

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 10 月 17 日現在

機関番号：33903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420269

研究課題名(和文) マイクロ/スマートグリッド間における電力潮流制御装置の開発

研究課題名(英文) Development of the power flow control system for Micro/Smart Grids

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) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：地球環境保全を目指し、再生可能エネルギーの電力系統への導入量増加が検討されている。しかし、再生可能エネルギーの主役である太陽光発電装置や風力発電装置は、「出力変動が大きく安定した電力供給」、「電力品質問題」、「雷などに起因する瞬時電圧低下」などが課題としてある。本研究では、上記問題を解決するために、交流給電と直流給電を用いたハイブリッド給電技術の安定性、信頼性、拡張性の向上を図り、複数グリッド間における交流・直流ハイブリッド電力潮流制御装置の開発を行った。

研究成果の概要(英文)：Recently, the global environmental issues such as global warming have become more serious, and have actively stimulated efforts to reduce the environmental impacts. Therefore, the introduction of distributed generation as solar power is increasing. It is concerned that occurs the problem as voltage variation. Smart Grid using information technology is a new power supply system to solve some problems. A reliable power supply is necessary in order to be implement the smart grid. In this paper, we investigated the power interchange in two small-scale systems using AC power flow controller (UPFC) and DC power flow controller (PFC). The power interchange between two small-scale systems was examined using UPFC and PFC. In two micro-grid during islanding operation, it is confirmed that surplus power of micro-grid was sent to other micro-grid using UPFC and PFC.

研究分野：電力系統工学 電力工学 信号処理工学

キーワード：新エネルギー 直流給電 スマートグリッド エコハウス 省エネルギー マイクログリッド

1. 研究開始当初の背景

現在、我が国におけるエネルギー基本計画は、東日本大震災および原発事故を受けて、2010年のエネルギー基本計画を再検討しながら策定中である。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、京都議定書の目標達成、二酸化炭素の削減量25%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問題となっている。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重要視されている。これまでに、国内の太陽光発電に関しては、NEDOの実証試験事業として、国内4地域におけるスマートコミュニティ実証事業や分散型エネルギー大量導入促進システム安定対策事業(PV300実証事業)など多面的に研究がなされている。

2. 研究の目的

報告者は、再生可能エネルギー(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(電力の生産、輸送、分配)に関して、パラレルプロセッシング方式を用いた給電方式を開発してきた。これら開発してきたシステムは、再生可能エネルギーが系統へ大量導入された際に、系統への影響および負担を軽減できた。しかし、余剰電力発生時には再生可能エネルギーの発電停止や鉛蓄電池の運用状況などを考えると、省エネルギーシステムとしては十分でないものと思われる。本研究では、これまで開発してきた給電手法を基本として、システムの高効率運用を目指し、系統—グリッド間/グリッド—グリッド間の電力融通、直流系統と交流系統のハイブリット給電における保護協調問題などを解決する。そのために、分散型電源が導入された電力系統において、省エネルギー化を図る高効率運用可能かつ系統故障に頑強である給電システムのための電力潮流制御装置を開発する。

図1に本研究で開発する電力潮流制御装置の概念図を示す。同図に示すように、グリッド1とグリッド2の間に電力潮流制御装置を導入し、電力制御を実施するものである。

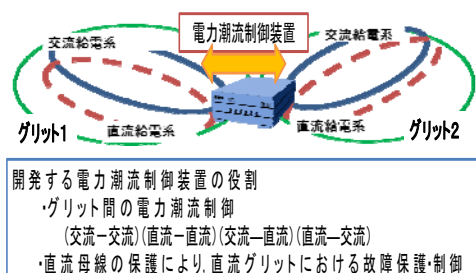


図1. 電力潮流制御の概念

3. 研究の方法

本研究は、3年間の計画であり、大きく研

究前期と研究後期に分けて実施した。まず検討内容は、交流系統と直流系統の各電力潮流制御装置の検討であり、交流系統における電力潮流制御装置、直流系統における電力潮流制御装置を各々製作した。次に、小型変換器や発電機などを用いて、小規模系統を構築し、製作した各電力潮流制御装置の問題点を精査した。

基本的に、基礎的な検討を計算機シミュレーションにて実施し、その後、製作した機器を用いて実証実験を行う。そして、十分な実験を実施したあと、大学に構築しているマイクロ/スマートグリッドシステムに導入し、実用化を目指して実規模実験を行った。

