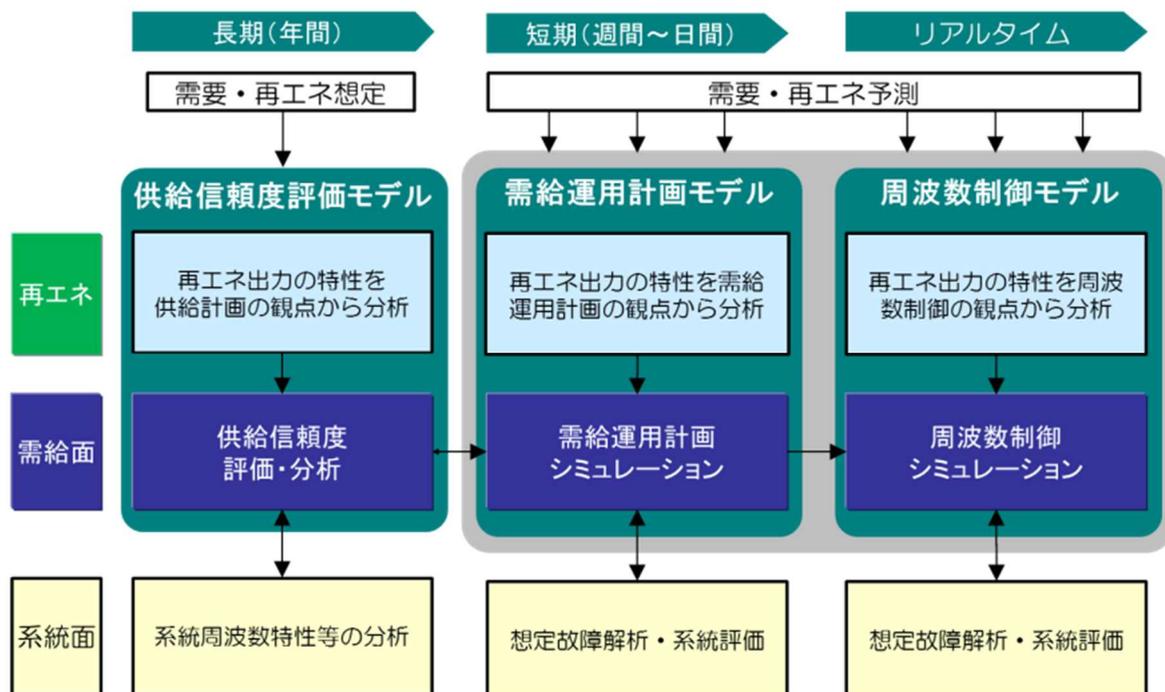


図 0-21 システムのロジックマップ

解析データベース（DB）については、実績のある系統解析用データベースを調査し、電力系統オブジェクト（オブジェクト指向言語を用いて電力系統を構成する設備に関するデータのクラス（属性や特性）をまとめたもの）は、多層のカテゴリ/クラスで登録されるデータ構造とすることとした。そして、基本データを変更することなくパラメータ解析が実施できる、差分データ管理方式を採用するとともに、設備データベースと解析用データベースに分けて管理することで、多種多様なパラメータ解析が効率的に実施可能とした。

2-3-4-3 需給解析シミュレータの解析実行環境（プラットフォーム）

需給解析シミュレータでは、解析ロジック/モデルと解析データから問題を構成し解析を実行するための手続きを記述する言語（モデリング言語）および電力系統オブジェクトとモデリング言語とのインタフェースを管理する汎用プログラミング言語について調査・比較検討を行い、図 0-22 に示す構成とした。

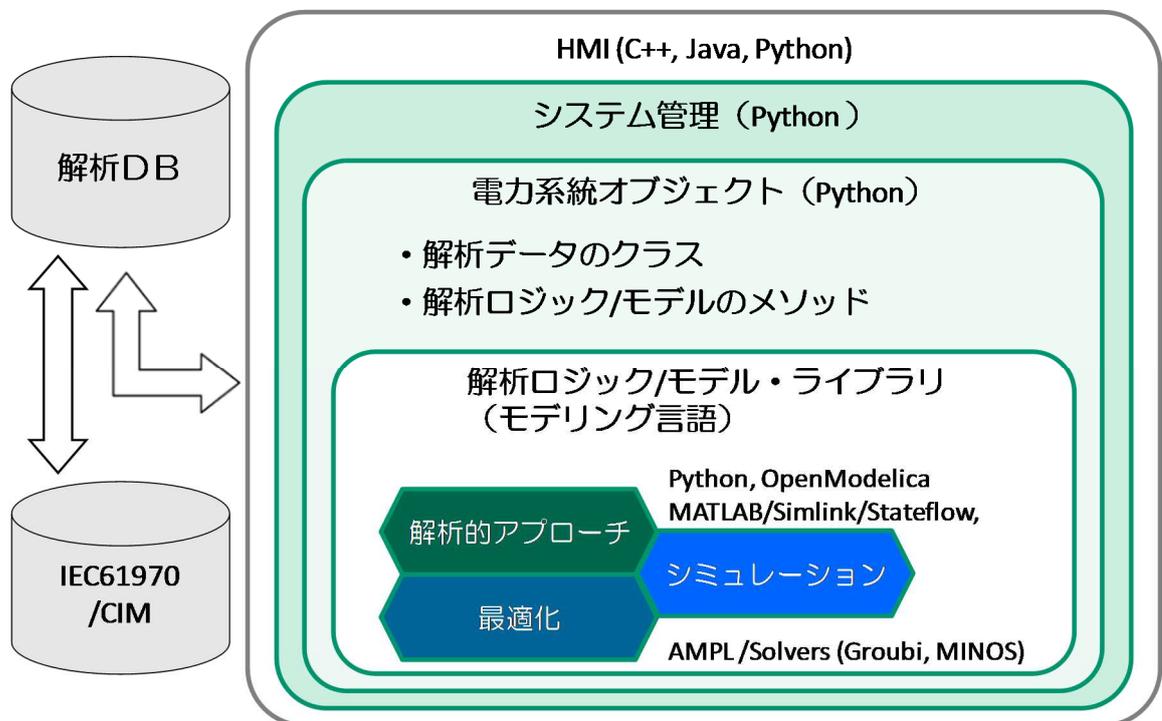


図 0-22 需給解析シミュレータ・プロトタイプのパラットフォーム構成

2-3-4-4 需給解析シミュレータのマンマシン・インタフェース（GUI）

大量データである設備データ、需要データ、解析データの効率的な管理と選択・設定の取扱い、ユーザの目的により柔軟な解析ロジックの組合せとパラメータの選択・設定の取扱い、および解析結果の効率的な管理と報告編集を可能とする GUI を構築した。

メイン画面（図 0-24）から、基本操作フロー（図 0-23）に従い「入力データ操作」、「シナリオ操作」、「解析ケース操作」、「データ構造操作」を行うことができる。

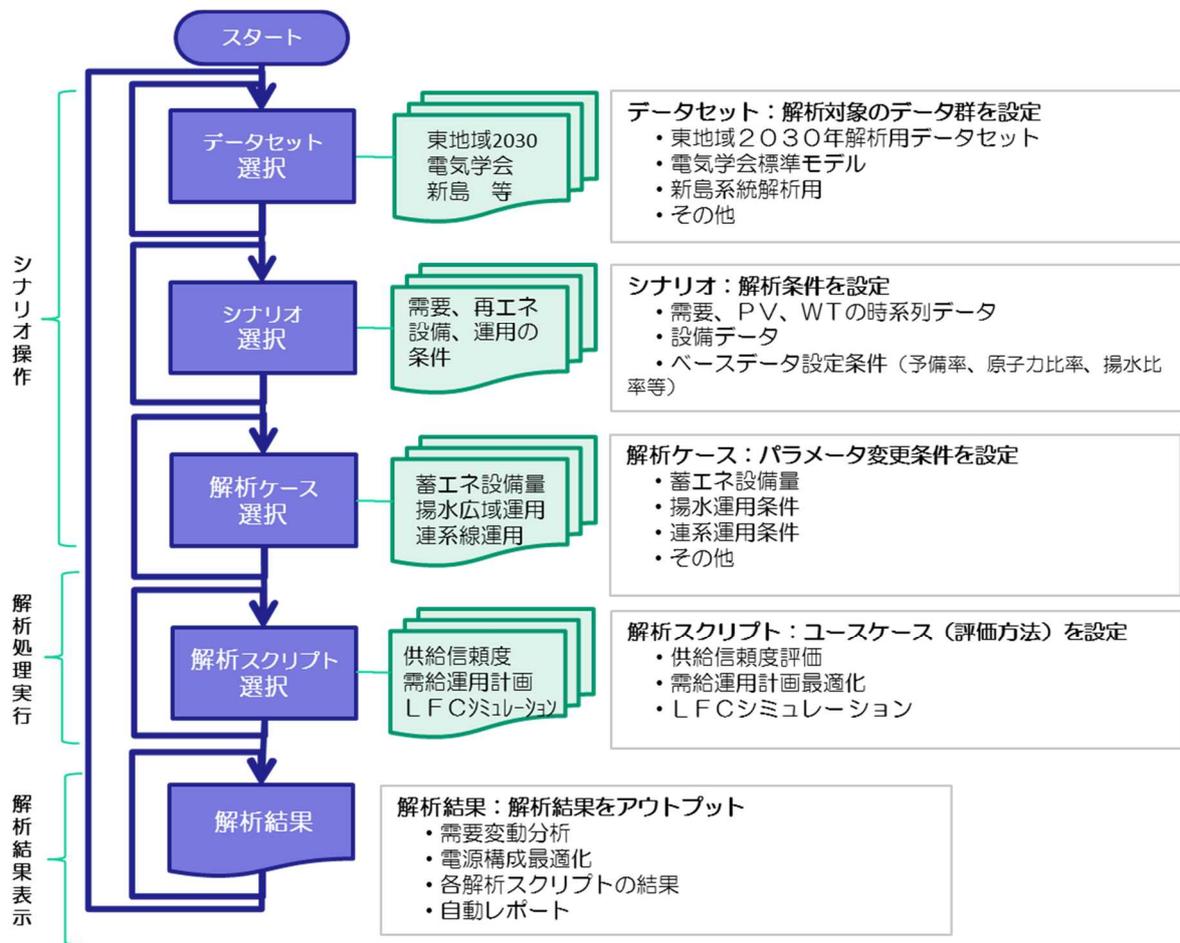


図 0-23GUI の基本操作フロー

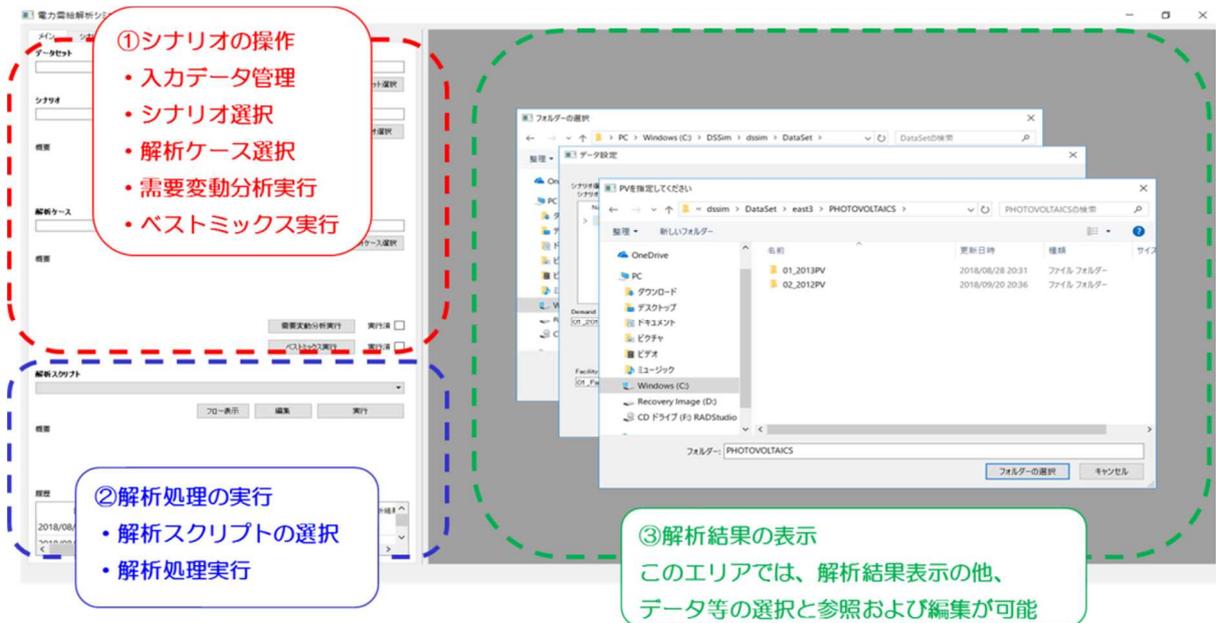


図 0-24 メイン画面基本構成

2-3-4-5 解析ニーズを踏まえたシステム開発の検討

多様な解析ニーズに応じた任意の問題設定、効率的な検討、研究の推進、客観性の高い評価への貢献、新しい技術の容易な導入等の拡張性を追及するため、システムを構成する解析ロジック・機能のモジュール化、それらを定義する変数、パラメータ、制約条件、目的関数のクラス化、解析モデルやインタフェースの標準化を検討した。

2-3-4-6 需給解析シミュレータの構築に関する基本技術の実装

需給解析シミュレータ構築関連基本技術として、供給信頼度評価モデル、需給運用計画最適化モデル、負荷周波数制御（LFC）シミュレーションモデルの各機能を実装した。今後の新たな系統解析技術の開発に応じ、解析プログラムの組込、活用が可能となる構成とした。図 0-25 に需給解析シミュレータの概要を示す。

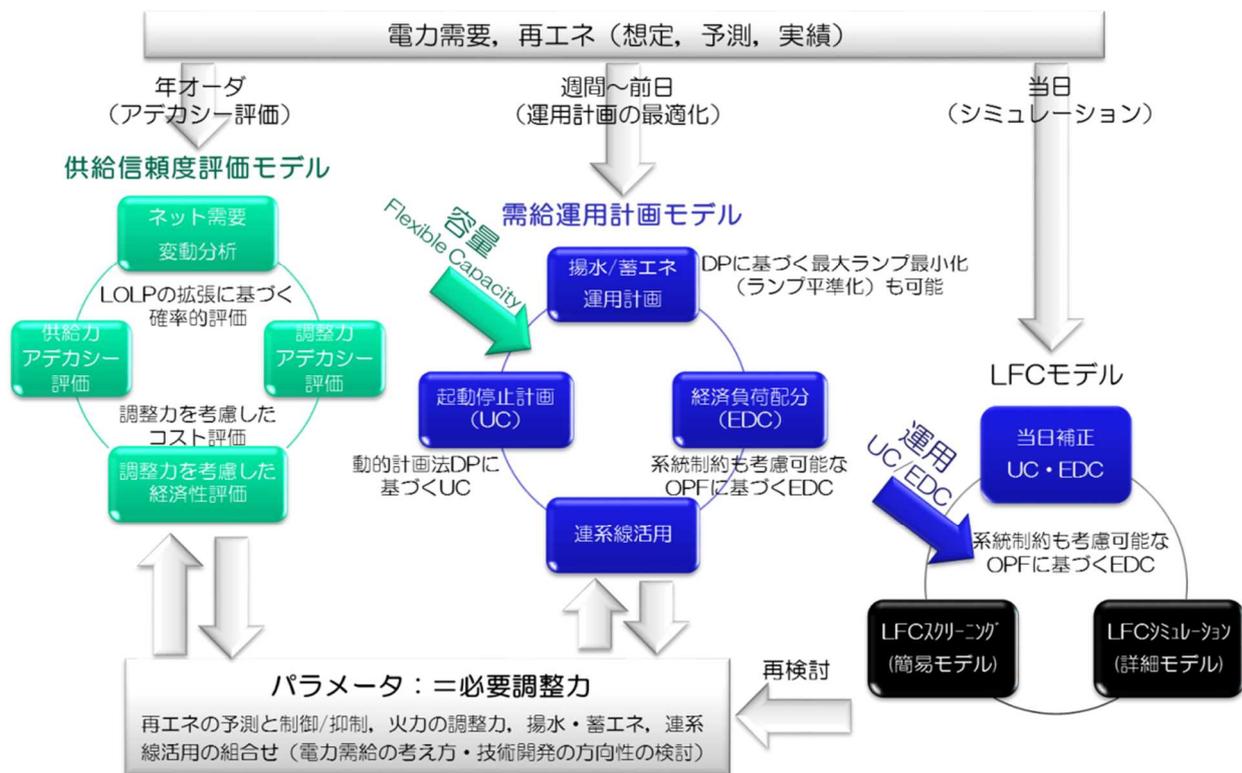


図 0-25 電力需給解析シミュレータの概要

①供給信頼度評価モデルの実装

再エネ含む需要変動分析機能を含む以下の機能を実装した。

- 平均需要（ELD 領域）変動デュレーションに対する供給信頼度評価機能
- ランプ変動・短周期変動（変動幅と変動速度）に対する供給信頼度評価機能
- 再エネ kW 価値計算：ELCC 手法、供給信頼度評価：LOLP/LOLE 手法

②需給運用計画最適化モデルの実装

需給運用計画の最適化に関する以下の機能を実装した。

- 揚水等の電力貯蔵設備の運用計画最適化機能
- 火力電源起動停止計画 UC モデルおよび経済負荷配分 EDC 計算機能
- 広域調整（計画段階）ロジック、再エネ制御ロジック

③負荷周波数制御（LFC）シミュレーションモデルの実装

東日本3地域を想定した実規模条件の試算に基づき、効率的に評価できるよう、詳細モデルと簡易モデルを作成

2.4 研究開発項目(Ⅱ) 予測技術系統運用シミュレーション：実証WG

再生可能エネルギーを最大限受け入れつつ、かつ電力の安定供給、対策コストのミニマム化、低炭素化を両立させるためには、再生可能エネルギーの予測技術と制御・抑制、および既存電源や蓄電池等の運用制御技術を総合的に組み合わせることが有効であることを実際の電力系統において実証した。

具体的には、東京都新島村の実電力系統を東日本系統の縮約モデルと見なした実証フィールドとし、2030年を見据えた再エネ設備を構築するとともに、その出力変動対応として蓄エネ設備ならびにEMS (Energy Management System) やRA (Resource Aggregation) システムを構築した。

2-4-1 「予測を取り入れた需給運用計画・制御の高度化に関する研究」 (実施者：東光高岳)

2-4-1-1 「需給運用計画・制御と連係する予測手法に関する研究 (実施者：日本気象協会)

地域特性を考慮した予測手法を確立するため、新島及びその周辺13拠点で現地気象観測を行うとともに、新島におけるランブ現象の発生状況を観測し、発生時の気象条件を分類・分析を行うことで、新島独自気象予測モデルを開発し風速及び日射量の予測の精度の向上を図った。(図1参照)

新島等の島嶼における発電出力予測は、周囲が海に囲われて気象観測地点が少ないことや気象予測モデルの解像度に対して島の面積が小さいため、広域を対象とした予測と比較すると、精度が低くなる傾向にある。地形や土地利用の影響を受けやすい風速予測精度の向上を検討するため、空間解像度の高い地表面データ適用することで精度向上を図った。

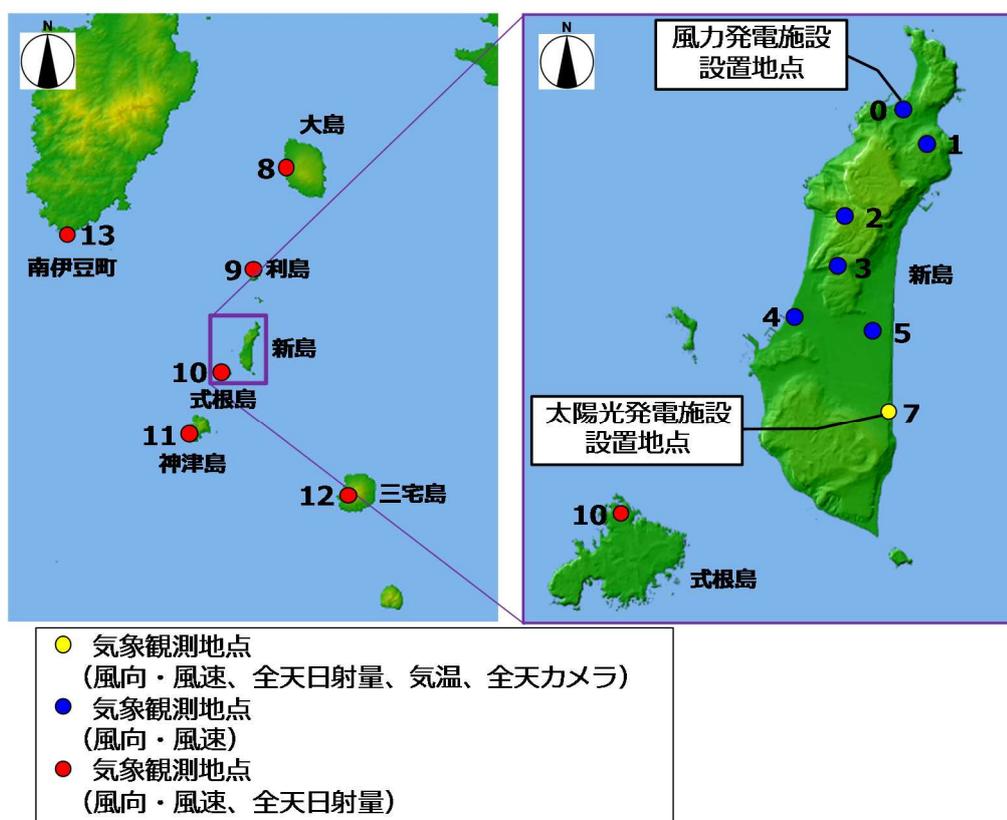


図1 現地気象観測地点 (独自観測)

実電力システムの需給運用に向けた予測のため、風力発電出力予測手法および太陽光発電出力予測を検討するとともに、統計的手法に基づく信頼区間情報の算出方法を検討、数十分先予測の開発、風力および太陽光発電急変検知の手法検討を行い、情報提供手法を確立した。（図2参照）

予測情報は、週間、当日・翌日、数時間先、数十分先の異なる時間スケールに最適な風力・太陽光発電出力予測手法を検討し、発電出力予測は、48時間先（10分更新）及び1週間先（1日更新）までの決定論的予測の他、確率論的予測として、信頼区間情報を開発した。

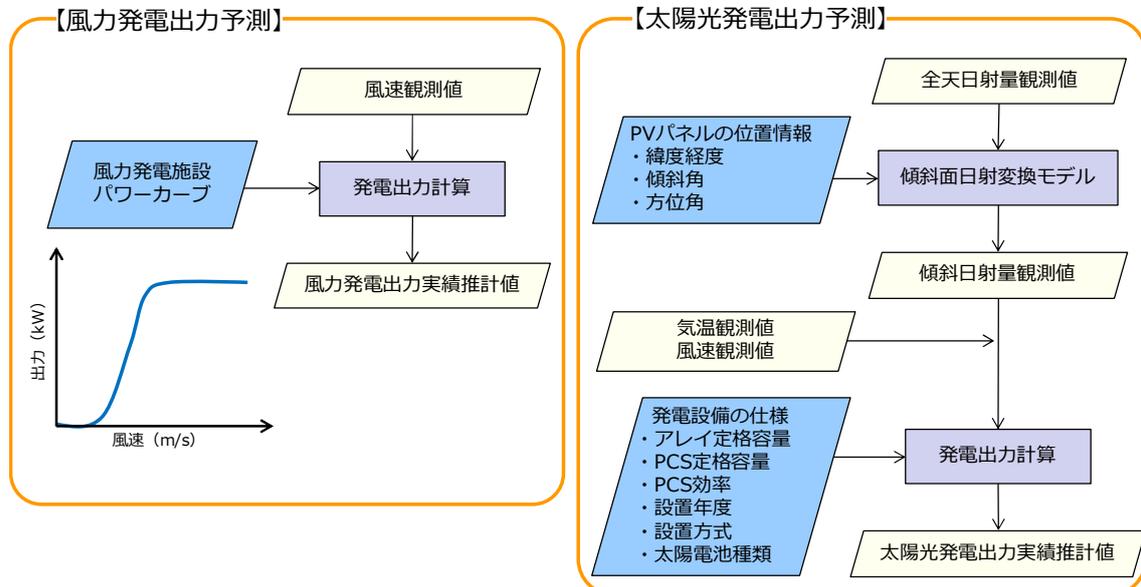


図2 再生エネルギー発電出力実績推計値の算出フロー

新島独自気象予測モデル検証成果に基づき、再生可能エネルギー発電出力予測システムを設計・開発・構築（図3参照）するとともに、EMSの需給計画機能に予測情報を反映し、実電力システムで運用するための予測情報の活用方法の検討および再生可能エネルギー発電出力予測情報の精度検証を行った。

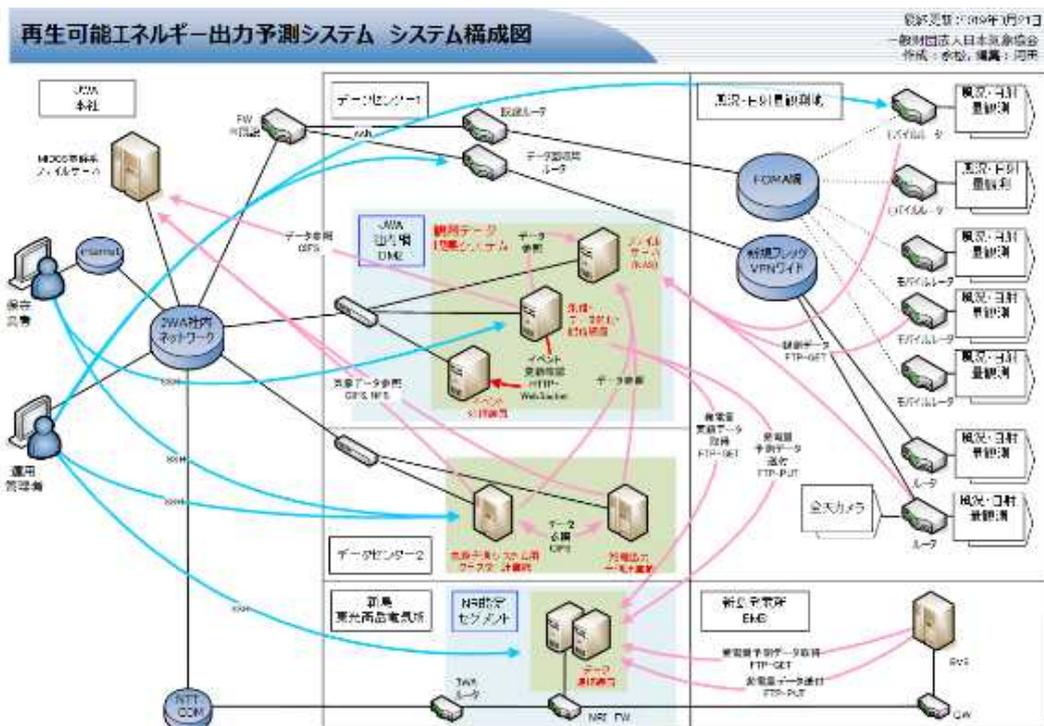


図3 再生可能エネルギー発電出力予測システム構成

層別化した誤差統計分析によって算出した信頼区間情報とランプ予測技術 WG で検討されたアナログアンサンブル手法を用いた信頼区間情報の新島実証試験への適用について比較検討を行った。アナログアンサンブル手法を用いた信頼区間情報と統計的手法を用いた信頼区間情報（現行手法）の予測精度検証を行い、アナログアンサンブル手法の精度が現行手法と比べて同等であることを確認した。

2-4-1-2 「予測を取り入れた需給運用計画・制御手法に関する研究」（実施者：東光高岳）

実証試験環境を新島の実電力システムに整備するため、2030 年を想定した再エネ設備容量、実証試験を行う上で必要となる蓄エネ設備等を設計するとともに、電力システム改革により将来想定されるリソースアグリゲーションやバランシンググループを想定し、発電設備、蓄エネルギー設備、需要家設備のリソースアグリゲーションなど分散した様々な制御を協調させる「分散型制御協調システム（各種分散リソースを直接制御する「統合制御システム」を含む）」の基本設計を行った。（図 4 参照）

また、安定的に需給計画・運用を行うため、予測精度情報も含めた不確実性を考慮した予測情報の提供や需給調整に効率的に活用するための情報提供時刻および更新周期、予測時間、時間間隔などを検討し、需給運用計画・制御機能を設計した。

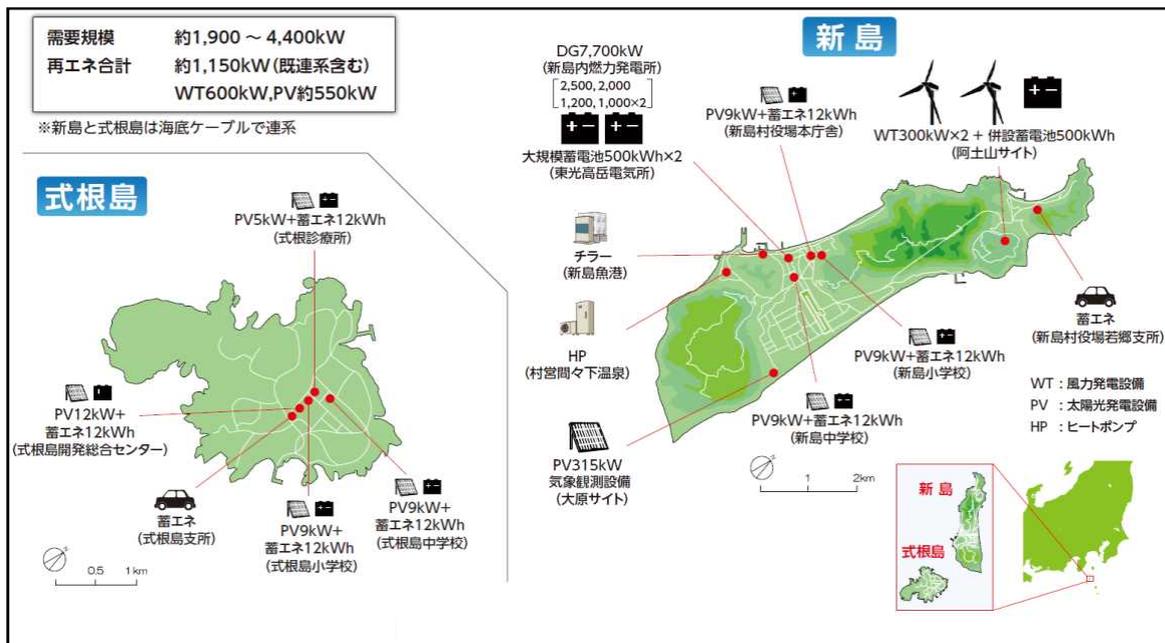


図 4 東京都新島村の新島と式根島の実証設備

新島実電力システムにおける実証試験のための EMS 構築に向け、確率的予測を取り入れた再エネ出力情報処理、ディーゼル発電機制御情報処理、蓄電池運転計画処理を総合的に行う需給運用計画・制御機能（プロトタイプ）を設計開発し、事前動作および効果の確認を行った。（図 5、6 参照）

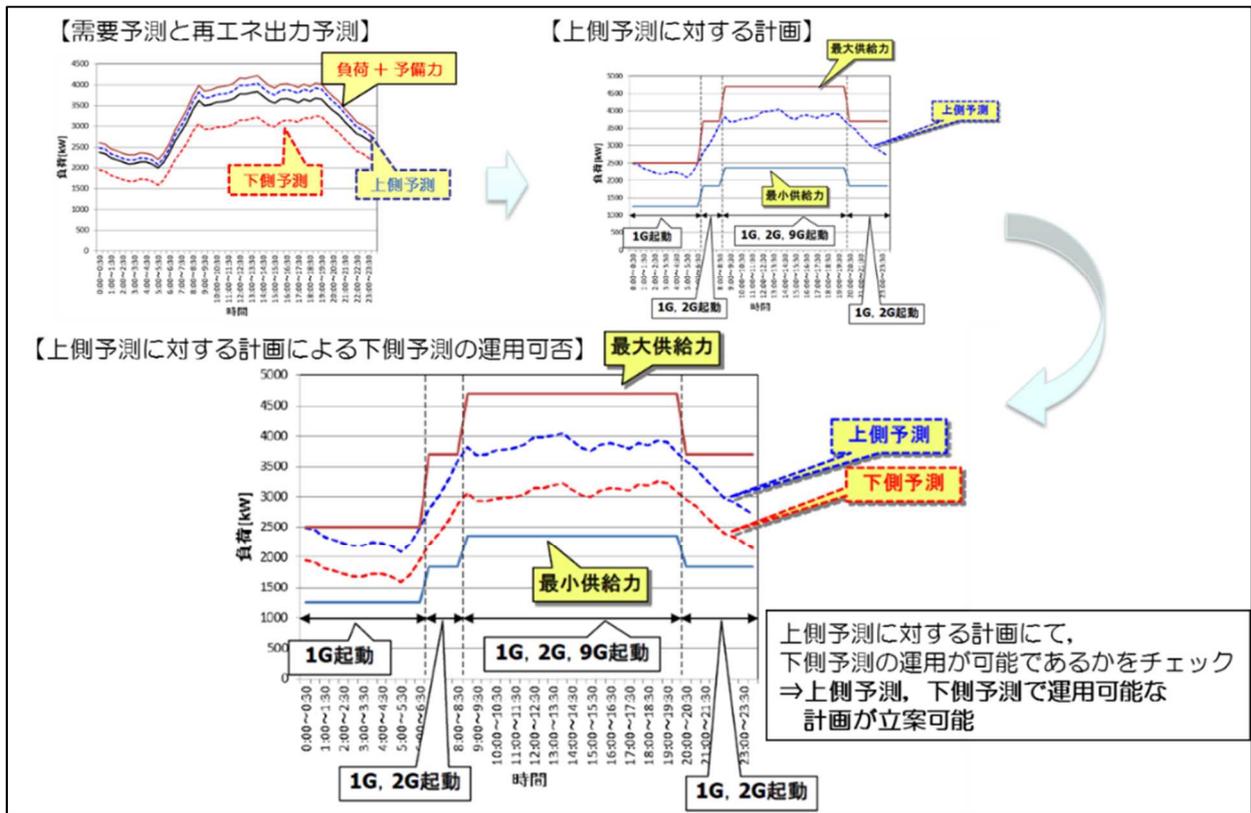


図5 需給運用計画の例

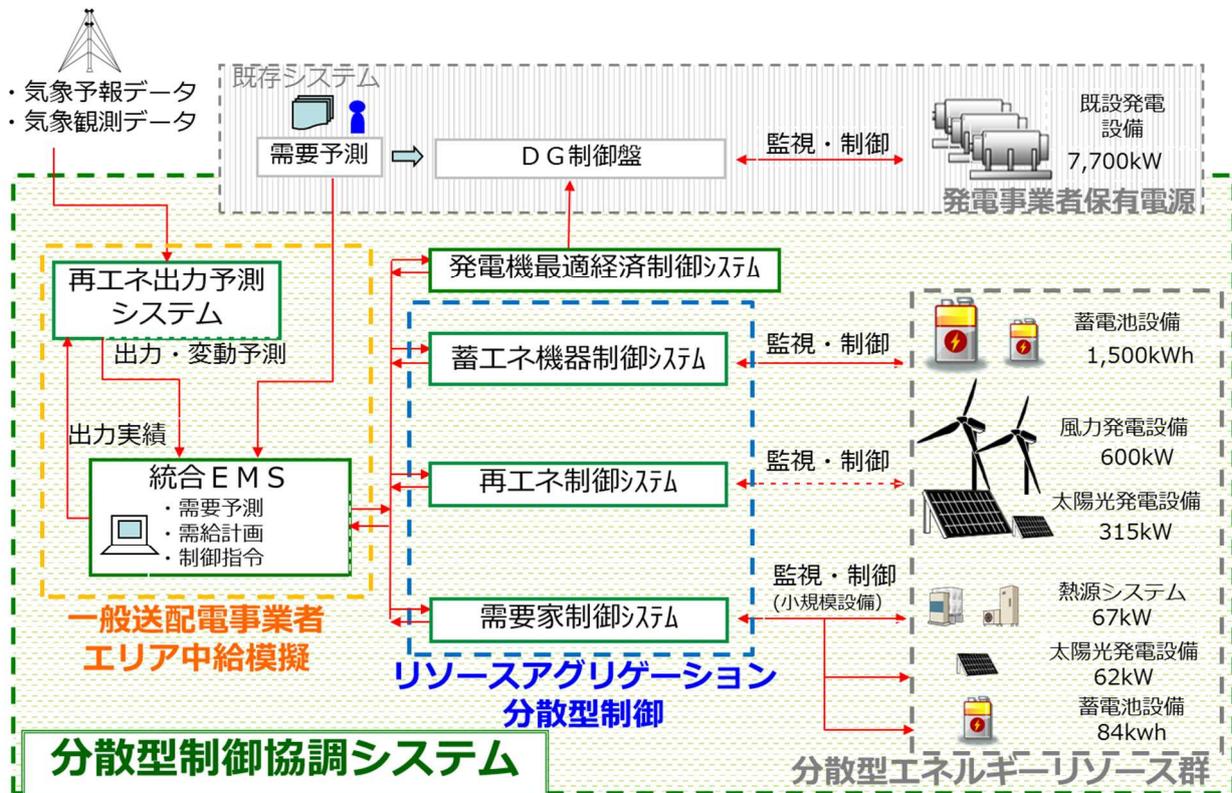


図6 分散型制御協調システム構成図

2-4-2 「発電機・蓄エネ設備等の調整力拡大に向けた運用制御高度化に関する研究」

(実施者：東光高岳、電力中央研究所、東京大学)

2-4-2-1 「発電機の調整力拡大に向けた運用制御高度化に関する研究」

(東光高岳、電力中央研究所)

発電機の周波数変動抑制能力（発電機ガバナ特性）を高めることで、より効率的に再生可能エネルギーの導入可能量を拡大できる可能性があるため、実証環境で発電機応動特性を把握し、発電機ガバナモデルの作成・検証、ガバナ設定値変更による再エネ導入拡大効果とガバナ設定値調整の考え方について検討した。

- ・ 発電機ガバナモデルの作成（発電機特性の把握）（図 7、8 参照）

発電機特性試験の実施（DG：44台）

負荷ステップ応動特性の把握

- ・ 発電機ガバナタイプと再エネ導入可能量評価

発電機ガバナのタイプ別分類

再エネ出力変動時の周波数変動抑制に効果的なガバナ特徴整理

- ・ 発電機による調整力拡大手法の検討

発電機ガバナ設定値調整試験によるガバナ設定値とガバナ特性の関係性把握

発電機ガバナ設定値調整による再エネ導入量拡大効果の検討

再エネ導入量拡大に資する発電機ガバナ設定値調整の考え方整理

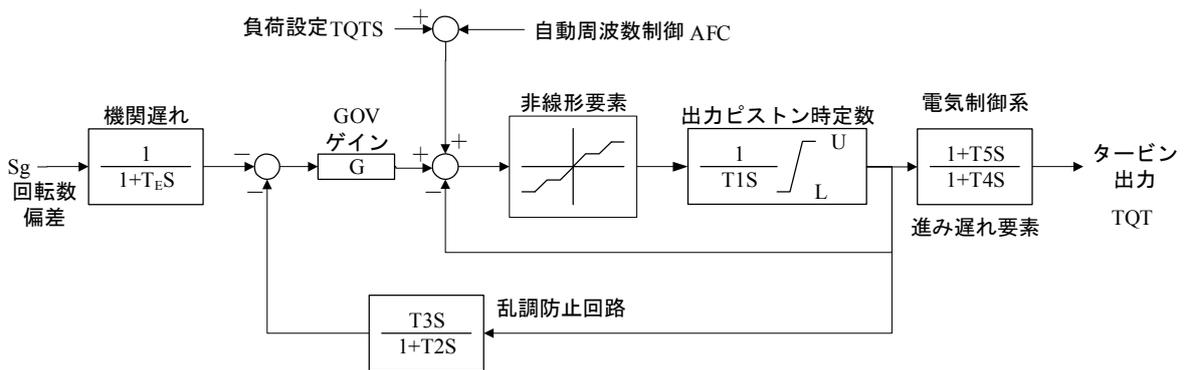


図 7 発電機ガバナモデルの制御ブロック

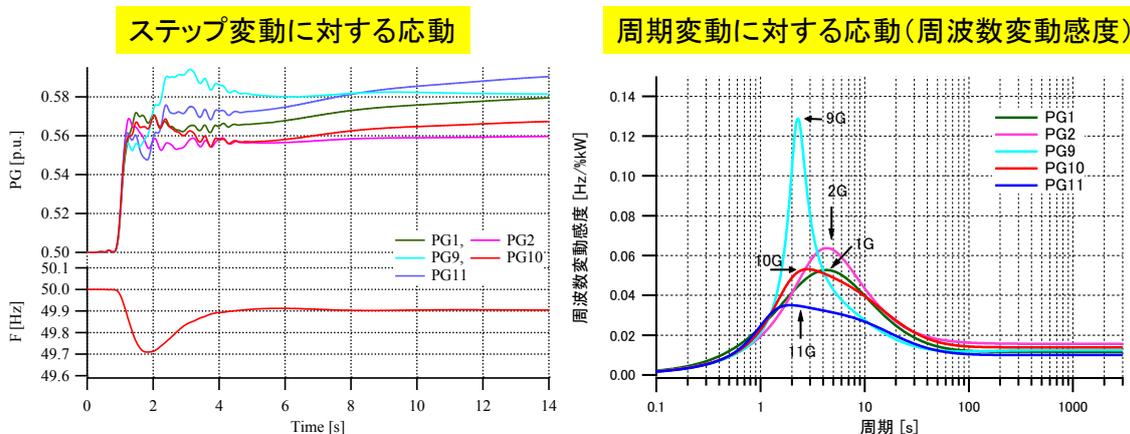


図 8 新島の負荷ステップ変動に対する発電機出力の応動と負荷変動周期に対する周波数変動感度

2-4-2-2 「蓄エネルギー調整力拡大に向けた運用制御高度化に関する研究」

(実施者：東光高岳、東京大学)

新島実証環境における蓄エネシステム要件を分析し、蓄電池システムの設計・構築、SCADA システムによる監視制御機能を構成し、実証試験の環境整備を行った。

- ・ ピークカット機能による DG の出力変動応答の軽減および起動停止頻度の軽減効果の確認
- ・ ΔF 制御機能の応答速度高速化と動作確認
- ・ ΔP (再エネサイト併設蓄電池) 制御機能の動作確認
- ・ 蓄エネ SCADA システムの構築

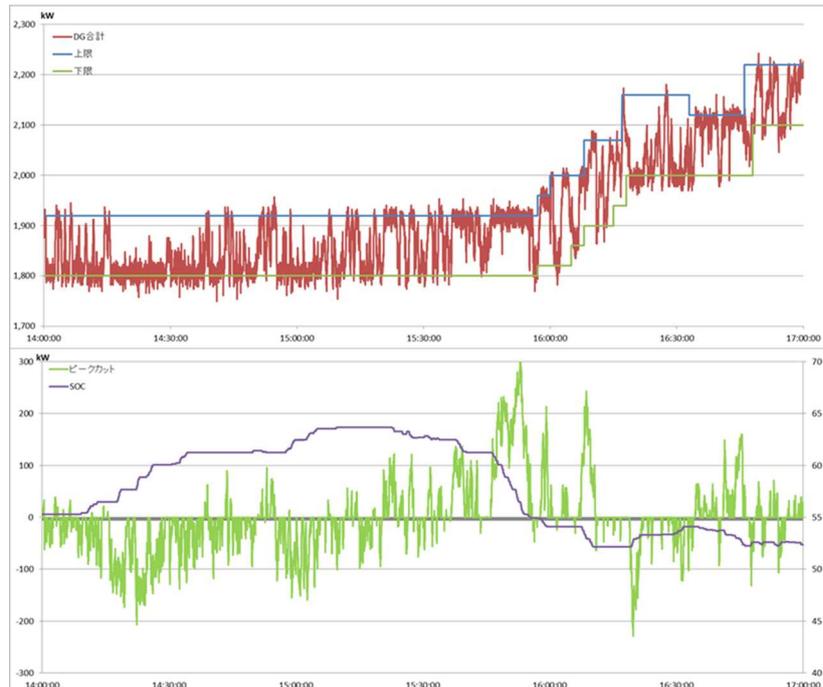


図9 短周期・長周期変動に対応したピークカット制御とSOC管理制御の例

更に、再エネ出力変動の電力系統への影響と対策効果について評価するため、新島既設発電設備（ディーゼル発電機）、蓄エネ設備の各制御機能出力特性データ等に基づく新島モデルを構築し、特に短周期出力変動による電力系統への影響を評価するための周波数解析シミュレーションを開発した。(図10、11参照)

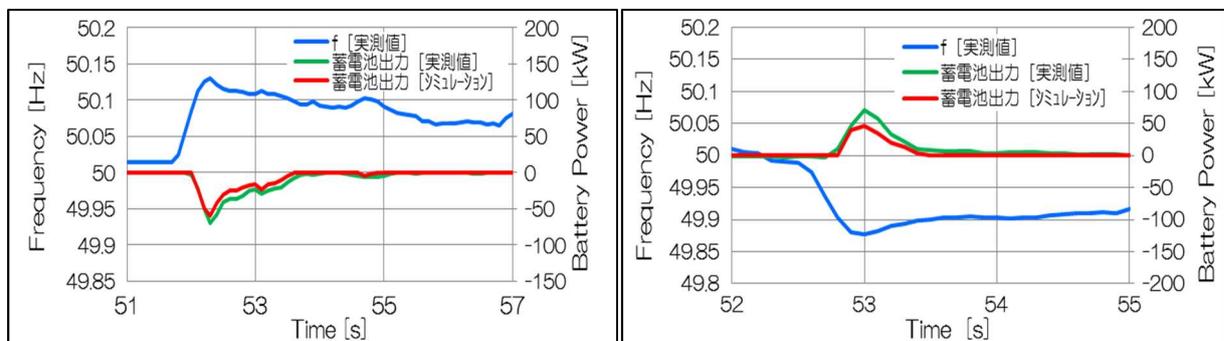


図10 ΔF 制御蓄電池出力波形・系統周波数のシミュレーション例

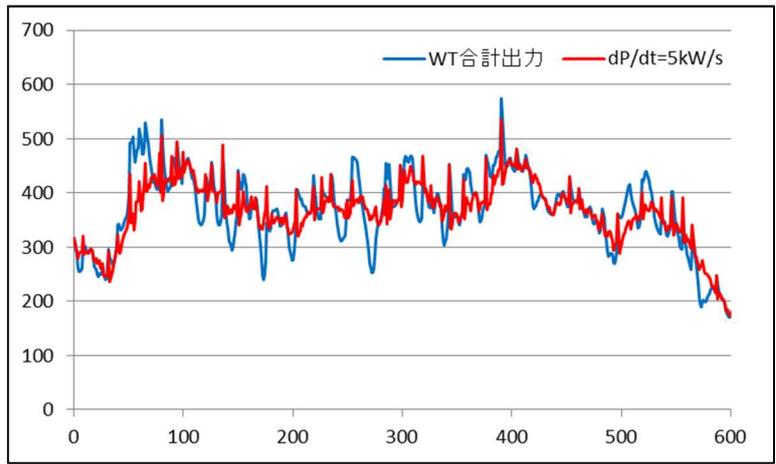


図 11 風力発電出力実測波形と ΔP 制御シミュレーション例

2-4-2-3 「需要家側蓄エネルギー設備を活用した効果の研究」

既存電源（ディーゼル発電機）および大型の太陽光発電、風力発電、蓄電池の協調制御に加え、小型の需要家側設備を一括して監視・制御することができる需要家制御システムによる長周期変動調整力の向上対策について検討・評価を行った。

統合 EMS が作成した再エネ予測を取り入れた需給計画により、需要家側設備を制御する計画 DR 制御、加えて大型再エネ・蓄エネ設備を制御する需給 BG 制御、ならびに、実際の需給条件で制御を行う緊急 DR 制御および発電 BG 制御について、携帯電話回線を用いた制御条件で機能確認を行った。（図 12 参照）

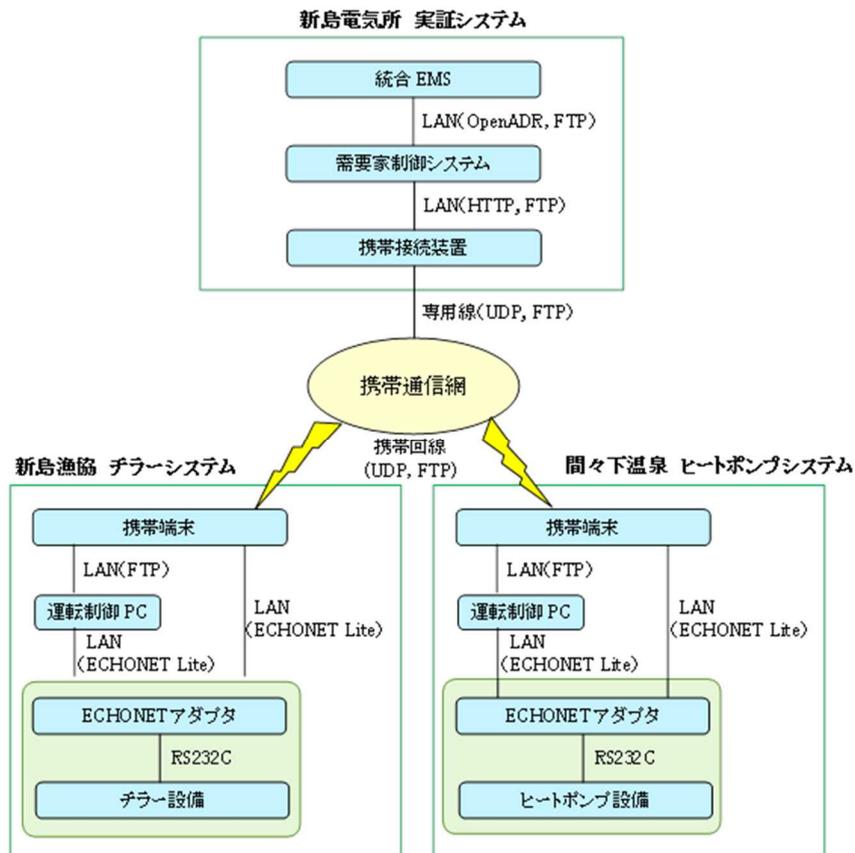


図 12 新島実証フィールドの分散リソースシステム

ヒートポンプの活用効果の評価では、デマンドレスポンスで制御する機器として業務用ヒートポンプ給湯機を研究対象とし、需要家の利便性を損ねない範囲で系統制御への活用手法を検討した。(図 13 参照)

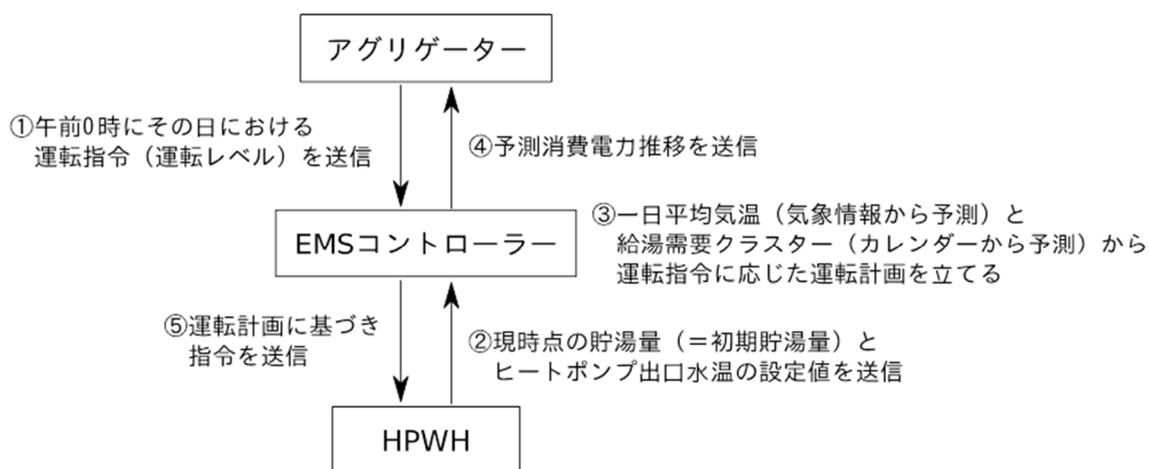


図 13 ヒートポンプ給湯器の運転計画の状況設定

一方、チラーの活用効果の評価では、デマンドレスポンス制御でブラインチラー製氷機を対象として検討した。制御対象とするブラインチラー製氷機システムのモデル化を行い、補償可能な電力変動範囲の検討を行った。(図 14 参照)

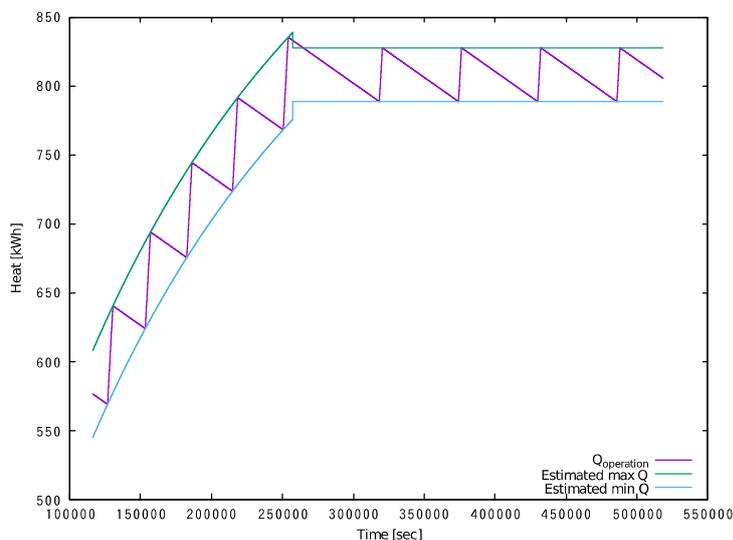


図 14 変動可能熱量範囲でブラインチラー製氷機を定格運転で起動停止運転を行った場合の例

計画 DR、緊急 DR、発電 BG モデル、需給 BG モデルについて新島実証フィールドで評価試験を行い、各制御モデルで携帯電話接続による制御でも、1分以下のタイミングで正常に制御され、良好な結果を得ることができた。これにより、大量の需要家側蓄エネルギー設備を活用することで長周期変動の調整に寄与できることが確認できた。今後、アグリゲータによるネガワット・ポジワット取引による報奨金、およびインバランスペナルティーなどを加味したコストを需要家制御システムに設定することでより現実的な経済運用が期待できる。

ヒートポンプの活用効果の評価では、系統の変動を補償するよう機器を運転すると同時に機器所有者・利用者の利便性を損ねないことが必須である。消費電力及び加熱能力の定常値を予測し、貯湯槽の放熱量解析、ヒートポンプ給湯機の消費電力及び加熱能力モデルと給湯需要予測による運転計画策定手法を考案した。

2-4-3 「再エネの抑制量最小化に向けた制御高度化に関する研究」（実施者：東光高岳）

再エネの制御・抑制の必要性和その効果を検討するため、再エネ出力の変動について特性分析を行うとともに、既設発電設備および蓄電池設備等の調整力特性分析を行った。（図 15、16 参照）

