

「風力発電電力系統安定化等技術開発」
事業評価（事後評価）報告書

平成22年3月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

風力発電技術委員会

目 次

はじめに.....	1
風力発電技術委員会委員名簿.....	2
審議経過.....	3
第 1 章 評 価.....	5
第 2 章 評価対象プロジェクト（参考）.....	15

はじめに

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」という。）においては、風力発電技術に係る研究について審議及び評価を行うために、当該研究の外部の専門家、有識者等によって構成される風力発電技術委員会を設置している。また、同委員会にて被評価対象プロジェクトの事業評価を行い、事業評価書を策定している。

本書は、「風力発電電力系統安定化等技術開発」の事業評価（事後評価）報告書であり、風力発電技術委員会に諮り、策定されたものである。

平成22年3月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

風力発電技術委員会

風力発電技術委員会委員名簿

(平成21年5月現在)

	氏名	所属
委員長	長谷川 淳	学校法人電子開発学園 北海道情報大学 学長
委員	関 和市	東海大学 総合科学技術研究所 教授
委員	千住 智信	国立大学法人琉球大学 工学部 電気電子工学科 教授
委員	高見 佳宏	電気事業連合会 技術開発部 部長
委員	野崎 健	独立行政法人産業技術総合研究所 燃料電池システムグループ
委員	松坂 知行	八戸工業大学大学院 名誉教授
委員	松宮 輝	独立行政法人産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 客員研究員

(※あいうえお順、敬称略)

審議経過

1. 風力発電技術委員会開催（平成21年3月5日）
 - 事業評価項目を審議。
2. 風力発電技術委員により採点表を記入し、風力発電技術委員会事務局（NEDO 担当推進部）へ送付。
3. 風力発電技術委員会事務局において各委員の評価コメントを取り纏め、事業評価（事後評価）報告書（案）を作成。
4. 事業評価（事後評価）報告書（案）の審議及び確定
 - 風力発電技術委員会（平成21年5月25日）にて審議を行い、報告書（案）を改訂した。

第 1 章 評 価

事業評価書（事後評価）

	作成日	平成22年3月24日
制度・施策名称	エネルギーイノベーションプログラム	
事業名称	風力発電電力系統安定化等技術開発	コード番号：P03039
担当推進部	新エネルギー技術開発部	
0. 事業実施内容		
<p>本事業は、今後導入が加速すると見込まれるウィンドファームの出力安定化技術の開発によって、風力発電の導入促進に資することを目的に、以下の3テーマについて実施した。</p> <p>(1) 蓄電システム（平成15年度～平成19年度）</p> <p>平成15年度～19年度の5年間で、今後の風力発電の導入促進に資することを目的に、大規模風力発電システム（以下ウィンドファーム）の普及拡大時に懸念される周波数変動等系統上の問題対策として、ウィンドファーム総出力を対象に短周期の出力変動を抑える蓄電技術、制御技術等の技術開発を行うものであり、具体的実施内容は以下のとおりである。</p> <p>①実証試験</p> <p>総出力1万kW以上の実証サイトへ蓄電システムを設置し、各種制御方式の動作検証を実施することにより、その有効性及び実用性について検証する。</p> <p>また、実証サイト同様の計測システムを他の5箇所の計測サイトに設置し、同様のデータ計測を実施する。</p> <p>②シミュレーション解析</p> <p>上記6箇所のデータを基に各制御方式の実証効果と他への適用効果等の確認のためにシミュレーション解析を実施し、各制御方式の有効性等を明確にする。</p> <p>③類似研究開発との整合性評価</p> <p>国内外の類似研究の成果及び動向調査を行い、今後の風力発電普及に向けた技術開発の礎とする。</p> <p>(2) 気象予測システム（平成17年度～平成19年度）</p> <p>風まかせの発電電力を事前に予測することにより、電力系統側の調整予備力を計画的に運用可能とすることを目的として、風力発電システムの発電量を予測するシステム開発（以下、「気象予測システム」という。）を平成17年度より当該プロジェクトに付加して実施した。</p> <p>具体的実施内容は下記のとおりである。</p> <p>①我が国の典型的な気象条件と地形特性を考慮した複数箇所のウィンドファームに観測システムを設置し、風況と発電量の同時観測（総発電出力、風車情報、気象観測等）を行い、シミュレーション解析用データを収集する。</p> <p>②ウィンドファーム対象システム、電力系統制御エリア対象システムについて数種類のモデルのレビュー、ベンチマークテスト及び具体的な箇所で実証試験を実施し、精度、コスト、信頼性などを総合的に評価し、日本固有のモデル構築を行うとともに実用化システムについて検討する。</p> <p>③技術開発面における内容のガイドライン作成を実施する。</p> <p>(3) 経年特性分析研究（平成20年度）</p> <p>苫前ウインビラ発電所に導入した蓄電（レドックスフロー電池）・制御システム【定格出力4MW、最大出力6MW（20分間）】の実証試験時の充放電特性等を分析するとともに、各ユニットの解体調査を実施し、実証研究期間の運転による耐久性、信頼性、運用性等への影響の分析・評価を行うものであり、具体的実施内容は以下のとおりである。</p> <p>①風力発電出力平滑化用途特有の不規則かつ多数回の充放電サイクルが、セルスタック性能に及ぼす影響を評価（隔膜、電極、エンドプレート等の初期特性との比較）する。また、バンク数制御運転等の運用条件の違いによるセルスタック性能に及ぼす影響の違いを比較分析</p>		

する。

②電解液の充放電時の副反応等による成分組成、価数の経年的な変化を分析し、充放電運転履歴の影響を評価する。

③ポンプの起動停止が多い運用下のタンクや配管等の部材の機械的強度を分析し、配管配置に関する評価を行う。また、充放電サイクル、ヒートサイクル回数が多い運用による析出物や異物付着等の確認を行うとともに温度履歴、運転履歴による違いを評価する。