4. 研究成果

本研究では、交流系統と直流系統を用いて電力融通試験を実施した。以下に詳細の成果を述べる。

(1) 交流系統における電力融通

本研究で用いた交流電力融通実験モデルの構成図を図2に示す。同図に示す12号館をマイクログリッド1(MG1)、図書館をマイクログリッド(MG2)とする。太陽光発電、双方向変換装置及び交流スイッチを介して電力系統を交流配電網に接続され、MG1とMG2をつなぐ交流母線との間に電力潮流制御装置を設置した。また、双方向変換装置を介した直流母線に制御弁式鉛蓄電池を接続している。このシステム構成により、分散型電源による負荷への電力供給、双方向変換装置と蓄電池によるバランスの調整、さらに交流スイッチによる系統電力への連系を実現している。

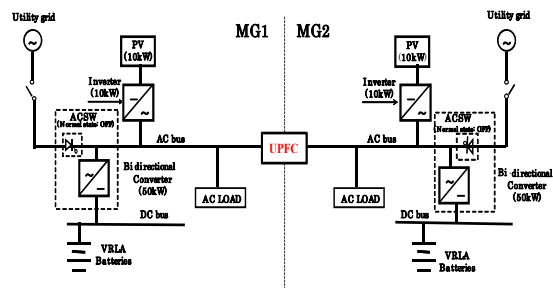


図2. 交流電力融通実験の2地域マイクログリッドシステムモデル

本実験ではMG1とMG2の双方向変換装置を用いて電力系統からの潮流をゼロとし、太陽光発電と蓄電池のみで運転する自立運転で実験を行った。その際のMG1の蓄電池は、ほぼ満充電の状態である。実験手法としてMG1とMG2を0時から20時まで自立運転とした。この時、MG1での太陽光発電の発電量が負荷を越えており、かつ蓄電池がほぼ満充電の時、電力潮流制御装置を用いてMG1の余剰電力をMG2の負荷に電力を融通した。図3、図4にMG1とMG2の日負荷電力特性を各々示す。図3より、MG1では、8時30分から14時の間に太陽光発電の発電量が負荷よりも大きく、な

おかつ蓄電池も満充電になっているため、MG2 で余剰電力が発生している。そのため、MG1 から MG2 への電力融通が可能であるといえる。図 4 より電力潮流制御装置によってグリッド 2 に MG2 の余剰電力が供給されているため、蓄電池の放電が抑制されていることがわかる。これらのことから、電力融通を行うことによって蓄電池の大きな放電を抑制でき、蓄電池の劣化を抑えることが期待できた。

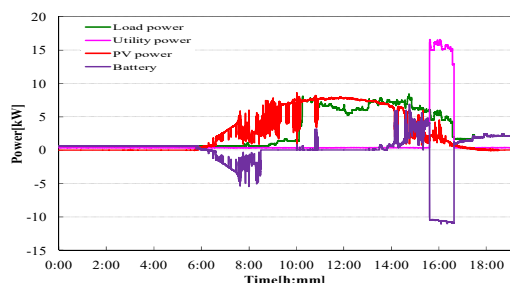


図 3. 交流連系における MG1 の日負荷電力特性

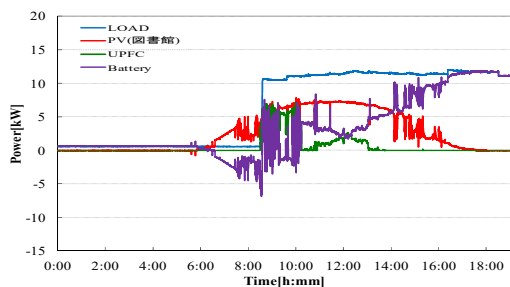


図 4. 交流連系における MG2 の日負荷電力特性

(2) 直流系統における電力融通

直流の電力融通に関しては、これまでの交流系統よりも直流系統を用いることにより、太陽光発電装置や蓄電装置などとも親和性が高く、省エネルギー化が図れる可能性があるものと思われる。そこで本研究では、直流電力潮流制御装置 (PFC) を用いて、2 地域間における電力融通について検討を行った。図 5 に本研究で用いた PFC の構成図を示す。