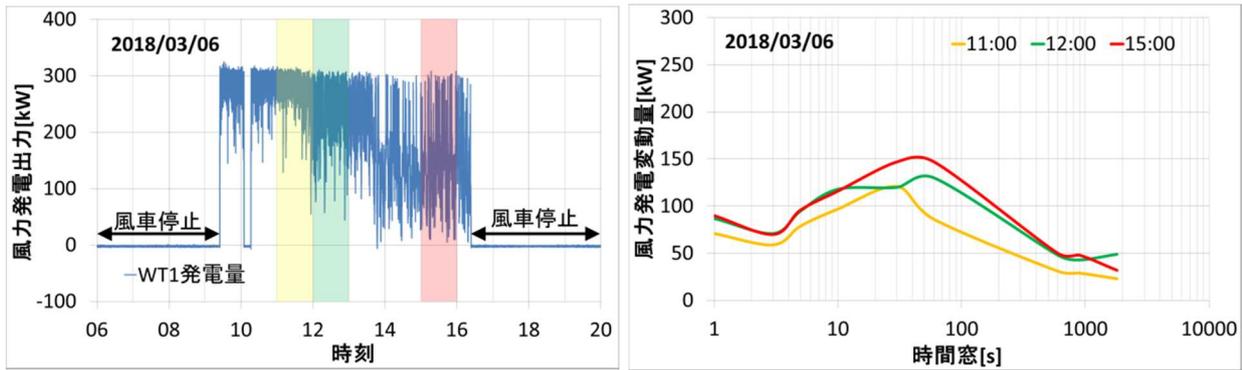


図 15 特徴的な風力発電出力の時間窓別変動特性の分析例

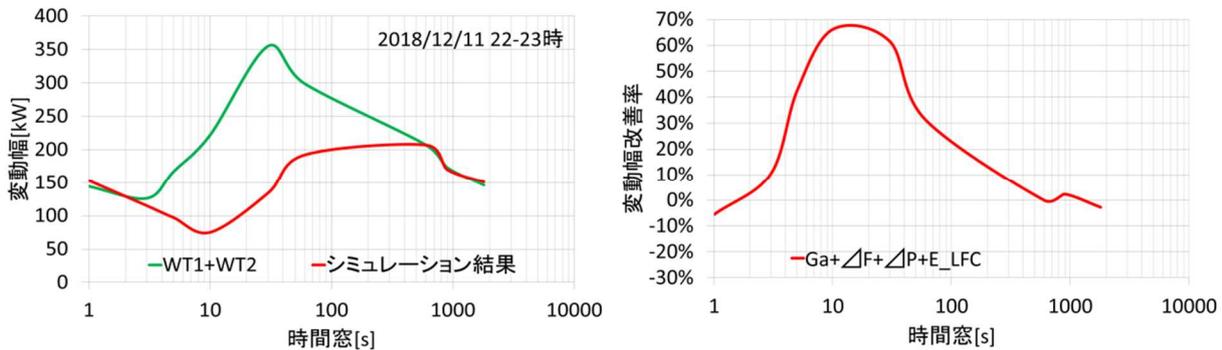


図 16 全周波数制御機能（ガバナ+ ΔF + ΔP +EMS-LFC）使用時の変動幅調整力のシミュレーション結果

また、再エネの制御抑制が必要な条件について、年間を通した再エネ出力推定値および需要実績値に基づき、月毎の制御・抑制が必要となる時間帯等の分析を行った。

再エネ出力には、様々な周期を含んだ変動要素があり、上げ代・下げ代不足など不要な DG 追加起動・停止などの影響がある。ここでは、再エネ出力の変動特性を分析し、それらに対する調整力（自端／遠方）について周波数解析シミュレーションを用いて調整力効果を確認した。その結果、以下のことが確認できた。

- ・ DG ガバナ制御（自端）による短周期領域での変動抑制は効果があるが、再エネ導入量拡大による DG 台数減少によりガバナ効果が減少する。
- ・ 蓄電池 ΔF 制御モード（自端）では、短周期から中周期の領域での変動抑制には効果的であるが、不感帯以内に収める制御であるため、根本的な周波数変動の低減には至らない。

- ・蓄電池ΔP 制御モード（自端）では、短周期・中周期変動成分の調整効果が高い。ただし、制御周期が遅いとハンチングなどを起こす可能性がある。
- ・LFC 制御（遠方）では、周波数偏移に応じ DG 出力制御および蓄電池充放電制御を行うことにより、EDC（経済運用）に寄与することができるが、制御遅延により短周期周波数変動にはあまり効果がない。なお、制御遅延量の改善による短周期変動に対する調整力の向上は期待できる。

再エネ出力制御・抑制の必要性は、再エネ変動の特性により再エネ制御・抑制対象を選定する必要があると考えられる。ここでは、新島の実系統における下げ代不足条件および再エネ変動条件による再エネ抑制条件について実証試験で得られたデータの分析やEMS プロトタイプを用いた需給計画シミュレーションにより、再エネの効果的な活用と DG 発電量の低減、調整力設備量軽減に効果的な再エネ抑制条件を整理した。

再エネ出力制御・抑制を実施する場合、その条件や優先順位を決定することによって、制御量または制御頻度を低減できると考えられる。

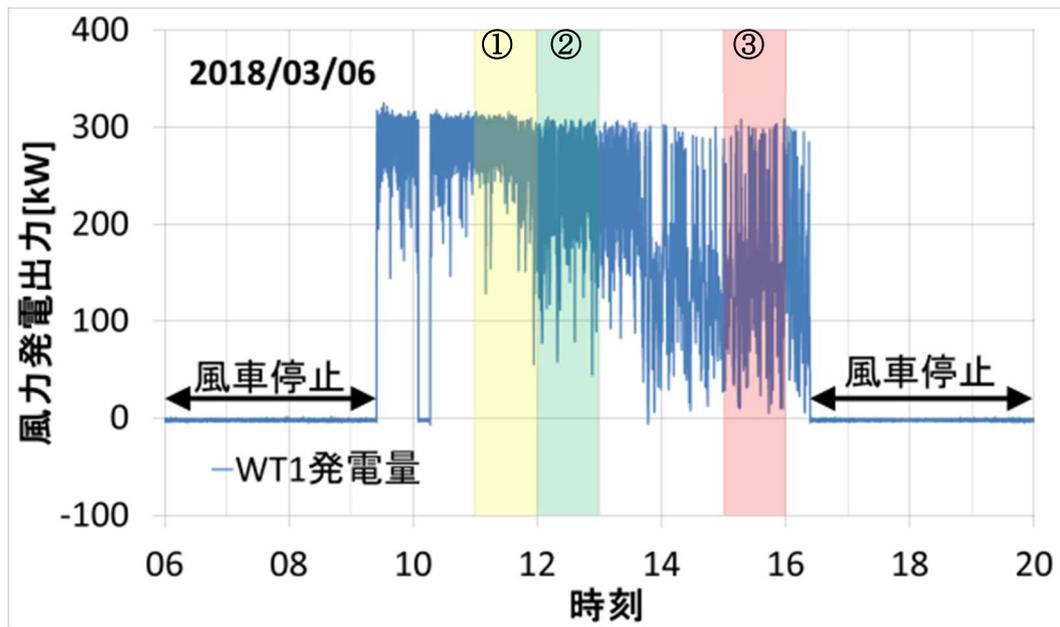


図 17 風力発電出力例

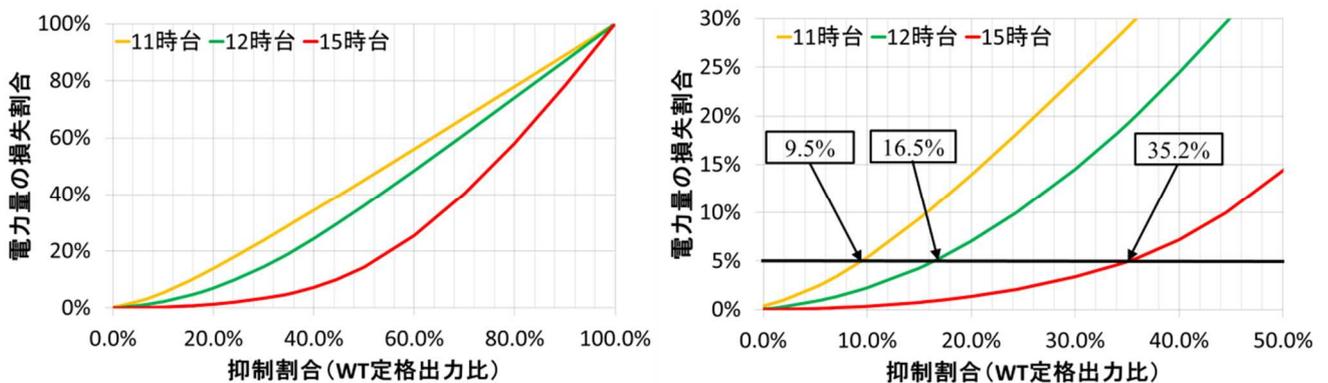


図 18 風力発電出力の抑制割合に対する電力損失（左）と拡大図（右）

再エネ出力制御・抑制の条件や優先順位を決定することによって、制御量または制御頻度を低減できると考えられることから、再エネ制御・抑制が必要になる条件とそこから得られた再エネ出力制御・抑制の優先順位の考え方を「再エネ出力が短時間で激しく変動するケース」と「下げ代不足が長時間にわたるケース」の2つの観点から整理した。

i 再エネ出力が短時間で激しく変動するケース

風力発電出力変動の要因は風力と風向が考えられるが、風力が支配的であることが分かった。出力変動は周波数変動として現れるため、変動による周波数への影響を軽減させるために平均電力に対して変動幅が大きい再エネ出力を優先的に制御するほうがよいと考える。そして、特に需要が上昇している場合において、ディーゼル発電機の追加起動閾値付近で再エネ出力の変動が激しく変動すると DG 運転計画より早く追加起動指令が発生する場合も出てくる。再エネ出力の変動が大きい場合、電力量 (kWh) は制御・抑制による損失は小さいという検討結果から、制御・抑制をすることで不要な追加起動をせずにディーゼル発電機の運転計画に影響を与えずに済む。従って、このようなケースでは出力変動の大きい再エネを優先的に制御・抑制するほうがよいと考えられる。

ii 下げ代不足が長時間にわたるケース

年間を通した再エネ推定出力の分析と同様に需要を統計的に分析した結果から、下げ代不足が長時間にわたって発生する確率が高いのは、再エネ出力が大きく、需要が少ない時期であり、春から夏へと秋から冬への季節の端境期である。また、日変化では夜間が下げ代不足になる確率が非常に高くなるが、端境期では日中でも低需要負荷のため下げ代不足が発生するケースも少なくない。下げ代不足は蓄電池の充電により回避するが、充放電バランスやコストの面からその容量は有限であり、再エネ制御・抑制が必要となる。この場合は電力量が重要であり、比較的安定な再エネ出力（例えば、太陽光発電出力など）も制御する必要がある。

再エネ出力制御・抑制を軽減させる方策には、蓄電池が必要不可欠であるが、UC（例：30分毎）による DG 運転計画により、DG の出力上限値および下限値が定まり、この範囲で再エネ変動によるネット需要とのバランスをとることとなり、EMS による単位期間での充放電による蓄電池制御および再エネ抑制によるバランス維持が必要である。さらには、蓄電池容量と設備コストとのバランスも必要である。

ここでは、1週間に1日を代表に年間を通じて需給運用計画シミュレーションを行い、低需要、再エネ大出力時において蓄電池容量を大きくすることで充電することで抑制せず再エネを活用できる再エネ活用率曲線と再エネを利用することで DG の負担分が減少する充放電バランスの良い蓄電池運用ができることが必要であり、再エネ活用率および DG 負担分担率を分析した。その結果、2つの曲線には曲線に屈曲点があることが分かった。

2-4-4 「再エネ導入量拡大に向けた再エネ出力予測、需給運用、再エネ出力制御・抑制の最適化に関する研究」（東京電力ホールディングス、東京電力パワーグリッド、東光高岳）

2-4-4-1 「再エネ出力予測、需給運用、再エネ制御・抑制を組み合わせた最適制御システムの研究」

再エネ導入量拡大に対応する再エネ出力予測、需給運用、再エネ制御・抑制を総合的に協調運用可能な分散型制御協調システムを構築し、その対策と効果を実電力システムでの実証試験およびシミュレーションにより評価し、最適設備構成・運用のあり方について以下の検討を行った。

- ・分散型制御協調システム構築とシステム面および電力品質面の評価
- ・分散型制御協調システムの実証およびシミュレーションによる評価
- ・最適設備構成・運用のあり方

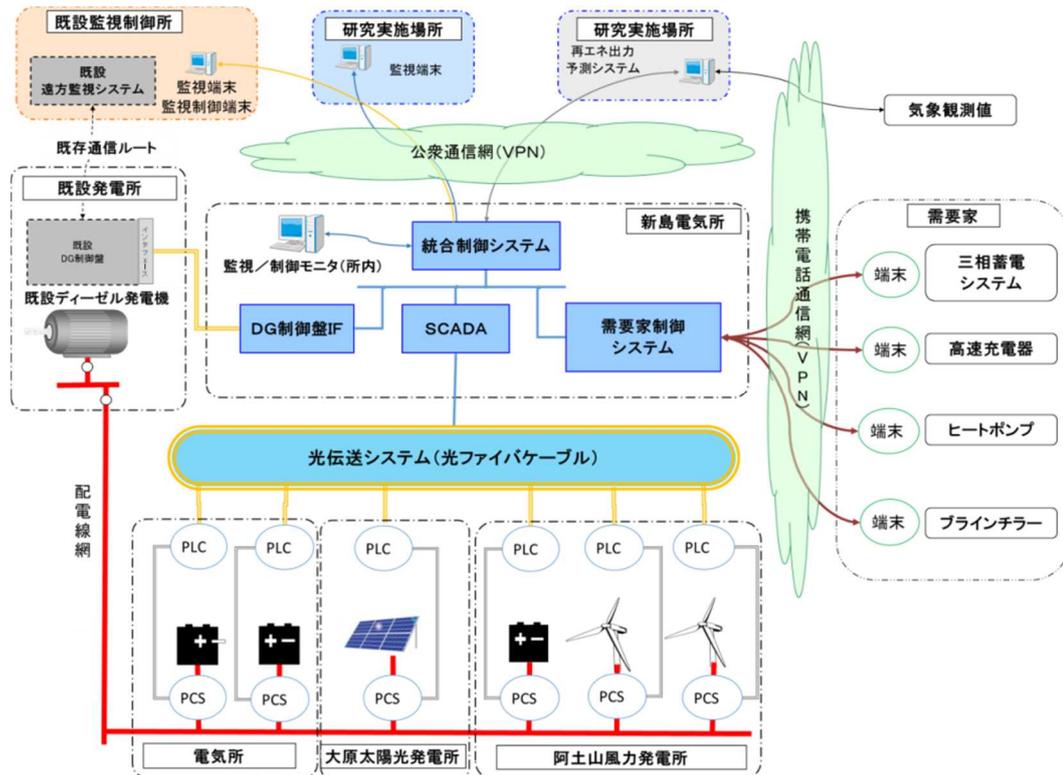


図19 統合制御システムの情報伝送回線構成

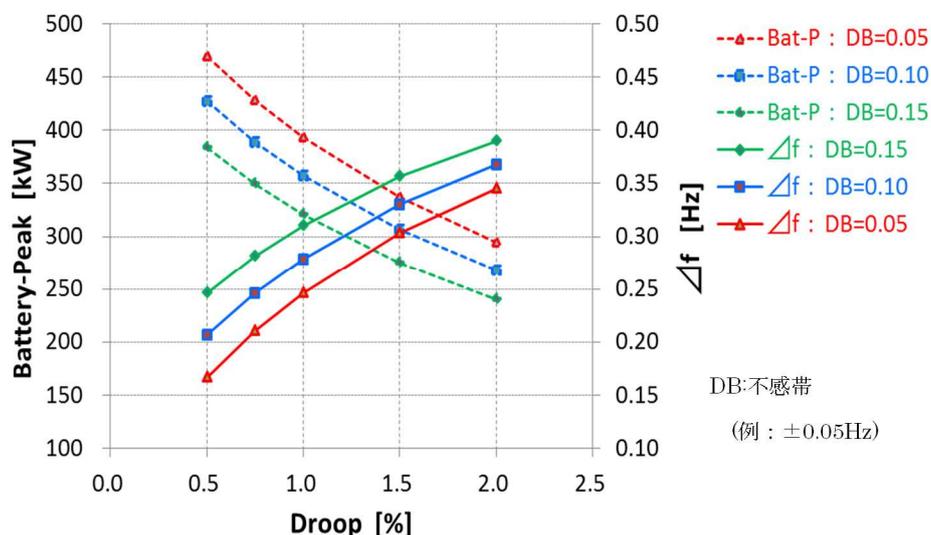


図20 Δf制御蓄電池容量の変化 (パラメータ: 不感帯、Droop)

予測を取り入れた需給運用計画・制御の高度化、発電機・蓄エネ設備等の調整力拡大に向けた運用制御高度化、再エネの抑制量最小化に向けた制御高度化の各技術を組み合わせ、分散型制御協調システムは、再エネ出力予測システム、DG 最適経済システム、蓄エネ機器制御システム、再エネ制御システム、需要家制御システム、そしてこれら全体の機能を包括的に制御する EMS で構築し、実証試験での試験データ収集および需給制御運用に十分要求条件を満たし、需給計画および監視制御手法について評価・実証することができた。

また、分散型制御協調システムの実証およびシミュレーションによる評価では、以下の成果を得た。

- ・再エネ出力予測の信頼度区間情報を活用し、高い供給信頼度で再エネを最大限活用する需給計画手法を提案するとともに、UC 計算周期での予測データ更新でより精度高く需給計画に反映できることを確認
- ・需給計画機能について、需給シミュレーションシステム WG の結果との相違点を分析し、双方の計画結果が適切であることを確認
- ・長期／短期各変動量予測について、出力予測の信頼区間幅が大きく変動量予測手法の確立までに至らなかったが、本実証試験では信頼区間の幅を調整力確保としての運転計画に反映
- ・蓄電池による周波数制御の種別について、 ΔF 制御および ΔP 制御の効果と LFC による再エネ出力変動に対する調整力の効果についてシミュレーションにより、その所要容量 (kW、kWh) の考え方および周波数条件設定方法を整理
- ・蓄電池による余剰対策について、再エネ高出力時の需給アンバランスを解消する蓄電池制御のロジックを開発し、対策効果を確認
- ・需要家側蓄エネルギー設備の活用について、DR 制御による計画制御・緊急制御で需給調整制御の効果を確認
- ・再生可能エネルギーの出力抑制の効果と発動条件、優先順位の検討では、需給制御における再エネ出力抑制に至る制御ロジックを作成し、実システムでの制御を行い、その効果を確認
- ・最適設備構成・運用のあり方について、再エネ出力変動の過酷条件から電力品質を維持するための調整力としての蓄エネ設備 kW 容量と周波数制御条件ならびに需要および再エネ出力の年間を通じた季節変化を含めて、再エネ活用率向上と既設発電設備燃料消費量削減 (CO₂削減) に蓄エネ設備 kWh 容量の考え方を示し、シミュレーションモデルおよび実証試験条件を整備することで、マイクログリッド等の他エリアでの検討方法を提案
- ・実証フィールドにて構築した再エネ設備、蓄エネ設備および EMS や RA システムによる協調運用制御から得られたデータを用いて、離島システムをはじめ小規模システム向けの RA 事業について、事業性評価を行った。

現在の制度等で実現可能な前提条件では、事業化のためには資産の縮小などの手当てが必要であることが分かった。一方で、需給調整市場や容量市場の制度設計進展に伴い、本実証設備が提供できる「焚き減らし効果」、「調整力」、「供給力」の価値化 (マネタイズ) が可能となっていくことで、将来的に本実証技術を用いた事業の可能性が広がりつつあると考えられる。

2-4-4-2 「実証試験の総合評価と最適経済制御のあり方に関する研究」

(実施者：東京電力ホールディングス、東京電力パワーグリッド)

再生可能エネルギーを最大限受け入れつつ、かつ電力の安定供給、対策コストのミニマム化、低炭素化を両立させるために、再エネ出力予測技術と制御・抑制、および既存電源や蓄エネ等の運用制御技術を総合的に組み合わせることが有効であることを実際の電力システムで実証した。なお、本実証で導入した再エネ設備量は、本土システムでの2030年の導入目標量(22~24%、変動電源再エネとしては9%)と同程度となる設備量を設置した環境下で実証試験を行った。運用制御技術に関しては、再エネ出力予測、需給運用、再エネ制御・抑制を組み合わせた最適制御について、各制御間の制御協調等も考慮し、基本的な考え方を検討した。

また、電力品質面からの評価に加え、実システムでの対応に必要な対策設備の導入費用、蓄電池の所要量・コスト、設備運用等を含めた経済性も考慮した総合評価を行った。

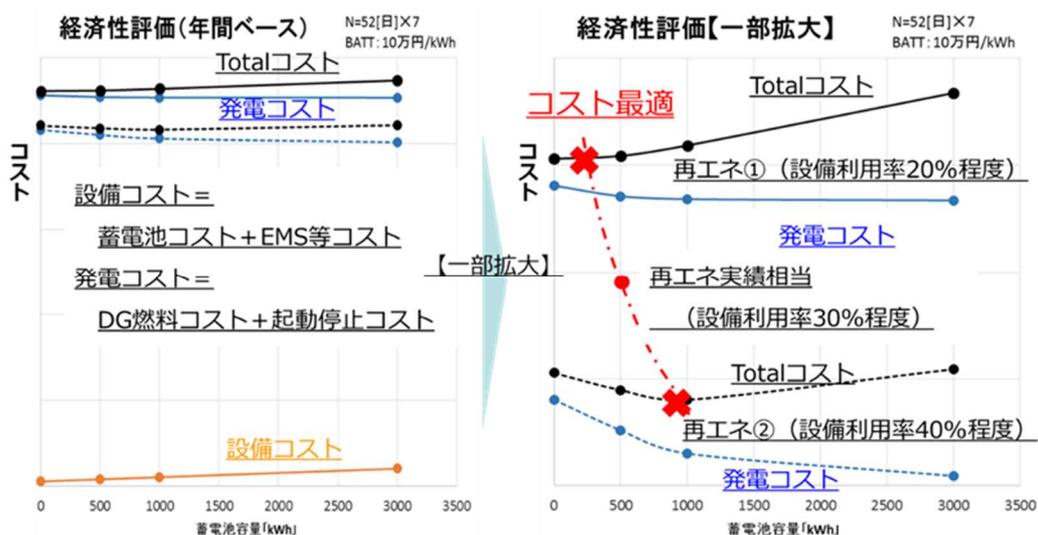


図 21 年間経済性シミュレーション
(蓄エネコスト : 10 万円/kWh)

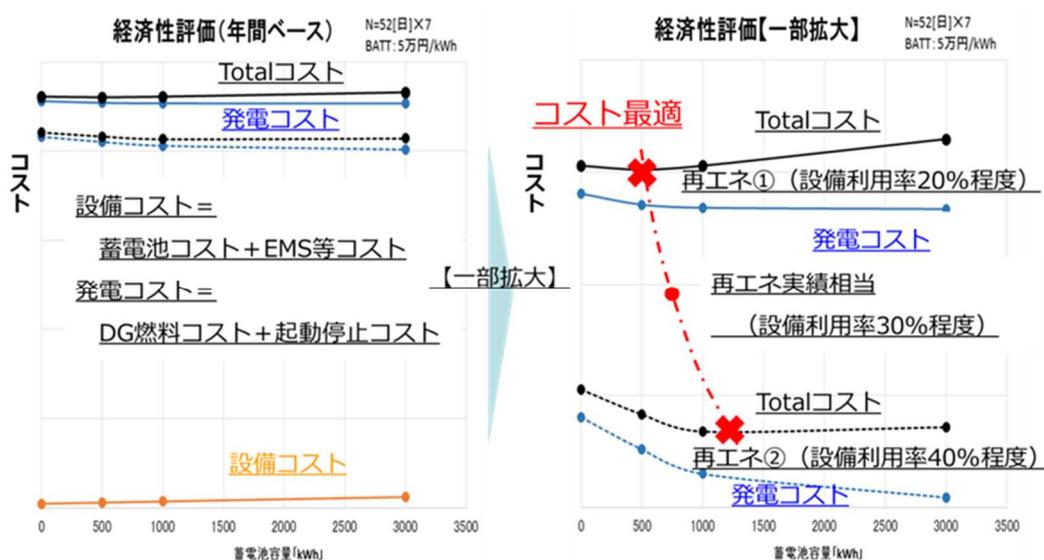


図 22 年間経済性シミュレーション
(蓄エネコスト 下 : 5 万円/kWh)

再エネ出力、需給運用、再エネ制御・抑制を組み合わせた最適制御について、制御協調等も考慮し、最適制御の基本的な考え方を検討した。

また、電力品質面からの評価に加え、設備の運用導入費用等も含めた経済性を考慮した総合評価を行った。

- ・実証試験の総合評価（最適制御の考え方）
- ・経済性を考慮した総合評価（コストシミュレーション）

再エネ変動の急峻な変動に伴う周波数変動を規定値以内に抑える観点と長期的な需給バランスを確保する観点から実証試験を評価するとともに、経済性シミュレーション評価を行った。

(i) 自端制御（短周期変動：本成果は、主に離島など小規模系統に適用）

短周期の面では予測の活用というよりは、再エネ特性を踏まえ最過酷断面での検討が必要であった。特に、離島など小規模系統ではシミュレーション（周波数解析）精度を高めることが対策設備量の算定に重要である。

必要な調整力のリソースは発電機ガバナ・蓄電池など、応答の早いもの（自律制御）が不可欠であり（将来的には再エネの自律制御も含む）、蓄電池の制御応答は重要な要素で、発電機の応答速度と協調可能な応答速度（制御遅れ・制御周期）を備えた上で、ドループなど制御パラメータの調整による発電機と蓄電池の協調が必要である。また、発電機のガバナ機能の向上も調整力の1つとなり得る。

(ii) 遠方制御（長周期変動）

需給計画、再エネ予測は重要な要素であるが、予測誤差を考慮すると供給力を確実に確保するために予測の信頼幅は有用であった。

需給制御の断面では、調整力のリソースとして、発電機（上下限制約）、蓄電池、再エネ制御、需要設備など様々なリソースが将来含めても考えられるが、本実証では、セキュリティや通信回線による遅延等あったものの、安定供給に活用できた。

(iii) 経済性シミュレーション（年間ベース）

将来蓄電池コストが下がっても、端境期などの厳しい断面での需給バランス不一致を回避するには大容量の蓄電池が必要となる。そこで再エネ大量導入下における経済性評価として、大きく①蓄エネ等の対策設備費用の面と②再エネ導入による既存発電設備の燃料費削減等の運用コストの面から評価の考え方を提案した。年間を通じてシミュレーションした結果、厳しい断面などある程度再エネを制御することで対策コストとして最経済となる結果が得られた。また前日など事前に抑制量を算定する場合、予測誤差があると過渡的な抑制となる場合もあり得るが、オンラインでの抑制・解除を可能とすることで、抑制量が削減可能となった。なお、部分抑制が可能であれば直ぐに復帰可能となるため、オンライン制御は稼働率の向上に繋がる。需要設備制御についても、確実な動作とコスト優位性により、蓄電池と同じ調整力となり得る。

対策設備最小化に対して、再エネ期待発電量（地域特性、再エネ種別・内訳）、蓄電池コストは大きな要因となるため、設備設計にあたっては、将来動向を踏まえることも大事な要素となる。

2-4-4-3 「再エネ出力予測、需給運用、再エネ制御・抑制の最適化システムにおけるセキュリティ機能に関する研究」（実施者：東光高岳、NRI セキュアテクノロジーズ）

これまで電力系統は、外部ネットワークから物理的に隔離された環境にあることから、サイバー攻撃からは守られていると考えられてきた。しかし、米国の発電所では、Slammer というマルウェアが侵入・感染し、制御システムが約 5 時間にわたって停止するという重大なサイバーセキュリティ事件が発生している。2015 年末や 2016 年末にはウクライナの電力設備が攻撃され、長時間にわたる停電が発生した。類似の事件は世界各国で発生しており、電力系統におけるセキュリティ対策が急務となっている。本研究では、実証フィールドの環境において有効なセキュリティ防御策を講じることを目的として、以下の研究を実施した。

- ・セキュリティリスク分析
- ・セキュリティ対策
- ・セキュリティ対策の効果
- ・更なるセキュリティ強化策の検討

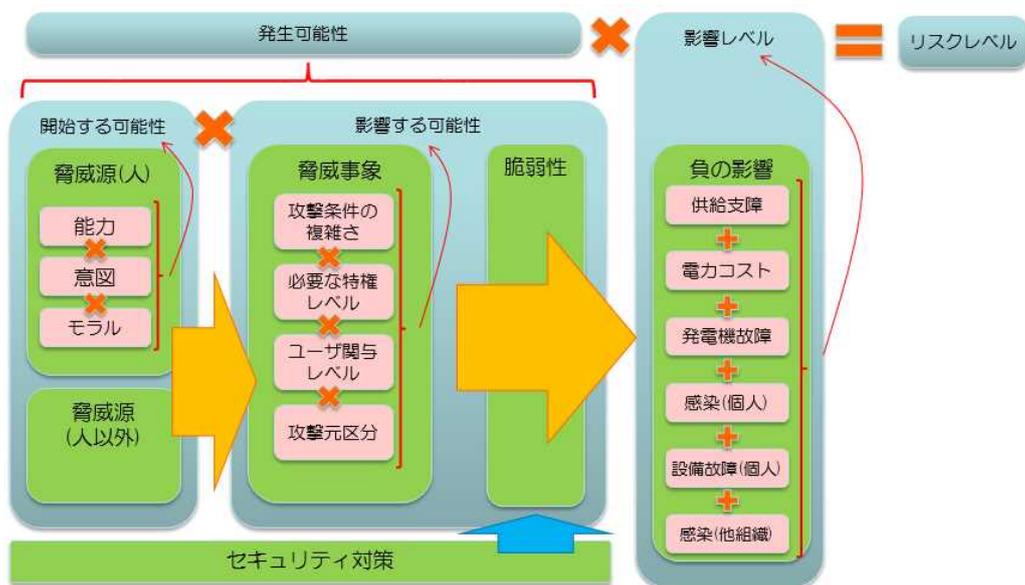


図 23 リスクレベル計算モデル

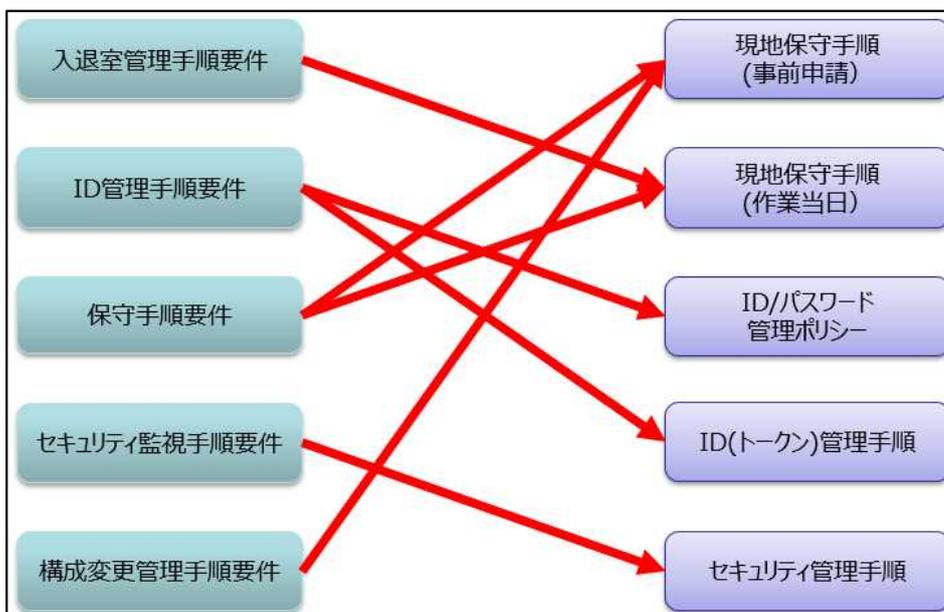


図 24 運用的対策要件と運用手順の対応

既存のセキュリティ規格を参考に対策を考えることで、一般的に想定されるセキュリティリスクについてはおおそ対処できるが、詳細リスク分析を行った上で、新たな攻撃や脆弱性を定期的に反映させ、見直すことで最小限のコストで効果的なリスク管理が実現できる。リスク分析については、対象によって考えるべき影響や評価のポイントを変える必要があり、電力制御システムで多様な事業者システムが電力系統に接続される状況に伴う新しい脅威の増加や電力系統固有の影響を考慮したリスク分析を実施することで効果的なリスク管理ができることがわかった。

セキュリティ対策では、本実証システムでは構築段階からセキュリティ対策を入れることができた。しかしながら、既に稼働中のシステムの場合、既存の運用への影響を考えると、実施可能な対策は限られる。最も重要な部分としては、外部と内部の境界となる部分で、OA 環境含む外部システムとの接続部分を明確にし、可能な範囲での分離や接続の制限を行い、保守で使う PC は接続する前に安全を確認しておく等は最低限必要である。

実証システムにおけるセキュリティ対策の効果としては、外部との境界部分が突破された場合、内部侵入後の攻撃には弱い面が見られたが、いずれのパターンについても攻撃自体は検知され攻撃の発生可能性は低いものであった。

更なるセキュリティ強化として、電力制御システムにおける通信データの特徴に基づく新しいセキュリティ監視の方法を設計段階で考慮していくことが望ましい。

2.5 研究開発項目(Ⅲ) 再生可能エネルギー連系拡大対策高度化 ：出力制御技術（風力）WG

2-5-1 研究開発項目(Ⅲ・風力)－①「自然変動電源の出力制御に向けた出力予測・把握技術の高度化」

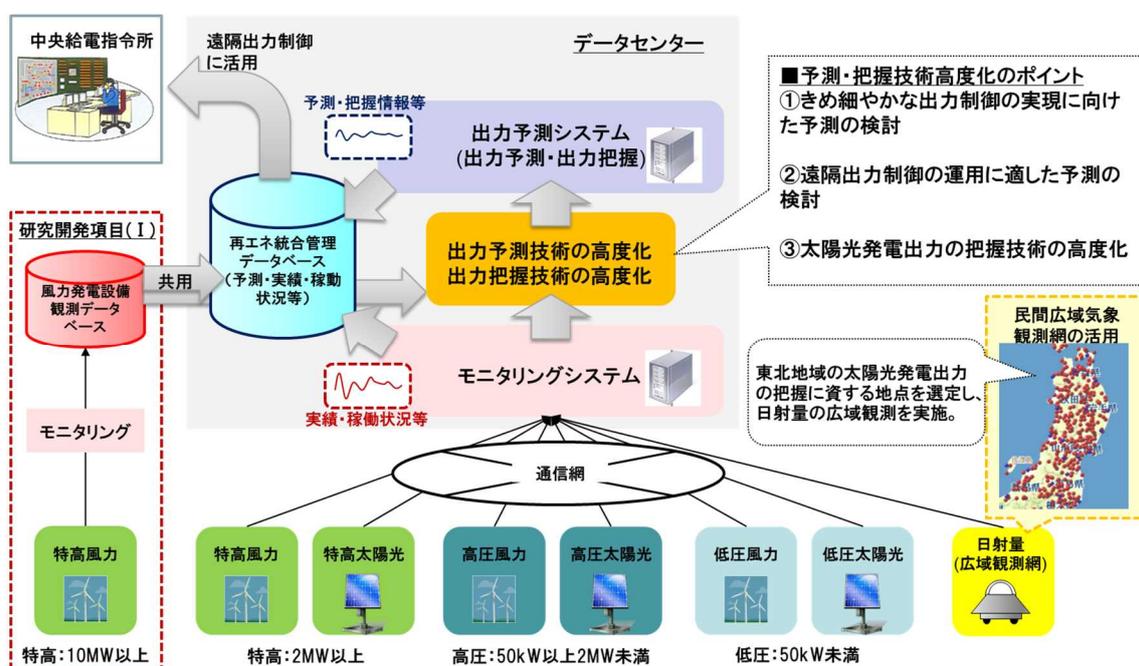
風力発電設備や太陽光発電設備に対する出力制御を、時間単位やサイト単位・系統単位など、きめ細やかに実施可能なものとするためには、天候によって出力が変動する自然変動電源の出力予測・把握技術を高度化させる必要がある。

再生可能エネルギーの導入拡大が進んでいるスペインでは、定格出力 10MW 以上の大規模ウィンドファームを対象に、リアルタイムかつ広域のウィンドファーム観測網を整備し、風力発電出力予測・制御に活用している。これにより、風力発電の導入比率が高まった現在でも系統の安定化を実現することに成功している。

上記スペインの事例に鑑みても、本事業において、電力系統エリアを対象とした広域での自然変動電源の観測及び広域気象観測を活用した出力予測・把握技術の高度化について研究開発を行うことは有用であり、きめ細やかな出力制御を可能とするために必要不可欠であると考える。

そのため、わが国で風力発電設備の導入が進んでいる東北地域における自然変動電源観測網及び広域気象観測網を整備し、観測した情報を活用した出力制御のための出力予測・把握技術の高度化に関する研究開発を実施した（概要を図Ⅲ.2-1-1に示す）。

研究開発項目①－(1)では風力発電出力予測高度化に向け、風力発電設備からのデータ収集とモニタリング環境の整備、加えて太陽光発電設備からのデータ収集と広域日射観測網の整備を目指した。研究開発①－(2)では研究開発①－(1)で収集・蓄積されたデータを活用し、全系単位だけでなく、サイト単位・系統単位といったきめ細やかな出力制御の実現に資する風力発電出力の予測技術の高度化を行い、遠隔出力制御運用（予告、指令、調整等）に適した予測の検討を行った。



図Ⅲ.2-1-1. 自然変動電源の出力制御に向けた出力予測・把握技術の高度化の概要

2-5-1-1 「①-(1)出力予測高度化に向けたモニタリングシステム構築」

(実施者：伊藤忠テクノソリューションズ)

出力予測高度化に資するため、風力発電設備および太陽光発電設備とのデータ観測網の構築と実証期間中の継続運用を実現した。

- 発電設備からの計測データと先行事業のデータ、広域日射観測データ等を蓄積・管理する仕組みも含めたモニタリングシステムの構築と実証期間中の継続運用を実現した（約 30 ヶ月）。
- 構築したモニタリングシステムは研究項目①-(2)で構築した予測システムと連携し、計測データのみならず、出力予測・把握の情報を共同実施者に提供する基盤として利活用することができた。

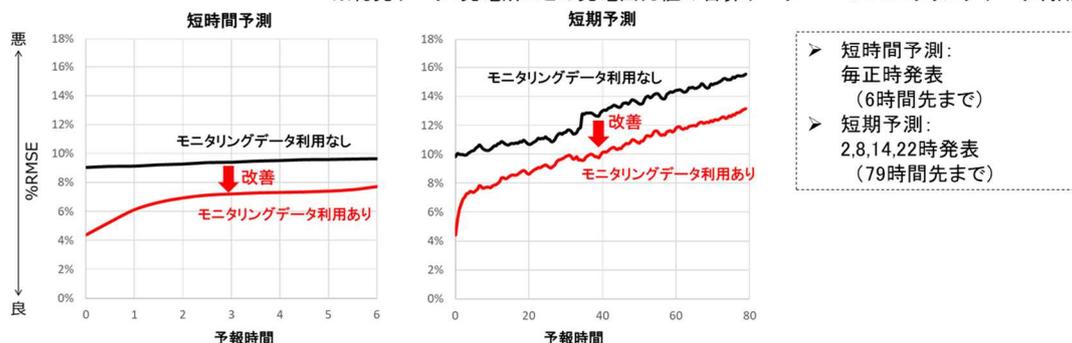
2-5-1-2 「①-(2)出力制御に向けた予測技術の高度化・予測システム構築」

(実施者：伊藤忠テクノソリューションズ)

- モニタリングデータの利用による予測モデルの高度化を実施し、風力・太陽光発電出力予測のいずれの予測モデルについても予測精度の改善が確認できた。
- 各発電所に対する予測の積上げによる全体予測（評価は全モニタリング実施地点を対象に実施）において、予測対象増加に伴って均し効果が得られることを確認した。
- モニタリング実施地点数の増加に伴う予測精度改善について検証を実施し、容量ベースで約 8 割以上のモニタリング実施が予測精度改善に効果があることが分かった。
- 予測更新に関する、出力制御計画の当日見直しへの貢献可能性について検証を実施した。その結果、当日予測を利用した方が、前日 14 時発表の短期予測よりも、実績をうまく追従できることが分かった。

	風力	太陽光
プロトタイプモデル	GPVを用いた予測	GPVを用いた予測
改良モデル	+SCADAデータ活用* +経験的パワーカーブ適用* +総発データ※活用* +データ品質の反映* +パラメータチューニング	+広域日射観測データ活用* +総発データ※活用* +データ品質の反映* +パラメータチューニング

※総発データ：発電所ごとの発電出力値の合算データ *：モニタリングデータ利用



図Ⅲ. 2-1-2. モニタリングデータを活用することでの予測モデル改良

■風力予測

更新に用いる予測	当日予測更新を行わない場合			
	00:00~06:00	06:00~12:00	12:00~18:00	18:00~24:00
前日14時発表の短期予測	7.9%	9.6%	10.6%	12.0%
前日20時発表の短期予測	6.0%	9.7%	10.3%	11.6%
当日02時発表の短期予測		8.4%	9.4%	10.1%
当日08時発表の短期予測	Δ1.1%		7.4%	7.8%
当日14時発表の短期予測		Δ1.2%		6.5%
当日00時発表の短時間予測	4.9%		Δ1.9%	
当日06時発表の短時間予測		7.2%		Δ0.4%
当日12時発表の短時間予測			5.5%	
当日18時発表の短時間予測				6.1%

■太陽光予測

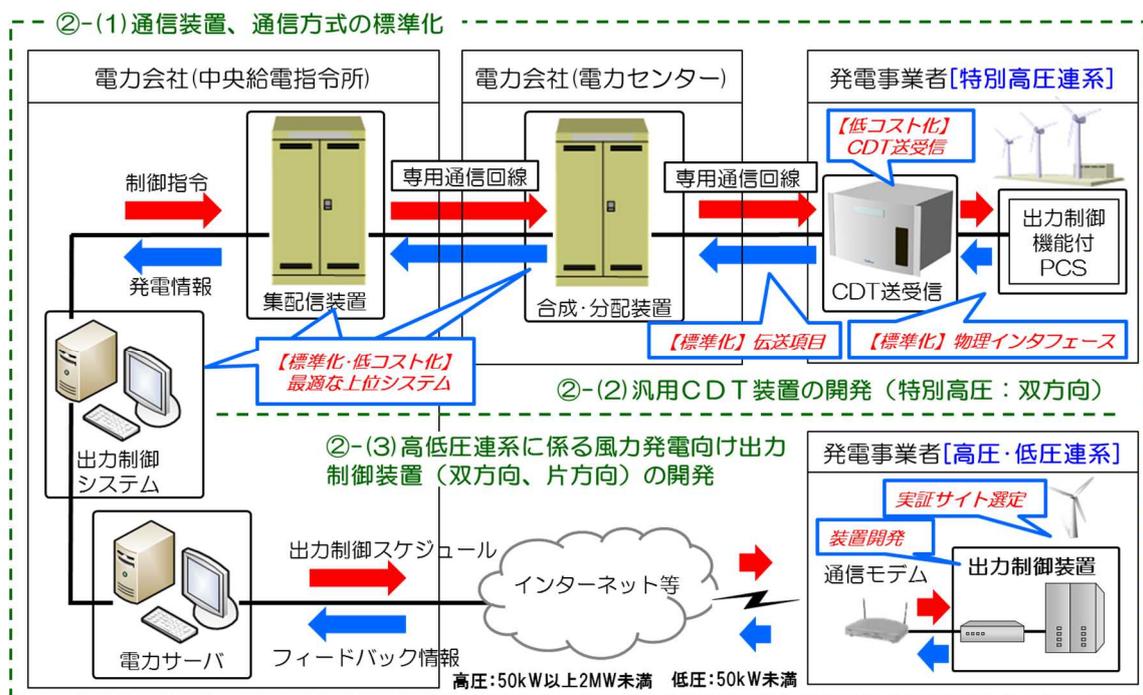
	当日予測更新を行わない場合			
	00:00~06:00	06:00~12:00	12:00~18:00	18:00~24:00
		11.5%	9.3%	
		10.9%	9.3%	
		9.8%	8.5%	
		8.3%		
	Δ1.2%			
		8.6%	Δ0.6%	
			7.7%	

※表中の数値(%)は予測値の上ぶれの割合。「予測値-実績値」が総定格出力の10%以上となるコマの割合。

図Ⅲ. 2-1-3. 予測更新の高頻度化による予測精度改善結果

2-5-2 研究開発項目(Ⅲ・風力)②「自然変動電源の出力制御装置の標準化、低コスト化」

平成 27 年 1 月に改正省令が施行され、新たに系統連系する自然変動電源については、遠隔出力制御システムの導入が義務付けられた。風力発電については、出力制御対象は当面 20kW 以上の発電設備とすることとなったが、遠隔出力制御システムについては、本事業開始時点では標準化されていなかった。また、指定電気事業者制度が適用された場合には、20kW 未満の発電設備も年間 720 時間を越えた無補償の出力制御を受ける可能性がある。このため、研究開発項目②- (1) では風力発電所と一般送配電事業者の中央給電指令所との間で通信する通信方式・情報項目の標準化について検討した。研究開発項目②- (2) では特別高圧連系発電所に使用する低コストで双方向通信可能な CDT 装置の開発、研究開発項目②- (3) では高・低圧連系発電所に使用する PCS を含めた低コストの風力発電向け出力制御装置の検討、開発を行い、実フィールドで検証を実施した。概要を図Ⅲ. 2-2-1 に示す。

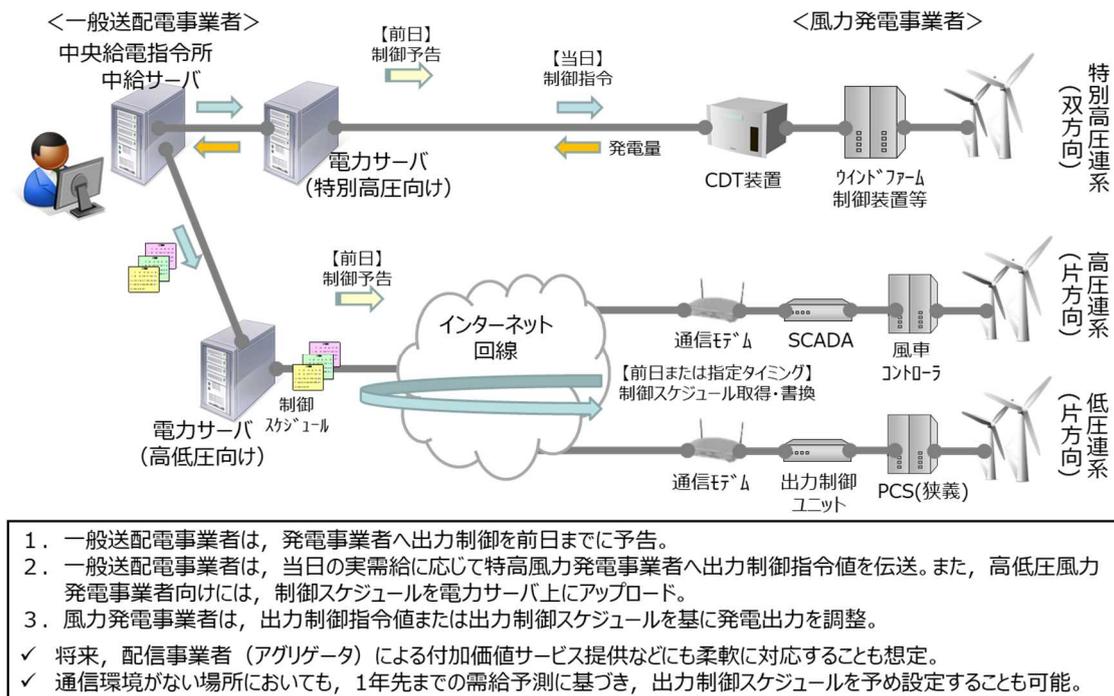


図Ⅲ. 2-2-1. 自然変動電源の出力制御装置の標準化、低コスト化の概要

2-5-2-1 「②- (1) 通信装置、通信方式の標準化」 (実施者：東北電力)

(一社) 日本風力発電協会、(一社) 日本小形風力発電協会、電気事業連合会などの関係者間の協議により、風力発電設備の出力制御に関する技術仕様を策定した(図Ⅲ.2-2-2)。

- 策定した風力発電設備の出力制御に関する技術仕様について、新エネルギー小委員会第17回系統WG(平成30年10月10日)において、(一社) 日本風力発電協会が、(一社) 日本小形風力発電協会と電気事業連合会との連名で報告した。
- (一社) 日本風力発電協会 HP にて、「風力発電遠隔出力制御に係る技術仕様について」を公開した。
- 策定した技術仕様をもとに、東北電力 HP にて、「太陽光・風力発電所出力制御機能技術仕様書」(特別高圧、高低圧)を公開した。



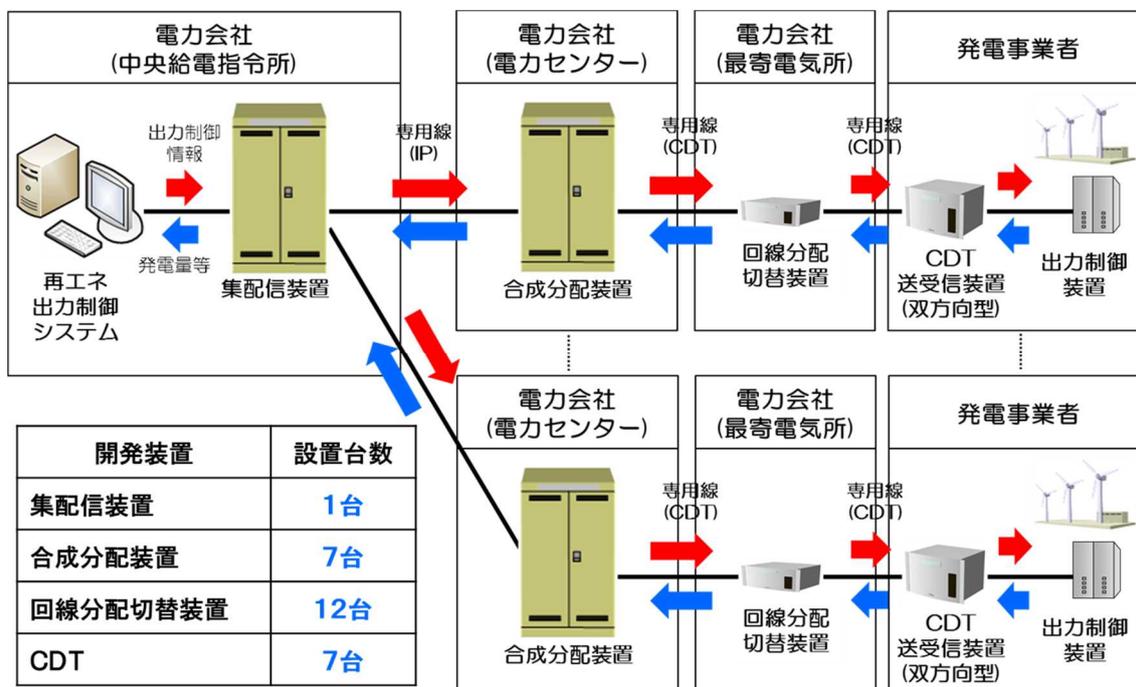
図Ⅲ.2-2-2. 技術仕様標準化により想定されるシステム構成

2-5-2-2 「②- (2) 汎用 CDT 装置の開発(特別高圧：双方向)」 (実施者：通研電気工業)

低コストで双方向通信可能な CDT 装置を開発するとともに、最適な全体システムを構築した(図Ⅲ.2-2-3)。

- 各一般送配電事業者の伝送項目を調査し、風力発電用に最適な項目を取りまとめ、各社で個別仕様であった伝送項目数、伝送フォーマットを標準化した。また、風力発電用に最適な伝送項目とすることで部品数、基板数、配線数を削減し、従来品より低コストで双方向通信可能な CDT 装置を開発した。
- 上位装置の冗長化にあたり複数の装置構成を比較検討し、信頼性とコスト面により総合的に判断し、最適な構成を決定した。評価試験では、信頼性の評価を重点的に実施し、高負荷時や装置の一部故障時においても情報の伝達が途絶えることがないことを十分検証し、フィールド実証試験も滞りなく終了することができた。

- 発電事業者と一般送配電事業者間の回線品質が悪い箇所のノイズ対策については、現場の回線品質に合わせて異常検出の条件をタイマーにより変更可能とし、異常が一定時間継続したときに異常検出するようにした。これにより、回線品質が悪い箇所でも出力制御が問題なく実施できることを確認した。

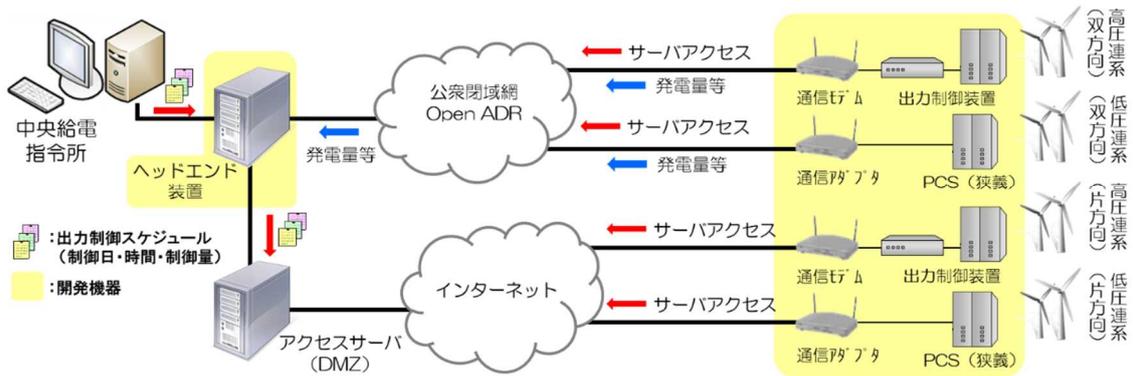


図Ⅲ. 2-2-3. 特別高圧連系発電所向け開発装置の構成

2-5-2-3 「②- (3) 高低圧連系に係る風力発電向け出力制御装置（双方向、片方向）の開発」（実施者：東北電力）

高・低圧連系に係る風力発電向け出力制御装置を開発し、双方向通信方式、および、片方向通信方式での出力制御を実現した（図Ⅲ. 2-2-4）。

- 中央給電指令所からの指令に応じて各風力発電所へ出力制御スケジュールを配信するヘッドエンド装置を開発し、遠隔出力制御に対応した。
- 高圧連系風力発電については、既設の制御装置（SCADA）を改造することにより遠隔出力制御に対応した。
- 低圧連系風力発電については、通信アダプタを開発し、PCS（狭義）の改造と組み合わせることにより遠隔出力制御に対応した。
- 高・低圧連系の出力制御装置が、②- (1) で策定した技術仕様に適合していることを確認した。



