

令和元年6月26日現在

機関番号：12701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K14640

研究課題名(和文)分散制御型外乱オブザーバによるマイクログリッドの周波数制御

研究課題名(英文)Frequency Control in Microgrid using Decentralized Disturbance Observer

研究代表者

辻 隆男 (TSUJI, Takao)

横浜国立大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：00432873

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：離島における自立型電力システム(離島マイクログリッド)では、需給バランスを適切に維持して周波数変動を適切に抑制することが重要な課題である。太陽光発電や風力発電の出力変動にも対応できるよう、より高速かつ高性能な周波数制御方式を目指して、本研究では多様な制御資源が互いの制御行動を推定しながら動作する分散制御型外乱オブザーバの開発を目指した。また、蓄電池の導入容量の低減を目指して、風力発電の慣性応答制御への外乱オブザーバの適用について検討を進めた。その結果、蓄電池が無い離島マイクログリッドにおいても、風力発電の活用により周波数変動幅をおおよそ半減できる結果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

制御工学の分野において近年広く応用されている外乱オブザーバを分散環境下でも利用できるように拡張することで、多様な制御工学の分野への波及的な効果が期待できる。また、蓄電池が無いマイクログリッドにおいても、風力発電の運動エネルギーの利用により周波数変動を低減できることは、少ない設備投資費用により安定な電力システムを構築するための重要な知見と考えられる。同知見は、太陽光発電や風力発電の普及拡大の一層の進展に寄与するものである。

研究成果の概要(英文)：It is of prime importance to mitigate frequency fluctuation in power system of remote island (island microgrid). In particular, in island microgrid with photovoltaics and wind turbines, frequency easily fluctuates and rechargeable battery has been mainly used to compensate the imbalance caused by uncertain output change. In order to realize high performance frequency regulation with low capacity of the battery, decentralized disturbance observer which can be applied to multiple control resources was developed in this study. Also, application of the disturbance observer to inertial response control of wind turbine was discussed as well. Simulation results showed that frequency fluctuation could be reduced by half even in the case of island microgrid without rechargeable battery by using the inertial response of wind turbine with disturbance observer.

研究分野：電力系統工学

キーワード：マイクログリッド 周波数制御 風力発電 外乱オブザーバ 慣性応答制御

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーを利用した電源は、気象条件に依存して出力が変化する不確実性を有している。一般に電力システムでは発電と需要をリアルタイムに一致させることが重要であり、発電過剰もしくは発電不足となる場合には、同期発電機の回転数が変化することでそれぞれ周波数が上昇および下降する現象が生じる。安定な電力供給を継続するためには、周波数は適正な範囲内に常に維持されていることが必要であり、大きな周波数変動が生じた場合には発電機や需要側機器の緊急停止などを引き起こし、連鎖的に全系停止に至る可能性も危惧される。日本には多くの離島が存在し、独立した電力システムにより電力供給されている事例が多い。このような離島マイクログリッドにおいても周波数適正化は同様の重要な課題である。特に離島マイクログリッドは容量が小さいため、運転中の同期発電機の台数も少なく慣性力が小さい特徴がある。近年ではエネルギー供給をより経済的にするために、再生可能エネルギーを利用した電源の普及が進んでいるが、太陽光発電や風力発電の導入容量が増加すると、その分在来の同期発電機を停止させることになり、一層慣性力が小さくなる。また、太陽光発電や風力発電の不確実な出力変動により需給バランスは一層乱れやすく、周波数の変動幅も平常時から大きくなるのが問題である。この対策として、蓄電池の導入により余剰電力を充電、あるいは不足分を放電して供給することがよく行われているが、蓄電池の導入容量を増加させることは設備投資コストの増加につながり、必ずしも経済効果的な対策とはならない可能性がある。以上のように、太陽光発電や風力発電の普及を推進しながらも、蓄電池の導入容量を最小限に抑えつつ、周波数管理上の問題を解決できる方式の開発が重要となっている。