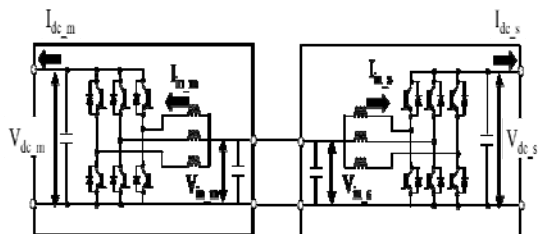


図 5. PFC の構成図

PFC は、2 台の DC/DC コンバータから構成し、マスター側とスレーブ側に設定し制御分担をさせている。この 2 台の DC/DC コンバータを用いることにより、双方向の電力潮流制御を実施した。

本研究で用いる直流電力融通実験の 2 地域

マイクログリッドモデルを図 6 に示す。なお、マイクログリッドが構成されている 2 地域の内、地域 1 を MG1、地域 2 を MG2 とする。同図に示すように各マイクログリッドにおいては、分散型電源である太陽光発電装置、蓄電装置、双方向変換装置から構成している。各マイクログリッドの制御・運用に関しては、双方向変換装置がグリッド内の需給制御の中心を分担するものとし、系統連系運転、自立運転、バックアップ運転が可能となっている。また、電力融通は、双方向変換装置と蓄電池の間に直流電力潮流制御装置 (PFC) を導入し、二つのグリッド間において電力融通をするものとしている。

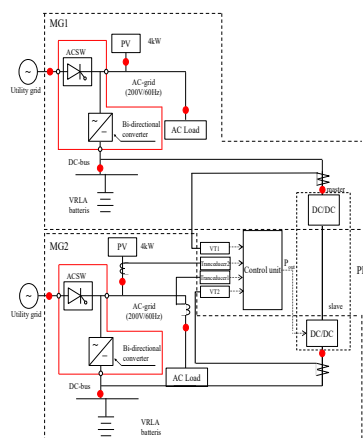
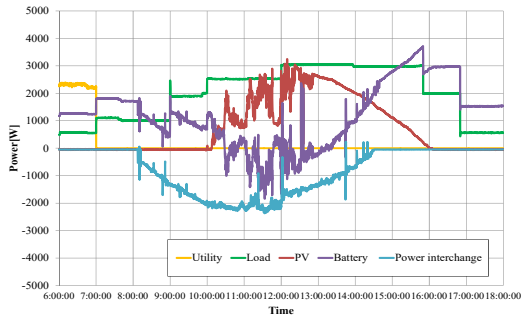


図 6. 直流電力融通実験の 2 地域連系マイクログリッドモデル

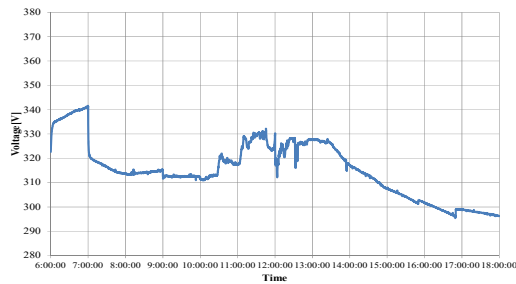
本研究では、図 6 に示すモデル系統において、直流電力融通に関して実験を行った。このとき、各グリッドの構成要素の容量を、太陽光発電装置 4kW、蓄電池 15kWh、双方向変換装置 10kVA、電力潮流制御装置 10kW、各グリッドにおける負荷は 3kW とし、実験を実施した。ここで MG1 は休日の場合負荷が発生しないものと想定した。したがって、MG1 においては、休日における分散型電源の発電出力は、導入している蓄電容量が上限の場合、余剰電力となる。ここで本研究では MG1 の蓄電容量は、6 時から 7 時まで充電をした後、7 時以降は満充電であるものと仮定し、太陽光発電装置の発電電力を地域 2 のマイクログリッド 2 に送電するものとした。この地域 2 におけるグリッド内の負荷変動は、6 時から 7 時が約 500W、7 時から 9 時までが 1kW、9 時から 10 時までが 2kW、10 時から 12 時までが 2.5kW、12 時から 16 時までが 3kW、16 時から 17 時までが 2kW、17 時から 18 時までが 500W で変動するものとした。また、MG1 と MG2 の太陽光発電の出力特性は、同様な発電特性ではなく、MG1 は 1 日中晴天時の出力特性、MG2 は午前中曇り、午後から快晴したときをモデルとして用いた。各グリッドの運転方式は、6 時から 7 時まででは系統連系運転方式の系統からの一定量受電を行っているものと仮定

