

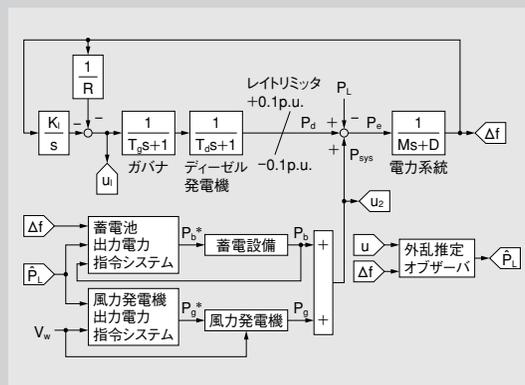
外乱オブザーバを用いた風力発電システムによる 離島電力系統周波数制御

省エネルギー，風力利用，エネルギー貯蔵，クリーンエネルギー，電力制御

* 千住智信 Tomonobu Senjyu ** 舟橋俊久 Toshihisa Funabashi

概要

近年，風力や太陽光などの自然エネルギー利用が注目されている。特に，我が国に多く存在する離島には風況に恵まれた地域が数多く存在することから，発電用としての風力利用が積極的に行われている。一方，風力発電機出力は風速の3乗に比例して変動するため，離島のような小規模電力系統では，風力発電機出力変動が周波数変動に与える影響が大きく，場合によっては対策が必要となる。本研究では，蓄電池を有する風力発電システムを導入した離島電力系統での系統周波数制御法として，外乱推定オブザーバによる負荷電力推定を導入した系統周波数制御法を提案した。



小規模電力系統モデル

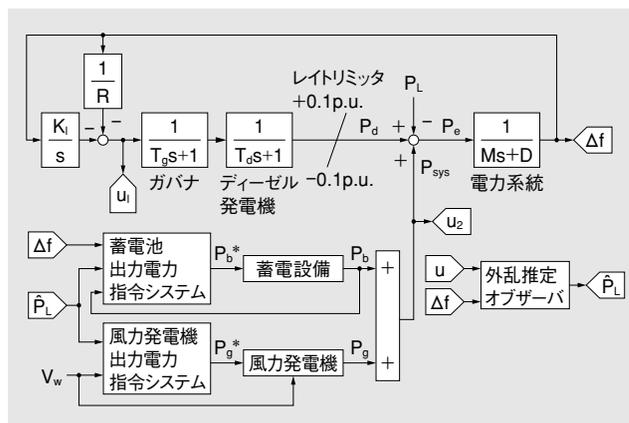
1. ま え が き

近年，環境問題やエネルギー枯渇問題などを克服するため風力発電が注目されている。一方，風力発電機出力（有効電力）は一定ではないため，離島のような小規模電力系統では周波数変動対策が必要となる。風力発電機側での対策として，これまで風車のピッチ角制御や可変速風車などを用いた風力発電機出力の平滑化が報告されているが，これらの手法は風力エネルギーからの取得可能電力の大幅な低下を招くため，風力発電をより有効利用した電力制御手法を用いる必要がある。一方，電力系統側での対策として，風力発電機の蓄電池を併設した系統周波数制御が報告されているが，設備コストや維持費などの問題から，蓄電池の貯蔵容量はできるだけ低減することが望ましい。そこで本稿では，外乱推定オブザーバによる負荷電

力推定を導入した系統周波数制御法を提案する。

2. 小規模電力系統モデル

第1図に本論文で想定する小規模電力系統モデル⁽¹⁾を示す。第1図ではディーゼル発電機，風力



第1図 小規模電力系統モデル
小規模電力系統モデルを示す。

*琉球大学 **電力ソリューション技術部

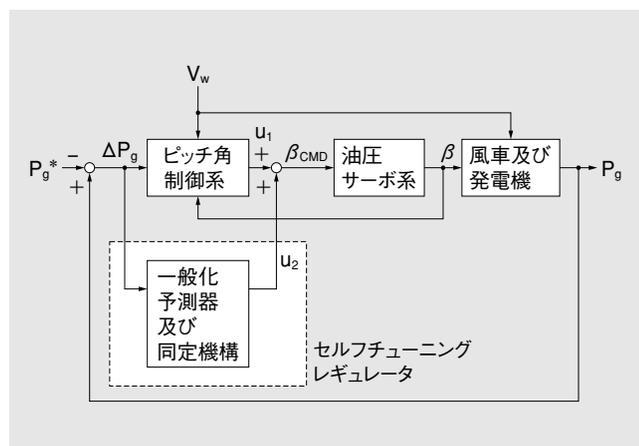
発電機及び蓄電池によって電力供給を行う。また、一般電力事業者のような大規模電力系統と連系されておらず、常時独立して運転される離島電力系統である。基準容量は687.5kWとし、定周波数制御方式を採用した。