2. 研究の目的

より少ない蓄電池容量により周波数を適正化するためには、蓄電池の充放電制御系に適切な制御論理を持たせることが有効である。一般に、周波数が低下した際には発電不足と考えられるため放電制御を行い、逆に周波数が上昇した際には発電過剰であるため充電制御を行うことが効果的と考えられるため、周波数を制御入力としたフィードバック制御を適用することが広く行われてきている。原理的には、状態フィードバックに基づいた最適制御の適用により、必要最小限の充放電容量で周波数を適正化するような充放電パターンが導出されると期待されるが、複雑な方式は実用化への障壁が高いことも念頭において、より簡易的な方式で効果的な制御を実現することが望まれる。広く実用化されている制御方式としてはPIDコントローラがあり、蓄電池の充放電制御にも広く採用されているが、本研究では更なる高機能化を図る方式として、外乱オブザーバの適用を検討した。外乱オブザーバは制御対象の動特性モデル、ならびに制御量を入力として外乱の大きさを推定し、ただちにこれを補償する制御を行うものであり、正確なモデルや制御量の信号が活用できる場合には非常に高精度な制御の実現が期待される。離島マイクログリッドの周波数制御に本方式を適用する場合には、マイクログリッド全体での周波数に対する応答性を表す一次遅れの慣性モデル、ならびに在来の発電機群と蓄電池自身の制御量を入力として用いることが必要となる。離島マイクログリッド内の発電機や蓄電池が同一の発電所構内に設置されている場合には、その制御量の変化は発電所のマイクログリッドの連系点での電力を監視することにより検出できるため、比較的容易に外乱オブザーバの制御系を構築できると考えられる。

一方で、近年では電源の多様化や電力需要側からの系統貢献技術の進展が目覚ましく、離島マイクログリッドにおいても、今後は需給調整に資する制御資源が分散して配置されると想定できる。このような環境下では、周波数制御に関与する全ての制御資源の制御量を検出して利用することは容易ではない。そこで本研究では、各制御資源が互いの周波数制御モデルを内包することで互いの制御量の推定値を導出し、これを制御信号として活用する方式を検討した。なお、同方式は制御資源が分散化した環境下で適用可能であるという観点から“分散制御型外乱オブザーバ”と定義した。

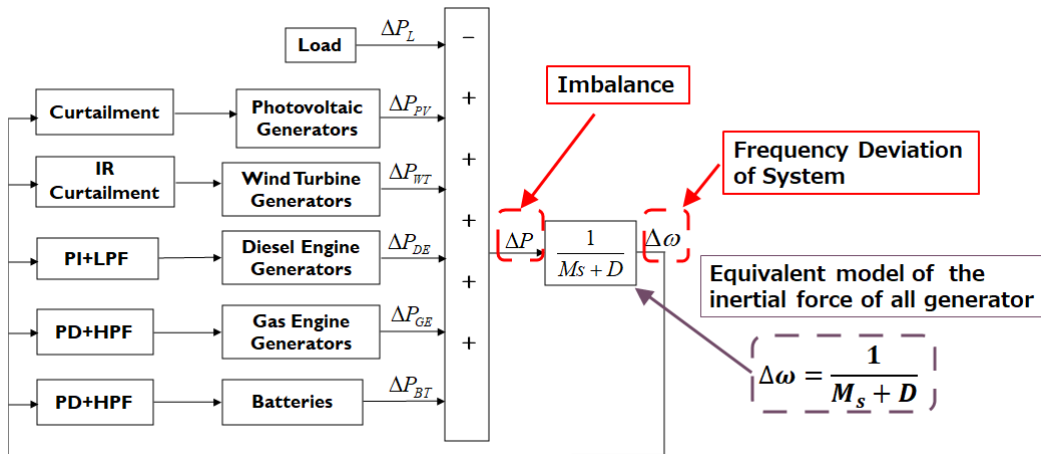
外乱オブザーバによる制御の高機能化は蓄電池の必要容量の低減に寄与すると想定できるが、需給のミスマッチが大きく現れる場合には、最適制御が実現される場合でも大容量の蓄電池が不可欠となる。そこで、より本質的に蓄電池の必要容量の低減を図るために、風力発電の制御機能の活用を検討した。Doubly Fed Induction Generator や DC リンク方式による風力発電が近年広く採用されているが、これらの風力発電は発電機やブレードなどの回転体に運動エネルギーを有しており、在来の同期発電機と同様に慣性力を保持している。この運動エネルギーを増減させながら、運動エネルギーの変化分を電力として系統に出し入れすることで、短時間では蓄電池と同様の働きが期待でき、これを慣性応答制御と呼んでいる。この慣性応答制御に外乱オブザーバを適用することで、蓄電池が無い場合でも周波数の変動を効率的に抑制する方式を検討した。

