

令和元年6月20日現在

機関番号：33903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06247

研究課題名(和文) 電力システムに貢献するアクティブ型マイクログリッドの開発

研究課題名(英文) Development of Active Microgrid Contributing to Power System

研究代表者

雪田 和人 (YUKITA, Kazuto)

愛知工業大学・工学部・教授

研究者番号：60298461

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、系統の需給制御に参加できるアクティブ型マイクログリッドを開発することを目標とした。開発するマイクログリッドにより、供給予備力の確保、電力品質の安定性、マイクロ/スマートグリッド間における電力融通、エネルギーマネジメント手法を目指し研究を実施した。本申請の研究成果は、1) マイクログリッドの運転状況と電力システムの状況を考慮した制御方法の開発、2) 電力潮流制御装置とマイクログリッドとの協調制御方法、3) マイクログリッドの運転状況、連系する電力システムの運転状況、潮流制御の状況に応じた制御手法である。これらの成果は、今後のマイクロ/スマートグリッドの技術に貢献できるものと思われる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発したアクティブ型マイクログリッドは、連系する電力システムの供給予備力の確保、電力品質(周波数、電圧など)の安定性、マイクログリッド間における電力融通、地域全体におけるエネルギーマネジメントへの貢献が期待できる。

特に、申請者がこれまで開発してきたマイクロ/スマートグリッドは、電力システム改革後の新しい環境下においての対応が困難であった。そこで、本申請で開発するグリッドは、連系する電力システムと協調して電力需給制御を実施することにより、再生可能エネルギーが大量導入された電力システムの構築が完成できるものと期待される。

研究成果の概要(英文)：The active microgrids developed in this research, secure supply reserve of interconnected power system, stability of power quality (frequency, voltage etc), power interchange among microgrids and contribution to energy management.

The research aimed at securing supply reserve capacity, stability of power quality, power interchange between micro / smart grids and energy management methods was carried out with the microgrid to be developed. The research results of this application are:1) development of control method in consideration of operating condition of micro grid and power system, 2) cooperative control method of power flow controller and micro grid, 3) operating condition of micro grid, It is a control method according to the operation situation of the power system to be connected and the situation of the power flow control. These results are expected to contribute to future micro / smart grid technology.

研究分野：電力工学 電力系統工学 信号処理工学

キーワード：マイクログリッド スマートグリッド 電力工学 電力システム工学 制御工学

1. 研究開始当初の背景

現在、我が国におけるエネルギー政策について注目すると、東日本大震災および原発事故を受けて、2013年に電力システム改革が提案されて以来、2016年の電力小売り自由化、2020年発送配電の法的分離など、60年ぶりに電気事業法が改正され、従来の大規模発電所などで構成された電力システムの構造自体も大きく変化しつつある。一方で、エネルギー分野における安全保障の強化・資源の安定供給の確保と低炭素社会の実現（原発事故、ゼロ・エミッション、地球温暖化対策など）が国家的なエネルギー問題となり、依然として解決すべき課題となっている。そこで、これら問題を解決するために、太陽光発電をはじめとする再生可能エネルギーの普及・啓発および導入量の拡大がなされつつある。また、電力機器においても、これまでより消費電力が少ないデジタル家電（LED照明、液晶テレビ、インバータ型冷蔵庫や空調機器など）が開発され普及しつつある。さらに、省エネルギー化を図るために、住宅、ビル、工場、地域などにおいて、エネルギーマネジメントシステム（EMS）が導入されつつある。

このような状況において、再生可能エネルギーと蓄電装置から構成されたマイクログリッドは、系統電力が喪失した場合にも自立して電力供給ができるため、電力システム改革後の複雑化した電力システムにおいても、重要な役割を担うものと期待される。特に、2020年の発送配電の法的分離や新しい電気事業者が参入した電力システムにおいては、電力取引が常時実施されるとともに、系統故障時のバックアップ対応が不十分である可能性があるため、頑強性が高いシステム構築に対して必要不可欠なものとなる。