2.1 風力発電システム

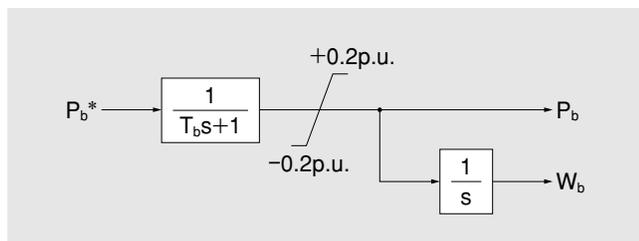
第2図に風力発電システムの構成図⁽²⁾を示す。本稿では、低廉・堅ろうなどの利点を有するかご形誘導発電機を用い、風車及び発電機の動特性式と実機モデルのパラメータを用いて詳細モデルを構成した。風力発電機定格出力は275kW (0.4p.u.)である。また、ピッチ角制御系では一般化予測制御(GPC)を適用しており、急激な風速変動やモデルのパラメータ誤差に対してもロバストな制御が可能である。第2図ではまず、風力発電機の出力電力指令値と実際の出力電力との偏差をピッチ角制御系への入力とし、ピッチ角指令値を決定する。その後、油圧サーボ系によりブレードを駆動し、出力電力制御を行う。

2.2 蓄電池モデル

蓄電池モデルは第3図のような一次遅れの伝達関数で構成し、時定数は0.3秒とする。残容量は



第2図 風力発電システムの構成図
風力発電システムを示す。ピッチ角制御系には一般化予測制御を用いている。



第3図 蓄電池モデル
蓄電池モデルを示す。時定数0.3秒の一次遅れで模擬している。

充放電電力の積分から計算する。電力貯蔵容量、インバータ容量はそれぞれ200kWh, 137kW (0.2p.u.)とした。

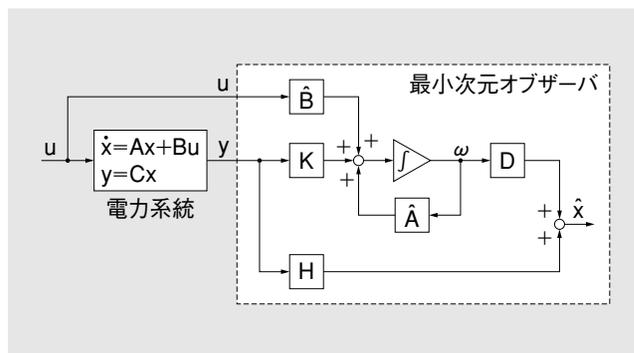
3. 出力電力指令システム

3.1 外乱推定オブザーバ

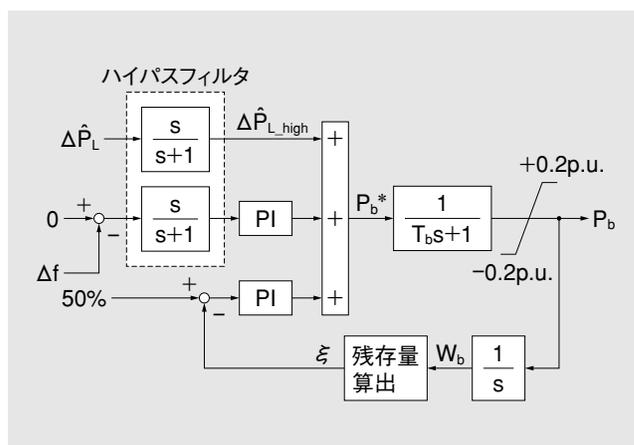
第1図の電力系統モデルで、負荷電力は外乱として入力される。そこで系統モデルの状態方程式を用いることで、外乱推定オブザーバによる負荷電力の推定が可能となる。第4図に外乱推定オブザーバの構成図⁽³⁾を示す。