④インバータの機器性能(効率)の経年低下等について、実証試験期間中の運転データを解析して評価する。

1. 必要性 (社会・経済的意義、目的の妥当性)

< 凡例 ○：評価できる点、●問題点、課題、◇：その他意見 >

(1) 社会・経済的意義

【蓄電システム】

- 大規模風力発電所の出力変動抑制による電力系統品質向上や、出力変動対策による風力発電導入促進に寄与することから意義は大きい。
- 風力発電は風速に応じて大きく変化するため、多数の風力発電機を電力系統へ連系すると電力系統の系統周波数が大きく変動する可能性がある。このような問題に対して、今後増加が予想されるウインドファーム発電電力変動の抑制を目的とする本事業は、社会的な先導技術として必要とされている。
- 島国のためフレキシビリティを欠く日本の電力系統の弱点を補い、風力発電をより有効に活用しようという環境・エネルギー政策面での社会的意義は評価できる。
- 本技術開発の目的は、ウインドファーム規模での短期出力変動の抑制方法を経済的に実現する方策を開発することである。この具体策として、ウインドファームに最小限容量の蓄電池を併設し、適切な制御方法により出力変動を抑制しようとするものであり、今後、大規模風力発電を導入する上で、電力系統に与える擾乱抑制のための技術開発として有用である。

【気象予測システム】

- 複雑な地形、乱流、強風、台風、境界層による風況変化に対処した、日本型の風力発電出力予測システムを構築する意義は大きい。
- 数時間先から翌日に亘る風況予測は、電力系統の経済的運用に関して非常に重要である。風況予測が正確に行えれば、ウインドファームの発電電力も予測可能となるため、より正確な風況が予測可能な気象予測システムの構築が社会的に求められており、本事業は時代の要請に応えることができる。
- 気象予測は、現在の情報技術・コンピュータ技術を活用し、電力系統の高度化に繋がると期待される技術開発であり、風力発電の導入促進に向けた社会的意義は大きい。また、わが国が得意とする分野であり、広く産業経済発展に向けて国際社会をリードしうる分野である。
- 風力発電の本格的な導入には、風況を事前に予測し、これに基づいて調整予備力を確保する必要がある。しかし、日本のウインドファームは起伏の激しい場所に設置されることが多く、欧州などで開発された風況予測手法はそのまま適用することが難しい。本技術は、地形の複雑さ、急激な気象の変化など日本固有の状況にも対応できるシステムの開発を目指すものであり、その開発意義は大きい。

【経年特性分析研究】

- レドックスフロー電池を風力発電機の出力電力平滑化に長期間使用して、適用電池の経年特性分析を実施した結果はこれまで明らかにされておらず、今後の風力発電機出力電力平滑化用途に対するレドックスフロー電池の適用可否とともに、レドックスフロー電池の劣化特性に関する知見が得られるため社会的意義は大きいといえる。

○蓄電システムの導入によりシステム全体は複雑になり、構成要素が増加すれば、当然システム全体の故障頻度は増えると考えられる。従って、故障頻度や経年変化の特性分析は、システム全体の信頼性を確保する上で有用な研究である。

(2) 目的の妥当性

【蓄電システム】

- 蓄電池による風力発電機複数台で構成されるウインドファームの発電電力の平滑化制御法を開発することを事業目的としており、大規模ウインドファーム導入時の課題解決に妥当な内容である。また、多地点における詳細な気象データを収集することで、今後のウインドファームの発電電力平滑化に有益な情報を収集することができる。
- ウインドファームの出力安定化に蓄電システムが実際に利用されれば、風力発電の導入促進に大きく寄与することから、本事業目的は妥当であった。
- 過去に NEDO で実施した調査により、ウインドファームの出力変動抑制効果は $1/\sqrt{n}$ (n : 風車台数) であることが確認されている。また、風車 1 台当りの出力変動抑制に必要な蓄電システムの容量は、発電出力の約 60% であるという結果が得られている。本技術開発の目的は、最小限の蓄電システム容量で風力発電出力変動の抑制を目指すものであり、開発の目的は妥当である。

【気象予測システム】

- 風力発電電力の事前予測を正確に行うことで、電力系統側の需給予測システムとの整合性を目指すものである、目的として妥当である。
- 電力系統運用に有用な数時間前から 4 8 時間先までの風力発電量の予測を目的としており、系統運用計画立案時に利用可能な予測データとなりうるため、事業の目的は妥当である。
- 気象予測技術と発電量予測技術という現代技術を利用した今回の技術開発は、一日も早い実用化が期待されており、またわが国の電力系統事情を鑑みても優れた目的性を有している。
- 日本の地形は欧州等に比較して起伏が激しく、これまで開発された風況解析システムでは十分対応できていない。今回の開発は、日本固有の地形や気象条件に対応できる予測システムの構築を目指すものであり、開発目的の位置づけは明確であり、妥当なものである。

【経年特性分析研究】

- 大容量蓄電システムの寿命および信頼性の確認を目的としており妥当である。
- 風力発電機発電電力の平滑化用途に使用した蓄電池の耐久性や信頼性を明らかにできることから、本事業の目的は妥当である。
- 蓄電システムを実現する上で信頼性（特に経年特性）は重要であり、その基礎データを採取することにより、具体的に蓄電池システム導入する際の判断材料に活用できる。従って本研究の取り組みは妥当である。

2. 効率性（手段の適正性、費用対効果）

< 凡例 ○：評価できる点、●問題点、課題、◇：その他意見 >

(1) 手段の適正性

【蓄電システム】

- 蓄電池容量（kW 容量、kWh 容量）を低減するための効率的な制御システム構築を目指しており、事業計画は適正であると判断される。また、平滑化制御法に関する知識が十分備わっている事業者により実施しているため、実施体制に関しても効率性が認められる。
- 短周期出力変動を平滑化する制御方策を提案し、また、各種制御手法を実証試験で検証し、平滑化効果を確認することで有用性を確かめることで、各種制御手法が最小限の蓄電池容量で効率的な平滑化効果を得ることを検証していることから、事業計画は適切であり、効率的である。