した。

本研究における直流電力融通に関しては、各グリッドにおける蓄電装置の直流電圧値を用いて制御を実施している。そこで、電力融通時における直流電圧について注目すると、MG2 の直流系統電圧が 335V に達した時に PFC が可動し 電力融通を開始する。その後、MG1 の直流系統電圧が 310V から 350V、MG2 の直流系統電圧が 325V から 350V の範囲である場合に電力融通を実施するものとした。このときの地域 2 におけるマイクログリ

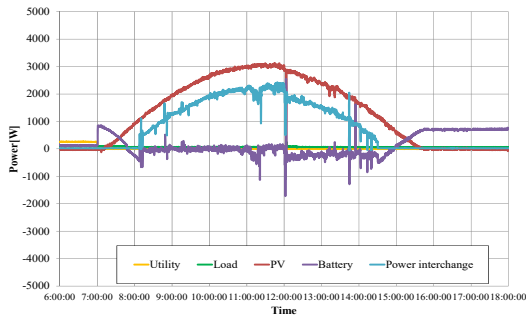


(a)MG2 の電力特性

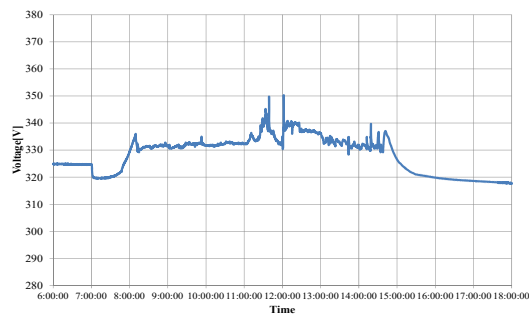


(b)MG2 の蓄電池の電圧特性

図 7. 直流電力融通の MG2 の電力電圧特性



(a)MG1 の電力特性



(b)MG2 の蓄電池の電圧特性

図 8. 直流電力融通の MG2 の電力電圧特性

ッドの電力特性、蓄電装置の電圧特性を図 7 に示す。また地域 1 におけるマイクログリッドの電力特性、蓄電装置の電圧特性を図 8 に示す。MG2 においては、図 8 (a) に示すように 6 時から 7 時では蓄電装置に 1kW の充電を実施し、7 時から自立運転に移行して電力供給を行っている。この時、同図(b)に示すように直流系統電圧は、340V から 320V に落ち込み、その後は 10 時を過ぎるまで、PV の発電出力がなかったため、314V まで低下していることがわかる。その後、PFC が稼働し、電力融通が開始されたため、蓄電装置からの放電量が抑制され、直流系統電圧は 310V 以上を保つことができていることから 14 時 30 分まで電力融通が行われていることで確認できる。さらに、12 時に地域 2 における PV の発電出力が変動すると、グリッド内における需給調整分のみが蓄電池に充電されたため、直流系統電圧が上昇していることがわかる。ここで、自立で運転中である 7 時から 18 時までの MG2 における蓄電装置の放電量は 14.39kWh であり、電力融通量は 9.63kWh であった。これらの結果から、蓄電装置の放電量抑制に貢献できたものと思われる。また、MG1 は電力融通時には充電量が 0.64kWh とほとんど充電することなく電力融通が実施されていることが確認できた。これにより、直流系統を使用することにより、同期を行う必要がなく、余剰電力を融通することで分散型電源の供給信頼度の向上や蓄電池の放電量を抑制につなげることに期待ができる結果となった。

本研究では 2 地域連系マイクログリッドモデルシステムにおいて、連系するマイクログリッドの電力需要や発電量などを考慮した場合の電力融通特性について検討を行った。特に、グリッド内における負荷が無負荷状態で PV の発電量がそのまま余剰電力になる系統から PFC を用いて直流系統から連系し、電力融通を行うことでそれぞれが非同期で自立稼働しているマイクログリッドの電力融通を実施できることが確認できた。

これらの結果により、各マイクログリッドを連系して電力融通をすることにより、各マイクログリッドの蓄電装置の放電量が抑制され、蓄電装置にかかる負担の軽減と、グリッドに導入している再生可能エネルギーの稼働率向上が期待できる結果となった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

雪田和人, 武田隆, 直流給電システムの技術動向, 電気学会誌 135(6), 366-369, 2015
<http://doi.org/10.1541/ieejjournal.135.366>

〔学会発表〕(計 15 件)

酒井智康, 金納朋輝, 武田隆, 雪田和人, 後藤泰之, 一柳勝宏, 廣瀬圭一, 後川知仁, 太

田拓弥：マイクログリッド間における電力融通の一検討，平成 25 年電気学会電力・エネルギー部門大会 Vol. 2013, 197 (2013. 8)，新潟コンベンションセンター（新潟県・新潟市）