3.2 出力電力指令システムの構成

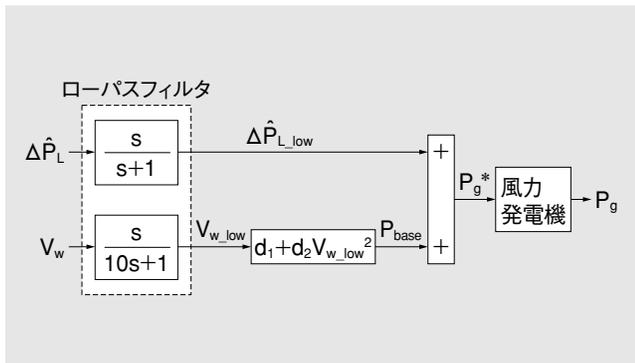
提案する風力発電機及び蓄電池の出力電力指令システムには、前述の推定負荷を利用する。推定負荷は風力発電機及び蓄電池の定格出力よりも大きいいため、100秒間の時間平均値から求めた推定負荷変動を各出力電力指令システムに用いる。第5図に蓄電池の出力電力指令システムを示す。蓄電池の出力電力指令値は周波数変動、推定負荷



第4図 外乱推定オブザーバの構成図
小規模電力系統モデルの状態方程式を用いて構成した外乱推定オブザーバを示す。



第5図 蓄電池の出力電力指令システム
本稿で提案する蓄電池の出力電力指令システムを示す。推定負荷を用いている。



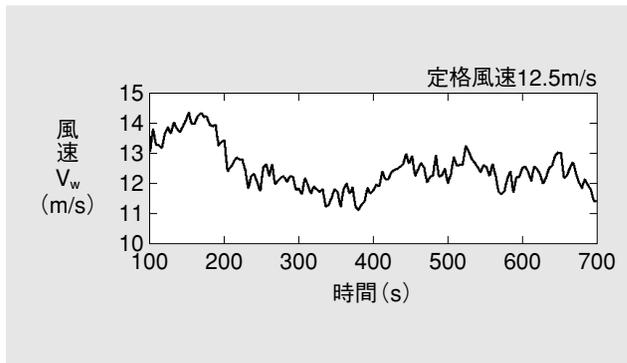
第6図 風力発電機出力電力指令システム
風力発電機出力電力指令システムを示す。推定負荷を用いている。

変動及び蓄電池エネルギー残存量から決定する。ハイパスフィルタによって蓄電池の動作領域を高周波領域に制限することで、長時間の充放電が抑制され貯蔵容量の低減が可能となる。

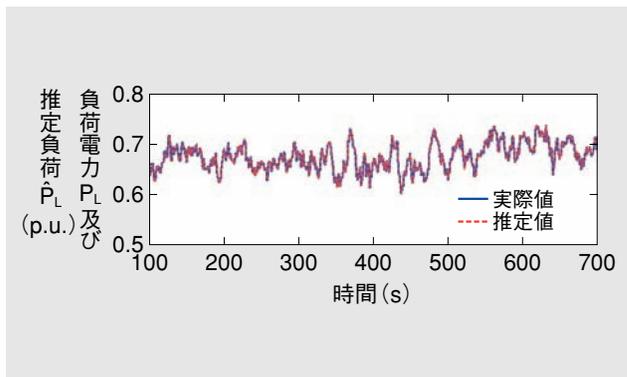
次に、第6図に風力発電機出力電力指令システムを示す。風力発電機出力電力指令値は、電力系統の状態のみでなく風況も考慮して決定する必要がある。現状では風速の正確な測定は困難なため、本稿ではローパスフィルタを用いて風速の低周波成分を算出し、風力エネルギーから取得可能な発電電力を求める。加えて推定負荷変動の低周波成分を用いることで、負荷電力変動の低周波成分を抑制することが可能となる。それぞれの制御器はPI制御器を用い、限界感度法⁽⁴⁾により調整した。