○電力系統技術、風力発電技術、電池技術に関する有識者から成る実施体制で効率的に運営されている。

【気象予測システム】

- インターネットにより、風力発電電力予測プラットフォームを社会に対して公開するため、ウインドファーム事業者のみならず電力供給事業者等も簡単に風力発電電力予測システムが利用可能となるため、手段は適正である。また、これまで気象予測業務に従事した事業者であるため、これまでの知見が有効に利用されることから、実施体制の効率性も認められる。
- 気象予測システムと風力発電出力予測モデルを開発・検証を行っており、出力予測モデルの精度は当日予測誤差で開発目標である 15%を達成しているなど、手段は適正である。

【経年特性分析研究】

- 蓄電池の経年変化や特性劣化を詳細に解明するために、蓄電池本体を解体サンプリングから分析評価まで計画通り実施されており、効率的に実施している。また、蓄電システム自体を製造・組み立てを行った事業者が解体・分析を担当しており、実施体制も妥当であると判断できる。

(2) 効果とコストとの関係に関する分析

【蓄電システム】

- 2010 年度の風力発電導入目標 300 万 kW に寄与する効果大きい。
- 日本におけるウインドファーム発電電力の短周期発電電力平滑化制御法が開発されているため、本技術は平滑化制御パラメータの調整が必要となるが他のウインドファームでも利用可能な制御方法であり費用対効果が高い。
- 風力発電の出力平滑化のために、風車単機ごとに蓄電システムを設置するとコストがかかるので、ウインドファーム全体に対して蓄電システムを併設し、適切な制御手法により最小容量の蓄電池で最大の平滑化効果を引き出す手法を開発したものであり、費用対効果を期待できる。

【気象予測システム】

- 2010 年度の風力発電導入目標 300 万 kW に寄与する効果大きい。
- 発電電力予測プラットフォームは、インターネットを通して電力供給事業者が参照できるシステムであるため、重複した研究開発が不要となり本事業費用に対する効果は大きい。
- 気象予測システムの開発により、風力発電連系時の電力系統の調整予備力を計画的に運用することが可能になり、ウインドファームと電力系統を含めた統合的な運用に寄与できると考えられる。
- 既存ウインドファームへの適用や新規ウインドファームの導入に際して活用できると思われる、費用対効果が期待できる。

【経年特性分析研究】

- 長期間稼働させた蓄電池の経年特性について、蓄電池本体を解体し、システムの信頼性等を調査して得られる知見は前例がなく、投資に見合う効果が見込まれる。
- 蓄電池システムの解体サンプリングを通じて信頼性と経年変化の分析評価を行うもので、研究終了後の設備の有効活用の観点から見て費用対効果が大きい。

3. 有効性（目標達成度、社会・経済への貢献度）

< 凡例 ○：評価できる点、●問題点、課題、◇：その他意見 >

(1) 目標達成度

【蓄電システム】

- 蓄電池容量と平滑化性能ならびに運用特性を明らかにし、短周期出力変動抑制技術を開発しており、目標達成している。
- 蓄電池によりウインドファーム発電電力を平滑化する制御法を開発しており、当初の目標を達成している。また、レドックスフロー電池の特徴を考慮した運転手法を取り入れていることは評価できる。
- 開発した各種制御手法を組合せて長期動作確認試験を行った結果、安定した平滑化運転を実現でき、短周期出力変動抑制技術を確認できた。また、蓄電池容量と平滑化性能、制御特性の関係を明らかにし、蓄電池による実用システムの設計に資するデータを採取しており、最終目標を達成できたと判断される。
- ◇事業終了後の実用化の遅れや設備導入費の増大、耐用年数の曖昧さなどの課題のはあるものの、蓄電池システムに関する貴重な技術データが得られた。

【気象予測システム】

- 当初目標とした予測誤差以下の精度を有する発電電力予測手法を開発しており、目標を達成しているといえる。種々のモデルを構築し、各モデルの予測精度を明らかにするとともに、各モデルを組み合わせることにより最終的な予測誤差を低減している点が評価できる。
- 風況データ、風力発電出力を用いて、ウインドファーム対象及び制御エリア対象の風力発電出力予測モデルを開発し、これらの実証試験を通して風力発電出力予測システムを構築した。予測誤差は、当日予測の予測誤差を15%以内、翌日誤差を20%以内に抑えることができ、最終目標を達成している。
- ◇数値目標は達成しており、今後潜在ユーザに対して本研究成果に対する利用期待度・要望事項などのアンケートをとる等して実用化につなげてもらいたい。

【経年特性分析研究】

- 風力発電電力平滑化のために長期間使用されたレドックスフロー電池の経年特性に関わる基礎データを取得することができ、解体解析作業により材質の劣化の程度も明らかになったので、今後の蓄電池を用いた電力平滑化に資する貴重なデータが得られたといえる。
- 実証運転データと蓄電システムの解体サンプリングによる分析評価を通して、風力発電出力平滑化運転を行う上で問題ないことが確認でき、最終目標を達成できた。
- 蓄電池の解体調査という未知の分野であり、技術成果は貴重なものが得られた。
- ◇経年特性分析については、例えば、レドックスフロー電池は15年の推定寿命があるというような明言が欲しかった。