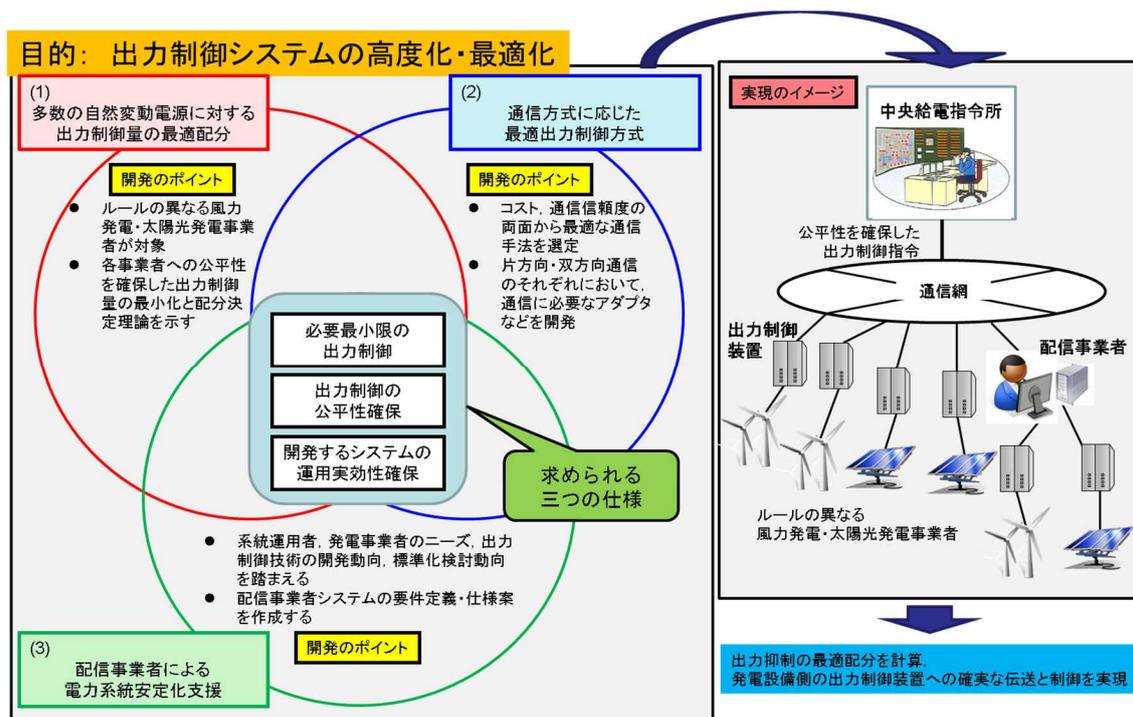
図Ⅲ. 2-2-4. 高・低圧連系発電所向け出力制御装置の構成

2-5-3. 研究開発項目(Ⅲ・風力)ー③「自然変動電源の出力制御方式の高度化および最適化」

本研究開発項目における課題として下記3つがあり、その解決に向け研究を行った。

- 研究開発項目③ー(1)では出力制御システムに求められる3つの条件「合理性」、「公平性」、「実行性」について検討し、実現に向け研究を行った。さらに、風力発電の出力制御量の最適配分のみならず、太陽光発電を含めた出力制御の最適配分に適用可能な手法の研究を行った。
- 高・低圧連系の発電事業者については、特高連系に比べ件数が多く、低圧においては電気主任技術者がいないことから、全ての発電事業者において出力制御がスケジュールおよび制御指令どおりに実施されない可能性があるため、研究開発項目③ー(2)では適切な出力制御方式について検討した。
- 高・低圧系統に膨大に連系された風力・太陽光発電設備に対して、系統運用者が個別に出力制御を行うことは、情報伝送の通信量・速度・セキュリティ面等から課題が多い。このため、研究開発項目③ー(3)では配信事業者を活用した制御方法を検討した。

概要を図Ⅲ. 2-3-1 に示す。



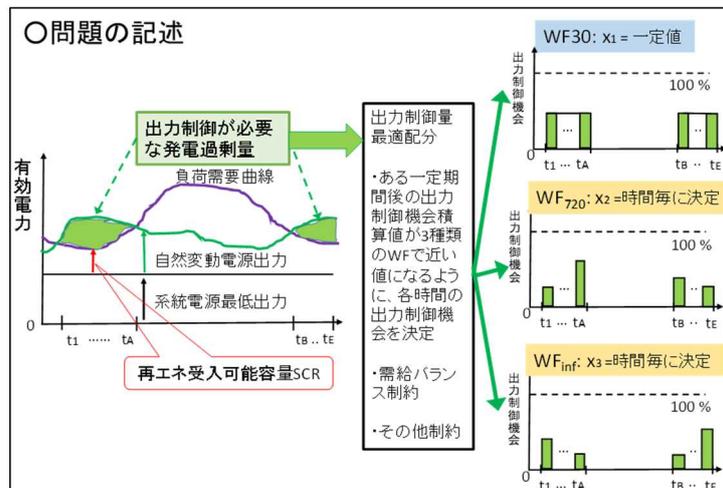
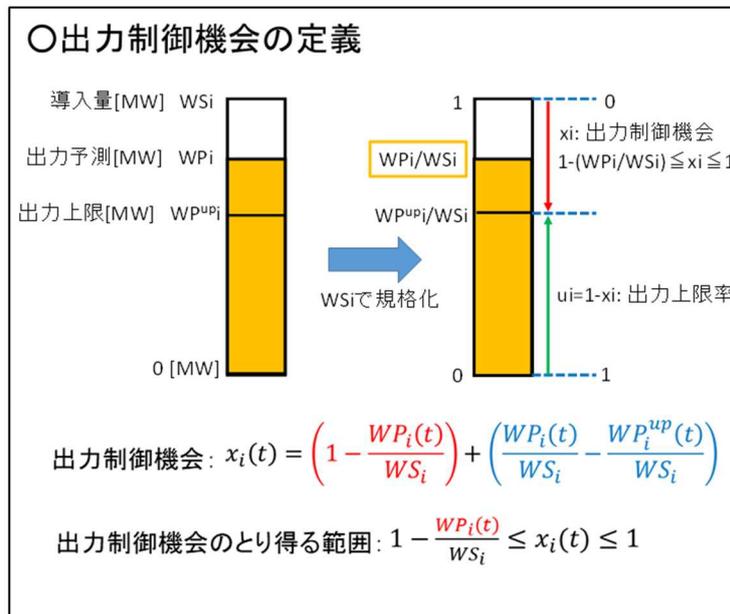
図Ⅲ. 2-3-1. 自然変動電源の出力制御方式の高度化および最適化の概要

2-5-3-1 「③-(1)多数の自然変動電源に対する出力制御量の最適配分に関する研究」

(実施者：東北大学)

遠隔出力制御を実現するにあたっては、出力制御は「必要最小限」なものとする、発電事業者間の「公平性」を確保する、出力制御システムの「運用実行性」を確保することが基本的な要求事項とされており、これらを満たすように風力発電所に出力制御量を最適配分する手法を開発し(図Ⅲ.2-3-2)、数値計算例による検証をもとに最適化問題としての解の性質を明らかにした。

- 出力制御について無補償期間の異なる3種類の自然変動電源に出力制御量を公平に配分する問題を、出力制御機会という新しい指標を導入することによりMinimax問題として定式化できることを明確にした。
- 定式化した問題を線形計画問題に置換できることを明らかにし、線形計画法の標準的解法に基づいた出力制御量最適配分法を開発した。
- 線形計画問題として定式化したことにより、出力制御量を公平に配分できる条件を、出力制御機会という指標の性質に基づいて理論的解析により明らかにした。



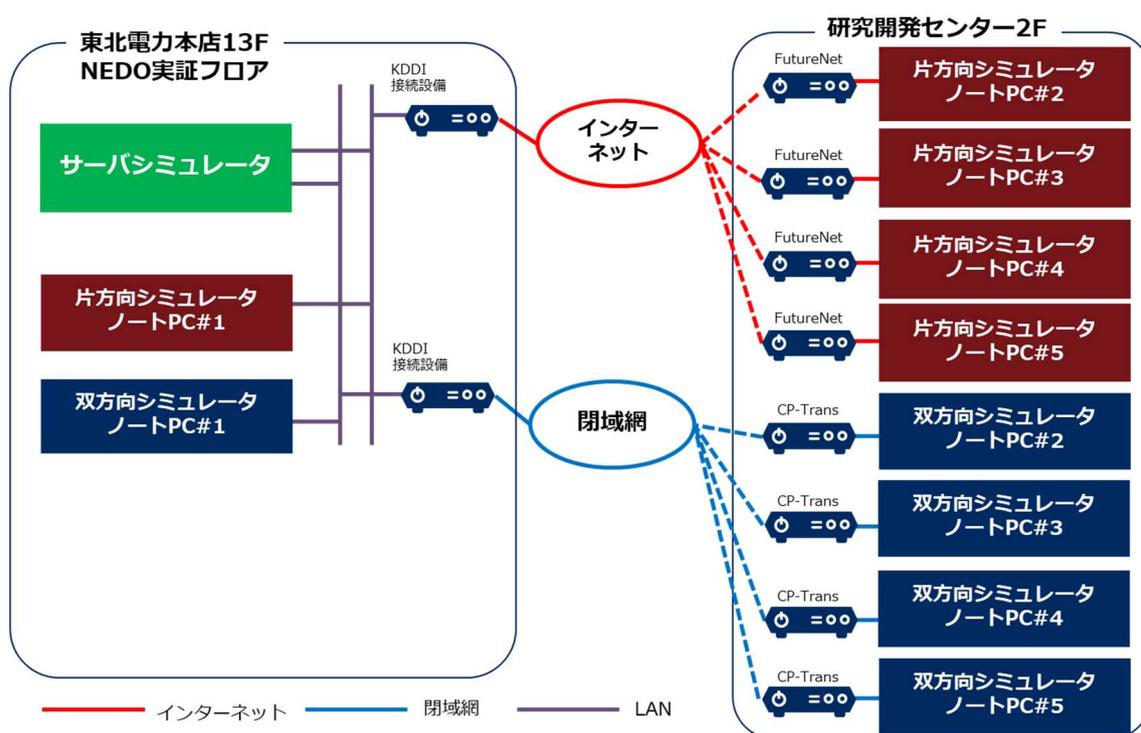
図Ⅲ.2-3-2. 出力制御量最適配分手法の概要

2-5-3-2 「③- (2) 通信方式に応じた最適出力制御に関する研究」 (実施者：東北電力)

高・低圧連系発電所向けの双方向、片方向の各通信方式について、コスト、通信信頼度の両面からの評価が必要となるため、シミュレータ装置を開発した (図Ⅲ. 2-3-3)。

開発したシミュレータ装置を用いて試験を行い、片方向通信の健全性を確認した。また、双方向通信方式における通信負荷についての課題を明らかにした。

- 実証試験対象となる発電設備数が4箇所と限定されていることから、多数台制御時における評価を行うため、シミュレータ装置を開発した。
- 各通信方式における通信系統構成が適切かを把握するため、実通信環境下でシミュレーション試験を行い、混雑状況を評価した。



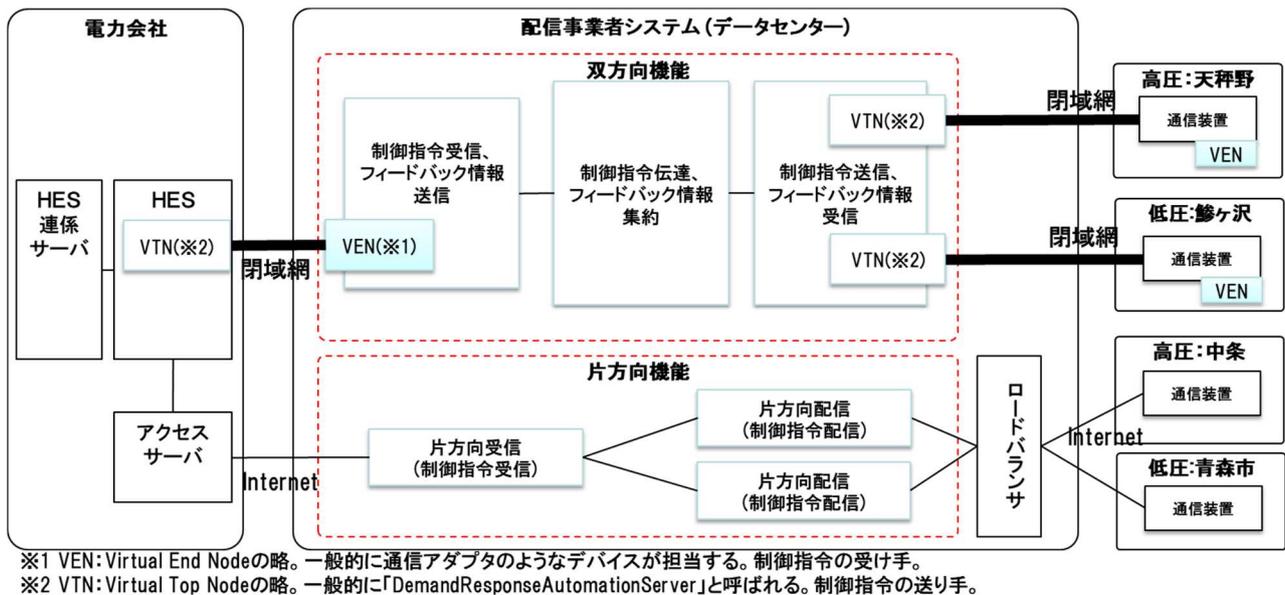
図Ⅲ. 2-3-3. 高・低圧連系発電所を模擬したシミュレータ構成

2-5-3-3 「③- (3) 配信事業者による電力系統安定化支援に関する研究」

(実施者：伊藤忠テクノソリューションズ)

本研究において構築した配信事業者システムを介して、高・低圧連系発電所に対する遠隔出力制御を直接制御と同等に実現できた (図Ⅲ. 2-3-4)。

- 配信事業者システムは片方向、双方向の両通信方式を実装した。
- フィールド実証を通じて、配信事業者システムを介した制御が直接制御と同等に遠隔出力制御を可能なことを確認した。
- 配信事業者を介した出力制御と直接の出力制御との比較、検討を行った。
- 配信事業者システムを採用、構築、運用する際の留意点の整理を行った。

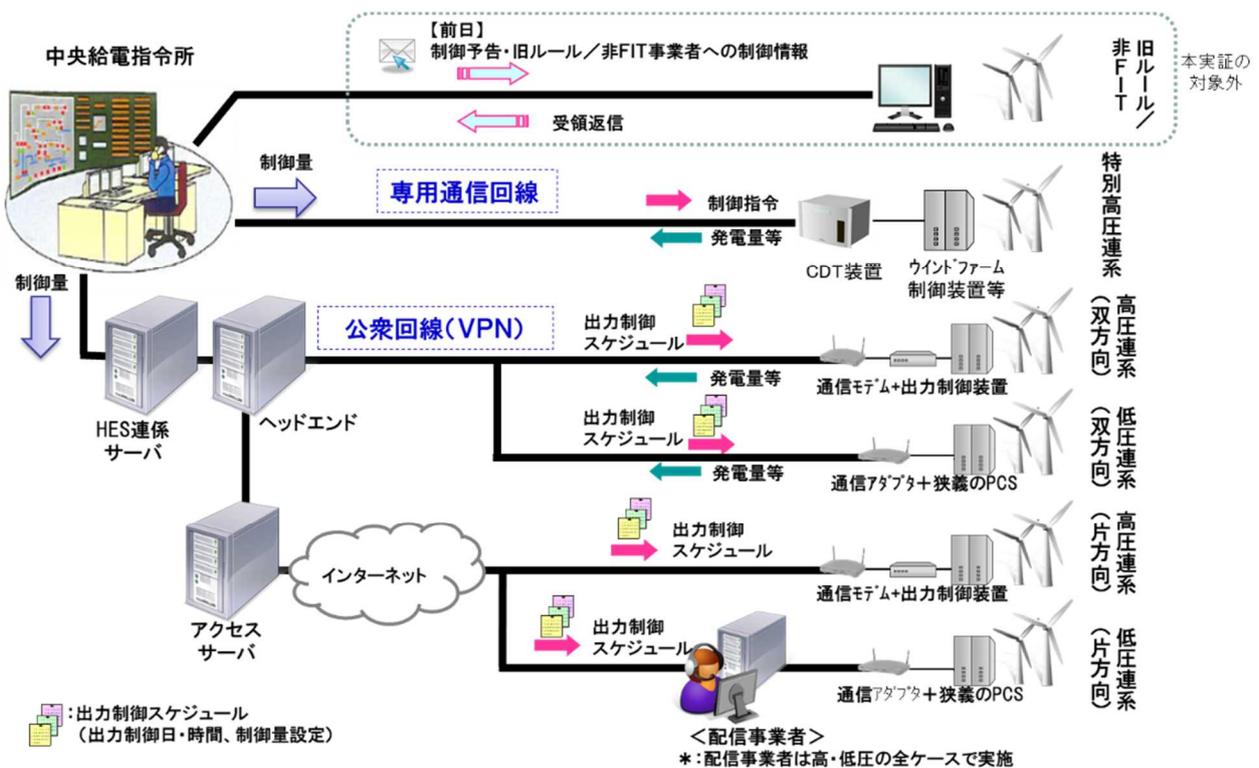


図Ⅲ. 2-3-4. 配電事業者システムの構成

2-5-4. 研究開発項目(Ⅲ・風力)－④「遠隔出力制御システムの開発及び実証試験」

研究開発項目①～③で開発した技術を活用し、実際の電力系統において風力発電設備の遠隔出力制御を具現化するために、開発機器を組み合わせることで遠隔出力制御システムを構築し、フィールド試験により出力制御の実行性を検証した。

概要を図Ⅲ. 2-4-1 に示す。



図Ⅲ. 2-4-1. 遠隔出力制御システムの開発及び実証試験の概要

2-5-4-1 「④- (1) 遠隔出力制御システム全体最適化に関する研究」 (実施者：東北電力)

中央給電指令所から制御する一括集中制御方式として、遠隔出力制御システムの全体構成の最適化を図った (図Ⅲ. 2-4-2)。

- 全体構成について、既設設備との信号の取り合い、通信回線構成、コスト等を総合的に検討したうえで、実証試験後の実運用も考慮し、系統全体の需給調整を担っている中央給電指令所から制御することが合理的と判断した。

2-5-4-2 「④- (2) 系統運用機関の遠隔出力制御システムの開発」 (実施者：東北電力)

各発電所への出力制御情報の配信、実績管理等を行う再エネ出力制御システムを開発し、中央給電指令所に設置した (図Ⅲ. 2-4-2)。

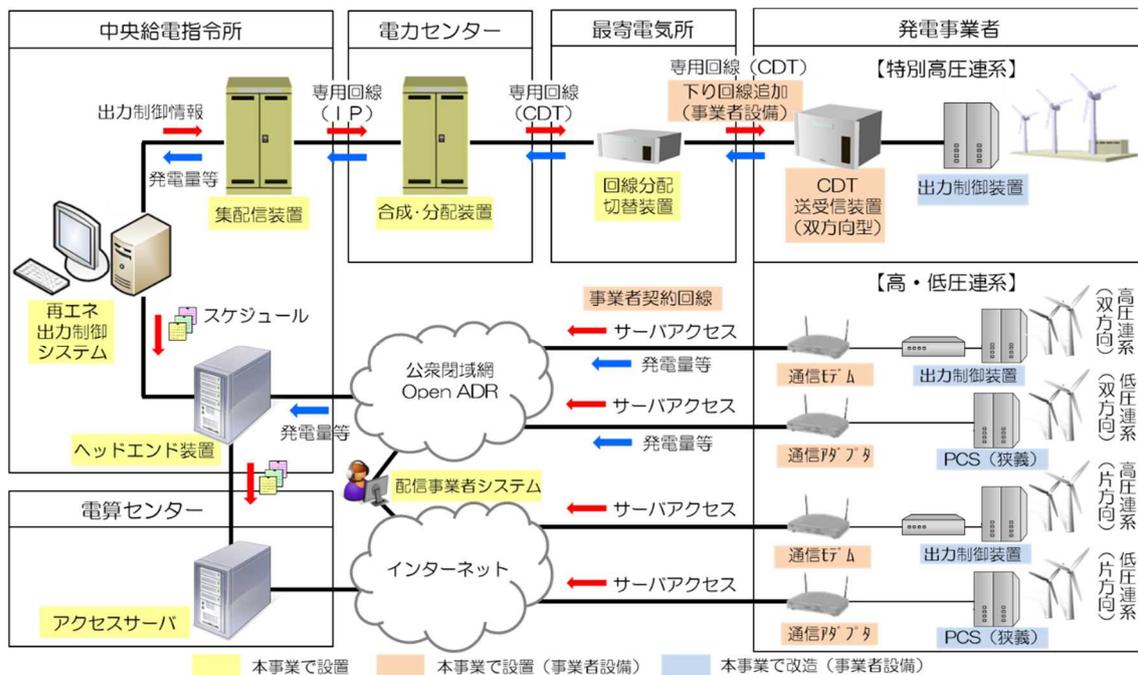
- 特別高圧連系発電所向けの出力制御情報を配信する集配信装置、高・低圧連系発電所向けの出力制御情報を配信するヘッドエンド装置との連携機能を備えたシステムを開発した。
- 実証試験後の実運用も考慮し、中央給電指令所の指令室内に設置した。

2-5-4-3 「④- (3) 遠隔出力制御システムの構築 [通信回線構成・発電事業者側の装置取付]」

(実施者：伊藤忠テクノソリューションズ、東北電力)

中央給電指令所から実証試験対象発電所までの通信回線構成と、発電所側の装置取付・改造を実施し、遠隔出力制御システムを構築した (図Ⅲ. 2-4-2)。

- 特別高圧連系発電所 12 箇所、高圧連系発電所 2 箇所、低圧連系発電所 2 箇所の風力発電所に対する遠隔出力制御システムを構築した。
- 高・低圧連系発電所向けの出力制御情報を仲介する配信事業者システムを構築した。

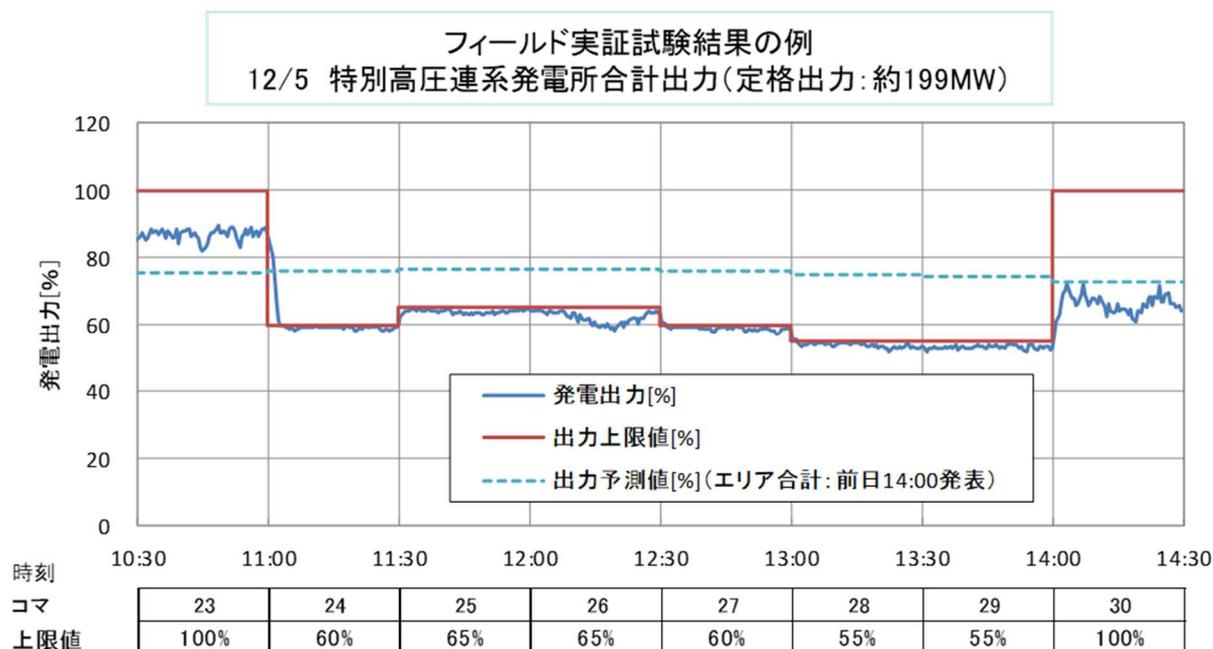


図Ⅲ. 2-4-2. 遠隔出力制御システムの全体構成

2-5-4-4 「④-(4)フィールド実証試験」(実施者:東北電力)

特別高圧、高圧、低圧連系の実証試験対象発電所について、本事業で構築した遠隔出力制御システムを活用し、中央給電指令所から配信した出力上限値以下に発電出力を制御できることを確認した(図Ⅲ.2-4-3)。

- 実証試験対象の各発電所について、個別に制御機能確認試験を実施し、出力制御機能に問題がないことを確認した。
- 春・夏・秋・冬の4断面において、複数発電所を対象とした出力制御実証試験を実施し、出力上限値に応じて問題なく出力制御可能なことを確認した。
- 秋断面の試験において、高・低圧連系発電所向けの配信事業者システムを介した出力制御についても問題ないことを確認した。



図Ⅲ.2-4-3. フィールド実証試験結果の例

2.6 研究開発項目(Ⅲ) 再生可能エネルギー連系拡大対策高度化 ：出力制御技術（太陽光）WG

2-6-1 研究開発項目(Ⅲ) -1 「太陽光発電の出力制御手法の確立」

2-6-1-1 「遠隔出力制御システム高度化に関する研究開発」

（実施者：東京電力HD、東京電力PG、関西電力、北陸電力、九州電力、早稲田大学）

2-6-1-1-1 「専用回線による双方向出力制御方式およびインターネットによる出力制御

スケジュール（単方向通信）方式による出力制御システム〔ステップ1〕の高度化」

（実施者：九州電力）

2-6-1-1-1-1 「発電所の停止計画を考慮した出力制御量の算定」

現状、出力制御量は、全ての接続済みの再生可能エネルギー発電所の設備量を基に、気象予測等を考慮した上で発生する余剰電力から算定している。

しかし、実際の運用においては、定期点検等により稼働停止予定の発電所が存在することが考えられ、結果として必要以上の出力制御量を算定してしまうことが懸念される。

したがって、出力制御量を抑制し、再生可能エネルギーを最大限活用するためには、系統運用者側の作業や発電設備の定期点検等に伴い発生する、PV設備の計画的な停止情報を把握・管理することが必要となる。

このため、系統運用者・発電事業者に起因する発電所の計画的な停止情報（当日、翌日、翌々日の3断面）を管理する仕組みを構築し、適切な出力制御量の算定を行うためのシステム開発・検証を行った。機能の概要を図Ⅲ.2-6-1 および図Ⅲ.2-6-2 に示す。

給電操作指令伝票

伝票番号	伝票種別	伝票内容	伝票時刻
66-K121-1	特別高圧	66kV 線 1L 切止	6-50 ~ 6-50

給電操作指令伝票を参照し、発電事業者の連系用遮断器が切になる作業計画を自動判定し、発電所の停止を把握

A変電所 ———— B変電所

太陽光発電所

対象遮断器が指定時間帯「切」状態を保持する場合、停止と判定

発電停止判定時間帯は、運用者にて設定

図Ⅲ.2-6-1 PV設備の停止情報把握機能（特別高圧（66kV以上））

○発電所の停止情報把握（22kV、6kV）

お客さま停止情報入力

更新 リセット 閉じる

○お客さま停止情報

配電事業所	変電所	バンク	配電線	区間 N.º	引込柱	お客さま
対馬 ①	飯原 ②	③	1 空港 ④	⑤ 66	2359654	XXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXX

停止情報

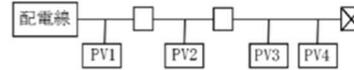
停止開始日時: 2016年 10月 20日 09時 30分
送電開始日時: 2016年 10月 22日 09時 30分

出力制御対象
※選択時は、出力制御除外期間に関わらず、出力制御・設備量集計の対象となります。
出力制御除外期間（コアタイム 10:00 ~ 15:00）
※ 2016年 10月 10日（月） から 2016年 10月 11日（火） まで

メモ
○ 作業停止に伴う解除
○ 事業者点検に伴う解除
● メモ入力（フリー入力）
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

※発電事業者単位に作業や点検等に伴う停止情報を管理

〔配電線系統イメージ〕



〔停止情報入力時の出力制御対象選定イメージ〕

事業者名	設備量	停止計画	選定
□□太陽光発電所 (PV1)	1000		○
○○太陽光発電所 (PV2)	1000	△月×日	除外
△△太陽光発電所 (PV3)	1500	—	○
××太陽光発電所 (PV4)	800	—	○
合計	3300		

停止計画がある発電事業者を除外し、出力制御対象を自動選定

N.º	配電事業所	配電線コード	変電所	バンク	配電線	区間 N.º	引込柱	お客さま	発電機種別	発電出力 (kW)	設置設備	年間調整回数	出力制御実績
1	対馬 ①	81102	飯原 ②	③	1 空港 ④	⑤ 66	2359654	XXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXX	バイオマス (準産業用) ⑥	750	センサー制御型 ⑦	220回 ⑧	300時間 ⑨
N.º	停止開始日時	送電開始日時	出力制御除外期間 (コアタイム 10:00 ~ 15:00)	メモ									
1	2016/10/11 (火) 09:00	2016/10/11 (火) 14:00	2016/10/11 (火) ~ 2016/10/11 (火)	XXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXX									
2	2016/10/19 (月) 09:30	2016/10/19 (月) 09:30	2016/10/19 (月) ~ 2016/10/19 (月)	XXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXX									

図Ⅲ. 2-6-2 PV 設備の停止情報把握機能（特別高圧（66kV 以上））

66kV 以上の発電所については、図Ⅲ. 2-6-1 に示すとおり、システムが給電操作指令伝票を読み込み、発電所の停止を自動判定する仕組みとなっている。66kV 未満の発電所については、図Ⅲ. 2-6-2 に示すとおり、発電所の停止情報を受けた現場社員がシステムへ入力し、自動集約する仕組みとなっている。また、合わせて PV 出力予測算出式の見直しを行った。

〔現状の PV 出力算定手法〕

$$PV \text{ 出力} = \sum [\text{各日射量計の日射量} \times \text{各エリアの設備量}] \times \text{換算係数}$$

〔発電所停止計画考慮後の PV 出力算定手法〕

$$PV \text{ 出力} = \sum [\text{各日射量計の日射量} \times (\text{各エリアの設備量} - \text{各エリアの停止設備量})] \times \text{換算係数}$$

本実証において、PV 設備の計画的な停止情報を把握可能なシステムを構築し、制御予定日より 2 日前から PV 設備の停止を考慮した出力制御量算定を行うことを可能とすることで、より精度の高い出力制御が実施できることを確認した。

以上により、PV 設備の計画的な停止情報の把握・管理手法を確立し、再生可能エネルギーの最大限活用に向けた体制の整備を行った。

今後の課題として、発電所停止情報の収集率の向上が挙げられる。これは、系統運用者において、系統運用者側の作業は全数把握が可能であるが、発電所側の停止情報について全数把握するような情報収集ルートが現在のところ構築されていないためである。

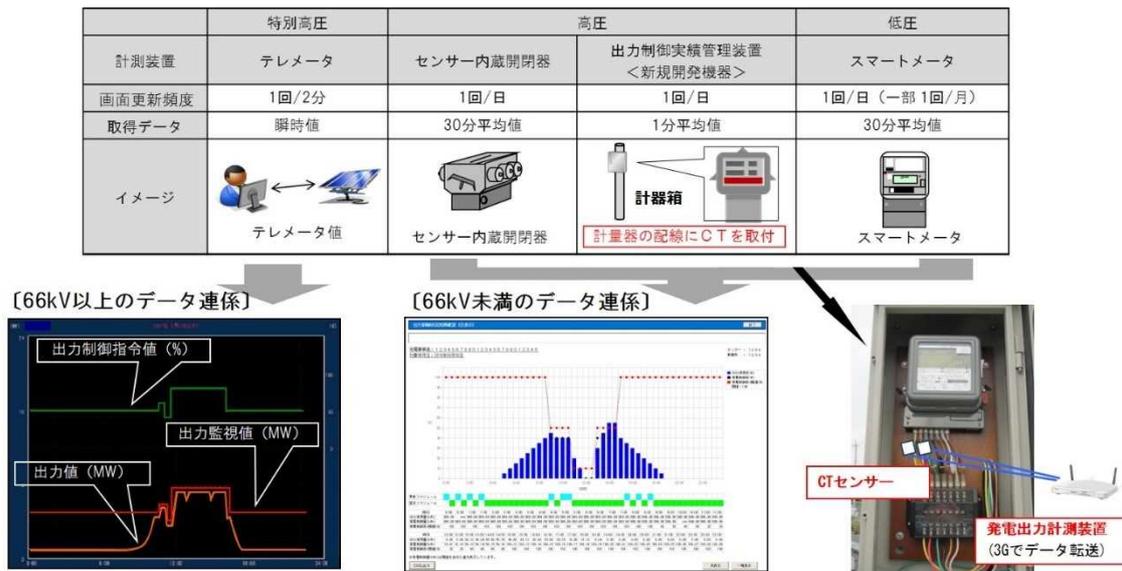
2-6-1-1-1-2 「遠隔出力制御の実施状況確認システムの構築」

出力制御の公平性および運用実行性を確保するためには、各発電所に対する出力制御指令情報および出力制御指令に基づく発電実績を把握・管理することが必要となる。

このため、発電所ごとの発電実績を把握し、出力制御指令情報と比較するなど、出力制御が指令通りに実行されたことを自動で検証可能なシステムを構築し、本事業にて検証を行った。

各発電所の発電実績取得は、送配電網に設置されている計測装置やスマートメーター等の活用を基本とするが、既設の計測装置やスマートメーターによる発電実績の取得ができない一部発電所に適用するため、新たに発電実績を計測する装置を開発した（システム構成のイメージを表Ⅲ.2-6-1に示す）。

表Ⅲ. 2-6-1 実施状況確認システムの全体構成



本実証において、新規に開発した発電実績計測装置を実証試験対象発電所の一部へ設置し、良好に動作することを確認した。

また、開発したシステムを用いて、既存の計測装置のデータから発電所の出力制御実績を把握し、出力制御指令情報と比較することにより、各発電所の出力制御実施有無を自動的に判定できることを確認した。これにより、機器不良等で出力制御に応じていない発電所に対して速やかに是正措置を講じることが可能となった。

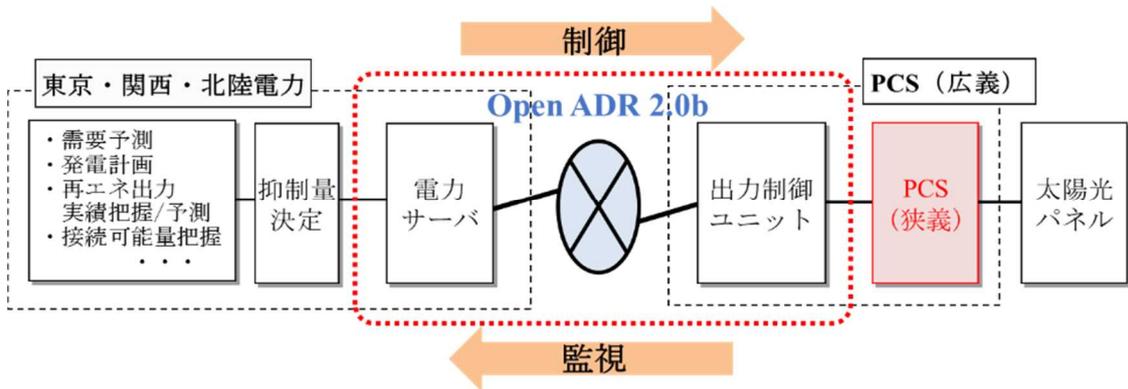
以上により、出力制御実施状況の管理手法を確立し、出力制御の公平性および運用実行性を大幅に向上させることが可能となった。

今後の課題として、一つの発電所内に出力制御対象と出力制御対象外の区画が混在する場合の、出力制御実施状況の判定方法の精度向上が挙げられる。また、計測装置が全数設置されていない状態で出力制御が開始された場合の運用について、検討が必要である。

2-6-1-1-1-3 「中長期的な観点による双方向通信を適用した出力制御システム〔ステップ2〕の高度化」（実施者：東京電力HD、東京電力PG、関西電力、北陸電力、早稲田大学）

双方向通信を適用したPVの出力制御システムは、必要時に発電所の出力制御を行うことができる。また、発電情報を集中監視するための電力サーバへ収集することで、PVの出力監視の精度を高め、きめ細やかな制御を実現することが可能となる。出力状況や発電量を把握することが可能なシステムの実現に向けて、平成27年度に緊急実証事業で双方向通信を適用したPVの出力制御システムが開発された（図Ⅲ.2-6-3）。本システムは、PVの出力を集中監視する電力サーバと出

力制御ユニット含む広義の PCS で構成されており、通信プロトコルには OpenADR 2.0b を用いている。

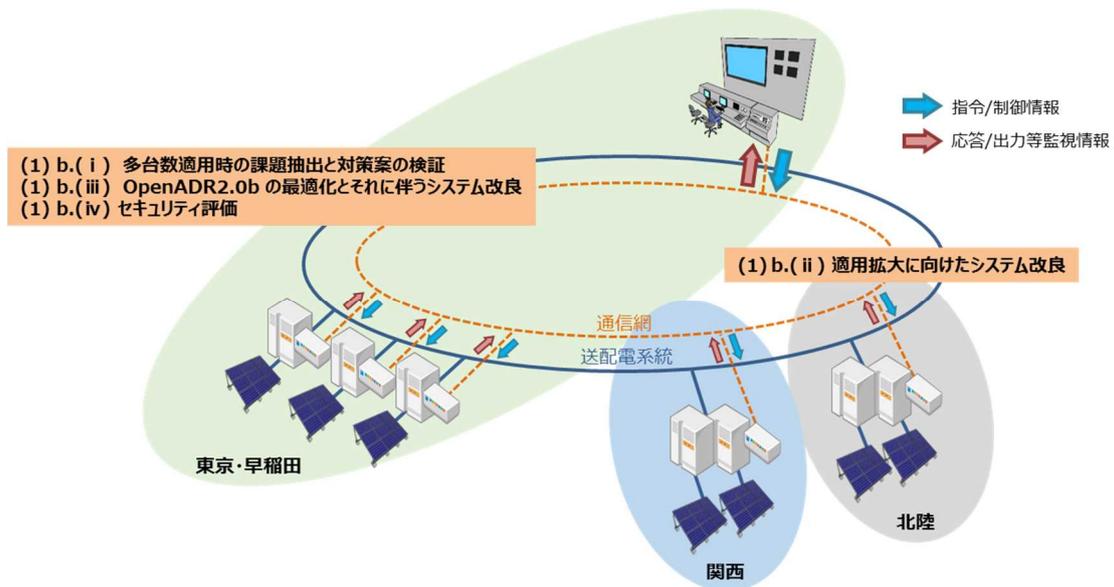


図Ⅲ. 2-6-3 双方向通信を適用した PV の出力制御システム構成

緊急実証事業において東京電力ならびに関西電力、北陸電力は、双方向出力制御システムにて PV の出力を指令値通りに制御できることを確認した。同時に、追加で取り組むべく課題を明らかにし、経済産業省の系統 WG において議論されている出力制御システムの在り方を参考に、実導入に向けた課題を整理した（表Ⅲ. 2-6-2）。

表Ⅲ. 2-6-2 緊急実証事業で残された出力制御システムの課題

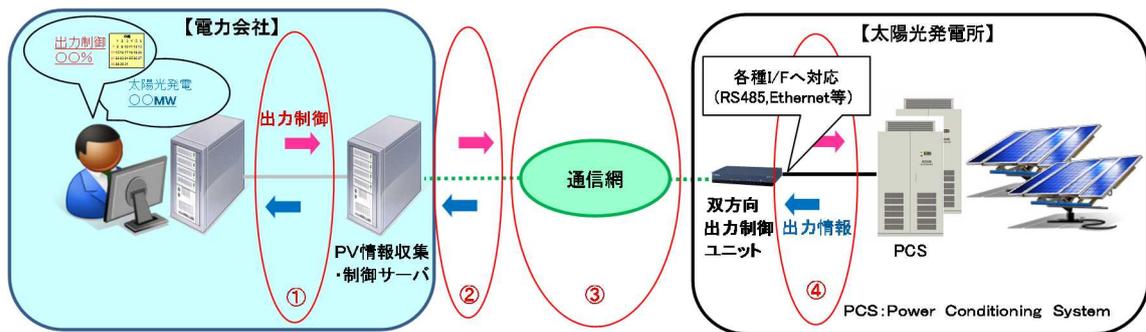
システム構築の視点	緊急実証時における今後の課題
コスト面、技術面等も踏まえ、確実に出力制御可能であること	多台数接続時のシステム、通信への影響の評価が必要
	その上で、システム・通信コストの評価が必要
	データ通信量低減のための応答頻度と出力値取得頻度の見直し
	応答周期変更の OpenADR 仕様化の検討
出力制御は系統安定化のために必要最小限なものとする	アンシラリーサービス提供レベルまでのリアルタイム性の追求
	多台数接続時の個別制御の可能性評価
	日射データとの組み合わせによる制度の検証 取得データに基づく出力予測方法の検討
将来の情勢変化などに対して、柔軟に対応できること	多台数接続時のシステム、通信への影響評価
	OpenADR 仕様の拡張要否検討と他規格の調査
電力安定供給のため、必要なセキュリティを確保すること	セキュリティ評価対象範囲の拡大 実運用を踏まえたセキュリティ対策の実装と評価 セキュリティ評価の標準化
全ての電力会社に適用可能な共通の仕様とすること	実運用を踏まえた既存システムとのインターフェースの検討



図Ⅲ. 2-6-4 出力制御システムの高度化概要

本実証では、緊急実証事業で明らかになった課題に対処すべく以降（2-6-1-1-1-4～2-6-1-1-1-7）の検討を実施した（図Ⅲ. 2-6-4）。将来的な出力制御システムの実運用を想定した、相当数のPVを対象とした出力制御を行った際のシステム上の課題と対応を検討するとともに、既存監視システムとの協調や複数PCSへの適用を可能とするシステム改良を行った。また、系統運用者から発電事業者に至る出力制御システムにおけるセキュリティリスク分析を行い、要求すべきセキュリティレベルを整理した。

本実証結果を受けて、今後双方向出力制御システムの導入を検討する際に、共通化が望ましい範囲と個別検討が必要となる範囲について、整理することができた。本実証で想定する標準的な双方向出力制御システム全体構成を図Ⅲ. 2-6-5に示す。



図Ⅲ. 2-6-5 双方向出力制御システム全体構成

共通化が望ましい範囲と個別検討が必要となる範囲ならびに実証結果の対応については以下のとおり。

- ① 社内システムから電力サーバへの伝送仕様
 - ・ 各社システム構成が様々のため、各社別仕様。
- ② 電力サーバの仕様 / セキュリティ
 - ・ 各社のセキュリティポリシーによりサーバを保護。各社個別仕様。

→2-6-1-1-1-4 を参考に設備構築すれば、双方向通信を用いて多台数の PV の出力制御が実現可能となる。また、2-6-1-1-1-7 で整理したセキュリティアーキテクチャを参考に、出力制御システムのセキュリティを維持した設備構築が可能となる。

③ 通信プロトコル / 通信回線種別

- ・ 通信プロトコルは OpenADR。通信回線種別は各社個別仕様。

→0 で検討した OpenADR の最適化手法の適用により、通信量の大幅な削減が実現可能となる。

④ 発電事業者構内の出力制御システム構成

- ・ 上位系統の信号の授受は、出力制御ユニットを活用することで各社共通仕様。ただし、発電事業者構内との連携にかかる仕様は個別に対応する必要があるため、発電事業者ごとに別仕様。2-6-1-1-1-5 に本実証サイトでの対応例を示す。

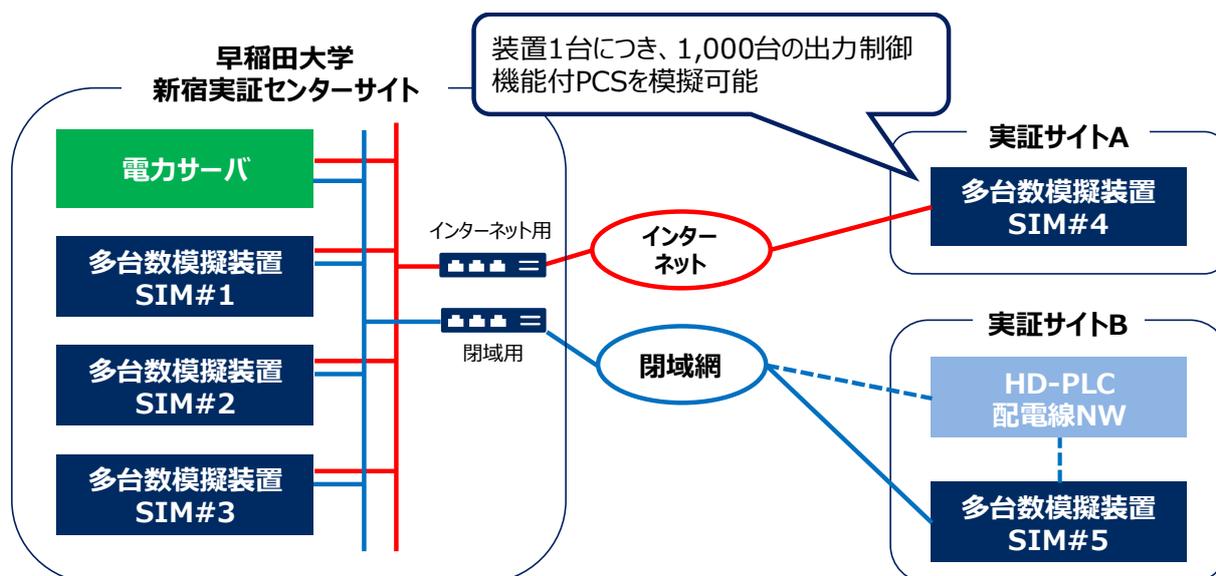
今回の実証と同様の考え方でシステムを構築すれば、技術的には双方向通信による出力制御が実現可能であり、技術的な課題についてはほぼ解消できたと考えられる。実用化・事業化に向けては、今後議論される実運用時の制度設計や既設設備との協調等を考慮した設備設計が課題となる。本実証で検証した双方向通信を用いた出力制御システムが導入された暁には、単方向通信では実現することができなかつた上り情報を活用した系統運用が実現できることとなる。

2-6-1-1-1-4 「多台数適用時の課題抽出と対応策の検証」 (実施者：東京電力 HD、東京電力 PG)

緊急実証事業において、OpenADR 2.0b を準用した双方向通信方式の出力制御システムが開発され、一定頻度での出力実績および出力制御の実態を把握した。本実証では、電力サーバや通信ネットワークの瞬間的な負荷など多台数接続時の課題を抽出するとともに、その対応策についての検討ならびに実装を行い、実運用に向けたシステム改良を行うことを目的として、合計 5,000 台分の PV (出力制御ユニットおよび狭義の PCS) の接続を模擬可能なエミュレータと対応する電力サーバを開発した。緊急実証事業での通信量やサーバ負荷への影響、運用での基本単位を考慮して 1 台あたり 1,000 台分の発電所を模擬することとし、合計 5 台製作した。これらを複数のネットワーク (インターネット、携帯網、HD-PLC (High Definition Power Line Communication)) に接続して検証を実施した。図Ⅲ. 2-6-6 に本研究において構築したシステム構成を示す。

前述のとおり構築したシステムを利用し、出力制御ユニットが多台数接続された環境における課題の整理、回線種別・通信方式による処理性能への影響等について検証を行った。また実運用を見据え、システム可用性の向上を目的に、電力サーバを運用系と待機系に分け障害発生時に運用系から待機系に切り替えるサーバ冗長化機構および、通信パケット欠損や処理遅延等により異常な状態になった際に正常な状態に復帰するための通信要件等を検討した。電力サーバ冗長化の検討を通じて、制御規模に応じたサーバ選定やサーバアーキテクチャに関する設計を容易にし、将来的に出力制御システムを多台数に適用する際の参入障壁が低減されることが期待できる。

今後はより実際の運用に近づけるため、双方向通信による出力制御システムの標準化に向けた活動や電力サーバの分散処理などスケラビリティへの対応が求められるものと想定される。また、通信量・通信形態を鑑みた最適な通信契約方法や通信機能実装方法の検討・条件整備等も課題であると考えられる。



図Ⅲ. 2-6-6 システム構成

2-6-1-1-1-5 「適用範囲拡大に向けたシステム改良」（実施者：関西電力、北陸電力）

PVの導入が拡大の一途をたどる中、電力システムの需給バランスに与える影響も大きくなってきており、実運用断面で「発電電力量の把握」や「出力の抑制指令」等の監視・制御が重要性を増している。至近の運用においても、積雪時に発電出力の把握が適切になされなかったことから需給逼迫に至る事象が発生している他、軽負荷期の休日に余剰電力を回避するための出力抑制指令が発動されるなど、その影響が顕在化してきている。これらの運用への影響に対応するべく、H27年度の緊急実証から双方向通信を活用したシステムの開発に取り組んでいる状況であり、きめ細やかなPVの出力制御が可能な技術の確立を目指しているところである。

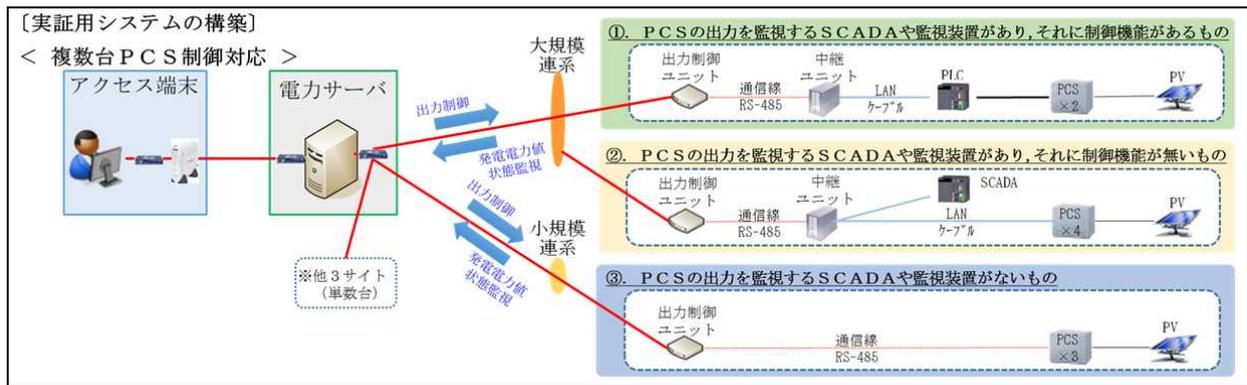
本実証では、緊急実証で課題として整理された「既存監視システムとの協調」、「複数台PCSへの適用」を実証のスコープとし、解決施策を検討した。なお、検討においては、既存システムの形態をSCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)の有無、監視装置の有無、制御機能の具備状況によって、表Ⅲ. 2-6-3のとおり分類し、形態ごとにシステム改良を施している。なお、分類ごとにシステム形態は異なるものの、現地の通信ユニットと電力サーバ（上位系サーバ）間の通信においては、デマンドレスポンス実証で活用されているOpenADR 2.0bを通信プロトコルとして採用した。

表Ⅲ. 2-6-3 既存システムのシステム形態

分類	システム形態	分担
1	PCSの出力を監視するSCADAや監視装置があり、それに制御機能があるもの	関西
2	PCSの出力を監視するSCADAや監視装置があり、それに制御機能がないもの	北陸
3	PCSの出力を監視するSCADAや監視装置がないもの	関西

分類1および3（関西電力担当分）については、新ルールおよび指定ルールが適用される事業者への導入の観点から狭義のPCSを対象としてシステム改良を実施し、実フィールドにて性能評価ならびに出力制御手法の検証を行った。

図Ⅲ. 2-6-7に本実証において構築した出力制御システムの構成を示す。



図Ⅲ. 2-6-7 双方向通信装置を用いた出力制御システム構成

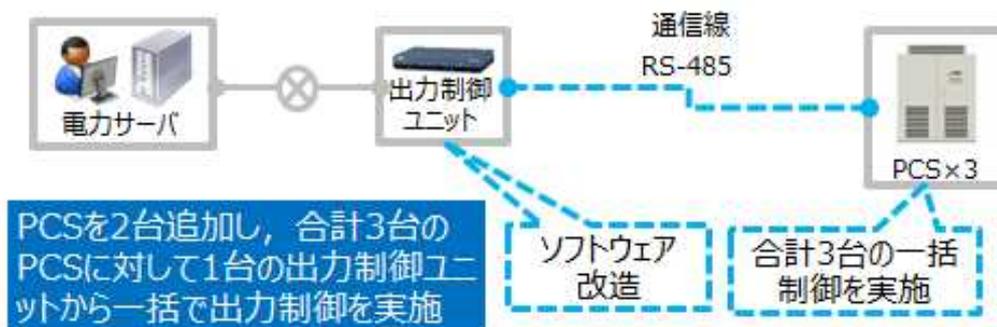
主なシステム改良として、分類1では、既設制御装置（PLC）と出力制御ユニット間の信号の衝突を防止するための中継ユニットの設置と複数PCS制御を可能とするソフトウェアの改造を実施した（図Ⅲ. 2-6-8）。



図Ⅲ. 2-6-8 既存監視システムとの協調（分類1）

これにより、緊急実証時に発生していた信号の衝突は解消され、データの欠損などの障害も改善されたほか、複数台でも単数台と同様の制御ができることを確認した（実動作の実証試験結果については、2-6-1-1-3-2を参照）。なお、本実証の改造では、電力サーバと情報伝送を行う「出力制御ユニット」とPCSから発電情報を収集する「中継ユニット」を分離しており、多様な設備への展開を見据えて拡張性を高めたものとなっている。

一方、分類3では、既存システムが「PCSの出力を監視するSCADAや監視装置がないもの」と整理されるシステム形態に対して、1台の出力制御ユニットから複数台のPCSを制御可能とする改造をハード面とソフト面から実施した（図Ⅲ. 2-6-9）。



図Ⅲ. 2-6-9 複数台PCSへの適用（分類3）

構築したシステムでは、例えば上位系からの 50%出力抑制指令がきた場合に、出力制御ユニットからそれぞれの PCS に対して 50%の抑制制御を行うこととしており、定格出力が異なる PCS が同一サイトに混在する場合等でも単純かつ確実に出力抑制の実行が期待できる形態としている。また、緊急実証において課題となっていた上り情報のデータ欠損については、各 PCS から送信されてくる 10 秒サンプリングデータを出力制御ユニットで監視し、データ異常を検出した場合に同サンプリングデータを除外して平均化処理することにより、特定の PCS で不具合が発生した場合でも可能な限り確からしいデータを上位系に送信できる仕組みとしている（図Ⅲ. 2-6-10）。



図Ⅲ. 2-6-10 複数 PCS の発電電力量算出方法

なお、電力サーバへの上りの情報の粒度については、1 分値刻み（緊急実証時に検証した上り情報の粒度と同等）までは技術的に可能であることを確認しており、将来、系統運用者側が比較的短時間の粒度を要求した場合でも、技術的には対応が可能であることを確認した（図Ⅲ. 2-6-11）。



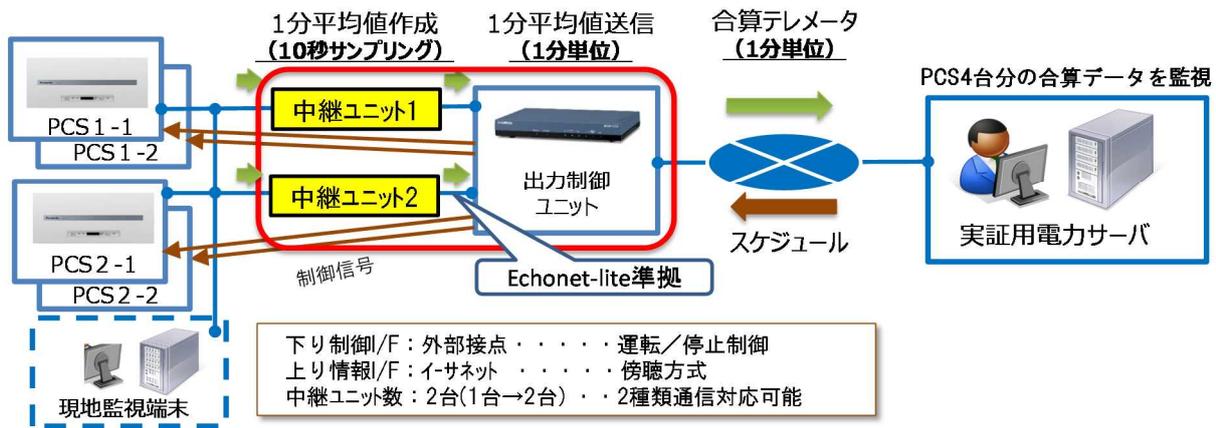
図Ⅲ. 2-6-11 出力制御ユニットのテレメータに関する検討

以上より、本実証では、出力制御ユニットに全 PCS への一括制御信号の送信機能と各 PCS 出力値の集約機能を追加することにより、1 台の出力制御ユニットから複数台の PCS を一括制御することが可能となった。これにより、遠隔（アクセス端末）からの任意の出力制御が可能となり、現場機器（複数台）に対して極め細やかな調整を可能としている。