4. シミュレーション結果

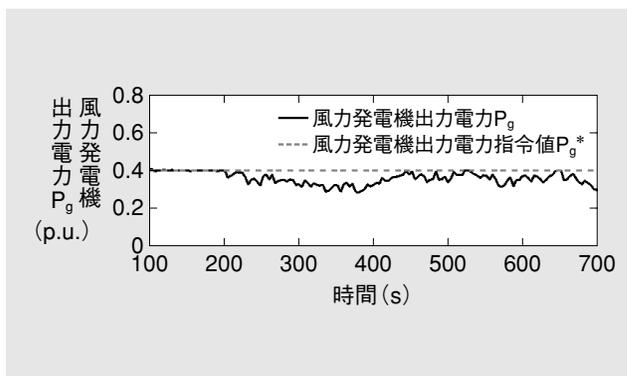
提案手法の有効性を示すため、第1図の系統モデルで系統周波数制御シミュレーションを行った。比較の対象は、風力発電機出力電力指令値を定格出力一定とし、負荷電力推定を導入せず蓄電池の充放電によって系統周波数制御を行う従来手法である。第7図～第14図にシミュレーション結果を示す。第7図、第8図はシミュレーションで用いた風速変動及び負荷電力である。また、第8図中の点線は外乱推定オブザーバで推定した推定負荷であり、実際の負荷電力とほぼ一致していることが確認できる。第9図、第10図に両手法における風力発電機出力を、また第11図にピッチ角を示す。従来手法を用いた場合、風速が定格風速以上の区間ではピッチ角制御によって出力が一定となるが、定格風速以下となる区間では出力変動が生



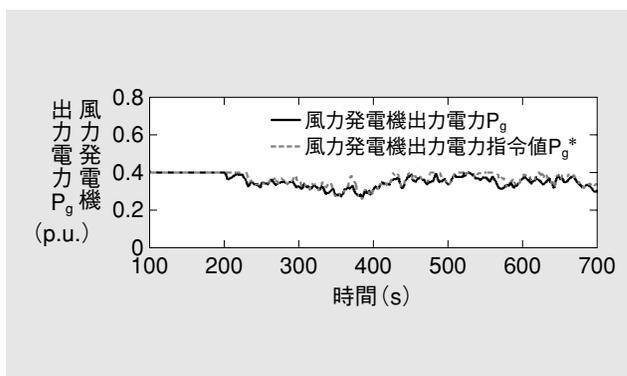
第7図 風速変動
シミュレーションで用いた風速変動を示す。



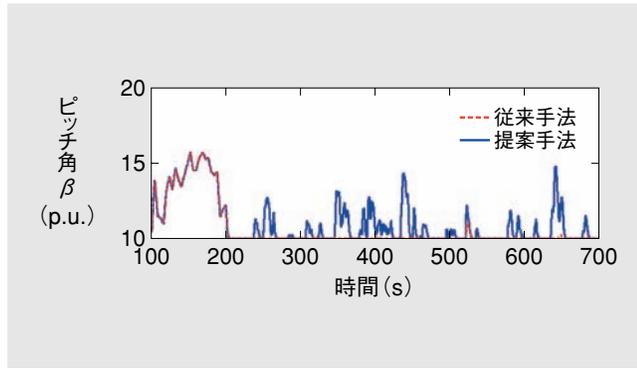
第8図 負荷電力
シミュレーションで用いた負荷電力を示す。



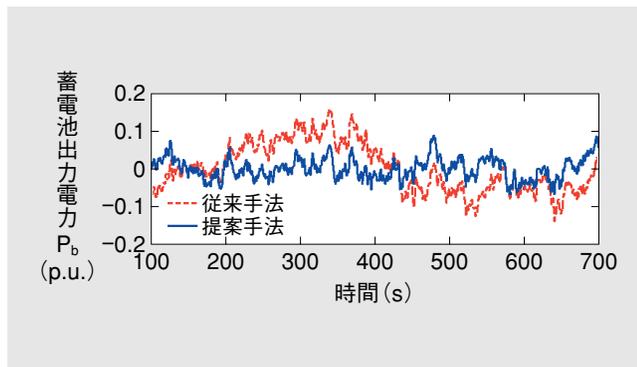
第9図 風力発電機出力 (従来手法)
従来手法を用いた場合の風力発電機出力を示す。



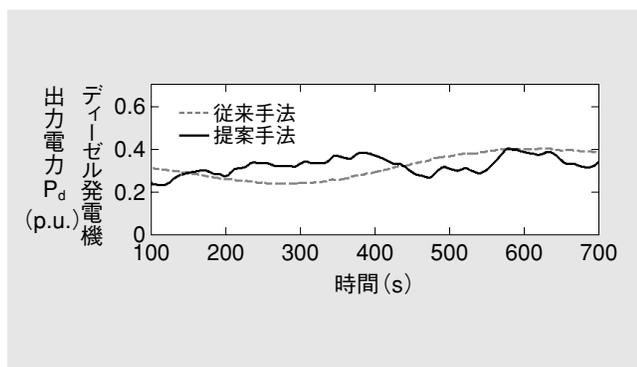
第10図 風力発電機出力 (提案手法)
提案手法を用いた場合の風力発電機出力を示す。