(2) 社会・経済への貢献度

【蓄電システム】

- 風力発電出力変動による周波数変動を回避する技術開発により風力発電導入量拡大に寄与しており、貢献度は大きい。
- ウインドファームを大規模に導入する場合の基礎的な制御技術が確立され、今後の自然エネルギー導入拡大に資すると考えられるため、社会的な貢献度は大きい。
- 蓄電システムは出力変動の平滑化を目的とするが、経済的なシステムの実現のためには、最小限容量の蓄電池で効率的な平滑化を行う技術開発が要求される。本事業はこのような課題を解決しわが国の新エネルギー導入の促進に役立つものであり、貢献度が大きいと考える。
- ◇将来的に期待できるので、社会的に利用されることが望まれる。

【気象予測システム】

- ウインドファームが発電する翌日の発電電力を正確に予測できなければ大規模火力発電の起動停止を経済的に運転できない。今回の事業により風力発電電力を目標誤差以下で予測可能となるため、ウインドファーム事業者等にとって有益な情報を提供することが可能と

なっており、社会的貢献度は大きい。

- 日本におけるウインドファームは地形の起伏が激しく、気象の急変する場所に設置されることが多い。このような状況の下で、風力発電の出力変動を精度良く予測し、調整予備力を確保するためには、日本固有の地形と気象条件に合った気象予測システムとこれに基づく風力発電出力予測システムの開発が必要である。本事業はこのような課題を解決し、わが国の新エネルギー導入の促進に役立つものであり、貢献度が大きいと考える。
- ◇ユーザーから、実用化までにどの程度の精度向上が必要なのかを示されることを期待する。

【経年特性分析研究】

- 長期間にわたり風力発電電力平滑化用途に使用されたレドックスフロー電池の特性劣化について明らかにされており、高く評価できる。自然エネルギー発電電力平滑化のために用いられる蓄電池に関して有益な知見を新たに得ているため、本事業は社会的に大きく貢献していると言える。

4. 優先度（事業に含まれる各テーマの中で、早い時期に、多く優先的に実施するか）

特になし。

5. その他の観点（公平性等事業の性格に応じ追加）

< 凡例 ○：評価できる点、●問題点、課題、◇：その他意見 >

【蓄電システム】

- 今後、再生可能エネルギーとしての風力発電を導入するに当たって、レドックスフロー蓄電池システムのデータは他の蓄電池を導入する場合に当たっても有効に活用できる。貴重な技術成果が全世界で活用されることを期待する。
- ◇電力系統安定化対策は蓄電池併設のみでなく、風力発電所側、系統運用側、可能な負荷制御社会システムなど、上流側、下流側の全ての当事者で対応すべきものである（そのような進んだ社会システムを目指すべきである）。

【気象予測システム】

- 再生可能エネルギーとしての風力発電を導入するに当たって、気象予測システムを使用することにより効果的な風力発電システムの運用が可能になる。
- ◇気象予測システムの成果が普及しうる社会基盤の醸成を期待する。

【経年特性分析研究】

- レドックスフロー電池の寿命について優れた見通しを得ることができ公表できた。

6. 総合評価

< 凡例 ○：評価できる点、●問題点、課題、◇：その他意見 >

(1) 総括

- 本事業は、風力発電の大量導入時の課題を解決するための研究プロジェクトであり、今後の二酸化炭素排出削減に向けた社会・経済的意義は非常に大きいものである。目標達成のための事業計画は妥当であり、実施体制もこれまで関連する研究分野で十分に実績を有する人員で構成されているため適正と言える。設定された最終目標を達成できていると判断できる。
- 蓄電システムでは、各種制御手法を組合せて総合制御試験を実施し、また長期動作試験で平滑化動作の安定性を確認している。さらに、実証試験結果に基づいてシミュレーションモデルを構築し、シミュレーションにより基本特性を定量的に評価している。これらにより、安定した平滑化運転の確認ができ、短周期出力変動抑制技術を確立できた。
- 気象予測システムでは、風況データ、風力発電出力を用いて、ウインドファーム対象及び制御エリア対象の風力発電出力予測モデルを開発し、これらの実証試験を通して風力発電出力予測システムを構築している。予測誤差については、当日予測の予測誤差を15%以

内、翌日誤差を20%以内に抑えることができ、最終目標を達成している。また、事業の成果を普及させるためのプラットフォームの開発も行っており、成果の活用も期待できる。経年特性分析研究では、実証運転期間内の耐久性、信頼性、運用性能への影響を評価・分析し、運転データと蓄電システムの解体サンプリングによる分析評価を通して出力平滑化運転を行う上で問題ないことが確認できている。

- ◇研究開発計画は妥当であり、成果も満足すべき結果を得ているが、レドックスフロー電池が更なる導入に至らなかったのは残念である。
- ◇学術的研究成果の公開およびデータベースの共有化をより積極的に進めてもよいと思われる。