申請者も、再生可能エネルギーによる発電装置（太陽光発電、燃料電池発電、風力発電など）の高効率運用を目指した電力システムに関して、パラレルプロセッシング方式を用いたマイクログリッド／スマートグリッドにおける給電方式を開発してきた。この方式は、無瞬断で系統連系運転―自立運転―系統連系運転ができる画期的な手法であり、現在もこのようなシステムは他に提案されていない。（ここで開発したシステムは全国約100箇所の避難地区に現在、導入されている。）さらに、マイクログリッドに導入された再生可能エネルギーの利用率向上と蓄電装置の低減化を図るため、新しい制御手法について研究を実施してきた。

しかしながら、系統連系されたマイクログリッドにおいては、グリッド内における電力需給制御に重点を置いていたため、連系する電力システムである系統側の状態を考慮した制御・運用手法がなされていなく、連系点からの自地域のみ管理をする、いわゆる系統側からみるとパッシブ型マイクログリッドであった。

2. 研究の目的

本研究では、電力システム改革がなされた新しいシステムにも対応するとともに、マイクログリッドの優位性、いわゆる頑強性を十分発揮できるアクティブ型マイクログリッドの開発を目指す。本研究で開発する電力システムの系統制御に貢献するアクティブ型マイクログリッドは、以下の項目について明らかにすることを目標とする。

(1) マイクログリッドによる電力システムの供給予備力への貢献検討 電力システムにおいて発電電力が不足時に、連系しているマイクログリッドの発電能力に余裕があれば系統への電力供給を実施し、発電能力に余裕がなければ解列し電力システムの需給制御に貢献する。また、系統全体で発電電力余剰時には、グリッドの蓄電装置の利活用を実施する。これは、実時間自動需要応答（オンラインデマンドレスポンス）にも対応できる手法であり、現在のオンラインデマンドレスポンスよりも反応速度の向上が期待され、5分から10分先のデマンドレスポンスができるものと期待できる。この10分以内のデマンドレスポンスが、複数のアクティブ型のマイクログリッドで可能であれば、中大容量の火力発電所の供給予備力を削減できることになる。

(2) マイクログリッドによる電力システム内の再生可能エネルギーの変動抑制効果 開発するアクティブ型マイクログリッドは、系統からの受電電力制御と系統への供給電力制御を実施することにより、連系された電力システムの電力制御と電圧制御を担うことができる。このため、上記1)での電力制御（有効電力制御：周波数制御）のみではなく、電圧制御（無効電力制御）に関しても実施できるため、電力システムに連系した再生可能エネルギーによる出力変動を周波数と電圧の両面から抑制できる。本研究では、アクティブ型マイクログリッドの利活用による再生可能エネルギーの出力変動抑制効果（周波数制御、電圧制御）について明らかにする。

(3) 電力システム内の電力潮流制御への貢献 2016年からの電力小売り自由化が実施されると、系統内に大小規模の発電所が点在することになり、電力という商品の取引が実施される。このため、送電経路における電力潮流制御が必要不可欠となる。そこで、系統連系されたアクティブ型マイクログリッドの連系点にて、電圧制御、移相制御を実施することにより、系統内における電力潮流制御に貢献できるものと思われる。さらに、複数の直流連系されたマイクログリッドにおいて電力潮流制御を協調して実施することにより、交流系統側の電力潮流を制御できる可能性がある。

本研究では、申請者がこれまで研究してきた給電手法と電力潮流制御装置なども考慮したアクティブ型マイクログリッドを開発し、これまでの制御運用手法の不足内容を補完し、電力システム改革後の電力システムに貢献できるマイクログリッドを開発するものである。

3. 研究の方法

本研究であるアクティブ型マイクログリッドの開発は、3年間の計画であり、研究期間を大きく前期と後期にて実施した。まず検討内容は、これまで用いてきた双方向変換器を有効電力制御と無効電力制御を独立して制御する手法を開発した。つぎに、双方向変換器と系統と連系制御を実施する交流遮断器の協調制御方式について検討した。