今回開発した出力制御ユニットを活用すれば、これまで監視制御を装備していないサイトでも出力制御機能付 PCS が導入されていれば、遠隔監視制御を実現することができる。

分類 2（北陸電力担当分）については、旧ルール事業者への導入の観点から既存 PCS を対象として、システム改良を実施し、実フィールドにて性能評価ならびに出力制御手法の検証を行った。双方向通信装置を含むシステム構成の全体構成は、図Ⅲ. 2-6-12 の通りである。

【富山太陽光発電所】PCS台数：4台(250kW/台)



図Ⅲ. 2-6-12 双方向通信装置を用いた出力制御システム全体

緊急実証では、1台のPCSに対して出力制御および発電情報収集を行うことのできる双方向の出力制御ユニットを開発した。しかし、既設PV発電所の実態を調査すると、1箇所のPV発電所においては、PCSの台数も含め、設置環境、設備規模等、多種多様な設備形態がとられている。

今回の実証では、緊急実証で開発した双方向の出力制御ユニットを改良し、緊急実証と同様に既存のPCSに対して改造なしに双方向の出力制御を実現する前提を維持しながら、既存システムとの協調による適用範囲の拡大を図った。そして例えば1箇所の発電所内に複数PCSがある場合への適用も含めて取り組んだ。それら改修内容について有効性の評価を行い、更に実導入に向けて配慮すべき項目を整理する。

双方向通信装置の上り情報収集機能に関する主な改修内容は次の通りである。

緊急実証においては、PCSと監視装置間で用いられているインターフェース「RS-485」へ対応し、PCSと監視装置間の伝送情報を、両装置を結ぶ伝送経路に接続した出力制御ユニット本体で傍聴し、発電情報の収集、電力サーバへの送信を実現していた。しかし実際に発電情報を収集するためには、RS-485等のインターフェースだけでなく、PCSごとに定義されている伝送プロトコルも含め、多種多様な形態に対応する必要がある。

そこで今後の拡張性を高めるために、緊急実証で開発した出力制御ユニット本体で傍聴する方法を見直した。具体的には、緊急実証で開発した出力制御ユニット本体が持つ全てのソフトウェア機能のうち、伝送情報を傍聴するための機能を新たに構築した「中継ユニット」へ切り出すことで、既存監視システムとの協調に必要な部分を限定し、インターフェースや伝送プロトコルへ柔軟に対応できる構成を実現した。

本実証で構築した「中継ユニット」では、傍聴する伝送情報のインターフェースとしてRS-485以外に新たに「Ethernet」への対応や、発電所に複数設置されているPCSの発電出力を合算し、1分平均値を作成し、「ECHONET Lite」に準拠したプロトコルを用いて出力制御ユニットへ伝送する機能を実現した。

今後、新たなメーカーや新しい型式など、協調が必要なPV発電所が出てきた場合においても、「中継ユニット」が傍聴できる伝送プロトコルを増やすことで影響範囲を最小限に抑え、適用範囲を拡大することが可能である。

次に、双方向通信装置の下り制御である出力制御機能に関する主な改修内容は次の通りである。緊急実証において、北陸電力では、PCSベンダーに依存しない出力制御を実現するため、PCS

に備わっている外部接点入力を用いて運転／停止の制御を実現した。本実証では、緊急実証で制御に用いた PCS の運転／停止用の制御接点を増幅することで複数台の PCS 制御を実現した。

今回、システム形態を 1～3 に分類し、技術的な観点から適用範囲拡大に向けた検証を行ってきたが、本実証で得られた知見を実運用に展開するにあたっては、今後設計されていく制度面への適合を図らなければならない。出力制御のユースケースによって、通信のトラフィックやサーバ性能、セキュリティレベルなどの具備すべき要件が異なり、また費用も左右されることから、実導入時に適宜再検証していくことが望まれる。

2-6-1-1-1-6 「Open ADR 2.0b の最適化とそれに伴うシステム改良」

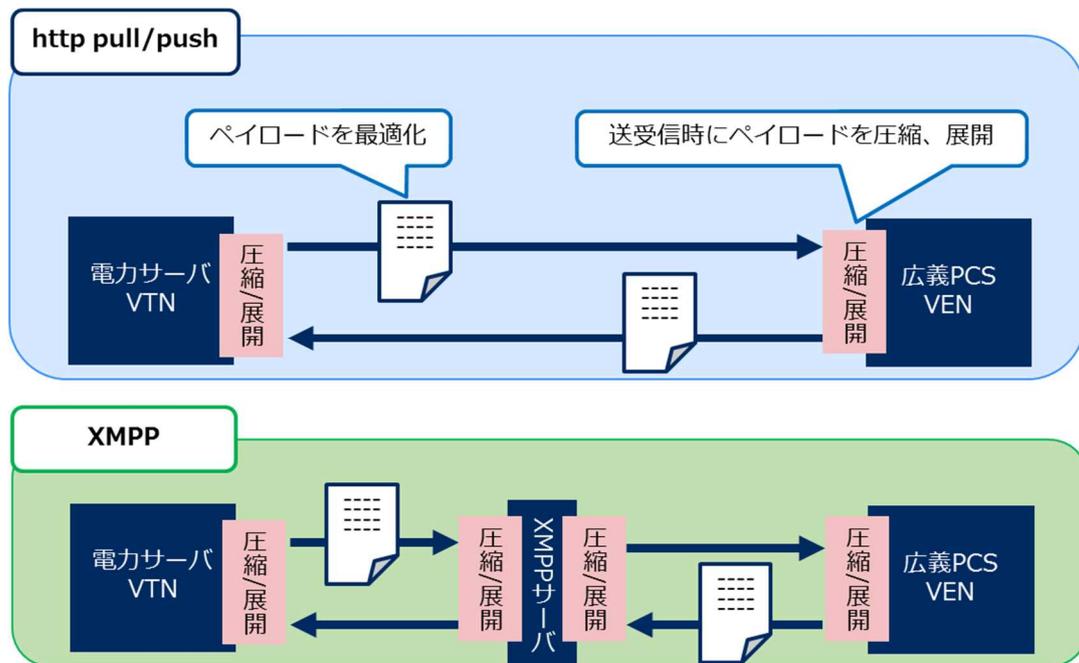
(実施者：早稲田大学、東京電力 HD、東京電力 PG)

OpenADR 2.0b を準用した双方向通信方式は OpenADR 特有のペイロード情報を付加することが規定されているため送受信するデータ通信量が多く、その情報量を踏まえてシステムを設計する必要がある。緊急実証事業で得られた成果を基に出力制御システムを多台数に適用する際の検討課題を整理した結果、通信標準（OpenADR 2.0b）については以下の 2 つのポイントが優先度の高い課題であると判断した。

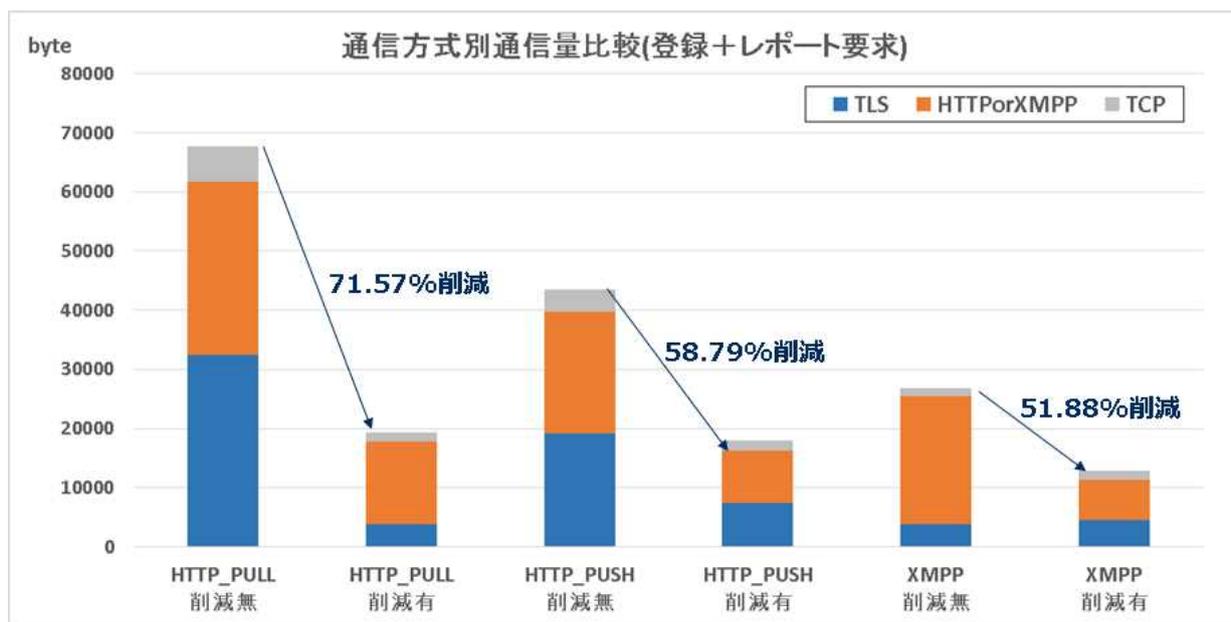
- ① 通信量の削減
- ② 異常シーケンス時のリカバリ手法の確立

本実証ではこれらの課題解決に向け、①の通信量の削減に対しては、電力サーバなどの VTN に VEN（広義の PCS）が多数台接続した環境において、OpenADR 2.0b 通信を最適化する手法を検討した。具体的には、OpenADR 2.0b の v1.1 への対応を含む最適化、ペイロード圧縮や認証鍵のキャッシュ機能など通信量削減の効果が期待できる手法を選定し、試作機を開発した（図Ⅲ.2-6-13）。実機検証の結果、通信量の大幅な（51%～71%）削減に成功した（図Ⅲ.2-6-14）。②の異常シーケンス時のリカバリ手法については、OpenADR 2.0b で規定される登録処理やイベント処理など処理種別ごとの処理シーケンスから異常が発生し得るユースケースを抽出し、ペイロードの再送処理などリカバリ方法について検討した。また、検討した仕様をベースに、試作機を開発して動作検証を実施し、検討したリカバリ処理の有効性を確認した。

本実証において OpenADR 2.0b 通信の最適化や異常シーケンスの対策など検証で得られた知見を整理し、OpenADR・機器別実装ガイドライン改訂に向けた課題の提言を行い、出力制御手法の標準化に向けた活動を実施した。また、より実際の運用に近づけるため、制度の改訂がある場合はその対応策、さらに OpenADR・機器別実装ガイドラインの更新などの標準化改訂への対応が必要となると考えられる。



図Ⅲ. 2-6-13 OpenADR 2.0b 通信の最適化イメージ



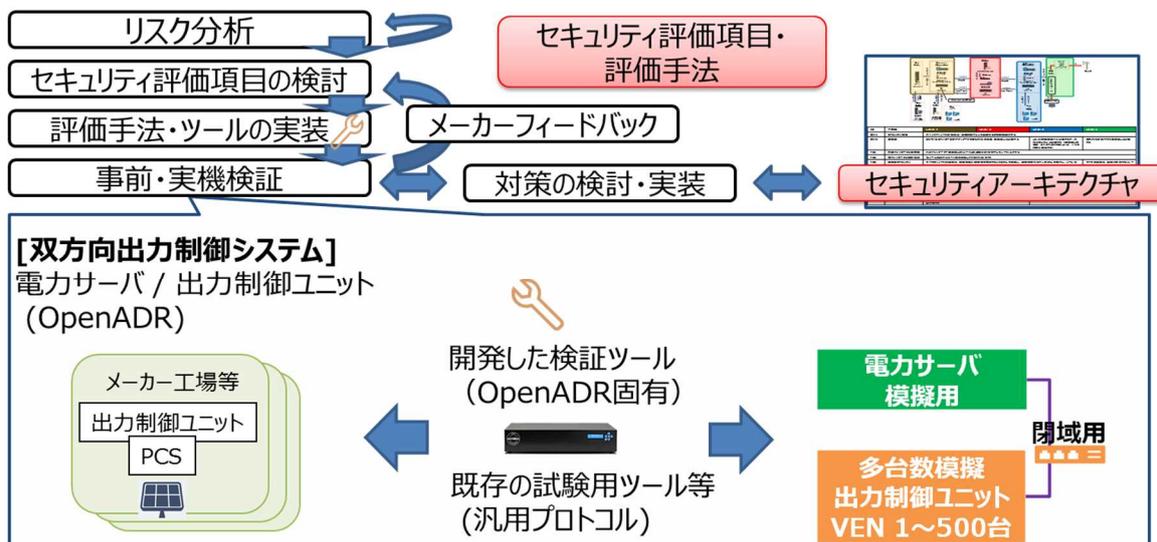
図Ⅲ. 2-6-14 通信方式ごとの通信量削減効果の比較

2-6-1-1-1-7 「セキュリティ評価」 (実施者：東京電力HD、東京電力PG)

本実証では、双方向出力制御システムのリスク分析を行い、実機を含めたセキュリティ検証作業を通じて、将来構築される実社会の双方向出力制御システム（実システム）に対して実施する『セキュリティ評価項目』および手法を構築するとともに、対策案を含めた『セキュリティアーキテクチャ』を示した。今後、実システムを構築・運用・保守を行っていくことを考慮すると、セキュリティアーキテクチャで示した対策の実システムへの適用を進めると共に、電子証明書の取り扱い、電力サーバの冗長化、ファームウェア更新、TLSの圧縮機能の利用およびシリアル通信の保護についても検討が必要である。

具体的には、双方向出力制御システムを取り巻く最新の状況を踏まえ、「(1)リスク分析」を行い、サイバーセキュリティに関するリスク評価を実施するとともに推奨対策を整理した。その上で、「(2)セキュリティ検証項目の整理」を行い、当該検証項目の有効性検証ならびに検証が必要と判断した推奨対策について「(3)実機を用いた評価」を行った。

(1)では、本実証で想定する双方向出力制御システムに対するリスク評価を、近年の脅威事例を踏まえて実施した。推奨対策については「セキュリティアーキテクチャ」を策定し、実システムにおけるセキュリティ要件として整理した。(2)では、H27 緊急実証事業の際に定義した検証項目に加え、OpenADR の通信シーケンスに固有の試験や、多数の出力制御ユニット (VEN) が電力サーバ (VTN) を攻撃する事態を想定した OpenADR (HTTP) に特有の攻撃を含める等の体系化を行った。(3)では、セキュリティ検証項目を双方向出力制御システムの電力サーバや出力制御ユニット等に適用し、当該機器の構築事業者等とセキュリティ検証項目の妥当性について検討を実施した。また、セキュリティアーキテクチャに基づく実証環境を整備し、出力制御ユニットや電力サーバへの影響が認められたセキュリティ検証項目を再現し、影響が緩和されることを確認した。



図Ⅲ. 2-6-15 セキュリティ評価の概要

2-6-1-1-2 「遠隔出力制御システムの実証環境整備」 (実施者：九州電力)

系統運用者による需給調整においては、雨のち晴れの場合など、PV の発電電力が急増した場合には、都度、PV 以外の発電電力等の調整を実施している。火力発電の出力抑制、揚水発電の活用、連系線の活用等を行ってもなお、需要より供給が上回る場合、PV の出力制御を実施する必要がある。

このため、PV の想定出力に誤差が生じ、緊急出力制御を実施する場合を想定し、需給バランスへの影響が確認できる出力制御量を確保するため、遠隔出力制御に対応する PV 発電所の数を拡大し、実証環境を整備した。

なお、実証環境整備の規模としては、気象条件が多少悪化した場合でも、軽負荷期昼間の需要に対して必要となる調整力に相当する量 (40 万 kW 程度) とした。

表Ⅲ. 2-6-4 実証試験用の出力制御機能付 PCS 導入状況

単位：[万 kW(件数)]

区 分	実証試験 目標容量	H27年度 設置済	H28年度 設置済	H29年度 設置済	出力制御 可能容量 (H29年度 末時点)
66kV以上	39(20)	7.2(2)	11.0(3)	20.4(14)	38.6(19)
66kV未満	1(1)	0.3(2)	0(0)	0.5(1)	0.8(3)
合 計	40(21)	7.5(4)	11.0(3)	20.9(15)	39.4(22)

出力制御機能付 PCS を含む PV の出力制御システムについては、平成 27 年度に緊急実証で開発した遠隔出力制御システム（66kV 以上の発電所：双方向通信、66kV 未満発電所：単方向通信）を有効に活用し、効率的に環境整備を実施した。

また、九州電力に設置した電力サーバとの対向試験を実施し、全設置箇所において、問題なく動作することを確認した。

以上により、事前に目標としていた 40 万 kW をほぼ満足する 39.4 万 kW の PV 容量を確保することができ、需給バランスへの影響を確認するための実証試験環境整備が整った。

2-6-1-1-3 「遠隔出力制御システムの実証試験」

（実施者：東京電力 HD、東京電力 PG、関西電力、北陸電力、九州電力、早稲田大学、IAE）

2-6-1-1-3-1 「専用回線による双方向出力制御方式およびインターネットによる出力制御スケジュール（単方向通信）方式による出力制御システム〔ステップ 1〕の実証試験」 （実施者：九州電力、IAE）

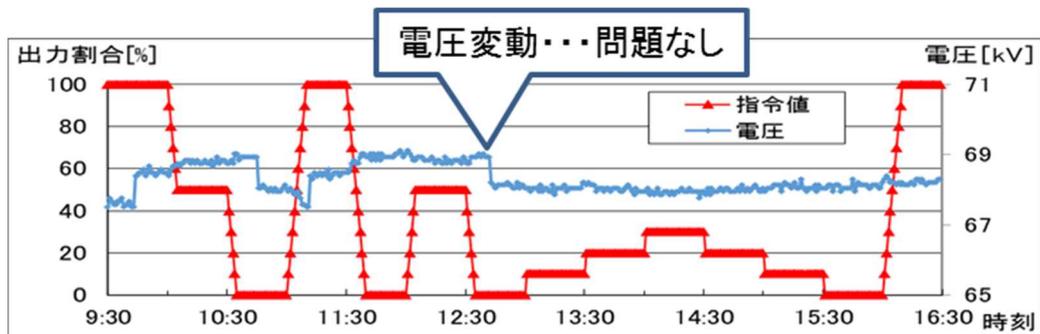
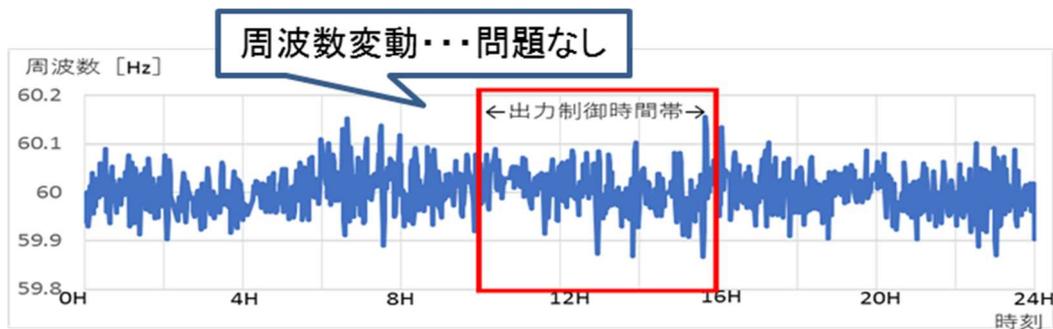
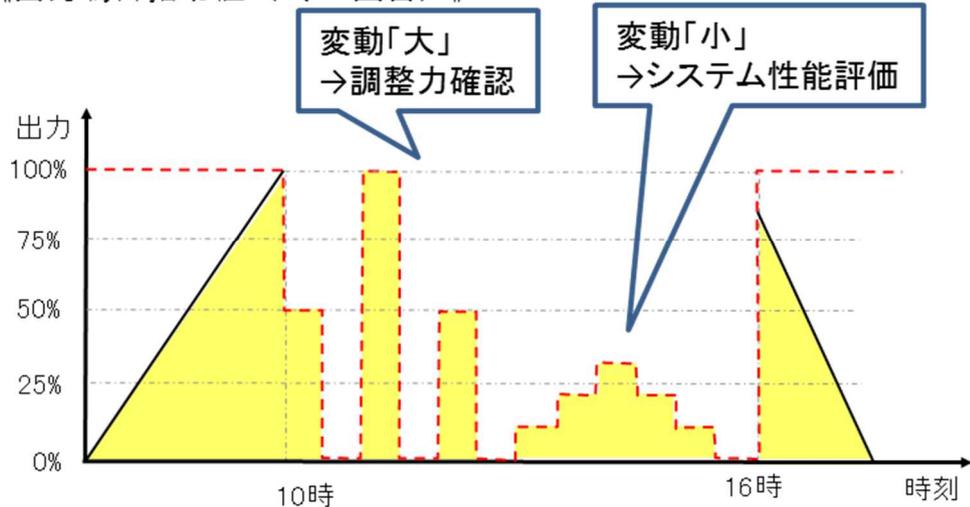
ここでは、2-1-3 で整備した実証対象発電所へ九州電力から出力制御指令を出し、出力制御システムの機能、電力システムへの影響評価を中心に実証を行った。なお、連系電圧 66kV 以上の発電所は、双方向通信（専用回線を活用した双方向出力制御方式）、連系電圧 66kV 未満の発電所は、単方向通信（インターネットを活用した出力制御スケジュール方式）により出力制御を行った。

システムの機能検証としては、出力制御システム全体の動作確認やサーバ負荷試験、および障害発生時の追加対策（スケジュール配信システムの 2 拠点化、スケジュールの冗長化等）等を行い、システム全体が正常に機能することを確認した。

また、需給バランスへの影響検証として、40 万 kW の PV を出力制御した場合、需要の多寡により影響に違いが出ることが推測されたため、季節ごとに実証試験を実施した。重負荷期、軽負荷期において、PV の出力は指令値以下に制限されており、出力制御システムが確実に動作することを確認できた。

さらに、出力制御実施時の電力システムへの影響を確認するため、系統周波数および電圧について確認した。PV の出力変化に対して、火力および揚水発電所が適切に応答し、出力調整を行うことで、系統の周波数、電圧が適正な範囲内に保たれていることを確認できた。

《出力制御指令値（1、2回目）》



図Ⅲ.2-6-16 実証試験結果

なお、4回の実証試験を通じ、発電出力が最も大きく変動したのは約33万kW/10分であった。これにより、出力制御によって33万kWのPV発電所出力を変動させた場合にも、電力系統への影響がないことが確認できた。

また、PVの想定出力に誤差が生じ、緊急出力制御を実施する場合を想定したシステムの操作等の手法について検証し、当日朝の気象予測に合わせて緊急出力制御を行うことが可能であることを確認した。

今後の課題として、66kV未満の発電所（インターネットを活用した単方向通信）について、広域のインターネット障害が発生した場合に、発電出力が大きく変動する恐れがあるため、対策を継続検討する必要がある。

2-6-1-1-3-2「中長期的な観点による双方向を適用した出力制御システム〔ステップ2〕の実証試験」（実施者：東京電力HD、東京電力PG、関西電力、北陸電力、早稲田大学）

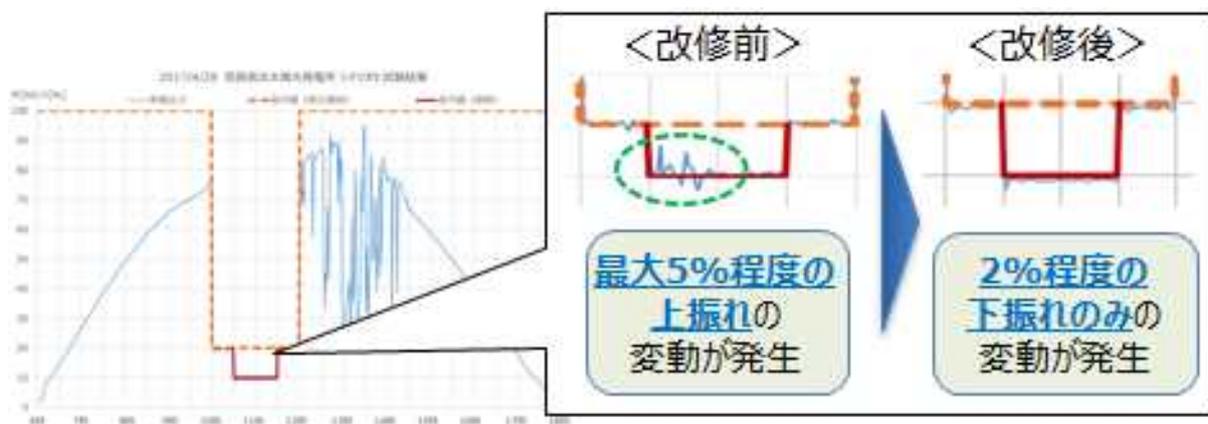
本節では、適用範囲拡大に向けてシステム改良を行った出力制御システムを高圧で既に系統連系している発電所に対して導入し、実証試験を行った結果について報告する。0で述べたとおり、システム形態によって施したシステム改良が異なるため、関西電力担当分（分類1、3）について実証結果を述べた後、北陸電力担当分（分類2）について述べる。

＜関西電力担当分（分類1、3）＞

緊急実証では、PCSが監視制御装置と出力制御ユニットの二方向から制御信号を授受していたため、通信のタイミングによっては信号が衝突し、適切にデータが授受できない不具合が発生していた他、既設PCS出力指令値に対して5%を上回る出力変動が確認される等、課題が残る結果であった。

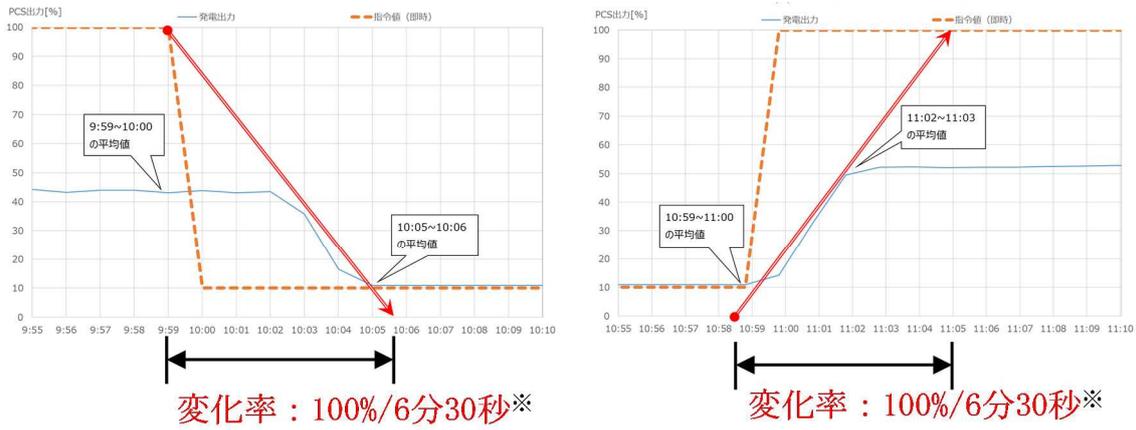
本実証では、前述の課題をクリアしたうえで、制御対象を単数台から複数台へと拡大し、さらに緊急実証では検証されなかった気温や天候等の外的要因による影響を確認するため、季節ごとに一連の出力制御シナリオを実行して評価することとした。

まず、緊急実証時の課題への対応として、衝突防止機能の新規追装（ハード対応）と上振れ防止対策（既設PCSのソフト対応）を行った。これらにより、信号の衝突は回避され、PCSの出力についても、出力抑制指令値を超過することなく、2%程度の下振れのみの変動となり、不足制御としないことを確認した（図Ⅲ.2-6-17）。



図Ⅲ.2-6-17 出力制御における精度向上

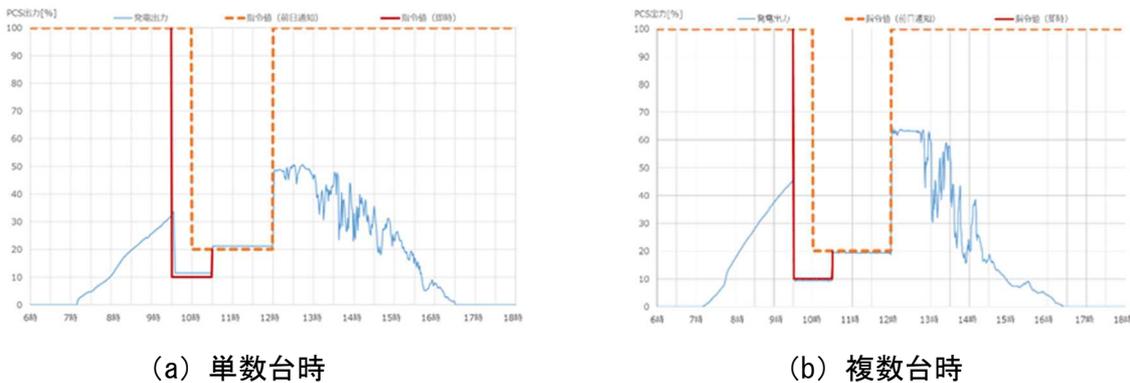
これらを活用して複数台への適用を検証した結果、単数台と同等の応答性能で複数台も制御できることを確認しており、これら複数台制御の一連の動作については、出力制御機能付PCSの技術仕様を満たすことも確認できた。複数台制御における出力制御の応答について図Ⅲ.2-6-18に示す。



※技術仕様に規定されている変化率：100%/（5～10分）一定

図Ⅲ.2-6-18 スケジュール急変時の応答検証

改造後の実証システムにおいて、想定していない不具合の発生や外部環境の変化（気温・天気・季節等）による影響の有無を確認するべく、季節ごとに一連の出力制御シナリオ（10 ケース）を実行して出力制御システムの性能評価を実施した。シナリオの一例を図Ⅲ.2-6-19に示す。



図Ⅲ.2-6-19 双方向通信装置を用いた出力制御結果

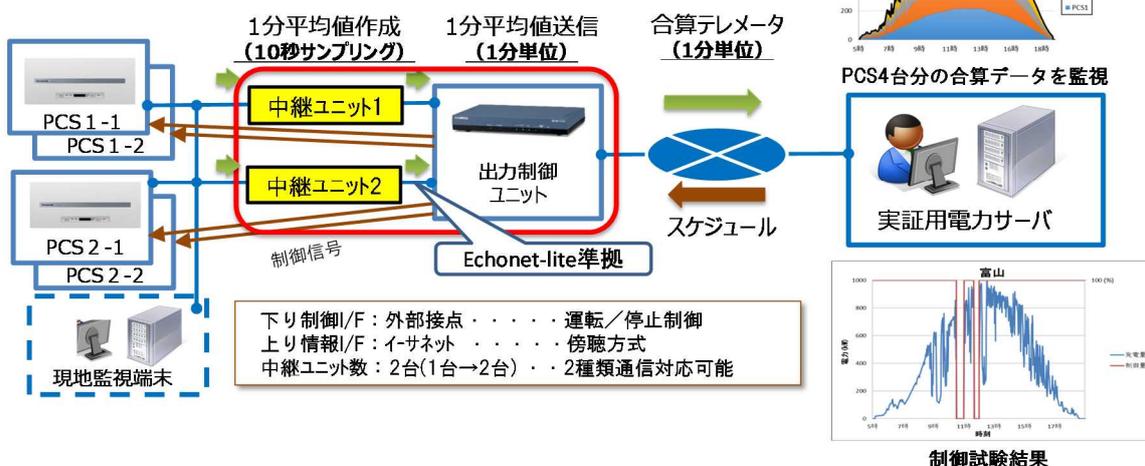
複数台で実行したシナリオの動作結果において、特異な事象の発生もなく、単数台と同等の出力制御精度が得られていることから、年間を通じて複数台一括制御の運用が可能であることを確認した。

<北陸電力担当分（分類2）>

実証試験のねらいの1つとして、既に系統連系している特高や高圧の複数台のPCSがある発電所に対してもPCS改造せずに、出力制御システムを追加設置することがある。実証検証することで、適用範囲の拡大を期待できる。

北陸電力が取り組んだ実証試験のシステム全体図および結果は、図Ⅲ.2-6-20の通りである。

【富山太陽光発電所】PCS台数：4台(250kW/台)



図Ⅲ.2-6-20 実証試験のシステム全体図および結果（北陸電力）

双方向通信装置の下り制御については、各 PCS に備わっている外部接点入力を用いて、複数台の PCS の運転/停止の制御を実現した。また、上り情報については、複数台 PCS、イーサネット、複数種類の通信など、多様な上り情報 I/F に柔軟に対応する必要があったため、中継ユニットを新たに開発し、双方向装置に導入した。実証試験では、PCS 複数台および 2 種類の通信仕様に対応できる構成とし、発電情報を収集できることを実証した。

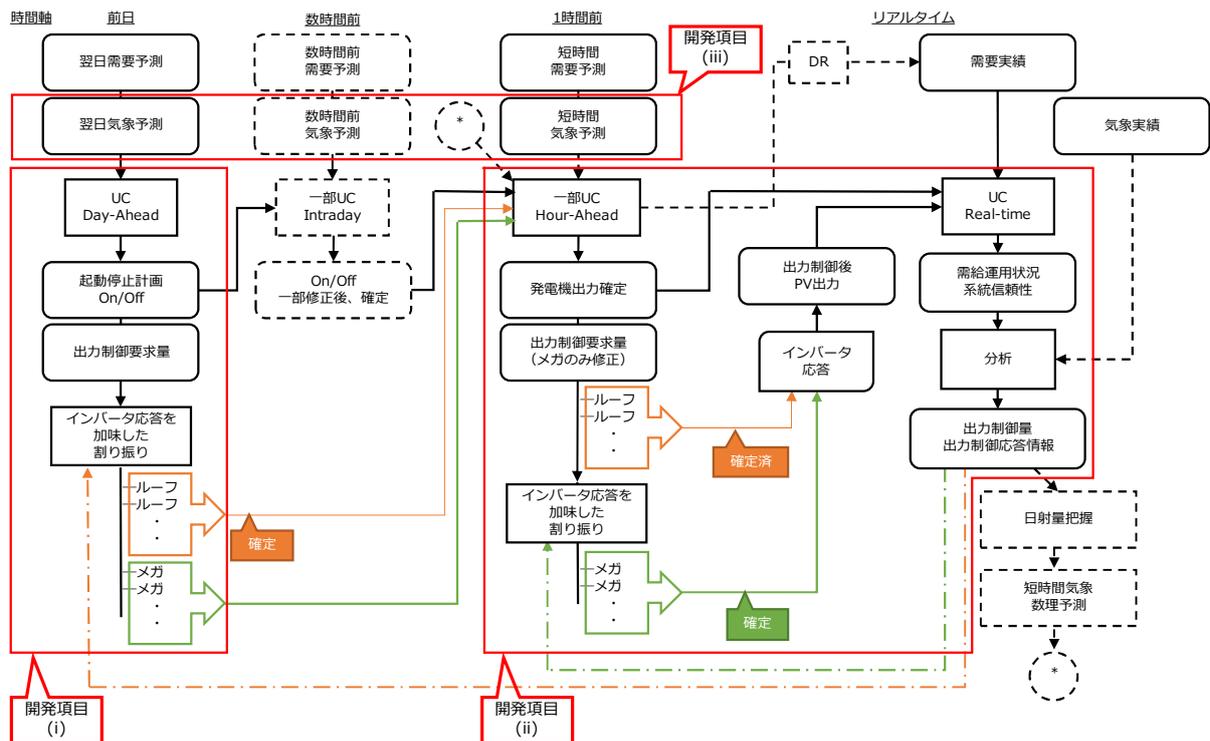
このように適用範囲拡大に向けてシステム改良を行った装置を実導入することで、PV 発電出力監視の精度を高め、きめ細やかな制御の実現が期待できる。

今回、システム形態を 1~3 に分類し、形態ごとに対応施策を講じることにより、単数台から複数台への適用範囲拡大が見込めることを確認した。

今後はエリア全体での制御量に対してどのエリアの出力を制御するのか、あるいはローカルネットワークに対してどのように特定の事業者を選択し制御するのか等、運用面での検討が必要になるほか、公平性の観点から事業者間の出力制御頻度の均一化をどのように図るのか等について検討が必要になると想定される。

2-6-1-1-4 「太陽光発電の最適出力制御量算定技術の開発」（実施者：東京大学）

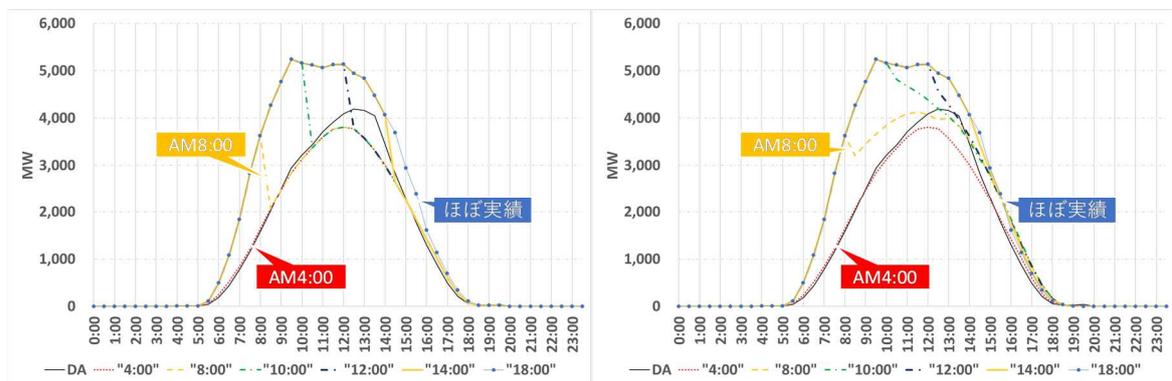
PV の大量導入を想定して、将来的な PV の最適出力制御量を算定する手法として、最適化モデル、シミュレーション、予測モデルといった技術基盤の開発を行った。さらにはそのモデルを用いたケーススタディを実施し、気象予測・PV 出力予測技術や電気自動車 (Electric vehicle) が電力需給運用、PV 出力制御へ与える影響について解析を行った。本項目においては下図のダイアグラムを指針として技術開発を行った。具体的には、本事業にて開発された前日、当日 30 分ごとにおける短時間予測を考慮した PV 出力予測を用いて、高頻度で発電機起動停止計画を作成すること (Unit Commitment, UC) で、PV 出力制御量を算出した。また様々な日射条件下にある PV のインバータ応答を考慮し PV 出力制御量を改善することで、PV の最適出力制御量の算定技術の開発を実施した。図中にて (i)~(iii) で挙げられている項目を含めた開発成果を、下記 2-6-1-1-4-1~2-6-1-1-4-3 に記す。



図Ⅲ. 2-6-21 最適 PV 出力制御量算出のためのダイアグラム

2-6-1-1-4-1 「太陽光発電の最適必要出力制御量の算定」

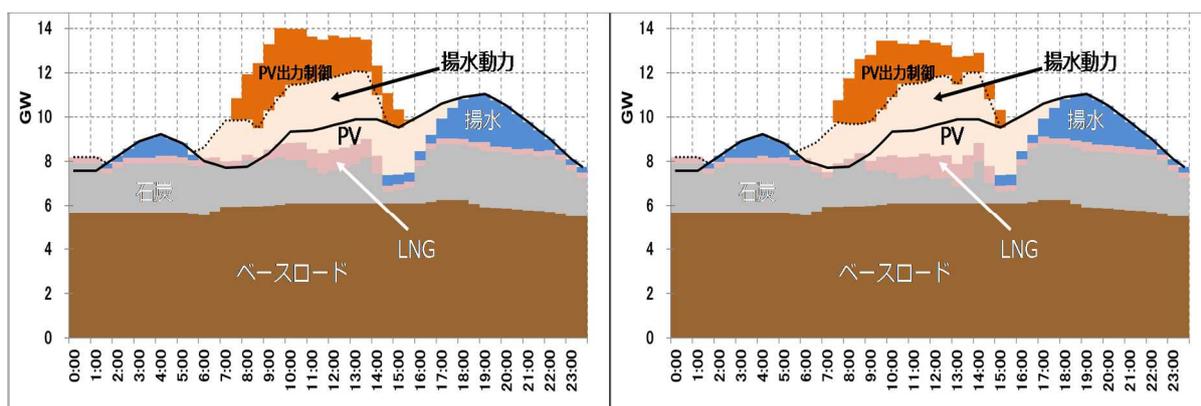
PV の最適出力制御量算定技術として、UC モデルを用いて実際の電力需給運用を模擬し、PV 出力予測を入力、シミュレーションすることで必要 PV 出力制御量の算出、PV 出力予測が出力制御緩和に与える効果、課題を抽出するアプローチを採用して、技術開発を行った。前日 PV 出力予測を用いた前日 UC (Day-Ahead UC) に加え、当日の高頻度 (30 分ごと) で更新された短時間 PV 出力予測を考慮した PV 出力予測を随時入力し、その出力を発電機運用上可能な範囲で修正可能なように UC モデルの開発を行った (Hour-Ahead UC と Real-Time UC シミュレーション)。なお、入力データには別途、本プロジェクト内で開発している翌日予測、当日の 30 分ごとでの短時間予測を考慮した PV 出力予測、実績の PV 出力データを与えており、下図にその例を示す。



図Ⅲ. 2-6-22 当日短時間 PV 出力予測を用いて随時の更新を行わない/行う場合 (左/右) の PV 出力予測値時系列 (5/15)

PV が大量導入された九州エリア (2030 年) を対象に、PV 出力制御必要量とその緩和効果について解析を行った結果を以下に示す。PV 出力制御を大きく必要とする中間期である 5 月 15 日の需給

バランスを示し、HAUCにおいてPV出力予測の更新を行わない/行う場合での当日18時でのRTUCの結果を比較する。本結果から、HAUCにて更新されたPV出力予測を随時考慮することで、発電コストを増加させずに日積算でPV出力制御量を約1.9GWh減少することができた。PV出力制御緩和メカニズムとしてLNG火力発電機の柔軟な起動停止、揚水発電機の運用手法が重要であることがわかった。また、EVが導入された想定では、EVの走行に伴う充電需要の創出と需要シフトにより、PV出力制御が緩和されることが示された。今後の課題例としては、揚水発電機の境界条件となる初期(0時)、終端(24時)での貯蔵電力量の設定が重要であり、その算出のための、例えば、数日から一週間を対象にした最適化計算モデルの開発が必要である。



図Ⅲ. 2-6-23 当日の随時の更新を行ったPV出力予測を用いない/用いる場合(左/右)の需給運用結果(当日18時でのRTUCの結果) (5/15)

2-6-1-1-4-2 「実出力制御量の把握とその情報の必要出力制御量最適化への反映」

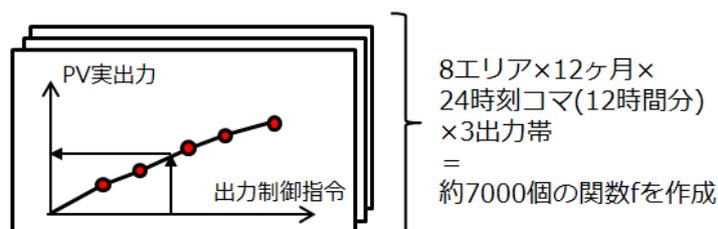
本節では、2-6-1-1-4-1で行う前日発受電計画策定を行うUCと電力需給解析のためのデータ整備と検証、実出力制御量の把握するためのインバータ応答モデルの検討、必要出力制御量最適化への反映のためのデマンドレスポンスへの適用およびPDCAロジックの開発について述べる。

(1) データ整備

1) 日本全国の発電設備のデータ、2) 電力需要データ、3) 電力融通に関するデータ、4) 需給調整力必要量に関するデータを整備し、検証を実施した。

(2) インバータ応答モデルの開発

インバータへの制御指令に対して、様々な日射条件下にあるPVのインバータ応答を模擬するモデルを開発し、モデル出力制御指令の補正機能を実現した。(なお、インバータ応答とは、各PVパネルの出力や出力制御指令に対する、異なる地点の多数のPVインバータ群の合成出力の関係性の事を指す。)



図Ⅲ. 2-6-24 PV実出力模擬関数のイメージ

(3) PDCAロジックの開発

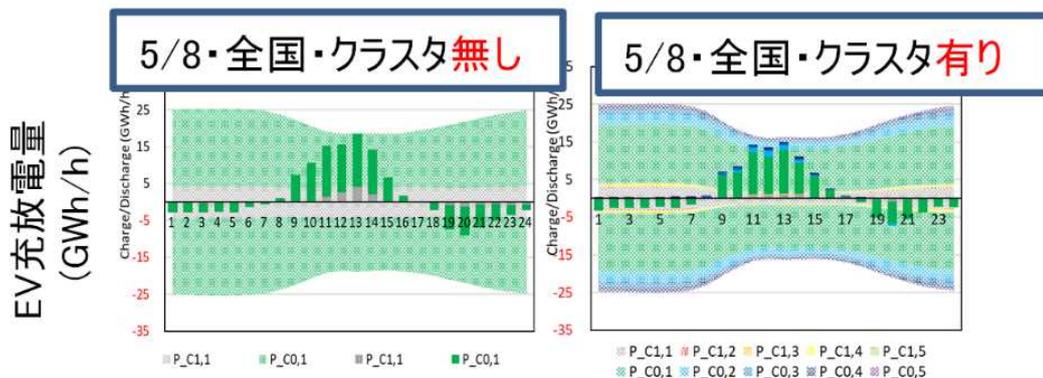
PV インバータ出力の分布を考慮した出力制御量の算出を可能として、エリアへの配分のトライアル&エラーを可能とする PDCA ロジックを開発した（図Ⅲ.2-6-25）。

(4)DR（Demand Response）を反映した制御量の分析

電気自動車とヒートポンプについて複数のクラスタで模擬可能なモデルを開発した（図Ⅲ.2-6-26）。



図Ⅲ.2-6-25 エリア配分を考慮可能な PDCA ロジック



図Ⅲ.2-6-26 複数クラスタによる DR

(5) 需給シミュレーション評価

PDCA サイクルを考慮した発電計画策定と経済負荷配分について評価を実施し課題を抽出した。

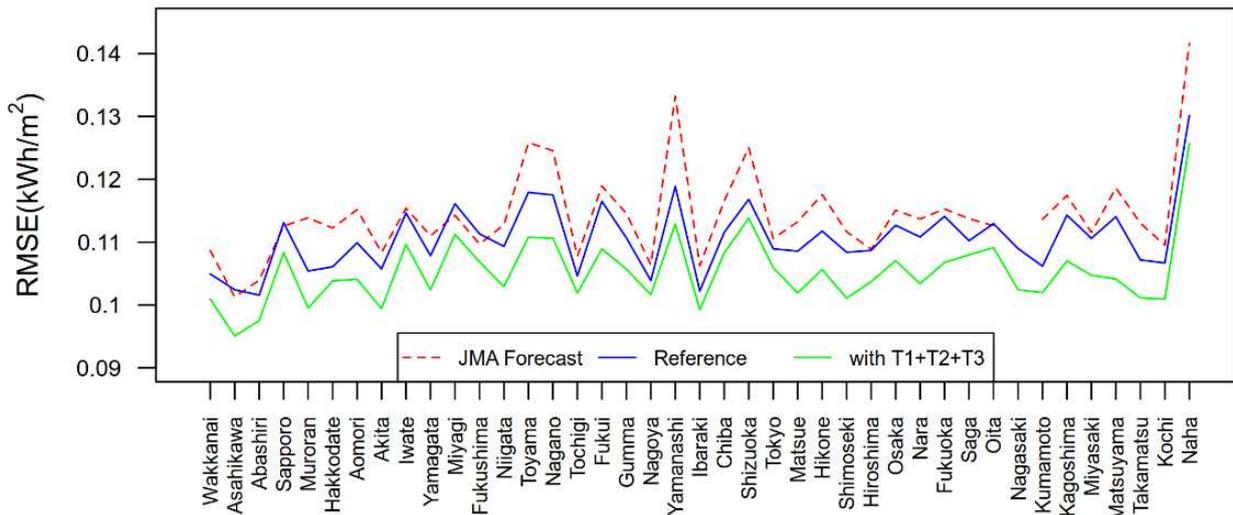
(6) まとめと考察

インバータ応答モデルを開発して実出力制御量を把握した。また、DR を含めた必要出力制御量最適化への反映を実施した。日照や天候による地域的な特性が確認され、効率的な制御指令を実現する上での課題を抽出した。将来の設備の配置を考慮した上で検討を行うことが課題である。

2-6-1-1-4-3 「最適必要出力制御量算定、ならびに出力制御緩和のための太陽光発電出力予測技術開発」

本開発項目では、サブエリアごとの出力予測モデルの開発、出力予測データの作成、予測精度向上を行い1時間前予測などの前日以外での当日出力予測モデルの開発、出力予測データ作成を行った。更に、リアルタイムでのモニタリング情報の活用手段、双方向通信設備が設置されたインバータの付加価値をつけるために必要な仕様の検討を行った。

実施内容としては、予測モデルと複数年のデータ・セットを作成し（サブエリア・広域の前日と当日）、対象エリアの前日予測誤差の特性や、予測と出力制御の関係を分析した。更に、前日予測においては、予測バイアス補正手法と、前日予測精度を改良する手法を検討した。その手法の組み合わせにより、前日予測の誤差を減少させる改良予測モデルを開発した。更に、全国で前日予測の改善を再現できることを確認するため41箇所のデータで前日日照量の予測を行い、従来予測手法と、国内における予測に対する基準としての気象庁のMSMによる前日の日照量予測と比較した（図Ⅲ.2-6-27）。図Ⅲ.2-6-27にあるように、全国で前日予測精度を改善できたことを確認した。

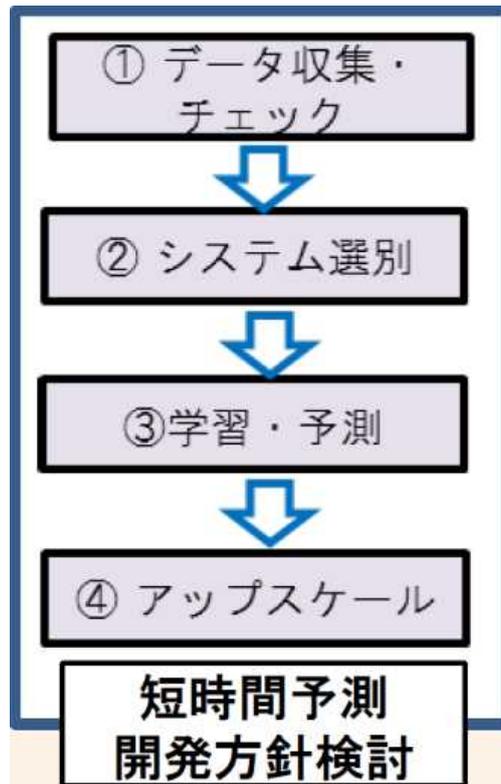


図Ⅲ.2-6-27 気象庁のモデル、従来前日予測のモデル、提案した予測モデルによる前日日照量予測のRMSE

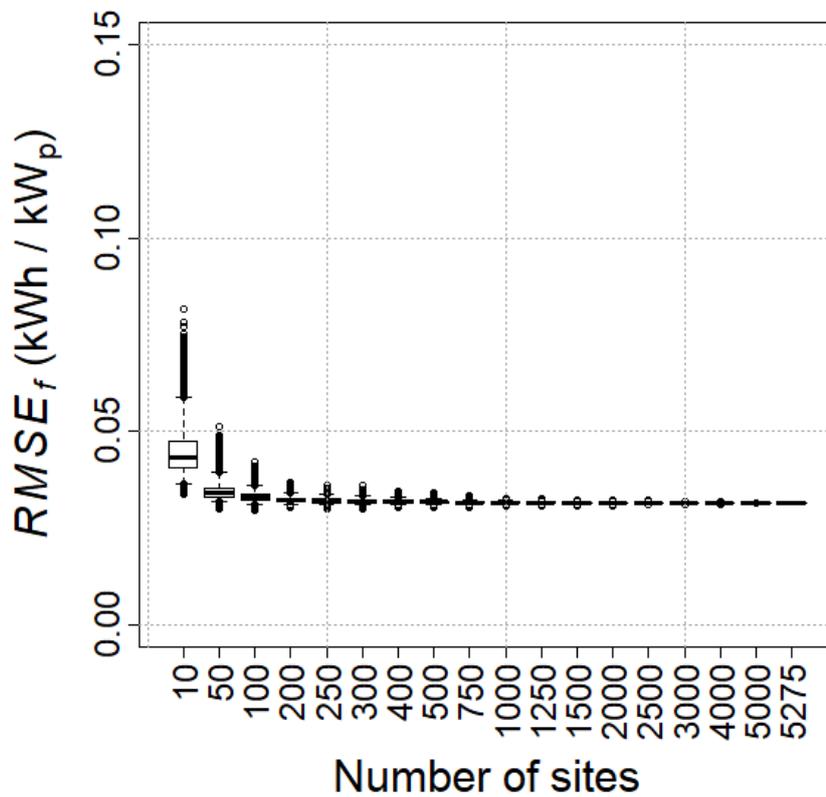
また、電力システムへの前日予測誤差の改善の価値を評価するため、予測精度の改善が前日発電機起動停止計画とPV出力制御へ与える効果を評価する方法論を開発し、その方法により前日予測精度を評価した。

当日予測に関しては、PVの短時間予測の予測誤差低減のために、実測データを利用した予測技術の開発を行った。予測技術は、「データ収集・チェック」「システム選別」「学習・予測」「アップスケーリング」に分かれる（図Ⅲ.2-6-28）。「システム選別」については、約6,000サイトから選別するサイト数を変数とした感度分析を行い、電圧階級別に規格化した発電電力量は、特高は全数近く、高圧・低圧は一定のサイト数を選別することが有効であると示した（最大サイト数を利用した場合の誤差に対して差が1%以下になる条件は、1時間先予測において、特高：34サイト以上、高圧：250サイト以上、低圧：500サイト以上（図Ⅲ.2-6-29）。出力把握については、容量に対する誤差1%以下は、特高：34サイト以上、高圧：200サイト以上、低圧200サイト以上）。「学習・予測」については、PV出力の実績データを利用した短時間（数時間先）の発電予測手法を目的に、持続モデルと数値気象モデルを組み合わせた手法を開発し、予測誤差の低減を行った（図Ⅲ.2-6-30）。「アップスケール」については、電圧階級別に発電特性の相関性の分析を行い、アップスケーリングの方法の考え方を整理する。

