

論 文 要 旨

論 文 題 目

A Study on a Frequency Control Method for Isolated Power Systems using Coordinated Control of Wind Energy Conversion Systems with a Battery Energy Storage System

(風力発電システムと蓄電池の協調制御による
離島電力システムの周波数制御手法に関する研究)

風力発電は、化石燃料の枯渇・環境問題への配慮から注目され続けている代替エネルギーの一つである。一方で風車出力は風速変動に伴って大きく変動するため、特に離島などの小規模電力システムでは周波数変動対策が必須となる。電力システムへの導入容量増加が期待される風力発電の有効利用の観点から考えると、風力エネルギーから取得可能な電力は最大限利用するとともに、電力システムの状態を考慮して発電を行うこと、すなわち周波数制御への積極的な貢献が必要である。加えて出力変動抑制のために蓄電池等の電力貯蔵装置を併設する場合には、その設備コストおよび維持費低減のための小容量化対策を考慮する必要がある。また、近年では、風速に応じた風車回転速度制御が可能である可変速風力発電システムの研究が盛んであり、様々な運転方法が提案されている。特に系統事故発生時においても連続運転可能なシステム (FRT) は重要な課題であり、事故除去後の風力発電システムの速やかな系統連系復帰が可能となる安定な運転方法が求められる。風力発電システム全体の総合的パフォーマンスの向上を達成するためのこれらの課題に対して、本研究では下記のように取り組んだ。

まず、離島を想定した小規模電力システムにおいて、複数の風力発電機が導入されたウィンドファームの出力電力指令システムと各風力発電機間の協調制御法を提案した。各風力発電機の出力状況と系統周波数状況に応じてウィンドファーム全体の出力電力指令値を決定し、風力発電機出力を可能な限り利用しつつ、系統周波数変動抑制を達成できることをシミュレーション結果より確認した。

次に、蓄電池併設型の風力発電システムにおいて、風力発電機と蓄電池の協調制御法を提案した。提案手法では、外乱推定オブザーバによって推定した負荷電力を周波数帯域上で区分し、長周期成分を風力発電機、短周期成分を蓄電池に抑制させることで、周波数変動抑制効果を保ちつつ蓄電池容量を低減させることが可能となった。この手法をウィンドファームにも拡張し、制御効果を確認することができた。

最後に、永久磁石同期発電機を使った可変速風力発電システムにおけるDCリンク部電圧とピッチ角の協調制御による出力電力平滑化手法を提案した。提案手法では、DCリンク電圧指令値を風速変動に応じて変化させることで、短周期の出力変動に対するピッチ角の急激な動作の低減が可能となる。DCリンク部にチョップ回路を構成することで、線路故障発生時にはチョップ回路の抵抗負荷によってPMSGからの余剰電力を吸収し、風力発電システムの安定運転および系統再連系後の短時間での電力安定供給を達成した。

上述のように、本研究では自然エネルギー利用システムの有効活用に関する研究に取り組んできた。これらの研究分野は今後もますます重要となることから、積極的に推進する必要がある。


氏 名 上原 明恵

(様式第5-2号) 課程博士

平成25年2月14日

琉球大学大学院
理工学研究科長 殿

論文審査委員

主査 氏名 千住 智信  印

副査 氏名 浦崎 直光  印

副査 氏名 関根 秀臣  印

学位（博士）論文審査及び最終試験の終了報告書

学位（博士）の申請に対し、学位論文の審査及び最終試験を終了したので、下記のとおり報告します。

記

申請者	専攻名 総合知能工学専攻 氏名 上原 明恵 学籍番号 128675H		
指導教員名	千住 智信		
成績評価	学位論文 <input checked="" type="radio"/> 合格 <input type="radio"/> 不合格	最終試験 <input checked="" type="radio"/> 合格 <input type="radio"/> 不合格	
論文題目	A Study on a Frequency Control Method for Isolated Power Systems using Coordinated Control of Wind Energy Conversion Systems with a Battery Energy Storage System (風力発電システムと蓄電池の協調制御による離島電力システムの周波数制御手法に関する研究)		
審査要旨 (2000字以内)	風力発電は、化石燃料の枯渇・環境問題への配慮から注目され続けている代替エネルギーの一つである。一方で風車出力は風速変動に伴って大きく変動するため、特に離島などの小規模電力システムでは周波数変動対策が必須となる。		

(次頁へ続く)

電力系統への導入容量増加が期待される風力発電の有効利用の観点から考えると、風力エネルギーから取得可能な電力は最大限利用するとともに、電力系統の状態を考慮して発電を行うこと、すなわち周波数制御への積極的な貢献が必要である。加えて出力変動抑制のために蓄電池等の電力貯蔵装置を併設する場合には、その設備コストおよび維持費低減のための小容量化を目指す必要がある。また、近年では、風速に応じた風車回転速度制御が可能である可変速風力発電システムの研究が盛んであり、様々な運転方法が提案されている。特に系統故障発生時においても連続運転可能なシステム (FRT) は重要な課題であり、故障除去後の風力発電システムの速やかな系統連系復帰が可能となる安定な運転方法が求められている。風力発電システム全体の総合的パフォーマンスの向上を達成するためのこれらの課題に対して、本学位論文で達成された解決手法を要約すると、以下の内容となる。

1. 離島を想定した小規模電力系統において、複数の風力発電機が導入されたウィンドファームの出力電力指令システムと各風力発電機間の協調制御法を提案している。各風力発電機の出力状況と系統周波数状況に応じてウィンドファーム全体の出力電力指令値を決定し、風力発電機出力を可能な限り利用しつつ、系統周波数変動抑制を達成できることを確認している。
2. 蓄電池併設型の風力発電システムにおいて、風力発電機と蓄電池の協調制御法を提案している。提案手法では、外乱推定オブザーバによって推定した負荷電力を周波数帯域上で区分し、長周期成分を風力発電機、短周期成分を蓄電池で抑制することで、周波数変動抑制効果を保ちつつ蓄電池容量を低減させることが可能となっている。この手法をウィンドファームにも拡張し、制御効果をシミュレーション結果より確認している。
3. 永久磁石同期発電機 (PMSG) を使った可変速風力発電システムにおけるDC (直流) リンク電圧とピッチ角の協調制御による出力電力平滑化手法を提案している。提案手法では、DCリンク電圧指令値を風速変動に応じて変化させることで、短周期の出力変動に対するピッチ角の急激な動作が生じないようにしている。DCリンク部にチョップ回路を構成することで、線路故障発生時にはチョップ回路の抵抗負荷によってPMSGからの余剰電力を吸収し、風力発電システムの安定運転および系統再連系後の短時間での電力安定供給を達成できることをシミュレーション結果より確認している。

上述のように、本研究は風力発電設備の有効活用に関する研究であり、これらの研究分野は今後もますます重要となることから、積極的に推進する必要がある。得られた研究成果は当該対象地域に限らず、他地域でも普遍的に適用可能である。また、本学位論文の技術を汎用的に活用することが可能となれば、風力発電設備の積極的な導入による化石燃料消費量の低減およびCO₂の大幅削減等の地球温暖化防止、ならびに海外からのエネルギー輸入率低減によるエネルギーセキュリティの向上に繋がり、社会に貢献できうる。

したがって、本研究成果は工学的に有用であり、提出された学位論文は博士の学位論文に相当するものと判断し、学位論文の審査を合格とする。また、論文発表会における発表ならびに質疑応答において、申請者は専門分野および関連分野の十分な知識ならびに琉球大学大学院博士後期課程修了者として十分な研究能力を有していることが確認できたので、最終試験も合格とする。