3. 研究の方法

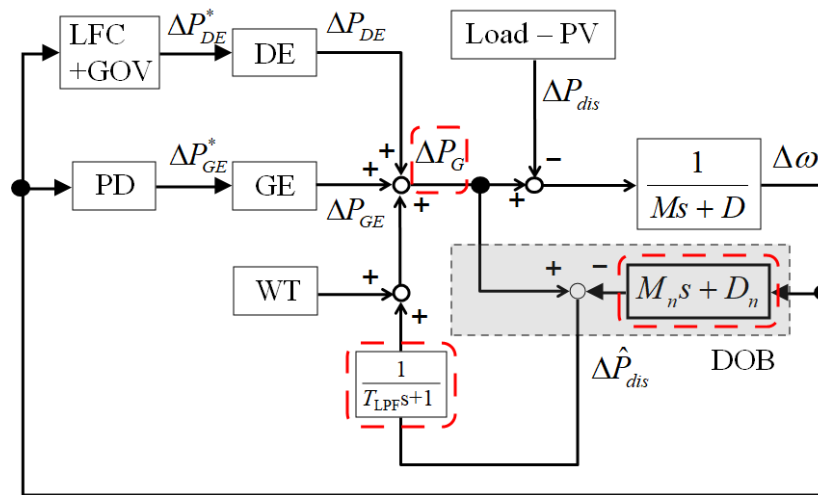
離島マイクログリッドでは、広くディーゼルエンジン発電機が用いられている。そこで本稿では、ディーゼルエンジン発電機、太陽光発電および風力発電、電力需要、蓄電池をそれぞれ組み合わせたモデルを用いて検討を行った。なお、在来の電源として、制御速度の異なる同期発電機モデルを表すために、必要に応じてガスエンジン発電機も組み合わせ用いた(図1)。

まず、蓄電池に分散制御型外乱オブザーバを適用して、その有効性の検討を進めた。本方式の制御効果は、各制御資源の周波数制御の挙動を表す動特性モデルの精度に依存すると考えられる。そこで、まずは周波数制御モデルの各パラメータに誤差を持たせて、制御系のロバスト性の度合いを確認した。また同様に、一次遅れで表現されたマイクログリッドの動特性モデルについても、特にその慣性定数の大きさに誤差を持たせた場合の精度について検討を進めた。

次に風力発電に注目して、慣性応答制御に外乱オブザーバを組み合わせた場合の制御効果について検討した。離島マイクログリッド内で生じたインバランスの中でも、比較的緩やかな変動成分についてはディーゼル発電機が追従できるため、電源群の制御量や周波数変化に関して比較的高周波数帯域の成分のみをフィルタを用いて抽出して、外乱オブザーバの制御入力として用いた。また、過度に鋭敏な制御が不安定化を引き起こさないよう、外乱オブザーバによる生成した制御信号についてローパスフィルタを適用して安定化を実現した。風力発電および需要の急峻な変化に起因した周波数変動を外乱として与え、数値解析を進めた。



(a)周波数制御モデル



(b)外乱オブザーバ

図1 離島マイクログリッドモデル

4. 研究成果

ここでは風力発電への外乱オブザーバの適用による制御効果を示す。図2および図3に示すような負荷および風力発電出力の変動を外乱データとして与えた場合の系統周波数の変化を図4に示す。ここで同図(a)および(b)は、それぞれ提案手法の適用の有無を表している。また、図5および図6には、在来電源（ディーゼルエンジン発電機とガスエンジン発電機）の出力変化、ならびにDOBによる風力発電出力の調整分を示している。比較的高周波数帯域まで制御する設定としたガスエンジン発電機ができるだけ速いインバランスの変動まで追従しようとしているが十分に追従できず、大きな周波数変動が生じているのがDOBが無いケースである。ここでは最大で0.15Hz程周波数が基準値(50Hz)から変化しているが、提案手法を適用したケースでは風力発電出力が図3の波形に対して図6の分だけ調整され、結果的に周波数の変動幅は図4(b)に示す通り半分程度まで抑制されていることがわかる。なお、風力発電への慣性応答制御の適用により、風車の回転数は出力を最大化するための最適値から変化することになる。回転数の変化が著しい場合には、風車の回転数を回復させるための制御が必要となり、一時的に系統貢献が停止することが問題となるが、離島マイクログリッドにおいて周期の短い周波数変動を