将来に向けた課題としては、前日予測のために開発した改良手法の当日や短時間予測への効果分析や、連続的に更新される予測の新しい評価手法の開発が考えられる。

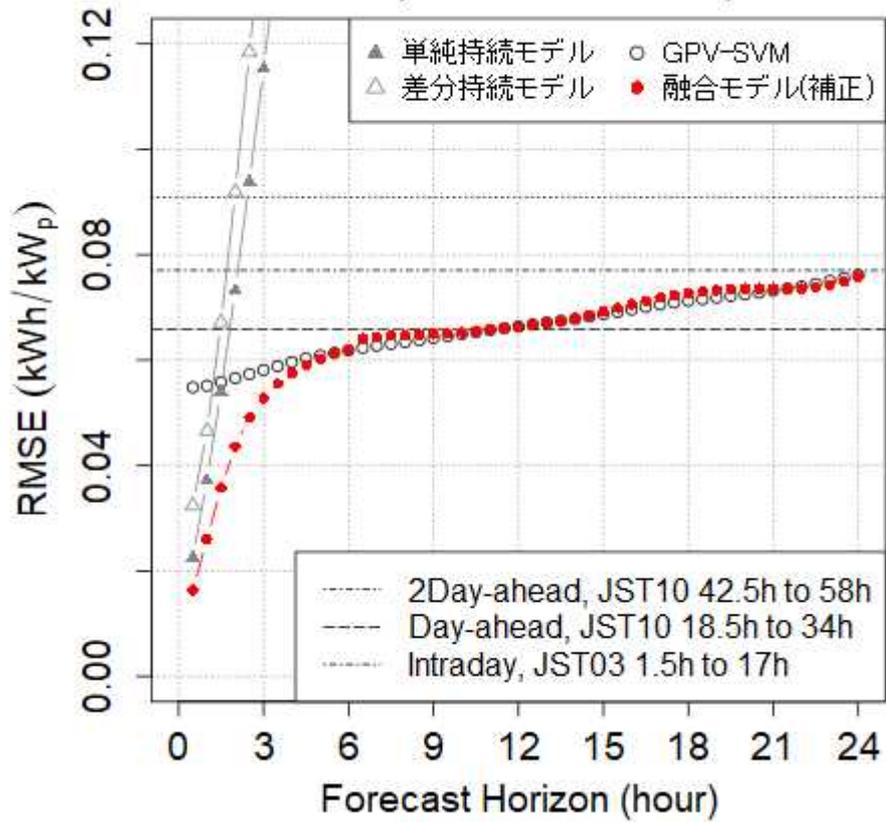


図Ⅲ. 2-6-28 短時間予測の開発方針



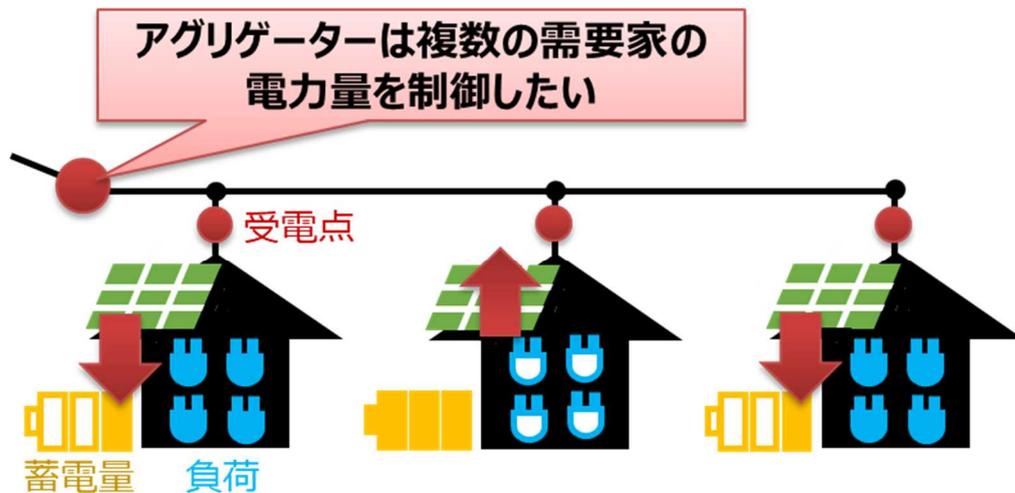
図Ⅲ. 2-6-29 低圧サイトのサイト数に対する1時間先予測のRMSE 変化

RMSEs, n=6033, 2016/04-2017/03,
From 4h to 20h, 0.5h to 24h ahead, KYUSHU

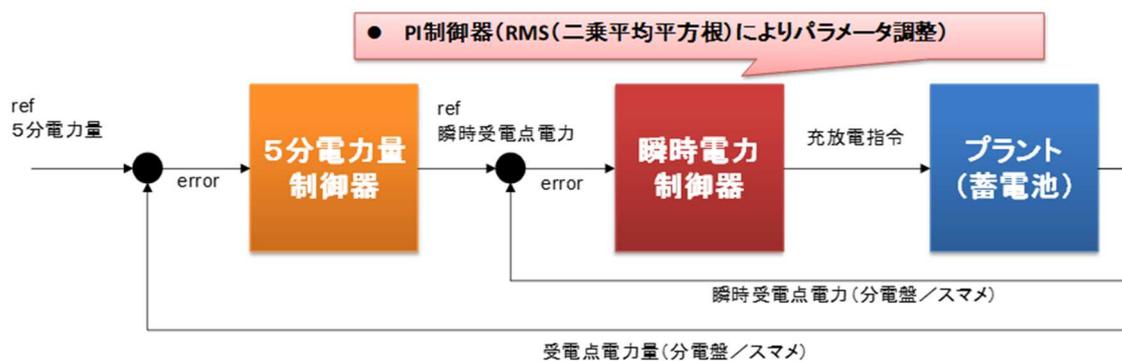


図Ⅲ.2-6-30 短時間予測の Forecast Horizon (x 時間先予測) ごとの予測誤差評価。点線グラフはそれぞれ、持続モデル（黒三角と白三角）、数値気象モデル（白丸）、開発した短時間予測モデル（赤丸）の予測誤差を表す。

更に、将来的に PV 設備を持たない住宅との連動エネルギーマネジメントが可能となる場合を想定し、アグリゲーターが複数需要家の電力量を集約する際に有用となり得る 5 分間電力量制御手法について評価を行った。アグリゲーターから需要家への制御ポイントとして機器への直接制御ではなく、電力契約点での電力量による制御を想定し（図Ⅲ.2-6-33）、通常比較的長い時間となるアグリゲーターサーバから HEMS への指示周期と、比較的短い時間とすることが可能な HEMS 以下の計測・制御周期を協調させる目的で、HEMS への制御指示を契約点での定時 5 分間受電点電力量とする方式について、制御アルゴリズムの HEMS への実装と試験を行い、評価を行った。（制御ブロックを図Ⅲ.2-6-34 に示す。）なお、アルゴリズム開発に際しては、実機蓄電池の特性を組み込んだ制御シミュレーションモデルを用い、制御パラメータの調整を実施した。今回の実証環境においては、定時 5 分間制御有効性を確認できたが、社会実装に向けては、宅内各機器の機器応答速度のばらつき、瞬時電力計測値の時間ばらつきなどのへの考慮が必要と考えられる。



図Ⅲ.2-6-33 想定したアグリゲーターから需要家への制御ポイント



図Ⅲ.2-6-34 5 分間電力量制御の制御ブロック構成

更に、蓄電池によって自家消費を増加させる場合の、設置蓄電池容量最小化を含む経済性を、シミュレーションにより評価した。充放電パターンを最適化するには、PV 出力予測・予測外れ対応などを含む高度な機能が望ましく、HEMS よりもアグリゲーターの指示で行う方が現実的と考えられる。このため、評価結果は、2-6-2-2 のアグリゲーション機能の検証として述べる。

2-6-2-2 「アグリゲーターによる需給コントロール手法の開発」

(実施者：早稲田大学、東京大学、東京電力 HD、東京電力 PG、IAE)

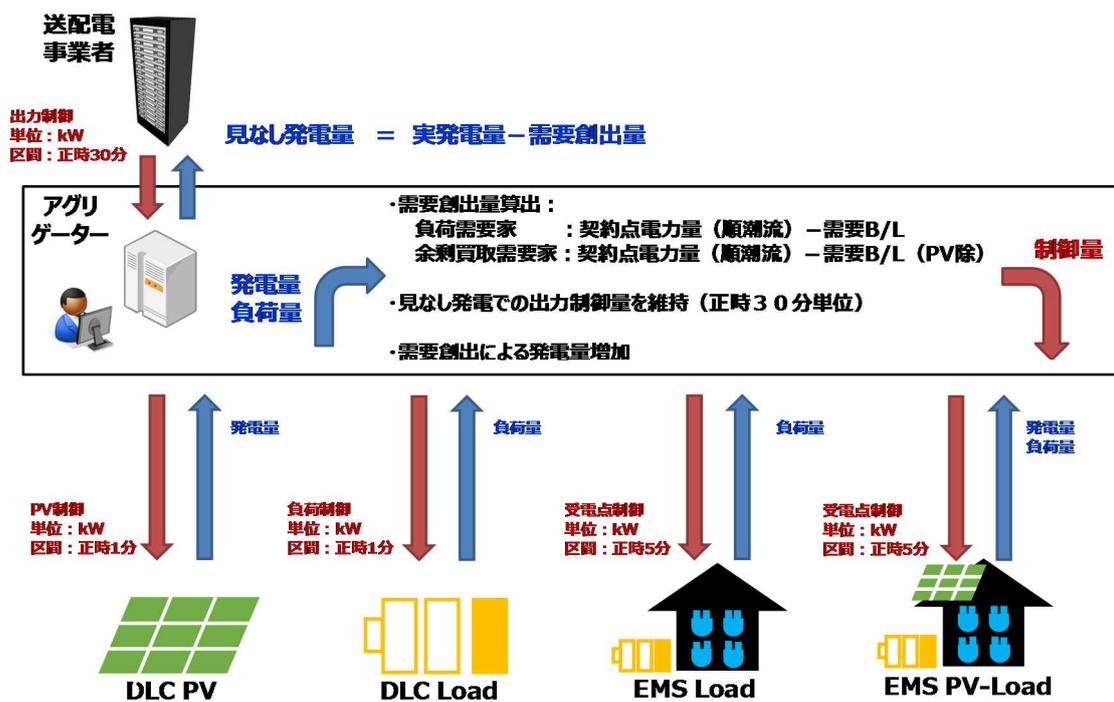
2-6-2-2-1 「太陽光発電の出力制御に適用したアグリゲーション機能の実装と実証」

(実施者：早稲田大学、東京電力 HD、東京電力 PG、IAE)

PV 出力制御に関するアグリゲーションとして、上げ DR の活用による抑制回避がある。現在は送配電事業者のみが出力制御指令の送信と仲介が可能だが、将来的にアグリゲーターが出力制御指令の仲介と逆潮抑制量を請け負う契約が可能となる場合を想定して、現時点での標準通信プロトコルを利用した実証とシミュレーションによる経済性評価を行った。

実証では、全量買取発電所、余剰買取発電所、需要家を組合せた 4 つのユースケースを想定し、早稲田大学に設置した電力サーバー、アグリゲーションサーバーほかの施設と、地理的に離れた茨城県、静岡県太陽光パネル付き実験住宅との間を、ERAB 検討会にて標準化が進み機器別実装ガイドラインが公開されている OpenADR 2.0b により接続し、アグリゲーターと発電所、需要家を組合せた総合的な試験を実施、制御動作の確認を行い、通信プロトコル上の問題が無いことを確認した。

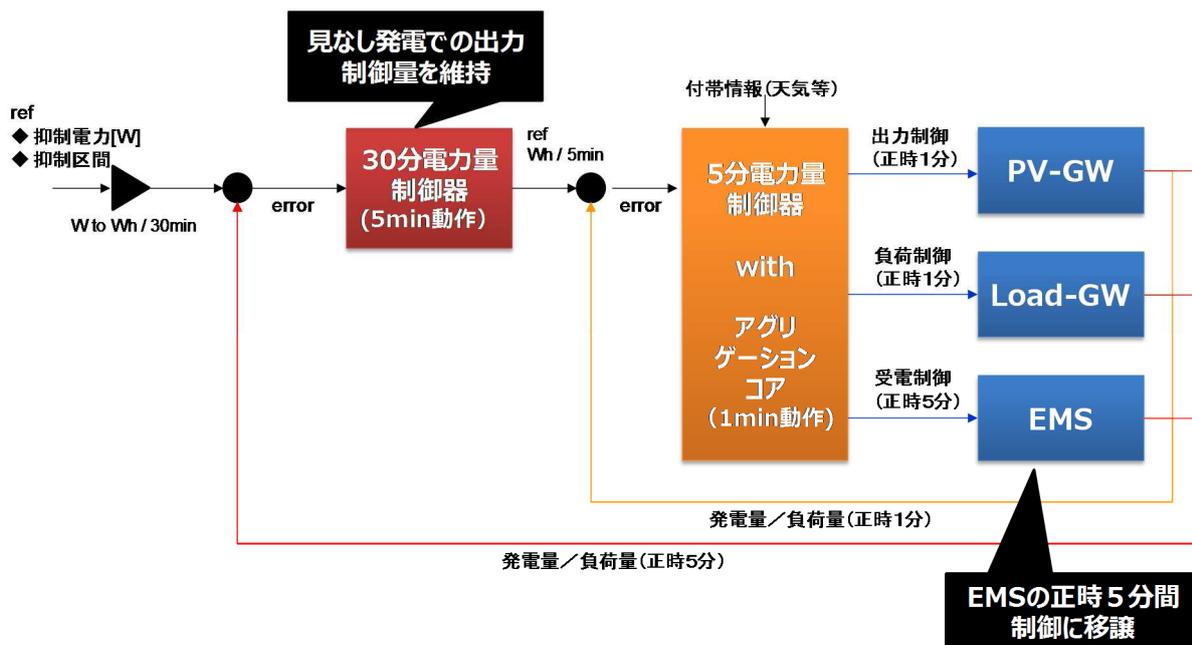
この際、需要家に対する指令方式としては、サーバーから機器へ個別の制御指令を与える DLC (Direct Load Control) レベルと、サーバーからの制御指令は EMS が受信し、EMS が各機器を制御する EMS レベルの 2 種の組合せにより確認を行った。(図Ⅲ. 2-6-35)



図Ⅲ. 2-6-35 5分間電力量制御の制御ブロック構成

また、これらのリソースに対する制御アルゴリズムとして、第1章にて述べた HEMS 側での定時5分間電力量制御を拡張し、サーバー側においても5分間電力量制御、30分電力量制御を行う手法を開発、実装と実験を行い、効果を確認した。(図Ⅲ. 2-6-36 に制御ブロック構成を示す)

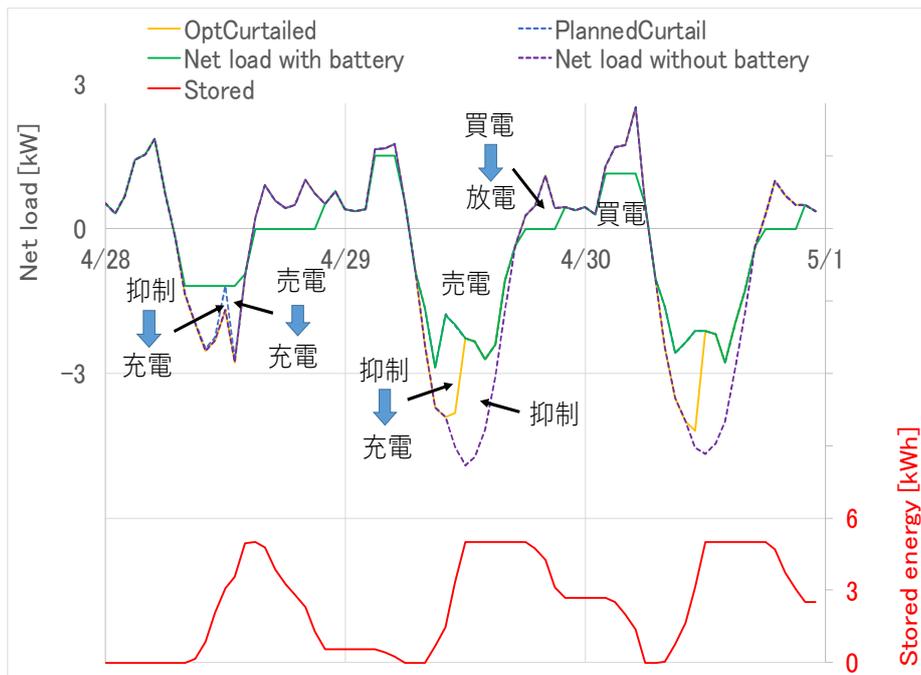
制御アルゴリズム開発に際しては、機器制御シミュレーションモデルを用いたパラメータ調整を行い、また、実験に際しては電力量制御器の実装有無や制御指令の送信周期を変化させ、各々の影響や効果を確認した。



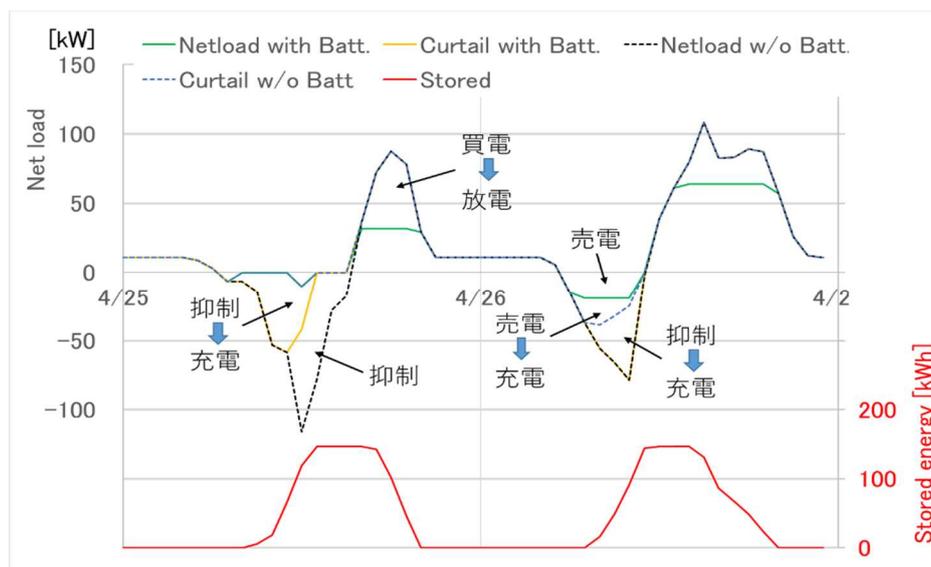
図Ⅲ. 2-6-36 PV アグリゲーションにおける制御ブロックの構成

また、PV・蓄電池併設住宅が、出力抑制の代わりに充電し、PVの自家消費を増やす場合の経済性・環境性を評価した。アグリゲーターは、各住宅に毎時の逆潮最大値を指示する。PV出力の売電単価が回避可能原価程度になった状況で、例えば、PV5.9kWに6万円/kWhの蓄電池5kWhを併設した住宅は、逆潮最大値ほかの制約条件の下で、図Ⅲ. 2-6-37に示す通り、出力抑制または売電の一部を充電で代替し、夜間等に放電して買電を減らすことで年経費を削減できる。この住宅では、蓄電池導入によりPV発電電力量抑制率が16.4→3.2%と削減され、設備費と電気料金を含む年経費は15.0→13.9万円、蓄電池の投資回収年は9.8年となる。経済性は、出力抑制量・時刻別需要・蓄電池単価・売電単価等によって大きく変化するが、九州のZEH（ネットゼロ・エネルギーハウス）142軒で計算した平均値では、最適蓄電容量は4.5kWh程度であり、PV抑制量が多い住宅ほど、大きな蓄電容量でも投資回収しやすくなる傾向が見られた。また、系統電源モデルと需要家モデルを組み合わせたシミュレーションで評価すると、出力抑制の回避等により、充放電ロスがあってもCO₂排出量は減少する可能性のあることが分かった。また、PV出力の予測外れがあると、抑制回避量が減り、年経費がわずかに増加した。

業務用需要家では、蓄電池導入による契約電力削減効果が、経済性に大きく影響する。冷暖房による需要ピーク期は、ピーク時に放電して年間最大電力を減らす一方、ピーク期以外は、図Ⅲ. 2-6-38に示す通り昼充電・夜放電により、PV自家消費増と出力抑制回避に利用するというように、蓄電池を複合目的に利用することによって経済性が増加した。図Ⅲ. 2-6-38は、需要家にPV260kWと蓄電池147kWhを併設した場合で、契約電力287→211kW、出力抑制率5→1%、PV自家消費率77→90%、蓄電設備費投資回収年5.4年となる。



図Ⅲ. 2-6-37 PV付住宅に蓄電池を併設した場合のシミュレーション波形の例

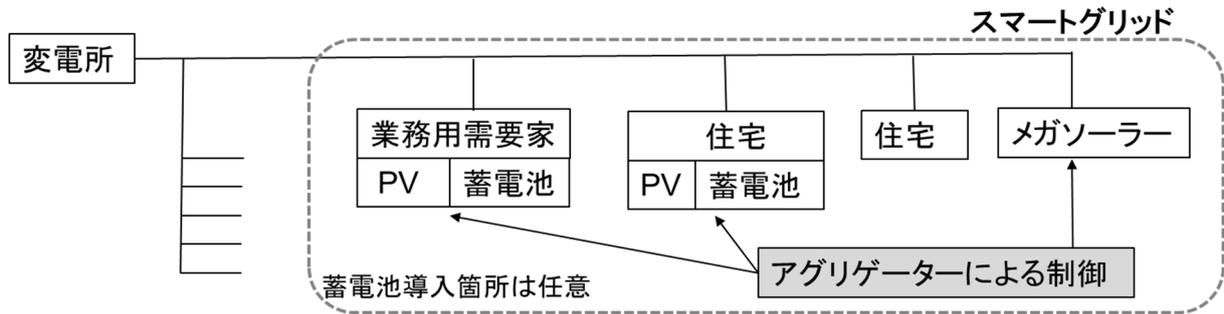


図Ⅲ. 2-6-38 業務用需要家にPVと蓄電池を導入した場合のシミュレーション波形の例

住宅でも業務用需要家でも、需要パターンによっては、最適蓄電容量も経済効果も小さくなるが、例えば、配電線単位で発電余剰と蓄電池とを共用し、最適な設備投資と運用を行えば、個別に最適化する場合よりも経済性が向上することを図Ⅲ. 2-6-39 に示すモデルで確認した。

PV付住宅1軒ごとに5kWh、各業務用需要家にそれぞれ最適容量の蓄電池を導入する「個別電池有」の場合、PV発電量の抑制率は18→13%と減少するが、業務用は昼の需要が多いため発電余剰が少なく、経済的な蓄電容量は比較的小さい。この時の年経費は1.73億円となった。配電線合計潮流を対象に最適な蓄電容量を導入して充放電を行う「全体電池有」では、住宅やメガソーラーでの余剰分を含め蓄電池の設備利用率を向上できるので、大きな蓄電容量が導入可能で、抑制率は5%となり、業務用需要家での契約電力削減効果も考慮すると年経費は1.63億円となった。な

お、ここでは配電線電圧への影響を考慮していないが、蓄電池の導入位置によっては、制約を生じたり、逆に電圧プロファイルの改善に貢献したりする可能性がある。



図Ⅲ. 2-6-39 発電余剰と蓄電池を配電線規模で共有化するモデル

表Ⅲ. 2-6-5 配電線規模シミュレーションでの個別最適と全体最適の計算結果比較

ケース	蓄電容量		年間 PV 抑制量			発電量抑制率	年経費 [億円]
	住宅	業務用	住宅	業務用	メガソーラー		
個別最適	0kWh	0kWh	215MWh	33MWh	358MWh	18%	1.78
個別電池有	710kWh	1,004kWh	71MWh	3MWh	358MWh	13%	1.73
全体最適	0kWh		611MWh			18%	1.66
全体電池有	2,352kWh		172MWh			5%	1.63

今後の課題としては、2-6-1-1-4 で述べた、最適出力制御量算出技術や、出力予測技術の高度化に対応した需要家設置蓄電池の制御の高度化、次節で述べる IoT を使った需要制御や、給湯器・EV を含めた需要の時間シフトと、蓄電池とを組合せた PV 自家消費拡大の経済性向上、発電余剰と蓄電池とを共用する場合に流通設備の公平な設備費回収が可能な制度面や料金面の課題などがあげられる。

2-6-2-2-2 「IoT を活用した太陽光出力抑制の緩和」 (実施者：東京大学)

本件の目的は、「PV による余剰発電を、新たな需要を創出する DR と組み合わせ、結果として出力制御量を緩和する仕組みの研究開発」である。所謂重点 8 機器を DR 資源とした既往研究は多いが、本研究は IoT (Internet of Things) 化が進む家電機器を DR 資源の主軸に置いて、①これらをアグリゲーターが起動/停止する仕組みの技術実装トライアル、②シミュレーションによる創出需要の有意性確認、③ユーザーの受容性、効用維持などを勘案した本方式による DR の経済性評価からなる。

①については、図Ⅲ. 2-6-40 のようなアーキテクチャーを念頭におき、実際に IoT 家電を模す実験システムを組んで、アグリゲーターが家電機器をディスパッチして需要を創出する実験を実施した。成果としては、(a) 需要創出と既存 PCS の応答のズレを確認し、その改善策を提案するとともに、(b) 図Ⅲ. 2-6-41 に示すように需要創出量と所要量とのズレに関する検討を行い、予測値 (将来的には IoT 環境によるビッグデータ/AI の活用が適切) による創出需要の精度向上策の効果を実験により確認した。さらに、複数の PV 抑制信号方式についても確認し、これに適用する場

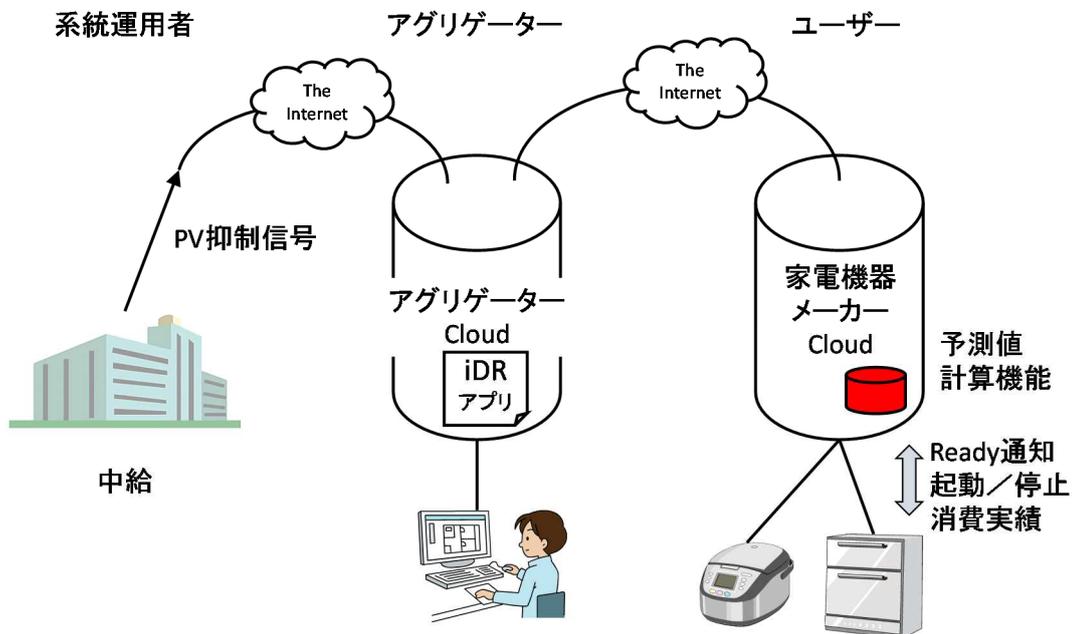
合の追加情報などを整理した。このようなアーキテクチャーの DR はエネルギー領域のみならず、家電機器等のメーカーとの協業も必要であり、その具体的方策は今後の課題である。

②については、図Ⅲ.2-6-42 に示すように、アグリゲーターによる家電機器の起動可否状態を知る方法を織り込んだシステムのモデル化を行い、それを基にした計算機シミュレーションを実施した(図Ⅲ.2-6-43)。その成果として、家電機器が PV 余剰発電に対して有意な DR 資源となる可能性を確認した。このモデル上で仮定するディスパッチアルゴリズムなどは、具体的なサービス形態に合わせて様々なものが想定できるため、幅広く検討することが今後の課題である。

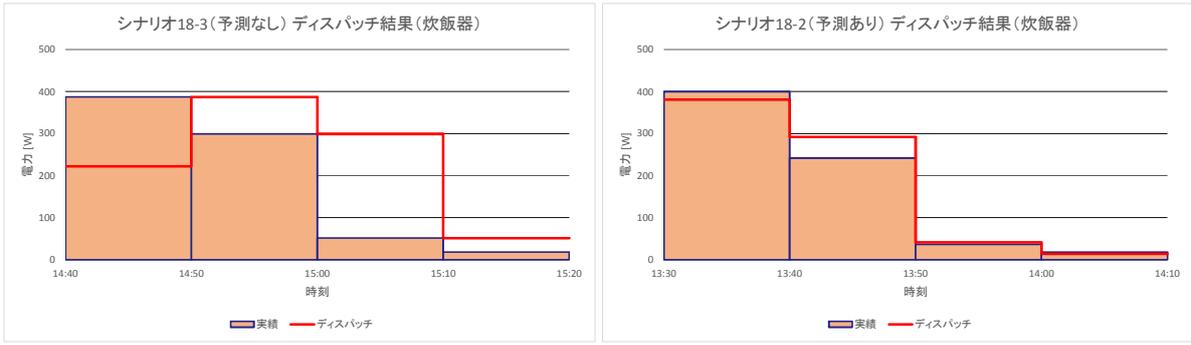
③では、今までの HEMS データ分析の実績を踏まえ、DR 資源量の推定や、その受容性についての調査研究を行った。具体的には、以下を行った。

- (1) DR ポテンシャル推計 概念整理、文献調査
- (2) HEMS データに基づく 3 家電(洗濯・乾燥機、浴室乾燥機、食器洗い乾燥機)のポテンシャル推計
- (3) アンケートに基づく家庭用機器のポテンシャル推計
- (4) 系統需給シミュレーションにおける電気自動車(EV)、エコキュート DR のモデル化

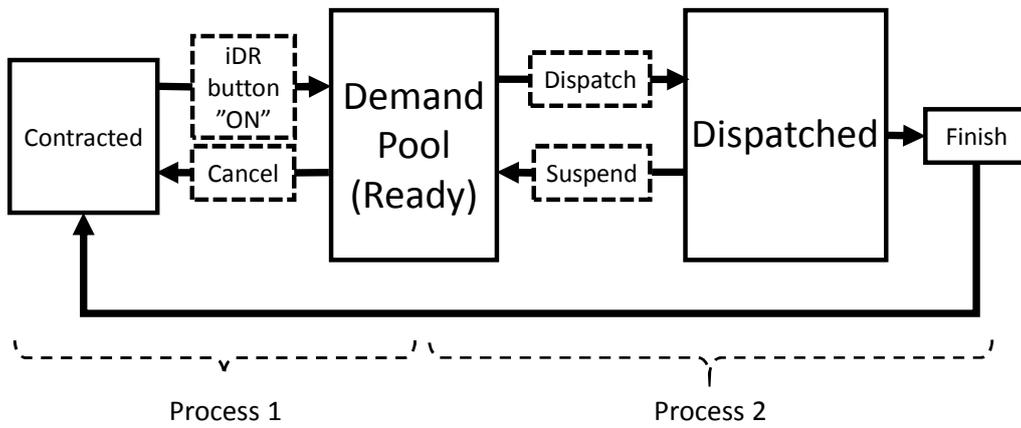
各種家庭機器の DR ポテンシャルが得られ、EV やエコキュートの経済的、環境価値、PV 出力の抑制緩和効果を定量的に評価することができた。系統需給シミュレーションにおいては、PV103GW、風力 32GW 導入時の 2030 年における全国の再エネ出力抑制率は 17%、抑制量は 33.6TWh であったが、自家用車の 16%の EV 導入(成り行き充電)により抑制量を 2%削減することができ、充電制御(勤務地あり)で 11%、充放電制御(勤務地あり)で 21%減らすことができる結果となった。EV の制御、特に勤務地での利用を進めることが、再エネの有効利用に大きく貢献する。個別の家庭における PV 抑制効果を各種機器の運用組み合わせを含めて、定量的に評価することが今後の課題である。



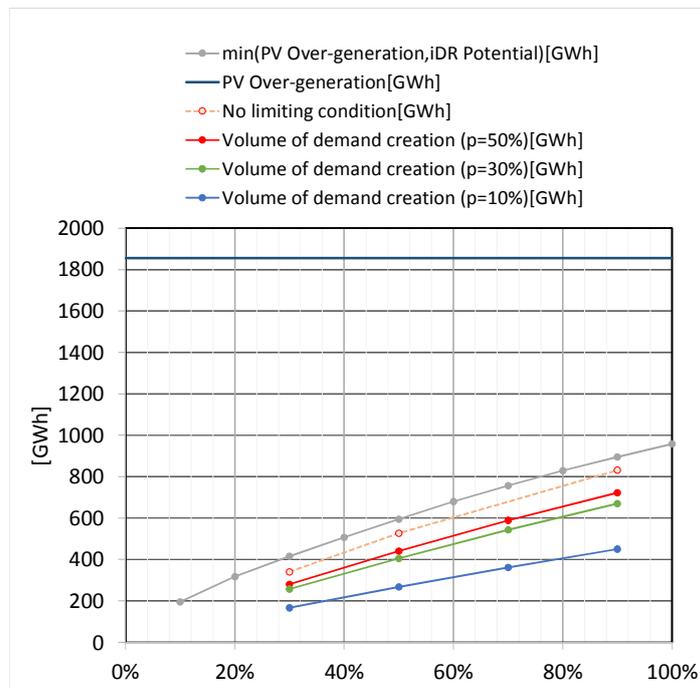
図Ⅲ.2-6-40 想定したアーキテクチャー



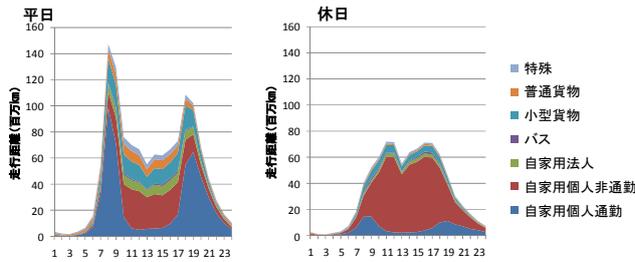
図Ⅲ. 2-6-41 予測値の活用による需要創出精度向上



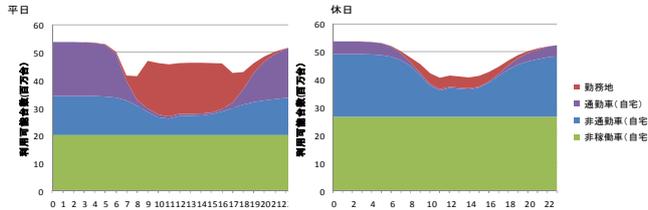
図Ⅲ. 2-6-42 システムのモデル化



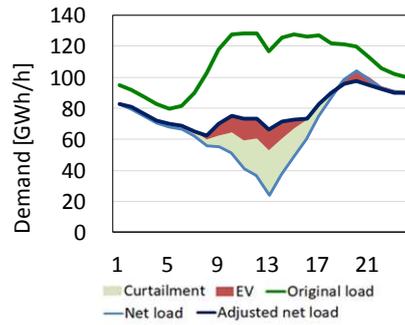
図Ⅲ. 2-6-43 創出需要試算



車種別EV走行パターン



EV対応自家用乗用車利用可能台数



自家用乗用車DRを含めた需給シミュレーション結果例
 (全国2030年度、PV導入103GW時、EV導入1200万台想定)
 (充放電制御、勤務地充電あり)

図Ⅲ. 2-6-44 EV の PV 出力抑制緩和効果の評価

2-6-2-3 「分散型電源遠隔制御高度化に関する研究開発」

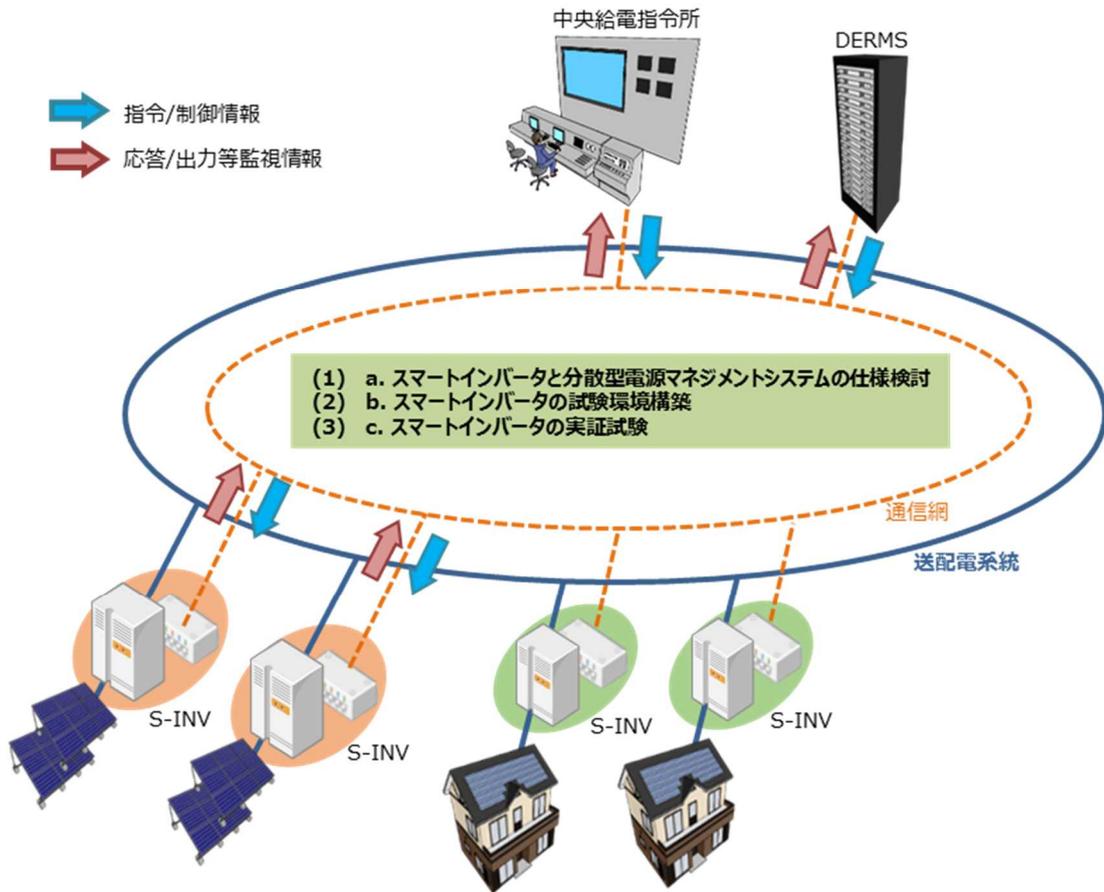
(実施者：東京電力 HD、東京電力 PG、早稲田大学、IAE)

再生可能エネルギー発電設備は分散的に設置され、出力が変動的であるという特徴を有す。再生可能エネルギーの導入が拡大していくと、需給調整のために既存の大規模集中電源による発電量を減少させる必要があるため、中長期的には大規模集中電源は減少することになる。これは、大規模電源が担っていた需給変動への対応、すなわちアンシラリーサービスの担い手が減少していくことを意味する。それに加えて、送配電システムの電力潮流が大きく変化することとなり、大量に導入するためには需給調整力低下や潮流・電圧管理の複雑化等の課題に対処する必要がある。

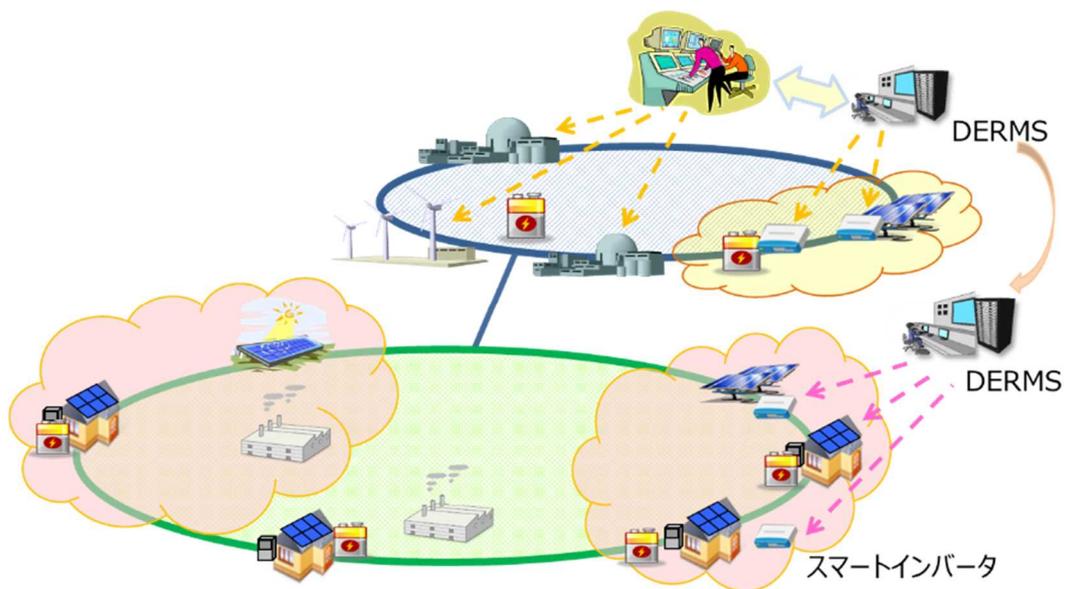
この問題に対して、欧米を中心に系統連系規程（グリッドコード）、規格等によって PV 等の分散型電源に対して、電力系統支援機能を提供することを求めていく方向で議論が進んでいる。米国では、いわゆる「スマートインバータ（Smart Inverter、以下 S-INV）」と呼ばれるパワーコンディショナ（Power Conditioning System、以下 PCS の高機能化の検討が進んでいる。また、分散型エネルギー資源（Distributed Energy Resources、以下 DER）を統合管理するシステムとして「DER マネジメントシステム（Distributed Energy Resources Management System、以下 DERMS）」という概念が提唱されており、これに関連する取り組みが行われつつある。欧州においても、分散型電源の具備すべき機能が各国で義務付けられ、それに対応した分散型電源が導入され始めており、既設の分散型電源についても同様の規格に適合するように PCS の改修を行う必要性も出てきている。各国によって状況は異なっているものの、義務付けられる対象範囲が中圧に連系する分散型電源から低圧に連系する分散型電源まで広がってきており、各国の電力会社は、これらの中圧・低圧連系の分散型電源の制御をどのように行うかという点についても検討を進めている。このような動きは欧米のみならず、オーストラリアでも見られ、同国ではインバータの規格に「デマンドレスポンスモード」の機能が追加され、デマンドレスポンスも含めた統合的な制御が可能になっている。

図Ⅲ. 2-6-45 に「分散型電源遠隔制御高度化に関する研究開発事業」のイメージ図を示す。S-INV は、自らが計測する系統の周波数や電圧に応じた自律的な出力制御、DERMS と組み合わせた遠隔からの監視・制御、通信機能を用いた系統状況や時季に応じた設定変更等を行うことができ

る。多数の S-INV が系統に接続された時にその性能を十分に発揮するためには、それらが持つ個々の情報を集約しつつ、系統状況に基づいて出される制御や設定変更の指令をスムーズに配信可能な監視制御システム、すなわち DERMS が必要となる。DERMS は中央給電指令所等において PV の発電出力を把握し、これを踏まえた出力制御指令から、ローカル系統における集中的な潮流・電圧制御まで多岐に渡って活用されることが想定される（図Ⅲ. 2-6-46）。



図Ⅲ. 2-6-45 分散型電源遠隔制御高度化に関する研究開発事業イメージ



図Ⅲ. 2-6-46 DERMS による S-INV 制御イメージ

本実証ではこれらのことを鑑み、海外における PCS 高機能化の動きに重点を置いて、S-INV や DERMS に関する動向調査を実施し、我が国において S-INV が持つべき機能仕様およびそれらの遠隔制御を行うシステムである DERMS の仕様を検討した。海外における再生可能エネルギー導入拡大に伴い懸念される課題や取り組み状況を参考に検討した仕様に基づき実証試験システム・機器を開発し、国内における S-INV の標準化に向けた実証試験を行った。

本実証では、大規模の発電所への適用を想定した DERMS・S-INV システム（以下、大規模 DERMS・S-INV）と中小規模以下の発電所への適用を想定した DERMS・S-INV システム（以下、中小規模 DERMS・S-INV）の 2 種類のシステムを構築し、模擬システム環境において DERMS と S-INV を組み合わせて実証試験を行った。大規模 DERMS・S-INV の通信プロトコルには、国際標準規格の IEC 61850 を選定し、上位システムの運用に求められるであろうリアルタイムな監視・制御を志向した。中小規模 DERMS・S-INV の通信プロトコルには、ERAB 検討会で標準化が進み、緊急実証事業等でも実績のある OpenADR 2.0b を選定した。本事業の第 2 部で得られた知見を活かし、出力抑制だけでなく各 S-INV が計測している電力システムの電流・電圧等の監視や設定値の取得・変更、さらには遠隔からの有効電力制御・無効電力制御に対応できるよう、OpenADR 2.0b に改良を施した。

分散型電源遠隔制御高度化に関する研究開発では、始めに海外における分散型電源技術の動向や議論の状況および本実証で検討した S-INV や DERMS の仕様検討の結果を纏めた。検討に活用した海外現地訪問調査等を通じて得られた情報を整理し、将来的に電力システムの安定運用のために必要となると考えられる、S-INV や DERMS が持つべき機能・通信仕様の検討結果を報告する。

次に、上記で決定した仕様に基づき開発した S-INV および DERMS の特性と開発の際に明らかになった、実用化に向けた課題等を整理した後に、大規模用 DERMS・中小規模用 DERMS それぞれの試験環境について説明する。大規模用 DERMS・S-INV は東京電力の経営技術戦略研究所に設置し、Real Time Digital Simulator (RTDS) の模擬送電システムにおいて評価試験を行った。また、中小規模用 DERMS・S-INV は早稲田大学の EMS 新宿実証センターに設置し、アナログ配電システムシミュレータ (ANSWER) 環境において評価試験を行った。

最後に、上記で構築した試験環境に S-INV と DERMS を接続して行った評価試験の結果を報告する。RTDS や ANSWER で送配電システムのモデルを構築し、PV の導入が拡大した際のシステム課題を明らかにしたうえで、S-INV の各機能に対応した複数の評価試験を行った。DERMS からの通信も含めた一気通貫の試験を行うことで、S-INV の電気的な振る舞いだけでなく、実用化に向けたリアルな課題抽出が実現できた。また、通信システムは汎用のネットワークプロトコル、通信回線および通信機器の使用が想定されることから、外部からのサイバー攻撃に対するセキュリティについての信頼性検討を実施した。S-INV、DERMS および監視機能等を含むシステムのモデル化を行い、当該モデルに対するリスク分析を実施した。また、リスク分析の結果を踏まえ、システムのセキュリティ評価項目を整理した。整理した評価項目について、開発した S-INV および DERMS に対する評価試験を実施し、それぞれのセキュリティ評価方法を整理した。

本実証では、S-INV と DERMS を開発し、IEC 61850 と OpenADR 2.0b の 2 種類の通信プロトコルにおいて S-INV の監視・制御を実現した。また、再生可能エネルギーが大量導入された電力システムの運用の際に想定される課題を整理するとともに、S-INV のシステム安定化効果を確認できた。S-INV の各機能は設定が自在で、システム状況に応じて最適な設定で動作させることが可能である。一方で選択肢が膨大であるため、従来の手法と比べて電力システムの運用や管理が複雑化する可能性がある。各機能のパラメータ選定手法および運用手法の確立が今後の課題になると考えられる。

a. スマートインバータとのDERMSの仕様検討

- ・スマートインバータとDERMSの機能仕様・通信仕様を策定
- ・スマートインバータの試験方法および試験手順を策定

b. スマートインバータの開発・試験環境構築

- ・マルチベンダでスマートインバータを開発し動作を確認
- ・2タイプのDERMSを開発し、スマートインバータの遠隔監視制御を実現

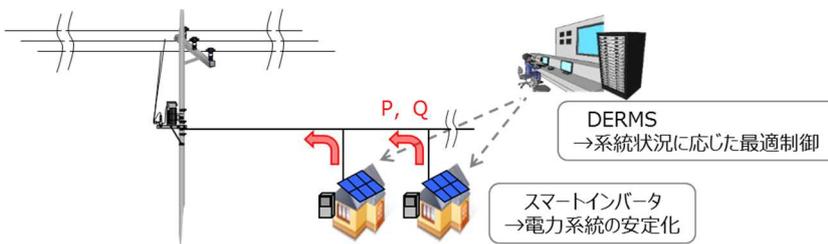
c. スマートインバータの実証試験

- ・再エネ大量導入時の電力系統における課題を整理
- ・スマートインバータの各機能が系統にもたらす効果を検証
- ・スマートインバータシステムのセキュリティ評価項目および評価方法を整理

本実証で実装した系統安定化機能

機能一覧
1. 単独運転検出
2. ライドスルー（電圧・周波数）
3. Volt-VAR制御
4. Ramp Rate / Soft-Start
5. 力率一定制御
6. 分散型電源モニタリング
7. 分散型電源の解列/再連系
8. 最大有効電力制御
9. 有効電力制御
10. 無効電力制御
11. Frequency-Watt制御
12. Volt-Watt制御
13. 動的無効電流制御
14. スケジューリング

スマートインバータの実用化に向けたリアルな課題抽出を実施



図Ⅲ. 2-6-47 分散型電源遠隔制御高度化に関する研究開発の概要

3. 成果の普及

3.1 論文等の対外発表等による成果の普及

NEDO は各実施者に対し、本プロジェクトの成果を機密データ情報の流出に配慮しつつ、実用化、事業化につながる等、有効的なものは適切に成果を発表・公表するように指導している。本プロジェクト全体の情報発信件数は、2019年3月末事業終了以降におけるものも含め、論文が310件、発表・講演が135件、新聞・雑誌等への掲載が65件となっている。その他、展示会への出展が9件と、成果の普及に向け積極的な取り組みを進めている。

本事業における各実施者の論文等の対外発表の実績を、表3-2に示す。

表3-2 論文等の対外発表の実績

	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	以降	計
特許	0件	0件	0件	0件	1件	0件	1件
論文	7件	39件	62件	59件	122件	21件	310件
発表・講演	17件	31件	18件	28件	31件	10件	135件
新聞・雑誌等への掲載	8件	25件	10件	7件	7件	8件	65件
展示会への出展	3件	5件	1件	0件	0件	0件	9件

注) 発表・講演に論文発表分は不含。

- 多数の論文発行等により、積極的な技術公表を展開。
- 電気新聞、電波新聞、電気評論、OHMなどの業界誌のみならず、日本経済新聞などの一般誌でも成果の発表を行い、広く理解を得られるように推進した。

3.2 標準化施策等との連携による成果の普及

NEDO は各実施者に対し、標準化施策等との連携について、得られた研究開発の成果については、標準化等との連携を図るため関係者へのデータ提供、標準案の提案等を積極的に行うよう指導している。具体的には以下のような内容について、標準化施策等との連携を図った。

- 風力発電の遠隔出力制御に係る技術仕様について、日本風力発電協会及び日本小型風力発電協会の協力を得てとりまとめ、国の審議会等で報告し全国に展開した
- 太陽光発電設備の出力制御対応機器（出力制御機能付きPCS含む）の技術要件と通信方式（単方向方式）の標準化仕様について、日本電機機器工業会等と調整を図りながら完成し、国の審議会等で報告し全国に展開した。
- 上記について、設備導入時には一般送配電事業者より発電事業者やメーカー等に一般公開することで設備構築に繋げ、再生可能エネルギーの遠隔出力制御機能を実現した。

4. 知的財産権等の確保に向けた取り組み

4.1 特許の取得について

特許については、本事業の目的は政府の方針である再生可能エネルギーの導入拡大に対する基盤技術の普及であることから、成果に関して公開（オープン）を基本としており、事業者の特許申請に当たっては、本事業の目的（国の公共の利益）に照らし合わせ、当該技術の第三者の利用について協議させていただいている。

なお、本プロジェクトの出願・登録の動向を把握しており、2019年3月末時点での本プロジェクト全体の特許出願件数は1件（国内出願）となっている。

本事業における実施者の特許出願の概要については、以下の通りである。

<特許出願実績>

番号	出願者	国内外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	東京大学、他	国内	2018年5月	出願	電力制御、自家発電出力制御装置、電力管理システムおよび電力制御方法	東京大学、他

表 3-3 特許出願の実績

- 本事業における成果はソフト開発が主体で、かつ仕様に関しても公開を基本としている。
- 出願特許は、一部本事業の委託先以外の企業の技術を含む制御手法についてのものであり、その企業の知的財産権の維持のために出願したもの。（以後の当該技術の第三者の利用については、出願者との別途協議による。）

4.2 知的財産権の帰属について

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとしている。（産業技術力強化法第19条（日本版バイ・ドール条項）による）

4. 成果の実用化・事業化に向けた戦略及び取り組み、見通し

1. 研究開発項目ごとの実用化・事業化の評価基準

本プロジェクトでは各WGにより実施内容が異なる事から、当然目標と成果見通しが各WGで異なるが、何れも再生可能エネルギーの大量導入時の需給運用における基盤技術の構築を最終的な目標としている。以降、実用化あるいは事業化に向けた見通しと取り組み状況について、各WG単位で示す。

なお、研究開発項目ごとの実用化・事業化の評価基準は以下の通りとする。

**【研究開発項目Ⅰ：風力発電予測・制御高度化および、
研究開発項目Ⅱ：予測技術系統運用シミュレーション】**

必要な技術を確認し、制御システム、サービス等の準備を完了すること。さらに、周辺環境の整備（再エネ導入量の拡大、電力運用ルールの変更による電力市場の創出等）の進捗を踏まえつつ、当該研究開発に係る制御システム、サービス等の社会的利用（顧客への提供等）を開始すること。

【研究開発項目Ⅲ：再生可能エネルギー連系拡大対策高度化】

再エネの急激な増加に対応するための省令改正を受けて、実現すべき再エネ出力制御技術について、必要な時期までに使用可能な水準まで確立すること。さらに、本事業で開発した成果が、再エネ出力制御が必要となった地域において速やかに活用されることによって、政策（再エネ発電事業の拡大）に貢献すること。

また、研究開発項目ごとの評価基準から細分化した研究開発WGごとの実用化・事業化の評価基準は、以下の通りとする。

ランプ予測技術開発WG	本事業で開発した予測システムが、出力予測サービスとして展開されること。（風力発電の導入拡大が見込まれる主要な一般送配電事業者に展開）
蓄エネルギー制御技術WG	本事業で開発した制御ロジックが、蓄エネルギーシステムにて活用されること。（再エネ側の出力変動緩和や計画発電のニーズに対応）
需給シミュレーションWG	本事業で開発した需給シミュレータが、関連する業界や企業で活用されること。（一般送配電事業者だけでなく、発電事業者や政策関係者、アカデミアも活用できること）
実証WG	本事業で開発したEMSシステム仕様が、関連する業界や企業で活用されること。（実質実用化段階にある。その販売展開）
出力制御技術（風力）WG	本事業で開発した出力制御システム仕様が、関連する業界や企業で活用されること。（風力発電の遠隔出力制御の活用）
出力制御技術（太陽光）WG	本事業で開発した出力制御システム仕様が、関連する業界や企業で活用されること。（太陽光発電の遠隔出力制御の活用）

表 4-1 研究開発WGごとの実用化・事業化の評価基準

再生可能エネルギーの導入状況、電力自由化の進行状況を見据えて、実証されたシステムやソフトウェアを活用できる電力運用の環境、導入するために必要な制度論の裏打ちがあって初めて実用化可能となる。また、実用の際には、この事業で開発されたシステムやソフトウェアはサイドカスタマイズされて実用化されるものとする。

2. 研究開発項目ごとの実用化・事業化に向けた戦略及び取り組み、見通し

2.1 研究開発項目（I） 風力発電予測・制御高度化：ランプ予測技術開発WG

<評価基準>

【研究開発項目 I：風力発電予測・制御高度化】

必要な技術を確立し、制御システム、サービス等の準備を完了すること。さらに、周辺環境の整備（再エネ導入量の拡大、電力運用ルールの変更による電力市場の創出等）の進捗を踏まえつつ、当該研究開発に係る制御システム、サービス等の社会的利用（顧客への提供等）を開始すること。

ランプ予測技術開発WG

本事業で開発した予測システムが、出力予測サービスとして展開されること。（風力発電の導入拡大が見込まれる主要な一般送配電事業者に展開）

【外部環境の動向】

- 2018年7月に更新されたエネルギー基本計画において、2030年に向けた数値目標（再エネ導入比率：22～24%、うち風力発電は1.7%程度（現在、0.4%程度））が設定され、再エネ主力電源化に向けた方針が示された。
- 今後、電源接続案件募集プロセスの導入や、コネクト&マネージの検討などにより、既存の電力システムが最大限活用されることで、風力の導入拡大が見込まれる。
- FIT制度改正の議論が始まっており、再エネ自立化に向けた検討がエネ庁を中心に始まっている。