そして、図1に示すような小規模系統を実験室内に構築し、開発した装置の問題点（過電圧、電流のノイズ、電圧値など）を精査した。さらに、実際の電力システムの運転状況とマイクログリッドの運転状態における制御の問題に関して、大学に導入している実システムにより実験により多面的に検討した。学内に構築したグリッド構成を図2に示す。

基本的に、基礎的な内容については計算機シミュレーションにて実施し、その後小型装置を用いて実験、実システム実験で実施した。

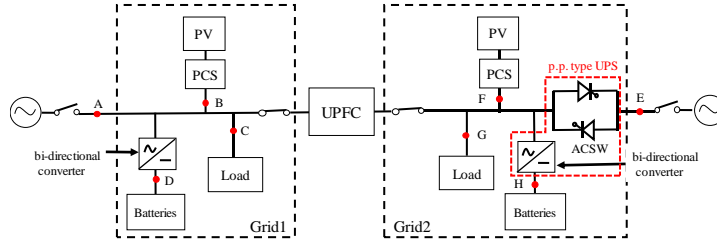


図1. 実験室に構築した実験回路

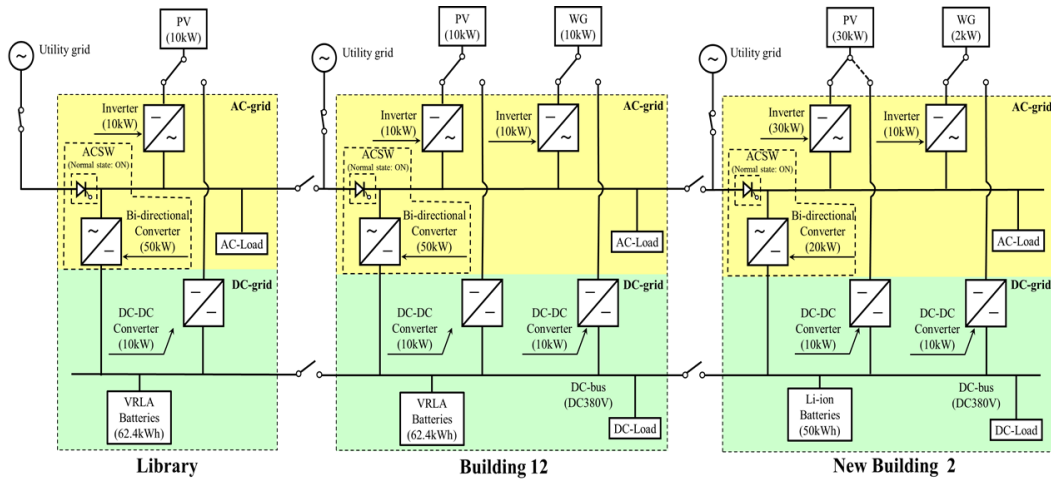


図2. 学内に構築したマイクロ/スマートグリッド構成図

4. 研究成果

本研究では、システムの需給制御に参加できるアクティブ型マイクログリッドを開発することを目標とした。各目標に関しての成果を以下に示す。

(1) マイクログリッドによる電力システムの供給予備力への貢献検討

本研究では、電力システムの供給予備力への貢献のために、これまで困難であったマイクロ/スマートグリッドからの逆潮流運転に関して検討を実施した。このとき、逆潮流運転をする際に系統の電圧を考慮する必要があるため、系統接続しているグリッド間の電圧設定値について検討をした。さらに、現在のグリッドにおいて電力需要のピークカットおよびピークシフトについても検討を実施した。

次に、マイクロ/スマートグリッドにおける蓄電池の系統からの充電に関しては、その日における電池電力の使用状況を考慮し、例えば毎日23時に維持する電圧値を設定しておき、蓄電池への充電電力のスケジュール運転手法を確立した。

(2) マイクログリッドによる電力システム内の再生可能エネルギーの変動抑制効果

本研究では、電力システム内の再生可能エネルギーの変動抑制効果として、マイクログリッド内に導入された蓄電池、ハイブリッドあるいは電気自動車（EV）の蓄電装置を用いた充放電制御による再生可能エネルギーによる発電装置の代表である太陽光発電や風力発電の出力変動抑制について、制御・運用手法について検討した。さらにこれら蓄電電力を用いた逆潮流制御について実験的検討を行った。その結果、EVを定置用蓄電装置として使用する制御手法を開発した。