(2) 今後の展開

- ◇蓄電池容量のさらなる低減のために、風車のピッチ角制御法を導入した風力発電電力平滑化制御法の実証試験等が有効であると思われるので、今後も大規模ウインドファーム導入促進に向けた新技術開発事業を継続して実施することが、社会・経済的に有効である。
- ◇研究成果を公開し、実用化可能性のアンケート調査をとるなど、潜在ユーザの意識調査を通じて、不足した研究領域を補強することが望まれる。また、より本来的には風力開発のロードマップを策定し、整合性のある中・長期的な研究開発課題を明らかにし、必要な基礎研究や日本にとって必要かつ魅力ある課題への挑戦的研究にも着手すべきである。
- ◇気象予測システムのプラットフォームについては利用方法に関する広報資料の整備とともに講習会の開催などが望まれる。また、Web ページを通して利用者教育を図るとともに、Q & A などきめ細かい広報手段を用いて普及活動を行うことを期待する。さらに、実用化に向けて精度の検証と向上、およびソフトウェアのバージョンアップを継続する体制が望まれる。
- ◇今後、レドックスフロー電池以外の各種蓄電池の適用が計られることが望ましい。
- ◇研究の効率化・重点化は一理あるが、科学技術分野においては、チャレンジしない限り先には進めない。NEDO 風力関連事業全般的に、予算を切って目を摘んでしまうことは避けたい。
- ◇総合的な観点で見た場合、蓄電システムを活用した風力発電導入促進策は、今後、経済性の課題解決が必要と思われる。
- ◇ウインドファームによる電力系統安定度低下に対する対策を、全てウインドファーム（含蓄電池）側だけで行うのではなく、より柔軟で合理的な電力系統管理・運用手段を含めて検討する必要がある。
- ◇蓄電システムが風力発電の状況に追尾するだけでなく、蓄電池の充電状態に応じて風力発電出力を制御する方式も考えられ、今後の検討項目である。
- ◇風力発電量予測精度が風況予測精度に強く依存する以上、風況予測手法の基礎研究を含む技術開発が必要である。
- ◇本プロジェクトが風力導入促進に寄与する効果は現状では小さいので、技術成果の公開を通じてグローバルな風力開発促進に繋げていく必要がある。
- ◇本プロジェクトは、技術面でいずれも世界に先駆けた貴重な成果を挙げており、その成果を社会が活用できるよう期待する。
- ◇風力発電に関する研究は電力安定化技術開発に特化することなく、ユーザーの希望を反映させた上で、環境・エネルギー問題の解決に資する風力開発促進に繋がることを期待する。
- ◇大規模電力系統の安定化は、それを構成する一要素（蓄電システム）だけでは対応できないものであり、風力発電安定化技術のオプションとしては、蓄電池併設、風況予測技術、ハイブリッドシステム、系統運用の高度化、系統自体の高度化、柔軟な負荷システムの活用などの連携プレー、そして風車自体の技術開発がある。基礎研究も含めて、技術の有機的連携が確保される研究開発を期待したい。

第 2 章 評価対象プロジェクト (参考)

1. 基本計画

次ページに本実証研究の基本計画を示す。

(エネルギーイノベーションプログラム)
「風力発電電力系統安定化等技術開発」基本計画

新エネルギー技術開発部

1. 研究の目的・目標・内容

(1)研究開発の目的

風力発電は近年、技術革新や大規模化による設置コストの低減、導入補助、長期契約による電力購入メニュー等の効果によって、一定の事業採算性が認められるまでになり、風況の良い北海道、東北地方を中心に大規模風力発電システム(以下ウインドファームという)等の導入が進展してきている。しかしながら、風力発電は風況によって発電出力が変動するため、連系する電力系統に影響を及ぼすことが懸念されている。このため今後導入量の増大に伴って、電力系統の品質(特に周波数)維持のため、出力変動対策が必要になると指摘されている。

これに対して、総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会では、電力系統影響評価検討小委員会を設けて技術面の検討を行い、「蓄電池等の電力貯蔵設備による出力変動の抑制や、調整電源や会社間連系線の活用等による出力変動に対する電力系統の調整力の増大等の対策については、何れも大きな追加的コストを発生し得ることから、現在実施中の風力発電の出力変動についての検証結果を勘案しつつ、今後、系統対策、安定化対策のあり方について検討する必要がある」と報告している。¹

また、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下、「NEDO 技術開発機構」という)では、風力発電の系統連系に関する調査事業として、大規模化やプロジェクトの急増による風力発電の出力変動平滑化効果の検証²と、風車単基の風力発電所に蓄電池を併設した場合の平滑化効果の実証³を行った。

それによれば、今後導入が加速すると想定されるウインドファームにおいては、複数風車の組合せ効果により短周期側の変動成分はある程度平滑化されるが、蓄電池を併設すればさらに平滑化できること、但し風車単基毎に蓄電池を設置する方法はコストが大きな課題となること等が明らかになった。

これらを踏まえ本事業では、ウインドファームにおける出力変動対策として、大容量、複数基を対象に、短周期の出力変動を抑える蓄電技術を開発し、その有効性及び実用性について検証し、風力発電の導入促進に資することを目的とする。(以下、「蓄電システムによる出力変動抑制」という。)

平成16年7月の総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会風力発電系統連系対策小委員会中間報告において、周波数変動対策オプションの一つとして局地気象予測を精緻化し、風力発電の出力変動の予見可能性を向上することにより、一定の調整力の下での風力発電連系可能量を拡大できる可能性がある旨を指摘している。このため、風まかせの発電電力を事前に予測することにより、電力系統側の調整予備力を計画的に運用可能とすることを目的として、風力発電システムの発電量を予測するシステム開発(以下、「気象予測システム」という。)を平成17年度より当該プロジェクトに付加して実施するものとする。

さらに、「蓄電システムによる出力変動抑制」の平成17年1月から平成20年1月までの実証試験運転の成果を踏まえ、当該成果の内容の充実を図るとともに新たな蓄電システム技術開発に反映させるため、長期試験後の大容量蓄電・制御システムの耐久性、信頼性の更なる確認を行う調査研究(以下、「経年特性分析研究」という。)を平成20年度に当該プロジェクトに付加して実施する。

なお、本プロジェクトは、エネルギーイノベーションプログラムの一環として実施する。

1 新エネルギー部会報告書 ～今後の新エネルギー対策のあり方について～ (H13年6月)

2 風力発電電力系統安定化等調査 (H12年度、H13年度)

3 蓄電池併設風力発電導入可能性調査 (H12年度)

(2)研究開発の目標

・最終目標（平成19年度末）

I. 蓄電システムによる出力変動抑制

ウインドファームの出力安定化を可能とする蓄電技術、制御技術等を開発し、蓄電システム容量、コスト、出力安定化効果、信頼性、設置性、安全性、ニーズなど総合的に評価し、実用化システムについて目処をつける。