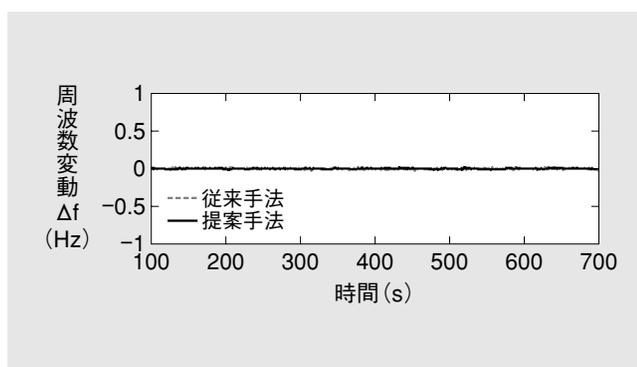
第11図 ピッチ角
従来手法及び提案手法を用いた場合の各ピッチ角を示す。



第12図 蓄電池出力
従来手法及び提案手法を用いた場合の各蓄電池出力を示す。



第13図 ディーゼル発電機出力
従来手法及び提案手法を用いた場合の各ディーゼル発電機出力を示す。



第14図 周波数変動
従来手法及び提案手法を用いた場合の各周波数変動を示す。

じている。提案手法を用いた場合には風力発電機の取得電力をほぼ損なうことなく指令値に追従していることが確認できる。一方、急激な風速変動によって風力発電機出力が指令値に追従できない場合があることも確認できるが、**第12図**に示すように併設する蓄電池の充放電によって適切に補償される。また、蓄電池は提案する出力電力指令システムによって周波数変動及び推定負荷変動の高周波成分に対して動作を行うため、従来手法と比較して長時間の充放電が抑制されていることが確認できる。これより、蓄電池の貯蔵容量低減が可能となる。**第13図**、**第14図**にディーゼル発電機出力及び周波数変動をそれぞれ示す。提案手法を用いることで、蓄電池の貯蔵容量低減、周波数変動抑制が同時に達成可能となることが確認できた。このケースでは、周波数変動は従来手法と同程度に抑えたまま、蓄電池出力最大値を約半分(0.15p.u.→0.08p.u.)に低減できている。

5. む す び

本稿では、風力発電が導入された離島電力系統における負荷電力推定を導入した系統周波数制御法を提案した。提案手法を用いることで、風力発電の電力系統安定運用への貢献、蓄電池の貯蔵容量低減及び系統周波数制御が同時に達成可能となることがシミュレーション結果から確認できた。

《参考文献》

- (1) T. Senjyu, T. Kaneko, A. Yona, N. Urasaki, T. Funabashi, F. Yamada and S. Sugimoto : "Output power control for large wind power penetration in small power system," IEEE 2007 PES General Meeting, No.07GM1480, Tampa, Florida, USA, June 24~28, 2007
- (2) T. Senjyu, R. Sakamoto, N. Urasaki, T. Funabashi and H. Sekine : "Output Power Leveling of Wind Turbine Generator for All Operating Regions by Pitch Angle Control," IEEE Trans. On Energy Conversion, Vol.21, No.2, pp. 467~475, 2006
- (3) T. Senjyu, M. Tokudome, A. Uehara, T. Kaneko, A. Yona, H. Sekine and Chul-Hwan Kim : "A New Control Methodology of Wind Turbine Generators for Load Frequency Control of Power System in

Isolated Island,” Proceedings of the International Conference on Electrical Machines and Systems 2008 (ICEMS 2008), 6pages (CD-ROM), Wuhan, China, 17~20 Oct. 2008

(4) 山本重彦, 加藤尚武: 「PID制御の基礎と応用」, 朝倉書店, 1997, pp. 85~86

・本論文に記載されている会社名・製品名などは, それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《執筆者紹介》



千住智信 Tomonobu Senjyu
琉球大学



舟橋俊久 Toshihisa Funabashi
電力系統解析, 分散型電源の研究開発に従事

