

## Abstract

### title

Output Power Leveling and Active Frequency Control of  
Wind Turbine Generator Systems in Isolated Islands  
(離島における風力発電システムの  
出力電力平滑化およびアクティブ周波数制御)

Wind energy is not constant and windmill output is proportional to the cube of wind speed, which causes the generated power of a wind turbine generator (WTG) to fluctuate. If the ratio of wind power is small in the power system, the wind power does not cause fluctuations in grid frequency due to output power fluctuation. On the other hand, if the ratio becomes large, fluctuation of grid frequency will increase. As a general provision for stand-alone WTGs, pitch angle control is used.

This thesis presents an output power control method for WTGs using pitch angle control for all operating regions in wind farm. In the proposed method, the wind farm output leveling command is determined by a fuzzy neural network (FNN) using average wind farm output power and standard deviation. The FNN can be tuned in order to present optimum performance under any operating conditions. The simulation results using a detailed model for wind farm systems show the effectiveness of the proposed method.

Several WTGs have been operated in Europe, and it has been observed that output power of WTGs exceeds demand in Denmark. WTGs have also been installed on small isolated islands in order to reduce fuel cost. Hence, the ratio of power systems is expected to change significantly, and there is a need for achieving power system frequency control using active output power control in the WTG.

Under these circumstances this thesis presents a method of output power control of WTG system to prevent frequency deviation using pitch angle control in small power system. The output power command value of the WTG is increased or decreased using the proposed method, and estimation of the increase or decrease is done based on the condition of the power system. The simulation results taken using the detailed model of the wind power system show the effectiveness of the proposed method.

We are focusing on the frequency control of a small power system, and this thesis presents an output power control methodology of the WTG for frequency control using a load power estimator. The load power is estimated by a disturbance observer. The output power command for the WTG is determined according to the estimated load. In addition, wind speed conditions are also considered, and thus, the proposed method ensures good control during wind turbulence. A reduction of frequency deviation in the power system caused by the WTG can be achieved by using the proposed method.

As mentioned above, this thesis addresses effective utilization of wind power system. If the proposed methods are made possible in general use, we can aggressively introduce more and more wind power into power systems. Hence, the proposed method contributes to the prevention of global warming and to energy security in our country.

Name Toshiaki Kaneko

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 上里 勝實  印

学位（博士）論文審査及び学力確認終了報告書

学位（博士）の申請に対し、学位論文の審査及び学力確認を終了したので、下記のとおり報告します。

記

申請者	氏名 金子 敏章	
現住所		
成績評価	学位論文 <input checked="" type="radio"/> 合格 <input type="radio"/> 不合格	学力確認 <input checked="" type="radio"/> 合格 <input type="radio"/> 不合格
論文題目	Output Power Leveling and Active Frequency Control of Wind Turbine Generator Systems in Isolated Islands (離島における風力発電システムの出力電力平滑化およびアクティブ周波数制御)	
審査要旨 (2000字以内)	<p>風力エネルギーは不規則であり、風車出力は風速の3乗に比例するため、風速変動により出力も大きく変動する。風力発電の電源構成比率が十分小さければその出力変動による周波数変動はほとんどないが、その比率が大きくなると連系システムの周波数変動は大きくなる。従って、風力発電システムの大量導入時には電力システムの周波数に悪影響を及ぼすことが懸念されており、その対策が必要である。電力貯蔵装置 (SMES (超電導エネルギー貯蔵装置)、蓄電池、フライホイール等) を用いた対策が多数報告されているが、電力貯蔵装置は設備コストの増加をもたらす。また、需要家に分散配置された可制御負荷を用いた対策として、蓄電池を搭載した電気自動車、電気温水器、ヒートポンプ給湯器を用いた手法が提案されてい</p>	

(次頁へ続く)

るが、これらの利用については社会全体での通信インフラ整備が必要になることや需要家のメリットが明確になっていないことから困難であると予想できる。

一方、風力発電システム単機の出力電力平滑化に関する報告は多数あるが、ウィンドファーム全体の出力電力制御に効果的な各風力発電システム間の協調的な制御に関する提案は少ない。また、風力発電システムの出力電力制御の本来の目的は系統周波数の変動を抑制することであるが系統周波数を考慮した報告がない。そこで、本論文では、高価な電力貯蔵装置を用いることなく標準的に装備されているピッチ角制御による系統周波数を考慮した風力発電システムの出力電力制御法を下記のとおり提案している。

1. ウィンドファームの各風力発電システム間の出力電力の差異に着目し、各風力発電システム間の協調的制御法を提案している。ウィンドファーム内で急激な風速減少あるいは増加で出力電力が急変する風力発電システムに対して、他の風力発電システムがその出力電力変動を補うような出力電力を供給することが可能となる。提案手法の有効性はシミュレーションにより確認している。
2. 電力系統の周波数変動および風速状況の情報を入力とするファジー推論により風力発電システムの出力電力指令値を決定し、ピッチ角制御により風力発電システムの出力電力制御を行う。提案手法の有効性は負荷電力および風速の変化を考慮したシミュレーションにより確認している。
3. 今後増加することが予想される風力発電システムに潜在する能力の有効活用を考慮し、積極的な風力発電システムの出力電力制御、つまり、風力発電システムのアクティブな出力電力制御による電力系統の周波数制御を提案している。電力系統において外乱である負荷電力情報に基づき、風力発電システムの出力電力を調整している。また、風力発電機の出力電力が大きく変化した場合も良好に周波数制御が可能であることを示している。
4. 離島電力系統にウィンドファームが導入された場合を想定し、電力系統の安定化に貢献するウィンドファームの出力電力制御法を提案している。提案手法の適用により、従来のピッチ角制御システムを有する風力発電システムにより構成されるウィンドファームでは不可能である周波数変動の抑制に貢献可能となる。出力電力は短時間先の風速予測情報も考慮して決定されており、風速変動が発生した場合においてもウィンドファームの出力電力は良好に制御されている。

上述のように、本研究は電力貯蔵装置を必要としない風力発電システムの有効活用に資する研究であり、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、積極的に実システムへ導入されるべき技術である。得られた研究成果は発電機仕様や離島地域に限らず、様々な発電機仕様や大規模系統においてもそれぞれ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、風力発電システムの積極的な導入に伴う化石燃料消費量の低減および二酸化炭素の排出量削減等による地球温暖化防止、ならびに燃料資源の乏しい我が国のエネルギーセキュリティ向上に貢献することが可能となる。

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を合格とする。さらに、学力確認のための外国語の試験では優秀な成績を収めており、学力試験を合格とする。