(3) 電力潮流制御装置との協調制御手法の確立 これまで検討してきた装置は、マイクロ/スマートグリッド間の連系を考慮していなかった。そこで、電力潮流制御装置との協調

制御手法に関して検討を実施した。このとき、マイクログリッド内におけるディーゼル発電機についてもグリッドのその側に接続される場合と内側に接続される場合について検討を行った。さらに、この発電機の制御についても従来の比例・積分制御だけでなく、H無限大制御理論を用いた制御についても検討を実施し、その有効性を示すことができた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① 雪田和人：直流給電システムの動向とその将来, エネルギーデバイス 第 6 巻 pp10-16, 2016 年(査読なし)

[学会発表] (計 14 件)

- ① Daiki Owaki, Kazuto Yukita, Toshiro Matsumura, Yasuyuki Goto, Keiichi Hirose
Study on Revers Power Flow From Micro-Grid to Power System International Telecommunications Energy Conference INTELEC 2018 (国際会議) (査読あり)
- ② Daiki Owaki, Kazuto Yukita, Toshiro Matsumura, Yasuyuki Goto, Takuya Ota, Hiroaki Miyoshi, Kazuhiko Taniguchi, Hiroshi Morita
Study on Supply Demand Operation of AC/DC Micro-Grid at Power System Failure International federation of automatic control the 10th symposium on control of power and energy systems IFAC CPES2018 (国際会議) (査読あり)
- ③ Daiki Owaki, Kazuto Yukita, Toshiro Matsumura, Yasuyuki Goto Study on Control Characteristics of Power Storage systems in Distributed Power Supply Introduction Power System, 24th International Conference on Electrical Engineering ICEE2018 (国際会議) (査読なし)
- ④ Daiki Owaki, Kazuto Yukita, Toshiro Matsumura, Yasuyuki Goto Study of power interchange using UPFC in case of power system failure Grand Renewable Energy GRE2018 (国際会議) (査読なし)
- ⑤ Daiki Owaki, Tadahi Hosoe, Kazuto Yukita, Toshiro Matsumura, Yasuyuki Goto Study on a DC Feeding System in a Electric Power System with Distributed Power Supply ICMASS2017 (国際学会) (査読なし)
- ⑥ SHUNSUKE HORIE, TADAHIRO GODA, KAZUTO YUKITA, YASUYUKI GOTO TAKASHI MITANI: A New Power Flow Calculation Method Considering Frequency Fluctuation Analysis, ICEE2017 (国際会議) (査読なし)
- ⑦ Masayoshi Hamanaka, Shunsuke Horie, Kazuto Yukita, Toshiro Matsumura, Yasuyuki Goto Consideration of Demand Response by Air Conditioner Considering the Number of People IWGESD2017 (国際学会) (査読なし)
- ⑧ Masayoshi Hamanaka, Shunsuke Horie, Daiki Owaki, Kenshu Nimi, Kazuto Yukita, Toshiro Matsumura, Yasuyuki Goto, Keiichi Hirose : Demand Response Using Air Conditioner, IEEE INTELEC2017 (国際会議) (査読なし)
- ⑨ Kazuaki TAKEMURA, Yoji TANAKA, Kazuto YUKITA, Yasuyuki Goto, Masayuki YODA, Issarachai Ngamroo, "Study on Load Frequency Control using Flywheel Energy Storage in Small Power System by Simulation", The International Conference on Electrical Engineering 2016 (ICEE2016) (査読なし)
- ⑩ Yoji Tanaka, Kazuto Yukita, Yasuyuki Goto, "Experiment of Load Frequency Control using H-infinity Control", The 19th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS2016) (査読なし)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

[その他]

ホームページ等：<http://www.ait.ac.jp/facility/eco-power/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：後藤泰之

ローマ字氏名：(GOTO yasuyuki)

所属研究機関名：愛知工業大学

部局名：工学部 電気学科

職名：教授

研究者番号（8桁）：70178458

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

※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。