金納朋輝，三好宏明，小山正善，雪田和人，後藤泰之，一柳勝宏，武田隆，太田拓弥：マイクログリッドにおける連系点電力制御を用いた運転手法の基礎的検討，2013 年電気設備学会全国大会 Vol. 2013, E-23 (2013. 9) 大阪府立大学（大阪府・堺市）

酒井智康，雪田和人，後藤泰之，一柳勝宏，武田隆：直流システムによるマイクログリッド間相互電力融通の一検討，平成 25 年度電気関係学会東海支部連合大会 Vol. 2013, A1-6 (2013. 9)，静岡大学（静岡県・浜松市）

酒井智康，武田隆，雪田和人，後藤泰之，一柳勝宏：直流電力潮流制御装置による電力融通の検討，電気学会電力技術・電力系統技術・半導体電力変換合同研究会 Vol. 2014, PE-14-030, PSE-14-030, SPC-14-065 (2014. 3)，鹿児島大学（鹿児島県・鹿児島市）

酒井智康，武田隆，雪田和人，後藤泰之，一柳勝宏：直流電力潮流制御装置を用いた小規模システムにおける電力融通の検討，平成 26 年電気学会全国大会 Vol. 2014, 6-192 (2014. 3)，愛媛大学（愛媛県・松山市）

酒井智康，武田隆，雪田和人，後藤泰之，一柳勝宏，依田正之：需要家における AC 給電と DC 給電に関する一検討（第 2 報），2014 年（第 32 回）電気設備学会全国大会（CD-ROM）Vol. 2014, No. B15 (2014. 8)，東北文化学園大学（宮城県・仙台市）

酒井智康，武田隆，細江忠司，瀧川洋平，雪田和人，後藤泰之，一柳勝宏：マイクログリッド連系時の直流バスにおける電力融通，平成 26 年電気学会 電力技術・電力系統技術合同研究会論文集 Vol. 2014, PE-14-070, PSE-14-070 (2014. 9) 大阪府立大学（大阪府・堺市）

三好宏明，武田隆，雪田和人，後藤泰之，一柳勝宏，太田拓弥：分散型電源を有したマイクログリッド間における電力融通についての検討，平成 27 年電気学会，電力・エネルギー部門大会，Vol. 2015, No. 219, (2015. 08) 名城大学（愛知県・名古屋市）

三好宏明，武田隆，後藤泰之，一柳勝宏，森田祐志：直流給電システムにおける漏電／地絡検出に関する検討，平成 26 年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会 Vol. 2015, No. J2-5 (2015. 09) 名古屋工業大学（愛知県・名古屋市）

Tomoyasu Sakai, Takashi Takeda, Kazuto Yukita, Yasuyuki Goto, Katuhiro Ichianagi : Power interchange between micro grids , The 6th International Conference on Integration of Renewable and Distributed Energy Resources, No. P8-7 (2014. 11) 京都国際会議場（京都府・京都市）

Daichi Kawahara, Hiroaki Miyoshi, Takashi Takeda, Kazuto Yukita, Yasuyuki Goto, Katsuhiko Ichianagi, Masayuki Yoda : Power Interchange by the DC Bus in Micro Grids with a Distributed Generation, The 21th International Conference on Electrical Engineering No. ICEE15A-375 (2015. 06) The University of Hong Kong (台湾・香港)

Takashi Takeda, Hiroaki Miyoshi, Kazuto Yukita , Yasuyuki Goto , Katsuhiko Ichianagi : Power Interchange by the DC Bus in Micro Grids, IEEE 1st International Conference on DC Microgrids Vol. 2015, Page. 135-137 (2015. 06) Sheraton Atlanta Hotel (USA, アトランタ)

Hiroaki Miyoshi, Takashi Takeda, Kazuto Yukita , Yasuyuki Goto , Katsuhiko Ichianagi : Operation Method of AC/DC Power System with DGs using Power Control, IEEE 1st International Conference on DC Microgrids Vol. 2015, Page. 144-147 (2015. 06) Sheraton Atlanta Hotel (USA, アトランタ)

〔その他〕
ホームページ等
愛知工業大学 エコ電力研究センター
<http://aitech.ac.jp/~eeprec/>

6. 研究組織
(1) 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

(2) 研究分担者
後藤 泰之 (GOTO Yasuyuki)
愛知工業大学・工学部・教授
研究者番号：70178458