II. 気象予測システム

数種類の気象予測システムについて日本で活用可能な予測解析モデルを選定し、電力会社、風力発電事業者の協力のもと、具体的な数地点におけるリアルタイムでの予測システムの精度、コスト、信頼性などを総合的に評価し、実用化システムについて目処をつける。

III. 経年特性分析研究（平成20年度末）

大容量蓄電・制御システムの長期試験後の解体研究を実施し、耐久性、信頼性、運用性などを総合的に評価し、その結果を「蓄電システムによる出力変動抑制」の成果内容に付加するとともに、新たな蓄電システム技術開発に反映させる。

・中間目標（平成17年度末）

I. 蓄電システムによる出力変動抑制

実証試験による実測データの特性分析により、1地点の実証と2地点のシミュレーションから、風力発電出力変動、蓄電池容量、各種電池制御方法が平滑化効果に与える影響を解析し、求められる平滑化効果に対して、必要な蓄電池容量を算出する一般的な特性を導き出す。

(3)研究開発の内容

上記目標を達成するため、以下の項目について研究開発を実施する。

I. 蓄電システムによる出力変動抑制

①検証方法

既設のウインドファーム（総出力1万kW程度以上のサイトである苫前ウインベラ発電所【出力30.6MW、風車発電機19台】）に、その出力の約20%（高出力運転時）、電池容量1.5時間分の蓄電システムを導入し、風力発電の出力安定化試験を実施する。さらに別のサイト（仁賀保高原風力発電所【出力24.7MW、風車発電機15台】、グリーンパワーくずまき風力発電所【出力21.0MW、風車発電機12台】、田原臨海風力発電所【出力22.0MW、風車発電機11台】、長崎鹿町ウインドファーム【出力15.0MW、風車発電機15台】、阿蘇にしはらウインドファーム【出力17.5MW、風車発電機10台】）には、計測設備のみ設置して詳細な発電データ等を収集し、シミュレーション解析によって多角的評価を実施する。

②検討内容

- ・ウインドファームの蓄電システム併設による安定化効果について、実証試験とシミュレーションによって長期間の風況の下で評価し、電力価値向上について検討する
- ・蓄電システムの設計（容量、補機等）及び充放電制御方法（電池バンク制御・時定数可変制御・電池容量フィードバック制御等）が、出力安定化効果や効率へ与える影響を実証試験を通して明確化する。
- ・蓄電システムの設備容量を低減する有望な方法として、短時間高出力運転等について検証するとともに、実用化に向け制御パラメータと平滑化性能及び設備容量の一般解を提示する。
- ・蓄電システムの費用対効果（システムロス・インバータロス・電池ロスの低減等）、その他の設置・運用に関する諸問題（耐久性、安全性、設置性等）を総合的に評価するとともに、利用者ニーズを勘案し実用化システムの設計に資するデータ情報を提供する。

II. 気象予測システム

①検証方法

平成16年度において経済産業省が実施した、現存する気象予測に基づく風力発電量予測システムの調査結果をもとに、同一レベルでの比較を実施し、メリットデメリット等の特徴を整理する。また、各手法のうち、日本で活用可能な予測解析モデルを選定し、具体的な数地点における

リアルタイムでの予測の実地検証により、詳細検討を実施し、実証を行う。

②検討内容

- ・既存の風力発電出力予測モデルのレビュー、ベンチマークテストにより、気象モデル・風況予測モデル・発電出力予測モデルの各モデルの精緻化を行い、ウィンドファームおよび電力系統制御エリアを対象とする日本で活用可能な風力発電出力予測モデルの開発を実施する。
- ・計測データを用い、上記にて開発した「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」の2種類のモデルの予測精度を検証するとともに、長期検証により信頼性・コスト・予測精度等を総合的に評価し、実用化システムについて検討する。
- ・本事業で得られる知見を基に、実際に電力会社、風力発電事業者、風力発電出力予測情報提供者が、風力発電出力予測を行う際の技術的なガイドラインを作成する。

Ⅲ. 経年特性分析研究

①検証方法

苫前ウインビラ発電所に導入した蓄電（レドックスフロー電池）・制御システム【出力 6 MW（20 分）】の実証試験時の充放電特性等を分析するとともに、各ユニットの解体調査を実施し、運転による耐久性、信頼性、運用性等への影響の分析・評価を行う。

②検討内容

- ・風力発電出力平滑化用途特有の不規則かつ多数回の充放電サイクルが、セルスタック性能に及ぼす影響を評価（隔膜、電極、エンドプレート等の初期特性との比較）する。また、バンク数制御運転等の運用条件の違いによるセルスタック性能に及ぼす影響の違いを比較分析する。
- ・電解液の充放電時の副反応等による成分組成、価数の経年的な変化を分析し、充放電運転履歴の影響を評価する。
- ・ポンプの起動停止が多い運用下のタンクや配管等の部材の機械的強度を分析し、配管配置に関する評価を行う。また、充放電サイクル、ヒートサイクル回数が多い運用による析出物や異物付着等の確認を行うとともに、温度履歴、運転履歴による違いを評価する。
- ・インバータの機器性能(効率)の経年低下等について、実証試験期間中の運転データを解析して評価する。

2. 研究開発等の実施方式

(1)研究開発の実施体制

本研究開発は、NEDO 技術開発機構が、原則本邦の企業、民間研究機関、地方自治体、独立行政法人、大学等（委託先から再委託された研究開発実施者を含む）から公募によって研究開発実施者を選定し、委託して実施する。

(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 技術開発機構は、経済産業省及び研究開発責任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、NEDO 技術開発機構に設置する委員会及び技術検討会等、外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、四半期に一回程度プロジェクトの進捗について報告を受けること等を行う。