【実用化・事業化の見通し】

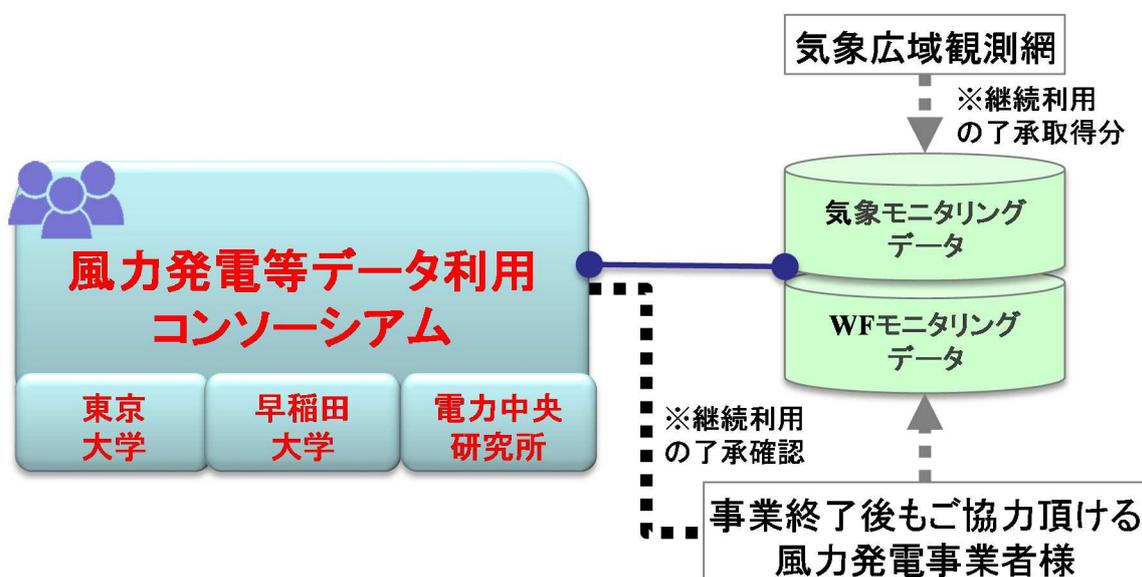
- 今回の研究開発に携わった事業者が協力体制を構築した形で技術検討を継続しつつ、プロジェクト終了年度から、実用化・事業化が可能な出力予測サービスをシステムとして一般送配電事業者に対して提供、販売していく。
- 今後、エネルギー基本計画の数値目標以上に風力発電の導入が加速されると仮定し、2030年に主要送配電事業者の最大8割にて本技術が適用されることを見込む。具体的には、2019年～2024年にかけて、風力発電の導入が進む北海道・東北エリアへの一般送配電事業者へ導入を見込む。2024年～2029年にかけては、残りのエリアの一般送配電事業者への導入を見込む。
- なお、FIT制度改正により、発電事業者が再エネ予測技術を活用する可能性もある。そのような場合には、発電事業者への本技術の展開を検討する。

【実用化・事業化に対する取り組みおよび課題と戦略】

- 予測技術の実用化に向けては、外部環境（風力発電の導入拡大、電力システムの制度設計など）の進捗に歩調を合わせるが必要であり、継続的な対応をおこなう。

- 発電・気象データの継続的な取得・蓄積が、高品質な予測情報を提供するためには重要であるため、本事業で得られた知見を、業界関係者・学会などの集まりにおいて情報提供をおこない、今後の再エネ主力電源化に向けた電力システムの高度化に貢献する。
- 事業終了後は、大学・研究機関（東京大学・早稲田大学・電力中央研究所）を中心とした「風力発電等データ利用コンソーシアム」を既に立ち上げており、本事業で取得したデータを活用し、予測・制御技術の高度化・実用化に向けた継続的な検討を進める。また、一般送配電事業者（発電事業者）への本成果の展開の検討については、伊藤忠テクノソリューションズ、日本気象協会が中心となって検討を進める。

風力発電等データ利用コンソーシアム



■設立趣旨

当事業期間中に得られたモニタリングデータは国内最大規模、かつ、当該技術評価実施済みの大変有用なデータであることから、引き続き、再エネ大量導入にむけて継続的な当該技術開発研究を行うことを目的としたコンソーシアム。（データ利用用途は当該技術開発研究に制限）

■体制

東京大学・早稲田大学・電力中央研究所

■検討項目・活動スケジュール

- 風力発電出力予測の高度化
- 時系列予測の更なる精度向上
- 機械学習などを活用した風力発電出力変動緩和制御の高度化

2.2 研究開発項目（I） 風力発電予測・制御高度化：蓄エネルギー制御技術WG

<評価基準>

【研究開発項目 I：風力発電予測・制御高度化】

必要な技術を確立し、制御システム、サービス等の準備を完了すること。さらに、周辺環境の整備（再エネ導入量の拡大、電力運用ルールの変更による電力市場の創出等）の進捗を踏まえつつ、当該研究開発に係る制御システム、サービス等の社会的利用（顧客への提供等）を開始すること。

蓄エネルギー制御技術WG	本事業で開発した制御ロジックが、蓄エネルギーシステムにて活用されること。（再エネ側の出力変動緩和や計画発電のニーズに対応）
--------------	---

【外部環境の動向】

平成 30 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、再生可能エネルギーについて、2013 年から導入を最大限加速してきており、引き続き積極的に推進していくとともに、確実な主力電源化への布石としての取り組みを早期に進めるとしている。再生可能エネルギーの大量導入が進めば、これらの出力変動対策がより求められ、火力・水力等の既存の調整力では不足するといった課題が顕在化してくる。蓄エネルギー設備の効果的な利用は、こうした再生可能エネルギーの導入に伴う課題に対する有力なソリューションの一つとして活用拡大が期待される。

【実用化・事業化の見通しと取り組み】

本事業で研究開発に取り組んだ蓄エネルギー技術を用いた出力変動制御技術開発の成果における実用化・事業化の見通しと取り組みについて、次表に項目ごとに示す。

表 4-2 需給WGにおける実用化・事業化の見通しと取り組み

項目	実用化・事業化の見通しと取り組み
変動緩和	変動緩和は、風力発電の系統接続に際して、一般送配電事業者によって風力発電の連系可能量が設定され、その連系可能量の枠の外で、蓄エネルギーを用いた制御の要件が設定されている状況を想定したものである。現時点において一般送配電事業者 2 社が要件を設定している。そうした事業者の管内において、連系要件に適合した制御を組み込んだ風力発電の導入が検討され、本事業で開発された制御技術が活用されることが見込まれる。
計画発電	計画発電は、風力発電所が、計画値同時同量に基づいて発電電力を相対取引または市場を介して販売するようになることを想定したもので、全国の設備が対象となる。政府の審議会等においても、風力発電を含む FIT 電源も計画値同時同量へ対応していく方向（FIT 制度からの自立）の議論が開始されており、対応の必要性が生じると想定される。そうした状況下において、本事業で開発された制御技術の活用が見込まれる。

項目	実用化・事業化の見通しと取り組み
CAES	<p>本事業で検討した新しい要素技術を取り込むことにより、低コスト化や効率向上が見込まれる。空気貯槽コストについてスケールメリットがあり、大規模化や既存地下空洞の利用等による建設費低減が期待できる。</p> <p>CAESの実用化主体として想定されるのは、製造業者やエンジニアリング会社等である。現在、本事業において設備製造の主体となった企業が、NEDOの新規事業の一つとして、海外における実用化も含めた検討を実施しており、進展が期待される。</p>
HP/BG	<p>Power to Heatの実用化については、エンジニアリング会社と大学が協力する形態等が想定される。近年、電力系統上に分散された電源や需要を統合して制御するという提案（システム構成は様々）が広がりつつあり、先行的な研究事例として本研究の成果が活用されることが期待される。</p>

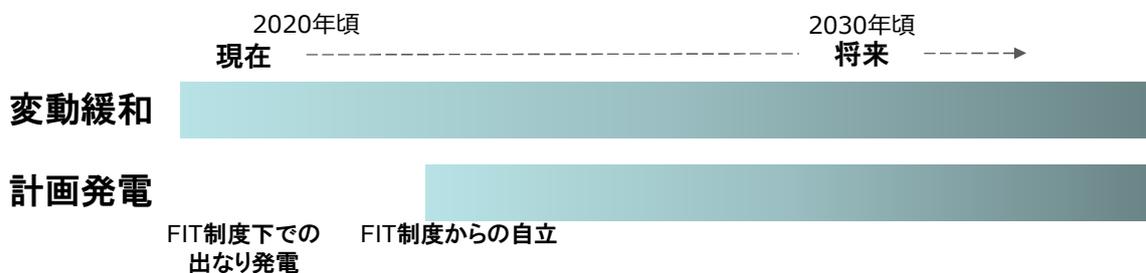
【実用化・事業化に対する課題と戦略】

○変動緩和

- 制御ロジックの公開と問い合わせに対して積極的に対応
- 個別の電力会社の募集枠に記載される変動緩和の仕様に合わせた制御ロジックの開発。

○計画発電

- 他種電源等と組み合わせた場合の計画値同時同量に対する制御手法の開発。



○蓄エネ技術

- 効率向上、低コスト化、スケールアッププラントでの実証。
- CAESについては、NEDOの新規事業の一つとしてスケールアッププラントの海外における実用化・事業化に向けた調査事業を実施。

2.3 研究開発項目(Ⅱ) 予測技術系統運用シミュレーション：需給シミュレーションWG

<評価基準>

【研究開発項目Ⅱ：予測技術系統運用シミュレーション】

必要な技術を確立し、制御システム、サービス等の準備を完了すること。さらに、周辺環境の整備(再エネ導入量の拡大、電力運用ルールの変更による電力市場の創出等)の進捗を踏まえつつ、当該研究開発に係る制御システム、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)を開始すること。

需給シミュレーションWG

本事業で開発した需給シミュレータが、関連する業界や企業で活用されること。(一般送配電事業者だけでなく、発電事業者や政策関係者、アカデミアも活用できること)

【外部環境の動向】

- 2018年7月に更新されたエネルギー基本計画において、2030年に向けた数値目標(再エネ導入比率22~24%)が設定され、再エネ主力電源化に向けた方針が示された。
- 今後、電源接続案件募集プロセスの導入やコネクト&マネージの検討などにより、既存の電力系統が最大限活用されることで、再エネの導入拡大が見込まれる。
- FIT制度改正の議論が始まっており、再エネ自立化に向けた検討がエネ庁を中心に始まっている。

【実用化・事業化の見通し】

- 再生可能エネルギーのランプ変化を伴った系統での需給計画(ユニットコミットメント、地域間融通、発電機負荷配分、周波数制御)策定の手法論を確立。オフラインの、将来系統の検討レベルの活用に資するソフトウェアが出来上がった。
- このシミュレーション手法は、従来の発電コスト最小化の考え方に基づいたものであり、電力市場化の下では、基盤となる最小コスト運用を模擬し、市場の基調をつかむファンダメンタルモデルとなる。
- 本事業で開発されたソフトウェアが中央給電指令所(系統運用者)の実オンラインシステムに直接使われることはないが、今回検討されたロジックは、将来しかるべく製造業者が作り上げる制御システムにおいて、自由化の進行状況を見ながら反映され得るものと考えられる。

【実用化・事業化に対する取り組みおよび課題と戦略】

- 本事業で開発されたソフトウェアの成果普及に向け、研究コンソーシアムを新規発足させ、今後一定期間、理解と活用を推進する活動を行う。なお、一般送配電事業者だけでなく、発電事業者や政策関係者、アカデミアも本事業で開発されたソフトウェアを活用できるよう取り組みを進める。
- 電力自由化(アンバンドリング)により、市場にゆだねられる負荷配分やそれより長い運用、系統運用者にゆだねられる周波数制御やそれより短い運用制御と、ソフトウェアの利

用者が分かれていく中、事業で確立したノウハウをどのように実業に反映していくかが課題となる。

成果普及に向けた理解・活用推進を図るため、
「電力需給解析シミュレータ理解・活用推進検討会」を設置し、活動中

■ スケジュール

	2019年度	2020年度以降
理解・普及の検討		
シミュレータ公開の検討		

■ 体制

主査	東京大学 横山明彦教授
	電力中央研究所（統括）
委員	東光高岳
	東京電力PG（幹事）

※ その他必要に応じて委嘱

■ 検討事項

- ・ シミュレータの理解・普及方法
- ・ シミュレータの公開に関わる事項

2.4 研究開発項目(Ⅱ) 予測技術系統運用シミュレーション：実証WG

<評価基準>

【研究開発項目Ⅱ：予測技術系統運用シミュレーション】

必要な技術を確立し、制御システム、サービス等の準備を完了すること。さらに、周辺環境の整備(再エネ導入量の拡大、電力運用ルールの変更による電力市場の創出等)の進捗を踏まえつつ、当該研究開発に係る制御システム、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)を開始すること。

実証WG

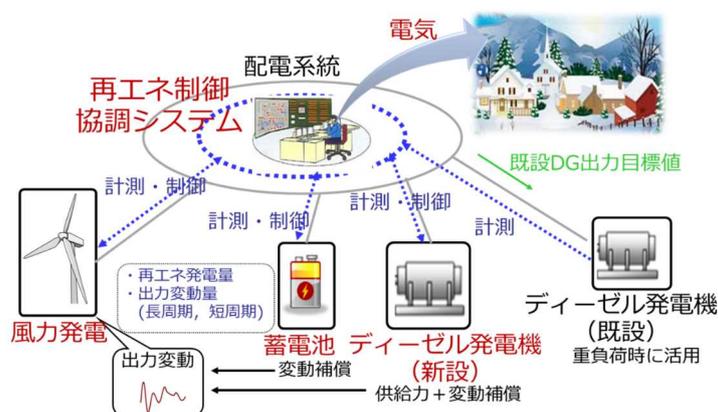
本事業で開発したEMSシステム仕様が、関連する業界や企業で活用されること。(実質実用化段階にある。その販売展開)

【実用化・事業化の見通し】

- ▶ 本実証における各種試験法案・検証結果などの研究開発成果を共有し、再生可能エネルギー大量導入時の需給計画・運用ノウハウを展開する。
- ▶ また、再生可能エネルギー導入時に、経済的且つ高品質となる電力設備の形成・運用を実現するコンサルティング業務を展開していく。
- ▶ 本研究開発項目で開発したEMSをベースにロシアサハ共和国にて風力発電及び再エネ制御協調システムの極寒冷地における運用実証をNEDO事業として2020年9月まで実施している。

【実用化・事業化に対する取り組みおよび課題と戦略】

- ▶ 実用化に向けた課題としては、更なる再エネ拡大にともなう慣性力低下への対応、分散リソース数の拡大による需給制御複雑化、また必要機能の絞込みによる低コスト化などが考えられる。
- ▶ 本実証で開発した各システムを基本に、高品質・低価格のシステム開発を継続し、国内外の離島およびマイクログリッド地域を含めたシステム受注活動を実施していく。
- ▶ なお、実証WGのコンセプトは再生可能エネルギー増加後(2030年度頃の再生可能エネルギー瞬間発電比率50%以上を想定)の電力系統の需給バランス維持を想定した実証であり、将来の日本の電力系統の縮図を示すものであることから、本実証の結果を積極的に公表・展開していくとともに再生可能エネルギーの大量導入時における系統運用上の課題への取り組みを将来に繋げるべく、本実証設備を次期NEDO事業で引き続き有効活用する。



ロシアサハ共和国のシステムイメージ

2.5 研究開発項目(Ⅲ) 再生可能エネルギー連系拡大対策高度化 ：出力制御技術（風力）WG

<評価基準>

【研究開発項目Ⅲ:再生可能エネルギー連系拡大対策高度化】

再エネの急激な増加に対応するための省令改正を受けて、実現すべき再エネ出力制御技術について、必要な時期までに使用可能な水準まで確立すること。さらに、本事業で開発した成果が、再エネ出力制御が必要となった地域において速やかに活用されることによって、政策(再エネ発電事業の拡大)に貢献すること。

出力制御技術 (風力) WG

本事業で開発した出力制御システム仕様が、関連する業界や企業で活用されること。(風力発電の遠隔出力制御の活用)

【実用化・事業化の見通し】

- 風力発電設備の出力制御に関する技術仕様の国内標準化を図ったことにより、遠隔出力制御の対象となる国内の風力発電設備に対して、今後、開発技術が展開・活用される。
- また、電力会社～風力発電事業者間の出力制御の通信システムについて、高圧連系以上の大型風力については電力会社～風力出力制御装置間、低圧用小型風力については電力会社～インバータ間の通信システムの基本的要件を確立しており、風力発電設備の出力制御技術とあわせて通信システム技術も今後、展開・活用されることが見込まれる。



【実用化・事業化に対する取り組みおよび課題と戦略】

- インターネットベースの双方向通信のサイバーセキュリティ対策や、通信プロトコルの維持・管理、個々の風力発電制御システムとの連携の確立などが課題となる。
- 風力発電設備の出力制御に関する技術仕様と開発技術について、日本風力発電協会や日本小形風力発電協会等の協力を得ながら、成果報告書等により一般送配電事業者や風力発電事業者へ広く公開し、理解浸透を図っていく。
- 遠隔出力制御の対象となる風力発電設備に対し、遠隔出力制御装置の設置について風力発電事業者へ対応を依頼し、導入を図っていく。
- 風力発電出力予測・把握技術、出力制御量配分手法については、さらなる高度化についての検討を進めるとともに、学術論文・学会発表を通じた成果普及も継続的に実施する。

2.6 研究開発項目(Ⅲ) 再生可能エネルギー連系拡大対策高度化 ：出力制御技術（太陽光）WG

<評価基準>

【研究開発項目Ⅲ:再生可能エネルギー連系拡大対策高度化】

再エネの急激な増加に対応するための省令改正を受けて、実現すべき再エネ出力制御技術について、必要な時期までに使用可能な水準まで確立すること。さらに、本事業で開発した成果が、再エネ出力制御が必要となった地域において速やかに活用されることによって、政策(再エネ発電事業の拡大)に貢献すること。

出力制御技術 (太陽光) WG

本事業で開発した出力制御システム仕様が、関連する業界や企業で活用されること。(太陽光発電の遠隔出力制御の活用)

【実用化・事業化の見通し】

- 太陽光発電設備の出力制御に関する技術仕様の国内標準化を図ったことにより、遠隔出力制御の対象となる国内の太陽光発電設備に対して、今後、開発技術が展開・活用される。
- 本事業での実証試験と機器の標準化を踏まえ、製造業者へ要求仕様を提示した上で、下記設備の実用化・事業化への展開を図る。
 - 太陽光発電設備の出力制御対応機器（出力制御機能付き PCS 含む）
 - ✓ 単方向方式（インターネットを経由したスケジュール方式）については、九州電力が主体となり、事業期間内に、日本電機工業会などと調整を図りながら仕様を定め、製造業者による開発・製造・販売へと展開した。
 - ✓ 中長期観点を踏まえた双方向方式については、本事業の終了時を目途に系統運用者としての要求仕様を確定させ、再生可能エネルギーの導入状況を踏まえながら、各地域の送配電事業者が、必要とする導入時期・規模を判断した上で、単方向方式と同様に製造業者による開発・製造・販売へと展開する。
 - 電力系統の安定運用に資する分散型電源制御システム（スマートインバータ）
 - ✓ 出力だけでなく電圧や力率、周波数制御などの電力系統の安定運用に資する付加価値的な各種制御機能について、分散型電源制御システムへの搭載を目指す。
 - ✓ 本事業において電力系統の安定運用に資する各種制御機能について技術要件・仕様を検証したため、今年度より開始する NEDO 新規事業において、運用への適用を目的とした必要機能についての検討を進めていく。
 - 電力系統の安定運用に資する需要家リソース制御システム
 - ✓ IoT を活用した小消費電力機器のアグリゲーションに関しては、東京大学生産技術研究所の研究結果を基に今般社会実装した IoT-HUB の活用によって、プロトコルフリーな DR インフラの実現見通しが立った。

【実用化・事業化に対する取り組みおよび課題と戦略】

○太陽光発電設備の出力制御対応機器（出力制御機能付き PCS 含む）

- ✓ PV 最適出力制御量算定技術については、想定ユーザである新規を含む電力事業者、電力システムに関係するサービス事業者（EV など）との意見交換を継続し、将来の電力需給にかかる計画・運用ツールとしての展開を目指す。
- ✓ 予測技術に関しては、PV のモニタリングサービス企業、気象予測サービス企業と意見交換を継続し、電力市場設計等の動向を踏まえつつ短期間予測を利用可能なビジネスモデルの構築を目指す。
- ✓ 双方向方式については、今後の制度設計への適合および、これを踏まえた最終的な要求仕様の整理・標準化が課題。また、サイバーセキュリティ対策を含めた、通信プロトコルのメンテナンスが必要である。
- ✓ 以上を確立したうえで、順次導入を図るが、その際には、大量のインバータへのアクセスが課題である。

○電力システムの安定運用に資する分散型電源制御システム（スマートインバータ）

- ✓ 対峙する電力側システム機器と、再生可能エネルギー側の機器の役割分担を明確化したうえで、各機能のパラメータ選定および運用手法について標準化を図り、実機に反映する。
- ✓ 次期実証において、電力側機器と再生可能エネルギー側機器の役割分担の明確化を図り、スマートインバータ側の要件を抽出し、それら機能のパラメータ選定および運用手法について検討する

○電力システムの安定運用に資する需要家リソース制御システム

- ✓ 住宅における DR シミュレーションは、新規に DR リソースを取り扱う電気事業者や住宅メーカー、自動車会社等が、料金制度設計、リソースのマネタイズの検討などに利用できるよう、より現実的なモデルを目指して改良を行う。
- ✓ IoT を活用した小消費電力機器のアグリゲーションに関する需要能動化の仕組みについて、家電メーカーやアグリゲーター候補者に働きかけていく。

(添付資料)

プロジェクト基本計画

「電力系統出力変動対応技術研究開発事業」基本計画

スマートコミュニティ部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

① 政策的な重要性

今後のエネルギー政策として、再生可能エネルギーの最大限の導入を進め、できる限り原子力発電の依存度を低減させることが政府の目標として掲げられている。

また、平成 26 年 4 月 11 日に閣議決定された「エネルギー基本計画」には、再生可能エネルギーの導入を最大限加速させるとともに、系統強化、規制の合理化、低コスト化等の研究開発を着実に進めることが記載されている。

再生可能エネルギーの導入を最大限加速させるという政府目標を達成するためにも、再生可能エネルギー、特に風力発電を大量に電力系統に連系した際に、発生することが予想される電力品質や系統運用上の技術的な課題を明らかにし、課題解決策を短期および中長期に分けて確実に実施していくことが必要である。

② 我が国の状況

風力発電の連系可能量に余裕がない地域では、風況が良く風力発電の適地であるにも係わらず、系統連系が出来ない状況となっている。風力発電などの変動電源を大量に電力系統に導入するためには、系統強化や蓄エネルギー設備の併設が必要となるが、いずれの対策も高コストもしくは長期の対策期間が必要となり、最終的に国民負担の増大に繋がる。それを回避するためには、現状の設備を最大限活用し、追加コストを最小化するための方策を検討しなければならない。

③ 世界の取組状況

再生可能エネルギーの導入拡大が進んでいる海外では、予測技術を活用することで効率的な需給運用を指向している。

例えば、イベリア半島に位置するスペインでは、再生可能エネルギーの導入量に対して、隣国との系統連系容量が不足していることもあり、系統運用者である Red Eléctrica de España (REE) 社が再生可能エネルギーの予測・抑制等を専門に司る「再生可能エネルギーコントロールセンター (CECRE : Centro de Control para el Regimen Especial)」を設立し、需給運用計画の精度向上、効率的な調整力の活用等

に取り組んでいるが、制度面からの検討と平行して、再生可能エネルギーの大きな出力変動を精度良く予測することは重要なテーマのひとつとなっている。

④ 本事業のねらい

天候によって出力が変動する風力発電や太陽光発電は、大量に電力系統に連系された場合、大きな出力変動によって電力の安定供給に悪影響を及ぼす可能性がある。そのため、風力発電の出力変動を予測するなどの電力系統の安定運用に資する技術開発を行うとともに、需給運用面の課題を実際の電力系統にて実証することが必要である。NEDOは、平成17年度～19年度に実施した「風力発電電力系統安定化等技術開発」で、ウィンドファーム発電出力予測モデルと電力系統制御エリア発電出力予測モデルを開発し、一定の成果を上げている。一方で、風力発電をはじめとする再生可能エネルギーを最大限電力系統に連系することを目的とした研究開発は現状では行っておらず、喫緊に取り組むべき課題である。

本事業では、電力の需給運用に影響を与える風力発電の急激な出力変動（以下、ランプ）に着目し、再生可能エネルギーの予測技術や出力の変動を抑制する出力制御技術を高度化させ、予測と出力制御を踏まえた需給運用の基本的な手法を確立する。

以上の取り組みによって、出力が不安定な変動電源から、出力を予測・制御・運用することが可能な変動電源に改善することで、再生可能エネルギーの連系拡大を目指す。

(2) 研究開発の目標

① アウトプット目標

- ・研究開発項目(I)「風力発電予測・制御高度化」

【最終目標】(平成30年度)

風力発電の大量導入を実現するために必要となる、系統運用者のランプに対応する適正な調整力確保を目的に、ランプ現象の要因分析に基づくランプ予測技術を確立する。

また、風力発電の出力変動緩和による電力系統への影響の最小化、予測誤差の補正による風力発電の計画発電を目的に、予測技術を活用しコストミニマムとなる最適な制御分担に基づいた風車制御技術と蓄エネルギー制御技術（以下、出力変動制御技術）を確立する。

風力発電のランプ予測技術では、火力発電の起動に必要となる約6時間先以降に発生する風力発電定格出力のエリア合計値に対する30%以上の出力変動（継続時間6時間以内）をランプ現象と定義し、現行の予測モデルよりも予測精度を向上させ、大外しの最大振れ誤差を20%以上低減させる。

なお、電力の需給運用に影響を与える出力変動は、風力発電が連系する系統容量及

び電源構成によって異なる。国内では、電力の需給運用に影響を与えるほど、風力発電設備が連系されていないことから、一義的に数値目標を定めるものの、モニタリング結果や解析結果を踏まえて、上記開発目標を適宜見直すことも検討する。

【中間目標】（平成 28 年度）

風力発電のランプ予測技術では、風力発電の出力データおよび気象データのモニタリングによるランプ現象の要因分析を行い、複数のアプローチからランプ予測モデルを開発する。

出力変動制御技術では、実用化のコスト比較を踏まえ選定した蓄エネルギー技術および風車制御技術の実証設備を設計し、風力発電設備内を中心に構築する。

モニタリング結果やランプ現象の要因分析、ベンチマークテストから得られる課題を踏まえ、ランプ予測技術の開発目標および出力変動制御技術に求める制御目標を確定させる。

・ 研究開発項目(Ⅱ)「予測技術系統運用シミュレーション」

【最終目標】（平成 30 年度）

風力発電のランプ予測技術と出力変動制御技術に加え、再生可能エネルギーの出力予測や調整電源の最適運用手法等を総合的に組み合わせた需給シミュレーションシステムを開発し、再生可能エネルギーを最大限導入するための技術的課題とその課題解決策等を明らかにする。

また、需給シミュレーションシステム開発で得られた課題解決のための考え方を、実際の電力系統を使って検証する。

【中間目標】（平成 28 年度）

需給シミュレーションシステムでの実施内容と設計方針を確定し、再生可能エネルギーの出力予測や出力抑制を反映した需給シミュレーションシステムのプロトタイプを開発する。

また、実際の電力系統を使った検証地点を選定し、再生可能エネルギーの出力予測や出力制御、既存電源との制御を総合的に組み合わせたシステム構築のための検討を行い、実証試験に必要な設備・システムの構築を完了させる。

・ 研究開発項目(Ⅲ)「再生可能エネルギー連系拡大対策高度化」

【最終目標】（平成 30 年度）

平成 27 年 1 月 26 日に再生可能エネルギー特別措置法施行規則の一部を改正する省令が施行されたことで、系統連系される再生可能エネルギーの年間の出力制御は年間の出力制御は、風力発電が 720 時間、太陽光発電が 360 時間、接続可能量が超過し

た際の指定電気事業者制度下では無制限となった。事業者にとっては、出力制御時間よりも出力制御量が事業運営に大きく影響を与えるため、出力制御は出力に応じて行われることが望ましい。そこで、出力予測と出力把握の高度化を行い、実際の電力系統を使って検証しながら事業者間の制御量を事業者の出力比率に応じて決定する出力制御手法を開発する。

【中間目標】（平成 28 年度）

大規模発電から小規模発電まで、全ての発電設備を含めた、風力発電と太陽光発電の遠隔出力制御システムの標準化を実施する。

また、遠隔出力制御システムの実証試験に必要な設備・システムの構築を完了させる。

② アウトカム目標

最小の出力変動への対応で、最大の再生可能エネルギーを受け入れることができる電力系統の姿を需給シミュレーションシステムによって示すことで、政府が掲げる 2030 年における再生可能エネルギーの大量導入の実現を目標とする。

③ アウトカム目標達成にむけての取り組み

再生可能エネルギーの導入拡大に向けた本成果の普及に向け、出力予測技術と出力変動制御技術を風力発電設備の系統連系要件化、需給シミュレーションシステムや遠隔出力制御システムの実用化に向けて開発成果を公開する。

（3）研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。

【委託事業】

- ・研究開発項目（Ⅰ）「風力発電予測・制御高度化」
- ・研究開発項目（Ⅱ）「予測技術系統運用シミュレーション」
- ・研究開発項目（Ⅲ）「再生可能エネルギー連系拡大対策高度化」

本研究開発は、実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術」に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施する研究開発であり、委託事業として実施する。

2. 研究開発の実施方式

（1）研究開発の実施体制

本研究開発は、NEDOが、単独ないし複数の企業、大学等の研究機関（原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業等の特別な研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点からの国外企業との連携が必要な場合はこの限りではない）から公募によって研究開発実施者を選定し実施する。

なお、各実施者の研究開発能力を最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、必要に応じて、NEDOは第三者である外部専門家をアドバイザーとして選定し、各実施者は客観的立場からの技術的助言を受けそれぞれの研究テーマについて研究開発を実施する。

（2）研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有する NEDO は、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて外部有識者による技術検討委員会等を設置し、開発内容について審議し、その意見を運営管理に反映させる。

① 研究開発の進捗把握・管理

NEDOは、研究開発実施者と緊密に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。また、外部有識者で構成する技術検討会を組織し、定期的に技術的評価を受け、目標達成の見通しを常に把握することに努める。

② 技術分野における動向の把握・分析

NEDOは、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術の普及方策を分析、検討する。なお、調査等を効率的に実施する観点から委託事業として実施する。

3. 研究開発の実施期間

- ・研究開発項目（Ⅰ）「風力発電予測・制御高度化」と研究開発項目（Ⅱ）「予測技術システム運用シミュレーション」

平成 26 年度から平成 30 年度までの 5 年間とする。

- ・研究開発項目（Ⅲ）「再生可能エネルギー連系拡大対策高度化」

平成 27 年度から平成 30 年度までの 4 年間とする

4. 評価に関する事項

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、プロジェクト評価を実施する。評価の時期は、中間評価を平成 28 年度（項目Ⅲは除く）、事後評価を平成 31 年度に実施

する。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じ研究開発の加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

5. その他重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

① 成果の普及

本研究開発で得られた研究成果についてはNEDO、委託先とも普及に努めるものとする。

② 標準化施策等との連携

得られた研究開発の成果については、標準化等との連携を図るためデータベースへのデータ提供、標準案の提案等を積極的に行う。

③ 知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

(2) 基本計画の変更

NEDOは、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、内外の研究開発動向、政策動向、評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

(3) 根拠法

本プロジェクトは、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法」第15条第1号イに基づき実施する。

6. 改訂履歴

(1) 平成26年3月、基本計画制定。

(2) 平成27年3月、研究開発項目(Ⅲ)「再生可能エネルギー連系拡大対策高度化」を追加。

(3) 平成28年3月、研究開発項目(Ⅲ)「再生可能エネルギー連系拡大対策高度化」に太陽光発電に係る記述を追加。NEDOの法人形態の変更を反映。

(添付資料)

事前評価関連資料
(事前評価、パブリックコメント募集の
結果)

事前評価書

		作成日	平成26年2月12日
1. プロジェクト名	電力系統出力変動対応技術研究開発事業		
2. 推進部署名	新エネルギー部		
3. プロジェクト概要 (予定)			
(1) 概要			
1) 背景			
<p>平成23年3月11日に発生した東日本大震災及び東京電力福島第一原子力発電所事故を受けて、我が国のエネルギー政策は根本から見直しされることとなり、再生可能エネルギーに対する国民の期待はこれまでにないほど高まっている。</p> <p>平成24年7月から施行された再生可能エネルギーの固定価格買い取り制度がインセンティブとなり、1年間で350万kWを超える再生可能エネルギー発電が導入され一定の政策効果が得られている。一方で、導入された設備の大半は太陽光発電であり、風力発電の設備導入量は7万kW未満、設備認定量は約80万kWとなっている。</p> <p>風力発電は、大量導入時による平滑化効果によって、一定のベース電源となる可能性があり、発電コストも他の再生可能エネルギーと比較して安価で、LNGや石油火力発電とも遜色ない発電コストとなることを見込まれている。そのため、経済性を考慮しつつ、再生可能エネルギーを導入拡大するためには、風力発電の適切な導入が必須となる。</p>			
2) 目的			
<p>天候によって出力が変動する風力発電や太陽光発電は、大量に電力系統に連系された場合、大きな出力変動によって電力の安定供給に悪影響を及ぼす可能性がある。</p> <p>本事業では、電力の需給運用に影響を与える風力発電の急激な出力変動（以下、ランプ）に着目し、ランプ予測技術、風車制御技術や蓄エネルギー制御技術（以下、出力変動制御技術）を確立する。また、再生可能エネルギーが電力系統に大量導入された2030年頃を見据え、余剰電力の発生、周波数調整力の不足等の技術的課題とその課題解決策を明らかにするために、ランプ予測技術や出力変動制御技術を考慮した需給シミュレーションシステムを開発し、実際の電力系統によって課題解決策の検証を行う。</p> <p>これらの技術開発によって、出力が不安定な変動電源から、出力を予測・制御・運用することが可能な変動電源に改善することで、再生可能エネルギーの連系拡大を目指す。</p>			
3) 実施内容			
<p>上記目的のために、以下の研究開発項目を実施する。</p> <ul style="list-style-type: none">研究開発項目① 風力発電予測・制御高度化 <p>国内で系統連系している一定規模の風力発電設備を対象に、ランプ現象の発生要因の解析を目的として、発電出力および気象データのモニタリングを行い、さまざまなアプローチからランプ予測技術を開発する。併せて、最小</p>			

の出力変動緩和による電力系統への影響低減、予測誤差の補正を目的としてランプ予測技術を活用した出力変動制御技術を開発する。

・研究開発項目② 予測技術系統運用シミュレーション

上記①で開発した風力発電のランプ予測技術と出力変動制御技術に加え、太陽光発電出力予測や調整電源の最適運用手法等を総合的に組み合わせた需給シミュレーションシステムを開発し、再生可能エネルギーの連系拡大に向けた技術的課題とその課題解決策を明らかにする。また、需給シミュレーションシステムで得られた課題解決策の効果を確認するため、実際の電力系統における実証試験を行うことで、安定な電力供給を維持しつつ再生可能エネルギーを最大限受け入れることが可能な電力系統の構築の基礎を確立する。

(2) 規模 総事業費（需給）190億円（委託）

(3) 期間 平成26年度～30年度（5年間）

4. 評価内容

(1) プロジェクトの位置付け・必要性について

1) NEDOプロジェクトとしての妥当性

平成22年10月に経済産業省が策定した「エネルギー基本計画」の中で、再生可能エネルギーの導入に当たっては、再生可能エネルギーが大量に電力系統へ接続されると、余剰電力の発生や周波数変動等の系統安定上の問題が生じる可能性がある」と記載されている。

この問題が風力発電設備の連系拡大の大きな足かせとなっており、政府の掲げる最大限の導入が未達になることに加え、風力発電産業全体の停滞を招くリスクがある。

政府目標の下、風力発電の連系拡大に寄与する本事業の実施に当たっては、多くの風力発電事業者と一般電気事業者の協力や公的機関の関与が必要であることから、政策実施機関かつ中立的な立場であるNEDOが本事業に取り組むことは妥当と考えられる。

2) 目的の妥当性

将来、風力発電などの変動電源を大量に電力系統に導入するためには、系統強化や蓄エネルギー設備の併設が必要となってくるが、いずれの対策も高コストもしくは長期の設置期間が必要となり、最終的に国民負担の増大に繋がる。それを回避するためには、現状の設備を最大限活用する方法を検討し、追加コストを最小化するための方策を検討しなければならない。系統強化を前提としない対策として、電力の需給運用に大きな影響を与えるランプを予測する技術を開発し、予測技術を活用した需給シミュレーションシステムの構築と実際の電力系統による実証試験を行い、その適用可能性を検証することは、中期的視点からみても適切かつ、必要な取り組みであり、その目的には妥当性がある。

(1) プロジェクトの位置付け・必要性についての総合的評価

本事業は、電力の需給運用に影響を与える風力発電の急激な出力変動に着目し、不安定な電源である風力発電が系統へ与える影響を抑制するランプ予測技術や出力変動制御技術を確立する。また、再生可能エネルギーの大量導入による技術的課題と課題解決策を明らかにする需給シミュレーションシステムを開

発し、実際の電力系統によって課題解決策の検証を行う。これらの技術開発によって、出力が不安定な変動電源から、出力を予測・制御・運用することが可能な変動電源に改善することで、再生可能エネルギーの連系拡大を目指すものであることから、本事業の位置付け・必要性は妥当と考えられる。

(2) プロジェクトの運営マネジメントについて

1) 成果目標の妥当性

・研究開発項目① 風力発電予測・制御高度化

火力発電の起動に必要となる約 6 時間先以降に発生する、風力発電定格出力のエリア合計値に対する 30%以上の出力変動をランプ現象と定義し、現行の予測モデルよりも精度を向上させるとともに、大外しの最大振れ誤差を 20%以上低減させる。

なお、電力の需給運用に影響を与える出力変動は、風力発電が連系する系統容量および電源構成によって異なる。国内では、電力の需給運用に影響を与えるほど、風力発電設備が連系されていないことから、一義的に数値目標を定めるものの、モニタリング結果や解析結果を踏まえて、中間評価時点までには上記開発目標を適宜見直すことも検討する。また、開発した予測モデルの検証結果を踏まえ、出力変動制御に求める制御目標についても中間評価時点までに設定する。

・研究開発項目② 予測技術系統運用シミュレーション

再生可能エネルギーの出力変動特性を把握し、出力予測や出力制御を考慮した需給シミュレーションシステムを開発し、実際の電力系統において実証試験を行うことは、国内において初の取り組みである。

以上の内容でプロジェクトを推進することにより、定量的な評価、判断の議論が可能であり、成果目標としては妥当である。

2) 実施計画の想定と妥当性

・研究開発項目① 風力発電予測・制御高度化

ランプ予測技術では、2年目までに、ランプ現象のモニタリングシステムを構築し、現象の要因分析を行う。モニタリングと過去の発電実績データからランプ予測技術を3年目までに開発する。

出力変動制御技術の開発として、2年目までにスペック検討・システム策定を行い、3年目以降から実証試験を実施する。

開発したランプ予測技術や出力変動制御技術は、「研究開発項目②予測技術系統運用シミュレーション」に活用することから、可能な限りスケジュールの前倒しを行う。

・研究開発項目② 予測技術系統運用適用シミュレーション

上記で開発したランプ予測技術および出力変動制御技術を用いて、再生可能エネルギーの導入拡大に向けた需給シミュレーションおよび実際の電力系統による実証試験を行うため、需給シミュレーションシステムおよび実証試験の環境整備を3年目までに実施する。

また、3年目以降は、ランプ予測技術および出力変動制御技術を需給シミュレーションシステムおよび実証試験設備に取り込むことで、再生可能エネルギーの大量導入による技術的課題と課題解決策を明らかにする需給シ

<p>ミュレーションシステムを開発する。</p> <p>上記スケジュールに合わせ、初年度から4年目までは40億円、最終年度は30億円を予算として計上を予定しており、目標の着実な達成という観点で妥当と考えられる。</p>
<p>3) 評価実施の想定と妥当性</p> <p>技術的及び政策的観点から研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による評価を予定している。時期については、中間評価を平成28年度、事後評価を平成31年度とし、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に依じて、適宜見直すものとする。</p> <p>以上のことから、評価の観点及び方法、実施時期は妥当である。</p>
<p>4) 実施体制の想定と妥当性</p> <p>現在、電力系統分野に関して日本を代表する大学等の研究者とともに、風力発電出力予測事業者や一般電気事業者の参加により、産学が一体となった体制が見込まれる。</p>
<p>5) 実用化・事業化戦略の想定と妥当性</p> <p>研究開発成果については、再生可能エネルギーの導入拡大に向けて、成果報告書やガイドブックなどを通して幅広く公開することで、様々な事業者が実用化・事業化することを想定している。</p>
<p>(2) プロジェクトの運営マネジメントについての総合的評価</p> <p>本事業の目的、実施計画、予算ともに、現在おこなわれている風力発電の系統連系の現状を念頭に置いた取り組みとして妥当と考えられる。また、想定する実施体制、成果の活用についても、本事業の実施する背景を十分反映している。</p>
<p>(3) 成果の実用化・事業化の見通しについて</p>
<p>1) プロジェクト終了後における成果の実用化・事業化可能性</p> <p>出力予測技術と出力変動制御技術を風力発電設備の系統連系要件とし、需給シミュレーションシステムを実際の需給運用で実用化することを想定している。</p>
<p>2) 成果の波及効果</p> <p>大学の研究機関を中心に事業を実施することで、風力発電のランプ予測技術および出力変動制御技術、需給シミュレーションに関するノウハウと知見の習得に関して、人材育成に貢献できる。</p> <p>風力発電を主とした再生可能エネルギーの連系拡大によって、当該関連メーカー、施工業者等の幅広い業界への波及効果と市場拡大が期待できる。</p>
<p>(3) 成果の実用化・事業化の見通しについての総合的評価</p> <p>事業終了後の道筋も明確になっており、実用化・事業化が十分に期待される。</p>

「電力系統出力変動対応技術研究開発事業基本計画（案）」に対するパブリックコメント
募集の結果について

平成26年3月28日
NEDO
新エネルギー部

NEDO POSTにおいて標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。

1. パブリックコメント募集期間
平成26年2月27日～平成26年3月12日
2. パブリックコメント投稿数＜有効のもの＞
計0件

以上

(添付資料)

特許論文等リスト

【特許】

1 件

⑥ 研究開発項目(Ⅲ) 再生可能エネルギー連系拡大対策高度化：出力制御技術（太陽光）WG

番号	出願者	出願番号	国内外国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	東京大学、他		国内	2018年5月	出願	電力制御、自家発電出力 制御装置、電力管理システム および電力制御方法	東京大学、他

【論文】

310 件

① 研究開発項目(I) 風力発電予測・制御高度化：ランプ予測技術開発WG

④ 研究開発項目(Ⅱ) 予測技術系統運用シミュレーション：実証WG（網掛け下線部分該当）

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	Yoshito Hirata	東京大学	Time series prediction for power grid systems: confidence and credibility	577. WE-Heraeus Seminar on Health, Energy & Extreme Events in a Changing Climate	無	2014/12/6-9
2	平田祥人, 合原一幸	東京大学	再生可能エネルギー出力予測：予測が大きく外れる時	電気学会全国大会	無	2015/3/24-26
3	原 亮一, 北 裕幸	北海道大学	HP/BG 併用熱供給システムによる風力発電出力ランプ変動抑制の検討	電気学会全国大会	無	2015/3/24-26
4	横山明彦	東京大学	再生可能エネルギー発電の出力予測を考慮した揚水発電機と蓄電池の最適運用に関する研究	電気学会全国大会	無	2015/3/25
5	加藤文佳 他	名古屋大学	風力・太陽光発電大量導入時の東日本エリアにおける残余電力負荷変動特性に関する一検討	電気学会高電圧／新エネルギー・環境 合同研究会	有	2015/5/7
6	Yoshito Hirata	東京大学	Time series prediction for renewable energy resources	SIAM Conference on Applications of Dynamical Systems	無	2015/5/17-21
7	Y. Takahashi, Y. Fujimoto, Y. Hayashi	早稲田大学	Interval Forecasting for Wind Power Generation Based on Random Forests	The International Conference on Electrical Engineering	有	2015/7/5-9
8	伊藤 雅一, 藤本 悠, 光岡 正隆, 石井 英雄, 林 泰弘	早稲田大学	連系要件の違いによる蓄エネルギー装置の所要出力・時間容量の検討	電気学会 電力・エネルギー部門大会	有	2015/8/25

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
9	濱本篤志	北海道大学	HP/BG 併用熱供給システムによる風力発電出力ランプ変動抑制の検討—リアルタイム制御手法の提案	電気学会 電力・エネルギー部門大会	有	2015/8/25
10	高橋由佳, 藤本悠, 林泰弘	早稲田大学	ランプ検知を目的としたエリア風力発電量予測に関する検討	電気学会 電力・エネルギー部門大会	有	2015/8/25-27
11	濱本篤志	北海道大学	HP/BG 併用熱供給システムによる風力発電出力ランプ変動抑制の検討	平成 27 年度電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会, PE-15-125, PSE-15-147	有	2015/9/18
12	C. Urabe, T. Saitou, K. Kataoka, K. Ogimoto	東京大学	Case Study of Sequential Wind Power Cut-out Occurrences in Japan	14th Wind Integration Workshop	無	2015/10/20-22
13	Y. Hirata, T. Takeuchi, S. Horai, H. Suzuki, and K. Aihara	東京大学	Parsimonious description for predicting high-dimensional dynamics	Scientific Reports, Vol. 5, Article No. 15736 (2015)	有	2015/10/29
14	濱本篤志	北海道大学	HP/BG 併用熱供給システムによる風力発電出力ランプ変動抑制の検討 —WF 容量が制御結果へ与える影響の評価—	電気・情報関係学会 北海道支部連合大会	有	2015/11/7
15	平瀬貴之	北海道大学	HP/BG 併用熱供給システムによる風力発電出力ランプ変動抑制の検討 -計画発電の基礎検討-	電気・情報関係学会 北海道支部連合大会	有	2015/11/7
16	原亮一	北海道大学	HP/BG 併用熱供給システムの等価蓄電池容量	電気・情報関係学会 北海道支部連合大会	有	2015/11/7
17	M. Ohba, D. Nohara, S. Kadokura	電力中央研究所	Climatological attribution of wind ramp events and their probabilistic forecast based on self-organizing maps	EWEA	有	2015/11/17-20
18	Y. Nojima, H. Fujio, N. Nishio, C. Arakawa, M. Iida	東京大学	The influence of yaw misalignment on wind measurement using nacelle-mounted LiDAR	EWEA	有	2015/11/17-20
19	高橋由佳, 藤本悠, 林泰弘	早稲田大学	ランダムフォレストに基づく風力発電のランプアラート手法の検討	情報論的学習理論と機械学習研究会 (IBIS2015)	有	2015/11/25-27
20	Yoshito Hirata, Hideyuki Suzuki, Kazuyuki Aihara	東京大学	Barycentric coordinates revisited: relaxation with linear programming and its evaluations	2015 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2015)	有	2015/12/1-4

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
2 1	東京電力	東京電力	電力系統出力変動対応技術 研究開発事業 1.1 需給シミュレーションシ ステムの開発 1.2 電力系統における運用実 証試験	電気評論（電気評論社）	無	2016/1
2 2	高山聡志、 石亀篤司	大阪府立 大学	蓄電池を用いた風力発電の 計画発電に関する基礎検討	電力系統技術研究会 「電力系統における蓄電池 利用・制御技術」	有	2016/1/27
2 3	Wataru Ukita, Akihiko Yokoyama	東京大学	Optimal Weekly Operation Scheduling of Pumped Storage Hydro Power Plant and Storage Battery in a Power System with a Large Penetration of Renewable Energy	電気学会研究会（タイ・バ ンコク）	有	2016/3/11
2 4	Y. Takahashi , Y. Fujimoto, Y. Hayashi	早稲田大 学	Prediction of Wind Power Output for Alerting Ramp Events	10th International Renewable Energy Storage Conference	有	2016/3/15- 17
2 5	吉田健二 他	伊藤忠テ ノソリューション ズ 他	風力発電出力の翌日予測に おける最大変化量の予測精 度検証	電気学会全国大会	無	2016/3/16- 18
2 6	奥村智哉 他	伊藤忠テ ノソリューション ズ 他	風力発電出力予測のベンチ マークテストにおけるラン プ予測精度検証	電気学会全国大会	無	2016/3/16- 18
2 7	平田 祥人, 竹内 知哉, 寶来 俊介, 合原 一幸	東京大学	再生可能エネルギー出力の 確率予測：無限の履歴を保 持可能な逐次時系列予測	電気学会全国大会	無	2016/3/16- 18
2 8	占部 千由 他	東京大学	風力発電出力の短周期変動 解析	電気学会全国大会	無	2016/3/16- 18
2 9	吉田 孝太郎 高山 聡志, 石亀 篤司	大阪府立 大学	蓄電池容量を考慮した風力 発電出力の変動抑制制御に 関する基礎検討	電気学会全国大会	無	2016/3/16- 18
3 0	平瀬 貴之 原 亮一 北 裕幸	北海道大 学	HP/BG 併用熱供給システムに よる風力発電出力ランプ変 動抑制の検討 -計画発電の 年間シミュレーション-	電気学会全国大会	無	2016/3/16- 18
3 1	伊藤 雅一, 藤本 悠, 光岡 正隆, 石井 英雄, 林 泰弘	早稲田大 学	蓄エネルギー装置の出力事 前制御による風力発電出力 変動緩和のための所要容量 削減効果に関する基礎検討	電気学会全国大会	無	2016/3/16- 18
3 2	Ohba, M., D. Nohara and S. Kadokura	電力中央 研究所	Impacts of Synoptic Circulation Patterns on Wind Power Ramp Events in East Japan	Renewable energy (Journal - Elsevier), 96, 591-602	有	2016

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
33	M. Ohba, D. Nohara and S. Kadokura	電力中央 研究所	Climatological attribution of wind power ramp events in East Japan and their probabilistic forecast based on multi- model ensembles downscaled by analog ensemble using self- organizing maps	EGU (欧州地球科学連合) 2016 総会	有	2016/4/17- 22
34	平田 祥人	東京大学	非線形時系列解析：時系列 予測の不確実性	第 60 回システム制御情報 学会研究発表講演会 (SCI' 16) ※招待講演	無	2016/5/25- 27
35	Y. Hirata and K. Aihara	東京大学	Predicting ramps by integrating different sorts of information	European Physical Journal Special Topics, Vol. 225, No. 3, pp. 513-525 (2016)	有	2016/5/25
36	M. Ito, Y. Fujimoto, M. Mitsuoka, H. Ishii, Y. Hayashi	早稲田大 学	Control Methods for an Energy Storage System when a Wind Power Output Deviate Grid Code	Journal of International Council on Electrical Engineering, Vol. 7, No. 1, pp. 159-165	有	2016/7/3-7
37	吉田孝太郎、 根岸信太郎、 高山聡志、 石亀篤司	大阪府立 大学	蓄電池を用いた WF の発電計 画値平滑化に関する基礎検 討	新エネルギー・環境/高電 圧合同研究会	有	2016/7/12- 13
38	石川志保、 岩淵和則、 高橋圭二、 原亮一、 北裕幸	北海道 大学	建設後 15 年を経過した家畜 ふん尿処理用バイオガスプ ラントのエネルギー評価	2016 年度農業施設学会大 会	無	2016/8/29- 31
39	早崎宣之	伊藤忠テ ノソリューション ズ	風力発電出力予測技術の開 発・利用の動向	電気学会 電子情報システ ム部門大会	有	2016/8/31- 9/2
40	吉田健二 他	伊藤忠テ ノソリューション ズ 他	北海道・東北エリアにおけ る風力発電出力のランプ現 象の要因分析	電気学会 電力・エネル ギー部門大会	無	2016/9/7-9
41	伊藤雅一、 藤本悠、 光岡正隆、 石井英雄、 林泰弘	早稲田 大学	風力発電の変動緩和におけ る予測値の粒度が蓄エネル ギー装置の出力事前制御に 与える影響の基礎検討	電気学会 電力・エネル ギー部門大会	無	2016/9/7-9
42	占部 千由、 齊藤 哲夫、 片岡 和人、 池上 貴志、 荻本 和彦	東京大学	風力発電出力の短周期変動 抑制制御	電気学会 電力・エネル ギー部門大会	無	2016/9/7-9
43	横山明彦 他	東京大学 他	需給シミュレータ開発の狙 い・コンセプト	電気学会 電力・エネル ギー部門大会	無	2016/9/7-9
44	田辺隆也 他	電力中央 研究所他	供給信頼度評価と需給運用 計画に関する解析手法の概 要	電気学会 電力・エネル ギー部門大会	無	2016/9/7-9

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
45	天野博之 他	電力中央 研究所他	平常時の周波数・連系線潮流変動スクリーニング・シミュレーション	電気学会 電力・エネルギー部門大会	無	2016/9/7-9
46	小林義明 他	東光高岳 他	需給シミュレータ構築の概要	電気学会 電力・エネルギー部門大会	無	2016/9/7-9
47	宇喜多航、 横山明彦	東京大学	再エネ発電出力予測誤差を考慮した供給信頼度とコスト評価	電気学会 電力・エネルギー部門大会	無	2016/9/7-9
48	前田直人 他	東京電力 PG 他	シミュレーション・シナリオの狙いと概要	電気学会 電力・エネルギー部門大会	無	2016/9/7-9
49	馬場旬平 他	東京大学 他	新島での実証試験における狙いと概要	電気学会 電力・エネルギー部門大会	無	2016/9/7-9
50	桃谷辰也 他	日本気象協会 他	離島における再生可能エネルギー発電出力予測の活用検討	電気学会 電力・エネルギー部門大会	無	2016/9/7-9
51	江口智雄 他	東光高岳 他	統合制御システムの開発状況	電気学会 電力・エネルギー部門大会	無	2016/9/7-9
52	山下光司 他	電力中央研究所 他	内燃機発電機のカバナモデルの作成手順と精度検証手順	電気学会 電力・エネルギー部門大会	無	2016/9/7-9
53	安田斉史 他	東京電力PG 他	内燃機発電機の周波数変動抑制能力の分類方法の提案	電気学会 電力・エネルギー部門大会	無	2016/9/7-9
54	平瀬貴之、 原亮一、 北裕幸	北海道 大学	HP/BG 併用熱供給システムによる風力発電出力ランプ変動抑制の検討 ―計画発電の年間シミュレーション―	電気学会 電力・エネルギー部門大会	無	2016/9/7-9
55	宇喜多航、 横山明彦	東京大学	再生可能エネルギー電源が大量導入された二地域の電力系統における電力貯蔵装置の最適週間運用計画に関する一考察	電気学会 電力技術/電力系統技術合同研究会	有	2016/9/20-21
56	平瀬 貴之、 原亮一、 北裕幸、 石川志保	北海道 大学	HP/BG 併用熱供給システムによる風力発電出力ランプ変動抑制の検討 -計画発電の検討-	電気学会 電力技術/電力系統技術合同研究会	有	2016/9/20-21
57	吉田孝太郎、 根岸信太郎、 高山 聡志、 石亀 篤司	大阪府立 大学	蓄電池容量低減を目的とするWFの発電計画コマ間変動緩和に関する基礎検討	電気学会 電力技術/電力系統技術合同研究会	無	2016/9/20-21
58	石川志保、 岩淵和則、 高橋圭二、 鈴木崇司、 原亮一、 北裕幸、 干場信司	北海道 大学	家畜ふん尿管理用バイオガスプラントにおける運用上の課題	第27回廃棄物資源循環学会研究発表会	有	2016/9/27-29
59	北海道電力	北海道 電力	北海道における再生可能エネルギーの導入状況と今後の取り組み	電気設備学会論文誌 11月号	有	2016/11
60	平田 祥人、 奥野 峻也、 竇来 俊介、 合原 一幸	東京大学	状態に依存した複数時系列予測の統合	電気学会全国大会	無	2017/3/15-17