補償するためには、慣性応答制御による出力増加および低下の持続時間は限定的であり、回転数に及ぼす影響は限定的であることも示された。

本解析は蓄電池が無い場合の結果であり、蓄電池が無い場合でも周波数変動の適正化効果が得られることを示した点は、今後より少ない設備投資で再生可能エネルギー電源を受け入れるための重要な知見を示したものと考えられる。

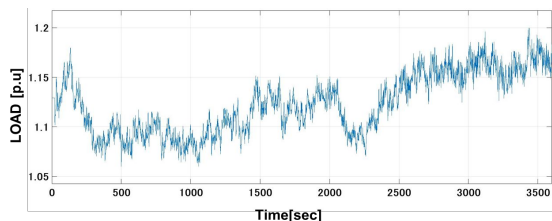


図2 負荷変動

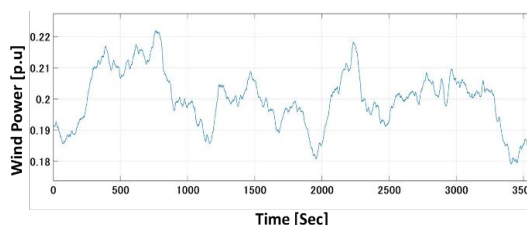
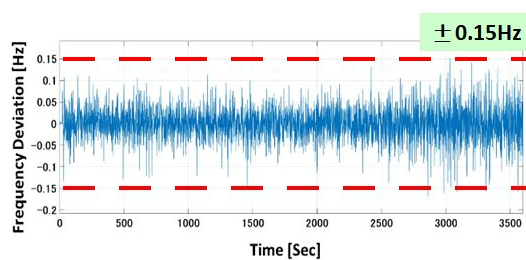
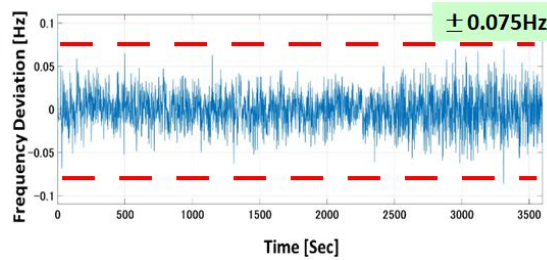


図3 風力発電出力変動



(a)DOB なし



(b)DOB あり

図4 周波数変動

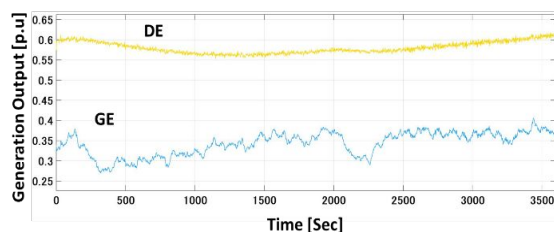


図5 発電機出力の変化

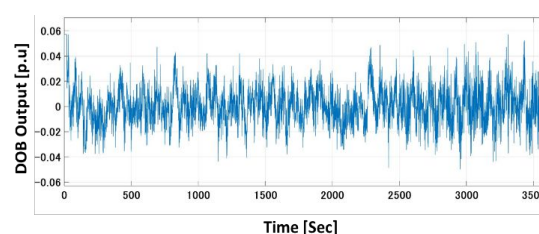


図6 風力発電の DOB による制御量

5. 主な発表論文等

[学会発表](計2件)

[1] 辻隆男, 齊晶婷: “外乱オブザーバを用いた風力発電の慣性応答による周波数制御方式”, 電気学会新エネルギー・環境高電圧合同研究会, 2017

[2] Jingting Qi, Takao Tsuji: “Advanced Inertial Response Control Based on Disturbance Observer in Microgrid with Wind Power”, 17th Wind Integration Workshop, 2018

6. 研究組織

(1)研究分担者

該当なし

(2)研究協力者

該当なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。