3. 研究開発の実施期間

蓄電システムによる出力変動抑制の研究開発期間は、平成 15 年度から平成 19 年度までの 5 年間とする。

また、平成 17 年度より実施する気象予測システムは、平成 17 年度から平成 19 年度までの 3 年間とする。

平成 20 年度より実施する経年特性分析研究は平成 20 年度の 1 年間とする。

4. 評価に関する事項

NEDO技術開発機構は、技術的および政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義ならびに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による事業評価として中間評価を平成17年度、事後評価を平成21年度に実施する。なお、評価時期については、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. その他の重要事項

(1)研究開発成果の取扱い

①成果の普及

得られた研究開発のうち、次の共通基盤技術に係る成果については、NEDO 技術開発機構、実施者とも普及に努めるものとする。

- ・ ウインドファーム出力を安定化するための蓄電技術、制御技術および計測・分析データ
- ・ 風力発電の発電電力量を事前に予測する気象予測システム

②知的基盤整備事業又は標準化等との連携

得られた研究開発の成果については、知的基盤整備また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、「独立行政法人新エネルギー・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、すべて受託先に帰属させることとする。

(2)基本計画の変更

NEDO 技術開発機構は、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、第三者の視点からの評価結果、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こととする。

(3)根拠法

本プロジェクトは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第1号イに基づき実施する。

6. 基本計画の改訂履歴

- (1) 平成15年3月、制定。
- (2) 平成16年3月、委託先決定に伴い、研究開発の目標等を、また、独立行政法人化に伴い、根拠法等を改訂。
- (3) 平成17年3月、「新エネルギー技術開発プログラム」として位置付けられたこと及び、気象予測システムを追加して改訂。
- (4) 平成18年3月、気象予測システムの委託先決定に伴い、研究の内容を追加して改訂。
- (5) 平成19年3月、事業に係る動向を加味し、成果の普及を勘案した内容を追加して改訂。
- (6) 平成20年3月、経年特性分析研究を追加すると共に、研究期間を1年延長して改訂。
- (7) 平成20年7月、イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1)研究開発の目的」の記載を改訂。

2. 事業原簿

次ページに本実証研究の事業原簿を示す。

平成20年度 事業原簿（ファクトシート）

		平成20年4月	作成
		平成21年5月	現在
制度・施策名称	エネルギーイノベーションプログラム		
事業名称	風力発電電力系統安定化等技術開発	コード番号：P03039	
推進部署	新エネルギー技術開発部		
事業概要	<p>i) 蓄電システムによる出力変動抑制 今後の風力発電の導入促進に資することを目的に、大規模風力発電システム（以下ウインドファーム）の普及拡大時に懸念される周波数変動等系統上の問題対策として、ウインドファーム総出力を対象に短周期の出力変動を抑える蓄電技術、制御技術等の技術開発を行うものである。（以下、「蓄電システムによる出力変動抑制」という。） 総出力1万kW以上の実証サイト（苫前）へ蓄電システムを設置し、各種制御方式の動作検証を実施することにより、その有効性及び実用性について検証するとともに、実証サイト同様の計測システムを他の5箇所（葛巻、伊香保、田原、鹿町、西原）の計測サイトに設置し、同様のデータ計測等を行う。これらのデータを基に各制御方式の実証効果と他への適用効果等の確認のためにシミュレーション解析を実施し、各制御方式の有効性等を明確にする。さらに、国内外の類似研究の成果及び動向調査を行い、今後の風力発電普及に向けた技術開発の礎とする。</p> <p>ii) 気象予測システム 風まかせの発電電力を事前に予測することにより、電力系統側の調整予備力を計画的に運用可能とすることを目的として、風力発電システムの発電量を予測するシステム開発（以下、「気象予測システム」という。）を平成17年度より当該プロジェクトに付加して実施する。 本事業では、我が国の典型的な気象条件と地形特性を考慮した複数箇所のウインドファームに観測システムを設置し、風況と発電量の同時観測（総発電出力、風車情報、気象観測等）を行い、シミュレーション解析用データを収集する。さらに、ウインドファーム対象システム、電力系統制御エリア対象システムについて数種類のモデルのレビュー、ベンチマークテスト及び具体的な箇所では実証試験を実施し、精度、コスト、信頼性などを総合的に評価し、日本固有のモデル構築を行うとともに実用化システムについて検討して、技術開発面における内容のガイドライン作成を実施する。</p> <p>iii) 経年特性分析研究 「蓄電システムによる出力変動抑制」の実証試験運転の成果を踏まえ、長期試験後の大容量蓄電・制御システムの耐久性、信頼性の更なる確認を行うことにより、成果内容の充実を図るとともに新たな蓄電システム技術開発に資することを目的に、調査研究（以下、「経年特性分析研究」）を平成20年度に当該プロジェクトに付加して実施する。</p>		
事業規模	事業期間：平成15～20年度（6年間）		（単位：百万円）
		H15～H18 （総額実績）	H19 （実績）
		H20 （実績）	合計
	予算総額（電特会計）	5,026	201
	執行総額	4,010	451
		198	125
		5,425	4,586

1. 事業の必要性

風力発電は2010年に300万kW導入（2003年の導入実績48万kWの約6倍に相当）を目標に、大規模化等の技術革新が行われ、ウインドファームの導入促進を目指している。

一方、総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会において、電力系統の品質（特に周波数）を保つため、風力発電の出力変動対策が必要であるとの指摘がされているところ。

平成12～13年度にNEDOで実施した「風力発電電力系統安定化調査」事業において、複数台を設置しているファームでは、出力変動相殺効果が $1/\sqrt{n}$ （ n ：設置台数）であることが確認された。また「蓄電池併設風力発電導入可能性調査」（平成13年度）では、風車1台当たりの出力変動抑制に必要な蓄電システムの容量は発電機出力の約60%であることが示された。今後、更に導入量を増加させるためには、ウインドファーム規模の導入促進が不可欠であるため、上記事業の成果を踏まえ、単機容量1000kW以上で10台以上のファームにおける出力変動抑制に関わる各制御方式の有効性及び最適なシステムの設計方針等の検討を行う必要がある。