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
6 1	大庭雅道、 野原大輔、 門倉真二	電力中央 研究所	Medium-range probabilistic forecast of wind power ramps based on the hybrid multi-model- analog ensemble using self-organizing maps	WINDEUROPE offshore wind energy 2017	有	2017/06/06- 08
6 2	占部千由、 斉藤哲夫、 片岡和人、 池上貴志、 荻本和彦	東京大学	風力発電出力の短周期変動 抑制制御による年間の変動 抑制効果と逸失電力量率	電気学会電力・エネルギー 部門大会	無	2017/9/5-7
6 3	Yoshito Hirata and Kazuyuki Aihara	東京大学	Dimensionless embedding for nonlinear time series analysis	Physical Review E, Vol. 96, 032219 (2017)	有	2017/09/19
6 4	Yuka Takahashi, Yu Fujimoto, Yasuhiro Hayashi	早稲田 大学	Forecast of Infrequent Wind Power Ramps Based on Data Sampling Strategy	Energy Procedia, Vol. 135, pp. 496-503	有	2017/10
6 5	Chiyori T. Urabe, Tetsuo Saitou, Kazuto Kataoka, Kazuhiko Ogimoto, Takashi Ikegami	東京大学	Active Power Control for Mitigation of Short-term Fluctuation of Wind Power	16th Wind Integration Workshop	有	2017/10/25- 27
6 6	Takashi Ikegami, Chiyori T. Urabe, Tetsuo Saitou, Kazuhiko Ogimoto	東京大学	Numerical Definitions of Wind Power Output Fluctuations for Power System Operations	Renewable Energy, Vol. 115, pp. 6-15	有	2017/12
6 7	占部千由、 斉藤哲夫、 荻本和彦	東京大学	高時間解像度の風力発電出 力データを用いた超短周期 および短周期変動抑制制御	電気学会全国大会	無	2018/3/14- 16
6 8	占部千由、 斉藤哲夫、 荻本和彦	東京大学	風力発電出力の短周期変動 と変動抑制制御	電気学会電力・エネルギー 部門、新エネルギー・環境 /高電圧合同研究会	無	2018/6/7-8
6 9	Keisuke Nakao, Yasuo Hattori, Hitoshi Suto	電力中央 研究所	Capability of WRF-LES mode on realistic atmospheric surface layer	American Meteorological Society	有	2018/6/13

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
70	Kazutoshi Higashiyama Yu Fujimoto, Yasuhiro Hayashi	早稲田大学	A Comparative Study of Regional Wind Power Forecasting: Direct Approach and Aggregating Approach	Grand Renewable Energy 2018 International Conference and Exhibition	有	2018/6/17-22
71	Masakazu Ito, Yu Fujimoto, Masataka Mitsuoka, Hideo Ishii, Yasuhiro Hayashi	早稲田大学	State-of-Charge Target Control for Energy Storage System for Imbalance and Wind Curtailment Reduction in Electricity Market	Grand Renewable Energy 2018 International Conference and Exhibition	有	2018/6/17-22
72	Hiroshi Hasuike, Toshiya Hiura, Mamoru Suzuki, Masakazu Ito, Masataka Mitsuoka, Hideo Ishii, Yu Fujimoto, Yasuhiro Hayashi	早稲田大学	Development and Demonstration of Compressed Air Energy Storage System for Power Compensation of Intermittent Renewables	Grand Renewable Energy 2018 International Conference and Exhibition	有	2018/6/17-22
73	Kenji YOSHIDA, Nobuyuki HAYASAKI, Kazuhiko OGIMOTO	伊藤忠テクノソリューションズ、 東京大学	Metrics for Evaluating Wind Power Ramp Forecasting	Grand Renewable Energy 2018	有	2018/6/19
74	Takahiro SUGA, Nobuyuki HAYASAKI, Kazuhiko OGIMOTO	伊藤忠テクノソリューションズ、 東京大学	Project Overview of “Grid Integration of Variable Renewable Energy: Mitigation Technologies on Output Fluctuations of Renewable Energy Generations in Power Grid” R&D Item (I): Enhanced wind power forecast and control technology	Grand Renewable Energy 2018	有	2018/6/19

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
75	Chiyori T. Urabe, Tetsuo Saitou, Kazuhiko Ogimoto	東京大学	Mitigation Control of Very-short-term and Short-term Fluctuations of Wind Power Output	Grand Renewable Energy 2018	有	2018/6/17-22
76	Yuki Nishitsuji, Yusuke Udagawa, Kazuhiko Ogimoto	東京大学	Impact of Wind Power Ramp Forecasts on Japanese Power System Operations	Grand Renewable Energy 2018	有	2018/6/17-22
77	Tomoya Takeuchi, Yoshito Hirata, Shunsuke Horai, Kazuyuki Aihara	東京大学	Prediction-step-dependent Expert Advice: Application to Wind Energy Ramp Forecasting	Grand Renewable Energy 2018 International Conference and Exhibition	有	2018/06/17-22
78	Maki OKADA, Tomohiro ICHIZAWA, Yuko NAKAMURA, Koji YAMAGUCHI, Ryo KODAMA, Hisashi KATO, Yoshinori NAGANO, Ryosaku IKEDA, Van Quang DOAN, Hiroyuki KUSAKA, Norimitsu OGASAWARA	日本気象協会 日本大学 筑波大学	Development of a Wind Power Ramp Forecast System by a Statistical and Meteorological Approach	Grand Renewable Energy 2018	有	2018/06/19
79	Van Quang Doan, Hiroyuki Kusaka, Ryosaku Ikeda	筑波大学 他	Sensitivity of the WRF model to initial/boundary conditions in the numerical prediction of wind speed ramps in Hokkaido, Japan.	Grand Renewable Energy 2018	有	2018/06/19
80	Daisuke Nohara, Masamichi Ohba, Shinji Kadokura, Takeshi Watanabe	電力中央研究所	Probabilistic prediction of wind speed ramp events using regional ensemble method	Grand Renewable Energy 2018	有	2018/6/19

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
8 1	Masamichi Ohba, Shinji Kadokura, Takeshi Watanabe, Daisuke Nohara	電力中央 研究所	Medium-range probabilistic forecasts of wind power generation based on a hybrid multi-model analog ensemble for the in East Japan	Grand Renewable Energy 2018	有	2018/6/19
8 2	Masamichi Ohba, Shinji Kadokura, Takeshi Watanabe, Daisuke Nohara	電力中央 研究所	Overview of “wind power” and “wind ramp” climate in Japan	Grand Renewable Energy 2018	有	2018/6/19
8 3	Hiroki Tanaka, Ken-ichi Kondo, Yu Takeuchi, Junpei Baba	東京大学	HPWHs’ Schedule Generation Method Taken into Account Users’ Convenience and Aggregators’ Requirements	24th International Conference on Electrical Engineering	有	2018/6/24 ~6/28
8 4	T. Enomoto, T. Ikegami, C. T. Urabe, T. Saitou, K. Ogimoto	東京大学	Geographical smoothing effects on wind power output variation in Japan	International Journal of Smart Grid and Clean Energy, Vol. 7, No. 3, pp.188-194	有	2018/7
8 5	江口 智雄、 中山 匡	東光高岳	再生可能エネルギーの導入拡大を支える電力安定化の実証試験	「計測と技術」第57巻9号	無	2018/9
8 6	Masamichi Ohba	電力中央 研究所	Climate change impact on the wind energy resources in Japan corresponding with weather pattern changes	EMS Annual Meeting 2018	有	2018/9/9
8 7	占部千由、 斉藤哲夫、 荻本和彦	東京大学	高解像度出力データに基づく風力発電出力の変動抑制制御の年間の制御効果と逸失電力量率	電気学会電力・エネルギー部門大会	無	2018/9/12-14
8 8	西辻裕紀、 宇田川佑介、 荻本和彦、 請川克之、 福留潔	東京大学	風力発電出力予測の需給運用への影響分析と予測評価に関する検討	電気学会電力・エネルギー部門大会	無	2018/9/12-14
8 9	西辻裕紀、 宇田川佑介、 荻本和彦、 請川克之、 福留潔	東京大学	需給運用シミュレーションによる風力発電出力ランプアラートの有効性に関する分析	電気学会 電力技術・電力システム技術合同研究会	無	2018/9/26-27
9 0	近藤 健一、 田村 潤、 馬場 旬平	東京大学	需要家機器制御を目的とした携帯回線を用いた通信における遅延とデータ損失頻度の測定とモデル化	平成30年 電力技術・電力システム技術合同研究会	無	2018/9/26 ~9/27

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
9 1	田村 潤 , 近藤 健一 , 馬場 旬平	東京大学	携帯回線による通信のモデルを用いた需要家機器制御への通信品質の影響と補償方法の一検討	平成 30 年 電力技術・電力系統技術合同研究会	無	2018/9/26 ~9/27
9 2	Yu Fujimoto, Kazutoshi Higashiyama, Yasuhiro Hayashi	早稲田大学	Japan' s R&D Project of Ramp Forecasting Technology: A Machine Learning Scheme for Ramp Forecast	17th Wind Integration Workshop	有	2018/10/17-19
9 3	Masakazu Ito, Aki Kikuchi, Yu Fujimoto, Masataka Mitsuoka, Hideo Ishii, Yasuhiro Hayashi	早稲田大学	Experimental Results of a Wind Farm Scheduling Method Considering State-of-Charge Transition for an Electricity Market with the Compressed Air Energy Storage System	17th Wind Integration Workshop (WIW2018)	有	2018/10/17-19
9 4	Takahiro SUGA, Nobuyuki HAYASAKI, Kazuhiko OGIMOTO	伊藤忠テックソリューションズ、東京大学	Japan' s R&D Project of Ramp Forecasting Technology: Project Overview	17th Wind Integration Workshop	有	2018/10/18
9 5	Chiyori T. Urabe, Tetsuo Saitou, Kazuhiko Ogimoto	東京大学	Active Power Control for Mitigation of Very-Short-term and Short-term Fluctuation of Wind Power	17th Wind Integration Workshop	有	2018/10/17-19
9 6	Yuki Nishitsuji, Yusuke Udagawa, Kazuhiko Ogimoto, Katsuyuki Ukegawa, Suguru Fukutome	東京大学	Development of Wind Ramp Forecasting Technology in the National R&D Project (in Japan): Evaluation of Developed Forecasts by Power System Operation Simulation	17th Wind Integration Workshop	有	2018/10/17-19
9 7	Tomoya Takeuchi, Yoshito Hirata, Shunsuke Horai, Kazuyuki Aihara	東京大学	Japan' s R&D Project of Ramp Forecasting Technology: A Forecast Integration Method	17th Wind Integration Workshop	有	2018/10/17-19

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
98	Maki OKADA, Tomohiro ICHIKAWA, Yuko NAKAMURA, Koji YAMAGUCHI, Ryo KODAMA, Norimitsu OGASAWARA, Hisashi KATO, Yoshinori NAGANO, Ryosaku IKEDA, Van Quang DOAN, Hiroyuki KUSAKA, Takamitsu ARAKI, Noriko N. ISHIZAKI	日本気象 協会 日本大学 筑波大学	Japan's R&D Project of Ramp Forecasting Technology: Meteorological Pattern Analysis Method	17th Wind Integration Workshop	有	2018/10/18
99	Maki OKADA, Koji YAMAGUCHI, Ryo KODAMA, Norimitsu OGASAWARA, Kazuhiko OGIMOTO	日本気象 協会 東京大学	Meteorological Categorization of Wind Power Ramp Events - Case Study of Three Areas of Japan -	17th Wind Integration Workshop	有	2018/10/18
100	T. Araki, R. Ikeda, V. Q. Doan, N. Ishizaki H. Kusaka	筑波大学 他	Japan's R&D Project of Ramp Forecasting Technology: Correction Method with Additive Model for NWP-based Wind Speed Forecast.	17th Wind Integration Workshop	有	2018/10/18
101	Daisuke Nohara, Masamichi Ohba, Shinji Kadokura, Takeshi Watanabe	電力中央 研究所	Japan's R&D Project of Ramp Forecasting Technology: Probabilistic Forecast Based on Dynamical and Statistical Ensemble Methods	17th Wind Integration Workshop	有	2018/10/18

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
102	Shinji Kadokura, Daisuke Nohara, Masamichi Ohba, Atsushi Hashimoto, Keisuke Nakao, Yasuo Hattori, Takeshi Watanabe, Hiromaru Hirakuchi	電力中央研究所	Japan's R&D Project of Ramp Forecasting Technology Deterministic Forecast with Post-processing Using Real-time Monitoring Data	17th Wind Integration Workshop	有	2018/10/18
103	Masamichi Ohba, Shinji Kadokura, Takeshi Watanabe, Daisuke Nohara	電力中央研究所	Medium-range probabilistic forecasts of wind power generation and ramps in Japan based on a hybrid ensemble	Atmosphere	有	2018/10/29
<u>104</u>	<u>Ken-ichi Kondo, Hiroki Tanaka, Yu Takeuchi, Jumpei Baba</u>	<u>東京大学</u>	<u>Operation Scheduling and Demand Response Capacity Prediction of Heat Pump Water Heater in Spa Facility</u>	<u>IWPI2018</u>	<u>有</u>	<u>2018/10/31 ~11/1</u>
105	Kazutoshi Higashiyama, Yu Fujimoto, Yasuhiro Hayashi	早稲田大学	Feature Extraction of NWP Data for Wind Power Forecasting Using 3D-Convolutional Neural Networks	Energy Procedia, Vol. 155, pp. 350-358	有	2018/11
106	蓮池 宏, 林 泰弘	エネルギー総合工学研究所 早稲田大学	蓄エネルギー技術を用いた出力変動制御技術の開発	電気学会誌, Vol. 138, No. 11, pp. 738-741	有	2018/11
107	Yu Fujimoto, Yuka Takahashi, Yasuhiro Hayashi	早稲田大学	Alerting to Rare Large-Scale Ramp Events in Wind Power Generation	IEEE Transactions on Sustainable Energy, Vol. 10, No. 1, pp. 55-65	有	2019/01

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
108	Van Quang Doan, Hiroyuki Kusaka, Mio Matsueda, Ryosaku Ikeda	筑波大学	Application of mesoscale ensemble forecast method for prediction of wind speed ramps.	Wind Energy, 22, 499-508.	有	2019/1/10
109	西辻裕紀、 宇田川佑介、 荻本和彦、 齊藤哲夫、 請川克之、 福留潔	東京大学	風力発電予測の更新により 計画を修正する需給運用シ ミュレータの開発	電気学会全国大会	無	2019/3/12- 14
<u>110</u>	<u>馬場旬平、 大原尚、 青柳福雄、 横山明彦</u>	<u>東京大学 東京電力</u>	<u>将来の電力システム改革を 見据えた離島系統における 再エネ導入実証試験（新島 プロジェクト）</u>	<u>平成31年 電気学会全 国大会 本部企画シンポ ジウム</u>	無	<u>2019/3/14</u>
111	Yuki Nishitsuji, Yusuke Udagawa, Kazuhiko Ogimoto, Tetsuo Saitou, Katsuyuki Ukegawa, Suguru Fukutome	東京大学	The Effect of Continuously Renewed Wind Generation Forecast on Power System Operation	CIGRE International Conference AORC Technical Meeting 2019	有	2019/3/24- 28
112	Masamichi Ohba	電力中央 研究所	The impact of climate change on wind energy resources in Japan	European Geosciences Union, 2019	無	2019/04
113	Masamichi Ohba	電力中央 研究所	The Impact of Global Warming on Wind Energy Resources and Ramp Events in Japan	Atmosphere, 10, 265, doi.org/10.3390/atmos1 0050265	有	2019/05/11
114	Akifumi Nishi and Hiroyuki Kusaka	筑波大学	The “Karakkaze” Local Wind as a Convexity Wind: A Case Study using Dual- Sonde Observations and Numerical Simulations.	SOLA, 15, 160-165.	有	2019/08/21
115	Nakao K, Hattori Y	電力中央 研究所	Reconciliation of computational fluid dynamics and observations in complex terrain through conditional resampling	Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics	有	2019 (Accepted)

②研究開発項目（Ⅰ）風力発電予測・制御高度化：蓄エネルギー制御技術WG

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	原 亮一, 北 裕幸	北海道 大学	HP/BG 併用熱供給システム による風力発電出力ランプ 変動抑制の検討	電気学会全国大会	無	2015/3/24-26
2	伊藤 雅一, 藤本 悠, 光岡 正隆, 石井 英雄, 林 泰弘	早 稲 田 大学	連系要件の違いによる蓄エ ネルギー装置の所要出力・ 時間容量の検討	電気学会 電力・エネル ギー部門大会	有	2015/8/25
3	濱本篤志, 原亮一, 北裕幸	北 海 道 大学	HP/BG 併用熱供給システム による風力発電出力ランプ 変動抑制の検討—リアルタ イム制御手法の提案	電気学会 電力・エネル ギー部門大会	無	2015/8/25
4	濱本篤志, 原亮一, 北裕幸	北 海 道 大学	HP/BG 併用熱供給システム による風力発電出力ランプ 変動抑制の検討	平成 27 年度電気学会電力 技術・電力系統技術合同 研究会	無	2015/9/18
5	濱本篤志, 原亮一, 北裕幸	北 海 道 大学	HP/BG 併用熱供給システム による風力発電出力ランプ 変動抑制の検討 —WF 容量 が制御結果へ与える影響の 評価—	電気・情報関係学会 北 海道支部連合大会	無	2015/11/7
6	平瀬貴之, 原亮一, 北裕幸	北 海 道 大学	HP/BG 併用熱供給システム による風力発電出力ランプ 変動抑制の検討 —計画発電 の基礎検討—	電気・情報関係学会 北 海道支部連合大会	無	2015/11/7
7	原亮一, 北裕幸	北 海 道 大学	HP/BG 併用熱供給システム の等価蓄電池容量	電気・情報関係学会 北 海道支部連合大会	無	2015/11/7
8	高山聡志, 石亀篤司	大 阪 府 立大学	蓄電池を用いた風力発電の 計画発電に関する基礎検討	電力系統技術研究会 「電力系統における蓄電 池利用・制御技術」	有	2016/1/27
9	吉田 孝太郎 高山 聡志, 石亀 篤司	大 阪 府 立大学	蓄電池容量を考慮した風力 発電出力の変動抑制制御に 関する基礎検討	電気学会全国大会	無	2016/3/16-18
10	平瀬 貴之 原 亮一 北 裕幸	北 海 道 大学	HP/BG 併用熱供給システム による風力発電出力ランプ 変動抑制の検討 —計画発電 の年間シミュレーション—	電気学会全国大会	無	2016/3/16-18
11	伊藤 雅一, 藤本 悠, 光岡 正隆, 石井 英雄, 林 泰弘	早 稲 田 大学	蓄エネルギー装置の出力事 前制御による風力発電出力 変動緩和のための所要容量 削減効果に関する基礎検討	電気学会全国大会	無	2016/3/16-18
12	M. Ito, Y. Fujimoto, M. Mitsuoka, H. Ishii, Y. Hayashi	早 稲 田 大学	Control Methods for an Energy Storage System when a Wind Power Output Deviate Grid Code	ICEE (沖縄)	有	2016/7/3-7
13	吉田孝太郎, 根岸信太郎, 高山聡志, 石亀篤司	大 阪 府 立大学	蓄電池を用いた WF の発電 計画値平滑化に関する基礎 検討	新エネルギー・環境/高 電圧合同研究会	有	2016/7/12-13

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
14	石川志保、 岩淵和則、 高橋圭二、 原亮一、 北裕幸	北海道 大学	建設後15年を経過した家 畜ふん尿処理用バイオガス プラントのエネルギー評価	2016年度農業施設学会大 会	無	2016/8/29-31
15	伊藤雅一、 藤本悠、 光岡正隆、 石井英雄、 林泰弘	早稲田 大学	風力発電の変動緩和におけ る予測値の粒度が蓄エネル ギー装置の出力事前制御に 与える影響の基礎検討	電気学会 電力・エネル ギー部門大会	無	2016/9/7-9
16	平瀬貴之、 原亮一、 北裕幸	北海道 大学	HP/BG 併用熱供給システム による風力発電出力ランプ 変動抑制の検討 —計画発 電の年間シミュレーション—	電気学会 電力・エネル ギー部門大会	無	2016/9/7-9
17	高山聡志、 石亀篤司	大阪府 立大学	確定論的最適化手法を用い た風力発電の出力変動抑制 制御に関する基礎検討	電気学会 電力・エネル ギー部門大会	無	2016/9/7-9
18	吉田 孝太郎 高山聡志、 石亀篤司	大阪府 立大学	蓄電池容量を用いた風力発 電変動抑制制御に関する予 測の位相誤差評価	電気学会 電力・エネル ギー部門大会	無	2016/9/7-9
19	平瀬 貴之、 原亮一、 北裕幸、 石川志保	北海道 大学	HP/BG 併用熱供給システム による風力発電出力ランプ 変動抑制の検討 -計画発電 の検討—	電気学会 電力技術/電力 系統技術合同研究会	無	2016/9/20-21
20	吉田 孝太郎、 根岸 信太郎、 高山 聡志、 石亀 篤司	大阪府 立大学	蓄電池容量低減を目的とす るWFの発電計画コマ間変 動緩和に関する基礎検討	電気学会 電力技術/電力 系統技術合同研究会	無	2016/9/20-21
21	石川志保、 岩淵和則、 高橋圭二、 鈴木崇司、 原亮一、 北裕幸、 干場信司	北海道 大学	家畜ふん尿管理用バイオガ スプラントにおける運用上 の課題	第27回廃棄物資源循環 学会研究発表会	有	2016/9/27-29
22	北海道電力	北海道 電力	北海道における再生可能エ ネルギーの導入状況と今後 の取り組み	電気設備学会論文誌 11 月号	有	2016/11
23	吉田 孝太郎 根岸 信太郎 高山 聡志 石亀 篤司	大阪府 立大学	蓄電池併設風力発電所を想 定したコマ間変動緩和計画 値作成手法における蓄電池 容量評価	平成28年電気関係学会 関西支部連合大会	無	2016/11/22-23
24	溝畑 裕一 吉田 孝太郎 根岸 信太郎 高山 聡志 石亀 篤司	大阪府 立大学	風力発電における出力抑制 を考慮した発電計画作成手 法	平成28年電気関係学会 関西支部連合大会	無	2016/11/22-23
25	伊藤雅一 藤本悠 光岡正隆 石井英雄 林泰弘	早稲田 大学	時間枠に対する最大出力変 動幅が指定された連系要件 における風力発電出力抑制 制御による蓄エネルギー装 置の所要容量削減効果	平成29年電気学会全国 大会	無	2017/3/15-17
26	金成宇輝 伊藤雅一 藤本悠 林泰弘	早稲田 大学	風力発電出力予測誤差と蓄 エネルギー装置の充電レベ ルを考慮した翌日発電計画 値作成手法	平成29年電気学会全国 大会	無	2017/3/15-17

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
27	吉田 孝太郎 根岸 信太郎 高山 聡志 石亀 篤司	大阪府 立大学	蓄電池併設型 WF を想定し た同時同量制御手法に関する 基礎検討	平成 29 年電気学会全国 大会	無	2017/3/15-17
28	溝畑 裕一 吉田 孝太郎 根岸 信太郎 高山 聡志 石亀 篤司,	大阪府 立大学	出力上限値による出力抑制 を考慮した風力発電計画手 法に関する検討	平成 29 年電気学会全国 大会	無	2017/3/15-17
29	床本彩帆, 原亮一, 北裕幸, 石川志保	北海道 大学	HP/BG 併用熱供給システムに よる風力発電出力変動 抑制の検討—複数サイトを対 象とした運用計画の検討—	平成 29 年電気学会全国大会	無	2017/03/15-17
30	市川翼, 原亮一, 北裕幸, 石川志保	北海道 大学	HP/BG 併用熱供給システムに よる風力発電出力変動 抑制の検討—運用計画策定手法 の改良と予測精度向上の効果—	平成 29 年電気学会全国大会	無	2017/03/15-17
31	Kotaro Yoshida, Shintaro Negishi, Satoshi Takayama, and Atsushi Ishigame	大阪府 立大学	Scheduled Operation of Wind Farm with Battery Energy Storage System Considering Ramp Events	ICEE2017	有	2017/07/4-7
32	Masakazu Ito, Yu Fujimoto, Masataka Mitsuoka, Hideo Ishii, Yasuhiro Hayashi.	早稲田 大学	An Evaluation of a Control Method of Energy Storage Systems for Scheduled Generation by Wind Power Systems for an Electricity Market under a Grid Code Defining Maximum Change of Wind Power Output in a Time Interval	WWEC2017	有	2017/6/12-15
33	Ishikawa, S., Iwabuchi, K., Hara, R., Kita, H.	北海道 大学	Energy and economical evaluation of a biogas generation plant under the Feed-in Tariff scheme in Japan	5th World BIOENERGY CONGRESS AND EXPO	有	2017/6/29-30
34	濱本篤志、 原亮一、 北裕幸	北海道 大学	HP/BG 併用熱供給システム による風力発電出力変動抑 制の検討	電気学会論文誌 B, Vol. 137, No. 6, pp. 446- 452	有	2017/06
35	伊藤雅一 藤本悠 光岡正隆 石井英雄 林泰弘	早稲田 大学	風力発電出力予測と現在 の発電出力を考慮した出 力事前制御による変動緩 和効果	平成 29 年電気学会電 力・エネルギー部門大会	無	2017/09/05-07
36	菊地亜希 伊藤雅一 林泰弘	早稲田 大学	風力発電の翌日発電計画 値作成手法における蓄エ ネルギー装置の充電レベ ル調整手法の比較	平成 29 年電気学会電 力・エネルギー部門大会	無	2017/09/05-07
37	原亮一 北裕幸 石川志保 平瀬貴之	北海道 大学	HP/BG 併用熱供給システム を用いた風力発電の計画発 電手法	平成 29 年電気学会電 力・エネルギー部門大会	無	2017/09/05-07

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
38	市川翼 原亮一 北裕幸 石川志保	北海道 大学	HP/BG 併用熱供給システム による風力発電出力ランプ 変動抑制の検討-実証設備 の特性試験結果-	平成 29 年電気学会電 力・エネルギー部門大会	無	2017/09/05-07
39	床本彩帆 原亮一 北裕幸 石川志保	北海道 大学	HP/BG 併用熱供給システム による風力発電出力ランプ 変動抑制の検討-複数サイ トを対象とした運用計画策 定手法の精度検証-	平成 29 年電気学会電 力・エネルギー部門大会	無	2017/09/05-07
40	高山聡志 石亀篤司	大阪府 立大学	最適化手法を用いた風力発 電出力のランプ変動抑制制 御に関する研究	平成 29 年電気学会電 力・エネルギー部門大会	無	2017/09/05-07
41	吉田孝太郎 根岸信太郎 高山聡志 石亀篤司	大阪府 立大学	ランプ変動への対応を目的 とした蓄電池併設型風力発 電所の確率論的計画発電手 法に関する検討	平成 29 年電気学会電 力・エネルギー部門大会	無	2017/09/05-07
42	日浦 俊哉 鈴木 守 蓮池 宏 佐藤 隆 中道 亮	エネ ル ギ ー 総 合 工 学 研 究 所	断熱圧縮空気エネルギー貯 蔵システムによる風力出力 制御 - (1) 実証設備の構築 -	平成 29 年電気学会電 力・エネルギー部門大会	無	2017/09/05-07
43	市川翼 原亮一 北裕幸 田中英一 石川志保	北海道 大学	HP/BG 併用熱供給システム による風力発電出力ランプ 変動抑制の検討-実証設備 の特性を考慮したシミュ レーション-	平成 29 年電力技術・電 力系統技術合同研究会	無	2017/09/21-22
44	床本彩帆 原亮一 北裕幸 田中英一 石川志保	北海道 大学	HP/BG 併用熱供給システム による風力発電出力ランプ 変動抑制の検討-複数シス テムを対象とした制御手法 の検討-	平成 29 年電力技術・電 力系統技術合同研究会	無	2017/09/21-22
45	吉田孝太郎 根岸信太郎 高山聡志 石亀篤司	大阪府 立大学	発電出力予測の不確実性を 考慮した蓄電池併設型風力 発電所の確率論的計画発電 手法に関する検討	平成 29 年電力技術・電 力系統技術合同研究会	有	2017/09/21-22
46	高山聡志 石亀篤司	大阪府 立大学	風力発電の出力変動抑制制 御における出力抑制による 蓄電池容量削減効果	平成 29 年電力技術・電 力系統技術合同研究会	有	2017/09/21-22
47	吉田孝太郎 根岸信太郎 高山聡志 石亀篤司	大阪府 立大学	ランプ変動への対応を目的 としたウィンドファームの 計画発電手法および蓄電池 必要容量の評価	電気学会論文誌 B	有	2017/10
48	床本彩帆 原亮一 北裕幸 石川志保	北海道 大学	HP/BG 併用熱供給システム による風力発電出力ランプ 変動抑制の検討 -複数シス テムを対象とした制御手法 による年間シミュレーショ ン-	平成 29 年度電気・情報 関係学会北海道支部連合 大会	無	2017/10/28-29
49	市川翼 原亮一 北裕幸 石川志保	北海道 大学	HP/BG 併用熱供給システム による風力発電出力ランプ 変動抑制の検討 -実証設 備のシミュレーションモデ ル-	平成 29 年度電気・情報 関係学会北海道支部連合 大会	無	2017/10/28-29
50	秋岡竜太 原亮一 北裕幸 石川志保	北海道 大学	HP/BG 併用熱供給システム による風力発電出力ランプ 変動抑制の検討 -プラ ント条件に対する最適なサイ ト設計の基礎検討-	平成 29 年度電気・情報 関係学会北海道支部連合 大会	無	2017/10/28-29

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
5 1	吉田孝太郎 根岸信太郎 高山聡志 石亀篤司	大阪府 立大学	蓄電池併設型 WF の確率論 的計画発電手法で用いる WF 発電シナリオ本数に関 する検討	平成 29 年電気関係学会 関西支部連合大会	無	2017/11/25-26
5 2	市川翼 原亮一 北裕幸 石川志保	北海道 大学	HP/BG 併用熱供給システム による風力発電出力ランプ 変動抑制の検討-実証設備 のモデリングおよびシミュ レーション-	電気学会電力系統技術研 究会	無	2018/01/25
5 3	菊地亜希 伊藤雅一 林泰弘	早稲田 大学	時間前市場における充電レ ベル推移を考慮した風力発 電の発電計画値作成手法	平成 30 年電気学会全国 大会	無	2018/3/14-16
5 4	横山凌 原亮一 北裕幸 石川志保	北海道 大学	HP/BG 併用熱供給システム による風力発電出力ランプ 変動抑制の検討 -HP 台数 制御を考慮した計画発電の 検証-	平成 30 年電気学会全国 大会	無	2018/3/14-16
5 5	秋岡竜太 原亮一 北裕幸 石川志保	北海道 大学	HP/BG 併用熱供給システム による風力発電出力ランプ 変動抑制の検討 -設備容 量増設による変動抑制能力 への影響-	平成 30 年電気学会全国 大会	無	2018/3/14-16
5 6	溝畑裕一 吉田孝太郎 根岸信太郎 高山聡志 石亀篤司	大阪府 立大学	オンライン出力抑制を考慮 した風力発電計画手法に関 する検討	平成 30 年電気学会全国 大会	無	2018/3/14-16
5 7	吉田孝太郎 根岸信太郎 高山聡志 石亀篤司	大阪府 立大学	連系要件からの逸脱量低減 を目的とした WF の確率論 的発電計画	平成 30 年電気学会全国 大会	無	2018/3/14-16
5 8	石川志保 岡本英竜 高橋圭二 石田恭弘 原亮一 北裕幸 岩淵和則	北海道 大学	発生バイオガスに及ぼす原 料の影響～乳牛ふん尿スラ リーと消化液との比較	日本畜産学会 第 124 回 大会	有	2018/3/27-30
5 9	根岸 信太郎 吉田 孝太郎 高山 聡志 石亀 篤司	大阪府 立大学	風力発電所の確率論的計画 発電における発電出力シナ リオ生成手法	電気学会論文誌 B	有	2018/3
6 0	高山聡志, 石亀篤司	大阪府 立大学	最適化手法を用いた風力発 電出力のランプ変動抑制制 御に関する研究	電気学会論文誌 B	有	2018/5
6 1	吉田孝太郎, 根岸信太郎, 高山聡志, 石亀篤司	大阪府 立大学	コンピュータを用いた発電出力 シナリオに基づくウィンド ファームの確率論的計画発 電手法	電気学会論文誌 B	有	2018/6
6 2	原亮一 北裕幸 石川志保 平瀬貴之	北海道 大学	HP/BG 併用熱供給システム を用いた風力発電の計画発 電手法	電気学会論文誌 B	有	2018/06

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
63	Kohtaro Yoshida, Shintaro Negishi, Satoshi Takayama, and Atsushi Ishigame	Osaka Prefecture University	Scheduled operation of wind farm with a battery-energy-storage-system considering ramp events	Journal of International Council on Electrical Engineering	有	2018/6
64	Ryoichi Hara Hiroyuki Kita Shiho Ishikawa	北海道大学	Equivalent Energy Storage Capability of Combined Heat Pump and Biogas Engine Generator System	20th Power System Computation Conference (PSCC2018)	有	2018/06/11-15
65	Masakazu Ito, Yu Fujimoto, Masataka Mitsuoka, Hideo Ishii, Yasuhiro Hayashi	早稲田大学	State-of-Charge Target Control for Energy Storage System for Imbalance and Wind Curtailment Reduction in Electricity Market	GRE2018	有	2018/6/17-22
66	Hiroshi Hasyike, Toshiya Hiura Mamiru Suzuki Masakazu Ito, Masataka Mitsuoka, Yu Fujimoto, Hideo Ishii, Yasuhiro Hayashi	エネルギー総合工学研究所 他	Development and Demonstration of Compressed Air Energy Storage System for Power Copensation of Intermittent Renewables	GRE2018	有	2018/6/17-22
67	Aki Kikuchi Masakazu Ito Yasuhiro Hayashi	早稲田大学	Scheduling Method of Wind Power Generation for Electricity Market using State-of-Charge Transition and Forecast Error	ICEE 2018	有	2018/6/24-28
68	蓮池 宏 日浦 俊哉 伊藤 雅一 光岡 正隆 林 泰弘	エネルギー総合工学研究所 他	圧縮空気エネルギー貯蔵システムによる風力発電の出力制御	日本ガスタービン学会誌	無	2018/07
69	石川志保 市川翼 原亮一 北裕幸 岩淵和則 高橋圭二	北海道大学	RE 電源の出力変動を考慮した乳牛ふん尿メタン発酵システムの概要とエネルギー性能評価	第 29 回廃棄物資源循環学会研究発表会	有	2018/09/11-14
70	菊地 亜希 伊藤 雅一 林 泰弘	早稲田大学	圧縮空気エネルギー貯蔵システムを用いた風力発電システムの計画発電—推定予測誤差と実予測誤差の差の分布を考慮した計画値作成手法—	平成 30 年電気学会電力・エネルギー部門大会	無	2018/9/12-14

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
71	秋岡竜太 原亮一 北裕幸 石川志保	北海道 大学	HP/BG 併用熱供給システム による風力発電出力ランプ 変動抑制の検討ーガスバッ グ・蓄熱槽容量増設による システムの性能への影響ー	平成 30 年電気学会電 力・エネルギー部門大会	無	2018/09/12-14
72	市川翼 原亮一 北裕幸 石川志保	北海道 大学	HP/BG 併用熱供給システム による風力発電出力ランプ 変動抑制の検討-HP/BG の 起動停止特性を考慮した制 御手法-	平成 30 年電気学会電 力・エネルギー部門大会	無	2018/09/12-14
73	市川翼 原亮一 北裕幸 石川志保	北海道 大学	HP/BG 併用熱供給システム による風力発電出力ランプ 変動抑制の検討-実証試験 による制御手法の評価-	平成 30 年電気学会電力 技術・電力系統技術合同 研究会	無	2018/09/26-27
74	横山凌 原亮一 北裕幸 石川志保	北海道 大学	HP/BG 併用熱供給システム による風力発電出力ランプ 変動抑制の検討-機器特性 を考慮した計画発電の制御 手法開発-	平成 30 年電気学会電力 技術・電力系統技術合同 研究会	無	2018/09/26-27
75	秋岡竜太, 原亮一, 北裕幸, 石川志保	北海道 大学	HP/BG 併用熱供給システムに よる風力発電出力ランプ変動 抑制の検討ー変動抑制能力と 経済性を考慮した最適なプラ ント設計ー	平成 30 年電気学会電力技 術・電力系統技術合同研究 会	無	2018/09/26-27
76	Masakazu Ito, Aki Kikuchi, Yu Fujimoto, Masataka Mitsuoka, Hideo Ishii, Yasuhiro Hayashi	早稲田 大学	Experimental Results of a Wind Power Plant Scheduling Method Considering State-of- Charge Transition for an Electricity Market with the Compressed Air Energy Storage System	17th Wind Integration Workshop	有	2018/10/17-19
77	市川翼 原亮一 北裕幸 石川志保	北海道 大学	HP/BG 併用熱供給システム による風力発電出力ランプ 変動抑制の検討 -バイオガ ス発生量が与える変動抑制 能力への影響力の評価-	平成 30 年度電気・情報 関係学会北海道支部連合 大会	無	2018/10/27
78	Ishikawa, S., Iwabuchi, K., Takahashi, K., Hara, R., Kita, H.	北海道 大学	Proposed maximization of biogas production by the sequenced process of mesophilic fermentation and thermophilic fermentation for cow manure methane fermentation	2018 6th International Conference on Sustainable Environment and Agriculture (ICSEA 2018)	無	2018/10/30-31
79	伊藤 雅一 藤本 悠 光岡 正隆 石井 英雄 林 泰弘	早稲田 大学	変動緩和向け出力事前制御 と風力発電出力抑制制御に よる蓄エネ装置容量削減効 果	日本太陽エネルギー学 会・日本風力エネルギー 協会合同研究発表会	無	2018/11/8-9
80	蓮池 宏 林 泰弘	エネル ギー総 合工学 研究所	蓄エネルギー技術を用いた 出力変動制御技術の開発	電気学会誌	無	2018/11

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
8 1	Aki Kikuchi Masakazu Ito Yasuhiro Hayashi	早稲田 大学	Bid Determination Method for an Electricity Market with State-of- Charge Maintenance of a Compressed Air Energy Storage System Using the Prediction Interval of Wind Power Output	IRES 2019	有	2019/3/12-14
8 2	横山凌 原亮一 北裕幸 石川志保	北海道 大学	HP/BG 併用熱供給システム による風力発電出力ランプ 変動抑制の検討 -実証設備 による計画発電の検証-	平成 31 年電気学会全国 大会	無	2019/03/12-14
8 3	市川翼 原亮一 北裕幸 石川志保	北海道 大学	HP/BG 併用熱供給システム による風力発電出力ランプ 変動抑制の検討 -実証設 備による変動抑制効果の検 証-	平成 31 年電気学会全国 大会	無	2019/03/12-14
8 4	二口 護, 高山聡志, 石亀篤司,	大阪府 立大学	PCS 特性を考慮した風力発 電所の計画発電に関する検 討	平成 30 年 電気学会 電 力・エネルギー部門大会	無	2018/9/12-14
8 5	二口 護, 高山聡志, 石亀篤司,	大阪府 立大学	実機特性を考慮した風力発 電所の計画発電に関する実 験的検証	平成 30 年電気学会 電力 技術・電力系統技術合同 研究会	有	2018/9/26, 27
8 6	Ishikawa, S., Iwabuchi, K., Takahashi, K., Hara, R., Kita, H.	北海道 大学	Performance evaluation based on long-term operation results of biogas plant for livestock manure management	Engineering in Agriculture, Environment and Food, Volume 12, Issue 2, pp. 155-161	有	2019/4
8 7	Thi Nguyet Hanh Nguyen, Kuniaki Yabe, Masakazu Ito, Van Tu Dao, Hideo Ishii, Yasuhiro Hayashi,	早稲田 大学	Spinning Reserve Quantification Considering Confidence Levels of Forecast in Systems with High Wind and Solar Power Penetration	電気学会共通英文論文誌 Vol.14 (Early View)	有	2019/6
8 8	菊地亜希, 伊藤雅一, 林泰弘	早稲田 大学	風力発電システムの計画発 電におけるウィンドファーム 規模の違いに よる蓄エネルギー装置の所 要設備容量削減効果の比較	令和元年電気学会電力・ エネルギー部門大会	無	2019/9

③ 研究開発項目(Ⅱ) 予測技術系統運用シミュレーション：需給シミュレーションWG

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	J. Kumano、 A. Yokoyama	The University of Tokyo	Optimal Weekly Operation Scheduling on Pumped Storage Hydro Power Plant and Storage Battery Considering Reserve Margin with a Large Penetration of Renewable Energy	2014 International Conference on Power System Technology (POWERCON 2014)	有	2014. 10. 20 ~22
2	熊野純一、 横山明彦	東京大学	再生可能エネルギー発電の出力予測を考慮した揚水発電機と蓄電池の最適運用に関する研究	平成 27 年電気学会全国大会	無	2015. 3. 25
3	Wataru Ukita, Akihiko Yokoyama	The University of Tokyo	Optimal Weekly Operation Scheduling of Pumped Storage Hydro Power Plant and Storage Battery in a Power System with a Large Penetration of Renewable Energy	IEEE P&ES-IEEE PES Thailand Joint Symposium on Advanced Technology	有	2016. 3. 11
4	横山明彦、 田辺隆也、 天野博之	東京大学、 電力中央研究所	「再エネ導入検討のための需給シミュレータ開発と電力系統における運用実証」 1. 需給シミュレータ開発の狙い・コンセプト	平成 28 年電気学会電力・エネルギー部門大会	無	2016. 9. 7~9
5	田辺隆也、 天野博之、 横山明彦	電力中央研究所、 東京大学	「再エネ導入検討のための需給シミュレータ開発と電力系統における運用実証」 2. 供給信頼度評価と需給運用計画に関する解析手法の概要	平成 28 年電気学会電力・エネルギー部門大会	無	2016. 9. 7~9
6	天野博之、 田辺隆也、 横山明彦	電力中央研究所、 東京大学	「再エネ導入検討のための需給シミュレータ開発と電力系統における運用実証」 3. 平常時の周波数・連系線潮流変動シミュレーション・スクリーニング	平成 28 年電気学会電力・エネルギー部門大会	無	2016. 9. 7~9
7	小林義明、 草川慎一、 田辺隆也、 天野博之、 横山明彦	東光高岳、 電力中央研究所、 東京大学	「再エネ導入検討のための需給シミュレータ開発と電力系統における運用実証」 4. 需給シミュレータ構築の概要	平成 28 年電気学会電力・エネルギー部門大会	無	2016. 9. 7~9
8	宇喜多航、 横山明彦	東京大学	「再エネ導入検討のための需給シミュレータ開発と電力系統における運用実証」 5. 再エネ発電出力予測誤差を考慮した供給信頼度とコスト評価	平成 28 年電気学会電力・エネルギー部門大会	無	2016. 9. 7~9

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
9	片岡良彦、 前田直人、 磯尾淳、 大原尚、 田辺隆也、 天野博之、 横山明彦	東京電力 パワーグ リッド、 電力中央 研究所、 東京大学	「再エネ導入検討のための 需給シミュレータ開発と電 力系統における運用実証」 6. シミュレーションシナリ オのねらいと概要	平成 28 年電気学会電力・ エネルギー部門大会	無	2016. 9. 7~9
10	宇喜多航、 横山明彦	東京大学	再生可能エネルギー導入時 の二地域電力系統における 電力貯蔵装置の運用計画に 関する研究	平成 29 年電気学会全国大 会	無	2017. 3. 15~ 17
11	田辺隆也、 馬橋義美津、 横山明彦	電力中央 研究所、 東京電力 パワーグ リッド、 東京大学	再エネ大量導入検討のため の電力需給解析シミュレー タの開発	平成 29 年電気学会全国大 会	無	2017. 3. 15~ 17
12	Ryuya Tanabe, Hiroyuki Amano, Akihiko Yokoyama	CRIEPI、 The Universi ty of Tokyo	An Analytical Method for Assessing Flexible Resource Adequacy of Power Systems with a High Share of Renewables	12th IEEE PES PowerTech conference	有	2017. 6. 18- 22
13	谷口暢、 横山明彦	東京大学	多地域系統における予備力 確保を考慮した発電機およ び電力貯蔵装置の最適週間 運用計画に関する研究	平成 30 年電気学会電力・ エネルギー部門大会	無	2018. 9. 12~ 14
14	田辺隆也、 横山明彦	電力中央 研究所、 東京大学	ネット需要ランプの平準化 を目的とした揚水発電運用 計画手法	平成 30 年電気学会電力・ エネルギー部門大会	無	2018. 9. 12~ 14
15	谷口暢、 横山明彦	東京大学	多地域モデルにおける予備 力融通を考慮した最適週間 運用計画および週間需給シ ミュレーション	電気学会電力技術・電力系 統技術合同研究会	無	2018. 9. 26~ 27
16	Toru Taniguchi, Akihiko Yokoyama	The Universi ty of Tokyo	Optimal Weekly Operation Scheduling of Generating Units and Energy Storage Systems in Multi-Area Power System with a Large Penetration of Renewable Energy	24 th International Conference on Electrical Engineering	有	2018. 6. 24~ 28
17	谷口暢、 横山明彦	東京大学	多地域系統における広域予 備力融通を考慮した発電機 および電力貯蔵装置の最適 週間運用計画	平成 31 年電気学会全国大 会	無	2019. 3. 12~ 14

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
18	横山明彦 田辺隆也 片岡良彦 小林義明	東京大学、 電力中央 研究所、 東京電力 パワーグ リッド、 東光高岳	再エネ大量検討のための電力需給解析シミュレータ	平成 31 年電気学会全国大会	無	2019. 3. 12~ 14
19	Ryuya Tanabe, Akihiko Yokoyama	CRIEPI, The Universi ty of Tokyo	Pumped-Storage Hydropower Operation Scheduling Method for Net Load Ramp Leveling	13th IEEE PES PowerTech conference	有	2019. 6. 23- 27
20	横山明彦 田辺隆也	東京大学 電力中央 研究所	需給対応レベルに基づく電力需給状況の分析手法	令和元年電気学会電力・エネルギー部門大会	無	2019. 9. 3-6
21	横山明彦 田辺隆也	東京大学 電力中央 研究所	需給対応レベルに基づく電力需給状況の分析手法 ー 再エネ大量導入時の需給対応の評価ー	電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会	無	2019. 9. 19- 20

⑤ 研究開発項目(Ⅲ) 再生可能エネルギー連系拡大対策高度化：出力制御技術（風力）WG

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	島村充、 飯岡大輔、 斎藤浩海	東北 大学	風力発電機群に対する公平な出力制御量の配分決定方法に関する基礎検討	電気学会全国大会	無	2016/3/18
2	M. Shimamura , D. Iioka, H. Saitoh	東北 大学	Study on Decision Method of Equitable Distribution of Wind Power Curtailments Based on Accumulation of Past Error	The International Conference on Electrical Engineering (ICEE) 2016	無	2016/7/4
3	島村充、 飯岡大輔、 斎藤浩海	東北 大学	風力発電機の出力制御量を決めるパラメータが公平性に及ぼす影響	電気学会電力・エネルギー部門大会	無	2016/9/9
4	島村充、 飯岡大輔、 斎藤浩海	東北 大学	年間需給データを用いた風力発電機群に対する出力制御量の公平な配分に関する検討	電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会	無	2016/9/20
5	飯岡大輔、 斎藤浩海	東北 大学	風力発電設備群の公平な出力制御量配分を目的とした年間出力制御計画の調整	電気学会新エネルギー・環境/高電圧合同研究会	無	2017/6/14
6	飯岡大輔、 斎藤浩海	東北 大学	電力供給過剰時の風力発電設備群に対する公平な出力制御量配分の決定手法の提案	電気学会電力・エネルギー部門大会	無	2017/9/5
7	飯岡大輔、 野瀬淳平、 斎藤浩海	東北 大学	風力発電設備群の発電出力予測値が公平な出力制御量配分に及ぼす影響	電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会	無	2017/9/21

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
8	飯岡大輔、 斎藤浩海	東北 大学	電力供給過剰時の風力発電 設備群に対する公平な出力 制御量配分の決定手法の提 案	電気学会論文誌 B	無	2018/2/1
9	飯岡大輔、 野瀬淳平、 斎藤浩海	東北 大学	風力発電設備群出力の短期 予測に基づいた出力制御計 画の決定手法に関する検討	電気学会全国大会	無	2018/3/14
10	吉田健二、 早崎宣之	伊藤忠 テクノロ ジーズ	遠隔出力制御のための風力 発電出力予測モデルの高度 化とその予測精度	電気学会全国大会	無	2018/3/14
11	村上美雪、 小島貴之、 早崎宣之	伊藤忠 テクノロ ジーズ	遠隔出力制御のための太陽 光発電出力予測モデル開発 とその予測精度検証	電気学会全国大会	無	2018/3/16
12	村上美雪、 吉田健二、 小島貴之、 早崎宣之	伊藤忠 テクノロ ジーズ	遠隔出力制御のための風力 発電・太陽光発電出力予測 モデル開発	出力予測研究会	無	2018/7/18
13	斎藤浩海	東北 大学	自然変動電源の出力制御量 最適配分に関する基本的研 究	電気評論	無	2018/9/10
14	吉田健二、 早崎宣之、 坂本将造、 松本光裕	伊藤忠 テクノロ ジーズ他	風力発電出力予測モデルの アプローチ別の予測精度の 比較	電気学会電力・エネル ギー部門大会	無	2018/9/13
15	小島貴之、 村上美雪、 早崎宣之	伊藤忠 テクノロ ジーズ	遠隔出力制御のための日射 強度推定モデル開発とその 推定精度検証	電気学会電力・エネル ギー部門大会	無	2018/9/13
16	関沼和浩、 山本勝也	東北 電力他	風力発電遠隔出力制御の実 証試験	電気学会誌	無	2018/12/1
17	斎藤浩海、 早崎宣之	東北 大学他	風力発電出力制御の高度化 技術	電気学会誌	無	2018/12/1
18	八代浩久	東北 電力	風力発電の遠隔出力制御シ ステムの開発と実証試験	電気評論	無	2019/1/10
19	早崎宣之	伊藤忠 テクノロ ジーズ	Introduction to Variable Renewable Energy Forecasting – A Mitigation Technology on Output Fluctuations of Renewable Energy Generations in Power Grid –	Indonesia-Japan Renewable Energy System Integration Workshop 2019	無	2019/1/16
20	早崎宣之	伊藤忠 テクノロ ジーズ	Introduction of VRE Forecasting System– A Mitigation Technology on Output Fluctuations of Renewable Energy Generations in Power Grid –	Thailand - Japan Green City Workshop 2019	無	2019/2/4

⑥ 研究開発項目(Ⅲ) 再生可能エネルギー連系拡大対策高度化：出力制御技術（太陽光）WG

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	福岡健志	東京電力HD	次世代双方向通信出力制御緊急実証事業における取組について	電気学会東京支部埼玉支所研究発表会企業講演 主催：電気学会	無	2017/3/7
2	馬場博幸、 宇田川佑介、 今中政輝、 荻本和彦、 天津孝之、 増田浩	東京大学他	IoTの進展を踏まえた需要デイスパッチの検討	平成29年電気学会全国大会	無	2017/3/15
3	高澤佑太、 赤木覚、 芳澤信哉、 石井英雄、 林泰弘	早稲田大学	スマートインバータのVolt-VAR機能の制御パラメータ変更による無効電力出力量への影響評価	平成29年電気学会全国大会	無	2017/3/17
4	岩船由美子、 荻本和彦	東京大学	2030年、2050年の家庭部門デマンドレスポンスの可能性について	第36回エネルギー・資源学会 研究発表会	無	2017/6/8
5	DAO Van Tu, Hideo Ishii, Yasuhiro Hayashi	早稲田大学	Voltage and Energy Loss Assessment for Systems with Smart Inverter Functions of Rooftop Solar	ECTI-CON 2017	無	2017/6/27-30
6	宇田川 佑介、 西辻 裕紀、 荻本 和彦、 Joao Gari da Silva Fonseca Junior, 請川 克之、 福留 潔	東京大学他	太陽光発電出力当日予測を用いた運用計画の改善	平成29年 電気学会 電力・エネルギー部門大会	無	2017/9/5-7
7	Joao Gari da Silva Fonseca Junior, Yuki Nishitsuji, Yusuke Udagawa, Kazuhiko Ogimoto, Takashi Oozeki	東京大学他	On the Impact of Different Forecast Error Patterns on Day-Ahead Curtailment Planning of Photovoltaic Power	平成29年 電気学会 電力・エネルギー部門大会	無	2017/9/5-7
8	高澤佑太、 赤木覚、 芳澤信哉、 石井英雄、 林泰弘	早稲田大学	スマートインバータVolt-VAR機能パラメータ変更の配電損失最小化観点からの評価	平成29年 電気学会 電力・エネルギー部門大会	無	2017/9/5-7

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
9	馬場博幸, 今中政輝, 荻本和彦, 天津孝之, 増田 浩, 宇田川佑介, 請川 克之	東京大 学他	IoT化する家電機器を対象 とした デマンドディスパッチシス テムの提案と試験的実装	平成 29 年 電気学会 電 子・情報・システム部門 大会	無	2017/9/7
10	宇田川佑介、 西辻裕紀、 荻本和彦、 Joao Gari da Silva Fonseca Junior、 請川克之、 福留潔	東京大 学他	太陽光発電出力当日予測を 用いた運用計画の改善とそ の効果	電力技術電力系統技術合同 研究会主催：電気学会	無	2017/9/21
11	Joao Gari da Silva Fonseca Junior, Fumichika UNO, Takashi OOZEKI, Kazuhiko OGIMOTO	東京大 学他	Intra-day Forecasts of PV Power with Numerical Weather Prediction Data and Machine Learning in Kyushu, Japan	33rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition	有	2017/9/25-29
12	Joao Gari da Silva Fonseca Junior, Yuki Nishitsuji, Yusuke Udagawa, Takashi Oozeki, Kazuhiko Ogimoto	東京大 学他	Photovoltaic Power Curtailment with Forecasting and Unit Commitment Scheduling: A Study on the Kanto Region in Japan	Solar World Congress - ISES-SWC 2017	有	2017/10/29- 11/2
13	Yuta Takasawa, Satoru Akagi, Shinya Yoshizawa, Hideo Ishii, Yasuhiro Hayashi	早稲田 大学	Effectiveness of Updating the Parameters of the Volt-VAR Control Depending on the PV Penetration Rate and Weather Conditions	IEEE PES_ISGT_ASIA 2017	有	2017/12/4-7

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
14	DAO Van Tu, Hideo Ishii, Yasuhiro Hayashi	早稲田 大学	Optimal Smart Functions of Large-scale PV Inverters in Distribution Systems	IEEE PES_ISGT_ASIA 2017	有	2017/12/4-7
15	岩船由美子、 池上貴志	東京大 学他	2050年の自動車部門のエ ネルギー消費に関する検討	第34回エネルギーシス テム・経済・環境コン ファレンス 主催：エネルギー・資源 学会	無	2018/1/25-26
16	岩船由美子、 荻本和彦、 東仁、 下田吉之、 松岡綾子	東京大 学他	ヒートポンプ給湯機及び電 気自動車のデマンドレスポ ンスのアグリゲーションモ デルの検討	平成30年電気学会全国 大会	無	2018/3/14-16
17	馬場博幸、 今中政輝、 荻本和彦、 天津孝之、 鈴木友矩、 宇田川佑介、 請川克之	東京大 学他	IoT化する家電機器による 電力需要創出に関するユー ザー受容性調査結果	平成30年電気学会全国 大会	無	2018/3/14-16
18	高澤佑太、 赤木覚、 芳澤信哉、 石井英雄、 林泰弘	早稲田 大学	スマートインバータの Volt-VAR制御パラメータ による配電系統への影響評 価に関する一検討	平成30年電気学会全国 大会	無	2018/3/14-16
19	DAO Van Tu, Hideo Ishii, Yasuhiro Hayashi	早稲田 大学	Optimal Responses of Home Energy Management Systems to Aggregator and Utility Requirements	IEEE PES ISGT ASIA 2018	有	2018/5/22-24
20	馬場博幸、 今中政輝、 荻本和彦、 天津孝之、 増田浩、宇 田川佑介、 請川克之	東京大 学他	IoT化する家電機器を対象 としたデマンドディスパッ チシステムの提案と試験的 実装	電気学会 電子・情報・ システム部門論文誌	有	2018/6
21	Joao Gari da Silva Fonseca Junior, Yuki Nishitsuji, Yusuke Udagawa, Takashi Oozeki, Kazuhiko Ogimoto	東京大 学他	Improving Regional PV Power Curtailment with Better Day-ahead PV Forecasts: An Evaluation of 3 Forecasts	World Conference on Photovoltaic Energy Conversion	有	2018/6/10-15