また、風力発電の導入促進上の阻害要因として、風の変動に伴う出力変動に起因する電力系統の周波数変動問題がある。この問題を解消するための電力系統安定化対策に係る基盤技術の一つに、気象予測に基づく風力発電出力予測システムの導入があり、風力発電先進地域のデンマーク及びドイツでは、風力発電出力予測技術が既に実用化され、導入量の拡大並びに系統運用コストの削減に大きく貢献している。我が国が同様のシステムを導入するためには、様々な気象・地形に置かれたウインドファームにおける風況と風力発電出力の詳細観測に関する同時観測を行い、それをベースに日本の地域特性（①地形の複雑・急峻さに起因する、複雑な風況変化の予測や乱れによる実測パワーカーブへの影響把握。②特に台風などの激しい気象現象時の再現性向上）に配慮した高い信頼性を有する日本型風力発電出力予測システムに関わる検討を行う必要がある。

以上のように、本事業は我が国におけるウインドファームの導入促進に必要不可欠の技術を確立するためのものであり、実施意義の高い事業と判断する。

2. 事業の目標、指標、達成時期、情勢変化への対応

①目標

i) 蓄電システムによる出力変動抑制

事業全体としてウインドファームの出力安定化技術の開発によって、風力発電の導入促進に資することを目的に、苫前ウインビラ発電所の設備を利用し、ウインドファームの出力変動対策として短周期の出力変動を抑える蓄電技術を併設することによる有効性及び実用性について検証し、コスト（蓄電容量、総合効率等）対効果（出力安定化）及び信頼性等を総合的に評価するとともに、電力系統にとって負担の大きい短周期側の出力変動を抑える蓄電技術、制御技術等の開発を行うことである。

具体的には事業全体として下記を目標としている。

・中間目標（平成17年度末）

実証試験による実測データの特性分析により、1地点の実証と5地点のシミュレーションから、風力発電出力変動、蓄電池容量、各種電池制御方法が平滑化に与える影響を解析し、求められる平滑化効果に対して、必要な蓄電池容量を算出する一般的な特性を導き出すこと。

・最終目標（平成19年度末）

ウインドファームの出力安定化を可能とする蓄電技術、制御技術等を開発し、蓄電システム容量、コスト、出力安定化効果、信頼性、設置性、安全性、ニーズなど総合的に評価し、実用化システムについて目処をつける。

ii) 気象予測システム

事業全体として風力発電出力予測モデルを作成し、高い信頼性を有する日本型風力発電出力予測システムを開発することである。

・最終目標（平成19年度末）

数種類の気象予測システムについて日本で活用可能な予測解析モデルを選定し、電力会社、風力発電事業者の協力の下、具体的な数地点におけるリアルタイムでの予測システムの精度、コスト、信頼性など総合的に評価し、実用化システムについて目処をつける。

iii) 経年特性分析研究

- ・最終目標（平成20年度末）

大容量蓄電・制御システムの長期試験後の解体研究を実施し、耐久性、信頼性、運用性などを総合的に評価し、その結果を「蓄電システムによる出力変動抑制」の成果内容に付加するとともに、新たな蓄電システム技術開発に反映させる。

②指 標

i) 蓄電システムによる出力変動抑制

- ・ ウインドファームの蓄電システム併設による安定化効果について、出力変動率の改善度で評価する。
- ・ 蓄電システムの設備容量について、出力変動抑制のために必要なkWh容量と定格出力を超える蓄電池の出力要求値の発生確率で評価する。
- ・ 蓄電システムの費用対効果について評価する。
- ・ その他、設置・運用面（耐久性、安全性、設置の容易性等）の総合評価を行う。

ii) 気象予測システム

- ・ ①ウインドファームの総発電出力またはSCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) データ、②数値気象予報 (Numerical Weather Prediction: NWP) データ、③ウインドファーム情報（風車情報、地形情報等）などを入力データとし、風力発電出力予測モデルにより風力発電出力の翌日予測及び当日予測を行うものであり、持続モデル(発電出力の実測値をそのまま将来の予測値とするモデル)と比較して、当日予測においては改善率として20%削減(予測誤差15%)、翌日予測においては30%削減(予測誤差20%)の精度向上やコスト、信頼性について総合評価を行う。

iii) 経年特性分析研究

- ・ 各ユニットの解体調査を実施し、実証研究期間の運転による耐久性、信頼性、運用性等への影響の分析・評価を行う。

③達成時期

平成20年度末

④情勢変化への対応

平成16年7月の総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会風力発電系統連系対策小委員会中間報告では、周波数変動対策オプションの一つとして局地気象予測を精緻化し、風力発電の出力変動の予見可能性を向上することにより、一定の調整力の下での風力発電連系可能量を拡大できる可能性があるとして指摘されている。これを受けて、風力発電電力を事前に予測することにより、電力系統側の調整予備力を計画的に運用可能とすることを目的として、風力発電システムの発電量を予測するシステム開発を平成17年度より本事業に付加して実施した。

また、風力発電電力の出力平滑化に対する蓄電システムの有効性を確認したことを踏まえ長期試験後の大容量蓄電・制御システムの耐久性、信頼性の更なる確認を行うことにより、成果内容の充実を図るとともに新たな蓄電システム技術開発に資することを目的とした調査研究を、平成20年度に本事業に付加して実施した。

3. 評価に関する事項

①評価時期

年度評価：平成21年5月

事後評価：平成21年度

②評価方法（外部or内部評価、レビュー方法、評価類型、評価の公開方法）

年度評価：内部評価。

事後評価：外部有識者で構成される風力発電技術委員会にて審議し、その評価及びコメントを基に事業評価書を作成する。

評価結果はNEDOホームページ等により公開する。