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
22	岩船由美子、 荻本和彦、 宇田川祐介	東京大 学	2050年の電気自動車走行 需要に関する検討	第37回エネルギー資源 学会研究発表会	無	2018/6/11-12
23	Joao Gari da Silva Fonseca Junior, Mitsuhiro Umizaki, Fumichika Uno, Takashi Oozeki, Kazuhiko Ogimoto	東京大 学他	Evaluation of the Interannual Accuracy of Day-ahead Forecasts of Solar Irradiation for Kyushu in Japan	Gran Renewable Energy 2018 - International Conference and Exhibition	無	2018/6/17-22
24	Takeshi Fukuoka, Ryo Maeda, Nobuyuki Nagayama, Fumihiko Ota, Naoaki Fukazu	東京電 力HD	Development and Performance Evaluation Test of Smart Inverter and Control System for Photovoltaic Power Generation	Gran Renewable Energy 2018 - International Conference and Exhibition	無	2018/6/17-22
25	DAO Van Tu, Hideo Ishii, Yasuhiro Hayashi	早稲田 大学	HEMS Optimization with Utility Requirements for Rooftop Solar-Battery Systems	IEEE PES General Meeting	有	2018/8/5-9
26	Mitsuhiro Umizaki, Fumichika Uno, Takashi Oozeki	産業技 術総合 研究所	Estimation and forecast accuracy of regional photovoltaic power generation with upscaling method using the large monitoring data in Kyushu, Japan	IFAC CPES2018	有	2018/9/4-6
27	馬場博幸、 荻本和彦、 天津孝之、 鈴木友矩、 今中政輝	東京大 学他	IoT化する家電機器による 能動的需創出と太陽光発 電の連携実験におけるPCS 動作特性評価	平成30年 電気学会 電 子・情報・システム部門 大会	無	2018/9/5-8
28	Joao Gari da Silva Fonseca Junior、 西辻裕紀、 宇田川祐介、 大関崇、 荻本和彦	東京大 学他	翌日予測を用いる太陽光発 電出力制御の評価における 2つの予測の精度の比較に ついて	平成30年 電気学会 電 力・エネルギー部門大会	無	2018/9/12-14

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
29	大関崇、 海崎光宏、 宇野史睦、 西辻裕紀、 宇田川佑 介、Joao Gari da Silva Fonseca Junior、 荻本 和彦	産業技 術総合 研究所 他	太陽光発電の発電予測・把 握技術における利用する データ数による分析結果の 影響評価	平成30年 電気学会 電 力・エネルギー部門大会	無	2018/9/12-14
30	海崎光宏、 宇野史睦、 大関崇、 西辻裕紀、 宇田川佑介、 Joao Gari da Silva Fonseca Junior、 荻本和彦	産業技 術総合 研究所 他	太陽光発電の発電予測・把 握技術におけるアップス ケーリングの誤差解析	平成30年 電気学会 電 力・エネルギー部門大会	無	2018/9/12-14
31	宇田川佑介、 西辻裕紀、 荻本和彦、 Joao Gari da Silva Fonseca Junior、 海崎光宏、 大関崇、 宇野史睦、 請川克之、 福留潔	東京大 学他	太陽光発電出力短時間予測 を考慮した高頻度発電機起 動停止計画	平成30年 電気学会 電 力・エネルギー部門大会	無	2018/9/12-14
32	大丸清旭、 福岡 建志、 前田亮、 永山伸行、 宮本卓也、 村上憲一、 原田慈、 高橋竜生	富士電 機他	国際標準規格を適用した分 散型電源制御システム (DERMS) によるスマートイ ンバータとの相互運用性の 評価報告	平成30年 電気学会 電 力・エネルギー部門大会	無	2018/9/12-14
33	前田亮、 福岡建志、 吉岡康哉、 長倉孝行	東京電 力HD他	系統安定化機能を具備した 太陽光インバータの単機能 試験	平成30年 電気学会 電 力・エネルギー部門大会	無	2018/9/12-14
34	福岡 建志、 太田文彦、 前田亮、 永山伸行	東京電 力HD	双方向通信方式を用いた出 力制御システムにおける太 陽光発電多台数適用時の課 題と対策について	平成30年 電気学会 電 力・エネルギー部門大会	無	2018/9/12-14
35	永山伸行、 福岡建志、 前田亮、 太田文彦	東京電 力HD	分散型電源マネジメントシ ステムおよびリアルタイム デジシミュレータを活用し た太陽光インバータの評価	平成30年 電気学会 電 力・エネルギー部門大会	無	2018/9/12-14

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
36	高澤佑太、 赤木覚、 芳澤信哉、 石井英雄、 林泰弘	早稲田 大学	各 PV 発電状態における Volt-VAR 制御時と定力率 制御時の電力損失に関する 評価	平成 30 年 電気学会 電 力・エネルギー部門大会	無	2018/9/12-14
37	村上晃平、 芳澤信哉、 藤本 悠、 石井英雄、 林泰弘	早稲田 大学	配電系統電圧制御における スマートインバータの地域 別制御パラメータ決定の影 響評価 学生員	平成 30 年 電気学会 電 力・エネルギー部門大会	無	2018/9/12-14
38	宇田川佑介、 西辻裕紀、 荻本和彦、 Joao Gari da Silva Fonseca Junior、 海崎光宏、 大関崇、 宇野史睦、 請川克之、 福留潔	東京大 学他	当日起動停止計画における 短時間太陽光発電出力予測 の効果	電気学会 電力技術・電 力系統技術合同研究会	無	2018/9/26-27
39	João Gari da Silva Fonseca Júnior, Kazuhiko Ogimoto, Mitsuhiro Umizaki, Fumichika Uno	東京大 学他	A Case Study on the Use of Multi-Machine Learning Models to Forecast Solar Irradiation	電気学会 電力技術・電 力系統技術合同研究会	無	2018/9/26-27
40	岩船由美子、 荻本和彦、 東仁	東京大 学他	2030 年の電力需給におけ る電気事業者の評価	電気学会 電力技術・電 力系統技術合同研究会	無	2018/9/26-27
41	Yusuke Udagawa, Yuki Nishitsuji, Kazuhiko Ogimoto, Joao Gari da Silva Fonseca Junior, Katsuyuki Ukegawa, Suguru Fukutome	東京大 学他	Japanese Power System Operation with Large Amounts of PV using Day-ahead and Intraday Unit Commitment	8th Solar Integration Workshop	有	2018/10/15-19

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
4 2	João Gari da Silva Fonseca Júnior, Kazuhiko Ogimoto, Fumichika Uno, Takashi Oozeki	東京大学他	On the Improvement of Day-ahead Forecasts of Solar Irradiation with Simple Ensembles and Training Data Selection in Japan: A Countrywide Assessment	8th Solar Integration Workshop	有	2018/10/15-19
4 3	Dao Van Tu, Yuta Takasawa, Kohei Murakami, Yuji Takenobu, Shinya Yoshizawa, Hideo Ishii, Yasuhiro Hayashi	早稲田大学	Optimal Responses of Home Energy Management Systems to Volt-watt Functions and Forecast Errors	IEEE PES ISGT Europe 2018	有	2018/10/21-25
4 4	Yuta Takasawa, Satoru Akagi, Shinya Yoshizawa, Hideo Ishii, Yasuhiro Hayashi	早稲田大学	Evaluation of Voltage Regulation Functions of Smart Inverters Based on Penetration Level and Curtailment in Photovoltaic Systems	IEEE PES ISGT Europe 2018	有	2018/10/21-25
4 5	海崎 光宏、宇野史睦、大関 崇	産業技術総合研究所	太陽光発電の発電予測における時刻毎の最大発電電力量を用いた持続モデルの開発	平成 30 年度 JSES・JWEA 合同研究発表会	有	2018/11/8-9
4 6	DAO Van Tu, Hideo Ishii, Yasuhiro Hayashi	早稲田大学	Optimal Parameters of Volt-Var Functions for Photovoltaic Smart Inverters in Distribution Networks	IEEJ Trans. Electrical and Electronic Engineering, Vol. 14, No. 1, pp75-84 (2019)	有	2019/1
4 7	岩船由美子、東仁、松岡綾子、下田吉之、荻本和彦	東京大学他	2030 年電力需給におけるヒートポンプ湯機のインパクト評価	第 35 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス	無	2019/1/29-30
4 8	矢部邦明、林泰弘	早稲田大学	蓄電池を再生可能エネルギーと併用する場合の環境性と経済性のエネルギーチェーンを考慮した評価	第 35 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス	無	2019/1/29-30
4 9	柳谷侑、村上晃平、芳澤信哉、石井英雄、林泰弘	早稲田大学	スマートインバータのスケジューリング機能を用いた力率制御の高度化手法の一検討	平成 31 年 電気学会全国大会	無	2019/3/12-14

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
50	高澤佑太、 赤木覚、 芳澤信哉、 石井英雄、 林泰弘	早稲田 大学	スマートインバータの電圧 制御パラメータ更新による 電力損失と電圧制御性能に 関する定量評価	平成31年 電気学会全国 大会	無	2019/3/12-14
51	ガリダシルバ フォンセカ ジョアン、 荻本和彦、 宇野史睦、 大竹秀明、 大関崇	東京大 学他	翌日の日射量予測における 改良されたモデルの性能に 関する一検討	平成31年 電気学会全国 大会	無	2019/3/12-14
52	大関崇、 海崎光宏、 宇野史睦、 西辻裕紀、 宇田川佑介、 Joao Gari da Silva Fonseca Junior、 荻本和彦	産 業 技 術 総 合 研 究 所 他	太陽光発電の短時間発電予 測におけるアップスケール リング時の予測誤差に与える 影響分析	平成31年 電気学会全国 大会	無	2019/3/12-14
53	岩船由美子、 荻本和彦、 東仁、 松岡綾子、 下田吉之	東 京 大 学他	2030年電力需給における ヒートポンプ給湯機及び電 気自動車のインパクト評価	平成31年 電気学会全国 大会	無	2019/3/12-14
54	宇田川佑介、 西辻裕紀、 荻本和彦、 ジョアン ガ リ ダ シルバ フォンセカ ジュニア、 海崎光宏、 大関崇、 宇野史睦、 請川克之、 大橋由季、 福留潔	東 京 大 学他	発電機起動停止計画モデル における電気自動車の導入	平成31年 電気学会全国 大会	無	2019/3/12-14
55	鈴木大、 前田亮、 太田文彦、 森健二郎、 吉岡康哉、 長倉孝行、 高野幸雄、 上村浩文	東 京 電 力 HD 他	スマートインバータ制御装 置を用いた電圧制御試験	平成31年 電気学会全国 大会	無	2019/3/12-14

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
56	前田亮、 鈴木大、 太田文彦、 森健二郎、 吉岡康哉、 長倉孝行、 高野幸雄、 上村 浩文	東京電 力HD他	スマートインバータを用い た周波数制御試験	平成31年 電気学会全国 大会	無	2019/3/12-14
57	Y. UDAGAWA, Y. Nishitsuji, K. OGIMOTO, Joao Gari da Silva Fonseca Junior, M. Umizaki, T. Oozeki, F. Uno, K. Ukegawa, S. Fukutome	東京大 学他	Unit Commitment Using Day-ahead and Intraday Forecasting of Large Amounts of PV in Japan	Cigre international conference & AORC technical meeting 2019	無	2019/3/24-28
58	馬場博幸、 荻本和彦、 天津孝之、 鈴木友矩、 今中政輝	東京大 学他	IoT化する家電機器による 能動的需要創出と太陽光発 電の連携実験におけるPCS 動作特性評価	電気学会 電子・情報・ システム部門論文誌	有	2019/5
59	矢部邦明、 林泰弘	早稲田 大学	蓄電池を再生可能エネル ギーと併用する場合の環境 性と経済性のエネルギー チェーンを考慮した評価	エネルギー・資源、 Vol. 40, No. 3	有	2019/5
60	DAO Van Tu, Hideo Ishii, Yasuhiro Hayashi	早稲田 大学	Double - layer optimization of home energy management systems with volt-watt functions	IEEJ Trans. Electrical and Electronic Engineering, Vol.14, No. 5, pp1-11 (2019)	有	2019/5
61	Yu Yanagiya, Kohei Murakami, Shinya Yoshizawa, Hideo Ishii, Yasuhiro Hayashi	早稲田 大学	Voltage Control Performance Evaluation of Advanced Inverter Function for Photovoltaic Integration in Distribution Networks	ICEE	有	2019/6/3-6
62	矢部邦明、 林泰弘	早稲田 大学	CO2削減賦課金と蓄電池導 入効果のエネルギーチェー ンを考慮した経済性・環境 性評価	エネルギー・資源学会研 究発表会	無	2019/8
63	矢部邦明、 林泰弘	早稲田 大学	発電余剰と蓄電池を配電線 単位で共用するスマートグ リッドの経済性評価	令和元年電気学会 電 力・エネルギー部門大会	無	2019/9
64	ガリ・ダ・シ ルバ・フォン セカ・ジュニ ア ジョアン、 海崎 光宏、 宇野 史睦、 荻本 和彦	東京大 学他	北海道エリアの太陽光発電 の翌日予測の誤差に関する 一分析	令和元年電気学会 電 力・エネルギー部門大会	無	2019/09/04

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
65	大関崇、 海崎光宏、 宇野史睦、 西辻裕紀、 宇田川佑介、 Joao Garida Silva Fonseca Junior、 荻本和彦	産業技術総合研究所 他	太陽光発電の持続モデルを利用した広域エリアの短時間発電予測の検討	令和元年電気学会 電力・エネルギー部門大会	無	2019/9
66	宇田川佑介、 西辻裕紀、 荻本和彦、 Joao Garida Silva Fonseca Junior、 海崎光宏、 大関崇、 請川克之、 福留潔	東京大学他	Hour-ahead Unit Commitment を用いた太陽光発電出力予測の予備的検証	電気学会 電力技術/電力系統技術合同研究会	無	2019/9/19-20

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

135件

① 研究開発項目(I) 風力発電予測・制御高度化：ランプ予測技術開発WG

④ 研究開発項目(II) 予測技術系統運用シミュレーション：実証WG（網掛け下線部分該当）

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
<u>1</u>	<u>Y. Umahashi</u>	<u>東京電力</u>	<u>Tepeco' s Efforts for Integration of Renewable Energy</u>	<u>IEC SC8A: Grid integration of Large-capacity Renewable Energy Generation</u>	<u>2014/9/15-16</u>
<u>2</u>	<u>岡本浩</u>	<u>東京電力</u>	<u>国内におけるDR技術の現状と将来</u>	<u>電気新聞 電力システム改革セミナー</u>	<u>2014/9/19</u>
<u>3</u>	<u>武部俊郎</u>	<u>東京電力</u>	<u>TEPCO' s initiatives for "Smart Grid"</u>	<u>CIGED (中国)</u>	<u>2014/9/23</u>
<u>4</u>	<u>山口博</u>	<u>東京電力</u>	<u>"Smart Grid" Key to realize a futuristic infrastructure</u>	<u>CEPSI (韓国)</u>	<u>2014/9/29</u>
<u>5</u>	<u>岡本浩</u>	<u>東京電力</u>	<u>スマート社会実現に向けた東京電力の取組み</u>	<u>日経スマートシティコンソーシアム2014</u>	<u>2014/10/10</u>
6	A. Yokoyama	東京大学	Optimal Weekly Operation Scheduling on Pumped Storage Hydro Power Plant and Storage Battery Considering Reserve Margin with a Large Penetration of Renewable Energy	2014 International Conference on Power System Technology (POWERCON 2014)	2014/10/20-22
7	藤本悠, 林泰弘	早稲田大学	高次元説明変数に基づく風力発電ランプ予測に関する基礎検討	第17回情報論的学習理論ワークショップ	2014/11/18
<u>8</u>	<u>岩本伸一</u>	<u>早稲田大学</u>	<u>再生可能エネルギーの最新動向と NEDO 電力系統出力変動対応技術研究開発事業の取組み</u>	<u>東光高岳製品展示会</u>	<u>2014/11/19</u>
<u>9</u>	<u>Shuichi ASHIDATE</u>	<u>東京電力</u>	<u>Renewable Energy Integration to Power Systems -National Projects in Japan-</u>	<u>The 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6)</u>	<u>2014/11/23-27</u>
<u>10</u>	<u>池ノ内岳彦</u>	<u>東京電力</u>	<u>東京電力におけるスマートグリッド構築に向けた取組み</u>	<u>EMC 環境フォーラム</u>	<u>2014/12/4</u>
<u>11</u>	<u>難波雅之</u>	<u>東京電力</u>	<u>東京電力株式会社パワーグリッド・カンパニーの ICT 活用への取組み</u>	<u>電力技術懇談会講演会</u>	<u>2014/12/9</u>
<u>12</u>	<u>池ノ内岳彦</u>	<u>東京電力</u>	<u>東京電力におけるスマートグリッドへの取組み</u>	<u>日本ナレッジセンターセミナー</u>	<u>2015/2/12</u>
13	藤本悠, 林泰弘	早稲田大学	ランプ対策を目的としたウィンドファーム発電量予測に関する検討	第7回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム	2015/3/2

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
14	炭田義尚	NEDO	Trend of Renewable Energies in Japan and an Introduction of a NEDO Project for R&D on Wind Power Connection Issues	2015 Korea-Japan Symposium on Power Systems Technology	2015/3/16
15	蘆立修一	東京電力	次世代ネットワークプロジェクトの取組概要	日本太陽エネルギー学会	2015/3/27
16	大石 峰士	東京電力	東京電力パワーグリッド・カンパニーの事業戦略～2015年度の具体的展開～	環境&エネルギー戦略特別セミナー	2015/4/21
17	福田 寿	伊藤忠テクノソリューションズ	Connected Services Initiatives as a Smart Energy Enabler Integrating the PI System and Value-Added Capabilities	OSI User Conference	2015/4/28
18	Shuichi Ashidate	東京電力	Introduction of Renewable Energy -National Projects in Japan-	CIGRE Japan Day	2015/5/7
19	Akihiko YOKOYAMA	東京大学	R&D Projects for Massive Integration of Renewable Energy into Grid in Japan	2015 IERE-CRIEPI Tokyo Workshop	2015/5/20
20	大石 峰士	東京電力	東京電力(株)パワーグリッド・カンパニー2015年度の事業戦略と重点課題	BINET 戦略セミナー	2015/5/20
21	岩田章裕	NEDO	再生可能エネルギーの最新動向と NEDO の取り組み	電力技術懇談会	2015/06/24
22	占部千由	東京大学	風力発電大量導入に向けたウィンドファームの出力制御	第16回風力エネルギー利用総合セミナー	2015/6/25-26
23	武部 俊郎	東京電力	東京電力(株)新たな競争環境におけるパワーグリッド・カンパニーの使命と改革戦略	JPI 特別セミナー	2015/8/7
24	大庭雅道	電力中央研究所	再生可能エネルギー変動予測のための気候解析とその確率予報への応用	国立研究開発法人海洋研究開発機構 大気海洋セミナー	2015/8/31
25	大庭雅道、野原大輔、門倉真二	電力中央研究所	風力ランプ発生時における総観場の気候学的解析と確率的予測手法の開発	第23回地球環境シンポジウム(土木学会)	2015/9/2-4
26	加藤央之、永野良紀	日本大学	寿都における風の急変動現象	日本地理学会 2015年秋季学術大会	2015/9/18-20
27	永野良紀、加藤央之	日本大学	北海道における風速の急変動現象	日本気象学会秋季大会	2015/10/28
28	加藤央之、永野良紀	日本大学	風力発電の急変動現象に関する風の予測	日本気象学会秋季大会	2015/10/30
29	吉田健二、奥村智哉、早崎宣之	伊藤忠テクノソリューションズ	風力発電出力予測へのアナログアンサンブル手法の適用	日本気象学会秋季大会	2015/10/28-30

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
30	畔上泰彦, 日下博幸	筑波 大学	風力発電のための風速変動 の地域特性研究	日本気象学会秋季大会	2015/10/28-30
31	小笠原範光 他	日本気象協 会	風力発電出力の急変現象の 要因分析	日本気象学会秋季大会	2015/10/28-30
32	門倉真二、 野原大輔、 大庭雅道、 他	電力中央研 究所	風力発電出力予測の高度化 —再生可能エネルギー大量 導入時の電力需給運用に向 けて—	日本気象学会秋季大会	2015/10/28-30
33	野原大輔、 田村英寿、 門倉真二、 大庭雅道、 平口博丸	電力中央研 究所	領域アンサンブル予測を用 いた再生可能エネルギー発 電出力予測の信頼性情報	日本気象学会秋季大会	2015/10/28-30
34	大庭雅道、 野原大輔、 門倉真二	電力中央研 究所	風力ランプ現象発生時にお ける気象場の解析と確率的 予測手法の開発	日本気象学会秋季大会	2015/10/28-30
35	M. Ito, Y. Fujimoto, M. Mitsuoka, H. Ishii, Y. Hayashi	早稲田 大学	Power and Hour Capacity Requirement for an Energy Storage from Grid Codes	IEEE Asia Pacific PETC 2015	2015/11/18
36	早崎宣之	伊藤忠テクノ ソリューションズ*	自然変動電源の 出力予測技 術の現状と課題	テクノバシンポジウム	2015/11/18
37	炭田義尚	NEDO	Trend of Renewable Energies in Japan and an Introduction of a NEDO Project for R&D on Wind Power Connection Issues	ERC workshop & seminar	2015/11/25
38	早崎宣之	伊藤忠テクノ ソリューションズ*	自然変動電源の出力予測技 術の現状と風力発電出力予 測への取り組み	第22回 CEE シンポジウム (東京大学エネルギー工学 連携研究センター)	2015/12/2
39	青柳福雄	東光高岳	Power System Simulation with the Forecast Technology	平成27年度二国間クレジット 取得等インフラ整備調査 事業(MRV等に関する人 材育成) フィリピン受入研 修事業	2016/1/27
40	大石 峰士	東京電力	東京電力パワーグリッドカ ンパニー2016年の重点取り 組み課題	J P I 特別セミナー	2016/2/2
41	吉川信明	NEDO	再生可能エネルギーの導入 拡大に向けた NEDO の取り組 み	電気有効活用セミナー	2016/2/5
42	Shuichi Ashidate	東京電力	Opportunities and Challenges for Smart Grid in Japan	ISGAN Public Workshop	2016/3/8

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
43	早崎宣之	伊藤忠テクノソリューションズ	Maintaining Grid Stability while Integrating Variable Renewable Energy Sources in Eastern Japan monitored by the PI Infrastructure - National R&D Project in Japan -	OSI USERS CONFERENCE 2016	2016/4/6
44	横山明彦	東京大学	再生可能エネルギー大量導入時代の最適需給運用計画技術	第23回CEEシンポジウム	2016/8/9
45	永野良紀、 加藤央之	日本大学	北海道留萌における風速の急変動現象	日本地理学会 2016 年秋季学術大会	2016/9/30- 10/2
46	加藤央之、 永野良紀 他	日本大学 他	風力発電の急変動現象に関する風の予測(2) 平均風速とランプの確率予測	日本気象学会 2016 年度秋季大会	2016/10/26-28
47	<u>永松慎平、 桃谷辰也、 前田剛宏、 久野勇太、 岡田牧</u>	<u>日本気象協会</u>	<u>新島における再生可能エネルギー発電出力予測の検討</u>	<u>日本気象学会 2016 年度秋季大会</u>	<u>2016/10/26-28</u>
48	高橋由佳、 藤本悠、 林泰弘	早稲田大学	不均衡データに基づく風力発電ランプ予測におけるオーバーサンプリング法の検討	第19回情報論的学習理論ワークショップ	2016/11/16-18
49	早崎宣之、 荻本和彦、 占部千由、 飯田誠、 合原一幸、 藤本悠、 野原大輔、 池田亮作、 加藤央之、 小笠原範光	伊藤忠テクノソリューションズ、 東京大学、 早稲田大学、 電力中央研究所、 筑波大学、 日本大学、 日本気象協会	風力発電のランプ予測技術と出力制御技術	電気学会平成29年電気学会全国大会	2017/3/15-17
50	伊藤雅一、 藤本悠、 光岡正隆、 石井英雄、 林泰弘	早稲田大学	時間枠に対する出力変動幅が指定された連系要件における風力発電出力抑制制御による蓄エネルギー装置の所要容量削減効果	電気学会平成29年電気学会全国大会	2017/3/15-17
51	東山和寿、 藤本悠、 林泰弘	早稲田大学	エリア風力発電量予測における深層学習の応用の検討	電気学会平成29年電気学会全国大会	2017/3/15-17

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
52	藤本悠, 高橋由佳, 林泰弘	早稲田大学	風力発電ランプ現象を予測する-不均衡データに基づく機械学習の観点から-	電気学会平成29年電気学会全国大会	2017/3/15-17
53	大庭雅道, 野原大輔, 門倉真二	電力中央研究所	日本における風力ランプ現象の総観気候学的な要因分析と中期予報マルチモデルアンサンブルに基づく確率予測手法の開発～	JpGU-AGU Joint Meeting 2017	2017/05/20-25
54	野原大輔, 大庭雅道, 橋本篤, 門倉真二	電力中央研究所	再生可能エネルギー大量導入下における需給運用のための確率的気象予測手法	JpGU-AGU Joint Meeting 2017	2017/05/20-25
55	野原大輔, 大庭雅道, 門倉真二	電力中央研究所	メソアンサンブル予測を用いた風力発電出力急変事象(ランプ現象)予測の不確実性評価	日本気象学会春季大会	2017/05/25-28
56	Masakazu Ito, Yu Fujimoto, Masataka Mitsuoka, Hideo Ishii, Yasuhiro Hayashi	早稲田大学	An Evaluation of Control Method of Energy Storage Systems for Scheduled Generation by Wind Power Systems for Market under a Grid Code defining Maximum Change of Wind Power Output in a Time Interval	WorldWind Energy Conference (WWEC 2017)	2017/6/12-14
57	東山和寿 藤本悠 林泰弘	早稲田大学	風力発電予測高度化に向けた気象場予測データの次元縮約の検討	電気学会電力・エネルギー部門大会	2017/9/5-7
58	伊藤雅一, 藤本悠, 光岡正隆, 石井英雄, 林泰弘	早稲田大学	風力発電出力と現在の発電出力を考慮した出力事前制御による変動緩和効果	電気学会平成29年電気学会電力・エネルギー部門大会	2017/9/5-7
59	Kazutoshi Higashiyama, YuFujimoto, Yasuhiro Hayashi	早稲田大学	Feature Extraction of Numerical Weather Prediction Results Toward Reliable Wind Power Prediction	IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies, Europe	2017/9/26-29
60	吉田健二	伊藤忠テクノソリューションズ*	風力発電出力の翌日予測・当日予測における最大変化量の予測精度の比較	電気学会電力技術/電力系統技術合同研究会 PSE-17-159	2017/09
61	吉田健二 早崎宣之	伊藤忠テクノソリューションズ*	風力発電出推定値への気象庁局地モデルの適用可能性について	日本気象学会2017年秋季大会	2017/10/30- 2017/11/2

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
62	渡邊武志、 野原大輔、 大庭雅道、 門倉真二	電力中央研 究所	風速時系列データの特徴量 抽出手法に関する考察	日本気象学会 2017 年秋季大 会	2017/10/30- 2017/11/2
63	門倉真二、 野原大輔、 大庭雅道、 橋本篤、 中尾圭佑、 服部康男、 渡邊武志、 平口博丸	電力中央研 究所	風力発電出力予測の高度化 —モニタリングデータ活用 による精度向上—	日本気象学会 2017 年秋季大 会	2017/10/30- 2017/11/2
64	門倉真二、 野原大輔、 大庭雅道、 橋本篤、 中尾圭佑、 服部康男、 渡邊武志、 平口博丸	電力中央研 究所	風力発電出力予測の高度化 —モニタリングデータ活用 による精度向上—	日本気象学会 2018 年度春季 大会	2018/05/18
65	渡邊武志、 大庭雅道、 野原大輔、 門倉真二	電力中央研 究所	地表面気圧パターン区分ご との数値気象モデルを用い て予測された地表面風速の 1 日時系列の予測精度評価	日本地球惑星科学連合 20 18 年大会	2018/5/22
66	門倉真二、 野原大輔、 大庭雅道、 橋本篤、 中尾圭佑、 服部康男、 渡邊武志、 平口博丸	電力中央研 究所	Improvement of prediction of wind power generation output by using monitoring data	日本地球惑星科学連合 20 18 年大会	2018/5/22
67	伊藤雅一、 藤本悠、 光岡正隆、 石井英雄、 林泰弘	早稲田大学	圧縮空気エネルギー貯蔵シ ステムと予測を用いた出力 事前制御による風力発電出 力の変動緩和実証試験の評 価	平成 30 年電気学会電力・エ ネルギー部門大会	2018/9/12-14

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
68	荒木貴光, 池田亮作, 日下博幸	筑波大学他	風力数値予報の時変係数回帰モデルによる補正	2018 年度統計関連学会連合大会	2018/09/13
69	野原大輔, 大庭雅道, 渡邊武志, 門倉真二	電力中央研究所	風力発電出力急変事象（ランプ現象）のための確率的予測手法の開発	日本気象学会 2018 年度秋季大会	2018/10/28
70	石崎紀子, 日下博幸, 荒木貴光, Quang-Van Doan, 池田亮作, 永野良紀, 加藤央之	筑波大学他	風力発電予測における気圧パターンを考慮したモデル選択システムの構築	日本気象学会 2018 年度秋季大会	2018/10/29
71	永野良紀, 加藤央之, 池田亮作, ドアン・クアン・ヴァン, 日下博幸, 岡田牧, 小笠原範光	日本大学他	北海道と東北地方の発電量ランプの確率予測	日本気象学会 2018 年度秋季大会	2018/10/29
72	東山和寿 藤本悠 林泰弘	早稲田大学	気象学的解析の補助を目的とした深層畳み込みニューラルネットワークに基づく特徴抽出	気象学会 2018 年度秋季大会	2018/10/29-11/1
73	伊藤雅一, 藤本悠, 光岡正隆, 石井英雄, 林泰弘	早稲田大学	変動緩和向け出力事前制御と風力発電出力抑制制御による蓄エネ装置容量削減効果	平成 30 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー学会合同研究発表会	2018/11/8-9
74	Hiromu Hamada	東京電力	Challenges for Renewable Energy Introduction and Demonstration Project in Niijima Island Grid	Thailand - Japan Green City Workshop 2019	2019/2/4
75	Shunsuke Horai and Kazuhiko Ogimoto	東京大学	Wind Ramp Forecasts in Japan	IEA Wind Task 36: Kick-off meeting phase II	2019/2/12-13
76	合原一幸	東京大学	複雑系数理モデル学のエネルギー分野への応用を目指して	日本エネルギー学会第3回「エネルギー学」部会シンポジウム	2019/3/1
77	東山和寿 藤本悠 林泰弘	早稲田大学	エリア風力発電量予測の高度化-気象場予測データに対する時空間特徴量抽出-	平成 31 年電気学会全国大会	2019/3/12-14

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
78	早崎宣之、 宮崎裕一	伊藤忠テク ノソリューションズ	風力発電の遠隔出力制御システムの開発	平成31年電気学会全国大会 シンポジウム	2019/3/14
79	Masamichi Ohba	電中研	The impact of climate change on wind energy resources in Japan	European Geosciences Union, 2019	2019/04
80	Daisuke Nohara	電中研	Probabilistic Forecast for Renewable Energy	2019 Korea-Japan Symposium on Power Systems Technology	2019/05/23
81	門倉真二、 野原大輔、 大庭雅道、 橋本篤、 中尾圭佑、 服部康男、 渡邊武志、 平口博丸	電中研	Improvement of prediction of wind power generation output by using monitoring data	JpGU2019年大会	2019/05/28
82	Daisuke Nohara, Takeshi Watanabe, Masamichi Ohba, and Shinji Kadokura	電中研	Predictability of Wind Power Ramp Events based on Dynamical and Statistical Ensemble Prediction	JpGU2019年大会	2019/05/28
83	菊地亜希、 伊藤雅一、 林泰弘	早稲田大学	風力発電システムの計画発電におけるウィンドファーム規模の違いによる蓄エネルギー装置の所要設備容量削減効果の比較	電気学会 令和元年電気学会電力・エネルギー部門大会	2019/9/3-6
84	門倉真二、 野原大輔、 大庭雅道、 橋本篤、 中尾圭佑、 服部康男、 渡邊武志、 平口博丸	電中研	風力発電出力予測の高度化－欠測対応と急変化検出－	日本気象学会 2019年度秋季大会	2019/10/28
85	石崎 紀子、 日下 博幸、 荒木 貴光、 Quang-Van Doan、 池田 亮作	国立環境研究所他	領域モデルにおける境界層スキームと ramp 現象の再現性	日本気象学会 2019年度秋季大会	2019/10/28- 10/31

注) 【論文】欄の発表分は上記に含まない

② 研究開発項目(Ⅰ) 風力発電予測・制御高度化：蓄エネルギー制御技術WG

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	北 裕幸	北海道大学	北海道における新エネルギーの課題と展望	日本エネルギー学会 第24回大会	2015/8/4
2	M. Ito, Y. Fujimoto, M. Mitsuoka, H. Ishii, Y. Hayashi	早稲田大学	Power and Hour Capacity Requirement for an Energy Storage from Grid Codes	IEEE Asia Pacific PETC 2015	2015/11/18
3	蓮池 宏	エネルギー総合工学研究所	Demonstration Plan of Compressed Energy Storage System	Japanese-Germany Workshop on Renewable Energies	2016/3/4
4	蓮池 宏 日浦 俊哉 伊藤 雅一 林 泰弘 原 亮一 北 裕幸 高山 聡志 石亀 篤司 本間 隆 石川 光浩	エネルギー総合工学研究所 他	蓄エネルギー技術を用いた出力変動制御技術の開発	平成29年電気学会全国大会	2017/3/15-17
5	蓮池 宏	エネルギー総合工学研究所	電力貯蔵の動向と展望 ～用途面と技術面からの検討～	エネルギー総合工学研究所 第368回月例研究会	2017/06/23
6	蓮池宏	エネルギー総合工学研究所	再エネ導入拡大に向けた蓄エネシステムの利用	第12回再生可能エネルギー展示会 JCRE フォーラム	2017/07/06
7	蓮池宏	エネルギー総合工学研究所	圧縮空気エネルギー貯蔵システムについて	日本産業機械連合会 環境ビジネス委員会	2017/09/11
8	蓮池宏	エネルギー総合工学研究所	圧縮空気エネルギー貯蔵システムによる風力発電の変動緩和	電気倶楽部	2018/3/13
9	原亮一	北海道大学	Power To Heat (P2H) による電力系統出力変動対応技術	P2H (Power To Heat) の技術開発と事業動向・展望	2018/10/24
10	Ryoichi Hara	北海道大学	Energy Storage Applications in Microgrids	2018 KIEE Microgrid Research Group Workshop	2018/11/1
11	本間隆	北海道電力	家畜系バイオマス発電に係る研究開発	北海道大学寄附分野 バイオマスコミュニティプランニング分野 第2回研究会	2019/2/13

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
12	蓮池 宏 日浦 俊哉 伊藤 雅一 林 泰弘 原 亮一 北 裕幸 高山 聡志 石亀 篤司 本間 隆 石川 光浩	エネルギー総合工学研究所 他	蓄エネルギー技術を用いた出力変動制御技術の開発	平成31年電気学会全国大会	2019/03/12-14
13	蓮池宏	エネルギー総合工学研究所	圧縮空気エネルギー貯蔵技術の開発	エネルギー総合工学研究所 第390回月例研究会	2019/6/14
14	石川志保	北海道大学	酪農場のエネルギーマネジメントの高度化に向けた取組み	日本畜産環境学会 第18回大会	2019/6/15

注) 【論文】欄の発表分は上記に含まない

③ 研究開発項目(Ⅱ) 予測技術システム運用シミュレーション：需給シミュレーションWG

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	Ryuya Tanabe	CRIEPI	Outline of National Project on Research and Development of Simulation and Analytical tools for Renewable	IEA WIND Task 25 - 18th RESEARCH MEETING	2014. 9. 17-19
2	Yoshimitsu Umahashi	TEPCO	Tepco' s Efforts for Integration of Renewable Energy	IEC SC8A:Grid integration of Large-capacity Renewable Energy Generation	2014. 9. 15~16
3	Ryuya Tanabe	CRIEPI	A Methodology for Annual Flexible Capacity Requirement Assessment	IEA WIND Task 25 - 19th RESEARCH MEETING	2015. 4. 14-16
4	Ryuya Tanabe	CRIEPI	National R&D Project on Simulation and Analytical tools for Renewable Integration (Sari)	IEA WIND Task 25 - 21st RESEARCH MEETING	2016. 5. 25-27
5	Ryuya Tanabe	CRIEPI	A Pumped Storage Hydro (PSH) Plant Scheduling Method Based on Net Load Ramp Levelization	IEA WIND Task 25 - 21st RESEARCH MEETING	2016. 5. 25-27

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
6	Ryuya Tanabe	CRIEPI	Demonstration Project for Renewable Energy Introduction Niijima Island Grid	IEA WIND Task 25 – 26th RESEARCH MEETING	2018. 10. 25-26
7	Ryuya Tanabe	CRIEPI	R&D Projects on Simulation and Analytical Tools for Renewable Integration Study	IEA WIND Task 25 – 27th RESEARCH MEETING	2019. 4. 8-10

注) 【論文】欄の発表分は上記に含まない

⑤ 研究開発項目(Ⅲ) 再生可能エネルギー連系拡大対策高度化：出力制御技術（風力）WG

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	吉田健二、早崎宣之、坂本将造、松本光裕	伊藤忠テクノソリューションズ 他	気象庁局地モデルを用いた風力発電出力予測について	日本気象学会秋季大会	2018/10/29
2	阿部公哉	東北電力	風力発電の遠隔出力制御システムの開発	小形風力発電普及セミナー	2019/3/1
3	早崎宣之、宮崎裕一	伊藤忠テクノソリューションズ 他	風力発電の遠隔出力制御システムの開発	電気学会全国大会シンポジウム	2019/3/16

⑥ 研究開発項目(Ⅲ) 再生可能エネルギー連系拡大対策高度化：出力制御技術（太陽光）WG

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	北島博晃	東京電力HD	東京電力の再生可能エネルギー導入に関する取組について	電力技術懇談会 主催：早稲田大学	2016/9/21
2	蘆立修一	東京電力HD	スマートグリッドの実現に向けて～国の実証事業の取り組み～	CTC フォーラム 2016 主催：伊藤忠テクノソリューションズ	2016/10/28
3	蘆立修一	東京電力HD	再生可能エネルギー導入拡大へ向けた海外事例について	次世代電力ネットワーク研究会平成28年度シンポジウム 主催：エネルギー総合工学研究所	2016/11/2
4	蘆立修一	東京電力HD	TEPCO's Initiatives for "Smart Grid" ~ NEDO Demonstration Project in "Niijima-Island" ~	日印エネルギーフォーラム 2017 主催：NEDO	2017/1/5
5	北島博晃	東京電力HD	東京電力のDERに関する取組について～双方向通信による出力制御実証、スマートインバータ/DERMSの開発・実証について～	新エネルギー講演会 主催：日本電機工業会	2017/3/1

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
6	海崎光宏、 宇野史睦、 大関崇	産業技術 総合研究 所	太陽光発電の実測データ分析に 基づいた最適出力制御を行うた めの短時間予測技術開発	AIST 太陽光発電研究 成果報告会 2017	2017/6/13-14
7	深津尚明	東京電力 HD	次世代エネルギーネットワーク の取り組み	日本太陽エネルギー 学会	2017/8/28
8	蘆立修一	東京電力 HD	電力技術のグローバル化の取り 組み	平成 29 年 電気学会 電力・エネルギー部 門大会	2017/9/6
9	Naoki Hosaka	東京電力 HD	Current Situation of Renewable Integration in Japan and TEPCO' s Demonstration Project Overview	Asia Advisory Meeting 主催：EPRI	2017/9/10
10	馬場博幸、 荻本和彦	東京大学	Experiment of Demand Dispatch System for IoT Ready Home Appliances	Solar Power International 主催：SEIA & SEPA (USA)	2017/9/10-13
11	白銀隆之	関西電力	関西電力のスマートグリッドに 関する取組み	第 4 回関西スマート グリッド EXPO 主催：リード エグジ ビジョン ジャパン	2017/9/20
12	保坂尚貴	東京電力 HD	Current Situation of Renewable Integration in Japan and TEPCO' s Demonstration Project Overview	Smart Inverter and DER Group Compliance Test Workshop 主催：EPRI	2017/10/12
13	Shuichi Ashidate	東京電力 HD	National Demonstration Projects of Batteries for power System in Japan	第 9 回 日韓シンポ ジウム 主催：電力技術懇談 会	2017/11/10
14	Mitsuhiro Umizaki, Fumichika Uno, Takashi Oozeki	産業技術 総合研究 所	Development of Short-Term Prediction Method for Optimum Power Control Based on Actual Measurement Data Analysis of Photovoltaic Power Generation	PVSEC-27	2017/11/12-11/17
15	蘆立修一	東京電力 HD	電力自由化を踏まえた住宅用太 陽光発電への取組み	第 34 回太陽光発電シ ンポジウム 主催：太陽光発電協 会	2017/12/12
16	蘆立修一	東京電力 HD	Utility3.0 への対応と再エネの 取組み	第 2 回 再エネ電力 のデジタル取引 研 究会 主催：太陽光発電技 術研究組合	2018/2/20

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
17	蘆立修一	東京電力HD	日本における再生可能エネルギーの実証プロジェクト	平成30年電気学会全国大会 CSEE-IEEEJ Joint Session-Renewable Energy Power Generation Forum	2018/3/14-16
18	蘆立修一	東京電力HD	Utility3.0とスマートインバータ・デジタル化	太陽光発電協会公共事業産業部 主催：太陽光発電協会	2018/3/20
19	林泰弘	早稲田大学	重要性を増すスマートインバータ	第57回電気科学技術講演会 2019年エネルギー・イノベーション～スマートグリッド最新情報～	2018/4/20
20	深津尚明	東京電力HD	日本におけるソーラーインテグレーション：将来の電力系統とPV出力制御実証プロジェクト	Solar Asset Management Japan	2018/5/25
21	Hiroyuki Baba, Kazuhiko Ogimoto	東京大学	Experiment of Demand Dispatch System Co-operated with Solar Generation System	Solar Power International	2018/9/24-27
22	宇田川佑介、 西辻裕紀、 荻本和彦、 Joao Garida Silva Fonseca Jr、 海崎光宏、 大関崇、 宇野史睦、 請川克之、 福留潔	東京大学他	太陽光発電システム大量導入時における発電出力制御の必要性和気象予測技術の影響	日本気象学会	2018/10/29-11/1
23	海崎光宏、 宇野史睦、 大関崇	産業技術総合研究所	太陽光発電の発電予測・把握技術における発電実測データを用いたアップスケーリングの誤差分析	AIST 太陽光発電研究成果報告会	2018/11/13-14
24	Shinya Yoshizawa	早稲田大学	Overview of Distribution Network Simulator at EMS Shinjuku R&D Center	5th Annual International Workshop on Grid Simulator Testing of Energy Systems and Wind Turbine Powertrains	2018/11/15-16
25	馬場博幸	東京大学	IoTを活用した能動的需要創出	琉球大学スマートハウスシンポ	2018/12/19
26	徳田憲昭、 蘆立修一、 浅見佳郎、 川上智徳、 岸靖久、 黒木啓光、 荻本和彦、 林泰弘	エネルギー総合工学研究所他	太陽光発電出力制御の高度化技術	電気学会全国大会	2019/3/14

(b) 新聞・雑誌への掲載
65件

① 研究開発項目(I) 風力発電予測・制御高度化：ランプ予測技術開発WG

④ 研究開発項目(II) 予測技術系統運用シミュレーション：実証WG（網掛け下線部分該当）

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	早稲田大学	「電力系統出力変動対応技術研究開発事業」の実施について	Web	2014/6/12
<u>2</u>	<u>東京電力</u>	<u>「電力系統出力変動対応技術研究開発事業」の実施について</u>	<u>Web</u>	<u>2014/6/12</u>
<u>3</u>	<u>東光高岳</u>	<u>「電力系統出力変動対応技術研究開発事業」の実施について</u>	<u>Web</u>	<u>2014/6/12</u>
4	伊藤忠テクノソリューションズ	「電力系統出力変動対応技術研究開発事業」に参加	Web	2014/6/12
5	北海道電力	家畜系バイオマス発電に係る研究開発の実施について ～地域に根ざしたエネルギーの拡大に向けて～	Web	2014/6/12
<u>6</u>	<u>NRI セキュアテクノロジーズ</u>	<u>NEDO実施の「電力系統出力変動対応技術研究開発事業」に参加</u>	<u>Web</u>	<u>2014/6/12</u>
7	早稲田大学	長寿命で信頼性・環境性に優れた「断熱圧縮空気蓄電システム」の開発に着手	Web	2015/6/19
8	エネルギー総合工学研究所	長寿命で信頼性・環境性に優れた「断熱圧縮空気蓄電システム」の開発に着手：風力発電の導入拡大へ向けた実証実験がスタート	Web	2015/6/19
9	早稲田大学、エネルギー総合工学研究所	早稲田大など、信頼性・環境性に優れた「断熱圧縮空気蓄電システム」開発に着手	環境展望台 web	2015/6/19
10	早稲田大学、エネルギー総合工学研究所	「断熱圧縮空気蓄電システム」の開発について	神戸新聞、日刊工業新聞、日経産業新聞、日刊産業新聞、鉄鋼新聞、化学工業日報	2015/6/20
11	早稲田大学、エネルギー総合工学研究所	「断熱圧縮空気蓄電システム」の開発について	電気新聞、日本経済新聞	2015/6/22
12	早稲田大学、エネルギー総合工学研究所	「断熱圧縮空気蓄電システム」の開発について	電波新聞	2015/6/22
13	早稲田大学、エネルギー総合工学研究所	電力を「空気」でためる蓄電システム、風力発電の出力変動の吸収に活用へ	ITmedia スマートジャパン web	2015/6/22
14	早稲田大学、エネルギー総合工学研究所	「断熱圧縮空気蓄電システム」の開発について	日刊建設産業新聞	2015/6/24

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
15	伊藤忠テクノロジーソリューションズ*	ITの力で再生可能エネルギーを増やす	Web	2015/11/18
16	東京電力他	「NEDO事業紹介」他について	新島村村長・村議会議員公開実証WG	2015/12/18
17	東京電力他	「電力系統出力変動対応技術研究開発事業」について	東京七島新聞	2016/2/8
18	東光高岳	統合EMSの知見活用へ 新島で実証 海外展開など視野に	電気新聞	2016/2/23
19	実証WG事務局	「電力系統出力変動対応技術研究開発事業」第5回実証WG会議 について	広報にいじま2月号	2016/2
20	早稲田大学、エネルギー総合工学研究所	圧縮空気蓄電システム「空圧電池」 風力発電の出力変動抑制	Sankei Biz web	2016/2/29
21	北海道電力	再生可能エネルギー ～家畜系バイオマス発電～	北海道電力 Facebook	2016/6/7
22	伊藤忠テクノロジーソリューションズ*	こだわり eco パーソン	日経産業新聞	2016/7/11
23	北海道電力	家畜系バイオマス発電に係る研究開発の実施について	Web	2016/7/19
24	エネルギー総合工学研究所	「圧縮空気」で蓄エネ来年度実証へ	電気新聞	2016/9/8
25	伊藤忠テクノロジーソリューションズ*	気象予測を用いた変動電源の出力予測 ～先端の IT 技術が支える未来への扉～	日経ビジネス 地球温暖化 2018年1月号	2018/1/15
26	伊藤忠テクノロジーソリューションズ*	再生可能エネルギー導入の現状と課題	電力技術懇談会講演会	2018/2/2
27	日本気象協会	Grand Renewable Energy 2018 で 風力発電出力急変の予測システム開発に関する講演を実施	日本気象協会 HP お知らせ	2018/06/25
28	東京大学	複雑系数理モデル学で“読み解く”電力システム	OHM	2018/7/5
29	東京大学	かがくアゴラ「電力網の弱点数学で探る」	日本経済新聞	2018/10/5
30	日本気象協会	Wind Integration Workshop 2018 で 風力発電出力急変の予測に関する口頭発表・ポスター発表を行いました	日本気象協会 HP お知らせ	2018/10/25
31	早稲田大学	連載電気をよむ・あやつる-beyond 2030- 第3回 再生可能エネルギーの弱点を補う(1) 再エネをよむ-データ科学的予測	OHM, Vol. 106, No. 5, pp. 46-49, オーム社	2019/5
32	電中研 Masamichi Ohba	The Impact of Global Warming on Wind Energy Resources and Ramp Events in Japan	Atmosphere, 10, 265, doi.org/10.3390/atmos10050265	2019/05/11

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
33	早稲田大学	連載電気をよむ・あやつる- beyond 2030- 第4回 再生可能エネルギーの弱点を補う(2) 蓄エネルギー技術の活用	OHM, Vol.106, No. 6, pp.54-58, オーム社	2019/6
34	電中研 Keisuke Nakao and Yasuo Hattori	Reconciliation of computational fluid dynamics and observations in complex terrain through conditional resampling	Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics	2019 (Accepted)

② 研究開発項目(I) 風力発電予測・制御高度化：蓄エネルギー制御技術WG

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	早稲田大学	「電力系統出力変動対応技術研究開発事業」の実施について	Web	2014/6/12
2	北海道電力	家畜系バイオマス発電に係る研究開発の実施について ～地域に根ざしたエネルギーの拡大に向けて～	Web	2014/6/12
3	早稲田大学	長寿命で信頼性・環境性に優れた「断熱圧縮空気蓄電システム」の開発に着手	Web	2015/6/19
4	エネルギー総合工学研究所	長寿命で信頼性・環境性に優れた「断熱圧縮空気蓄電システム」の開発に着手：風力発電の導入拡大へ向けた実証実験がスタート	Web	2015/6/19
5	早稲田大学、エネルギー総合工学研究所	早稲田大など、信頼性・環境性に優れた「断熱圧縮空気蓄電システム」開発に着手	環境展望台 web	2015/6/19
6	早稲田大学、エネルギー総合工学研究所	「断熱圧縮空気蓄電システム」の開発について	神戸新聞、日刊工業新聞、日経産業新聞、日刊産業新聞、鉄鋼新聞、化学工業日報、日刊工業新聞 Business、神戸新聞 NEXT	2015/6/20
7	早稲田大学、エネルギー総合工学研究所	「断熱圧縮空気蓄電システム」の開発について	電気新聞、日本経済新聞	2015/6/22
8	早稲田大学、エネルギー総合工学研究所	電力を「空気」でためる蓄電システム、風力発電の出力変動の吸収に活用へ	ITmedia スマートジャパン web	2015/6/22
9	早稲田大学、エネルギー総合工学研究所	「断熱圧縮空気蓄電システム」の開発について	電波新聞	2015/6/24
10	早稲田大学、エネルギー総合工学研究所	「断熱圧縮空気蓄電システム」の開発について	日刊建設産業新聞	2015/7/10
11	早稲田大学、エネルギー総合工学研究所	圧縮空気蓄電システム「空圧電池」 風力発電の出力変動抑制	Sankei Biz web	2016/2/29

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
12	北海道電力	再生可能エネルギー ～家畜系バイオマス発電～	北海道電力 Facebook	2016/6/7
13	北海道電力	家畜系バイオマス発電に係る研究開発の実施について	Web	2016/7/19
14	エネルギー総合工学研究所	「圧縮空気」で蓄エネ来年度実証へ	電気新聞	2016/9/8
15	新エネルギー・産業技術総合開発機構, 早稲田大学, エネルギー総合工学研究所, 神戸製鋼所	圧縮空気エネルギー貯蔵 (CAES) システム実証試験を開始へ —風力発電の予測情報を用いた蓄エネルギー設備の制御技術を実証—	新エネルギー・産業技術総合開発機構, 早稲田大学, エネルギー総合工学研究所, 神戸製鋼所, 各者ホームページ	2017/4/20
16	北海道電力	再生可能エネルギーを積極的に活用するための家畜系バイオガスプラントの取り組み	えべつ eye (地域情報誌)	2017/6/19
17	パワーアカデミー	電気の施設訪問レポート vol.21 「圧縮空気エネルギー貯蔵 (CAES) 実証設備」を訪問しました	パワーアカデミーホームページ	2017/8/31
18	新エネルギー・産業技術総合開発機構 エネルギー総合工学研究所	圧縮空気エネルギー貯蔵 (CAES) システムの開発・実証	クリーンエネルギー	2017/12
19	北海道電力	北海道電力 再生可能エネルギー導入拡大の取り組み	電気新聞	2018/3/6
20	エネルギー総合工学研究所	CAES による再生可能エネルギー貯蔵	電気評論	2018/6
21	エネルギー総合工学研究所	圧縮空気 で電力を蓄電するシステム	電気設備学会誌	2019/4

③ 研究開発項目(Ⅱ) 予測技術システム運用シミュレーション：需給シミュレーションWG

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	東京電力	1. 電力システム出力変動対応技術研究開発事業 1. 1 需給シミュレーションシステムの開発	電気評論 (電気評論社)	2016. 1
2	電力中央研究所、東京電力パワーグリッド、東京大学	再エネ大量導入検討のための電力需給解析シミュレータ	電気学会誌 11 月号特集	2018. 11

⑤ 研究開発項目(Ⅲ) 再生可能エネルギー連系拡大対策高度化：出力制御技術（風力）WG

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	東北電力	特集 東北電力 再エネ拡大、復興に貢献	電気新聞	2016/3/24

⑥ 研究開発項目(Ⅲ) 再生可能エネルギー連系拡大対策高度化：出力制御技術（太陽光）WG

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	早稲田大学	スマート社会技術融合研究機構が太陽光発電最大限導入へ向けた出力制御技術開発事業へ参画	ホームページ掲載	2016/6/28
2	九州電力	NEDO 委託事業（電力系統出力変動対応技術研究開発事業）の実施について（再生可能エネルギー連系拡大対策高度化プロジェクト）	ホームページ掲載	2016/6/28
3	九州電力	実証事業協力事業者の募集について	ホームページ掲載	2016/7/13
4	東京電力 HD 早稲田大学	太陽光発電の導入拡大を支えるために、新しいシステムの開発に挑む	東京電力報	2018/4/6
5	早稲田大学	電気をよむ・あやつる - beyond2030- その5 再エネの弱点を補う スマートに連系する	OHM、2019年7月号	2019/7
6	早稲田大学	電気をよむ・あやつる - beyond2030- その6 再エネを使い切る(1)	OHM、2019年8月号	2019/8
7	早稲田大学	電気をよむ・あやつる - beyond2030- その7 再エネを使い切る(2)	OHM、2019年9月号	2019/9

(c) その他（展示会）

9件

- ① 研究開発項目（Ⅰ）風力発電予測・制御高度化：ランプ予測技術開発WG
- ② 研究開発項目（Ⅰ）風力発電予測・制御高度化：蓄エネルギー制御技術WG
- ③ 研究開発項目（Ⅱ）予測技術系統運用シミュレーション：需給シミュレーションWG
- ④ 研究開発項目（Ⅱ）予測技術系統運用シミュレーション：実証WG

番号	主催者	展示会名	場所	開催年月日
1	NEDO	再生可能エネルギー世界展示会	東京ビッグサイト	2014/07/30-08/01
2	東光高岳	製品展示会	東京交通会館	2014/11/19
3	NEDO	NEDO FORUM	東京国際フォーラム	2015/02/12-13
4	東光高岳	国際電気自動車シンポジウム	韓国	2015/5/3-6
5	NEDO	再生可能エネルギー世界展示会	東京ビッグサイト	2015/07/29-31
6	東光高岳	電力自由化エキスポ	東京ビッグサイト	2015/9/2-4
7	NEDO	成果報告会	パシフィコ横浜	2015/10/30
8	東光高岳	製品展示会	東京交通会館	2015/11/17-18
9	東光高岳	製品展示会	東京交通会館	2016/11/15-16